فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار) ـ سال هجدهم ـ شماره چهارم ـ زمستان ۱۳۹۷ ـ صفحات ۳۰-۱

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

جلال مولابیگی[۱]
جعفر عبادی[۲]
محمدعلی امیرزرگر[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۵ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۶/۵/۲۵

چکیده

در دنیای واقعی پراکنده بودن عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان کالا در بازار سبب می‌شود که برخی از بازارها تشکیل نشود. بازارکلیه یک نمونه واقعی از این نوع بازارهااست 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 نتواند 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 اهداکنندهِ 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: C79، D89، D47، C71، C78، I1

۱. دکترای اقتصاد (نویسنده مسوول) jalal_molabeigi@yahoo.com
۲. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه تهران-تهران-ایران jebadi@ut.ac.ir
۳. استاد گروه ارولوژی دانشگاه علوم پزشکی همدان- همدان -ایران amirzargar@umsha.ac.ir

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

۱. مقدمه

پیوند کلیه بهترین درمان برای افرادی است که در مرحله انتهایی بیماری کلیوی[1] 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).

متاسفانه 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.[2] 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، می باید بتوانند شرکت‌کنندگان را بر آن دارند که ترجیحات خود را آشکار سازند و با ایجاد فرصت های کافی برای انتخاب و روش های سریع برای ثبت آنها، بر ازدحام ناشی از تعدّد عرضه کنندگان و تقاضا کنندگان نیز غلبه کنند. حل این مشکلات نیاز به دو رشته مهم اقتصادی نظریه بازی ها و اقتصاد تجربی دارد.

از نظریه بازی‌ها، شاخه ای 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. (Accessed February 1, 2011)

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 داده‌شده 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 آلوین راث[1] اعطا شد. دلیل اعطای نوبل به راث و شپلی «تئوری تخصیص پایدار و کاربرد طراحی بازار[2]» 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 بیمارستان ها در رقابت با هم بودند تا بهترین متقاضیان را جذب کنند و یک شکل از این رقابت‌ها استخدام زود هنگام انترن ها به وسیله بیمارستان ها بود که سبب شد خیلی زود دانشجویان پزشکی در اوایل دوره پزشکی، پیشنهادهایی را مبنی بر استخدام شان از بیمارستان ها 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 بیمارستان ها 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

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

برای حل مشکل در سال ۱۹۵۰، مرکزی به نام اتاق تسویه تأسیس شد که برای مشارکت‌کنندگان بازار قابل توجه بود. در این فرایند، بیمارستان ها 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 بیمارستان هایی می‌کردند که برای آنها می‌خواستند درخواست بفرستند، و بیمارستان ها 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 لیست های ترجیحات در پایان به اتاق تسویه فرستاده می‌شد. اتاق تسویه از این اطلاعات برای ایجاد تطبیقی مناسب از دانشجویان و بیمارستان ها استفاده می‌کرد. بعد از مدتی، ازدواج پزشکان با همکاران خود نیز معضلی به بار آورد؛ به این صورت، پزشکانی 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 پزشک‌اند (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 درنهایت، 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 ۷-۲۰۰۶ در نیویورک مساله جایابی دانش آموزان 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 دانش آموزان 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 آنجایی‌که این مکانیسم (قدیمی) فاقد کارآیی و پایداری بود، عبدالقدیراوغلو و همکارانش[1] 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 آزمون های 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 برآن، 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 کارآیی و بی ثباتی را ندارد و در سال ۷-۲۰۰۶ به کمک این الگوریتم در نیویورک توانستند برای نه کلاس جایابی کنند. در این جایابی تقریبا 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 دههِ گذشته، مربوط به بازار کلیه و اعضای بدن. است از آنجایی‌که 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 ویژگی های 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. Abdulkadiroĝlu, Pathak and Roth

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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

از آنجایی‌که 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 ناسازگاری های خونی و بافتی، اهدای آن میسر نگردیده بود، بین خانواده های مختلف با شرایط مشابه مبادله گردد. در سال ۱۹۹۱ اولین مبادله ضرب دری 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 بیمارِ 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 می‌پیوندد؛ زیرا او می‌تواند کلیه خود را به بیمار مورد نظر خود بدهد، مگر اینکه آزمون تطبیق متقابل[1] 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 ناسازگاری های 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

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

در سال ۲۰۰۳، تعداد ۸۶۶۵ 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[1] 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).

