ارائه‌ی مدل دومرحله‌ای برای تخصیص اعضای پیوندی به بیماران در شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند عضو ایران

سحر احمدوند

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

saharahmadvand@yahoo.com

دکتر میر سامان پیشوایی (نویسنده مسئول)

استادیار دانشگاه علم و صنعت

pishvaee@iust.ac.ir

چکیده

با توجه به اهمیت مسئله‌ی حفظ جان بیماران در لیست انتظار اعضای پیوندی، این اعضا همانند منابع مالی دولت به مثابه‌ی یک سرمایه‌ی ملی می‌باشند. برنامه‌ریزی یکپارچه، با در نظر داشتن معیارهای پزشکی و اقتصادی، در سطوح مختلف کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند عضو از ضرورت‌های مدیریتی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی می‌باشد. این پژوهش سعی دارد با ارائه‌ی یک مدل دو مرحله‌ای برای تخصیص اعضای پیوندی قلب،کبد و کلیه، که از اهداکننده‌ی مرگ مغزی فراهم می‌شوند به برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند عضو کشور یاری رساند. در این مدل برخلاف مدل‌هایی که تا کنون ارائه شده‌اند، تصمیم برای تخصیص عضو به بیمار مناسب، نه‌تنها بر اساس معیارهای پزشکی، بلکه با توجه به محدودیت‌های بودجه و زمان‌های حمل و نقل در شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند عضو کشور اتخاذ می‌شود. در مرحله‌ی اول با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، یک معیار کارایی پزشکی برای بیماران در صورت دریافت یک عضو خاص محاسبه شده و در مرحله‌ی دوم مدلی دوهدفه برای افزایش کارایی کل و کاهش هزینه‌های کل تحمیل شده به سیستم ارائه می‌شود. برای حل مدل دوهدفه از روش تبدیل به قید افزوده استفاده شده است. در نهایت، نتایج مدل حاضر با استفاده از اطلاعات ارائه شده در گزارش سالانه‌ی مرکز بیماران خاص و پیوند اعضاء وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرند.

کلید واژه:

تخصیص اعضای پیوندی، تحلیل پوششی داده‌ها،روش تبدیل به قید افزوده، زنجیره تأمین پیوند عضو

مقدمه

امروزه با پیشرفت‌های چشم گیر علم پزشکی، عمل پیوند عضو به عنوان یکی از مؤثرترین راه‌های درمان بیماری‌هایی چون نارسایی کلیوی، قلبی و مشکلات کبدی می‌باشد. در کشور ما مهارت پیوند اعضا از وضعیت مطلوبی برخوردار است، ولی این مهارت به جز مهارت عمل پیوند کلیه از اهداکننده‌ی زنده که تقریباً در اکثر شهرهای کشور انجام می‌شود، به صورت متمرکز بوده و تمامی شهرها از این امکانات به طور یکسان بهره مند نمی‌شوند و مشکلات مسافتی، مهم ترین عاملی است که پیوند اعضای بیماران شهرستانی را سخت می سازد. تا جایی که در برخی موارد اعضای پیوندی به علت مشکلات حمل و نقل و مسافت زیاد به بیمار مناسب نرسیده و خاکسپاری می‌شوند. این درحالی است که طبق آمار مربوط به اداره پیوند و بیماری های خاص وزارت بهداشت کشور، تا سال ۱۳۹۳ در ایران حدود ۲۵۰۰۰ نفر در لیست انتظار پیوند عضو قرار داشته‌اند و از این تعداد روزانه ۷-۱۰ نفر جان خود را از دست می‌دهند [۱].

با توجه به آنچه ذکر شد، طراحی یک مدل یک‌پارچه‌ی تخصیص عضو به گیرندگان مناسب با در نظر داشتن محدودیت‌های زمانی، حمل و نقل و بودجه‌ای برای کشورمان یک ضرورت می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است علاوه بر تمرکز بر پارامترهای پزشکی درگیر در مسائل پیوند عضو، مدل ریاضی برای انتخاب گیرنده‌ی مناسب برای یک عضو وارد شده به سیستم-که از بیمار مرگ مغزی دریافت می‌شود- با توجه به ابعاد مسافتی و زمانی موجود توسعه داده شود. زمانی که یک عضو پیوندی از یک اهدا کننده‌ی مرگ مغزی آماده می شود، ممکن است هزاران گیرنده‌ی در دسترس و سازگار (از نظر شاخص های پزشکی) برای آن، در لیست انتظار موجود باشند. بنابراین مسئله‌ی تخصیص عضو به گیرنده‌ی مناسب آن با توجه به کمبود اعضای پیوندی و تعداد زیاد افراد در لیست انتظار

دریافت عضو، اهمیت بیشتری پیدا می کند. یک مدل کارای تخصیص عضو به گیرنده‌ی مناسب بایستی اهداف زیر را دنبال کند:کم کردن رنج بیماران،طولانی کردن مدت زمان زندگی،فراهم کردن دستیابی عادلانه و برابر به اعضای پیوندی برای تمامی بیماران، مستقل از نژاد، سن، گروه خونی و سایر ویژگی های فیزیولوژیک آنان.در ادامه به بررسی برخی چالش های موجود در ایجاد یک روش تخصیص عضو می پردازیم:

محدودیت های عدالت[۱]: مفهوم دسترسی عادلانه و برابر به اعضای پیوندی چیست؟ با توجه به طبیعت ذهنی عدالت، هیچ معیار منفردی که به طور جهانی مورد پذیرش سیاستگذاران و دانشمندان باشد وجود ندارد. بنابراین یک چالش مهم، شناسایی محدودیت‌های عدالت است، که خروجی‌های تخصیص یک سیاست بایستی ارضا کند. یک مثال برای چنین محدودیتی می‌تواند کران پایینی برای درصدی از اعضای اهدا شده به گروه خاصی از بیماران باشد. (فرض کنید لازم است حداقل ۴۷درصد ازهمه‌ی پیوندها به بیماران با گروه خونیO تخصیص یابد.) در غیاب چنین محدودیتی این گروه به دلیل ویژگی های فیزیولوژیک خاصشان از دریافت عضو محروم می مانند. تعدادی از این محدودیت‌ها توسط OPTN[۲] مطالعه و شناسایی شده‌اند.

کارایی[۳]: یک پیوند عضو موفق، عمر یک بیمار را افزایش می دهد، همانطور که کیفیت زندگی وی را بهبود می‌بخشد. سیاست تخصیص عضو بایستی تضمین کند که تعداد سال‌های تنظیم شده‌ی کسب شده، توسط فعالیت‌های پیوند بیشترین مقدار ممکن را دارد. این مسئله همراستا با نگرشی است که اعضای پیوندی را یکی از منابع ملی می‌داند.

معیارهای اولویت‌بندی[۴]: سیاست بایستی بر اساس معیارهای پزشکی و ویژگی‌های فیزیولوژیک بیماران و اعضای پیوندی باشد. هرچند که قوانین اخلاقی استفاده‌ی صرف از این معیارها را (که می‌تواند تبعیض آمیز باشد،) ممنوع می‌کند [۲].

۱-۱-انواع سیاست‌های تخصیص و توزیع

در ایالات متحده امریکا، سازمان فراهم آوری اعضا[۵] به طور مستقیم عهده دار ارزیابی، فراهم‌آوری و تخصیص اعضای اهدا شده در محدوده‌ی خدماتی مربوط به خود هستند. زمانی که رضایت اهدا گرفته می‌شود، و عضو توسط OPO آماده می‌شود، فهرست کامپیوتری ملی OPTN، به صورت خودکار یک فهرست از بیمارانی که با عضو مذکور سازگاری پزشکی دارند تهیه می‌کند. سازگاری پزشکی بیماران، با توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیک آنان و عضو پیوندی تخمین زده می‌شود. روش اولویت بندی استفاده شده توسطOPO ، ترتیبی را ارائه می‌دهد که طبق آن، عضو پیوندی به بیماران تخصیص می‌یابد. وقتی عضوی (به عنوان مثال کلیه) فراهم آوری می‌شود، معمولاً ساعات محدودی (برای کلیه ۴۸-۳۶ساعت) می‌تواند نگه داری شود، بعد از آن، عضو برای پیوند بی استفاده می‌شود. به همین علت اولویت به بیماران محلی داده می‌شود. پس از ارائه‌ی پیشنهاد عضو به بیمار، او بایستی ظرف یک مدت زمان مشخص، با مشورت با پزشک معالج خود، تصمیم به پذیرش یا رد عضو بگیرد. در صورت رد عضو، عضو به بیمار بعدی موجود در لیست پیشنهاد می‌شود. در صورتی که هیچ گیرنده‌ای یافت نشود، عضو دور ریخته می‌شود.

اولویت بندی بیماران معمولاً بر اساس یک سیستم امتیازدهی[۶] یا قاعده‌ی نمره‌گذاری[۷] حاصل می‌شود، در ایالات متحده امریکا تمامی سیاستهای ملی تخصیص که در واقعیت استفاده شده اند، بر اساس قوانین نمره‌گذاری کار می‌کنند. در ادامه مفهوم یک سیاست که بر اساس قوانین نمره-گذاری کار می‌کند را بررسی می‌کنیم. قابل ذکر است که این سیاست مربوط به تخصیص کلیه می‌باشد.

