

## طراحی ساز و کار برای یک بازار کارآمد پیوند کلیه در ایران

جلال مولابیگی<sup>۱</sup>

جعفر عبادی<sup>۲</sup>

محمدعلی امیرزرگر<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۵

### چکیده

در دنیای واقعی پراکنده بودن عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان کالا در بازار سبب می‌شود که برخی از بازارها تشکیل نشود. بازار کلیه یک نمونه واقعی از این نوع بازارهاست که به دلیل ویژگی نحیف بودن به وجود نمی‌آید. راه حل برون رفت از این مشکل، طراحی مکانیسمی است که علاوه بر احیای بازار، کارآمدترین تطبیق‌های عرضه و تقاضا را ارایه دهد. تطبیقی کارا است که هیچ تطبیق دیگری نتواند عوامل را به جایی بهتر اختصاص دهد و یا حداقل یک عامل را قویاً نتواند به جایی بهتر اختصاص دهد و به همین منظور، مکانیسم باید طوری طراحی شود که عوامل را به بالاترین ترجیحات خود تخصیص دهد؛ به طوری که عوامل نتوانند از این انتخابی که کرده‌اند، انتخاب بهتری داشته باشند. برای آزمون چنین مکانیسمی، اطلاعات ۴۰ نفر که ۲۰ نفر آنها بیمار دیالیزی و ۲۰ نفر دیگر اهداکنندگان کلیه بودند در سال ۱۳۹۵ برای استان همدان در اتاق تسویه‌ای تجمیع گردید و بعد از پردازش اطلاعات، ترجیحات بیماران بر اساس تطابق گروه خونی، بافتی، مدت بیماری، سن اهداکننده، رابطه خویشاوندی با اهداکننده و جنسیت اهداکننده رتبه‌بندی شدند و سپس به کمک مکانیسم طراحی شده و الگوریتم به هم‌رسانی، تعداد پیوندهای کارا در نمونه انتخابی از ۲ زوج به ۱۷ زوج افزایش یافت و علاوه بر آن، مکانیسم این قابلیت را دارد که اگر بیماران با اهداکننده خود سازگاری داشته باشند و در اتاق تسویه ثبت‌نام کنند، ابتدا آن اهداکننده را به بیمار خودش اختصاص می‌دهد، و اگر اهداکننده‌ای بهتر از اهداکننده خودش پیدا شد، اهداکننده خود را رها می‌کند؛ در غیر این صورت، با اهداکننده خود تطبیق می‌یابد.

واژگان کلیدی: طراحی سازوکار، طراحی بازار، تئوری تطبیق، مدل مبادله کلیه کارا، الگوریتم به هم‌رسانی

طبقه بندی JEL: C78, C71, D47, D89, C79, I1

jalal\_molabeigi@yahoo.com

۱. دکترای اقتصاد (نویسنده مسوول)

jebadi@ut.ac.ir

۲. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه تهران-تهران-ایران

amirzargar@umsha.ac.ir

۳. استاد گروه ارولوی دانشگاه علوم پزشکی همدان-همدان-ایران

### ۱. مقدمه

پیوند کلیه بهترین درمان برای افرادی است که در مرحله انتهایی بیماری کلیوی<sup>۱</sup> قرار دارند. عمر بیمارانی که از دهنده کلیه دریافت می‌کنند به طور متوسط ۱۰ سال بیشتر از کسانی که دیالیز می‌کنند (Wolfe *et al.* 1999). همچنین پیوند از اهداکننده زنده، بهتر از پیوند از مرگ مغزی است. به طور متوسط کلیه‌ای که از مرگ مغزی دریافت می‌شود ۸/۶ سال کار می‌کند، این در حالی است که طول عمر بیمارانی که از اهداکننده زنده کلیه دریافت می‌کنند، بیش از ۱۶ سال می‌باشد (SRTR, 2008). متأسفانه تقاضا برای پیوند کلیه بیشتر از عرضه‌ای است که می‌تواند از اهداکنندگان باشد؛ تا آنجا که هر روز شاهد مرگ بسیاری از بیماران کلیوی هستیم؛ به طوری که در کشور آمریکا روزانه ۱۹ نفر در لیست انتظار می‌میرند.<sup>۲</sup> در اغلب موارد کسانی از نزدیکان بیماران هستند که حاضر به اهدا کلیه می‌باشند ولی به علت ناسازگاری‌های خونی و بافتی، قادر به این کار نمی‌باشند. مبادله کلیه یک راه‌حل برای این معضل است که در سال ۱۹۸۶ اولین بار توسط راپاپورت پیشنهاد شد (Rapaport, 1986).

در سال ۱۹۹۱ اولین مبادله ضربدری در کره جنوبی و سپس چند سال بعد در سال ۱۹۹۹ در اروپا انجام گرفت. یک سال بعد در سال ۲۰۰۰ در آمریکا اولین مبادله زوجی کلیه انجام گرفت. بعد از این بود که مبادله زوجی به سرعت رشد کرد و با الگوریتم‌های پیشرفته توانستند تعداد پیوندها را افزایش دهند؛ به طوری که در ایالات متحده آمریکا در سه ماهه سوم سال ۲۰۱۰ تعداد پیوندها به کمک مبادله زوجی به بیش از ۱۰۰۰ پیوند افزایش یافت (Unos, 2011).

در این دهه بود که حل معضل کمبود عرضه کلیه مورد توجه گروهی از اقتصاددانان قرار گرفت که حاصل آن متولد شدن نظریه طراحی بازار بود. به عبارتی، اقتصاددانان پا را از تجزیه و تحلیل بازارها فراتر گذاشته و به سمت طراحی و احیای بازارهایی بودند که نمی‌توانستند ایجاد شوند. در علم اقتصاد، برای اینکه بازارها بتوانند درست عمل کنند، علاوه بر اینکه باید تعداد کافی فروشنده و خریدار را به خود جلب کنند، می‌باید بتوانند شرکت‌کنندگان را بر آن دارند که ترجیحات خود را آشکار سازند و با ایجاد فرصت‌های کافی برای انتخاب و روش‌های سریع برای ثبت آنها، بر ازدحام ناشی از تعدد عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان نیز غلبه کنند. حل این مشکلات نیاز به دو رشته مهم اقتصادی نظریه بازی‌ها و اقتصاد تجربی دارد.

از نظریه بازی‌ها، شاخه‌ای به نام طراحی مکانیسم پدید آمده که به مطالعه طراحی قواعد یک بازی یا سیستم می‌پردازد. 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 داده‌شده در نظر گرفته

1. End stage renal disease

2. UNOS. [www.optn.org](http://www.optn.org). (Accessed February 1, 2011)

و بر این اساس، رفتار بازیکنان را پیش‌بینی می‌کند. در حالی 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 زیر مجموعه نظریه بازی می‌دانند. نظریه طراحی بازار و نظریه تطبیق که شاخه‌ای از نظریه سازوکار هستند، در تلاش اند که بدون استفاده از مکانیسم بازار سنتی (سازوکار قیمت)، بستری را فراهم نمایند که عرضه و تقاضاکنندگان به هم برسند. به عبارتی، در این نظریه، مسأله تخصیص منابع را سازوکار قیمت حل نخواهد کرد، بلکه تخصیص براساس شرایط عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان است که بر اساس الگوریتم پیشنهادی، ترجیحات رتبه‌بندی شده جایگزین سیستم قیمت‌ها شده و نقش آن را ایفا خواهد کرد.

## ۲. پیشینه تحقیق

در سال ۲۰۱۲ جایزه نوبل به لوید شپلی و آلون راث<sup>۱</sup> اعطا شد. دلیل اعطای نوبل به راث و شپلی «تئوری تخصیص پایدار و کاربرد طراحی بازار<sup>۲</sup>» عنوان شده است. شپلی و راث با اینکه مطالعاتی مستقل از یکدیگر داشتند ولی هر دو در یک زمینه مشترک کار کرده و توانستند به سؤال زیر پاسخ دهند که 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. مطالعات معدودی که در این مورد انجام شده به شرح زیر می‌باشد:

### بازار کار پزشکان (آمریکا)

در اوایل دهه ۱۹۰۰، دانشجویان پزشکی به دنبال این بودند که تا پیش از اتمام تحصیلات شان، شغلی را در بیمارستان‌ها بیابند. در آن زمان بیمارستان‌ها در رقابت با هم بودند تا بهترین متقاضیان را جذب کنند و یک شکل از این رقابت‌ها استخدام زود هنگام انترن‌ها به وسیله بیمارستان‌ها بود که سبب شد خیلی زود دانشجویان پزشکی در اوایل دوره پزشکی، پیشنهادهایی را مبنی بر استخدام شان از بیمارستان‌ها دریافت کنند؛ به طوری که تا دهه ۱۹۴۰، بسیاری از دانشجویان در حالی درس‌شان را به اتمام رساندند که دو سال از استخدام خود را سپری کرده بودند؛ یعنی قبل از اینکه بیمارستان‌ها بتوانند، به شکلی مطمئن بهترین داوطلبان را شناسایی کنند (Roth, 1991). این اتفاق به وضوح غیربهینه بود، زیرا در پی این پیشنهادهای پیش از موعد، بیمارستان‌ها اطلاعات کافی از توانایی‌های پزشک‌ها نداشتند.

