Archive of SID

فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران/ سال بیست‌وچهارم/ شماره ۷۹/ تابستان ۱۳۹۸/ صفحات ۱۷۶-۱۴۳

پایداری در نظریه طراحی بازار براساس روش ارزش شپلی

جلال مولابیگی[۱]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰

چکیده

یکی از ویژگی‌های مهم در طراحی بازار، ویژگی ثبات و پایداری تخصیص‌هاست، زیرا تخصیص‌های ایجاد شده اگر پایدار نباشد، حتی اگر تشکیل شود نیز از هم فرومی‌پاشد؛ به عبارتی، اگر عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان با مکانیسمی به یکدیگر برسند، اما پایدار نباشند، امکان خارج شدن برخی عوامل از مکانیسم وجود دارد. به همین دلیل، مسئله اصلی در تطبیق عوامل، پایداری آن است. تخصیص پایدار وضعیتی است که هیچ عضوی نمی‌تواند از آن ائتلاف جدا شود، به‌طوری که وضعیت اعضا را بهبود ببخشد. بازار کلیه از این نوع بازارهاست که باید توسط طراحان بازار احیا شود. در این پژوهش از اطلاعات ۲۰ نفر بیمار دیالیزی و ۲۰ نفر اهداکننده کلیه برای بررسی تخصیص‌های پایدار استفاده شده است. روشی که در این پژوهش به‌منظور بررسی تخصیص‌های پایدار استفاده شده، روش ارزش شپلی است. یافته‌های مقاله حاکی از آن است که همکاری بین بیماران به ایجاد دو ائتلاف سه‌طرفه به ارزش ۹۳۰ و ۸۸۰ میلیون ریال و دو ائتلاف دوطرفه به ارزش ۶۱۰ و ۵۳۰ میلیون ریال و یک ائتلاف زنجیره‌ای به ارزش ۶۶۰ میلیون ریال منجر شده است. از آنجا که ارزش شپلی به‌دست آمده از همکاری بیماران دارای شرایط پایداری است، بنابراین، تمام ائتلاف‌های به‌دست آمده در این پژوهش دارای ویژگی پایداری است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که طراحی بازار در تبادل‌کلیه سبب افزایش تعداد پیوندهای کارا در نمونه انتخابی از ۴ زوج به ۱۷ زوج شده است و علاوه بر آن، بیمار و اهداکننده‌ای که دارای گروه خونی یکسانی هستند لزومی ندارد در مکانیسم شرکت کنند.

واژگان کلیدی: بازی مشارکتی، طراحی بازار، ارزش شپلی، تخصیص پایدار، تبادل کلیه.

طبقه‌بندی JEL: *C78, D47, C71, D89, C79.*

۱- دکترای اقتصاد، استادیار گروه اقتصاد دانشگاه آیت الله بروجردی، پست الکترونیکی: jalal_molabeigi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

طراحی بازار[1] شاخه جدیدی از اقتصاد بوده‌که از ترکیب مطالعات تجربی، اقتصاد آزمایشگاهی و علوم رایانه پا به عرصه وجود گذاشته است. بیان این نکته مهم است که اصطلاح بازار تضمینی برای وجود سیستم قیمت‌ها نیست، زیرا مکانیسم (سازوکار) قیمت در برخی بازارها سبب تخصیص بهینه منابع نمی‌شود؛ به همین علت، در طراحی بازار از ابزارهای نظریه بازی غیرمشارکتی[2] و مشارکتی[3] استفاده می‌شود. در نظریه بازی غیرمشارکتی، بازیکنان به‌هیچ وجه نمی‌توانند با هم تبادل‌نظر یا مذاکره‌ای داشته باشند تا به توافق برسند یا به ائتلافی دست بزنند، اما در نظریه بازی مشارکتی، هدف همه بازیکن‌ها انجام بهترین کاری است که می‌توانند انجام دهند، به همین دلیل، دست به ائتلاف می‌زنند تا از منافع آن بهره ببرند. در بسیاری از مسایل این دو نظریه مکمل یکدیگر هستند، اما در برخی از موضوع‌ها با همدیگر تفاوت دارند. نظریه طراحی بازار از هر دو نظریه، خصوصیاتی را به ارث برده است. ثبات[4] و سازگاری انگیزه[5] دو ویژگی مهم و کلیدی در طراحی بازار است. ثبات و پایداری سبب می‌شود که گروه‌ها به‌طور ارادی در بازار مشارکت داشته باشند و سازگاری انگیزه باعث می‌شود مشارکت‌کنندگان در بازار، رفتارهای استراتژیک از خود بروز ندهند و ترجیحات خود را کاذب اعلام نکنند، زیرا مطلوبیت ناشی از اعلام ترجیحات واقعی بالاتر از مطلوبیت ناشی از اعلام ترجیحات کاذب است؛ به این دلیل است که هرکسی انگیزه دارد ترجیحات خود را درست اعلام کند. مفهوم ثبات از نظریه بازی مشارکتی حاصل می‌شود، در حالی که سازگاری انگیزه از نظریه طراحی سازوکار مشتق می‌شود که شاخه‌ای از نظریه بازی غیرمشارکتی است که موضوع جایزه نوبل ۲۰۰۷ لئونید هورویچ، اریک ماسکین و راجر میرسون[6] بود.