۱-۱-۱-سیاست‌های بر اساس سیستم امتیازدهی یا قانون نمره‌گذاری

تحت یک سیاست که براساس قانون نمره‌گذاری کار می‌کند، بیماران برای دریافت کلیه طبق یک نمره‌ی محاسبه شده (در این متن با عنوان KAS[۸] شناخته شده است.) اولویت بندی می‌شوند. یک قانون نمره‌گذاری از اجزای نمره و مقادیر ثابت اسکالر وزن نمره تشکیل شده است. یک جزء نمره می‌تواند هر تابعی از خصیصه‌های بیمار و یا عضو باشد. بنابراین وقتی عضوی فراهم‌آوری می‌شود، جزء نمرات برای هر بیمار و عضو مذکور محاسبه می‌گردد. KAS برای هر بیمار به صورت میانگین وزنی اجزای نمره‌ی وی ارزیابی می‌شود. (با استفاده از وزن‌های نمره) برای سهولت در تفهیم فورمولاسیونKAS به علامتگذاری زیر توجه کنید:

p: بیمار

o: عضو

$f_{j,(p,o)}$: امین جزء نمره j

w_j: امین وزن نمره j

بنابراین $KAS(p,o)$ برای بیمارp درحالی که گیرنده‌ی عضو o باشد، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$KAS(p,o) = \sum_j w_j f_{j,(p,o)} \qquad (1)$$

به عنوان مثال اجزای نمره می توانند؛

- تعداد سال‌های ثبت بیمار در لیست انتظار،
- امید به زندگی بیمار در صورتی که در لیست بیماران دیالیزی باقی بماند،
- امید به زندگی بیمار در صورتی که عضو مورد بحث را دریافت کند،

باشد. قابل ذکر است که برخی اجزاء در خدمت هدف کارایی و برخی دیگر ارضا کننده‌ی هدف عدالت در تخصیص هستند، به عنوان مثال اجزایی مانند تطبیق بافت پیوندی که نشانه‌ی یک پیوند عضو موفق است، از دسته‌ی اول و اجزای "زمان انتظار" و "حساسیت[۹]" (توجه شود که بیماران بسیار حساس سازگاری پزشکی بسیار کمی با اعضای پیوندی دارند.) مثال‌هایی برای دسته‌ی دوم اجزا می‌باشند. سپس بیماران بر اساس تعداد نمراتی که از اجزای گوناگون دریافت کرده اند اولویت بندی می‌شوند [۲].

در پژوهش حاضر ما به ارائه‌ی مدلی یک‌پارچه برای تخصیص اعضای پیوندی قلب، کبد و کلیه به بیماران در لیست انتظار هر عضو می‌پردازیم. همانطور که قبلاً ذکر شد زمانی که یک عضو از مورد مرگ مغزی شناسایی می‌شود، مرکز فراهم آوری اعضای پیوندی مربوطه برای یافتن مناسب‌ترین گیرنده‌ی عضو، لیست بیماران را جست و جو می‌کند. این جست و جو معمولاً براساس معیارهای پزشکی می‌باشد، ولی همه‌ی بیماران (منظور از بیمار پزشک معالج او نیز می‌تواند باشد) عضو پیشنهاد شده را نمی-پذیرند. بلکه برخی با توجه به شرایط خوب پزشکی‌شان ترجیح می‌دهند پیشنهاد عضو را رد کرده و منتظر پیشنهاد بهتری بمانند. در این شرایط مرکز فراهم آوری اعضا جست و جو برای گیرنده‌ی مناسب را از سر می‌گیرد. در مواردی نیز گیرنده‌ی مناسب از نظر معیارهای پزشکی انتخاب می‌شود، ولی تیم پزشکی و جراحی برای انجام عمل پیوند قادر به حضور در مرکز پیوند عضو مربوطه در زمان مقرر نمی‌باشد، یا مکان جغرافیایی گیرنده حمل و نقل او و یا عضو را سخت، طولانی و پرهزینه می‌نماید. در چنین شرایطی نیز این گیرندی مناسب حذف شده و فرایند یافتن گیرنده‌ی مناسب دیگری دوباره شروع می‌شود. موارد ذکر شده منجر به افزایش زمان تصمیم گیری برای عضو اهدا شده می‌شوند و کیفیت عضو را به شدت کاهش می‌دهند. در برخی موارد این شرایط باعث افزایش بیش از حد مجاز زمان ایسکمیک[۱۰] عضو گشته تا جایی که کارایی عضو از دست می‌رود و عضو خاکسپاری می‌شود [۳]. این سوء مدیریت و عدم هماهنگی بین فعالیت‌های گوناگون زنجیره‌ی تأمین پیوند عضو، مسئله‌ی کمبود عضو پیوندی و طولانی شدن زمان انتظار بیماران را تشدید می‌نماید. متأسفانه در اکثر مطالعات انجام شده در ادبیات این موضوع، تمرکز پژوهشگران برای افزایش کارایی و عدالت در پیوند عضو، بر روی طراحی و ارزیابی مدل‌های تخصیص عضو بدون توجه به برهم کنش فعالیت‌های قبل و بعد از تخصیص عضو در زنجیره‌ی تأمین پیوند عضو (مانند؛ هماهنگی با تیم جراحی پیوند، حمل و نقل عضو و بیمار و...) معطوف گشته است. این در حالی است که برای افزایش کارایی و عدالت و کاهش هزینه‌ها و مشکلات در شبکه‌ی پیوند عضو توجه هم‌زمان به عوامل جغرافیایی، حمل و نقل، دسترسی به تیم جراحی مناسب و... علاوه بر معیارهای پزشکی برای انتخاب گیرنده‌ی مناسب اهمیت غیر قابل انکاری دارد. بنابراین در این مطالعه سعی شده است برای اولین بار، به تمام ابعاد مسئله-ی تخصیص عضو از منظر مدیریت زنجیره‌ی تأمین توجه شده و مدلی یکپارچه که هماهنگی فعالیت‌های گوناگون درگیر در پیوند عضو را ایجاب می‌کند طراحی شود.

در طراحی سیاست‌های نمره دهی متعارف یک مسئله تعیین اوزان بهینه برای اجزای نمره با توجه به نظر خبرگان می‌باشد و این مسئله می‌تواند منجر به تبعیض در گروه‌های گوناگون بیماران شود. در این مدل برای حل این معضل و برخلاف سیاست‌های نمره‌دهی[۱۱] که بیماران را برای دریافت عضو بر اساس مجموع نمرات کسب شده از معیارهای گوناگون اولویت بندی می‌کنند، از روش تحلیل پوششی داده‌ها[۱۲] استفاده شده و برای هر جفت سازگار بیمار و عضو پیوندی یک معیار کارایی متقاطع محاسبه می-شود. در این مطالعه به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها برای مسئله‌ی تخصیص عضو یک اقدام نوآورانه برای گریختن از معضل تعیین اوزان بهینه‌ی اجزای نمره و تبعیضات احتمالی نشأت گرفته از آن می‌باشد. این مدل برخلاف مدل‌های تخصیص عضوی که تا کنون ارائه شده‌اند، علاوه بر افزایش کارایی کل، به کاهش هزینه‌های انتقال بیماران و اعضا به مراکز پیوند گوناگون، در محدوده‌ی زمانی مجاز می‌پردازد. در این مدل سعی شده است که در مراحل و محدودیت‌های گوناگون، اهداف و چالش‌های ذکر شده گنجانده و ارضا شوند. قابل ذکر است که مدل ارائه شده در این پژوهش از قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی در انتخاب معیارهای پزشکی مورد نظر پزشکان پیوند اعضا (به عنوان اجزای نمرات و معیار کارایی) برخوردار است. هم‌چنین استفاده از روش تبدیل به

قید افزوده[۱۳] برای حل مدل دوهدفه و استفاده از مجموعه‌ی پاسخ‌های پارتویی به مدیران در تصمیم گیری برای میزان تخصیص بودجه در ازای مقادیر گوناگون کارایی کمک بسزایی می‌کند. در حقیقت این مدل چارچوبی کلی برای تصمیم گیری ارائه می‌دهد که بنابر شرایط گوناگون قابل ارتقاء و تغییر است.