1. Lloyd Stowell Shapley and Alvin Elliot Roth
2. The Theory of Stable Allocations and the Practice of Market Design

برای حل مشکل در سال ۱۹۵۰، مرکزی به نام اتاق تسویه تأسیس شد که برای مشارکت‌کنندگان بازار قابل توجه بود. در این فرایند، بیمارستان‌ها شرح کاملی را از موقعیتی که برای یک انترن در نظر گرفته بودند، ارایه می‌کردند و دانشجویان با دیدن این اطلاعات، اقدام به طبقه‌بندی و لیست کردن بیمارستان‌هایی می‌کردند که برای آنها می‌خواستند درخواست بفرستند، و بیمارستان‌ها هم به طور مشابه این کار را انجام می‌دادند، به این مفهوم که دانشجویانی را که برای آنها درخواست فرستاده بودند، به ترتیب اولویت در لیست ترجیحات شان می‌نوشتند و این لیست‌های ترجیحات در پایان به اتاق تسویه فرستاده می‌شد. اتاق تسویه از این اطلاعات برای ایجاد تطبیقی مناسب از دانشجویان و بیمارستان‌ها استفاده می‌کرد. بعد از مدتی، ازدواج پزشکان با همکاران خود نیز معضلی به بار آورد؛ به این صورت، پزشکی که زن و شوهر بودند، دوست داشتند در کنار هم و در یک بیمارستان نزدیک هم مشغول کار شوند و به عبارتی، بسیاری از زوجها درخواست شغل نمی‌دادند؛ چون بعید می‌دانستند در کنار هم شغل به دست بیاورند و ترجیح می‌دادند 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 ۱۹۹۷ تا امروز از آن استفاده می‌شود و سالانه بیش از ۲۰ هزار پزشک از طریق آن در بیمارستان‌های سراسر آمریکا مشغول کار می‌شوند که حدود ده درصد آنها زوج‌های پزشکانند (راث، ۲۰۱۲).

#### تطبیق دانش‌آموزان به مدارس

در هر شهر، تعداد زیادی دانش‌آموز در یک مقطع تحصیلی باید محل تحصیل خود را انتخاب کنند و تعدادی مدرسه نیز باید از میان دانش‌آموزان، افراد متناسب با شرایط مدرسه را پذیرش کنند. ازدحام در این فرایند، موجب آن می‌شود که اولاً تعدادی از دانش‌آموزان چند پیشنهاد پذیرش دریافت کنند و در همین حال برخی هیچ پیشنهادی دریافت نکنند و در نهایت، به صورت اجبار و از جانب ادارات آموزش و پرورش به مدارس تحمیل شوند؛ ثانیاً ممکن است مدارس نیز نتوانند بهترین دانش‌آموزان متناسب با سطح مدرسه را در زمان مناسب پذیرش کنند.

در سال ۲۰۰۶-۷ در نیویورک مساله جایابی دانش‌آموزان مطرح شد. در آن زمان، شایع‌ترین مکانیسم به کار گرفته شده فاقد کارآیی و پایداری بود. در این مکانیسم، سعی می‌شود 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.

۲. والدین دانش‌آموزان، ترجیحات واقعی خود را درخصوص 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 (Roth, 2009).

از آنجایی که این مکانیسم (قدیمی) فاقد کارایی و پایداری بود، عبدالقدیراوغلو و همکارانش<sup>۱</sup> در پی این بودند مکانیسم‌های جایگزین برای جایابی تعریف کنند و آن را به کار 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، به نحوی 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 نتواند جداگانه جورسازی را تغییر دهد. مکانیسم پذیرش تأخیری، مشکل نا کارایی و بی‌ثباتی را ندارد و در سال ۷-۲۰۰۶ به کمک این الگوریتم در نیویورک توانستند برای نه کلاس جایابی کنند. در این جایابی تقریباً ۹۰ هزار دانش‌آموز به صورت بهینه به مدارس انتخابی خود فرستاده شدند (Abdulkadiroglu et al. 2009).

### تبادل و پیوند کلیه

یکی از عجیب‌ترین و مهم‌ترین کاربردهای طراحی بازار در دهه گذشته، مربوط به بازار کلیه و اعضای بدن است از آنجایی که هر انسان سالم دارای دو کلیه است که می‌تواند یکی از آنها را (بدون خطر بسیار بالا) اهدا کند. بنابراین وقتی یک بیمار کلیوی نیازمند پیوند کلیه است، نزدیکان وی در بسیاری از موارد، تمایل به اهدای کلیه به وی دارند؛ اما برای اینکه یک شخص بتواند به شخص دیگر کلیه اهدا کند، باید ویژگی‌های مختلف خون آنها با یکدیگر منطبق باشد که این انطباق احتمال چندان بالایی ندارد. علاوه بر این، سازگاری گروه‌خونی رابطه‌ای یک به یک نیست (فردی با گروه‌خونی A می‌تواند از گروه‌های A و O کلیه بگیرد ولی می‌تواند به گروه‌های A و AB کلیه بدهد). بنابراین معمولاً لازم است که بیمار کلیه خود را از

1. Abdulkadiroğlu, Pathak and Roth

شخصی غیر از اقوام نزدیک دریافت کند. این فرایند در برخی مواقع با کمک بیماران دچار مرگ مغزی صورت می‌گیرد (Roth, 2007).

از آنجایی که در این بازار، مشکل صف طولانی انتظار برای پیوند کلیه وجود دارد، پس امکان مبادله یک‌باره به دلیل وجود ناسازگاری‌های مربوط به سیستم ایمنی بدن وجود ندارد، که سبب شکست بازار از نوع لاغری می‌شود و مشکلاتی را برای بیماران به وجود می‌آورد. برای کاهش مشکلات بیماران، پیشنهادهای متفاوتی شده است:

مبادله کلیه، یک راه‌حل برای این معضل است که در سال ۱۹۸۶ اولین بار توسط راپاپورت پیشنهاد شد، مبنی بر بانکی از اطلاعات اهداکنندگان زنده کلیه تهیه شود به نحوی که بتوان کلیه ای که برای اهدا به یکی از اعضای خانواده در نظر گرفته شده، ولی به دلیل ناسازگاری‌های خونی و بافتی، اهدای آن میسر نگردیده بود، بین خانواده‌های مختلف با شرایط مشابه مبادله گردد. در سال ۱۹۹۱ اولین مبادله ضرب درمی در کره جنوبی و سپس چند سال بعد در سال ۱۹۹۹ در اروپا انجام گرفت. راث (Roth, 1997) پیشنهاد داد که برای افزایش عرضه کلیه از طرف اهداکنندگان زنده، مبادله بین دو زوج صورت گیرد. علاوه بر آن، راث (Roth, 2000) 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 گسترده وارد به این مدل، آن است که بیماران گروه‌خونی O که اهداکننده زنده ندارند، متضرر می‌شوند؛ چون این گروه فقط از گروه‌خونی O می‌توانند مستقیماً کلیه دریافت کنند و اهداکننده زنده‌ای که گروه‌خونی O دارند، خیلی کم به لیست می‌پیوندند؛ زیرا او می‌تواند کلیه خود را به بیمار مورد نظر خود بدهد، مگر اینکه آزمون تطبیق متقابل<sup>۱</sup> او مثبت در بیاید.

علاوه بر آن، راث و وودل (Ross and Woodle, 2000) انتقاد دیگری بر این سیستم وارد کردند، به این صورت که سیستمی که در آن، فقط ناسازگاری‌های گروه‌خونی دارد، سیستم مبادله غیر مستقیم منجر به بهبود پارتو نخواهد شد؛ چرا که بخش مهمی از گروه‌های خونی ناسازگار مربوط به بیمارانی با گروه‌خونی O است. وقتی اهداکننده او 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 گروه‌خونی O که ممکن است مدت‌ها در انتظار باشد، در اولویت قرار می‌گیرد. از این حیث، تغییر مذکور یک بهبود پارتو نیست. پس لازم است مدل تطبیقی برای رفع این مشکلات تعریف شود.

## 1. Cross Match Test

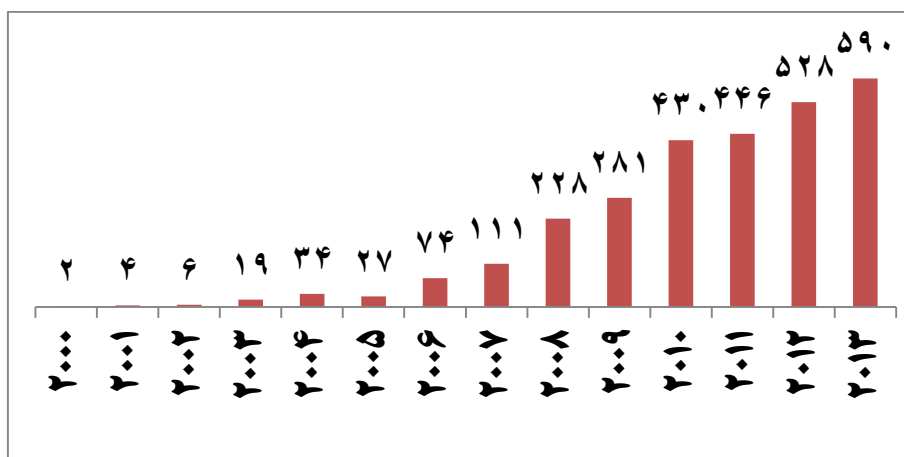
در سال ۲۰۰۳، تعداد پیوند کلیه از اهداکنندگان مرگ مغزی در ایالات متحده آمریکا وجود داشت؛ در حالی که بیش از ۶۰ هزار بیمار در این کشور در انتظار چنین پیوندی بودند. ۳۴۳۶ بیمار که منتظر عمل پیوند کلیه بودند، در این سال جان خود را از دست دادند و به تعداد ۶۴۶۴ بیمار از اهداکننده زنده در این سال کلیه دریافت کردند. در سپتامبر سال ۲۰۰۴ کمیته نظارت پیوند کلیه در آمریکا ایجاد اتاق تسویه را به تصویب رساند که فکر تأسیس این اتاق توسط فرانسیس دلمونیکو، سوزان سیدمن، و سه تن از اقتصاددانان: راث، سونمز و یونور<sup>۱</sup> پیشنهاد شده بود (Roth *et al.* 2005). 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 دوطرفه به پیوند می‌رسیدند و اگر مبادلات سه طرفه بود به تعداد ۱۱ زوج در تبادل کلیه شرکت می‌کردند (Roth *et al.* 2006).