1- Market Design
2- Non-cooperative
3- Cooperative
4- Stability
5- Incentive Compatibility
6- Leonid Hurwicz, Eric Maskin and Roger Myerson

www.SID.ir

Archive of SID

بعد از دهه ۹۰ بود که گروهی از اقتصاددانان به بررسی مباحث جدیدی از شکست بازار و نظریه طراحی بازار پرداختند از جمله مباحث جدیدی که این گروه به آن برخورد کردند لاغری بازار، ازدحام در یک طرف بازار و نبود امنیت برای بروز ترجیحات درست و صحیح عوامل بود که می‌توانست باعث شکست بازار شود که تا آن زمان به این موضوع‌ها پرداخته نشده بود؛ به همین علت، در جست‌وجوی راهی بودند که بتوانند این‌گونه بازارها را احیا کنند[1]. نتیجه تلاش آنها متولد شدن نظریه طراحی بازار و تئوری تطبیق بود. این نظریه به کمک مطالعات تجربی و استمداد از تجربه آزمایشگاهی و فنون رایانه، توانست عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگانی را که شرایط ایجاد بازار را داشتند، اما مکانیسم قیمت قادر به احیای آن نبود، احیا کند. پرسش‌هایی که در نتیجه این تلاش به‌وجود آمد، این بود که آیا در صورت احیای این‌گونه بازارها، نتایج حاصل از چنین بازارهایی ثبات دارند؟ در صورت بی‌ثباتی، نتایج قابل اتکا هست یا نه؟ آیا عوامل در چنین بازارهایی باید رفتار صادقانه از خود بروز بدهند؟ آیا امکان دارد هم نتایج پایدار باشد و هم عوامل سازگاری انگیزه داشته باشند؟ و... پاسخ به این پرسش‌ها نه‌تنها می‌تواند به درک بهتر طراحی بازار منجرشود، بلکه می‌تواند در تدوین الگوریتم‌های به‌هم‌رسانی نیز مفید باشد.

این مقاله به دنبال پاسخ به این پرسش است که تخصیص‌های ایجاد شده توسط مکانیسم تبادل کلیه دارای ثبات هست یا نه؟ به همین منظور ساختار این پژوهش به این ترتیب است که در بخش دوم، به مبانی نظری و روش‌شناسی راث و تشریح روش شپلی می‌پردازیم و سپس، پیشینه پژوهش شامل مطالعات محدود در ایران و در خارج از کشور که عمده آن مطالعات راث و همکارانش است، بیان می‌شود. روش پژوهش، تجزیه‌وتحلیل مدل و برآورد مدل در بخش‌های سوم و چهارم ارایه می‌شود و در پایان، نتیجه‌گیری و پیشنهادها بیان می‌شود.