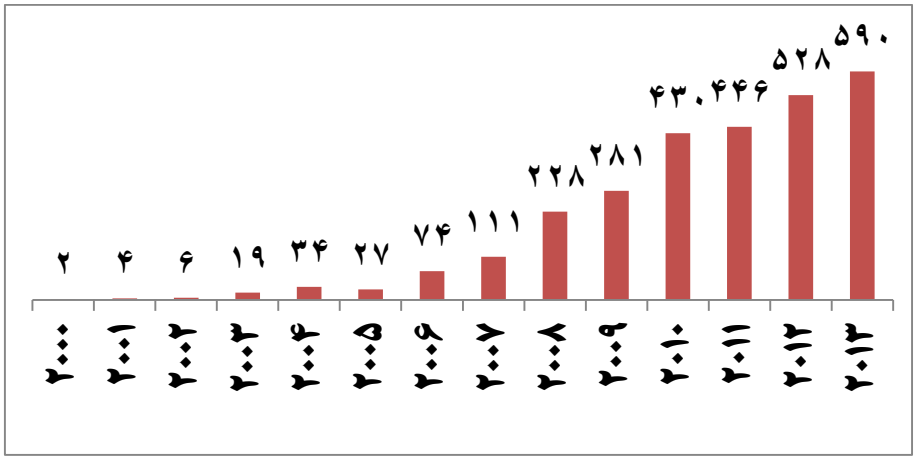
به‌هرحال، زیربنای الگوی مبادله کلیه، مبادله دوطرفه بود. البته با محدود کردن مبادلات به مبادله دوطرفه، خیلی از فرصت‌ها از بین خواهد رفت. در مدل راث، طول چرخه حداکثر ۳ در نظر گرفته شده و او معتقد است که با کاربرد تطبیق‌های دو طرفه و سه طرفه، اثر قابل توجهی بر تعداد پیوندها خواهد گذاشت و تطبیق‌های بیش از سه طرفه، تأثیر کمتری بر کارآیی 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. همان طور که مشاهده می‌شود، از سال ۲۰۰۶ به بعد، تعداد پیوندها افزایش چشمگیری داشته است.

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

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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



منبع (Roth, 2015)

در داخل مطالعاتی که در این زمینه انجام شده، مقالات تئوریکی 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 عرضه کنندگان 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 کرده اند.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 متقاضیان 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 بیمارستان ها 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 نمی گیرد یا اگر شکل گرفت، در نهایت شکست می خورد. 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، عبارتنداز:

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

ب) ازدحام: به مشارکت‌کنندگان در بازار، وقت کافی یا ابزار لازم برای انجام سریع مبادلات داده نمی شود، زیرا بازار با هجوم گسترده عرضه و تقاضاکنندگان مواجه است.

ج) امن بودن محیط بازار از دو جهت حائز اهمیت است: جلوگیری از بروز رفتارهای استراتژیک که منجر به کاهش رفاه عمومی می گردد 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 می شوند (و این پیوند معمولاً فرایندی غیرپولی دارد)، بازارهای «تطبیق »[1] گفته می شود. تئوری تطبیق، بخشی از اقتصاد است که تمرکز

1. Matching

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 مثال های 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 قیمت ها 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 می دهد. این مکانیسم با توجه به نوع کاستی‌های بازار و ویژگی های حاکم بر بازار طراحی می‌شود. البته مکانیسم طراحی شده باید در عمل به اجرا درآید تا کاستی های آن مشخص گردد و کاستی های آن در زمان‌های بعد از طراحی مرتفع گردد. وجود نهادهایی در بر پا کردن الگوریتم گیل- شپلی یا روش‌های دقیق‌ترِ الگوریتم‌های به‌هم‌رسانی، معنایی جز ایجاد ضخامت (رهانیدن بازار از نحیف بودن) در بازارهای مربوطه را ندارد. وجود لیستی از ترجیحات و درخواست‌ها از جانب طرفینِ بازار و روبه رو شدن درخواست‌ها در یک مرکز تسویه به پراکندگی موجود در بازارها نظم بخشیده وعرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان را با هم تطبیق می‌کند.