به‌هرحال، زیربنای الگوی مبادله کلیه، مبادله دوطرفه بود. البته با محدود کردن مبادلات به مبادله دوطرفه، خیلی از فرصت‌ها از بین خواهد رفت. در مدل راث، طول چرخه حداکثر ۳ در نظر گرفته شده و او معتقد است که با کاربرد تطبیق‌های دو طرفه و سه طرفه، اثر قابل توجهی بر تعداد پیوندها خواهد گذاشت و تطبیق‌های بیش از سه طرفه، تأثیر کمتری بر کارایی خواهد داشت (Roth, 2005). علاوه بر آن در این مدل، گروه خونی‌های ایزو(مشابه) در الگوریتم شرکت نمی‌کنند (Ashlagi and Roth 2012)، و همچنین در مورد اولویت‌بندی ترجیحات برای بیماران به گروه خونی، بافتی و زمان اشاره کرده است. نمودار ۱، تعداد پیوندها را در ایالات متحده از سال ۲۰۰۰ به بعد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از سال ۲۰۰۶ به بعد، تعداد پیوندها افزایش چشمگیری داشته است.

---

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

نمودار ۱. تعداد پیوند در آمریکا با کمک مکانیسم پیشنهادی راث



منبع (Roth, 2015)

در داخل مطالعاتی که در این زمینه انجام شده، مقالات تئوریک هستند که می‌شود به موارد زیر اشاره کرد:

جلیلی (۱۳۹۵) در طراحی بازار آب در حوزه آبریز زاینده‌رود با استفاده از الگوریتم گیل-شپلی اقدام به تطبیق عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان آب در ۵ بخش آب شرب شهری، کشاورزی، صنعت و معدن، گردشگری و محیط زیست پرداخت. 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.

عبادی و همکاران (۱۳۹۴) نظریه طراحی بازار را در بازار نیروی کار پزشکی ایران در بخش غیر دولتی به کار برده و معتقد است که علت بیکاری پزشکان بواسطه عدم توزیع مناسب نیروی کار است؛ به طوری که تعداد نیروی کار پزشکی در شهرهای بزرگ، زیاد و در نتیجه با مازاد عرضه مواجه هستیم و این تعداد در شهرهای کوچک کم، پس مازاد تقاضا را شاهد هستیم که این نوع خاص از بیکاری باعث شکست بازار می‌شود و راه‌حل برون رفت از آن، طراحی بازار در این حوزه است. آنها با بهره‌گیری از یک بازار آزمایشی و ارایه مدل برای آن، پیشنهاداتی را برای اصلاح بازار کار عنوان کرده‌اند.



نصیری اقدم و همکاران (۱۳۹۳) به نظریه طراحی بازار پرداخته‌اند و در آن، به ریشه‌های شکست بازار اشاره نموده‌اند و با توضیحی در مورد الگوریتم پذیرش تأخیری و به کار بردن آن در یک مثال فرضی، مقاله را به پایان رسانده است.

### ۳. مبانی نظری

از آنجایی که کارکرد اصلی هر بازار، تسهیل مبادله میان عرضه کنندگان و تقاضایان است. با این حال، شرایط عرضه و تقاضا و فرایندهای حاکم بر آنها، از یک بازار به بازار دیگر فرق می‌کند. مثلاً فرایند عرضه و تقاضا در بازار خودرو بسیار متفاوت از بازار مبادله کلیه است؛ بازار کار بسیار متفاوت از بازار ازدواج است؛ و بازار «انتخاب پزشکان» برای بیمارستان‌ها متفاوت از بازار اوراق قرضه است؛ اما هماهنگ‌سازی مهمترین وظایف تمامی بازارها است. اگر این وظیفه به شکل ناقص و ناکارا انجام گیرد، بازار شکل نمی‌گیرد یا اگر شکل گرفت، در نهایت شکست می‌خورد. وظیفه طراحی بازار، احیای چنین بازارهایی است که سیستم قیمت‌ها توان احیای آن بازارها را ندارد.

برای طراحی بازار، باید ابتدا نوع شکست بازار مشخص و سپس برای احیا و غلبه بر دلیل شکست، مکانیسمی پیشنهاد شود. برخی از انواع متداول شکست بازار که در این حوزه مورد توجه قرار می‌گیرد، عبارتند از:

الف) نحیف بودن بازار: پراکنده بودن مشارکت کنندگان در بازار، تعداد کم عرضه و تقاضا کنندگان، عدم ارتباط مفید و مناسب طرفین و عدم آگاهی متقابل از ترجیحات واقعی مشارکت کنندگان، می‌تواند از عوامل اصلی شکست بازار باشد.

ب) ازدحام: به مشارکت کنندگان در بازار، وقت کافی یا ابزار لازم برای انجام سریع مبادلات داده نمی‌شود، زیرا بازار با هجوم گسترده عرضه و تقاضا کنندگان مواجه است.

ج) امن بودن محیط بازار از دو جهت حائز اهمیت است: جلوگیری از بروز رفتارهای استراتژیک که منجر به کاهش رفاه عمومی می‌گردد و جلوگیری از انجام مبادلات در محیطی خارج از بازار (Roth, 2007).

### ۳-۱. تئوری تطبیق

به بازارهایی که در آنها کالاها و یا افراد با یکدیگر پیوند داده می‌شوند (و این پیوند معمولاً فرایندی غیر پولی دارد)، بازارهای «تطبیق»<sup>۱</sup> گفته می‌شود. تئوری تطبیق، بخشی از اقتصاد است که تمرکز

#### 1. Matching

آن بر سؤالاتی از قبیل "چه کسی چه چیزی را دریافت می‌کند؟" خواهد بود. این مساله زمانی بارزتر خواهد بود که با کالاهای کمیابی مواجه هستیم که باید بین افراد تخصیص داده شود و دارای دو ویژگی تقسیم ناپذیری و ناهمگنی هستند. به طور مثال، چه کسی در چه شغلی کار می‌کند، کدام دانش آموزان 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 که برای بسط بیشتر موضوع، می‌توان این نکته را متذکر شد که پیوند اعضای بدن به وضوح دو ویژگی مدنظر ما را دارند؛ به این معنا که، هم تقسیم ناپذیر و هم، غیرهمگن هستند (Roth, 2007).

تئوری تطبیق در بازارهای جدیدتری اجرا شده است که شاید بتوان گفت که مشخصه اصلی و مشترک این نوع از بازارها عدم توانایی در استفاده از سیستم قیمت‌ها در تسویه بازار است (Roth, 2005). در این بازارها، مکانیسم قیمت‌ها نمی‌تواند کارکرد مناسبی از خود نشان بدهد و مساله تخصیص منابع، نه با استفاده از سازوکار قیمت، بلکه تخصیص بر اساس شرایط عرضه کنندگان و تقاضا کنندگان است و در این بخش، تئوری تطبیق و سازوکارش وارد عمل می‌شود و شرکت کنندگان 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 گردد. وجود نهادهایی در بر پا کردن الگوریتم گیل-شپلی یا روش‌های دقیق‌تر الگوریتم‌های به‌هم‌رسانی، 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 می‌کند.

