

طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران

جعفر عبادی^۱

ناصر الهی^۲

محمدعلی امیرزگار^۳

جلال مولابیگی^{۴*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۸

چکیده

ضرورت طراحی مکانیسم تبادل از این جهت است که برخی از بازارها به دلیل پراکنده بودن عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان شکل نمی‌گیرند. به عبارت دیگر، بازار در این حالت از یک ویژگی نحیف بودن و یا لاغری رنج می‌برد که برای برطرف کردن این ضعف در این نوع بازارها باید مکانیسم‌هایی ابداع شود که بر مشکل اشاره شده فائق آید. بازار کلیه یا به عبارت دیگر سازوکار تبادل کلیه یک نمونه واقعی از این نوع بازارها است. به همین منظور پیشنهاد می‌شود برای ایجاد بازار و یا مکانیسم تبادل، اطلاعات اهداکنندگان کلیه و بیماران در اتاق تسویه‌ای ثبت شوند و بعد از پردازش این اطلاعات و مشخص کردن ترجیحات بیماران، از طریق الگوریتم بهم‌رسانی، زوج‌های سازگار را به هم تطبیق داد و مبادله کلیه را تسهیل نمود. این پژوهش در سال ۱۳۹۵ برای استان همدان با بهره‌گیری از تئوری تطبیق که خود زیرشاخه‌ای از طراحی بازار و طراحی سازوکار است با استفاده از اطلاعات ۴۰ نفر که ۲۰ نفر آن‌ها بیمار دیالیزی و ۲۰ نفر دیگر اهداکنندگان کلیه بودند، انجام گرفت. اطلاعات اولیه بیماران در اتاق تسویه‌ای ثبت شد و بعد از انجام آزمایش‌های خونی و بافتی و مشخص کردن ترجیحات بیماران، مشخص شد که از طریق الگوریتم بهم‌رسانی به تعداد ۱۷ زوج از ۲۰ زوج انتخابی، می‌توانند پیوند کلیه دریافت کنند. نتایج حاصله نشان می‌دهد نه تنها با به‌کارگیری مکانیسم تطبیق تعداد پیوندها نسبت به حالت قبل نزدیک به دو برابر افزایش داشته بلکه با به‌کارگیری این مکانیسم، حداقل به اندازه ۱۶۳۸۱۷۷۹۶ ریال برای هر بیمار، صرفه‌جویی اقتصادی برای کشور در پی خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: طراحی سازوکار، طراحی بازار، تئوری تطبیق، مدل مبادله کلیه، الگوریتم بهم‌رسانی.

طبقه‌بندی JEL: C78, C71, D47, D89, C79, I1

Email: jebadi@ut.ac.ir

۱. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه تهران

Email: elahi@mofidu.ac.ir

۲. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه مفید قم

Email: amirzargar@umsha.ac.ir

۳. استاد گروه ارولوژی دانشگاه علوم پزشکی همدان

Email: jalal_molabeigi@yahoo.com

۴. دکتری اقتصاد (*نویسنده مسئول)

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین وظایف بازار، هماهنگ‌سازی بین عرضه‌کننده و تقاضاکننده است. اگر این وظیفه به شکل ناقص و ناکارا انجام گیرد، بازار شکل نمی‌گیرد یا شکست می‌خورد و در نهایت از هم می‌پاشد؛ زیرا تعداد شرکت‌کنندگان در یک بازار یا بیش از حد زیاد یا بیش از حد کم هست و یا شرایطی بر بازار حاکم می‌گردد که کمتر کسی به راحتی و با اطمینان، اولویت‌هایش را ابراز می‌دارد. چالش بنیادی در طراحی بازار زمانی خواهد بود که اقتصاددانان بازارهای پیچیده را به اندازه کافی درک کنند و به این حد از توانایی برسند که در صورت شکست این بازارها، توانایی بازسازی آنها را داشته باشند و بازارهای جدیدی را برای آنها طراحی کنند و یا اینکه از مکانیسم‌های شبه‌بازاری بهره بگیرند (راث، ۲۰۰۸: ۲۸۵).

وقتی فرایند تعیین و تعدیل قیمت به آرامی عمل می‌کند، عوامل اقتصادی آن چه را که می‌خواهند در قیمتی که مشاهده می‌کنند، انتخاب خواهند کرد؛ اما بسیاری از بازارها پیچیده‌تر از این قانون ساده اقتصادی هستند، در برخی از بازارها، اشخاص قادر به انتخاب کالا یا خدمات نیستند حتی اگر توانایی پرداخت قیمت آن نیز داشته باشند. برای توضیح بیشتر می‌توان گفت که در بازارهای معمول پیوستن دو عنصر خواستن و توانستن (خواستن کالا و توانایی پرداخت قیمت آن) تقاضا را شکل می‌دهد؛ در این گونه از بازارها صرف حضور این دو عنصر ما را به عنوان خریدار معرفی نخواهد کرد چون که در این حالت کالا در کیفیت‌های متعددی ارائه می‌شود و بنابراین تشکیل یک بازار برای چنین کالاهایی امکان‌پذیر نیست. پیچیدگی برخی از بازارها به حدی است که افراد قادر به انتخاب آن چه می‌خواهند حتی با وجود تمایل و توانایی پرداخت قیمت آن نیستند؛ یعنی مکانیسم قیمت و تعدیل خودکار بازار را به نقطه تعادل نمی‌رساند و این به معنی عدم امکان تشکیل چنین بازاری نیست، بلکه عدم توانایی در شکل‌دهی و طراحی چنین بازاری است. به عبارت دیگر هر آن چه دیده نمی‌شود به معنای عدم وجود یا عدم امکان وجود آن نیست. مجموعه مطالعات نوظهور طراحی بازار و نظریه تطبیق سعی دارد بدون استفاده از مکانیسم بازار سنتی (بدون بهره‌گیری از سازوکار قیمت) بستر و فرایندی برای به هم رسیدن طرفین بازار فراهم آورد. به عبارتی در این نظریه سازوکار قیمت مسأله تخصیص منابع را حل نخواهد کرد، بلکه تخصیص براساس شرایط عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان است که طبق الگوریتم پیشنهادی، ترجیحات رتبه‌بندی شده، جایگزین سیستم قیمت‌ها شده و نقش آن را ایفا خواهد کرد.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای طراحی بازار در دهه گذشته مربوط به بازار کلیه و اعضای بدن است. این کار مهم و کاربردی بود که موجبات فراهم آوری جایزه نوبل در علم اقتصاد برای آلون راث^۲ در

1. Market-Like
2. Alvin E. Roth

سال ۲۰۱۲ شد. از آنجایی که در این بازار (سازوکار تبادل کلیه) مشکل صف طولانی انتظار برای پیوند کلیه یک واقعیت انکارناپذیر است و از طرف دیگر به دلیل وجود ناسازگاری‌های بافتی، امکان مبادله یک‌باره ممکن نیست، پس لازم است مدل تطبیقی برای رفع این مشکل تعریف شود که راث و همکارانش سال‌ها تلاش برای رفع این مشکل صرف کردند و توانسته‌اند طی این سال‌ها، جان هزاران نفر را از مرگ حتمی نجات دهند؛ اما در مدل راث، طول چرخه حداکثر ۳ در نظر گرفته شده و معتقد است با کاربرد تطبیق‌های دو طرفه و سه طرفه اثر قابل‌توجهی بر تعداد پیوندها خواهد گذاشت و تطبیق‌های بیش از سه طرفه تأثیر کمتری بر کارایی خواهد داشت (راث و همکاران، ۲۰۰۷: ۸۲۸؛ اشلاقی، ۲۰۱۲: ۳۵۴).

علاوه بر آن در این مدل، گروه‌های خونی ایزو (مشابه) در الگوریتم شرکت نمی‌کنند (اشلاقی^۱ و راث، ۲۰۱۲: ۳۵۸). همچنین در مورد اولویت‌بندی ترجیحات برای بیماران به گروه خونی، بافتی و زمان اشاره کرده است (سونمز و یونیور^۲، ۲۰۱۱: ۵). در روش‌شناسی راث باید به این نکته توجه کرد که او معتقد است برای طراحی بازار باید روش یا الگوریتمی انتخاب شود که بر دلایل شکست بازار غلبه کند. دلایلی چون بازدهی صعودی نسبت به مقیاس، اثرات خارجی، نااطمینانی و علاوه بر دلایل ذکر شده، لاغری^۳ بازار، ازدحام و نبود امنیت برای آشکارسازی ترجیحات نیز در شکست بازار عدم‌تشکیل بازار مؤثر است. راث معتقد است که «معیار واقعی ارزیابی ما اقتصاددانان صرفاً این نیست که تا چه اندازه اصول عمومی حاکم بر تعاملات اقتصادی را درک می‌کنیم، بلکه این است که تا چه اندازه ما می‌توانیم از این دانش برای حل مسائل عملی در مهندسی اقتصاد خرد استفاده کنیم» (راث، ۱۹۹۱: ۱۲۳). به عبارت دیگر، با استفاده از ابزارهای اقتصادی، از جمله نظریه بازی‌ها، مکانیسم‌هایی را می‌توان طراحی کرد که تا بازار به‌طور کارآمد عمل کرده و تخصیص‌هایی به دست دهد که پایدار باشد. به بازارهایی که در آنها کالاها و یا افراد با یکدیگر پیوند داده می‌شوند (این پیوند معمولاً فرآیندی غیرپولی دارد)، بازارهای «تطبیق^۴» گفته می‌شود. یکی از این بازارها، بازار کلیه است. دارا بودن عرضه و تقاضا در مبادله کلیه این مهم را تداعی می‌کند که این بازار قابلیت تحلیل از منظر اقتصادی را دارد. تقاضای کلیه از طرف بیماران و عرضه‌ی آن از طرف اهداکنندگان کلیه^۵ است. از آنجایی که تقاضای پیوند کلیه زیاد است^۶ و افراد بیمار این شیوه درمان را می‌پسندند، پس طبیعی

1. Ashlagi, Itai
2. Sönmez, T. and Ünver M.
3. Thiness
4. Matchin

۵. اهداکنندگان دو نوع هست: ۱- اهداکنندگان مرگ مغزی و ۲- اهداکنندگان زنده

۶. به‌طور مثال در ایران در سال ۲۰۱۵، تعداد اهداکنندگان کلیه که همان طرف عرضه است به تعداد ۲۵۳۱ می‌باشد (Irodat, 2015) و بیماران دیالیزی که در طرف تقاضای کلیه می‌باشد به تعداد ۲۹۱۰۰ نفر است (سالنمای دیالیز، ۱۳۹۴).

است عرضه کلیه نسبت به تقاضای آن در کشور کمبود قابل توجهی داشته باشد. از این روی یک نوع عدم تعادل در این بازارها شکل می‌گیرد که این خود دلیلی برای شکست بازار است (لاغری بازار). علی‌رغم اهمیت طراحی بازار (سازوکار تبادل کلیه) و مشکلات حاد بیماران کلیه در داخل کشور در این زمینه مطالعه‌ای انجام نشده است.