۲- مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

نظریه بازی‌ها از اهمیت زیادی در تئوری تصمیم‌گیری به سبب کاربرد و قابلیت مناسب آن

۱- آلوین راث و همکارش شپلی در این زمینه پیشتاز بودند.

www.SID.ir

Archive of SID

برخوردار است. بسیاری از مسایل دنیای واقعی را می‌توان به‌عنوان یک بازی مدل‌سازی کرد. آنچه در نظریه بازی‌ها به آن بازی اطلاق می‌شود، عبارت است از: تعاملاتی (روابط متقابل) که در آن بین تصمیم دو یا چند طرف، وابستگی و ارتباط متقابل وجود داشته باشد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت، هرگاه مطلوبیت، سود، درآمد و رفاه و هر آنچه فرد بازیکن به دنبال آن است نه‌تنها متأثر از تلاش و تصمیم خود او باشد، بلکه تحت تأثیر (مثبت یا منفی) تلاش و تصمیم طرف دیگر نیز باشد، به آن بازی اطلاق می‌شود. در مسئله طراحی بازار و تئوری تطبیق[1] نیز با توجه به اینکه در صورت همکاری بین طرفین، مجموع سود بالاتری حاصل می‌شود و در نتیجه، سود هر بازیکن بالاتر می‌رود، پس نظریه بازی‌ها در این زمینه دارای کاربرد مناسبی است. تئوری تطبیق، بخشی از اقتصاد است که تمرکز آن بر پرسش‌هایی مانند «چه کسی، چه چیزی را دریافت می‌کند؟» خواهد بود این مسئله زمانی بارزتر است که با کالاهای کمیابی مواجه هستیم و باید بین افراد تخصیص داده شوند و دارای دو ویژگی تقسیم‌ناپذیری و ناهماهنگی هستند؛ به‌طور مثال، چه کسی در چه شغلی کار می‌کند، کدام دانش‌آموزان به کدام مدارس می‌روند یا برای پیوند اعضای بدن موجود چه افرادی انتخاب می‌شوند (راث، سونمز و یونیور[2]، ۲۰۰۷). در این نظریه، مجموعه محدودی از N عامل که $N=\{1, 2, \dots, n\}$ وجود دارد. سه عامل در مجموعه با حروف i, j, k مشخص می‌شود. تطبیق $\mu: N \Leftrightarrow N$ یک تطبیق یک‌به‌یک در N است، به‌طوری‌که $\mu(j) = i \Leftrightarrow \mu(i) = j$ برای همه i,j ها.

هرکدام از iها در N ترجیحاتی دارد هر عامل ممکن است بین عوامل مختلف بی‌تفاوت باشد و ممکن است تنها بودن را به تطبیق با بعضی از عوامل موجود، ترجیح دهد. برای ترجیحات از نماد زیر استفاده می‌شود:

برای عامل i، اگر عامل j حداقل به‌خوبی عامل k باشد، با نماد $j \succeq_i k$ نشان داده می‌شود. اگر عامل i ذر انتخاب k وj بی‌تفاوت بود با نماد $j \succeq_i k$ و $k \succeq_i j$ یا با نماد $j \sim_i K$، نشان داده می‌شود. اگر نماد به صورت $j \succ_i k$ باشد به این معنی است که عامل

1- Matching Theory
2- Roth, A. E., Sönmez, T. and Ünver, M. U

www.SID.ir

Archive of SID

i، عامل j را بر عامل k ترجیح داده است.

اگر برای همه i,j ها داشته باشیم $j >_i \mu(i) \implies \mu(j) \geq_j i$ در آن صورت، μ یک تطبیق پایدار است (گودماندسون[1]، ۲۰۱۳).

بنابراین، در این نظریه، یکی از مسایل مهم، یافتن روشی مناسب برای تخصیص سود ناشی از همکاری و بررسی پایداری و ثبات نتایج است، زیرا اگر پایداری برقرار نباشد برخی از عوامل در الگوریتم شرکت نخواهندکرد، زیرا انگیزه‌ای برای ماندن در فرآیند جایابی ندارند. روش‌های گوناگونی‌توسط محققان مختلف پیشنهاد شده و به کار رفته است که از بین آنها می‌توان به روش مقدار شپلی[2] اشاره کرد. این روش مقدار مشخصی از سود را به نسبت میزان تأثیرگذاری اقتصادی بازیکن در ائتلاف‌های مختلف، به هر بازیکن تخصیص می‌دهد و آن را با نماد x_i نشان می‌دهند که به صورت زیر به‌دست می‌آید (شپلی[3]، ۱۹۵۳):

$$X_i = \sum \frac{(|S|-1)!\,(|N|-|S|)!}{N!}[V(S) - V(S \setminus \{i\})] \qquad (1)$$