### ۱-۳. مدل تطبیق دو سوپه<sup>۱</sup>

تطبیق دو سوپه حالتی است که در آن، هم سمت عرضه کنندگان و هم، سمت تقاضاکنندگان نیاز به تطبیق دارند و هر دو طرف دارای لیست ترجیحات هستند و بستگی به اینکه کدام طرف ثابت و کدام طرف پیشنهاد دهنده باشد، در الگوریتم به هم‌رسانی 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: (Roth and Sotomayor, 1992)

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

#### 1. Two Sided

در اینجا مجموعه مردان، متشکل از  $n$  مرد و مجموعه زنان، هم متشکل از  $p$  زن می‌باشد. هر کدام از آنها دارای ترجیحات کامل و انتقال پذیر نسبت به عوامل موجود در سوی دیگر بازار است. امکان عدم تطبیق هم در این مدل‌ها که دور از ذهن هم نیست، با عنوان "تطبیق با خود" مشخص می‌شود؛ به این معنی که در این مدل، ممکن است یک فرد در یک سمت بازار بواسطه 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 و همان طور 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  $m_i$  ام،  $w_3$  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:

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

در برخی از حالات، فرد ترجیح می‌دهد که در این فرایند، 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 بدهد که به جای تطبیق با عامل، تنها بماند، در این صورت خواهیم داشت:  $[k >_k z]$

به این معنا که، تنها بودن و عدم تطبیق، برای عامل  $k$ ، از بودن با عامل  $z$  بهتر و مطلوب‌تر است. اگر یک عامل بین دو فرد قابل قبول، بی تفاوت 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 بی تفاوت نباشد، در این صورت او را دارای ترجیحات قوی می‌دانیم (Roth and Sotomayor, 1992). اگر فرایند تطبیق را با تابع  $\mu$  نشان دهیم، آنگاه برای این تطبیق باید شرایط زیر برقرار باشد:

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

و برای همه  $m$ ها و  $w$ ها، هر  $\mu(w)$  یا در  $M$  هست یا اینکه  $\mu(w) = W$  و همین طور برای عامل دیگر خواهیم داشت  $\mu(m)$  یا در  $W$  هست یا اینکه  $\mu(m) = m$  خواهد بود؛ به این معنا 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 که فرایند تطبیق توسط یک فرد مثل  $k$  مسدود شده است؛ در حالتی که  $k$ ، تنها بودن و عدم تطبیق را به فرایند تطبیق  $\mu(k)$  ترجیح می‌دهد؛ یعنی:

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

یک فرایند تطبیق را اصطلاحاً مسدود شده توسط یک جفت از عوامل  $(m, w)$  می‌نامند، اگر هر یک از این دو عامل یکدیگر را نسبت به شریکی که فرایند تطبیق برای آنها بر می‌گزیند، ترجیح دهند:

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

که در اینجا،  $\mu(m)$  و  $\mu(w)$  جفت‌هایی هستند که فرایند تطبیق برای آنها در نظر گرفته است. فرایند تطبیق را دارای ثبات<sup>۱</sup> خوانند، اگر توسط شخص و یا دو عامل مقابل هم مسدود نشده باشد (Roth and Sotomayor, 1992).

### ۲-۳. مدل های تطبیق یک سو به

نوع دیگری از تطبیق، تطبیق یک سو به است که در بسیاری از بازارها امکان پیدایش چنین تطبیق‌هایی وجود دارد. یکی از طرقی که این تطبیق اتفاق می‌افتد، زمانی است که هر شرکت کننده‌ای در بازار با هر شرکت کننده دیگری می‌تواند تطبیق یابد و لزوماً برای بازار، دوسو تعریف نمی‌شود و تمام شرکت کنندگان در یک گروه قرار می‌گیرند. به عنوان مثالی از این نوع، می‌توان به گروهی از افراد اشاره کرد که می‌خواهند با یکدیگر هم اتاقی شوند (مثل افرادی که در خوابگاه های دانشجویی ملزم به انتخاب هم اتاقی می‌شوند)، هرکدام از این افراد، می‌تواند با دیگری هم اتاق شود و در دو سمت بازار قرار نمی‌گیرند. افرادی که در این نوع از تطبیق‌ها هستند، همگی در یک گروه اند و اهداف یکسانی دارند. البته ذکر این نکته هم لازم است که الزاماً تمامی تطبیق‌ها کارآمد نخواهند بود.

### ۴. مدل سازی مبادله کلیه

$N$  مجموعه‌ای از بیماران و اهداکنندگانی هستند که با هم ناسازگاری می‌باشند؛ یعنی برای هر عامل  $i$  که در این مجموعه قرار گرفته، به صورت  $(R_i, \{D_i^1, \dots, D_i^n\})$  نشان داده شده است که در آن  $R_i$  گیرنده و  $D^1, \dots, D^n$  اهداکنندگان ناسازگار می‌باشد. می‌توان فرض کرد که هر بیمار بیش از یک اهداکننده ناسازگار داشته باشد و با این حال، فقط یکی از اهداکنندگان با بیمار تطبیق یابد. برای هر عامل  $i$  که عضو مجموعه است داریم:

$$j >_i i$$

یعنی حداقل یک اهداکننده  $j$  با عامل  $i$  سازگار است.

$$j \sim_i k$$

یعنی حداقل یک اهداکننده از  $j$  و یا  $k$  هست که با عامل  $i$  سازگار است.

$$i >_i j$$

یعنی تمامی اهداکنندگان  $i$  ناسازگار می‌باشند. تنها بودن و عدم تطبیق، برای عامل  $i$  از بودن با عامل  $j$  بهتر و مطلوب تر است. در این حالت، عامل  $i$  برای عامل "غیرقابل قبول" نامیده می‌شود. مسأله مهم برای بیماران، اهداکنندگان و ترجیحات شان است و نتیجه آن، تطبیق می‌باشد. تطبیق  $\mu: N \rightarrow N$  را یک تطبیق یک به یک گویند. برای هر  $i$  که در  $N$  هست، بیمار  $i_1$  از برخی از اهداکنندگان یک کلیه دریافت می‌کند. پس بیمار می‌تواند با هر اهداکننده تطبیق یابد؛ چون اهداکنندگان هر بیمار در هر تطبیقی برای بهبود بیمارشان شرکت می‌کنند. تطبیق  $\mu$  برای همه بیماران دارای عقلانیت فردی<sup>۱</sup> است، اگر همه آنها تطبیق  $\mu$  را ترجیح دهند. تمرکز ما روی تطبیق‌هایی با عقلانیت فردی است<sup>۲</sup>. مبادله  $k$  طرفه برای  $k \geq 1$  یک لیستی از بیماران همانند  $(i_1, i_2, \dots, i_k)$  است که  $i_1$  از اهداکننده بیمار  $i_k$  به شرطی که با بیمار  $1$  سازگاری خونی و بافتی داشته باشد، کلیه دریافت می‌کند و  $i_2$  با اهداکننده بیمار  $i_1$  که با بیمار  $2$  سازگار است، تطبیق می‌یابد ... و  $i_k$  از اهداکننده بیمار  $i_{k-1}$  کلیه دریافت خواهد کرد. همه این تطبیق‌ها دارای عقلانیت فردی خواهد بود. علاوه بر ویژگی ذکر شده، مکانیسم باید ویژگی کارا بودن و رفتار صادقانه نیز داشته باشند. یک تطبیق کارا است، اگر هیچ تطبیق دیگری نتواند عوامل را به جایی بهتر اختصاص دهد و یا حداقل نتواند یک عامل را قویاً به جایی بهتر اختصاص دهد و همچنین مکانیسمی دارای رفتار صادقانه است که در آن، بازیکنان هیچ انگیزه‌ای برای پنهان کردن اطلاعات خصوصی که در اختیار دارند، نداشته باشند و از ترجیحات دروغین نتواند سود ببرند (Sönmez and Ünver, 2011).

#### ۴-۱. ویژگی‌های مورد نیاز برای پیوند

دو ویژگی ژنتیکی نقش کلیدی در عملی شدن موفقیت پیوند کلیه دارد: گروه خونی و نوع بافتی بدن (Roth, 2007).

به طور کلی ۴ گروه خونی با نام‌های  $A, B, AB$  و  $O$  وجود دارد؛ که علت این نامگذاری به حضور یا عدم حضور پروتئین  $A$  و  $B$  مرتبط 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  $AB$ ، و اگر هیچیک از این پروتئین‌ها موجود نباشند، گروه خونی  $O$  نامیده می‌شود.

در این مدل، ناسازگاری گروه خونی ساختار به خوبی تعریف شده‌ای دارد. به این صورت که بیماری که در گروه خونی‌اش پروتئین‌های  $A$  یا  $B$  را ندارد، نمی‌تواند 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

#### 1. Individually Rational

۲. تطبیقی عقلانیت فردی است، اگر به وسیله عوامل مسدود نشود.

از افرادی با گروه های خونی A و O کلیه دریافت کنند. برای گروه خونی B هم، گروه خونی O و B از گروه های خونی مناسب هستند. و گروه خونی AB هم به علت داشتن هر دو نوع پروتئین، می تواند از تمامی گروه های خونی کلیه دریافت کند و اهداکنندگان گروه خونی O به تمامی گروه های خونی می توانند کلیه دهند. و اهداکنندگان گروه خونی AB فقط به بیماران گروه خونی مشابه خود می توانند کلیه اهدا کنند. بیماران گروه خونی O دارای بیشترین مشکلات در پیوند را دارند؛ در حالی که اهدا کنندگان گروه خونی O هرگز ناسازگاری های گروه خونی با دیگر بیمارها را نخواهند داشت (Roth, 2005).

### ناسازگاری های بافتی HLA<sup>۱</sup>

روی سلول های بدن افراد، آنتی ژن هایی وجود دارد که موجب شناسایی سلول های خودی از غیر خودی شده و در نتیجه موجب پاسخ ایمنی می گردد. این آنتی ها را آنتی ژن های سازگاری بافتی می نامند و آنتی ژن های سازگاری بافتی در انسان HLA یا آنتی ژن گلوبول سفید نامیده می شود. ژن های مربوط به این آنتی ژن ها بر روی بازوی کوتاه کروموزوم ۶ قرار گرفته اند. حضور این آنتی ژن ها در سطح سلول در عمل پیوند مشخص می گردد. در عمل پیوند علاوه بر تشابه گروه خونی و Rh بین فرد دهنده و گیرنده، باید حداکثر تجانس بین آنتی ژن های HLA نیز برقرار باشد؛ در غیر این صورت، فرد گیرنده در برابر عضو پیوندی عکس العمل نشان داده که منجر به رد پیوند خواهد شد.