سؤال اصلی پژوهش این است که آیا می‌توان این نوع از بازارها (مکانیسم تبادل^۱) را ایجاد کرد؟ آیا می‌توان مکانیسمی را تعریف کرد که باعث بهم رسیدن طرفین بازار (کلیه‌های عرضه شده با کلیه‌های مورد تقاضا) برای رفع مشکل بیماران کلیوی شد؟ با توجه به این که هر فرد نمی‌تواند از هر فرد دیگر کلیه دریافت کند و کلیه‌های گیرندگان و دهندگان باید با یکدیگر از نقطه نظر آزمایشات خونی و بافتی تطابق داشته باشند، چگونه می‌توان بین عرضه و تقاضای کنشگران مختلف انطباق ایجاد کرد؟ این پژوهش درصدد آن است که معضل بازار کلیه را ارزیابی کند و راهکاری برای حل مشکل ارائه دهد. ساختار این پژوهش به این ترتیب است که در بخش دوم پیشینه پژوهش که شامل مطالعات محدود در ایران و عمده مطالعات راث و همکارانش در خارج است، بیان شده است. سپس به مبانی نظری و تشریح الگوی تطبیق و ویژگی‌های گروه‌های خونی پرداخته می‌شود. مدل‌سازی و برآورد مدل در بخش چهارم ارائه خواهد شد. در پایان نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات خواهد پرداخت.

۲. پیشینه پژوهش

در سال ۲۰۱۲ جایزه نوبل به لوید شپلی و الوین راث^۲ به دلیل ارائه «تئوری تخصیص پایدار و کاربرد طراحی بازار^۳» اعطا شد. شپلی و راث با این که مطالعاتی مستقل از یکدیگر داشتند ولی هر دو در یک زمینه مشترک کار کرده‌اند و به سؤال زیر به صورت مشترک پاسخ داده‌اند. مثلاً چگونه می‌توان بین نیاز بیمارستان به پزشک و نیاز پزشک به فرصت شغلی، رابطه و انطباق برقرار نمود، یا چگونه می‌توان ترجیحات دانش‌آموزان برای انتخاب مدرسه را با ترجیحات مدارس برای انتخاب دانش‌آموز همسو و منطبق کرد. پاسخ به این سؤال‌ها در حیطه وظیفه طراحی بازار بود.

در سال ۲۰۰۳، ۸۶۶۵ پیوند کلیه از اهداکنندگان مرگ مغزی در ایالات متحده آمریکا وجود داشت. این در حالی بود که بیش از شصت هزار بیمار در این کشور در انتظار چنین پیوندی بودند. ۳۴۳۶ بیمار که منتظر عمل پیوند کلیه بودند در این سال جان خود را از دست دادند و به تعداد ۶۴۶۴ بیمار از

۱. البته در ادبیات اقتصادی بجای طراحی مکانیسم از طراحی بازار استفاده شده است. دلیل آن هم این است که در این فضا عرضه کننده و تقاضاکننده کلیه وجود دارد که در آن ترجیحات رتبه‌بندی شده، جایگزین سیستم قیمت‌ها شده و نقش آن را برعهده گرفته است.

2. Lloyd Stowell Shapley and Alvin Elliot Roth

3. The Theory of Stable Allocations and the Practice of Market Design

اهدانکننده زنده در این سال کلیه دریافت کردند. در سپتامبر سال ۲۰۰۴ کمیته نظارت پیوند کلیه در آمریکا ایجاد اتاق تسویه را به تصویب رساند که فکر تأسیس این اتاق توسط فرانسویس دلمونیکو، سوزان سیدمن و سه تن از اقتصاددانان به نامهای راث، سونمز و یونیور^۱ پیشنهاد شده بود (سیدمن و همکاران، ۲۰۰۶: ۷۷۶). در این سال به تعداد کمی مبادله کلیه صورت گرفته بود و یکی از دلایل آن، این بود که جفت‌های ناسازگار در این اتاق تسویه کم بودند. در سال ۲۰۰۵، از ۲۵ زوج انتخاب شده به تعداد ۸ جفت به کمک مبادله دو طرفه به پیوند رسیدند و اگر مبادلات سه طرفه بود به تعداد ۱۱ زوج در تبادل کلیه شرکت می‌کردند (راث و همکاران، ۲۰۰۶: ۲). بعد از این سال بود که مبادله کلیه در ایالات متحده رشد شتابانی گرفت. به طوری که تعداد پیوندها به کمک این مکانیسم در سال ۲۰۱۳ به ۵۹۰ زوج رسید (راث، ۲۰۱۵: ۶۵). مطالعه دیگری که در این زمینه انجام شده مربوط به بازار کار پزشکان در آمریکا است، دانشجویان پزشکی در اوایل دهه ۱۹۰۰ به دنبال این بودند که تا پیش از اتمام تحصیلاتشان، شغلی را در بیمارستان‌ها بیابند. در آن زمان بیمارستان‌ها در رقابت بودند تا بهترین متقاضیان را جذب کنند. تا دهه ۱۹۴۰، بسیاری از دانشجویان در حالی تحصیلاتشان را به اتمام می‌رساندند که دو سال از استخدام خود را سپری کرده بودند یعنی قبل از اینکه بیمارستان‌ها بتوانند به شکلی مطمئن بهترین داوطلبان را شناسایی کنند (راث، ۲۰۱۲: ۸). این اتفاق به وضوح غیربهبینه بود، زیرا در پی این پیشنهادهای پیش از موعد، بیمارستان‌ها اطلاعات کافی از توانایی‌های پزشکان نداشتند. بعد از مدتی ازدواج پزشکان با همکاران خود نیز معضلی به بار آورد؛ زیرا پزشکانی که زن و شوهر بودند تمایل داشتند در کنار هم و در یک بیمارستان مشغول به کار شوند. با این حال بسیاری از زوجها درخواست شغل نمی‌دادند چون بعید می‌دانستند در کنار هم شغل به دست بیاورند و ترجیح می‌دادند فقط در کنار هم زندگی کنند. این مشکل و مشکلات دیگر باعث شد که راث و همکارانش در سال ۱۹۹۵ اقدام به طراحی الگوریتم جدیدی کنند که از سال ۹۷ تا امروز از آن استفاده می‌شود و سالانه بیش از ۲۰ هزار پزشک از طریق آن در بیمارستان‌های سراسر آمریکا مشغول به کار می‌شوند که تقریباً ده درصد از آن‌ها زوجها‌های پزشک هستند. در سال ۷-۲۰۰۶ در نیویورک مسأله جایابی دانش‌آموزان مطرح شد که مکانیسم موجود فاقد کارایی و پایداری بود. شایع‌ترین مکانیسم جایابی که استفاده می‌شد، مکانیسمی بود که در شهر بوستون که در دهه ۸۰ میلادی در کمبریج توسعه داده شده بود. این مکانیسم سعی می‌کند تا جایی که امکان دارد دانش‌آموزان را به اولین اولویت اختصاص دهد. در این مکانیسم سه مشکل اساسی وجود داشت:

۱. بالغ بر ۳۰ درصد دانش‌آموزان به صورت اداری (اجباری) به مدارس معرفی می‌شدند و ترجیحات دو طرف نقشی در این انتخاب‌ها نداشت و لذا تخصیص‌ها ناپایدار بود.

1. Roth A. E., T. Sönmez T. and Ünver M.

۲. والدین دانش‌آموزان ترجیحات واقعی خود را در خصوص مدارس اعلام نمی‌کردند و تلاش داشتند با برخوردهای استراتژیک به اهداف خود برسند.

۳. مدارس رو به رفتارهای استراتژیک آورده بودند و ظرفیت‌های واقعی خود را اعلام نمی‌کردند تا بتوانند در مراحل بعد دانش‌آموزانی را جذب کنند که از نظر خود دانش‌آموز در مدارس نامتناسب جایابی شده‌اند (راث، ۲۰۰۹: ۹۳).

از آنجایی که این مکانیسم (قدیمی) فاقد کارایی و پایداری بود، عبدالقادر اوغلو و همکارانش^۱ در پی این بودند مکانیسم‌های جایگزین برای جایابی تعریف کنند و آن را بکار ببرند. الگوریتمی که آن‌ها برای رفع این مشکلات طراحی کردند همان الگوریتم پذیرش تأخیری بود. مطابق این الگوریتم، دانش‌آموزان لیستی از مدارس محبوب خود را فهرست می‌کنند و مدارس نیز لیستی از دانش‌آموزان مورد نظر خود بر اساس معیارهای گوناگونی مانند معدل، نمرات آزمون‌های استاندارد، نژاد، جنس، سطح درآمد خانواده، محل زندگی دانش‌آموز و ... رتبه‌بندی می‌کنند. هدف نهایی، تقسیم دانش‌آموزان بین مدارس گوناگون است به‌نحوی که اولاً محدودیت ظرفیتی مدارس در نظر گرفته شود و علاوه بر آن، دانش‌آموزان تا حد امکان به محبوب‌ترین گزینه‌های خود و مدارس تا حد امکان به محبوب‌ترین دانش‌آموزان خود دست پیدا کنند. مهم‌تر از آن، این تقسیم دانش‌آموزان بین مدارس باید تا حد امکان پایدار باشد تا هیچ دانش‌آموز و مدرسه‌ای نتوانند جداگانه جورسازی را تغییر دهند.

مکانیسم پذیرش تأخیری مشکل ناکارایی و بی‌ثباتی را ندارد و در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۶ به کمک این الگوریتم در نیویورک توانستند برای نه کلاس جایابی کنند. در این جایابی تقریباً ۹۰ هزار دانش‌آموز به‌صورت بهینه به مدارس انتخابی خود فرستاده شدند (عبدالقادر اوغلو و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۹۵۴).

فاطمی (۲۰۱۰) بازار کلیه در ایران را مطالعه کرده و ضمن توضیح در مورد کارکرد مدل ایرانی در پیوند کلیه، عمده تمرکز آن بر روی اثرات وجود یک بازار آزاد برای اعضای بدن انسان بوده و معتقد است که اگر برای اعضای بدن انسان، بازار آزاد وجود داشته باشد و تجارت بین گروه‌های خونی در داخل آزاد باشد هر چند اثر منفی بر رفاه برخی از بیماران دارد اما باعث افزایش رفاه اجتماعی می‌شود. جلیلی (۱۳۹۵) در طراحی بازار آب در حوزه آب ریز زاینده‌رود با استفاده از الگوریتم گیل-شپلی اقدام به تطبیق عرضه‌کنندگان آب و تقاضاکنندگان آب در ۵ بخش آب شرب شهری، کشاورزی، صنعت و معدن، گردشگری و محیط‌زیست نمود. مکانیسم طراحی شده برای بازار آب در دو سناریوی با عدم وجود و وجود بخش‌های محیط زیست و گردشگری تطبیق یافت. در حالت دوم و کامل‌تر مکانیسم از سمت عرضه‌کنندگان در پنج مرحله و از سمت تقاضاکنندگان در شش مرحله انطباق یافت.

1. Abdulkadiroğlu, Pathak and Roth.

عبادی و همکاران (۱۳۹۴) نظریه طراحی بازار را در بازار نیروی کار پزشکی ایران در بخش غیردولتی بکار برده و معتقد است علت بیکاری پزشکان به واسطه عدم توزیع مناسب نیروی کار است. بطوری که تعداد نیروی کار پزشکی در شهرهای بزرگ زیاد بوده و با مازاد عرضه مواجه هستیم. این تعداد در شهرهای کوچک کم بوده و شاهد مازاد تقاضا هستیم که این نوع خاص از بیکاری باعث شکست بازار می‌شود و راه حل برون‌رفت از آن، طراحی بازار در این حوزه است. ایشان با بهره‌گیری از یک بازار آزمایشی و ارائه مدل برای آن پیشنهاداتی را برای اصلاح بازار کار عنوان کرده است. نصیری اقدام و همکاران (۱۳۹۳) به نظریه طراحی بازار پرداخته و در آن به ریشه‌های شکست بازار اشاره نموده است. این پژوهش با توضیحی در مورد الگوریتم پذیرش تأخیری و به‌کار بردن آن در یک مثال فرضی به پایان رسیده است.