X_i : مقدار سود تخصیص داده شده به بازیکن i

$|S|$: تعداد اعضای ائتلاف S

$|N|$: تعداد کل اعضا

$V(S)$: ارزش ائتلاف S

$V(S \setminus \{i\})$: ارزش ائتلاف S بدون حضور بازیکن i

گروهی از افراد در مجموعه N نفری را که با همدیگر همکاری دارند، ائتلاف گویند و مقصود از ارزش یک ائتلاف، میزان افزایش سود نسبت به حالت غیرهمکارانه است که با تشکیل آن ائتلاف به‌دست می‌آید. اگر $\sum xi < v(s)$ باشد، در آن صورت، ائتلاف می‌تواند x را بهبود دهد، به‌عبارتی، مازاد، بین تمام اعضا توزیع می‌شود و آنها نسبت به حالت قبلی بهبود می‌یابند، بنابراین، در چنین حالتی، تخصیص x ناپایدار است.

1- Gudmundsson, jens
2- Value Shapley
3- Shapley, Lloyd. S

www.SID.ir

Archive of SID

به تخصیصی پایدار گفته می‌شود که آن تخصیص توسط هیچ ائتلافی بهبود نیابد، بنابراین، بردار x پایدار است، اگر شرط زیر برقرار باشد:

$\sum xi \geq v(s)$. به زبان ساده‌تر تخصیصی پایدار است که هیچ ائتلافی با استفاده از منابع خود، نتواند نتیجه‌ای را که همه اعضای آن ترجیح می‌دهند، به ارمغان بیاورد (راث، ۲۰۱۲).

مفهوم و ایده پایداری در نظریه بازی مشارکتی مانند ایده تعادل ناش در نظریه بازی غیرمشارکتی است، زیرا همان‌طور که در نظریه بازی‌های غیرمشارکتی، تعادل ناش وضعیتی است که هیچ فردی نمی‌تواند از آن جدا شود و وضعیتش بهتر شود، در تئوری بازی مشارکتی، تخصیص پایدار نیز وضعیتی است که هیچ ائتلافی نمی‌تواند از آن منحرف شود و وضعیت اعضای آن را بهتر کند، به عبارتی، در هر دو مفهوم، بهبود وضعیت افراد امکان‌پذیر نیست.

۲-۱- مطالعات پیشین

گیل و شپلی[1](۱۹۶۲)، نشان دادند که مسئله اصلی در تطبیق زوج‌ها، پایداری است، به بیان ساده، اگر دو نفرِ متقاضی (الف و ب) درخواست‌های خود را برای مدارس A و B بفرستند و درخواست‌های افراد به این صورت باشد که فرد الف A را برB و فرد ب B را بر A ترجیح دهد، اما نتیجه نهایی به این صورت باشد که فرد الف با B و فرد ب با A تطبیق یابد، در آن صورت، جایابی فوق ناپایدار خواهد بود (گیل و شپلی، ۱۹۶۲). به عبارت دیگر، در یک زوج تطبیق داده شده، اگر فردی، گزینه دیگری غیر از فرد معرفی شده توسط یک الگوریتم را ترجیح دهد و آن گزینه نیز آن فرد را مرجح بداند، با ناپایداری مواجه است و امکان خارج شدن برخی عوامل به‌منظور بهبود رفاه خود در خارج از سازوکار وجود دارد. بنابراین، مسئله اصلی در تطبیق، پایداری آن است؛ همان‌طور که راث نیز تأکید می‌کند مفهوم اصلی در شناخت موفقیت یا شکست نهادهای بازاری مسئله پایداری تخصیص‌هاست (راث، ۱۹۸۲).