HLA Typing آزمایشی است که در آن، سازگاری بافتی بررسی می شود. این آزمایش به دو صورت انجام می گیرد: روش سرولوژیکی (White Cross Match) و روش مولکولی. در پیوند اعضا مانند کبد، کلیه، قلب و ریه، باید سازگاری آنتی ژن های اهداکننده و گیرنده پیوند چک شوند. البته تا وقتی که گیرنده پیوند علیه آنتی ژن های دهنده، آنتی بادی نساخته باشد، ناسازگاری آنتی ژن ها کمتر خطرناک خواهد بود. قبل از پیوند کمی از خون بیمار و خون اهداکننده با هم مخلوط می شود تا آزمون تطبیق متقابل انجام گیرد. این آزمون به این معنی انجام می شود که مطمئن شویم هیچ ماده ای در خون به نام آنتی بادی سیتوتوکسیک وجود ندارد که موجب پس زدن کلیه پیوندی شود. اگر آزمون تطبیق متقابل مثبت شود، به این معنی است که اهداکننده با بیمار از نظر بافتی سازگاری ندارد و آنتی بادی ها در خون حضور دارند<sup>۲</sup>.

1. Human leukocyte Antigen
2. Medical Genetic Science

## ۲-۴. مدل مبادله

در بازار کلیه معمولاً چهار زوج قابل تصور است:

زوج‌های بیش از حد درخواستنی<sup>۱</sup>: زوجی است که بین دهنده و گیرنده (بیمار) مورد نظر سازگاری گروه خونی وجود دارد.

زوج‌های کمتر از حد درخواستنی<sup>۲</sup>: زوجی است که بین دهنده (اهدانکننده) و گیرنده (بیمار) سازگاری گروه خونی وجود ندارد.

زوج‌های خود - درخواستنی<sup>۳</sup>: زوجی است که گروه خونی دهنده (اهدانکننده) و گیرنده (بیمار) مشابه هستند.

زوج‌های متقابلاً درخواستنی<sup>۴</sup>: به زوجی که دهنده و گیرنده آنها متقابلاً دارای گروه خونی مشابه باشند، زوج‌های متقابلاً درخواستنی می‌گویند.

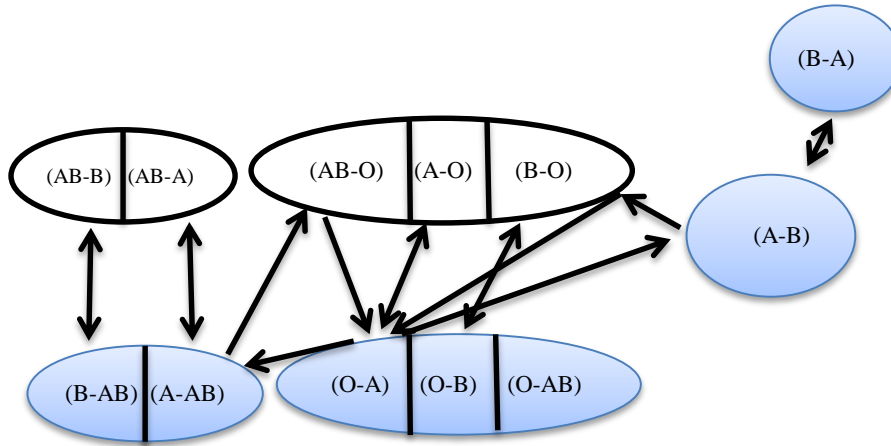
زوج‌های<sup>۵</sup> (O-A)، (O-B)، (O-AB)، (A-AB)، (B-AB)، (B-A) و (A-B)، زوج‌های کمتر از حد درخواستنی هستند؛ که این زوج‌ها انتظار طولانی برای پیوند نسبت به بقیه زوج‌ها دارند. زوج‌های (A-O)، (B-O)، (AB-O)، (AB-A) و (AB-B)، زوج‌های بیش از حد درخواستنی هستند.

از آنجایی که تعداد زوج‌های (O-A) بیشتر از (A-O)، تعداد زوج‌های (O-B) بیشتر از (B-O)، تعداد زوج‌های (O-AB) بیشتر از (AB-O)، (A-AB) بیشتر از (AB-A) و تعداد زوج‌های (B-AB) بیشتر از (AB-B) است، پس می‌توان با مبادله تطبیق تا حدودی از مشکلات شان کاست. در نمودار ۲، زوج‌های کمتر از حد درخواستنی که انتظار طولانی برای پیوند نسبت به بقیه زوج‌ها دارند، با رنگ تیره و زوج‌های بیش از حد درخواستنی، با رنگ روشن نشان داده شده است.

1. Over-demanded
2. Under-demanded
3. Self demanded
4. Reciprocal demanded

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

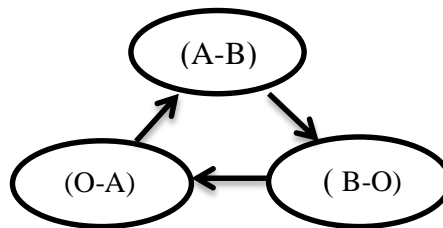
### نمودار ۲. مدل مبادله کلیه



منبع: (Ashlagi and Roth 2012)

برای به دست آوردن کارآیی در تطبیق، باید مراحل زیر طی شود:  
 مرحله اول) 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 دو طرفه 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. تمامی جفت‌های زوج‌های (B-A) با (A-B) تطبیق می‌یابند و باقیمانده (A-B) محاسبه می‌شوند.  
 مرحله دوم) باقیمانده (A-B) در یک مبادله سه طرفه طبق نمودار ۳ با زوج‌های (O-A) و (B-O) تطبیق می‌یابند

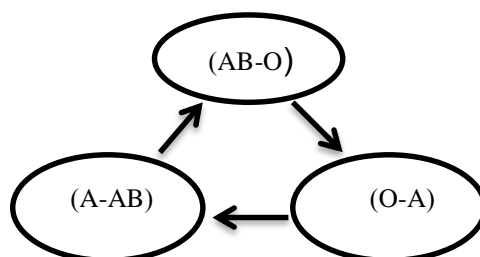
### نمودار ۳. مبادله سه طرفه





و یا اینکه با زوج‌های (AB-A) و (B-AB) تطبیق خواهند یافت.  
 از آنجایی که زوج‌های (A-B) کمتر از زوج‌های (B-O) و (O-A) است، پس همه زوج‌های (A-B) می‌توانند تطبیق یابند. آن زوج‌هایی که با (B-A) تطبیق نیافتند، در مبادله سه طرفه، به صورت زیر تطبیق می‌یابند:  
 دهنده زوج (A-B) که دارای گروه خونی B می‌باشد، با فرض اینکه دهنده‌ها با بیماران دیگر دارای سازگاری بافتی هستند، کلیه خود را برای پیوند به بیمار زوج (B-O) که دارای گروه خونی B هست می‌دهد و دهنده این زوج که دارای گروه خونی O می‌باشد، با بیمار زوج (O-A) که دارای گروه خونی O است، می‌دهد و دهنده این زوج با گروه خونی A با بیمار زوج (A-B) که دارای گروه خونی A است، تطبیق خواهد یافت.  
 مرحله سوم) زوج‌های (AB-O) در یک مبادله سه طرفه با زوج‌های (O-A) و (A-AB) و یا با زوج‌های (O-B) و (B-AB) تطبیق می‌یابند.

#### نمودار ۴. مبادله سه طرفه



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 با گروه خونی AB با بیمار زوج (AB-O) تطبیق می‌یابد.  
 (AB-O, O-A, A-AB)  
 و یا در مبادله سه طرفه با زوج‌های (O-B) و (B-AB) به صورت (AB-O, O-B, B-AB) تطبیق خواهند یافت.

اگر  $n$  را تعداد در نظر بگیریم، حداکثر تعداد مبادلات و پیوند کلیه به صورت زیر می‌باشد (Roth, 2007):

:2007

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

همان طور که مشاهده می‌شود، با زیاد شدن مبادلات، 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.

### ۳-۴. برآورد مدل بازار کلیه

در این پژوهش، به کمک انجمن حمایت از بیماران کلیوی، افراد دهنده و گیرنده از گروه خونی‌های متفاوت بر حسب تصادف به تعداد ۲۰ زوج انتخاب شده‌اند. نمونه انتخابی به این صورت بوده که بعد از مطالعه بیماران موجود در انجمن، کمتر از ۱۰۰ بیمار شانس انتخاب را داشتند که با تأسی به روش‌شناسی آلوین راث و همچنین به دلیل محدودیت مالی<sup>۱</sup>، حدود ۴۰ نفر یعنی ۲۰ زوج انتخاب گردید که نحوه انتخاب آنها به روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک بود.

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

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.

اهدانندگان  $k_1, k_2, k_{15}, k_{16}, k_{19}, k_{20}$  دارای گروه خونی A هستند.