۳. مبانی نظری

نظریه طراحی مکانیسم که به آن «بازی طراحی مکانیسم» نیز گفته می‌شود، مطالعه طراحی قواعد یک بازی یا سیستم است. از این منظر می‌توان به ارتباط تنگاتنگ میان نظریه بازی‌ها و این نظریه پی برد. با این تفاوت که نظریه بازی‌ها قواعد یک بازی را به صورت از پیش داده شده در نظر گرفته و بر این اساس رفتار بازیکنان را پیش‌بینی می‌کند. درحالی که وظیفه نظریه طراحی مکانیسم، ایجاد انتخاب بهینه در قواعد بازی است؛ یعنی همان چیزی که نظریه بازی‌ها آن را داده شده فرض می‌کند. به همین علت است که طراحی سازوکار را زیرمجموعه نظریه بازی می‌دانند. آنچه در این پژوهش مدنظر قرار می‌گیرد زیرمجموعه‌ای از طراحی سازوکار بنام طراحی بازار و تئوری تطبیق است.

۳-۱. تئوری تطبیق

تئوری تطبیق، بخشی از اقتصاد است که تمرکز آن بر سؤالاتی از قبیل "چه کسی چه چیزی را دریافت می‌کند؟" خواهد بود. این مسأله زمانی بارزتر است که با کالاهای کمیابی مواجه هستیم که باید بین افراد تخصیص داده شوند و دارای دو ویژگی تقسیم‌ناپذیری و ناهمگنی هستند. به‌طور مثال، چه کسی در چه شغلی کار می‌کند، کدام دانش‌آموزان به کدام مدارس می‌روند یا برای پیوند اعضای بدن موجود چه افرادی انتخاب می‌شوند و مثال‌های فراوانی از این دست که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد. برای بسط بیشتر موضوع می‌توان این نکته را متذکر شد که پیوند اعضای بدن به‌وضوح دو ویژگی مدنظر ما را دارند. به این معنا که هم تقسیم‌ناپذیر و هم غیرهمگن هستند (راث، ۲۰۰۷: ۱). تئوری تطبیق در بازارهای جدیدتری اجرا شده است که شاید بتوان گفت مشخصه اصلی و مشترک این نوع بازارها عدم توانایی در استفاده از سیستم قیمت‌ها در تسویه بازار است (راث، ۲۰۰۵: ۱۵۲). در این بازارها مکانیسم قیمت‌ها نمی‌تواند کارکرد مناسبی از خود نشان دهد و مسئله تخصیص منابع نه با استفاده از سازوکار قیمت، بلکه تخصیص براساس شرایط عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان است و در

این بخش است که تئوری تطبیق و سازوکارش وارد عمل می‌شود و شرکت‌کنندگان در بازار را با یکدیگر تطبیق می‌دهد. این مکانیسم با توجه به نوع کاستی‌های بازار و ویژگی‌های حاکم بر بازار طراحی می‌شود. البته مکانیسم طراحی شده باید در عمل به اجرا درآید تا کاستی‌های آن مشخص گردد و کاستی‌های آن در زمان‌های بعد از طراحی مرتفع شود. وجود نهادهایی در بر پا کردن الگوریتم‌های بهم‌رسانی، معنایی جز ایجاد ضخامت (رهانیدن بازار از نحیف بودن) در بازارهای مربوطه را ندارد. وجود لیستی از ترجیحات و درخواست‌ها از جانب طرفین بازار و روبه‌رو شدن درخواست‌ها در یک مرکز تسویه به پراکندگی موجود در بازارها نظم بخشیده و عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان را با هم تطبیق می‌دهد. الگوریتم‌های بهم‌رسانی علاوه بر رفع مشکل نحیف بودن بازار، برای غلبه بر بازارهای پرازدحام نیز مفید است.

۳-۱-۱. مدل تطبیق دوسویه^۱

تطبیق دوسویه حالتی است که در آن سمت عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان نیاز به تطبیق دارند و هر دو طرف دارای لیست ترجیحات هستند و بستگی به این‌که کدام طرف ثابت و کدام طرف پیشنهاددهنده باشد در الگوریتم بهم‌رسانی شرکت می‌کنند. بازار ازدواج و بازار نیروی کار از جمله بازارهایی هستند که می‌توان در این گروه جای داد و ساده‌ترین آن مدل ازدواج است که در این مدل، هر زن یا مردی در جستجوی تنها یک مرد و یا زن است. مدل ازدواج از دو گروه عوامل جدا از هم تشکیل شده است:

$$\text{مردان} = \{m_1, m_2, \dots, m_n\} \quad \text{زنان} = \{w_1, w_2, \dots, w_p\}$$

در اینجا مجموعه مردان متشکل از n مرد و مجموعه زنان هم متشکل از p زن می‌باشد. هرکدام از آن‌ها دارای ترجیحات کامل و انتقال‌پذیر نسبت به عوامل موجود در سوی دیگر بازار است. امکان عدم تطبیق در این مدل‌ها که دور از ذهن هم نیست در این مدل با عنوان "تطبیق با خود" مشخص می‌شود. به این معنی که در این مدل ممکن است یک فرد در یک سمت بازار به واسطه ترجیحاتی که برای خودش در نظر می‌گیرد با هیچ فردی تطبیق نیابد و در این حالت مدل و تئوری به صورت پیش فرض او را با خودش تطبیق می‌دهد. همان‌طور که عنوان شد، این حالت را تطبیق با خود می‌نامند. ترجیحات را می‌توان به عنوان لیست‌هایی با همین عنوان (لیست ترجیحات) نشان داد و در این‌جا از نماد $p(m)$ استفاده می‌شود. به عنوان مثال اگر اولین انتخاب مرد m_i باشد و انتخاب دوم او w_2 باشد در واقع به این معنا خواهد بود که از دیدگاه او w_3 بر w_2 ترجیح دارد:

$$[w_3 >_{m_i} w_2]$$

1. Two sided

در برخی از حالات، فرد ترجیح می‌دهد که در این فرآیند هیچ تطبیقی به او اختصاص نیابد. در این مدل برای مرد مذکور می‌توان ترجیحات را به صورت زیر تعریف کرد:

$$p(m_i) = w_3, w_2, \dots, m_i$$

به این معنا که از دیدگاه این مرد، w_3 بر w_2 ترجیح دارد و در لیست ترجیحات او به جایی می‌رسیم که او تنهایی و تطبیق با خود را بر سایر گزینه‌ها ترجیح می‌دهد. اگر عامل k (این عامل در هر سمت بازار می‌تواند حضور داشته باشد، یعنی می‌تواند زن یا مرد باشد) ترجیح دهد که این تطبیق با عامل، تنها بماند، در این صورت خواهیم داشت:

$$[k >_k j]$$

به این معنا که تنها بودن و عدم تطبیق برای عامل k ، از بودن با عامل j بهتر و مطلوب‌تر است. اگر یک عامل بین دو فرد قابل قبول، بی‌تفاوت نباشد و بین تطبیق یا عدم تطبیق تفاوت گذارد، در این حالت فرد دارای ترجیحات قوی است. یا به بیان دیگر اگر شخصی بین دو جایگزین پذیرفته شده بی‌تفاوت نباشد، در این صورت او را دارای ترجیحات قوی می‌دانیم (راث و سوتومايور، ۱۹۹۲: ۴۹۲). اگر فرآیند تطبیق را با تابع μ نشان دهیم، آن‌گاه برای این تطبیق باید شرایط زیر برقرار باشد:

$$\mu(w) = M \quad \text{اگر} \quad W = \mu(m)$$

و برای همه m ها و w ها، هر $\mu(w) = M$ یا در M هست یا اینکه $\mu(w) = W$ و همین‌طور برای عامل دیگر خواهیم داشت $\mu(m) = W$ یا در W هست یا اینکه $\mu(m) = m$ خواهد بود و به این معنا خواهد بود که یک تطبیق، دو عامل در دو سمت مختلف را با هم تطبیق می‌دهد و یا اینکه آن‌ها را با خودشان تطبیق می‌دهد که به معنای عدم تطبیق خواهد بود. اصطلاحاً گفته می‌شود فرآیند تطبیق توسط یک فرد مثل k مسدود شده است در حالتی که k تنها بودن و عدم تطبیق را به فرآیند تطبیق $\mu(k)$ ترجیح می‌دهد یعنی:

$$k >_k \mu(k)$$

یک فرآیند تطبیق را اصطلاحاً مسدود شده توسط یک جفت از عوامل (m, w) می‌نامند اگر هر کدام از این دو عامل یکدیگر را به شریکی که فرآیند تطبیق برای آن‌ها برمی‌گزیند، ترجیح دهند:

$$m >_w \mu(w) \quad w >_m \mu(m)$$

1. Roth, A.E. and Sotomayor, M.

که در اینجا $\mu(w)$ و $\mu(m)$ ، جفت‌هایی هستند که فرآیند تطبیق برای آن‌ها در نظر گرفته است. فرآیند تطبیق را دارای ثبات^۱ خوانند اگر توسط شخص و یا دو عامل مقابل هم مسدود نشده باشد. یک تطبیق باثبات، یک بهینه پارتو است و یک تطبیق کارا در هسته^۲ قرار خواهد گرفت. در این مدل ساده مجموعه تطبیق‌های باثبات برابر با هسته هستند. (راث و سوتومایور، ۱۹۹۲: ۴۹۴).

۳-۱-۲. مدل‌های تطبیق یک‌سویه

نوع دیگری از تطبیق، تطبیق یک‌سویه است که در بسیاری از بازارها امکان پیدایش چنین تطبیق‌هایی وجود دارد. یکی از این تطبیق‌ها زمانی است که هر شرکت‌کننده‌ای در بازار با هر شرکت‌کننده دیگری می‌تواند تطبیق یابد و لزوماً برای بازار، دو سو و جهت تعریف نمی‌شود و تمام شرکت‌کنندگان در یک گروه قرار می‌گیرند. مثالی از این نوع می‌توان به گروهی از افراد اشاره کرد که می‌خواهند با یکدیگر هم‌اتاقی شوند (مثل افرادی که در خوابگاه‌های دانشجویی ملزم به انتخاب هم‌اتاقی می‌شوند). هر کدام از این افراد می‌تواند با دیگری هم‌اتاق شود و در دو سمت بازار قرار نمی‌گیرند. افرادی که در این نوع از تطبیق‌ها حضور دارند، همگی در یک گروه بوده و اهداف یکسانی دارند. البته ذکر این نکته هم لازم است که الزاماً تمامی تطبیق‌ها کارآمد نخواهند بود. یکی از تطبیق‌های موجود و معروف، تطبیقی است که در بازار پیوند کلیه انجام می‌گیرد و از نوع یک‌سویه است. از آن جهت در گروه تطبیق‌های یک‌سویه قرار می‌گیرد که در این نوع تطبیق، افراد همگی دارای خواست‌های یکسان (پیوند کلیه) هستند.

۳-۱-۳. ویژگی‌های خونی مورد نیاز در پژوهش

دو ویژگی ژنتیکی نقش کلیدی در موفقیت پیوند کلیه دارد: ۱- گروه خونی، ۲- نوع بافتی بدن (راث، ۲۰۰۷: ۶)

۱- **گروه خونی:** به‌طور کلی ۴ گروه خونی با نام‌های A، B، AB و O وجود دارد. علت این نامگذاری به حضور یا عدم حضور پروتئین A و B مربوط است. اگر در خون فردی، یکی از این پروتئین‌ها موجود باشد به همان نام خوانده می‌شود و اگر هر دوی این پروتئین‌ها موجود باشند گروه خونی AB نامیده می‌شود و اگر هیچ‌یک از این پروتئین‌ها موجود نباشد، گروه خونی O نامیده می‌شود.