۱-۱-۳. مدل تطبیق دو سویه[1]

تطبیق دو سویه 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)

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

1. Two Sided

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 اوw_3 برw_2 ترجیح دارد:

$[w_3 >_{mi} w_2]$

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:

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

به این معنا که از دیدگاه این مرد، w_3بر 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: $[k >_k j]$

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، 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 تابعμ نشان دهیم، آنگاه برای این تطبیق باید شرایط زیر برقرار باشد:

$W=\mu(m)$ اگر $\mu(w)=M$

و برای همه mها وwها، 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 کهk، تنها بودن و عدم تطبیق را به فرایند تطبیق $\mu(k)$ ترجیح می‌دهد؛ یعنی:

$k >_k \mu(k)$

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 می‌گزینند، ترجیح دهند:

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

که در اینجا، $\mu(w)$ و $\mu(m)$ جفت‌هایی هستند که فرایند تطبیق برای آنها در نظر گرفته است. فرایند تطبیق را دارای ثبات[1] خوانند، اگر توسط شخص و یا دو عامل مقابل هم مسدود نشده باشد (Roth and Sotomayor, 1992).

۲-۱-۳. مدل های تطبیق یک سویه

نوع دیگری از تطبیق، تطبیق یک سویه 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 شرکت‌کنندگان 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 افرادی‌که 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. مدل‌سازی مبادله کلیه

N مجموعه‌ای از بیماران و اهداکنندگانی هستند که با هم ناسازگارمی‌باشند؛ یعنی برای هر عامل i که در این مجموعه قرار گرفته، به صورت $i=(R_i,\{D_i \dots, D_i^n\})$ 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 هرعامل iام 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.

$i >_i j$

1. Stable

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

یعنی تمامی اهداکنندگان j با 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 jبرای عامل " iغیرقابل قبول" نامیده می‌شود. مسأله مهم برای بیماران، اهداکنندگان و ترجیحات شان است و نتیجه آن، تطبیق می‌باشد. تطبیق $\mu : N \to N$ 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 μ برای همه بیماران دارای عقلانیت فردی[1] است، اگر همه آنها تطبیق μ را ترجیح دهند. تمرکز ما روی تطبیق‌هایی با عقلانیت فردی است[2]. مبادله k طرفه برای $k \geq 1$یک لیستی از بیماران همانند $(i_1,i_2, \ldots i_k)$ است که i_1 از اهداکننده بیمار i_k به شرطی که با بیمار ۱ سازگاری خونی و بافتی داشته باشد، کلیه دریافت می‌کند و i_2 با اهداکننده بیمار i_1 که با بیمار ۲ 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 ببرد (Sönmez and Ünver, 2011).

۱-۴. 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 پروتئینA 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 پروتئین های 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

از افرادی با گروه های خونی A و O کلیه دریافت کنند. برای گروه خونی B هم، گروه خونی B و O گروه های خونی مناسب هستند. و گروه خونی AB هم به علت داشتن هر دو نوع پروتئین، می‌تواند از تمامی گروه های خونی کلیه دریافت کند و اهداکنندگان گروه خونی O به تمامی گروه های خونی می‌توانند کلیه دهند. و اهداکنندگان گروه خونی AB فقط به بیماران گروه خونی مشابه خود می‌توانند کلیه اهدا کنند. بیماران گروه خونی Oدارای 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[1]

روی سلول‌های بدن افراد، آنتی‌ژن‌هایی وجود دارد که موجب شناسایی سلول‌های خودی از غیرخودی شده و در نتیجه موجب پاسخ ایمنی می‌گردد. این آنتی‌ها را آنتی‌ژن‌های سازگاری بافتی می‌نامند و آنتی‌ژن‌های سازگاری بافتی در انسان HLA یا آنتی‌ژن گلبول سفید نامیده می‌شود. ژن‌های مربوط به این آنتی‌ژن‌ها بر روی بازوی کوتاه کروموزوم ۶ قرار گرفته‌اند. حضور این آنتی‌ژن‌ها در سطح سلول در عمل پیوند مشخص می‌گردد. در عمل پیوند علاوه بر تشابه گروه خونی و Rh بین فرد دهنده و گیرنده، باید حداکثر تجانس بین آنتی‌ژن‌های 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 می‌شود. 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 آنتی‌ژن‌های اهداکننده و گیرنده پیوند چک شوند. البته تا وقتی که گیرنده پیوند علیه آنتی‌ژن‌های دهنده، آنتی‌بادی نساخته باشد، ناسازگاری آنتی‌ژن‌ها کمتر خطرساز خواهد بود. قبل از پیوند کمی از خون بیمار و خون اهداکننده با هم مخلوط می‌شود تا آزمون تطبیق متقابل انجام گیرد. این آزمون به این معنی انجام می‌شود که مطمئن شویم هیچ ماده‌ای 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 آنتی‌بادی ها در خون حضور دارند[2].