اهدانندگان  $k_3, k_4, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{17}$  دارای گروه خونی B هستند.

اهدانندگان  $k_7, k_8, k_9, k_{13}, k_{14}, k_{18}$  دارای گروه خونی O هستند.

اهدانندگان  $k_5, k_6$  دارای گروه خونی AB هستند.

#### ۱-۳-۴. 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 دهنده‌های O، A، سازگاری خواهد داشت. گیرنده گروه خونی B با گروه خونی

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

دهنده‌های O، B سازگاری خونی دارند. گیرنده گروه خونی AB با گروه خونی تمامی بیماران B، A، O و AB سازگاری خواهند داشت.

جدول ۱. حالت‌های تطبیق متقاطع از نظر گروه خونی

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

مأخذ: پردازش پژوهش

۲. تطابق بافتی همان طور که اشاره شد، تطابق بافتی از طریق آزمون تطبیق متقابل انجام می‌گیرد. در این مرحله، تمامی اهداکنندگانی که با بیماران سازگاری خونی دارند، دو به دو با هم این آزمایش را انجام می‌دهند؛ به این معنی که مطمئن شویم هیچ ماده‌ای در خون به نام آنتی بادی سیتوتوکسیک وجود ندارد که موجب پس زدن کلیه پیوندی شود.

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

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

۵- خویشاوندان بیمار: 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 مونث ترجیح داده می‌شود. ترجیحات بیماران برای کلیه‌های سازگار و لیست انتظار، به صورت زیر است:

۱. در این تحقیق، بیش از ۲۰۰ آزمایش تطابق بافتی (کراس مچ) انجام گرفت.

جدول ۲. 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

مأخذ: پردازش پژوهش

در جدول فوق، ترجیحات بیماران بر اساس چیدمان فوق‌الذکر بیان شده است. به طور مثال، اهداکنندگان زوج نهم، چهاردهم، هشتم، هجدهم و سیزدهم و هفتم با بیمار ۱ سازگاری خونی و بافتی دارند. از میان این اهداکنندگان، اهداکننده زوج نهم نسبت به چهاردهم و اهداکننده چهاردهم نسبت به اهداکننده هشتم و اهداکننده زوج هشتم نسبت به هجدهم و اهداکننده زوج هجدهم نسبت به سیزدهم و اهداکننده زوج سیزدهم نسبت به هفتم در اولویت است. و ترجیحات بقیه بیماران در جدول ۲ آمده است.

### ۲-۳-۴. مکانیسم پیشنهادی

الگوریتم باید طوری طراحی شود که عوامل را به بالاترین ترجیحات خود تخصیص دهد؛ به طوری که عوامل نتوانند از این انتخابی که کرده‌اند، انتخاب بهتری داشته باشند. هر عاملی که در مرحله اول رد شده است، در مرحله دوم به انتخاب اول از میان گزینه‌های باقی‌مانده اختصاص می‌یابد و هر عاملی که در مرحله دوم باقی‌مانده باشد، در مرحله سوم نیز به انتخاب اولش از میان گزینه‌های باقی‌مانده تطبیق می‌یابد و این مراحل بدین‌صورت ادامه دارد. این مکانیسم باید دارای عقلانیت فردی باشد؛ زیرا برای متقاضیان موجود، ابتدا هر متقاضی را به دهنده خودش مرتبط می‌کند و اگر کلیه‌ای بهتر از دهنده خودش پیدا شد، آن را به دهنده خودش ترجیح می‌دهد (مولابیگی، ۱۳۹۵).

### ۳-۳-۴. تعداد پیوندهای کارا بدون مکانیسم

از جدول شماره ۲ مشخص است که زوج‌هایی که در آن، بیمار و اهداکننده ناسازگار می‌باشد، 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  $B, B, A, A, A, A, O, O, O, O, O, O, O, O, O, O$  و اهداکنندگان آنها به ترتیب، دارای گروه خونی  $A, A, A, A, A, A, B, B, A, A, B, B, B, AB, AB, AB$  می‌باشد.

زوج‌هایی که در آن، بیمار و اهداکننده سازگار خونی و بافتی می‌باشد، عبارت است از:  
 $(t_7, k_7) - (t_8, k_8) - (t_9, k_9) - (t_{13}, k_{13}) - (t_{14}, k_{14}) - (t_{17}, k_{17}) - (t_{18}, k_{18}) - (t_{19}, k_{19}) - (t_{20}, k_{20})$ .  
اگر مکانیسم تطبیق صورت نگیرد، فقط بیمار شماره هفتم و بیستم به کلیه کارا می‌رسند. هرچند بیمار شماره هشتم، نهم، سیزدهم، چهاردهم، هفدهم، هجدهم و نوزدهم با اهداکنندگان شان تطبیق می‌یابند، ولی اهداکننده آنها در ترجیحات شان به ترتیب، در اولویت هفتم، پنجم، هفتم، چهارم، پنجم، هشتم و هشتم قرار دارند که می‌توانند با مبادله بین خودشان، کارآیی مبادله را افزایش دهند. به طور مثال، اهداکنندگان بیمارهای شماره نهم و نوزدهم می‌توانند با مبادله بین خودشان کارآیی را افزایش دهند و همچنین اهداکنندگان بیمارهای شماره هشتم و بیستم می‌توانند با مبادله بین خودشان یا مبادله اهداکنندگان بیمار نهم با اهداکننده بیمار شانزدهم یا مبادله اهداکننده بیمار هجدهم با اهداکننده نوزدهم، سبب افزایش کارآیی خواهد شد.

#### ۴-۳-۴. تعداد تطبیق کارآ

با مکانیسم طراحی شده، تعداد پیوندها به هفده زوج خواهد رسید<sup>۱</sup>. بیماران شماره هشتم، نهم، سیزدهم، چهاردهم، هفدهم، هجدهم و نوزدهم با اهداکنندگان بیمار شانزدهم، نوزدهم، نهم، هفدهم، دوازدهم، پنجم و ششم تطبیق می‌یابند که در ترجیحات رتبه بندی شده بیماران، این اهداکنندگان به ترتیب، در اولویت چهارم، یکم، سوم، یکم، یکم و دوم قرار دارند و همچنین بیماران شماره دوم، پنجم، ششم، دهم، دوازدهم، پانزدهم و شانزدهم به ترتیب، با اهداکنندگان بیمار چهاردهم، هجدهم، سیزدهم، یکم، دوم، دهم و هشتم تطبیق می‌یابند که بدون این مکانیسم، بیماران مذکور پیوندی را دریافت نمی‌کردند و مضاف بر اینکه در ترجیحات رتبه بندی شده بیماران مذکور، این اهداکنندگان به ترتیب، در اولویت اول، دوم، سوم، یازدهم، یکم، هشتم و هفتم قرار گرفته‌اند. با مکانیسم طراحی شده، هیچ تطبیق و مبادلاتی نمی‌توان یافت که عوامل را به جایی بهتر اختصاص دهند؛ به عبارتی، با این مکانیسم عوامل به بالاترین ترجیحات خود طبق مبادلات زیر تخصیص داده شده‌اند.

#### ۴-۳-۴-۱. مبادله تطبیق دو طرفه

زوج پنجم با زوج هجدهم تطبیق می‌یابد، چون بیمار زوج پنجم دارای گروه خونی O و از طرفی اهداکننده زوج هجدهم دارای همین گروه خونی است و بیمار زوج هجدهم دارای گروه خونی AB و اهداکننده آن در گروه دارای گروه خونی AB است، که می‌توان این دو زوج را با این مبادله بهبود بخشید.

زوج هشتم با زوج شانزدهم تطبیق می‌یابد، چون بیمار زوج هشتم دارای گروه خونی A و از طرفی اهداکننده زوج شانزدهم دارای همین گروه خونی است و بیمار زوج شانزدهم دارای گروه خونی B و اهداکننده آن در گروه دارای گروه خونی A است، که می‌توان این دو زوج را در تطبیق شرکت داد.

همان طور که مشاهده می‌شود، در فرایند مبادله دو طرفه، فقط ۴ پیوند صورت می‌گیرد. به عبارتی، ۴ عرضه‌کننده کلیه با ۴ تقاضاکننده کلیه با الگوریتم دوری تطبیق می‌یابد.

۱. نحوه تطبیق دهنده‌ها با بیماران و مراحل آن در مقاله «طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران» ارائه و در فصلنامه اقتصادی دانشگاه بوعلی سینا پذیرش شده است.

#### ۲-۴-۳-۴. مبادله تطبیق چهار طرفه<sup>۱</sup>

اهداکننده زوج دوازدهم که دارای گروه خونی B است، کلیه خود را به بیمار زوج هفدهم که دارای همین گروه خونی می‌باشد، اهدا می‌کند و در عوض، اهداکننده زوج هفدهم که دارای گروه خونی B است، کلیه خویش را به بیمار زوج چهاردهم که دارای همین گروه خونی می‌باشد، اعطا می‌کند و در قبال آن، اهداکننده زوج چهاردهم دارای گروه خونی O، کلیه خود را به بیمار زوج دوم که دارای گروه خونی O است، اهدا می‌کند و به این ترتیب، اهداکننده زوج دوم که دارای گروه خونی A می‌باشد، با بیمار زوج دوازدهم که دارای همین گروه خونی است، تطبیق می‌یابد.