در این مدل، ناسازگاری گروه خونی ساختار تعریف شده‌ای دارد. به این صورت که بیماری که در گروه خونی‌اش پروتئین‌های A یا B را دارد، می‌تواند از بیماری که این پروتئین‌ها را در خونش دارد، کلیه دریافت کند. با توجه به این تعریف، بیمارانی با گروه خونی O، می‌توانند تنها از افرادی که دارای همین گروه خونی هستند، کلیه دریافت کنند و بیمارانی با گروه خونی A می‌توانند از افرادی با

1. Stable
2. Core

گروه‌های خونی A و O کلیه دریافت کنند. برای گروه خونی B نیز، گروه B و O گروه‌های خونی مناسبی هستند. گروه خونی AB به علت داشتن هر دو نوع پروتئین، می‌تواند از تمامی گروه‌های خونی کلیه دریافت کند و گروه خونی O نیز می‌تواند به تمامی گروه‌های خونی کلیه اهدا کند؛ و بالاخره افراد با گروه خونی AB فقط به بیماران گروه خونی مشابه خود می‌توانند کلیه اهدا کنند. بیماران گروه خونی O دارای بیشترین مشکلات پیوند کلیه هستند. درحالی‌که اهدا کننده گروه خونی O هرگز ناسازگاری‌های گروه خونی با دیگر بیماران را نخواهد داشت (راث، سونمز و یونیور، ۲۰۰۵: ۱۵۶).

ناسازگاری‌های بافتی HLA^۱: HLA یا آنتی‌ژن گلوبول سفید نشانگرهایی هستند که بر روی اکثر سلول‌های بدن فرد وجود دارند. سیستم ایمنی بدن با استفاده از این نشانگر می‌تواند تشخیص دهند کدام سلول به بدن فرد تعلق دارد و کدام ندارد. مطابقت نزدیک بین نشانگرهای HLA در فرد دهنده و گیرنده موجب کاهش خطر حمله سلول‌های ایمنی فرد دهنده به شخص گیرنده و در نتیجه افزایش نتیجه پیوند خواهد شد. از طریق تست تطبیق متقاطع^۲ قبل از پیوند دریافت کننده بالقوه برای وجود پادتن‌ها تست می‌شود. حضور آنتی‌بادی‌ها سبب مثبت شدن تست تطبیق می‌شود که به‌طور مؤثر باعث جلوگیری از پیوند خواهد شد.

اولویت هر بیمار در لیست انتظار به‌وسیله عوامل زیر مشخص می‌شود:

۱- گروه خونی، ۲- HLA، ۳- زمان ثبت نام و
برای کاهش مشکلات بیماران، پیشنهادهای متفاوتی ارائه شده است:
راث (۱۹۹۷) پیشنهاد داد که برای افزایش عرضه کلیه از طرف اهداکنندگان زنده، مبادله بین دو زوج صورت گیرد.

راث (۲۰۰۰) برنامه مبادله دیگری به نام برنامه مبادله غیرمستقیم را پیشنهاد داد. به این صورت که اهداکننده بالقوه‌ای که ناسازگار با گیرنده مورد نظر خود است کلیه خود را به بیمارانی که در لیست انتظار هستند بدهد و بیمار اهدا کننده کلیه که نتوانسته است کلیه دریافت نماید در لیست انتظار از اولویت برخوردار شود؛ اما انتقاد گسترده‌ای که به این مدل وارد می‌شود این است که بیماران گروه خونی O که اهداکننده زنده ندارند متضرر می‌شوند. چون این گروه فقط از گروه خونی O می‌تواند مستقیماً کلیه دریافت کند و اهداکننده زنده‌ای که گروه خونی O دارد خیلی کمتر به ائتلاف می‌پیوندد، زیرا او می‌تواند کلیه خود را به بیمار مورد نظر خود بدهد مگر این‌که تست تطبیق متقاطع او مثبت در بیاید. علاوه بر آن راس و وودل^۳ (۲۰۰۰) انتقاد دیگری بر این سیستم وارد کردند. به این صورت که

1. Human Leukocyte Antigen
2. Cross-Match
3. Ross, L. F. and Woodle, E. S.

سیستمی که در آن فقط ناسازگاری‌های گروه خونی وجود دارد سیستم مبادله غیرمستقیم منجر به بهبود پاراتو نخواهد شد چرا که بخش مهمی از گروه‌های خونی ناسازگار مربوط به بیماری با گروه خونی O است. وقتی اهداکننده کلیه خود را به یک بیمار دیگر اهدا می‌کند یک بیمار از لیست انتظار حذف می‌شود و بیماری به لیست اضافه می‌شود که احتمال دریافت کلیه سازگار برای او پایین است و مهم‌تر اینکه این فرد نسبت به بیمار دیگری با گروه خونی O که ممکن است مدت‌ها در انتظار بوده باشد در اولویت قرار می‌گیرد. از این حیث این تغییر یک بهبود پاراتو نیست.

۴. مدل سازی بازار کلیه

در بازار کلیه معمولاً چهار زوج قابل تصور است:

زوج‌های بیش از حد درخواستی^۱: زوجی است که بین دهنده و گیرنده (بیمار) موردنظر سازگاری گروه خونی وجود دارد.

زوج‌های کمتر از حد درخواستی^۲: زوجی است که بین دهنده (اهداکننده) و گیرنده (بیمار) سازگاری گروه خونی وجود ندارد.

زوج‌های خود - درخواستی^۳: زوجی است که کلیه دهنده (اهداکننده) و گیرنده (بیمار) از هر جهت مشابه باشند.

زوج‌های متقابلاً درخواستی^۴: به زوجی که دهنده و گیرنده آنها متقابلاً دارای گروه خونی مشابه باشند، زوج‌های متقابلاً درخواستی می‌گویند.

بنابراین زوج‌های^۵ (O-A), (O-B), (O-AB), (A-AB), (B-AB), (B-A), (A-B) زوج‌های کمتر از حد درخواستی هستند که این زوجها انتظار طولانی برای پیوند نسبت به بقیه زوجها دارند. زوج‌های (A-O), (B-O), (AB-O), (AB-A), (AB-B) زوج‌های بیش از حد درخواستی هستند.

جدول ۱: وضعیت زوج‌های ممکن

AB	B	A	O	دهنده گیرنده (بیمار)
u	u	u	S	O
u	r	s	O	A
u	s	r	O	B
s	o	o	O	AB

منبع: یافته‌های پژوهش

1. Over-Demanded
2. Under-Demanded
3. Self-Demanded
5. Reciprocal Demanded

۵. در همه زوجها گروه خونی اول متعلق به بیمار و گروه خونی دوم متعلق به اهداکننده است.

در جدول فوق، اگر در یک زوج، گیرنده و دهنده گروه خونی مشابه داشته باشند معروف به زوج خود درخواستی هستند که با حروف s نشان می‌دهیم و اگر در یک زوج، گیرنده دارای گروه خونی A و دهنده آن دارای گروه خونی O و یا اگر گیرنده دارای گروه خونی B و دهنده دارای گروه خونی O و همچنین اگر گیرنده دارای گروه خونی AB و دهنده آن دارای یکی از گروه‌های O, A, B باشد معروف به زوج بیش از حد درخواستی است که با حروف o نشان می‌دهند؛ و نیز اگر در یک زوج، گیرنده دارای گروه خونی O و دهنده آن دارای یکی از گروه‌های خونی AB, B, A باشد و یا اگر گیرنده دارای گروه خونی A و دهنده آن دارای گروه خونی AB و همچنین اگر گیرنده دارای گروه خونی B و دهنده آن دارای گروه خونی AB باشد، معروف به زوج کمتر از حد درخواستی است که با حرف u نشان می‌دهند؛ و اگر در یک زوج، گیرنده دارای گروه خونی A و دهنده آن دارای گروه خونی B و یا اگر گیرنده دارای گروه خونی B و دهنده آن دارای گروه خونی A باشد در آن صورت این زوج‌ها معروف به زوج متقابلاً درخواستی هستند که با حرف r نشان داده شده است. زوج‌های کمتر درخواستی در تطبیق، سخت‌تر از بقیه زوج‌ها هستند. اگر سازگاری گروه خونی شرط موفقیت اهدای کلیه باشد در آن صورت زوج‌های بیش از حد درخواستی و خود درخواستی نیازی به شرکت در تطبیق نخواهند داشت زیرا به آسانی این زوج‌ها با جفت خود تطبیق می‌یابند. پس علاوه بر سازگاری گروه خونی، سازگاری بافتی هم در تطبیق مهم است (دیکرسون^۱، ۲۰۱۲: ۳). از آنجایی که تعداد زوج‌های (O-A) بیشتر از (O-A) بیشتر از (A-O)، (O-B) بیشتر از (B-O)، (O-AB) بیشتر از (AB-O)، (A-AB) بیشتر از (AB-A) و (B-AB) بیشتر از (AB-B) است پس می‌توان با مبادله تطبیق دوطرفه^۲ و سه‌طرفه^۳ تا حدودی از مشکلاتشان کاست.

۴-۱. مبادله تطبیق دوطرفه و سه‌طرفه

دو زوج را در نظر بگیرید که دهنده‌های آن‌ها با بیماران خود ناسازگار هستند ولی با بیماران زوج متقابل سازگاری دارند. اگر این دو زوج در مبادله شرکت کنند به آن مبادله دوسویه گویند. مثل زوج (O-A) که بیمار دارای گروه خونی O و دهنده او دارای گروه خونی A می‌باشد و زوج (A-O) که بیمار دارای گروه خونی A و دهنده او دارای گروه خونی O می‌باشد. اگر n را تعداد در نظر بگیریم در آن صورت حداکثر تعداد مبادلات و پیوند کلیه به صورت زیر می‌باشد (راث، ۲۰۰۷: ۸۳۱):

1. Dickerson. John, P
2. Two – way Exchange
3. Three – way Exchange

$$2\{n(A-O)+n(B-O)+n(AB-O)+n(AB-A)+n(AB-B)\}+(n(A-B)+n(B-A)-|n(A-B)-n(B-A)|)+2[\quad (1)$$

$$\left[\frac{n(A-A)}{2} \right] + \left[\frac{n(B-B)}{2} \right] + \left[\frac{n(AB-AB)}{2} \right] + \left[\frac{n(O-O)}{2} \right] \quad (1)$$

علامت براکت به این معنی است که اگر تعداد جفت‌های (A-A)، (B-B)، (AB-AB) و (O-O) زوج باشد مشکلی وجود ندارد ولی اگر فرد باشد در مبادله سه‌طرفه کاربرد دارد. به‌طور مثال:

۱- اگر یک زوج (A-A) وجود داشته باشد که در آزمایش بافتی، بافت دهنده با گیرنده خود تطبیق نکند در آن صورت می‌تواند با زوج (A-B) و زوج (B-A) در مبادله به شرط آن که دهنده‌ها با بیماران زوج‌های دیگر سازگاری بافتی داشته باشند، به‌صورت زیر شرکت کند:

(B-A , A-A , A-B)

دهنده زوج (B-A) که دارای گروه خونی A است به بیمار زوج (A-A) کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج که دارای گروه خونی A است به بیمار زوج (A-B) که دارای گروه خونی A است کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج نیز با گروه خونی B با بیمار زوج (B-A) تطبیق می‌یابد.