1. Human leukocyte Antigen
2. Medical Genetic Science

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

۲-۴. مدل مبادله

در بازار کلیه معمولاً چهار زوج قابل تصور است:

زوج‌های بیش از حد درخواستنی[1]: زوجی است که بین دهنده و گیرنده (بیمار) مورد نظر سازگاری گروه خونی وجود دارد.

زوج‌های کمتر از حد درخواستنی[2]: زوجی است که بین دهنده (اهداکننده) و گیرنده (بیمار) سازگاری گروه خونی وجود ندارد.

زوج‌های خود - درخواستنی[3]: زوجی است که گروه خونی دهنده (اهداکننده) و گیرنده(بیمار) مشابه هستند.

زوج‌های متقابلاً درخواستنی[4]: به زوجی که دهنده و گیرنده آنها متقابلاً دارای گروه خونی مشابه باشند، زوج‌های متقابلاً درخواستنی می‌گویند.

زوج‌های[5] (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.

ازآنجایی‌که تعداد زوج‌های (O-A) بیشتر از (A-O)، تعداد زوج‌های (O-B) بیشتر از (B-O)، تعداد زوج‌های (O-AB) بیشتراز (AB-O)، (AB- A) 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 نمودار۲، 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.

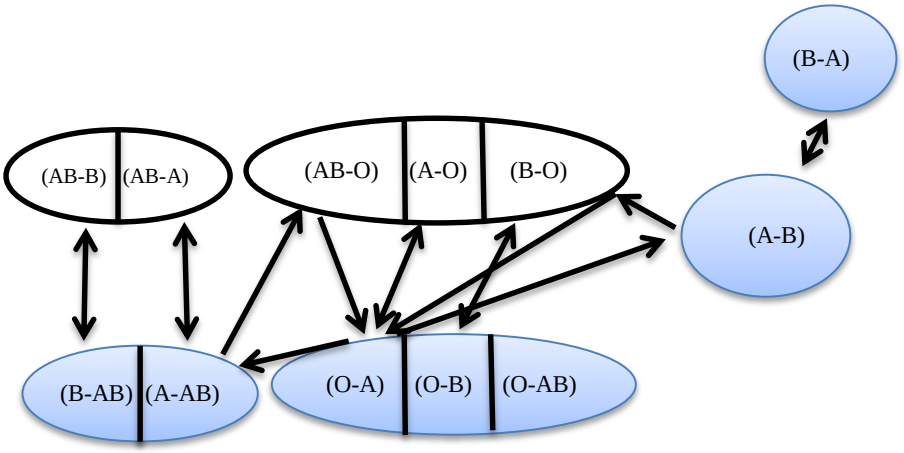
1. Over-demanded
2. Under-demanded
3. Self demanded
4. Reciprocal demanded

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

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

نمودار ۲. مدل مبادله کلیه



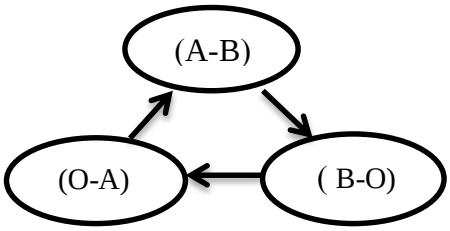
منبع: (Ashlagi and Roth 2012)

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 جفت های زوج‌های (B-A) با (A-B) تطبیق می یابند و باقیمانده (A-B) محاسبه می شوند.

مرحله دوم) باقیمانده (A-B) در یک مبادله سه طرفه طبق نمودار ۳ با زوج‌های (O-A) و (B-O) تطبیق می یابند

نمودار ۳. مبادله سه طرفه



[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

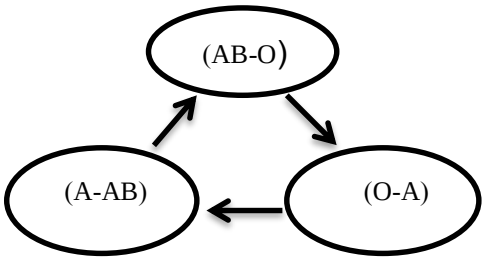
و یا اینکه با زوج‌های (AB-A) و (B-AB) تطبیق خواهند یافت.

از آنجایی که زوج‌های (A-B) کمتر از زوج‌های (B-O) و (O-A) است، پس همه زوج‌های (A-B) می توانند تطبیق یابند. آن زوج‌هایی که با (B-A) تطبیق نیافتند، در مبادله سه طرفه، به صورت زیر تطبیق می یابند:

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، می دهد 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 می یابند.