ادامه‌ی این مقاله به این ترتیب می‌باشد: در بخش دوم مروری بر ادبیات موضوع انجام می‌شود، در بخش سوم، به تعریف مسئله پرداخته می‌شود. در بخش چهارم مدل ریاضی ارائه می‌شود. در بخش پنجم روش حل معرفی می‌شود. در بخش ششم مدل ریاضی با اطلاعات گزارش شده توسط مرکز بیماران خاص و پیوند اعضاء وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی پیاده سازی شده و نتایج عددی مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرند. و در نهایت در بخش هفتم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

آنالیزهای مدل-محور مسئله‌ی تخصیص عضو پیوندی در ادبیات آموزشی توجه خاصی را به خود جلب کرده است. یکی از اولین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه توسط روث و همکاران[۱۴] [۴]، انجام شده است. در این پژوهش محققان به ایجاد یک مدل شبیه-سازی برای مطالعه‌ی مسئله‌ی تخصیص عضو پرداخته‌اند. شچر[۱۵] [۵]، یک مدل شبیه سازی گسسته برای ارزیابی تغییرات بالقوه در فرایند تخصیص روده توسعه داده است. رایتر[۱۶] و دیوید[۱۷] [۶, ۷]، یک فرمولاسیون برای مسئله‌ی تخصیص تصادفی ارائه داده‌اند. زنیوس و همکاران[۱۸] [۸]، تقریب مدل سیالی برای فرایند تخصیص عضو ارائه داده اند، در این پژوهش به بررسی دقیق محدودیت-های کارایی پزشکی و عدالت در مسائل تخصیص عضو پرداخته شده است. زنیوس، راث و همکاران[۱۹]، راث و همکاران، سگو[۲۰] و اشلاگی[۲۱] [۹-۱۳]، مسئله‌ی اهدای کلیه از اهداکننده‌ی زنده را مورد بررسی قرار داده اند. کنگ[۲۲] و همکاران، سندیکی[۲۳] و همکاران و اکان[۲۴] و همکاران [۱۴-۱۶]، مسئله‌ی تخصیص کبد را بررسی و مطالعه کرده اند.

جریان دیگری از مطالعات بر رفتار تصمیم‌گیری بیماران با رسیدگی به سیاست‌های پذیرش عضو تمرکز دارند. دیوید و یچیالی[۲۵] [۱۷]، مسئله‌ی کاندیداها را مانند یک مسئله‌ی توقف بهینه مدل می‌کند.

سیاست‌های پذیرش مشابه دیگری توسط اهن و هرنبرگر[۲۶]، هوارد[۲۷]، الاگز[۲۸] و همکاران و الاگز و همکاران [۱۸-۲۱] ، توسعه داده شده است.

در پژوهش اخیر سو[۲۹] و زنیوس [۲۲]، تلاش می‌کنند تا جریان‌های گوناگون تحقیق را در هم ادغام کرده وبا درنظر گرفتن رفتار بیماران در پذیرش عضو، مدلی برای تخصیص عضو توسعه دهند. در یک کار مشابه سو و همکاران [۲۳]، مکانیزم تخصیص عضوی ارائه می‌دهند که مطلوبیت‌های بیماران را استخراج می‌نماید. برای جزئیات بیشتر خواننده به پژوهش سو و همکاران [۲۲]، ارجاع داده می‌شود. برتسیماس[۳۰] و همکاران [۲]، مدلی انعطاف پذیر بر اساس سیستم امتیازدهی با توجه به محدودیت‌های عدالت و کارایی برای تخصیص کلیه به بیماران ارائه می‌دهند.

در همه‌ی مدل ها و روش‌های ارائه شده برای تخصیص اعضای پیوندی تمرکز محققان تنها بر روی معیارهای پزشکی بوده است، در این پژوهش سعی شده است مدلی برای کمک به تصمیم‌گیری مدیران ارائه شود که نه تنها بیشترین کارایی پزشکی را خواهد داشت، بلکه در جست و جوی بهینه‌ترین تخصیص‌ها برای کاهش هزینه‌های وارد شده به شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند عضو می‌باشد.

۳- تعریف مسئله

مسئله‌ی تخصیص عضو با در نظر گرفتن محدودیت‌های مربوط به زمان، حمل و نقل و هزینه علاوه بر محدودت‌ها و معیارهای پزشکی به مدیریت لجستیکی زنجیره تأمین پیوند اعضا مربوط می‌باشد. زمان مهم‌ترین محدودیت برای پیوند عضو محسوب می-شود. از زمان شروع فرایند اهدای عضو، فراهم‌آوری، یافتن گیرنده‌ی مناسب و انجام عمل پیوند بایستی در بازه‌ی زمانی کوتاهی صورت پذیرد. به عنوان مثال قلب پس از فراهم آوری بایستی ظرف ۴ ساعت به بیمار مورد نظر پیوند زده شود، در این فاصله هماهنگ‌کنندگان موظف هستند مناسب ترین گیرنده را از نظر معیارهای پزشکی شناسایی کرده و عضو یا بیمار را به محل پیوند

منتقل کنند. در غیر این صورت عضو با ارزش از بین خواهد رفت. البته حمل و نقل هزینه‌هایی برای شبکه پیوند عضو به همراه خواهد داشت، که از دغدغه‌های اصلی مدیران می‌باشد. از این رو در این تحقیق علاوه بر درنظر گرفتن معیارهای پزشکی و افزایش کارایی پزشکی جفت‌های پیوندی به هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم تخصیص اعضا نیز توجه می‌کنیم. هزینه‌های مستقیم شامل هزینه‌های حمل و نقل اعضا و بیماران می‌باشد. علاوه بر این هزینه، هزینه‌های دیگری نیز (مانند هزینه‌ی هدر رفتن یک عضو به علت به موقع نرسیدن آن به مرکز پیوند برای عمل اهدا) وجود دارند که به طور غیر مستقیم تأثیر گذار هستند. در این مدل محدودیت‌هایی که در عمل برای مراکز پیوند وجود دارند و نیز محدودیت‌های زمانی و مدهای حمل و نقل موجود بین مراکز درمانی[۳۱]، پیوند[۳۲] و فراهم‌آوری اعضای پیوندی[۳۳] در نظر گرفته شده اند. بنابراین روش حاضر، مسئله‌ی تخصیص عضو را به صورت یکپارچه، هم از دیدگاه پزشکی و هم از دیدگاه مدیریتی برای سه عضو کلیه، کبد و قلب حل می‌کند. در این رویکرد، در مرحله‌ی اول با به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها اوزان بهینه‌ی هر واحد تصمیم‌گیری[۳۴] را به دست می‌آوریم. لازم به ذکر است که هر DMU معادل یک جفت شدنی بیمار و عضو می‌باشد. سپس کارایی متقاطع[۳۵] هر DMU را می‌یابیم. در مرحله‌ی دوم از طریق حل یک مدل دوهدفه (هدف اول برای حداکثر سازی کارایی کل جفت‌های پیوندی و هدف دوم برای کاهش هزینه‌های حمل و نقل می‌باشند.) و با توجه به محدودیت‌های زمان، تسهیلات موجود در مراکز پیوند و مدهای حمل ونقل، به انتخاب جفت‌های پیوندی، مکان انجام عمل پیوند و مدهای حمل ونقل مربوط به هر جفت می‌پردازیم. برای حل مدل دو هدفه از روش تبدیل به قید افزوده استفاده می‌کنیم.

٤- مدل ریاضی

روش ارائه شده در این پژوهش، در عمل یک مسئله‌ی تخصیص عضو سه منظوره برای سه عضو پیوندی کلیه، کبد و قلب می‌باشد، که از اهدا کننده‌ی مرگ مغزی تأمین می‌شوند. مدل ارائه شده در دو مرحله تنظیم شده است. در مرحله‌ی اول برای هر عضو معیارها و خصیصه‌های پزشکی مربوطه را در نظر می‌گیرد و اجزای نمره را براساس این معیارها تعریف می‌کند. سپس تعدادی از این اجزای نمره به عنوان ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها، و مهم‌ترین جزء نمره که نشان‌دهنده‌ی مطلوبیت هر جفت می‌باشد به عنوان خروجی روش مذکور در نظر گرفته می‌شوند. انتخاب این اجزای نمره با تکیه بر اطلاعات پزشکی متخصصان و خبرگان انجام گرفته است. نمونه‌ای از این اجزای نمره را در بخش ۱-۱-۱ برای پیوند کلیه مشاهده کردیم. از ویژگی های بارز این مدل انعطاف پذیری آن در انتخاب و تغییر مجموعه‌ی اجزای نمره و معیارها می باشد که با توجه به نظر خبرگان زمینه‌ی پیوند عضو (جراحان پیوند) می‌توان این ورودی و خروجی‌ها و همچنین مجموعه‌ی اجزای نمره را تغییر داد. لازم به ذکر است که این روش برای سیستم پیوند عضو متمرکز توسعه داده شده است؛ به این مفهوم که عضو پیوندی بر خلاف سیستم سلسله مراتبی که ابتدا به بیماران موجود در لیست انتظار محلی و سپس منطقه ای و در نهایت به بیماران در لیست انتظار ملی تخصیص می‌یابد، به بیماران در لیست انتظار ملی تخصیص داده می‌شود. بنابر این ناحیه‌ی مورد مطالعه که در این پژوهش کل کشور می‌باشد، شامل تعداد مشخصی مرکز درمانی (محل بیمار)، مرکز پیوند و OPU می‌باشد. هر کدام از مراکز پیوند که امکانات و تیم متخصص پیوند یک عضو خاص را دارا باشند در مجموعه‌ی مراکز پیوند آن عضو قرار خواهند داشت. هر عضو پیوندی پس از شناسایی در یک OPU قرار دارد. بیماران بنابر شرایط خود در یکی از مراکز، اعم از TC یا H قرار دارند. بنابراین شرایط اولیه‌ی مربوط به هر جفت از قبیل؛ مکان اولیه‌ی بیمار و عضو اهدایی، مدهای حمل و نقل موجود برای حمل اعضا و بیماران بین مراکز مبدأ و مقاصد گوناگون، هزینه‌های مربوط به مدهای مختلف و مسافت بین هر دو مرکز برای مدل مرحله‌ی دوم از پیش معلوم است. با توجه به محدودیت زمانی ایسکمیک مربوط به هر نوع عضو، زمان‌های حمل و نقل(براساس مد حمل و نقل انتخاب شده) و امکانات مراکز پیوند عضو، بهینه ترین تصمیم برای انتخاب جفت‌های پیوندی و مرکزی که پیوند در آن انجام می‌شود، اتخاذ می‌گردد. از مفروضات مسئله‌ی پیش رو آن است که، برنامه ریزی برای یک دوره‌ی کوتاه که در بازه‌ی زمانی ماندگاری عضو قرار می‌گیرد انجام می‌شود. در شروع هر دوره‌ی برنامه ریزی، زمان باقیمانده برای سالم بودن عضو محاسبه شده و در اختیار است، که به عنوان یکی از