۲- گروه خونی زوج (AB-O) که در آن گیرنده (بیمار) دارای گروه خونی AB و دهنده آن دارای گروه خونی O است، می‌تواند به‌صورت زیر تطبیق یابد:

(AB-O, O-B , B-AB)

دهنده زوج (AB-O) که دارای گروه خونی O است به بیمار زوج (O-B) کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج که دارای گروه خونی B است به بیمار زوج (B-AB) که دارای گروه خونی B است کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج نیز با گروه خونی AB با بیمار زوج (AB-O) تطبیق می‌یابد.

(AB-O, O-A , A-AB)

دهنده زوج (AB-O) که دارای گروه خونی O است به بیمار زوج (O-A) کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج که دارای گروه خونی A است به بیمار زوج (A-AB) که دارای گروه خونی A است کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج با گروه خونی AB با بیمار زوج (AB-O) تطبیق می‌یابد.

۳- زوج (B-O) که در آن گیرنده (بیمار) دارای گروه خونی B و دهنده آن دارای گروه خونی O است، می‌تواند به‌صورت زیر تطبیق یابد:

(B-O, O-A , A-B)

۱. در همه زوج‌ها فرض می‌کنیم که دهنده زوج‌ها با بیماران زوج‌های دیگر دارای سازگاری بافتی هستند.

دهنده زوج (B-O) که دارای گروه خونی O است به بیمار زوج (O-A) کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج که دارای گروه خونی A است به بیمار زوج (A-B) که دارای گروه خونی A است کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج با گروه خونی B با بیمار زوج (B-O) تطبیق می‌یابد.

۴- زوج (AB-A) را در نظر بگیرید:

(AB-A, A-B, B-AB)

دهنده زوج (AB-A) که دارای گروه خونی A است به بیمار زوج (A-B) کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج که دارای گروه خونی B است به بیمار زوج (B-AB) که دارای گروه خونی B است کلیه می‌دهد و دهنده همین زوج با گروه خونی AB با بیمار زوج (AB-A) تطبیق می‌یابد. با این کار زوج‌های (A-B) که در مبادله دوطرفه تطبیق نیافتند در مبادله سه‌طرفه با زوج‌های (B-O) و (AB-A) تطبیق می‌یابند. پس اندازه پیوندها در این حالت نسبت به حالت دوطرفه به اندازه زیر افزایش می‌یابد:

$$\text{MIN}\{(n(A-B) - n(B-A)), (n(B-O) + n(AB-A))\}^1$$

پس در حالت مبادله سه‌طرفه حداکثر تعداد پیوندهایی که انجام می‌گیرد عبارتند از (راث، ۲۰۰۷، ۸۳۵):

$$2\{n(A-O) + n(B-O) + n(AB-O) + n(AB-A) + n(AB-B)\} + (n(A-B) + (B-A) - |n(A-B) - (B-A)|) + [n(A-A) + n(B-B) + n(AB-AB) + n(O-O)] + n(AB-O) + \text{MIN}\{[n(A-B) - n(B-A)], [n(B-O) + n(AB-A)]\} \quad (2)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود هر چه تعداد مبادلات زیاد می‌شود تعداد پیوندها نیز افزایش می‌یابد. در نبود این مکانیسم، بیشتر زوج‌های مذکور در لیست، در حالت انتظار می‌مانند که ممکن بود در این راه اصلاً به پیوند نرسند.

۴-۲. مکانیسم پیشنهادی برای مبادله کلیه

راث و همکارانش با استفاده از الگوریتم گیل و شپلی طراحی زیر را انجام دادند (راث، سونمزو یونیور، ۲۰۰۰: ۸۵۰):

۱. چون فرض کردیم که تعداد زوج (A-B) نسبت به زوج (B-A) مازاد دارد و از طرفی این مازاد با زوج‌های (AB-A), (B-O) در مبادله سه‌طرفه تطبیق یافته‌اند پس طبیعی است که حداکثر تعداد پیوندها بستگی به این دارد که کدام زوج در حداقل باشد: تعداد زوج‌های (A-B) که در مبادله دوطرفه مازاد داشته و یا مجموع تعداد زوج‌های (AB-A), (B-O).

۴-۲-۱. الگوریتم دوری

در الگوریتم دوری، دهنده ۱ در زوج ابتدایی ۱ با بیمار ۲ در زوج ابتدایی ۲ سازگاری دارد. پس دهنده زوج ابتدایی ۱ با گیرنده زوج ابتدایی ۲ تطبیق می‌یابد و کلیه خود را به بیمار ۲ برای پیوند واگذار می‌کند. دهنده زوج ۲ به بیمار زوج ۳ کلیه اهدا می‌کند و دهنده زوج $m-1$ با بیمار زوج m سازگاری دارد و کلیه خود را برای اهدا به این بیمار می‌دهد و دهنده زوج m به بیمار زوج ۱ کلیه خواهد داد. اگر چنین شرایطی پیش آید، مبادله کلیه بین زوج‌های مختلف انجام می‌شود و یک حلقه کامل مبادله شکل می‌گیرد درحالی‌که بدون این مبادله زوج‌های ناسازگار از هم جدا می‌شدند و بیمار به لیست انتظار می‌پیوست. نقش مهم این الگوریتم به هم رساندن اهداکنندگان و بیماران است که می‌توانند با همدیگر تشکیل یک زوج سازگار بدهند.

۴-۲-۲. الگوریتم زنجیره‌ای

در الگوریتم زنجیره‌ای، دهنده ۱ متعلق به بیمار ۱ است ولی بیمار ۲، کلیه دهنده ۱ را ترجیح می‌دهد درحالی‌که این کلیه برای بیمار ۱ است و دهنده بیمار ۲ کلیه خود را به بیمار ۳ می‌دهد و ... این در حالی است که دهنده بیمار m با بیمار ۱ سازگاری ندارد و ترجیح می‌دهد با اولویت به لیست انتظار بپیوندد. به این ترتیب یک زنجیره شکل می‌گیرد که در نهایت آن یک نفر به لیست انتظار می‌پیوندد و یک کلیه (کلیه زوج ۱) بیکار می‌ماند. کلیه بیکار هم می‌تواند به فردی که در لیست انتظار است اهدا شود هم می‌تواند برای آغاز یک زنجیره جدید مورد استفاده قرار گیرد.

الگوریتمی که برای حل مسأله به هم‌رسانی توسط راث و همکاران او طراحی شده است شامل هر دو الگوی دوری و زنجیره‌ای است و این الگوریتم شامل مراحل زیر است:

- (۱) در ابتدا همه کلیه‌ها قابل دسترس و همه بیماران فعال هستند. در هر مرحله از فرآیند: الف) هر بیمار (t_i) که باقی مانده است، مطابق تابع ترجیحاتش (P_i) یا یکی از بهترین کلیه‌های تخصیص نیافته را انتخاب می‌کند یا به لیست انتظار (w) می‌پیوندد. ب) هر بیمار که به او یک کلیه نسبت داده شده به کلیه مذکور پایبند باقی می‌ماند.
- (۲) الگوریتم می‌تواند دوری یا زنجیره‌ای یا ترکیبی از هر دو باشد. الف) اگر دوری شکل گرفت مبادلات مربوطه انجام می‌شود و همه بیماران و کلیه‌های دریافتی از چرخه حذف می‌شوند. لازم به ذکر است که بیمار t_i تنها در صورتی از چرخه حذف می‌شود که زوج او یعنی k_i هم حذف شود. ب) هر بیمار باقیمانده به بالاترین انتخابش از میان کلیه‌های باقی‌مانده مرتبط می‌شود.
- (۳) اگر هیچ زوجی در بانک باقی نماند کار پایان یافته است. در غیر این صورت با هر زوج باقی مانده یک زنجیره آغاز می‌شود. برخی از زنجیره‌ها ممکن است با هم تقاطع داشته باشند و برخی نه.

۴) هر زمان که یک زنجیره انتخاب می‌شود ممکن است سری‌های جدیدی از دورها شکل بگیرد. از این روی مراحل ۲ و ۳ الگوریتم با بیماران و دهنده‌های باقیمانده تا جایی تکرار می‌شود که هیچ بیماری باقی نماند.

در پایان این فرآیند هر بیمار یا به یک کلیه دست یافته است یا در اولویت لیست انتظار قرار گرفته است. البته با وجود منتسب شدن هر کلیه به یک بیمار، دلیلی ندارد که همه پیوندهای مربوطه انجام شود، مخصوصاً در مورد دوره‌هایی که تنها شامل یک زوج (k_i, t_i) است. چنین دوره‌هایی می‌تواند به یکی از معانی زیر باشد:

- ۱) اگر ناسازگاری وجود نداشته باشد ممکن است پیوند میان این دو انجام شود.
- ۲) ممکن است هیچ تقاضایی برای k_i به وجود نیاید و این کلیه برای زوج خود نیز مناسب نباشد. لذا بیمار ترجیح می‌دهد در سیستم باقی بماند تا زوج‌های جدیدی وارد بانک شوند و دور جدیدی از تطبیق‌ها انجام شود. البته ممکن است بیمار وارد لیست انتظار هم بشود. حال با توجه به مکانیسم گفته شده مراحل زیر دنبال می‌شود.

۳-۴. وضعیت بیماران کلیه در ایران

پایان سال ۱۳۹۳ در ایران جمعیت بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه (ESRD) که تحت درمان با یکی از روش‌های جایگزین کلیه بودند به حدود ۵۳ هزار نفر رسید. با مقایسه رشد سالانه تقریباً ۶ درصدی بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران و رشد جمعیت کشور (۱/۳ درصد)، می‌توان به این نتیجه رسید که درمان این بیماران، چه از نظر مراقبت پزشکی و چه از نظر اقتصادی، چالشی برای کشور خواهد بود. در این سال، در ایران ۲۵۹۳۴ نفر تحت درمان همودیالیز، ۱۵۲۳ نفر تحت درمان دیالیز صفاقی^۲ و حدود ۲۵۵۰۰ بیمار پیوندی در کشور وجود داشت. با در نظر گرفتن متوسط رشد حدود ۶ درصدی بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران، پیش‌بینی می‌شود روش درمانی پیوند همچنان مهم‌ترین روش درمان بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران باقی بماند (سالنمای دیالیز، ۱۳۹۳).

جدول ۲: بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران

بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران	۵۳۰۰۰ نفر
همودیالیز	۲۵۹۳۴ نفر
دیالیز صفاقی	۱۵۲۳ نفر
پیوند کلیه	۲۵۵۰۰ نفر
جمعیت ایران	۷۷/۸ میلیون نفر

منبع: سالنمای دیالیز، ۱۳۹۳

1. End Stage Renal Disease

۲. در دیالیز صفاقی (PD) از صفاق (پرده‌ای طبیعی که حفره‌ی شکم را می‌پوشاند) استفاده می‌شود. پرده سوراخ‌های کوچکی دارد و به‌عنوان صافی عمل می‌کند مواد زائد و مایعات می‌توانند از بدن دفع شوند.