اهداکننده زوج نهم دارای گروه خونی B است که بیمار زوج سیزدهم دارای همین گروه خونی می‌باشد، اهداکننده زوج سیزدهم دارای گروه خونی O است که بیمار زوج ششم دارای همین گروه خونی می‌باشد، و اهداکننده زوج ششم دارای گروه خونی AB است که بیمار زوج نوزدهم دارای گروه خونی AB است و اهداکننده زوج نوزدهم دارای گروه خونی A است و بیمار زوج نهم دارای همین گروه خونی می‌باشد. با این تطبیق، می‌توان این چهار زوج را در مبادله شرکت داد.

همان طور که مشاهده می‌شود، در فرایند مبادله چهار طرفه، تعداد ۸ پیوند صورت می‌گیرد. به عبارتی، ۸ عرضه کننده با ۸ تقاضاکننده کلیه با الگوریتم دوری، تطبیق می‌یابد.

اهداکننده هفتم و بیستم به بیمار خود کلیه اهدا خواهند کرد، چون کلیه زوج خود کارآمدترین کلیه می‌باشد. الگوریتم طوری طراحی شده است که اگر برای هر بیمار از دهنده خودش بهتر پیدا شد، به آن تطبیق می‌یابد، در غیر این صورت، با کلیه دهنده خودش تطبیق خواهد یافت.

در الگوریتم زنجیره‌ای اهداکننده زوج اول، دارای گروه خونی A که با بیمار زوج دهم که دارای همین گروه خونی است، تطبیق می‌یابد، اهداکننده زوج دهم که دارای گروه خونی B است، با بیمار زوج پانزدهم که دارای همین گروه خونی می‌باشد، جفت می‌شود و اهداکننده زوج پانزدهم دارای گروه خونی A می‌باشد که با بیمار زوج یازدهم با همین گروه خونی تطبیق خواهد یافت تا بیمار زوج اول، به لیست انتظار بپیوندد.

زوج سوم و چهارم از الگوریتم بیرون خواهد ماند.

#### ۵-۳-۴. محدود کردن مبادله به مبادله دو و سه طرفه

راث (Roth, 2005) معتقد است که محدود کردن تطبیق‌ها به دو طرفه و سه طرفه، تأثیر کمتری روی کارایی دارد و همچنین زوج‌هایی که دارای گروه خونی‌های مشابه هستند، در مبادلات شرکت

#### 1. Exchange Four-Way

نمی‌کنند، بلکه با همدیگر تطبیق می‌یابند (Roth, 2012) ولی در این پژوهش، محدود کردن سیستم به محدودیت‌های فوق باعث از دست رفتن فرصت‌های زیر می‌شود.

اگر طبق مدل راث عمل کنیم، در مجموع به تعداد ۹ بیمار به پیوند کارا دسترسی خواهند یافت که ۴ زوج آن به کمک مبادله تطبیق دو طرفه با هم تطبیق، و دو زوج با اهداکننده خودشان و ۳ زوج بقیه به کمک الگوریتم زنجیره‌ای به اهداکنندگان کارا دسترسی خواهند یافت و بیماران شماره دوم، ششم، دوازدهم، نهم، سیزدهم، چهاردهم، هفدهم و نوزدهم، محروم از دریافت کلیه‌های کارآمد از نظر پزشکی خواهند شد؛ چون این هشت بیمار به کمک مبادله چهار طرفه به تطبیق کارآمد می‌رسیدند؛ در حالی که بیمار دوم و ششم دارای گروه خونی O هستند که یکی از اهداف این مکانیسم، کاهش مشکلات این بیماران بوده است.

### ۶-۳-۴. 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<sup>۱</sup>، و حدود ۲۵۵۰۰ بیمار پیوندی در کشور بوده‌اند. با در نظر گرفتن متوسط رشد حدود ۶ درصدی بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران، پیش بینی می‌شود، روش درمانی پیوند همچنان مهم‌ترین روش درمان بیماران مرحله انتهایی بیماری کلیه در ایران باقی بماند (سالنمای دیالیز، ۱۳۹۳).

از آنجایی که هر سال به تعداد بیماری کلیه افزوده می‌شود<sup>۲</sup>، لازم است تا الگوریتمی طراحی شود تا بین دهندگان و گیرندگان کلیه مبادلاتی صورت گیرد. با به کارگیری الگوریتم طراحی شده در این پژوهش، باید درصد آن بود که با الهام از نظریه راث تا حدودی بر مشکلات بیماران پیوندی فائق آمد. در ایران، بیماران کلیوی در وضعیت خوبی قرار ندارند و احتیاج به توجه بیشتری است و از

۱. در دیالیز صفاقی (PD) از صفاق پرده ای طبیعی که حفره شکم را می‌پوشاند، استفاده می‌شود. پرده سوراخ‌های کوچکی دارد و به عنوان صافی عمل می‌کند و مواد زائد و مایعات می‌توانند از بدن دفع شوند.
۲. به گفته مسؤولان 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 آنکه هر سال آمار بیماران کلیوی کشور، افزایش می‌یابد.



آنجایی که خرید و فروش کلیه ممنوع نیست<sup>۱</sup>، 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 و کاهش هزینه‌ها نیز کمک فراوانی می‌کند. در حال حاضر در ایران، به دو روش می‌توان کلیه تهیه کرد:

۱- مراجعه به انجمن خیریه حمایت از بیماران کلیه و ثبت نام بیمار در لیست انتظار؛

۲- تهیه کلیه در بازار غیر رسمی.

در روش اول، گیرنده و دهنده که با هم سازگار هستند، به انجمن مراجعه و ثبت نام می‌کنند و انجمن مبلغ یکصد و چهل میلیون ریال از گیرنده (بیمار) اخذ می‌کند تا بعد پیوند به دهنده پرداخت کند و بعد از عمل پیوند دهنده‌ها توسط انجمن به استانداردهای معرفی می‌شوند تا مبلغ ده میلیون ریالی که دولت بابت این کار خدایسند در نظر گرفته دریافت کنند.

در روش دوم، تهیه کلیه به علت وجود دلالتان و واسطه‌ها بالا است و بیشتر توافقی تعیین، که در برخی موارد، تا بالای ۵۰۰ میلیون ریال نیز معامله می‌شود. البته انجمن حمایت از بیماران کلیوی، تدبیری برای این کار اندیشیده که تا حدی بتواند دست واسطه‌ها را کوتاه کند. در این حالت، لازم است بیماران با معرفی‌نامه انجمن حمایت از بیماران کلیوی برای پیوند کلیه به بیمارستان‌ها مراجعه کنند (مولایی، ۱۳۹۶).

#### ۷-۳-۴. صرفه‌جویی ریالی

هزینه پیوند در ایران عبارتند از:

۱- هزینه بستری شدن در بیمارستان<sup>۲</sup>: این هزینه، مبلغی است که برای عمل جراحی و بستری شدن در بیمارستان برای دوره ۵ الی ۳۰ روزه باید پرداخت شود. تعرفه بخش دولتی 650K تعریف شده بود که در آن مبلغ ریالی ضریب k تقریباً ۶۰ هزار ریال می‌باشد.

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

۱. براساس آنچه در فتاوی 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 عدم امکان خرید و فروش کلیه است. در شرایط کنونی، خرید و فروش کلیه در کشور، منع قانونی ندارد.

2. Cost of initial hospitalization for Transplantation

3. Cost of immunosuppressive agents

۳- هزینه درمان عوارض جانبی<sup>۱</sup>: 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، ۵۳/۱، ۳۷۰/۵، ۴۳۶/۸، ۴/۶، ۳، ۳۹۷/۶ و ۸۴/۸۲ دلار می‌باشد.

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

هزینه بستری شدن در بیمارستان در سال ۲۰۱۴ برابر با ۳۱۸۱ دلار و هزینه داروهای سرکوب کننده 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<sup>۳</sup>) و ۱۱۱۸۸ دلار (۳۳۵ میلیون ریال) می‌باشد (سلامزاده، ۲۰۱۴). از آنجایی که در طول یک سال، یک بیمار دیالیزی ۱۵۲ بار<sup>۴</sup> باید برای دیالیز به بیمارستان مراجعه کند، پس هزینه فرصت سالانه بیمار در سال ۲۰۱۴، براساس قانون حداقل دستمزدها، به اندازه ۱۸۰۴۸ هزار ریال می‌باشد. کل هزینه بیمار دیالیزی در ایران در سال ۲۰۱۴ که از مجموع هزینه‌های مستقیم و 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، و 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. ولی با به کارگیری این مکانیسم، حداقل به اندازه ۱۶۴ میلیون ریال برای هر بیمار، صرفه‌جویی اقتصادی برای کشور خواهد داشت.

1. Cost of treatment of adverse events
2. Cost of miscellaneous medicines

۳. نرخ ارز را ۳۰ هزار ریال در نظر گرفته‌ایم.

۴. حداقل دستمزد ماهانه طبق قانون کار برای سال ۱۳۹۴ برابر با ۷۱۲۴۱۳۰ ریال بود، بنابراین در این سال، دستمزد هر ساعت ۲۹۶۸۰ ریال به دست می‌آید و از آنجایی که هر بار دیالیز در بیمارستان، ۴ ساعت به طول می‌انجامد، پس هزینه ۴ ساعت برابر با ۱۱۸۷۳۵ ریال می‌باشد که اگر ۱۵۲ را در این عدد ضرب کنیم، هزینه فرصت بیمار به دست می‌آید.