بحث روی تخصیص پایدار و الگوریتم‌های پایدار در جایابی، در دهه‌های ۱۹۶۰ و

1- Gale, D. and L. Shapley

www.SID.ir

Archive of SID

۱۹۷۰ به رسمیت شناخته شد، اما تا اوایل دهه۱۹۸۰، کار عملی در مورد این موضوع صورت نگرفت. در اواسط این دهه بود که راث، بازار کار پزشکان جدید را در آمریکا مطالعه کرد و برای بهبود عملکرد بازار، الگوریتم پایدار را پیشنهاد داد (راث، ۱۹۸۴). در واکنش به شکست بازار برای پزشکان جدید در ایالات متحده آمریکا، اتاق تسویه متمرکز در اوایل دهه ۱۹۵۰ تأسیس شد. این مؤسسه در حال حاضر، برنامه ملی تطبیق رزیدنت[1] (NRMP) نامیده می‌شود. در دهه ۱۹۹۰، مشروعیت الگوریتم NRMP به چالش کشیده شد، زیرا تخصیص‌هایی که الگوریتم پیشنهاد می‌داد، به نفع بیمارستان‌ها بود و این برنامه به نفع دانشجویان پزشکی کار نمی‌کرد[2] (راث و پرانسون[3]، ۱۹۹۹). این موضوع سبب شد در سال ۱۹۹۵، راث الگوریتم جدیدی را طراحی کند که علاوه بر ایجاد تطبیق‌های پایدار، به نفع متقاضیان (دانشجویان پزشکی) نیز باشد (راث و پرانسون، ۱۹۹۹). الگوریتم جدید در سال ۱۹۹۷ به تصویب رسید و پس از آن، سالانه بیش از ۲۰۰۰۰ پزشک به کمک این الگوریتم تطبیق می‌یابند (راث، ۲۰۰۲). الگوریتم پیشنهادی راث در عمل از موفقیت بالایی برخوردار بود، به‌طوری که بعد از سال ۱۹۹۸، از این الگوریتم در سایر بازارها و جایابی‌های زیر به کار گرفته شده و شواهد تجربی حاکی از پایدار بودن نتایج تخصیص‌هاست (راث ۲۰۱۲).

دبیرستان‌های عمومی شهر نیویورک در سال ۲۰۰۳ با استفاده از الگوریتم پذیرش تأخیری[4] اقدام به جایابی دانش‌آموزان می‌کردند. قبل از سال ۲۰۰۳، از متقاضیان مدارس دولتی نیویورک خواسته می‌شد پنج مدرسه ترجیحی خود را رتبه‌بندی و این فهرست‌ها را به مدارس ارسال کنند و مدارس براساس این فهرست‌ها شروع به پذیرش می‌کردند. مشکلی که در این جایابی وجود داشت آن بود که اگر دانش‌آموزانی بعد از دور سوم در

1- National Resident Matching Program

۲- الگوریتم پیشنهاد شده، همان الگوریتم پذیرش تأخیری با پیشنهاد کارفرما بود که این الگوریتم به نفع پیشنهاددهنده کار می‌کرد.

3- Roth, A.E. and E. Peranson.

۴- در الگوریتم پذیرش تأخیری هیچ متقاضی و عرضه‌کننده‌ای به تطبیق نهایی خود نخواهد رسید مگر اینکه فهرست‌های ترجیحات تمام متقاضیان برای دستیابی به بهترین تطبیق آزمایشی، مورد بررسی قرار گرفته باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

مدرسه‌ای جایابی نمی‌شدند، از طریق یک روند اداری که اجباری بود جایابی می‌شدند. همان‌طور که مشخص است، این بازار از ازدحام رنج می‌بُرد که یکی از دلایل شکست بازار می‌باشد، زیرا دانش‌آموزان و مدارس فرصت‌های مناسب و کافی برای بیان ترجیحات و ارایه پیشنهادها نداشتند (عبدالقادر اوغلو، پاتک و راث[1]، ۲۰۰۵). راث و همکارانش در سال ۲۰۰۳، فرآیند جایابی را دوباره طراحی کردند که در این فرآیند از الگوریتم پذیرش تأخیری از طرف متقاضیان استفاده شد که این مکانیسم دارای ثبات و سازگاری انگیزه برای متقاضیان بود، یعنی به نفع متقاضیان بود که ترجیحات خود را کاذب اعلام نکنند و همچنین این الگوریتم توانست مشکل ازدحام را حل کند و ۳۰۰۰۰ دانش‌آموزی که به صورت اداری به مدارس معرفی می‌شدند به ۳۰۰۰ دانش‌آموز کاهش یافت (راث، ۲۰۱۲).