پارامترهای مدل وارد می‌شود. فرض می‌شود پس از ورود عضو، ما به اطلاعات کامل اعضای پیوندی و بیماران ثبت شده در لیست انتظار، از جمله؛ زمان ورود به سیستم و ویژگی‌های فیزیولوژیک آن‌ها احاطه‌ی کامل داریم. از خروجی‌های مرحله‌ی اول به عنوان پارمترهای مدل مرحله‌ی دوم استفاده می‌شود. شکل (۱) طرحی کلی از آن‌چه که مدل انجام می‌دهد می‌باشد.

٤-١-مدل مرحله‌ی اول

محاسبه‌ی کارایی متقاطع جفت‌ها با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها: با ورود عضو به سیستم، با توجه به نوع عضو و مجموعه ویژگی‌های فیزیولوژیک اولیه و اساسی عضو و بیماران (مانند تطابق بافتی، گروه خونی، آمادگی بیمار برای دریافت عضو و انجام عمل جراحی، سن، وزن و ...) پیوندهای ممکن توسط خبرگان شناسایی می‌شوند که در فرمولاسیون از آن‌ها با عنوان جفت‌های شدنی بیمار

وعضو (p_i, o_i) یاد می‌شود. این جفت‌ها معادل واحدهای تصمیم[۳۶] در روش DEA می‌باشند. سپس برای هر جفت شدنی، معیار مطلوبیت با توجه به نوع عضو پیوندی که می‌تواند کلیه، کبد و یا قلب باشد طبق نظر خبرگان تخمین زده می‌شود. این معیار برای جفت‌های پیوندی کلیه، معیار تعداد سال‌های زندگی به دست آمده پس از پیوند[۳۷] می‌باشد. برای اعضای کبد و کلیه این معیار نرخ بقا[۳۸] در صورت انجام پیوند می‌باشد. این معیارهای مطلوبیت به عنوان خروجی روش تحلیل پوششی داده‌ها در نظر گرفته می‌شوند. همچنین مقدار اجزای نمره‌ی مربوط به هر جفت که با توجه به نوع عضو پیوندی متفاوت است، از پیش در اختیار است. این اجزای نمره نیز به عنوان ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها در نظر گرفته می‌شوند. با به کارگیری تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی متقاطع جفت‌های شدنی محاسبه می‌شوند. و برای هر ورودی روش تحلیل پوششی داده‌ها (جزء نمره) و همچنین خروجی آن، یک وزن حاصل می‌شود. پس از ارائه‌ی مدل خطی روش تحلیل پوششی داده‌ها به توضیح نحوه‌ی محاسبه‌ی

کارایی متقاطع می‌پردازیم [۲۴, ۲۵].

اکنون به پارامترها و متغیرهای تصمیمی که برای فرموله کردن مرحله اول مسئله لازم هستند، توجه کنید:

مجموعه‌ها:

I= مجموعه سه‌گانه‌ی اعضای پیوندی $=\{i|i=1$ ،برای کلیه $i=2$ ،برای کبد $i=3$ ،برای قلب$\}$

P_i: مجموعه‌ی بیماران در انتظار عضو i $p_i \epsilon P_i$

O_i: مجموعه اعضای پیوندی نوع i $o_i \epsilon O_i$

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

DMU_i: مجموعه واحدهای تصمیم متناظر با مجموعه جفت‌های شدنی C_i

$DMU_{i,c_i} \epsilon DMU_i$

S_i: مجموعه‌ی اجزای نمره برای پیوند نوع i $s_i \epsilon S_i$

پارامترها:

f_{i,s_i,c_i}: مقدار جزء نمره‌ی s_iام برای جفت شدنی c_iام در پیوند نوع iام

D_{i,c_i}: مطلوبیت جفت شدنی c_i

به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها: همان‌طور که قبلاً اشاره شد (برای هر نوع پیوند عضو i) تعداد $|C_i|$ DMU، وجود دارد که هرکدام تعداد $|S_i|$ ورودی را به یک خروجی تبدیل می‌کنند. (f_{i,s_i,c_i} ها به عنوان ورودی و D_{i,c_i} به عنوان خروجی) به طور خاص، m امین DMU_i ، خروجی $D_{i,m}$ را با استفاده از ورودی های $f_{i,s_i,m}$ تولید می‌کند. برای به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها مدل برنامه ریزی ریاضی (۱) ارائه می‌شود. که متغیرهای تصمیم در آن، اوزان ورودی‌ها و خروجی‌های روش هستند [۲۶].

$$\max z = u_{i,m} D_{i,m} \qquad (2)$$

$$s.t. \quad \sum_{s_i=1}^{|S_i|} v_{i,s_i,m} f_{i,s_i,m} = 1 \qquad (3)$$

$$u_{i,m} D_{i,n} - \sum_{s_i}^{|S_i|} v_{i,s_i,m} f_{i,s_i,m} \leq 0 \ , n = 1, \dots, |C_i| \qquad (4)$$

$$v_{i,m} , u_{i,s_i,m} \geq \varepsilon \ , s_i = 1, \dots, |S_i|.$$

برای به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها ، مدل فوق را $|C_i|$ بار حل می‌کنیم. در هر تکرار DMU پایه و مجموعه‌ی اوزان بهینه $(u_{i,m}^*, v_{i,s_i,m}^*)$ تغییر می‌کند ($m=1,\dots, |C_i|$). اوزان بهینه‌ی هر DMU را بایگانی می‌کنیم. کارایی متقاطع برای $DMU_{i,a}$ به ازای اوزان بهینه‌ی $DMU_{i,m}$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{i,a,m} = {u_{i,m}^* D_{i,a}} \Big/ {\sum_{s_i=1}^{|S_i|} v_{i,s_i,m}^* f_{i,s_i,a}} \qquad (5)$$

بنابراین میانگین کارایی هر جفت a به صورت:

$$\bar{E}_{i,a} = \frac{1}{|C_i|} \sum_{m=1}^{|C_i|} E_{i,a,m} \qquad (6)$$

محاسبه می‌شود.

۴-۲- مدل مرحله‌ی دوم

مدل دوهدفه برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط : این مدل از دو تابع هدف متعارض تشکیل شده است. تابع هدف اول برای بیشینه کردن کارایی کل

جفت‌های انتخابی در نظر گرفته شده است و تابع هدف دوم برای کمینه کردن هزینه‌ی حمل و نقل اعضاء و بیماران بین مراکز مختلف، با در نظرگرفتن مدهای حمل و نقل متفاوت و محدودیت‌های زمانی در نظر گرفته شده است.