جدول ۳: رشد سالانه بیماری کلیه در ایران (توجه: رشد جمعیت ایران ۱/۳ درصد است)

بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران	۶ درصد
بیماران همودیالیزی	۷ درصد
بیماران دیالیز صفاقی	۷ درصد
بیماران پیوندی	۵/۵ درصد

منبع: سالنمای دیالیز، ۱۳۹۳

از آنجایی که هر سال به تعداد بیماری کلیه افزوده می‌شود^۱، لازم است الگوریتمی طراحی شود تا بین دهندگان و گیرندگان کلیه مبادلاتی صورت گیرد. با به‌کارگیری الگوریتم طراحی شده در این پژوهش باید درصدد آن بود که با الهام از نظریه راث تا حدودی بر مشکلات بیماران پیوندی فائق شد. در ایران بیماران کلیوی در وضعیت خوبی قرار ندارند و احتیاج به توجه بیشتری است و از آنجایی که خرید و فروش کلیه ممنوع نیست^۲ از نظر اقتصادی کمک بسیاری به بنا نهادن مکانیسمی برای پاسخگویی به نیازهای موجود می‌کند. این مکانیسم با اتصال زوجها و یا معرفی افراد اهداکننده، نه تنها موجب ایجاد و ترمیم بازار موجود می‌شود بلکه به کاهش دلالتی نیز کمک فراوانی می‌کند. در حال حاضر در ایران به دو روش می‌توان کلیه تهیه کرد:

- ۱- مراجعه به انجمن خیریه حمایت از بیماران کلیوی و ثبت‌نام بیمار در لیست انتظار.
- ۲- تهیه کلیه در بازار غیررسمی.

در روش اول گیرنده و دهنده که با هم سازگار هستند به این انجمن مراجعه نموده و ثبت‌نام می‌کنند و انجمن مبلغ یک‌صد و چهل میلیون ریال از گیرنده (بیمار) اخذ می‌کند تا بعد پیوند به دهنده پرداخت کند. بعد از عمل پیوند، دهنده‌ها توسط انجمن به استانداری‌ها معرفی می‌شوند تا مبلغ ده میلیون ریالی که دولت بابت این کار خدایسند در نظر گرفته دریافت کنند. تهیه کلیه در روش دوم به علت وجود دلالتان و واسطه‌گرها با مشکلات بسیاری مواجه است. هزینه تهیه کلیه در این روش بالا بوده و اغلب به‌صورت توافقی تعیین می‌شود که در برخی موارد بالای پنجاه میلیون تومان نیز معامله شده است. البته انجمن حمایت از بیماران کلیوی تدبیری برای این کار اندیشیده که تا حدی بتواند دست واسطه‌گرها را کوتاه کند. در این حالت لازم است بیماران با معرفی‌نامه انجمن حمایت از بیماران کلیوی برای پیوند کلیه به بیمارستان‌ها مراجعه کنند.

۱. به گفته مسئولان انجمن‌های غیردولتی حمایت از بیماران کلیوی، عوارض کلیوی در ایران شیوع بالایی داشته و نتایج مطالعات نشان می‌دهد که بیش از ۱۴ میلیون ایرانی در معرض بیماری‌های کلیوی هستند، علاوه بر آن که هر سال آمار بیماران کلیوی کشور، در حال افزایش می‌یابد.
 ۲. بر اساس آن‌چه در فتاوی‌ای مشهور مراجع تقلید وجود دارد، پیوند کلیه که موجبات بهبود شرایط و حتی زندگی بیماران دیالیزی را فراهم آورد، مجاز است. نکته مهم در عرصه اجرا، امکان یا عدم‌امکان خرید و فروش کلیه است. در شرایط کنونی، خرید و فروش کلیه در کشور منع قانونی ندارد.

۴-۴. برآورد مدل بازار کلیه

در این پژوهش به کمک انجمن حمایت از بیماران کلیوی، افراد دهنده و گیرنده از گروه‌های خونی متفاوت بر حسب تصادف به

تعداد ۲۰ زوج انتخاب شده‌اند. نمونه انتخابی به این صورت است که بعد از مطالعه بیماران موجود در انجمن، کمتر از ۱۰۰ بیمار شانس انتخاب را داشتند که با تأسی به روش‌شناسی آلومین راث و همچنین به دلیل محدودیت مالی^۱ حدود ۴۰ نفر یعنی ۲۰ زوج انتخاب گردید که نحوه انتخاب آنها به روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک است.

گروه خونی دهندگان و بیماران (گیرندگان) کلیه به شرح زیر می‌باشد:

- بیماران t_{18}, t_{19}, t_{20} که دارای گروه خونی AB هستند.
- بیماران $t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}$ که دارای گروه خونی B هستند.
- بیماران $t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}$ که دارای گروه خونی A هستند.
- بیماران $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7$ که دارای گروه خونی O هستند.
- اهداکنندگان $k_1, k_2, k_{15}, k_{16}, k_{19}, k_{20}$ دارای گروه خونی A هستند.
- اهداکنندگان $k_3, k_4, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{17}$ دارای گروه خونی B هستند.
- اهداکنندگان $k_7, k_8, k_9, k_{13}, k_{14}, k_{18}$ دارای گروه خونی O هستند.
- اهداکنندگان k_5, k_6 دارای گروه خونی AB هستند.

۴-۴-۱. نحوه چیدمان ترجیحات

۱- تطابق گروه‌های خونی: اگر گروه‌ها با هم ناسازگاری داشته باشند امکان پیوند نیست. طبق جدول زیر گیرنده گروه خونی O با گروه خونی دهنده‌های O سازگاری دارد. گیرنده گروه خونی A با گروه خونی گیرندگان A و O سازگاری خواهد داشت. گیرنده گروه خونی B با گروه خونی گیرندگان B و O سازگاری خونی دارد. گیرنده گروه خونی AB با گروه خونی تمامی دهندگان A, O, B, و AB سازگاری خواهند داشت.

۱. علاوه بر آنها امتناع بیماران برای شرکت در این طرح نیز از موارد دیگری بود که به آن برخورد کردیم.

جدول ۴: حالت‌های تطبیق متقاطع از نظر گروه خونی

دهنده				گروه‌ها	طرفین
AB	B	A	O	O	گیرنده
			▶	A	
	▶		▶	B	
▶	▶	▶	▶	AB	

منبع: پردازش پژوهش

۲- تطابق بافتی: انطباق بافت مهم‌ترین عامل در پذیرش یا رد پیوند کلیه است. در هر نوع پیوند کلیه گروه خونی اهداء کننده باید با گروه خونی گیرنده سازگار باشد. در صورتی که گروه‌های خونی سازگار باشند آزمون دیگری بنام تعیین بافت انجام می‌گیرد. این آزمون شباهت‌های ژنتیکی بافت اهداکننده و گیرنده را قطعی می‌کند. قبل از پیوند، کمی از خون بیمار و خون اهداء کننده با هم مخلوط می‌شود. به این آزمون تطبیق بافتی گویند. این آزمون به این منظور انجام می‌شود که مطمئن شویم هیچ ماده‌ای در خون بنام آنتی‌بادی سیتوتوکسیک وجود ندارد که موجب پس زدن کلیه پیوندی شود.

۳- زمان: هر چه مدت زمانی که بیمار در لیست انتظار بوده کمتر باشد و پیوند سریع‌تر انجام شود بهتر است.

۴- سن: هر چه سن کلیه دهنده کمتر بوده و اهداکننده کلیه بیماری کمتری داشته باشد، کلیه‌اش بهتر است.

۵- رابطه خویشاوندی: اگر فرد دهنده از اقوام درجه یک (والدین یا برادر و خواهر) باشد، احتمال پذیرش پیوند بیشتر است.

۶- جنسیت دهنده: در حالت برابر جنس مذکر بر مؤنث ترجیح داده می‌شود. ترجیحات بیماران برای کلیه‌های سازگار و لیست انتظار به صورت زیر است:

جدول ۵: ارزیابی تطابق بافتی به تفکیک بیماران دارای گروه‌های خونی

گروه خونی O							گروه خونی A					گروه خونی B					گروه خونی AB		
t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20
k9	k14	k9	k13	k7	k18	k7	k19	k19	k2	k2	k2	k12	k17	k9	k14	k12	k5	k5	k6
k14	k8	k8	k18	k18	k7	k18	k20	k2	k19	k20	k19	k17	k12	k12	k9	k7	k6	k6	k5
k8	k9	k14	k7	k13	k13	k13	k2	k20	k20	k19	k16	k9	k9	k17	k7	k11	k9	k20	k14
k18	k13	k18	k9	k9	k14	k14	k16	k16	k9	k9	k20	k14	k14	k8	k12	k9	k20	k9	k20
k13	k18	k7	k14	k8	k9	k8	k9	k9	k16	k14	k14	k8	k8	k14	k18	k17	k14	k8	k8
k7	k7	k13	k8	k14	k8	k9	k14	k14	k14	k16	k9	k18	k18	k7	k17	k14	k8	k14	k9
-	-	-	-	-	-	-	k8	k8	k18	k8	k8	k13	k7	k18	k8	k3	k19	k18	k19
-	-	-	-	-	-	-	k18	k7	k8	k18	k18	k7	k13	k10	k13	k8	k18	k19	k18
-	-	-	-	-	-	-	k7	k18	k7	k7	k7	k10	k10	k13	k10	k4	k17	k12	k17
-	-	-	-	-	-	-	k13	k13	k13	k13	k13	k3	k4	k11	k4	k10	k13	k13	k13
-	-	-	-	-	-	-	k15	k1	k1	k15	k1	k4	k3	k3	k11	k13	k12	k17	k12
-	-	-	-	-	-	-	k1	k15	k15	k1	k15	k11	k11	k4	k3	k18	k2	k2	k11
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k10	k3	k2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k11	k10	k10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k3	k11	k7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k7	k16	k3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k16	k7	k15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k15	k15	k16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k4	k1	k1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	k1	k4	k4

منبع: پردازش پژوهش

در جدول فوق ترجیحات بیماران بر اساس چیدمانی که ذکر شد بیان شده است. به طور مثال اهداکنندگان زوج نهم، چهاردهم، هشتم، هجدهم، سیزدهم و هفتم با بیمار ۱ سازگاری خونی و بافتی دارند و از میان این اهداکنندگان، اهداکننده زوج نهم نسبت به چهاردهم و اهداکننده زوج هفتم و اهداکننده زوج هجدهم نسبت به اهداکننده هفتم و اهداکننده زوج هشتم نسبت به هجدهم و اهداکننده زوج سیزدهم و اهداکننده زوج سیزدهم نسبت به هفتم در اولویت است. ترجیحات بقیه بیماران در جدول ۵ آمده است.

۴-۲-۴. تعداد پیوندها بدون مکانیسم طراحی شده

از جدول شماره ۵ مشخص است زوج‌هایی که در آن بیمار و اهداکننده ناسازگار می‌باشند عبارتند از:

$$(t_1, k_1) - (t_2, k_2) - (t_3, k_3) - (t_4, k_4) - (t_5, k_5) - (t_6, k_6) - (t_{10}, k_{10}) - (t_{11}, k_{11}) - (t_{12}, k_{12}) - (t_{15}, k_{15}) - (t_{16}, k_{16}).$$

چون بیماران $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{15}, t_{16}$ به ترتیب دارای گروه خونی $A, B, A, A, A, O, O, O, O, O, B, B, A, A, A, O, O, O, O, O, O$ می‌باشند.

زوج‌هایی که در آن بیمار و اهداکننده دارای سازگاری خونی و بافتی می‌باشند عبارت است از:

$$(t_7, k_7) - (t_8, k_8) - (t_9, k_9) - (t_{13}, k_{13}) - (t_{14}, k_{14}) - (t_{17}, k_{17}) - (t_{18}, k_{18}) - (t_{19}, k_{19}) - (t_{20}, k_{20}).$$

به عبارتی بین ۲۰ زوج، ۱۱ زوج دارای ناسازگاری خونی بین دهنده و گیرنده هستند. اگر مکانیسم تطبیق صورت نگیرد این بیماران نمی‌توانند از دهنده خود کلیه دریافت کرده و اهداکنندگان آنها هم بدون استفاده خواهند ماند و لذا تنها ۹ زوج از ۲۰ زوج به پیوند کلیه دسترسی پیدا خواهند کرد.