نمودار۴. 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 خونیAB 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):

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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

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 می‌ماندند که ممکن بود در این راه، اصلاً به پیوند نرسند.

۴-۳. 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[۱]، حدود ۴۰ نفر یعنی ۲۰ زوج انتخاب گردید که نحوه انتخاب آنها به روش نمونه گیری 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.

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.

۱-۳-۴. نحوه چیدمان ترجیحات

۱- تطابق گروه های خونی: اگر گروه ها 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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

جدول۱. حالت‌های تطبیق متقاطع از نظر گروه خونی

طرفین	دهنده				
	گروه‌ها	O	A	B	AB
گیرنده	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؛[1] 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 هرچه 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 کلیه های سازگار و لیست انتظار، به صورت زیر است:

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

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

جدول ۲. ارزیابی تطابق بافتی به تفکیک بیماران دارای گروه‌های خونی

گروه خونی O							گروه خونی A					گروه خونی B					گروه خونیAB		
t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_{14}	t_{15}	t_{16}	t_{17}	t_{18}	t_{19}	t_{20}
k_9	k_{14}	k_9	k_{13}	k_7	k_{18}	k_7	k_{19}	k_{19}	k_2	k_2	k_2	k_{12}	k_{17}	k_9	k_{14}	k_{12}	k_5	k_5	k_6
k_{14}	k_8	k_8	k_{18}	k_{18}	k_7	k_{18}	k_{20}	k_2	k_{19}	k_{20}	k_{19}	k_{17}	k_{12}	k_{12}	k_9	k_7	k_6	k_6	k_5
k_8	k_9	k_{14}	k_7	k_{13}	k_{13}	k_{13}	k_2	k_{20}	k_{20}	k_{19}	k_{16}	k_9	k_9	k_{17}	k_7	k_{11}	k_9	k_{20}	k_{14}
k_{18}	k_{13}	k_{18}	k_9	k_9	k_{14}	k_{14}	k_{16}	k_{16}	k_9	k_9	k_{20}	k_{14}	k_{14}	k_8	k_{12}	k_9	k_{20}	k_9	k_{20}
k_{13}	k_{18}	k_7	k_{14}	k_8	k_9	k_8	k_9	k_9	k_{16}	k_{14}	k_{14}	k_8	k_8	k_{14}	k_{18}	k_{17}	k_{14}	k_8	k_8
k_7	k_7	k_{13}	k_8	k_{14}	k_8	k_9	k_{14}	k_{14}	k_{14}	k_{16}	k_9	k_{18}	k_{18}	k_7	k_{17}	k_{14}	k_8	k_{14}	k_9
–	–	–	–	–	–	–	k_8	k_8	k_{18}	k_8	k_8	k_{13}	k_7	k_{18}	k_8	k_3	k_{19}	k_{18}	k_{19}
–	–	–	–	–	–	–	k_{18}	k_7	k_8	k_{18}	k_{18}	k_7	k_{13}	k_{10}	k_{13}	k_8	k_{18}	k_{19}	k_{18}
–	–	–	–	–	–	–	k_7	k_{18}	k_7	k_7	k_7	k_{10}	k_{10}	k_{13}	k_{10}	k_4	k_{17}	k_{12}	k_{17}
–	–	–	–	–	–	–	k_{13}	k_{13}	k_{13}	k_{13}	k_{13}	k_3	k_4	k_{11}	k_4	k_{10}	k_{13}	k_{13}	k_{13}
–	–	–	–	–	–	–	k_{15}	k_1	k_1	k_{15}	k_1	k_4	k_3	k_3	k_{11}	k_{13}	k_{12}	k_{17}	k_{12}
–	–	–	–	–	–	–	k_1	k_{15}	k_{15}	k_1	k_{15}	k_{11}	k_{11}	k_4	k_3	k_{18}	k_2	k_2	k_{11}
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_{10}	k_3	k_2
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_{11}	k_{10}	k_{10}
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_3	k_{11}	k_7
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_7	k_{16}	k_3
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_{16}	k_7	k_{15}
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_{15}	k_{15}	k_{16}
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_4	k_1	k_1
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	k_1	k_4	k_4

مأخذ: پردازش پژوهش

در جدول فوق، ترجیحات بیماران بر اساس چیدمان فوق الذکر بیان شده است. به طور مثال، اهداکنندگان زوج نهم، چهاردهم، هشتم، هجدهم، 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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،O،O،O،O،O،O و اهداکنندگان آنها به ترتیب، دارای گروه خونی A، A، B،B، A،A،B،B ،B،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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

۴-۳-۴. تعداد تطبیق کارآ

با مکانیسم طراحی شده، تعداد پیوندها به هفده زوج خواهد رسید[۱]. 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، 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.