قبل از سال ۲۰۰۵، در سیستم جایابی مدارس عمومی در شهر بوستون از مکانیسمی استفاده می‌کردند که بعدها به الگوریتم بوستون[2] معروف شد، این نوع الگوریتم ابتدا تلاش می‌کرد تا بیشتر متقاضیان را با اولین مدرسه انتخابی خود تطبیق دهد و اگر متقاضیان در این مرحله تطبیق نمی‌یافتند در مرحله بعد سعی می‌کرد با دومین مدرسه انتخابی و... تطبیق یابند (عبدالقادر اوغلو، پاتک و راث، ۲۰۰۵). این الگوریتم ویژگی سازگاری انگیزه و پایداری را برای دانش‌آموزان نداشت؛ به همین علت، راث، عبدالقادیر اوغلو، پاتک و سونمز در سال ۲۰۰۵، الگوریتم پذیرش تأخیری رت به‌عنوان یک الگوریتم جدید پیشنهاد نمودند (راث، ۲۰۱۲).

یکی دیگر از عجیب‌ترین و مهم‌ترین کاربردهای طراحی بازار در دهه گذشته مربوط به بازار کلیه و اعضای بدن است. از آنجا 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

1- Abdulkadiroglu, A., Pathak, P. A. and Roth, A. E.

۲- رایج‌ترین مکانیسم جایابی مکانیسمی است که در شهر بوستون در دهه ۸۰ میلادی در کمبریج توسعه داده شد. این مکانیسم سعی می‌کند تا جایی که امکان دارد عوامل (مانند دانش‌آموزان) را به اولین اولویت اختصاص دهد (عبدالقادیر اوغلو،۲۰۰۳).

www.SID.ir

Archive of SID

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 آنکه سازگاری گروه خونی رابطه‌ای یک‌به‌یک نیست (فردی با گروه خونی A می‌تواند از گروه‌های A و O کلیه بگیرد، اما می‌تواند به گروه‌های A و AB کلیه بدهد). بنابراین، به‌طور معمول لازم است بیمار کلیه خود را از شخصی غیر از اقوام نزدیک دریافت کند. این فرآیند در برخی مواقع با کمک بیماران دچار مرگ مغزی صورت می‌گیرد. از آنجا که در این بازار، مشکل صف طولانی انتظار برای پیوند کلیه وجود دارد، بنابراین، امکان مبادله یک‌باره به دلیل وجود ناسازگاری‌های مربوط به سیستم ایمنی بدن وجود ندارد و این خود سبب شکست بازار از نوع لاغری می‌شود و مشکلاتی را برای بیماران به‌وجود می‌آورد. برای کاهش مشکلات بیماران پیشنهادهای متفاوتی شده است که یکی از آنها مبادله کلیه است (راث، سونمز و یونیور، ۲۰۰۷).

در سال ۲۰۰۳، ۸۶۶۵ پیوند کلیه از اهداکنندگان مرگ مغزی در ایالات متحده آمریکا وجود داشت، این در حالی بود که بیش از ۶۰۰۰۰ 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 ۶۴۶۴ بیمار در این سال از اهداکننده زنده کلیه دریافت کردند. در سپتامبر ۲۰۰۴، کمیته نظارت پیوند کلیه در آمریکا ایجاد اتاق تسویه را به تصویب رساند که فکر تأسیس این اتاق توسط فرانسیس دلمونیکو[1]، سوزان سیدمن[2] و سه تن از اقتصاددانان به نام‌های راث، سونمز و یونیور پیشنهاد شده بود (راث، سونمز و یونیور، ۲۰۰۵). در این سال، 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 رسیدند و اگر مبادلات سه‌طرفه بود، تعداد ۱۱ زوج در تبادل کلیه به پیوند می‌رسیدند (راث و همکاران، ۲۰۰۶).

مولابیگی و همکاران (۱۳۹۵)، از این الگوریتم برای به‌هم‌رسانی عرضه‌کننده و

1- Francis L. Delmonico
2- Susan Saidman

www.SID.ir

Archive of SID

تقاضاکننده کلیه استفاده کردند که شامل هر دو الگوریتم دوری[1] و زنجیره‌ای[2] بوده است، به‌طوری که تعداد ۴ زوج از طریق مبادله دوطرفه، تعداد ۸ زوج از طریق مبادله چهارطرفه و در کل ۱۲ زوج به کمک الگوریتم دوری و تعداد ۳ زوج به کمک الگوریتم زنجیره‌ای با هم تطبیق یافتند، اما شرایط پایداری این تطبیق‌ها بررسی نشد.