۴-۳-۴. تعداد پیوندها با مکانیسم طراحی شده

برای ایجاد بازار و یا مکانیسم تبادل، ابتدا اهداکنندگان کلیه و بیماران در گروه‌های ۳۰-۲۰ نفری طبقه‌بندی می‌شوند و اطلاعات دهنده‌ها و گیرنده‌ها در اتاق تسویه‌ای ثبت می‌شود و بعد از پردازش این اطلاعات، ترجیحات بیماران براساس شش فاکتوری که بیان شد، مشخص می‌شود. سپس به کمک الگوریتم طراحی شده، زوج‌های سازگار با هم تطبیق داده می‌شوند و مبادله کلیه انجام می‌گیرد. اگر در این گروه‌ها بیماری بدون کلیه باقی بماند می‌تواند به گروه‌های دیگر بپیوندد و یا اینکه منتظر ورود بیماران و دهنده‌های جدیدی در اتاق تسویه باشد.

الگوریتم طراحی شده به این ترتیب آغاز می‌شود که یک دهنده به گیرنده‌اش ارجاع داده می‌شود. اگر او در لیست ترجیحات گیرنده‌اش رتبه اول را داشت تطبیق می‌یابد. اما اگر گیرنده نتواند با او تطبیق یابد، تلاش می‌کند با دهنده‌ای تطبیق یابد که در لیست ترجیحاتش رتبه اول را دارد و دهنده

مورد نظر نیز دوباره به گیرنده‌اش مرتبط می‌شود. این فرآیند به همین ترتیب برای سایر دهنده‌ها و گیرنده‌ها ادامه می‌یابد که می‌توان توسط نرم‌افزاری که بدین منظور به زبان سی شارپ طراحی شده است به کار گرفت (مولایی، ۱۳۹۵: ۱۲۸). اگر چه می‌توان توسط محاسبات دستی و خارج از سیستم هم انجام داد اما کامپیوتر به فرآیند سرعت خواهد بخشید.

نتیجه فرآیند به شرح زیر است:

در تمامی مراحل، هر اهداکننده به بیمار خود پایبند است.

مرحله اول:

در این مرحله اهداکننده زوج اول به بیمار اول پایبند است ولی در ترجیحات بیمار ۱ اهداکننده زوج نهم در اولویت است و برای بیمار ۹ اهداکننده ۱۹ در اولویت است و در اولویت بیمار ۱۹ اهداکننده زوج ۵ قرار دارد و در ترجیحات بیمار ۵ اهداکننده زوج ۷ قرار گرفته است و در ترجیحات بیمار ۷ اهداکننده خودش دارای اولویت است. پس در این مرحله اهداکننده زوج هفتم با بیمار خود تطبیق می‌یابد بنابراین از الگوریتم حذف خواهد شد.

مرحله دوم:

در این مرحله با حذف زوج هفتم، در ترجیحات بیمار ۵ اهداکننده زوج ۱۸ در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۱۸ اهداکننده زوج ۵ در رتبه بالاتری قرار گرفته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود یک چرخه ایجاد شده است. پس با این محاسبه: k_5 به t_{18} و k_{18} به t_5 خواهند رسید و از الگوریتم حذف خواهند شد.

مرحله سوم:

در این مرحله، در ترجیحات بیمار ۱۲، اهداکننده زوج ۲ در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۲ اهداکننده ۱۴ در اولویت قرار گرفته و در اولویت بیمار ۱۴ اهداکننده زوج ۱۷ قرار دارد و در ترجیحات بیمار ۱۷ اهداکننده زوج ۱۲ در اولویت می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با این محاسبه: k_{12} به t_{17} و k_{17} به t_{14} و k_{14} به t_2 و k_2 به t_{12} خواهند رسید و از الگوریتم حذف خواهند شد.

مرحله چهارم:

در ترجیحات بیمار ۹ اهداکننده زوج ۱۹ در رتبه بالاتری است و در ترجیحات بیمار ۱۹ اهداکننده ۶ در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۶ اهداکننده زوج ۱۳ در اولویت قرار گرفته است و در اولویت بیمار ۱۳ اهداکننده زوج ۹ قرار گرفته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود یک چرخه ایجاد می‌شود. پس با این محاسبه: k_9 به t_{13} ، k_1 به t_6 ، k_6 به t_{19} و k_{19} به t_9 خواهند رسید و از الگوریتم حذف خواهند شد.

مرحله پنجم:

در این مرحله، دهنده بیستم با زوج خود تطبیق می‌یابد.

مرحله ششم:

در ترجیحات بیمار ۸ اهداکننده زوج ۱۶ در اولویت بوده و برای بیمار ۱۶ اهداکننده ۸ در رتبه بالاتری قرار گرفته است. همان طور که ملاحظه می شود یک چرخه ایجاد شده و با این محاسبه، زوج هشتم و شانزدهم از مکانیسم حذف می شوند.

مرحله هفتم:

در این مرحله اهداکننده زوج اول با بیمار دهم، اهداکننده زوج دهم با بیمار پانزدهم و اهداکننده پانزدهم با بیمار یازدهم تطبیق می یابد. اهداکننده یازدهم با هیچ بیماری تطبیق نخواهد یافت و نیز به بیمار اول هیچ کلیه ای نخواهد رسید. اگر بیمار اول قبول کند که با اولویت به لیست انتظار بپیوندد، زوج های بالا در پیوند شرکت می کنند. در غیر این صورت باید منتظر ورود دیگر اهداکنندگان و بیماران شد که با ورود آن ها چرخه جدیدی شکل بگیرد.

مرحله هشتم:

در این مرحله کار الگوریتم به پایان رسیده است و دو زوج از بیست زوج یعنی زوج سوم و چهارم با هیچ کدام از زوج ها تطبیق نیافته است. آن ها همچنان باید در اتاق تسویه منتظر ورود دیگر زوج ها بمانند.

جدول ۶: مبادلات کلیه

اهداننده	بیمار	الگوریتم	مبادله
۷	۷	زنجیره حداقلی	با اهداکننده خود
۵	۱۸	دوری	دوطرفه
۱۸	۵	دوری	دوطرفه
۱۲	۱۷	دوری	چهار طرفه
۱۷	۱۴	دوری	چهار طرفه
۱۴	۲	دوری	چهار طرفه
۲	۱۲	دوری	چهار طرفه
۹	۱۳	دوری	چهار طرفه
۱۳	۶	دوری	چهار طرفه
۶	۱۹	دوری	چهار طرفه
۱۹	۹	دوری	چهار طرفه
۲۰	۲۰	زنجیره حداقلی	با اهداکننده خود
۸	۱۶	دوری	دوطرفه
۱۶	۸	دوری	دوطرفه
۱۵	۱۱	زنجیره ای	
۱۰	۱۵	زنجیره ای	
۱	۱۰	زنجیره ای	

منبع: پردازش پژوهش

مقایسه نتایج نشان می‌دهد با کمک مکانیسم طراحی شده، تعداد بیمارانی که به پیوند کلیه دسترسی پیدا می‌کنند از ۹ پیوند به ۱۷ پیوند افزایش خواهد یافت.

۴-۴-۴. صرفه جویی ریالی با مکانیسم طراحی شده

هزینه پیوند در ایران عبارتند از:

۱- هزینه بستری شدن در بیمارستان^۱: این هزینه، مبلغی است که بیماران برای عمل جراحی و بستری شدن در بیمارستان برای دوره ۵ الی ۳۰ روزه باید پرداخت کنند. تعرفه بخش دولتی K ۶۵۰ تعریف شده بود که در آن مبلغ ریالی ضریب k تقریباً ۶۰۰۰۰ ریال می‌باشد.

۲- هزینه داروهای سرکوب‌کننده سیستم ایمنی^۲: داروهایی که مصرف می‌شود عبارتند از سیکلوسپورین، مایکوفنولیک اسید، پردنیزولون، تاکرولیموس که هزینه‌های این داروها به ترتیب برابر با ۷۰ دلار، ۱۳۱۰ دلار، ۳/۷۰ دلار و ۸۳/۳ دلار می‌باشد.

۳- هزینه درمان عوارض جانبی^۳: عوارض جانبی مثل سیتومگالوویروس، سایر عفونت‌ها، کارکرد گرفت تأخیر، رد پیوند، چربی خون، فشار خون، شکست پیوند و ترومبوسیتوپنی که هزینه‌های این داروها به ترتیب برابر با ۲۵۱/۸ دلار، ۵۳/۱ دلار، ۳۷۰/۵ دلار، ۴۳۶/۸ دلار، ۴/۶ دلار، ۳ دلار، ۳۹۷/۶ دلار و ۸۴/۸۲ دلار می‌باشد.

۴- هزینه داروهای دیگر^۴: داروهایی که مصرف می‌شود عبارتند از: کلسیتریول، فروس سولفات، آ.اس.آ، رانیتیدین، کربنات کلسیم که هزینه آن‌ها به ترتیب برابر با ۶۸/۵ دلار، ۱/۶۴ دلار، ۲/۴۷ دلار، ۱/۶۴ دلار و ۴/۶۲ دلار می‌باشد.

هزینه بستری شدن در بیمارستان در سال ۲۰۱۴ برابر با ۳۱۸۱ دلار و هزینه داروهای سرکوب‌کننده سیستم ایمنی ۱۴۶۷ دلار و هزینه درمان عوارض جانبی برابر با ۱۶۰۲ دلار و هزینه داروهای دیگر ۷۹ دلار می‌باشد.

در سال ۲۰۱۴، تعداد پیوند کلیه در ایران ۲۳۲۲ نفر بوده که از این تعداد، ۱۲۰۳ پیوند از اهداکننده زنده انجام شده است و به تعداد ۱۱۱۹ بیمار از افرادی بودند که دچار مرگ مغزی شده‌اند (IRODAT, 2015). از طرفی هزینه پیوند کلیه و هزینه دیالیز برای هر بیمار سالانه در ایران در این سال به ترتیب برابر با ۶۳۲۹ دلار (۱۹۰ میلیون ریال^۵) و ۱۱۱۸۸ دلار (۳۳۵ میلیون ریال) می‌باشد

1. Cost of initial hospitalization for Transplantation

2. Cost of immunosuppressive agents

3. Cost of treatment of adverse events

4. Cost of miscellaneous medicines

۵. نرخ ارز ۳۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

(سلامزاده، ۲۰۱۴: ۲۷۶-۲۷۷). از آنجایی که در طول یک سال یک بیمار دیالیزی ۱۵۲ بار^۱ باید برای دیالیز به بیمارستان مراجعه کند، پس هزینه فرصت سالانه بیمار در سال ۲۰۱۴، بر اساس قانون حداقل دستمزدها، به اندازه ۱۸۰۴۷۷۹۶ ریال می‌باشد. کل هزینه بیمار دیالیزی در ایران در سال ۲۰۱۴ که از مجموع هزینه‌های مستقیم و هزینه‌های فرصت به دست می‌آید برابر با ۳۵۳ میلیون ریال است. بنابراین کل هزینه‌های دیالیز برای هر بیمار به اندازه ۱۶۴ میلیون ریال نسبت به هزینه‌های پیوند بیشتر است که همه این بار مالی به دولت و بیمه‌ها تحمیل می‌شود و اگر نتوانیم این بیماری را کنترل کنیم، افزایش این بیماری بار مالی سنگینی را به کشور تحمیل خواهد کرد. در صورتی که با به‌کارگیری این مکانیسم، حداقل به اندازه ۱۶۴ میلیون ریال برای هر بیمار، صرفه‌جویی اقتصادی برای کشور خواهد داشت.