پارامترها و متغیرهای مدل به صورت زیر می‌باشد:

مجموعه ها:

مجموعه سه‌گانه‌ی اعضای پیوندی : I

$I = \{i | i = 1$ برای کلیه، $i = 2$ برای کبد، $i = 3$ برای قلب$\}$

P_i: مجموعه‌ی بیماران در انتظار عضو i $p_i \epsilon P_i$

O_i: مجموعه اعضای پیوندی نوع i $o_i \epsilon O_i$

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

J_i: مجموعه مراکز پیوند دارای امکانات عمل پیوند عضو نوع i

$j_i \epsilon J_i$

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

K_{i,j,j_i}:

مجموعه مدهای حمل‌ونقل (برای بیماران) موجود بین مرکز j و مرکز پیوند j_i

$k_{i,j,j_i} \epsilon K_{i,j,j_i}$

K'_{i,j,j_i}:

مجموعه مدهای حمل و نقل (برای عضو) موجود بین مرکز j و مرکز پیوند j_i

$k'_{i,j,j_i} \epsilon K_{i,j,j_i}$

پارامترها:

$c_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}$:

هزینه حمل بیمار جفت c_i ام با مد k_{i,j,j_i} از مرکز j به مرکز j_i

$c'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}$:

هزینه حمل عضو جفت c_i ام با مد k'_{i,j,j_i} از مرکز j به مرکز j_i

$t_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}$:

زمان حمل بیمار جفت c_i ام با مد k_{i,j,j_i} از مرکز j به مرکز j_i

$t'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}$:

زمان حمل عضو جفت c_i ام با مد k'_{i,j,j_i} از مرکز j به مرکز j_i

T_{i,c_i}: زمان ایسکمیک عضو نوع i و جفت c_i ام

L_{i,j_i}: ظرفیت مرکز پیوند عضو j برای عمل پیوند نوع i

متغیرهای تصمیم:

x_{i,c_i}: متغیر باینری که انتخاب جفت c_i را نشان می‌دهد

y_{i,c_i,j_i}: متغیر باینری که انتخاب مرکز پیوند j_i را برای جفت c_i نشان می‌دهد

$z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}$: متغیر باینری که انتخاب مد k_{i,j,j_i} را برای حمل بیمار جفت c_i ام از مرکز j نشان می‌دهد

$z'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}$: متغیر باینری که انتخاب مد k'_{i,j,j_i} را برای حمل عضو جفت c_i ام از مرکز j نشان میدهد

با توجه به تعاریف فوق مدل (۲) دو هدفه‌ی تخصیص عضو برای سه عضو کلیه، کبد و قلب به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$max\ w_1 = \sum_{i=1}^{3}\sum_{c_i=1}^{|c_i|} \bar{E}_{i,c_i} x_{i,c_i} \qquad (1-4)$$

$$min\ w_2 = \left[\sum_{i=1}^{3}\sum_{c_i=1}^{|c_i|} x_{i,c_i} \times \left[\sum_{j_i=1}^{|J_i|}\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|K_{i,j,j_i}|} y_{i,c_i j_i}\left(c_{i,c_i j_i,k_{i,j,j_i}}, z_{i,c_i j_i k_{i,j,j_i}}\right) + \sum_{j_i=1}^{|J_i|}\sum_{k'_{i,j,j_i}=1}^{|K'_{i,j,j_i}|} y_{i,c_i j_i}\left(c'_{i,c_i j_i,k'_{i,j,j_i}}, z'_{i,c_i j_i k'_{i,j,j_i}}\right)\right]\right] \qquad (2-4)$$

S.t.

$$\sum_{p_t:(p_t,o_t)_t \in C_t} x_{i,c_t} \leq 1\ , \forall i, o_i \qquad (3-4)$$

$$\sum_{o_t:(p_t,o_t)_t \in C_t} x_{i,c_t} \leq 1\ , \forall i, p_i \qquad (4-4)$$

$$\sum_{j_i=1}^{|J_i|} y_{i,c_t j_i} = x_{i,c_t} \quad ,\forall\ i, c_i \qquad (5-4)$$

$$\sum_{k_{t,J,J_t}=1}^{|K_{t,J,J_t}|} z_{i,c_t j_t k_{t,J,J_t}} = y_{i,c_t j_t}, \forall\ i, c_i, j_i \qquad (6-4)$$

$$\sum_{k'_{t,J,J_t}=1}^{|K'_{t,J,J_t}|} z'_{i,c_t j_t k'_{t,J,J_t}} = y_{i,c_t j_t}\ , \forall\ i, c_i, j_i \qquad (7-4)$$

$$max\left\{\left[\sum_{j_t=1}^{|J_t|}\sum_{k_{t,J,J_t}=1}^{|K_{t,J,J_t}|} y_{i,c_t j_t} t_{i,c_t j_t k_{t,J,J_t}}, z_{i,c_t j_t k_{t,J,J_t}}\right], \left[\sum_{j_t=1}^{|J_t|}\sum_{k'_{t,J,J_t}=1}^{|K'_{t,J,J_t}|} y_{i,c_t j_t} t'_{i,c_t j_t k'_{t,J,J_t}}, z'_{i,c_t j_t k'_{t,J,J_t}}\right]\right\} \leq T_{i,c_t} \quad ,\forall\ i, c_i \qquad (8-4)$$

$$\sum_{c_t}^{|C_t|} y_{i,c_t j_t} \leq L_{i,j_t} \quad ,\forall\ i, j_i \qquad (9-4)$$

$$x_{i,c_i}, y_{i,c_i j_i}, z_{i,c_i j_i k_{i,j,j_i}}, z'_{i,c_i j_i k'_{i,j,j_i}} \in \{0,1\}, \qquad (10-4)$$

هدف اول (۴-۱) کارایی کل جفت‌ها را بیشینه می‌کند. هدف دوم (۴-۲) هزینه‌ی حمل و نقل کل را برای اعضا و بیماران کمینه می‌کند. محدودیت (۴-۳) بیان می‌کند که هر عضو تنها به یک بیمار تخصیص خواهد یافت. محدودیت (۴-۴) نشان دهنده‌ی آن است که به هر بیمار تنها یک عضو تعلق می‌گیرد. محدودیت (۴-۵) بیان می‌کند که اگر جفتی انتخاب شود، به یک و فقط یک مرکز پیوند تخصیص می‌یابد. محدودیت (۴-۶) (محدودیت (۴-۷)) بیان می‌کند که در صورت انتخاب یک جفت و تخصیص آن به یک مرکز پیوند، یک و تنها یکی از مدهای حمل و نقل برای انتقال بیمار (عضو) از مرکز مبدأش به مرکزپیوند مذکور انتخاب می‌شود. محدودیت (۴-۸) تضمین می‌کند که زمان رسیدن عضو و بیمار به مرکز پیوند انتخاب شده، کمتر از زمان ایسکمیک عضو می‌باشد. و هر دو در بازه‌ی زمانی مجاز به مقصد می‌رسند. این محدودیت از اتلاف اعضای پیوندی جلوگیری می-

کند. محدودیت (۴-۹) بیان کننده‌ی این است که تعداد جفت‌ها و متعاقباً اعمال پیوندی تخصیص داده شده به هر مرکز پیوند، از ظرفیت مرکز پیوند (تیم پزشکان و تجهیزات پزشکی بیمارستان، برای اعمال جراحی هر بیمارستان در هر بازه‌ی برنامه ریزی محدودیت‌هایی ایجاد می‌کند.) برای انجام عمل در بازه‌ی برنامه ریزی مورد نظر ما بیشتر نخواهد بود.

خطی سازی مدل: همان طور که مشهود است، در تابع هدف(۴-۲) ضرب سه متغیر باینری x,y,z و در محدودیت (۴-۸) ضرب دو متغیر باینری y,z مدل را غیر خطی نموده است. برای خطی سازی مدل از روش ارائه شده توسط چن و همکاران۳۹ [۲۷]، استفاده می‌کنیم. در ادامه جزئیات روش را شرح می‌دهیم:

متغیرهای باینری جدید $u_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}$ و $u'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}$ را برای تابع هدف و $v_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}$ و $v'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}$ را برای محدودیت (۴-۵) به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$u_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} = x_{i,c_i}, y_{i,c_i,j_i}, z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \quad (11-4)$$

$$u'_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} = x_{i,c_i}, y_{i,c_i,j_i}, z'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \quad (12-4)$$

$$v_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} = y_{i,c_i,j_i}, z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \quad (13-4)$$

$$v'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} = y_{i,c_i,j_i}, z'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \quad (14-4)$$

همچنین محدودیت‌های زیر را نیز به مسئله اضافه می‌کنیم:

$$x_{i,c_i} + y_{i,c_i,j_i} + z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \geq 3u_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \quad (15-4)$$

$$x_{i,c_i} + y_{i,c_i,j_i} + z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \leq 2 + u_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \quad (16-4)$$

$$x_{i,c_i} + y_{i,c_i,j_i} + z'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \geq 3u'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \quad (17-4)$$

$$x_{i,c_i} + y_{i,c_i,j_i} + z'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \leq 2 + u'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \quad (18-4)$$

$$y_{i,c_i,j_i} + z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \geq 3v_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \quad (19-4)$$

$$y_{i,c_i,j_i} + z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \leq 2 + v_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \quad (20-4)$$

$$y_{i,c_i,j_i} + z'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \geq 3v'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \quad (21-4)$$

$$y_{i,c_i,j_i} + z'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \leq 2 + v'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \quad (22-4)$$

$$u'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \leq v_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \leq v'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \leq u_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} \in \{0,1\},$$
$$\forall i, c_i, j_i, k_{i,j,j_i}, k'_{i,j,j_i}$$