مطالعات محدودی با رویکرد همکارانه در سایر موضوع‌ها انجام شده است و از بین آنها تنها می‌توان به مطالعه جعفرزاده و سایرین (۱۳۹۳)، اشاره کرد که با استفاده از ارزش شپلی به تحلیل امکان تشکیل ائتلاف بین کشورهای ایران، آذربایجان و ترکمنستان در صادرات گاز اروپا پرداختند و نتیجه گرفتند که اگر به شکل متمرکز یا غیرمتمرکز یک تطبیق طراحی شود، اما از ویژگی پایداری برخوردار نباشد، در حل مسایل پیچیده بهینه‌یابی و طراحی بازار قابل کاربرد نخواهد بود (راس و ودل[3]، ۲۰۰۰).

۳- روش پژوهش

در این پژوهش به کمک انجمن حمایت از بیماران کلیوی در استان همدان، افراد دهنده و گیرنده از گروه‌های خونی متفاوت برحسب تصادف به تعداد ۲۰ زوج انتخاب شده‌اند. نمونه انتخابی به این صورت است که بعد از مطالعه بیماران موجود در انجمن، کمتر از ۱۰۰ بیمار شانس انتخاب را داشتند که با تأسی به روش‌شناسی آلوین راث و همچنین به دلیل محدودیت مالی[4] حدود ۴۰ نفر، یعنی ۲۰ زوج انتخاب شدند که نحوه انتخاب آنها به روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک بود.

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

بیماران t_{20}, t_{19}, t_{18} که دارای گروه خونی AB هستند.

بیماران $t_{17}, t_{16}, t_{15}, t_{14}, t_{13}$ که دارای گروه خونی B هستند.

بیماران $t_{12}, t_{11}, t_{10}, t_{9}, t_{8}$ که دارای گروه خونی A هستند.

1- Cyclic Algorithm
2- Chain Algorithm
3- Ross, L.F. and Woodle, E.S
۴- علاوه بر آن، امتناع بیماران برای شرکت در این طرح از موارد دیگری بود که به آن برخورد کردیم.

www.SID.ir

Archive of SID

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} که دارای گروه خونی A هستند.

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

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

اهداکنندگان k_5 , k_6 که دارای گروه خونی AB هستند.

۴- تجزیه‌وتحلیل مدل

۴-۱- نحوه چیدمان ترجیحات

۱- *تطابق گروه‌های خونی:* اگر گروه‌ها با هم ناسازگاری داشته باشند، امکان پیوند نیست.

براساس جدول شماره ۱، گیرنده گروه خونی O با گروه خونی دهنده‌های O سازگاری دارد. گیرنده گروه خونی A با گروه‌های خونی A و O سازگاری دارد. گیرنده گروه‌های خونی B با گروه‌های خونی B و O سازگاری خونی دارد. گیرنده گروه خونی AB با تمام گروه‌های خونی O، A، B و AB سازگاری دارد.

جدول ۱- حالت‌های تطبیق متقاطع از نظر گروه خونی

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

مأخذ: مولابیگی، ۱۳۹۵.

۲- *تطابق بافتی:* انطباق بافت مهم‌ترین عامل در پذیرش یا رد پیوند کلیه است. در هرنوع پیوند کلیه باید گروه خونی اهداکننده با گروه خونی گیرنده سازگار باشد. در صورتی که گروه‌های خونی سازگار باشند آزمون دیگری به نام تعیین بافت انجام می‌گیرد. این آزمون شباهت‌های ژنتیکی بافت اهداکننده و گیرنده را قطعی می‌کند. قبل از پیوند، کمی از خون

www.SID.ir

Archive of SID

بیمار و خون اهداکننده با هم مخلوط می‌شود. به این آزمون تطبیق بافتی گویند. این آزمون به این منظور انجام می‌شود که مطمئن شویم هیچ ماده‌ای در خون به نام آنتی‌بادی سیتوتوکسیک وجود ندارد که موجب پس زدن کلیه پیوندی شود.

۳- *زمان:* هرچه مدت زمانی که بیمار در فهرست انتظار بوده است کمتر باشد و پیوند سریع‌تر انجام شود، بهتر است.