در این پژوهش با به‌کارگیری مکانیسم تطبیق، تعداد پیوندها نسبت به حالت قبل نزدیک به دو برابر افزایش داشته است. پس با به‌کارگیری این مکانیسم، با ثابت در نظر گرفتن این نسبت، حداقل تعداد پیوندها در سال ۲۰۱۴ از اهداکننده زنده، از ۱۲۰۳ نفر به ۲۴۰۶ نفر افزایش می‌یافت که فقط در این سال حداقل به اندازه ۱۹۷۰۷۳ میلیون ریال^۲ صرفه‌جویی اقتصادی برای کشور می‌توانست داشته باشد. علاوه بر این صرفه‌جویی، از آنجایی که متوسط طول عمر بیماران دیالیزی تقریباً ۵ سال و متوسط طول عمر بیماران پیوندی بالای ۱۲ سال است، پس می‌توان به کمک این مکانیسم طول عمر بیماران ESRD را حداقل ۷ سال اضافه کرد.

نتیجه‌گیری

هدف این مقاله ارزیابی معضل بازار کلیه در ایران و ارائه راهکاری کاربردی برای حل این مشکل است. پراکنده‌بودن مشارکت‌کنندگان در بازار، تعداد کم عرضه و تقاضاکنندگان، عدم‌ارتباط مفید و مناسب طرفین می‌تواند از عواملی باشد که سبب شکست بازار و یا باعث عدم‌تشکیل بازار باشد. بنابراین تأسیس اتاق تسویه در این‌گونه بازارها، لازم و ضروری است. در اتاق تسویه، اطلاعات بیماران و اهداکنندگان ثبت می‌شود و بعد از پردازش این اطلاعات، ترجیحات بیماران مشخص می‌گردد. سپس از طریق مکانیسم به‌م‌رسانی بعد از اولویت‌بندی ترجیحات، این زوجها با هم تطبیق

۱. حداقل دستمزد ماهانه طبق قانون کار برای سال ۱۳۹۴ برابر با ۷۱۲۴۱۳۰ ریال بود، بنابراین در این سال دستمزد هر ساعت ۲۹۶۸۰ ریال به‌دست می‌آید و از آنجایی که هر بار دیالیز در بیمارستان، ۴ ساعت به طول می‌انجامد پس هزینه ۴ ساعت برابر با ۱۱۸۷۲۵ ریال می‌باشد که اگر ۱۵۲ را در این عدد ضرب کنیم هزینه فرصت بیمار به‌دست می‌آید.

۲. اگر درصد افزایش تعداد پیوند را به کمک مکانیسم دو برابر در نظر بگیریم، پس در سال ۲۰۱۴ به تعداد ۱۲۰۳ پیوند افزایش خواهد یافت. و از آنجایی که کل هزینه دیالیز در هر سال به اندازه ۱۶۳۸۱۷۷۹۶ ریال از هزینه پیوند کلیه بیشتر است، پس در نهایت به اندازه (۱۹۷۰۷۲۸۰۸۵۸۸ = ۱۶۳۸۱۷۷۹۶ * ۱۲۰۳) ریال کاهش هزینه خواهیم داشت.

می‌یابند. طراحی این مکانیسم با کمک نظریه طراحی بازار و بهره‌گیری از مدل‌های تطبیق بوده است. در این پژوهش به کمک انجمن حمایت از بیماران کلیوی، از افراد دهنده و گیرنده گروه‌های خونی متفاوت برحسب تصادف به تعداد ۲۰ زوج انتخاب شد و به کمک الگوریتم پیشنهادی، تعداد پیوندها در نمونه انتخابی نزدیک به دو برابر افزایش یافت. تعداد ۴ زوج از طریق مبادله دوطرفه، تعداد ۸ زوج از طریق مبادله چهارطرفه و در کل ۱۲ زوج به کمک الگوریتم دوری و تعداد ۳ زوج به کمک الگوریتم زنجیره‌ای که با احتساب دو زوجی که دارای زنجیره حداقلی است، در مجموع ۱۷ زوج بیمار به کمک این دو الگوریتم برای پیوند کلیه با هم تطبیق یافتند. علاوه بر آن، مکانیسم طراحی شده این قابلیت را دارد که کارآمدترین کلیه از نظر پزشکی را پیشنهاد دهد. اگر بیمار دیالیزی با دهنده خود سازگاری خونی و بافتی داشته باشد، مکانیسم این قابلیت را دارد که اگر در بانک اطلاعاتی کلیه‌ای کارآمدتر از دهنده خود بیمار بود، آن کلیه را پیشنهاد می‌کند در غیر این صورت دهنده خود بیمار را برای پیوند پیشنهاد خواهد کرد. به نظر می‌رسد مکانیسم به‌م‌رسانی به‌خوبی می‌تواند قسمت اعظمی از مشکلات بیماران دیالیزی را برطرف کند. در ایران چون اطلاعات همه گیرندگان کلیه قبل از پیوند در انجمن حمایت از بیماران کلیوی موجود است، پس تا حدودی کار تأسیس اتاق تسویه هموار گردیده است و مدل مبادله کلیه در ایران می‌تواند حتی از کشورهای دیگر به دلیل ممنوع نبودن خرید و فروش کلیه از عملکرد بهتری برخوردار گردد. از آنجایی که با به‌کارگیری این مکانیسم، حداقل به اندازه ۱۶۴ میلیون ریال برای هر بیمار نسبت به هزینه‌های پیوند صرفه‌جویی اقتصادی وجود دارد، به این ترتیب مبتنی بر نتایج پژوهش پیشنهاد می‌شود که جهت جلوگیری از این هزینه‌های گزاف که صرف بیماران دیالیزی می‌شود، وزارت بهداشت هر چه سریع‌تر این مکانیسم را بکار گیرد و مرکزی مستقل برای فرآیند تطبیق در نظر بگیرد که در آن همه اطلاعات بیماران و دهنده‌ها در کل کشور ثبت شود تا درصد افزایش پیوند کلیه بالا رفته و بیماران بسیاری از خطر مرگ‌رهایی یابند.

منابع

- جلیلی کامجو، سید پرویز (۱۳۹۵). «کاربرد نظریه طراحی مکانیسم و نظریه تطبیق در طراحی بازار آب: رویکرد نهادی، اقتصاد و الگوسازی»، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی دانشگاه شهید بهشتی، دوره ۷، شماره ۲۶: ۵۳-۸۰. عبادی، جعفر؛ عبدلی قهرمان و حدادی مقدم، ملیحه (۱۳۹۴). «نظریه طراحی بازار و کاربرد آن در بازار کار پزشکی ایران»، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، ۱۵(۴): ۱۹۲-۱۷۳.
- کنسرسیوم دیالیز ایران (خرداد ۱۳۹۴). (سالنمای دیالیز ایران ۱۳۹۳).
- کنسرسیوم دیالیز ایران (تیر ۱۳۹۵). (سالنمای دیالیز ایران ۱۳۹۴).
- مولابیگی، جلال و عبادی، جعفر (۱۳۹۵). طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران. رساله دکتری. گروه اقتصاد. دانشکده اقتصاد. دانشگاه مقید قم.
- نصیری‌اقدم، علی؛ رضایی، محمدجواد و موحدی‌بک‌نظر، مهدی (۱۳۹۳). «طراحی بازار، چارچوب تحلیلی راث در درک عملکرد بازار»، فصلنامه مجلس و راهبرد، ۲۱(۷۹)، ۱۵۱-۱۲۳.
- Abdulkadiroglu, A.; Parag, A. P. and Alvin, E. R. (2009). "Strategy-proofness versus. Efficiency in Matching with Indifferences: Redesigning the NYC High School Match", *America Economic Review*, 99(5): 1954-1978.
- Abdulkadiroglu, A.; Pathak, P. A. and Roth, A. E. (2005). "The New York City High School Match". *American Economic Review*, 95: 364-367.
- Abdulkadiroglu, A.; Pathak, P. A.; Roth, A. E. and Sönmez, T. (2006). "Changing the Boston school choice mechanism". *NBER Working Paper*, No. 11965.
- Ashlagi, I. and Alvin E. R. (2012). "New challenges in multi-hospital kidney exchange", *American Economic Review Papers and Proceedings*, 102(3): 354-359.
- Dickerson, J. P.; Procaccia, D. A. and Sandholm, T. (2012). "Optimizing Kidney Exchange with Transplant Chains: Theory and Reality". International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems (www.ifaamas.org).
- Fatemi, F. (2010). "The Regulated Market for Kidneys in Iran" *Amma Inicst*, 80: 62-88.
- IRODaT - International Registry of Organ Donation and Transplantation (2015). The On-line Database that Provides the Annual Information of the Donation and Transplantation Activity from Different Countries, Can be found On-line at: www.tpm.org.
- Ross, L. F. and Woodle, E. S. (2000). "Ethical Issues in Increasing Living Kidney Donations by Expanding Kidney Paired Exchange Programs". *Transplantation*, Vol. 69: 1539-1543.
- Roth, Alvin E. (2008), "What have we learned from market design?" Hahn Lecture, *Economic Journal*, 118(527): 285-310.
- Roth, A. E.; Sönmez, T. and Ünver, M. U. (2005). "Pairwise kidney exchange". *Journal of Economic Theory*, 125(2): 151-188.
- Roth, A. E. (2012). "The Theory and Practice of Market Design", *lecture prize (Nobel)*

- Roth, A. E. and Sotomayor, M. (1990). *Two-Sided Matching: A Study in Game-Theoretic Modeling and Analysis*; Econometric Society Monograph Series, Cambridge: Cambridge University Press.
- Roth, A. E. and Sönmez, T. (2007). "Matching: Forthcoming in The New Palgrave Dictionary of Economics", Preliminary, Feb 11, 2007
- Roth, A. E.; Sönmez, T. and Ünver, M. U. (2007). "Efficient Kidney Exchange: Coincidence of Wants in Markets with Compatibility-Based Preferences", *American Economic Review*, Vol. 97 (3): 828-851.
- Roth, A. E. and Sotomayor, M. (1992). "Two Sided Matching, Handbook of Game Theory with Economic Applications", Robert Aumann and Sergiu Hart, editors, Elsevier, North Holland: 485-541.
- Roth, A. E. (1991). "Game Theory as a Part of Empirical Economics", *The Economic Journal*, Vol. 101, No. 404: 107-114.
- Roth, A. E. (2007). "The Art of Designing Markets", *Harvard Business Review*: 118-126.
- Roth, A. E. (1991). "A Natural Experiment in the Organization of Entry-Level Labor Markets: Regional Markets for New Physicians and Surgeons in the United Kingdom", *American Economic Review*, 81: 414-440.
- Saidman, S. L.; Alvin E. R.; Tayfun Sonmez, Utku Ünver, M. and Francis L. D. (2006). "Increasing the Opportunity of Live Kidney Donation By Matching for Two and Three Way Exchanges", *Transplantation*, 81: 773-782.
- Salamzadeh J.; Foroutan. N.; Jamshidi, R.; Rasekh, H. and et al. (2014). "Costs of Treatment after Renal transplantation: Is it Worth to Pay More?". *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 13 (1): 271-278.
- Sönmez, T. and Ünver M. U. (2011). "Market Design for Kidney Exchange in the handbook of market design"; available at <https://www2.bc.edu/~sonmezt/kidney-exchange-survey>.
- SRTR. (2008); Annual Report of the U.S. Organ Procurement and Transplantation Network and the Scientific Registry of Transplant Recipients: Transplant Data 1998-2007. Rockville, MD: Health Resources and Services Administration, Healthcare Systems Bureau, Division of Transplantation.