پس تابع هدف(۴-۲) و محدودیت(۴-۸) به شکل زیر بازنویسی می‌شوند:

$$min\ w_2 = \left[\sum_{i=1}^{3}\sum_{c_i=1}^{|c_i|}\left[\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} c_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}, u_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} + \sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{k'_{i,j,j_i}=1}^{|k'_{i,j,j_i}|} c'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}, u'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}\right]\right] \quad (23-4)$$

$$max\left\{\left[\sum_{j_t=1}^{|j_t|}\sum_{k_{t,j,j_t}=1}^{|k_{t,j,j_t}|} t_{i,c_t,j_t,k_{t,j,j_t}}, v_{i,c_t,j_t,k_{t,j,j_t}}\right], \left[\sum_{j_t=1}^{|j_t|}\sum_{k'_{t,j,j_t}=1}^{|k'_{t,j,j_t}|} t'_{i,c_t,j_t,k'_{t,j,j_t}}, v'_{i,c_t,j_t,k'_{t,j,j_t}}\right]\right\} \leq T_{i,c_t} \quad ,\forall i, c_i. \quad (24-4)$$

و اضافه کردن محدودیت‌های جدید (۴-۲۵)، (۴-۲۶)، (۴-۲۷) و (۴-۲۸) محدودیت (۴-۲۴) در آخر با معرفی متغیر پیوسته‌ی جدید s_{ic_t} به صورت زیر خطی می‌شود:

$$s_{ic_t} \geq \left[\sum_{j_t=1}^{|j_t|}\sum_{k_{t,j,j_t}=1}^{|k_{t,j,j_t}|} t_{i,c_t,j_t,k_{t,j,j_t}}, v_{i,c_t,j_t,k_{t,j,j_t}}\right],$$
$$\forall i, c_i. \quad (25-4)$$

$$s_{ic_i} \geq \left[\sum_{j_i=1}^{|J_i|}\sum_{k'_{i,j,j_i}=1}^{|K'_{i,j,j_i}|} t'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}} \cdot v'_{i,c_i,j_i,k'_{i,j,j_i}}\right], \quad \forall i, c_i. \quad (26-4)$$

$$s_{ic_i} \leq T_{i,c_i}, \quad \forall i, c_i. \quad (27-4)$$

$$s_{ic_i} \geq 0, \quad \forall i, c_i. \quad (28-4)$$

۵- روش حل

روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه به سه دسته‌ی پیشینی، تعاملی و پسینی تقسیم می‌شوند. روش‌های پسینی به علت پیچیدگی محاسبات، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، اگرچه مزیت‌های زیادی نسبت به سایر روش‌ها دارند. این روش‌ها شامل دو مرحله می‌باشند. در مرحله‌ی اول کلیه‌ی پاسخ‌های کارا تولید می‌شوند و در مرحله‌ی بعدی تصمیم‌گیرنده در حالی که تمام گزینه‌های ممکن (مجموعه‌ی پاسخ‌های بهینه‌ی پارتو) را در دست دارد وارد عمل تصمیم گیری می‌شود. استفاده از این روش در مواردی که تصمیم‌گیرنده کمتر در دسترس است نسبت به سایر روش‌ها که تصمیم‌گیرنده را در حین حل مسئله نیاز دارند، بهتر می‌باشد. در بین روش‌های پسینی دو روش وزن‌دهی و روش تبدیل به قید کارایی بیشتری دارند. این روش دو روش قادر به ارائه‌ی مجموعه‌ی پارتو می‌باشند. روش تبدیل به قید دارای برتری‌های زیر نسبت به روش-های وزن‌دهی می‌باشد:

- روش وزن‌دهی قادر به تولید پاسخ کارای غیر مؤید در مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح و عددصحیح مختلط نمی‌باشد. در حالی که روش تبدیل به قید از این دام می‌گریزد.
- در روش‌های وزن‌دهی مقیاس‌گذاری توابع هدف در پاسخ نهایی تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین مجبور هستیم پیش از تولید مجموع وزنی، توابع هدف را به یک مقیاس یکسان تبدیل کنیم. روش تبدیل به قید این مشکل را ندارد.
- در روش تبدیل به قید قادر هستیم تعداد پاسخ‌های کارای تولید شده را با تنظیم تعداد نقاط شبکه‌ای برای محدوده‌ی تغییرات هر تابع هدف کنترل کنیم.

روش تبدیل به قید افزوده با به کارگیری بهینه‌سازی لکسیکوگرافی[۴۰] برای ایجاد جدول نتیجه[۴۱] بر جلوگیری از تولید پاسخ‌های غیر کارا تمرکز می‌کند. در ادامه نحوه‌ی کار این روش شرح داده می‌شود.

فرض کنید که $f_1(x), f_2(x), \ldots, f_p(x)$ توابع هدف، x بردار متغیرهای تصمیم و S ناحیه‌ی شدنی مسئله(که در قالب مدل(۳) ارائه شده است) باشند. در این روش یکی از توابع هدف بیشینه می‌شود و سایر توابع هدف به عنوان محدودیت استفاده می‌شوند. بنابر این مسئله به صورت مدل(۴) فرموله می‌شود.

$$max(f_1(x), f_2(x), \ldots, f_p(x))$$

s.t.

$$x \epsilon S. \quad \text{مدل(۳)}$$

$$max\, f_1(x)$$

s.t.

$$f_2(x) \geq e_2,$$
$$f_3(x) \geq e_3,$$
$$\ldots$$
$$f_p(x) \geq e_p,$$
$$x \epsilon S. \quad \text{مدل(۴)}$$

با تغییر مقادیر سمت راست محدودیت‌های مربوط به توابع هدف (e_i) پاسخ‌های کارای مسئله به دست خواهند آمد.

برای به کارگیری روش تبدیل به قید افزوده، دانستن محدوده‌ی تغییرات توابع هدفی که به عنوان محدودیت استفاده می‌شوند، لازم است. همان‌طور که ذکر شد، برای محاسبه‌ی این محدوده و ایجاد جدول نتیجه، از روش بهینه‌سازی لکسیکوگرافی برای هر تابع هدف استفاده می‌کنیم. در روش لکسیکوگرافی ابتدا تابع هدف با بیشترین اولویت را ماکزیمم می‌کنیم، $f_1 = z_1^*$. سپس با اضافه کردن تساوی $f_1 = z_1^*$ به عنوان محدودیت به مسئله، تابع هدف دوم را بهینه می‌کنیم. و این روند را تا پایان همه‌ی توابع هدف ادامه می‌دهیم. با استفاده از نتایج حاصل، جدول نتیجه را ایجاد

کرده و محدوده‌ی بدست آمده برای توابع هدف را به ۴ قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم، و از نقاط شبکه ای به عنوان مقدار e_p برای تابع هدف f_p استفاده می‌کنیم. برای تضمین کارایی پاسخ بهینه و جلوگیری از ضعیف بودن کارایی پاسخ‌ها لازم است متغیرهای مازاد یا کمبود s_i را نیز به محدودیت‌های مربوط به توابع هدف اضافه کنیم. در نهایت مسئله به صورت مدل(۵) درخواهد آمد:

$$max(f_1(x) + eps(s_2 + s_3 + \cdots + s_p))$$
$$s.t.$$
$$f_2(x) - s_2 \geq e_2,$$
$$f_3(x) - s_3 \geq e_3,$$
$$\cdots$$
$$f_p(x) - s_p \geq e_p,$$
$$x \epsilon S \ \& \ s_i \epsilon R^+.$$

مدل(۵)

که در این مدل eps یک مقدار به اندازه‌ی کافی کوچک است (معمولاً بین 10^{-3}و10^{-6}). این فرمولاسیون تضمین می‌کند که تنها پاسخ‌های بهینه‌ی کارا تولید می‌شوند. هم چنین توصیه می‌شود که برای جلوگیری از مشکلات ناشی از پیمایش، عبارت s_iرا با s_i/r_i جایگزین نماییم. (r_i همان محدوده‌ی تغییرات تابع هدف i ام می‌باشد.) یعنی تابع هدف به صورت: $max(f_1(x) + eps(s_2/r_1 + s_3/r_3 + \cdots + s_p/r_p))$ خواهد شد[۲۸] با توجه به مزایای یاد شده برای روش تبدیل به قید افزوده، ما نیز استفاده از این روش را برای حل مسئله‌ی دوهدفه‌ی این پژوهش نسبت به سایر روش‌ها ترجیح دادیم.

۶- پیاده سازی مدل و نتایج عددی

در این بخش مدل توسعه داده شده بر روی داده‌های گزارش شده توسط اداره‌ی پیوند و بیماری‌های خاص در سه ماهه‌ی اول سال ۱۳۹۳ پیاده-سازی می‌شود و نتایج عددی ارزیابی و تحلیل می‌شوند. برای اعتبار سنجی مدل ارائه شده، نتایج حاصل از مدل را با نتایج روش فعلی مورد استفاده‌ی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی برای تخصیص عضو مقایسه می‌کنیم.