علاوه بر این صرفه‌جویی، از آنجایی که متوسط طول عمر بیماران دیالیزی تقریباً ۵ سال و متوسط طول عمر بیماران پیوندی حداقل ۱۶ سال است، پس می‌توان به کمک این مکانیسم، طول عمر بیماران ESRD را حداقل ۱۰ سال اضافه کرد.

#### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

مهم‌ترین هدف پژوهش‌های اقتصادی در کنار پیشبرد علم اقتصاد، دستیابی به روش‌های علمی در بهتر زیستن بشر و پیشبرد فهم بهتر بشریت از تعاملات انسانی و اقتصادی است. هدف این پژوهش نیز در راستای این شالوده عظیم علم اقتصاد قرار داده شده است؛ چون هر جا که بحث از تقاضا و عرضه باشد، قابلیت تحلیل از منظر اقتصادی وجود دارد. هر محیطی که در آن به نوعی مبادله وجود داشته باشد، «بازار» به آن اطلاق می‌شود. مبادله کلیه نیز دارای عرضه و تقاضا است. تقاضا از طرف بیماران می‌باشد و عرضه که همان اهداء کلیه می‌باشد که ممکن است این دهندگان همسر، برادر، پدر و مادر و یا دوستان و غیره باشند.

هدف این مقاله، بررسی معضل بازار کلیه و ارائه راهکاری برای حل مشکل آن است از آنجایی که نوع شکست بازار در بازار کلیه، پراکنده بودن عرضه و تقاضا است، پس تأسیس اتاق تسویه که در آن، اطلاعات، ثبت و پردازش شود، لازم و ضروری است. بعد از ثبت بیماران و اهداکنندگان باید ترجیحات بیماران مشخص گردد تا از طریق مکانیسمی، این زوجها با هم تطبیق شوند. طراحی این مکانیسم با کمک نظریه طراحی بازار و بهره‌گیری از مدل‌های نظریه بازی‌ها و البته دریافت بازخورد در مراحل مختلف امکان‌پذیر است. البته مکانیسم طراحی شده، باید در عمل به اجرا درآید تا کاستی‌های آن مشخص گردد و کاستی‌های آن در دوره‌های بعدی طراحی برطرف گردد.

این پژوهش به کمک انجمن حمایت از بیماران کلیوی و دانشکده پزشکی و بیمارستان شهید بهشتی همدان و همکاری ۲۰ زوج از بیماران دیالیزی همراه با اهداکنندگان شان انجام گردید. اطلاعات بیماران بر حسب انطباق گروه خونی، بافتی، مدت زمان بیماری، سن اهداکننده، رابطه خویشاوندی بین بیمار و اهداکننده و جنسیت اهداکننده گردآوری و بعد از رتبه‌بندی ترجیحات بیماران، به کمک مکانیسم پیشنهادی، به تعداد ۱۷ تقاضاکننده با عرضه‌کننده تطبیق یافته‌اند. تطبیق دهنده و گیرنده به کمک مبادلات دوطرفه و چهارطرفه می‌باشد. از آنجایی که پیوند از اهداکننده زنده بهتر از پیوند از مرگ مغزی است و متوسط طول عمر بیمارانی که از اهداکننده زنده کلیه دریافت می‌کنند، بیش از ۱۶ سال می‌باشد و همچنین به دلیل صرفه‌جویی‌های ریالی و رفاهی که در اقتصاد حاصل می‌کند، بر ترویج چنین مکانیسم‌هایی در کشور تأکید می‌شود. در ایران، تأسیس اتاق تسویه و مکانیسم مبادله، به دلایل زیر می‌تواند به بیماران و اقتصاد کمک کند:

- ۱- افراد در طی مرحله یافتن دهنده مناسب، با موانع و مشکلاتی دست به گریبان می‌شوند که باعث احساس ناامیدی و دلسردی در روند انجام پیوند می‌گردد. از جمله مواردی که احساس ناامیدی به فرد دست می‌دهد، هنگامی است که آزمایش‌های مربوطه باهم سازگاری ندارد. از دیگر مشکلات در یافتن دهنده، هنگامی است که دهنده حتی بعد از انجام آزمایش‌های مربوطه - به علت عدم خویشاوندی نزدیک - حاضر به اهداء کلیه نمی‌شود؛
- ۲- از آنجایی که پیوند کلیه از اهداکننده زنده بیشتر است، پس تأسیس اتاق تسویه و مکانیسم مبادله کلیه، می‌تواند تا حدی این بازار را ترمیم کند؛
- ۳- وجود این مکانیسم، دست دلال‌ها را از این بازار کوتاه می‌کند؛
- ۴- ممنوع نبودن خرید و فروش کلیه، تأسیس اتاق تسویه را که در آن، اطلاعات دهنده‌ها و گیرنده‌ها ثبت شود، دوچندان می‌کند. به همین علت، مدل مبادله کلیه در ایران می‌تواند حتی نسبت کشورهای دیگر، از عملکرد بهتری برخوردار گردد؛
- ۵- با به کارگیری این مکانیسم، حداقل به اندازه ۱۶۴ میلیون ریال برای هر بیمار، صرفه‌جویی اقتصادی برای کشور خواهد داشت و علاوه بر آن، به کمک این مکانیسم، متوسط طول عمر بیماران را حداقل ۱۰ سال اضافه کرد.

## منابع و مأخذ

- 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.
- 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)*، سال ۱۵، شماره ۴: ۱۷۳-۱۹۲.
- کنسرسیوم دیالیز ایران ( خرداد ۱۳۹۴). (سالنمای دیالیز ایران، ۱۳۹۳).
- مولاییگی، جلال و جعفر عبادی (۱۳۹۵). طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران. رساله دکتری دانشگاه مفید قم.
- مولاییگی، جلال؛ جعفر عبادی؛ ناصر الهی و محمدعلی امیرزرگر (۱۳۹۶). طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*. دوره ۶، شماره ۲۴، ۹۵-۱۲۳.
- نصیری‌اقدم، علی؛ رضایی، محمدجواد و موحدی‌بک‌نظر، مهدی (۱۳۹۳). طراحی بازار، چارچوب تحلیلی راث در درک عملکرد بازار. *فصلنامه مجلس و راهبرد*، سال ۲۱، شماره ۷۹.
- Abdulkadiroglu, Atila; Parag, A. Pathak, and Alvin E. Roth (2009). Strategy-proofness versus. Efficiency in Matching with Indifferences: Redesigning the NYC High School Match. *America Economic Review*, 99(5): 1954-78.
- Abdulkadiroglu, A., Pathak, P. A. and Roth, A. E. (2005). The New York City High School Match. *American Economic Review*, Vol. 95: 364-367.
- Ashlagi, Itai and Alvin E. Roth (2012). New challenges in multi-hospital kidney exchange. *American Economic Review Papers and Proceedings*, 102(3): 354-59.
- Gale, D. and Shapely, L. S. (1962). College Admissions and the Stability of Marriage. *The American Mathematical Monthly*, Vol. 69: 9-15.
- Hanto, R. L.; Roth A. E.; Ünver M. U., and Delmonico F. L. (2010). New Sources in Living Kidney Donation In Kidney Transplantation: A Guide to the Care of Kidney Transplant Recipients. Edited by McKay, D. B., and Steinberg, S. M., New York: Springer: 103-117.
- Hurwicz, L. (1960). Optimality and informational efficiency in resource allocation Processes. in Arrow, Karlin and Suppes (eds.), *Mathematical Methods in the Social Sciences*. Stanford University Press.
- 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](http://www.tpm.org).

- Rapaport, F.T. (1986) The case for a living emotionally related international kidney donor exchange registry. *Transplant Proc* 1986; 18: 5-9.
- Ross, L. F. and Woodle, E. S. (2000). Ethical Issues in Increasing Living Kidney Donations by Expanding Kidney Paired Exchange Programs. *Transplantation*, Vol. 69: 1539-43 .
- Roth, A. E.; T. 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.; 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, Alvin E. (1991). Game Theory as a Part of Empirical Economics. *The Economic Journal*, Vol. 101, No. 404: 107-114.
- Roth, Alvin E. (2007). The Art of Designing Markets. *Harvard Business Review*: 118-126.
- Roth, Alvin E. (2008). What have we learned from market design?. *Economic Journal*, 118 (527): 285-310.
- Roth, Alvin E. (2008). Deferred Acceptance Algorithms: History, Theory, Practice, and Open Questions. *International Journal of Game Theory*, Vol. 36, No. 3: 537-569.
- Saidman, Susan L.; Alvin E. Roth; Tayfun Sonmez, Ünver, M. U. and Francis L. Delmonico (2006). Increasing the Opportunity of Live Kidney Donation By Matching for Two and Three Way Exchanges. *Transplantation*, 81: 773-782.
- Salamzadeh, Jamshid; Foroutan, N.; Jamshidi, R.; Rasekh, H. *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, April 25.
- 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.
- Wolfe, R.A.; Ashby, V.B.; Milford, E.L. *et al.* (1999). Comparison of mortality in all patients on dialysis, patients on dialysis awaiting transplantation, and recipients of a first cadaveric transplant. 341(23): 1725-30.