۱-۴-۳-۴. 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

۲-۴-۳-۴. مبادله تطبیق چهار طرفه[1]

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 چهاردهمِ دارای گروه خونی O، کلیه خود را به بیمار زوج دوم که دارای گروه خونی O است، اهدا می‌کند و به این‌ترتیب، 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 این‌صورت، 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 کارآیی دارد و همچنین زوج‌هایی که دارای گروه خونی‌های مشابه هستند، در مبادلات شرکت

1. Exchange Four-Way

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 مقایسهٔ رشد سالانهٔ 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[1]، و حدود ۲۵۵۰۰ بیمار پیوندی در کشور بوده اند. 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[2]، 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 درصدد 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 سوراخ های کوچکی دارد و به عنوان صافی عمل می‌کند و مواد زائد و مایعات می‌توانند از بدن دفع شوند.

۲. به گفته مسؤولان انجمن های غیردولتی حمایت از بیماران کلیوی، عوارض کلیوی در ایران شیوع بالایی داشته و نتایج مطالعات نشان می دهد که بیش از ۱۴ میلیون ایرانی در معرض بیماری های کلیوی هستند، علاوه بر آنکه هر سال آمار بیماران کلیوی کشور، افزایش می یابد.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

آنجایی که خرید و فروش کلیه ممنوع نیست[۱]، 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 دلالی 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 استانداری‌ها معرفی می‌شوند تا مبلغ ده میلیون ریالی که دولت بابت این کار خداپسنده در نظر گرفته دریافت کنند.

در روش دوم، تهیه کلیه به علت وجود دلالان و واسطه ها 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 واسطه ها را کوتاه کند. در این حالت، لازم است بیماران با معرفی‌نامه انجمن حمایت از بیماران کلیوی برای پیوند کلیه به بیمارستان‌ها مراجعه کنند (مولابیگی، ۱۳۹۶).

۷-۳-۴. صرفه‌جویی ریالی

هزینه پیوند در ایران عبارتند از:

۱- هزینه بستری شدن در بیمارستان[۲]: 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 سرکوب کننده سیستم ایمنی[۳]: 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 فتاوای 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

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

۳- هزینه درمان عوارض جانبی[1]: عوارض جانبی مثل سیتومگالوویروس، سایر عفونت‌ها، کارکرد گرافت 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[2]: داروهایی که مصرف می‌شود، عبارتند ازکلسیتریول، 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[3]) و ۱۱۱۸۸ دلار (۳۳۵ میلیون ریال) می‌باشد (سلام‌زاده، ۲۰۱۴). از آنجایی که در طول یک سال، یک بیمار دیالیزی ۱۵۲ بار[4] 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 ۱۶۴میلیون ریال نسبت به هزینه‌های پیوند بیشتر است، و همه این بار مالی به دولت و بیمه ها 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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

مهم ترین هدف پژوهش های اقتصادی در کنار پیشبرد علم اقتصاد، دستیابی به روش های 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 می باشد و عرضه که همان اهداء کلیه می باشد 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 کاستی های آن مشخص گردد و کاستی های آن در دورهای بعدی طراحی برطرف گردد.

این پژوهش به کمک انجمن حمایت از بیماران کلیوی و دانشکده پزشکی و بیمارستان شهید بهشی 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 آنجایی‌که 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:

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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 آزمایش های مربوطه باهم سازگاری ندارد. از دیگر مشکلات در یافتن دهنده، هنگامی است که دهنده حتی بعد از انجام آزمایش های 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 دلال ها 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

منابع و مآخذ

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 پزشکای ایران. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، سال ۱۵، شماره ۴: ۱۹۲-۱۷۳.

کنسرسیوم دیالیز ایران (خرداد ۱۳۹۴). (سالنمای دیالیز ایران، ۱۳۹۳).

مولابیگی، جلال و جعفر عبادی (۱۳۹۵). طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران. رساله دکتری دانشگاه مفید قم.

مولابیگی، 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، ۱۲۳-۹۵.

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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]

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. *AmericanEconomic 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.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1397.18.4.6.9]