طبق آمار منتشر شده توسط اداره‌ی پیوند و بیماری‌های خاص وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، در سال ۱۳۹۳، تعداد ۲۵۰۰۰ نفر در لیست انتظار پیوند عضو قرار داشته‌اند. که تعداد حدود ۵۰۰ نفر در انتظار پیوند قلب، ۴۰۰۰ نفر در انتظار پیوند کبد و ۱۸۰۰۰ نفر در انتظار پیوند کلیه بوده اند. تعداد واحدهای فراهم آوری اعضای پیوندی فعال کشور، تعداد مراکز پیوند کلیه، مراکز پیوند کبد، مراکز پیوند قلب و کلیه‌ی مراکز درمانی که بیمار در آن ثبت شده است به ترتیب ۸، ۲۱، ۴، ۲ و ۱۰۰ می‌باشد. مدهای حمل و نقل ممکن برای حمل بیماران و یا اعضای پیوندی شامل مد زمینی و هوایی بوده و مدت زمان و هزینه‌ی حمل اعضا و بیماران بین هر دو مرکز موجود است. بازه‌ی زمانی که برای برنامه‌ریزی انتخاب می‌شود، در بدو ورود یک عضو اهدایی به سیستم شروع می‌شود و با توجه به خاصیت فسادپذیری اعضای پیوندی حداکثر ۷۲ ساعت می-باشد. لازم به ذکر است که ما مدل ارائه شده را برای ۱۰ بازه‌ی برنامه ریزی در سه ماه اول سال ۱۳۹۳ پیاده‌سازی کرده ایم. ممکن است در هر بازه یک یا چند عضو اهدایی داشته باشیم. اطلاعات تعداد عضوهای موجود در سیستم برای هر ۱۰ بازه‌ی برنامه ریزی در جدول (۱) آمده است. پس از ورود یک عضو، جفت‌های بیمار و عضو سازگار شناسایی می‌شوند و سپس اجزای نمره (ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها) و معیار مطلوبیت (خروجی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها) برای هر جفت سازگار محاسبه می‌شوند. در جدول (۲) اجزای نمره و معیار مطلوبیت مورد استفاده در هر نوع پیوند را مشاهده می‌کنید. با استفاده از مقادیر اجزای نمره و مطلوبیت محاسبه شده برای هر جفت پیوندی سازگار و حل مدل مرحله‌ی اول، کارایی همه‌ی جفت‌ها محاسبه شده و به عنوان پارامتر در مدل مرحله‌ی دوم وارد می‌شوند.

جدول (۱) .اطلاعات مربوط به تعداد عضوهای اهدا شده در هر بازه برنامه‌ریزی

بازه‌های برنامه‌ریزی	تعداد عضوهای موجود در سیستم		
	قلب	کبد	کلیه
۱	۲	۳	۹
۲	۱	۵	۱۰
۳	۱	۴	۱۱
۴	۰	۶	۱۱
۵	۲	۴	۱۲
۶	۲	۵	۹
۷	۲	۶	۹
۸	۲	۵	۹
۹	۱ ۳	۵	۸
۱۰		۳	۹

جدول (۲). ورودی‌ها و خروجی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها

ورودی‌ها و خروجی‌های روش DEA	نوع عضو پیوندی		
	قلب	کبد	کلیه
	BTCP[۴۴]	WT[۴۳]	DT[۴۲]
	AGE[۴۵]	BTCP	AGE
اجزای نمره (ورودی‌ها)		زمان کل انتظار در حالت 1Bیا1A	CPRA[۴۶]
معیار مطلوبیت (خروجی)	Survival Rate	Survival Rate	LYFT

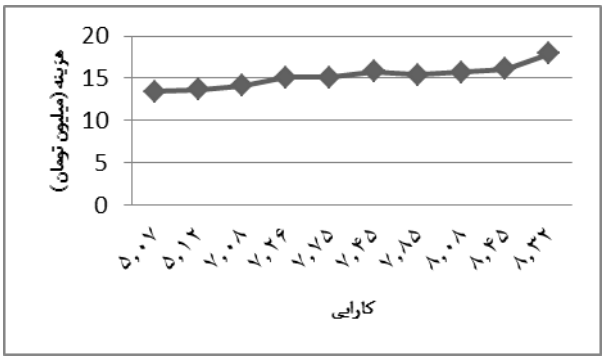
مدل مرحله‌ی دوم همانند مدل مرحله‌ی اول در نرم افزار گمز[۴۷] برنامه‌نویسی شده است. همان طور که ذکر شد روش حل انتخابی ما برای مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه‌ی مرحله‌ی دوم روش تبدیل به قید افزوده می‌باشد. برای استفاده از این روش تعداد ۴ نقطه‌ی شبکه‌ای[۴۸] برای هر دو تابع هدف در نظر گرفته شده است. نتایج به‌دست آمده از حل مدل حاضر به عنوان میانگین پاسخ‌های کارای بهینه برای ۱۰ بازه‌ی برنامه‌ریزی به همراه مقادیر این توابع هدف در حالت اجرای سیاست فعلی مورد استفاده در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی برای تخصیص اعضا در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

روش تخصیص عضو فعلی مورد استفاده در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، به این قرار است که بیماران ابتدا با توجه به مدت زمان انتظار در لیست پیوند عضو، به صورت نزولی مرتب می‌شوند. سپس شاخص‌های فیزیولوژیک مربوط به بیمار با شاخص‌های مربوط به عضو اهدا شده تطابق داده می‌شوند، در صورت تشخیص وجود سازگاری بین بیمار و عضو و کمتر بودن زمان حمل عضو از زمان ایسکمیک مجاز آن، به مکان پیوند عضو به بیمار تخصیص داده می‌شود. در این روش مهم‌ترین عامل در دریافت عضو، مدت زمان انتظار در لیست پیوند عضو می‌باشد. و بعد از آن در صورت وجود سازگاری بین بیمار و عضو، تخصیص انجام می‌شود. ولی همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، مدل تخصیص عضو توسعه داده شده‌ی ما تضمین کننده‌ی حداکثر کارایی عمل پیوند می‌باشد، به صورتی که سعی می‌کند در عین کنترل معیارهایی چون سازگاری فیزیولوژیک و مدت زمان انتظار در لیست انتظار پیوند، با افزایش مجموعه‌ی معیارهای مطلوبیت پزشکی چون LYFT، SR و ... کارایی جفت‌ها را افزایش دهد تا بهترین پیوند ممکن صورت بگیرد. هم‌چنین در این روش انتخاب گیرنده‌ی عضو در تعامل با انتخاب بهترین مکان برای انجام پیوند و بهترین و بهینه‌ترین مد حمل و نقل برای انتقال نه تنها عضو بلکه بیماران با توجه به محدودیت‌های زمانی اسکمیک عضو و امکانات هر واحد پیوند در جهت کاهش هزینه‌های حمل و هزینه‌ی از دست رفتن اعضا انجام می‌شود که مزیت دیگر این روش محسوب می‌شود. مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده برای دو تابع هدف کارایی و هزینه، تحت روش ارائه شده در این پژوهش و تحت روش فعلی مورد استفاده‌ی وزارت بهداشت، که در جدول (۳) آمده است، حاکی از اعتبار و کارایی مدل توسعه داده شده در این پژوهش می‌باشد، زیرا مجموع کارایی محاسبه شده برای جفت‌های انتخابی توسط روش فعلی از مجموع کارایی نهایی محاسبه شده برای جفت‌های انتخابی تحت مدل ارائه شده در این پژوهش کمتر می‌باشد. لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده برای توابع هدف کارایی و هزینه در جدول (۳) مقدار متوسطی از ۱۰ جواب بهینه‌ی مجموعه‌ی پارتویی می‌باشند.

جدول (۳) مقادیر توابع هدف کارایی و هزینه، تحت مدل ارائه شده و تحت روش فعلی مورد استفاده در وزارت بهداشت برای ۱۰ بازه‌ی برنامه‌ریزی در سه ماه اول سال ۱۳۹۳

بازه برنامه‌ریزی	مقدار تابع هدف کارایی		مقدار تابع هدف هزینه (میلیون تومان)	
	روش فعلی	روش توسعه داده شده	روش فعلی	روش توسعه داده شده

۱۵/۶۹	۱۷/۷۵	۷/۴۲	۵/۵۶	۱
۱۷/۶۳	۱۸/۹۱	۷/۴۳	۶/۲۹	۲
۱۸/۱	۲۲/۱۲	۸/۵۲	۶/۱۶	۳
۲۰/۹۸	۲۱/۹۱	۸/۸	۷/۸۵	۴
۲۴/۱۴	۲۴/۱۶	۱۰/۱۴	۹/۷۳	۵
۱۹/۹۹	۲۰/۵۸	۷/۵۵	۶/۹۹	۶
۲۱/۸	۲۲/۱۵	۱۰/۳۱	۸/۳۸	۷
۱۶/۸۸	۱۷/۶۳	۸/۱۹	۸/۱	۸
۱۵/۹۱	۱۶/۳۴	۵/۹۳	۵/۲۸	۹
۱۸/۲۲	۱۹/۱	۹/۹	۸/۷۵	۱۰



شکل (۲). مقادیر بهینه‌ی پارتو برای تابع هدف کارایی در مقابل هزینه برای بازه‌ی برنامه‌ریزی ۱.

شکل (۲)، ۱۰ مقدار بهینه‌ی پارتویی از دو تابع هدف کارایی و هزینه را در مقابل هم نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌کنید دو تابع هدف کارایی و هزینه در تضاد با هم بوده و بهبود یکی تخریب دیگری را در پی دارد. یعنی با افزایش کارایی، هزینه‌ی وارد شده به سیستم زیاد می‌شود. از مزیت‌های دیگر مدل حاضر قابلیت ارائه‌ی مجموعه پاسخ‌های بهینه‌ی پارتویی می‌باشد. یعنی تصمیم‌گیران اطلاعات کاملی از رفتار دو تابع هدف در اختیار دارند و می‌توانند با در نظر داشتن مقادیر مختلف بودجه، مقدار کارایی حاصل را بررسی کرده و تخصیص مناسب را انجام دهند. هم چنین در دست داشتن میزان بودجه‌ی مورد نیاز برای رسیدن به سطح دلخواهی از کارایی به برنامه‌ریزی برای دوره‌های آتی کمک می‌کند.

نتیجه گیری

مسئله‌ی پیوند عضو از دو مرحله‌ی اصلی فراهم آوری و جراحی تشکیل شده است. مرحله‌ی فراهم آوری شامل یافتن گیرنده‌ی مناسب، تخصیص و حمل و نقل عضو و بیماران می‌باشد. مهم‌ترین مشکلاتی که سبب افزایش تعداد افراد در لیست انتظار پیوند می‌شود، پس از کم بود اعضای اهدایی، مربوط به مرحله‌ی فراهم آوری اعضا و مدیریت لجستیکی زنجیره تأمین پیوند عضو می‌باشد. در این پژوهش توجه عمده‌ای بر بخش تخصیص اعضای پیوندی به گیرنده‌ی مناسب و حمل و نقل بهینه‌ی اعضا و بیماران معطوف شد. همان طور که ذکر شد مدل حاضر به سیاستگذاران این انعطاف پذیری را می‌دهد که معیار مطلوبیت و اجزای نمرات دلخواه خود را بنابر شرایط موجود در مدل قرار دهند. سپس مدل جفت‌های بیمار- عضو بهینه را در حالی که کارایی پزشکی موردنظر را حداکثر و هزینه‌های سیستم را حداقل می‌نماید، به عنوان خروجی ارائه می‌دهد. از روش حاضر می‌توان برای انجام تحلیل حساسیتی که نتایج و عواقب تغییر معیارها و اجزای نمرات گوناگون را کاوش می‌کند، استفاده نمود. به عنوان مثال اگر به جای استفاده از شاخص $LYFT$ به عنوان معیار مطلوبیت از شاخص $EWLSP$ استفاده کرده و تابع هدف اول را به مینیمم سازی تغییر دهیم، می‌توانیم تغییراتی را که در مقدار تابع هدف دوم به عنوان هزینه‌های وارد شده به سیستم و مجموع $LYFT$ جفت‌های انتخابی رخ خواهد داد بررسی کرد. در نظر گرفتن شاخص‌های عدالت برای مسئله‌ی تخصیص عضو می‌تواند در مطالات آتی توسط علاقمندان، بررسی شود. هم‌چنین در رابطه با حمل و نقل اعضای پیوندی و بیماران توجه کمتری به مسائل مسیریابی معطوف شده است، علاقه‌مندان می‌توانند در این زمینه‌ی پژوهشی که در ارتباط با مدیریت لجستیکی شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند عضو می‌باشد فعالیت کرده و در هر چه کاراتر شدن مدیریت زنجیره تأمین پیوند عضو کشور مساعدت رسانند.

منابع

1.Behdasht.gov.ir,. 'وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکي'. N.p., 2015. Web. 31 July 2015

2.Bertsimas, D., V.F. Farias, and N. Trichakis, Fairness, efficiency, and flexibility in organ allocation for kidney transplantation. Operations Research, 2013. 61(1): p. 73-87.

3.uzzati, R., Organ Transplantation Management. 2005.

4.Ruth, R.J., L. Wyszewianski, and G. Herline, Kidney transplantation: A simulation model for examining demand and supply. Management Science, 1985. 31(5): p. 515-526.

5.Shechter, S.M., et al., A clinically based discrete-event simulation of end-stage liver disease and the organ allocation process. Medical Decision Making, 2005. 25(2): p. 199-209.

6.Righter, R., A resource allocation problem in a random environment. Operations Research, 1989. 37(2): p. 329-338.

7.David, I. and U. Yechiali, One-attribute sequential assignment match processes in discrete time. Operations Research, 1995. 43(5): p. 879-884.

8.Zenios, S.A., G.M. Chertow, and L.M. Wein, Dynamic allocation of kidneys to candidates on the transplant waiting list. Operations Research, 2000. 48(4): p. 549-569.

9.Zenios, S.A., Optimal control of a paired-kidney exchange program. Management Science, 2002. 48(3): p. 328-342.

10.Roth, A.E., T. Sonmez, and M.U. Unver, Kidney exchange. 2003, National Bureau of Economic Research.

11.Roth, A.E., T. Sönmez, and M.U. Ünver, Pairwise kidney exchange. Journal of Economic theory, 2005. 125(2): p. 151-188.

12Segev, D.L., et al., Kidney paired donation and optimizing the use of live donor organs. Jama, 2005. 293(15): p. 1883-1890.

13.Ashlagi, I., et al., Nonsimultaneous Chains and Dominos in Kidney- Paired Donation—Revisited. American Journal of transplantation, 2011. 11(5): p. 984-994.

14.Kong, N., et al., Maximizing the efficiency of the US liver allocation system through region design. Management Science, 2010. 56(12): p. 2111-2122.

15.Sandikci, B., et al., Estimating the patient's price of privacy in liver transplantation. Operations Research, 2008. 56(6): p. 1393-1410.

16.Akan, M., et al., Optimizing liver allocation system incorporating disease evolution. Submitted for publication, 2008.

17.David, I. and U. Yechiali, A time-dependent stopping problem with application to live organ transplants. Operations Research, 1985. 33(3): p. 491-504.

18.Ahn, J.-H. and J.C. Hornberger, Involving patients in the cadaveric kidney transplant allocation process: A decision-theoretic perspective. Management Science, 1996. 42(5): p. 629-641.

19.Howard, D.H., Why do transplant surgeons turn down organs?: A model of the accept/reject decision. Journal of Health Economics, 2002. 21(6): p. 957-969.

20.Alagoz, O., et al., The optimal timing of living-donor liver transplantation. Management Science, 2004. 50(10): p. 1420-1430.

21.Alagoz, O., et al., Determining the acceptance of cadaveric livers using an implicit model of the waiting list. Operations Research, 2007. 55(1): p. 24-36.

22.Su, X. and S.A. Zenios, Patient choice in kidney allocation: A sequential stochastic assignment model. Operations research, 2005. 53(3): p. 443-455.

23.Su, X. and S.A. Zenios, Recipient choice can address the efficiency-equity trade-off in kidney transplantation: A mechanism design model. Management Science, 2006. 52(11): p. 1647-1660.

24.Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., Measuring efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 1987. 2: p. 429-444.

25.Doyle, J. and R. Green, Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses. Journal of the operational research society, 1994: p. 567-578.

26.R.D.BANKER, A.C., W.W.COOPER, Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopement analyiss. management science, 1984. 30.

27.Chen, D.-S., R.G. Batson, and Y. Dang, Applied integer programming: modeling and solution. 2010: John Wiley & Sons.

28.Mavrotas, G., Effective implementation of the e-constraint method in Multi-Objective. Applied Mathematics and Computation, 2009. 213: p. 455-465

پی نوشت

[1] *Fairness constraints*
[2] *Organ Procurement And Transplantation Network*
[3] *Efficiency*
[4] *Prioritization criteria*
[5] *OPO: Organ Procurement Organization:* درکشور ماOPUمعادل این سازمان می‌باشد.
[6] *Point system*
[7] *Scoring rule*
[8] *Kidney Allocation Score*
[9] *Sensitization*
[10] *Ischemia time*
[11] *Point systems*
[12] *Data Envelopment Analysis*
[13] Augmented ε − Constraint
[14] *Ruth et al.*
[15] *Shechter et al.*
[16] *Righter*
[17] *David and Yechiali*
[18] *Zenios et al.*
[19] *Roth et al.*
[20] *Segev et al.*
[21] *Ashlagi et al.*
[22] *Kong et al.*
[23] *Sandikci et al.*
[24] *Akan et al.*
[25] *David and Yechiali*
[26] *Ahn and Hornberger*
[27] *Howard*
[28] *Alagoz et al.*
[29] *Su and Zenios*

[30] *Bertsimas et al.*
[31] *Hospital : H*
[32] *Transplant Center : TC*
[33] *Organ Procurement Unit : OPU*
[34] *Decision Making Unit : DMU*
[35] Cross – Efficiency
[36] *DMU (Decision Making Unit)*
[37] *Life Years From Transplant : LYFT*
[38] *Survival Rate : SR*
[39] *Chen et al.*
[40] *Lexicographic optimization*
[41] *Payoff table*
[42] *Dialysis time*
[43] *Waiting time*
[44] *Blood type compatibility points*
[45] سن بیمار
[46] سطح حساسیت بیمار
[47] *GAMS*
[48] *Grid point*