۴- *سن:* هرچه سن کلیه‌دهنده کمتر باشد و اهداکننده کلیه بیماری کمتری داشته باشد، کلیه‌اش بهتر است.

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

۶- *جنسیت دهنده:* در حالت برابر جنس مذکر بر مؤنث ترجیح داده می‌شود.

ترجیحات بیماران برای کلیه‌های سازگار و فهرست انتظار به صورت جدول شماره ۲، است.

www.SID.ir

Archive of SID

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

O گروه خونی							A گروه خونی						B گروه خونی						AB گروه خونی					
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_9	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: مولایگی، ۱۳۹۵.

www.SID.ir

Archive of SID

در جدول شماره ۲، ترجیحات بیماران براساس چیدمانی‌که بیان شد، آمده است؛ به‌طور مثال، اهداکنندگان زوج نهم، چهاردهم، هشتم، هجدهم، سیزدهم و هفتم با بیمار ۱ سازگاری خونی و بافتی دارند و از بین 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. ترجیحات بقیه بیماران در جدول ۲، آمده است.

۴-۲- تعداد پیوندها با مکانیسم طراحی شده

از جدول شماره ۲، مشخص است، زوج‌هایی که در آن بیمار و اهداکننده ناسازگارند، عبارت‌اند از:

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

و تعداد زوج‌هایی که در آن بیمار با اهداکننده‌اش سازگاری خونی و بافتی دارد ۹ زوج است. هرچند این بیماران با اهداکننده‌های خود سازگاری دارند، اما این سازگاری به معنای بهتر بودن نیست. تعداد پیوندها (بهترین تخصیص‌ها) به کمک الگوریتم دوری و زنجیره‌ای (روش راث) در جدول شماره ۳، آمده است.

الگوریتم دوری[۱]

در الگوریتم دوری، دهنده ۱ در زوج ابتدایی ۱ با بیمار ۲ در زوج ابتدایی ۲ سازگاری دارد. بنابراین، دهندهِ زوج ابتدایی ۱ با گیرنده زوج ابتدایی ۲ تطبیق می‌یابد و کلیه خود را به بیمار ۲ برای پیوند واگذار می‌کند. دهنده زوج ۲ به بیمار زوج ۳ کلیه اهدا می‌کند و دهنده زوج m-1 با بیمار زوج m سازگاری دارد و کلیه خود را برای اهدا به این بیمار می‌دهد و دهنده زوج m به بیمار زوج ۱ کلیه خواهد داد.

۱- نحوه به‌دست آوردن الگوریتم دوری و زنجیره‌ای در پیوست مقاله آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم زنجیره‌ای

در الگوریتم زنجیره‌ای، دهنده ۱ متعلق به بیمار ۱ است، اما بیمار ۲، کلیه دهنده ۱ را ترجیح می‌دهد، در حالی که این کلیه برای بیمار ۱ است و دهنده بیمار ۲ کلیه خود را به بیمار ۳ می‌دهد و... این در حالی است که دهنده بیمار m با بیمار ۱ سازگاری ندارد و ترجیح می‌دهد با اولویت به فهرست انتظار بپیوندد. به‌این‌ترتیب، یک زنجیره شکل می‌گیرد که در نهایت آن یک نفر به فهرست انتظار می‌پیوندد و یک کلیه (کلیه زوج ۱) بیکار می‌ماند (راث، سونمز و یونیور، ۲۰۰۷).

جدول ۳- تعداد پیوندها

اهداکننده	بیمار	الگوریتم	مبادله
۷	۷	زنجیره حداقلی[1]	با اهداکننده خود
۵	۱۸	دوری	دوطرفه
۱۸	۵	دوری	دوطرفه
۱۲	۱۷	دوری	چهارطرفه
۱۷	۱۴	دوری	چهارطرفه
۱۴	۲	دوری	چهارطرفه
۲	۱۲	دوری	چهارطرفه
۹	۱۳	دوری	چهارطرفه
۱۳	۶	دوری	چهارطرفه
۶	۱۹	دوری	چهارطرفه
۱۹	۹	دوری	چهارطرفه
۲۰	۲۰	زنجیره حداقلی	با اهداکننده خود
۸	۱۶	دوری	دوطرفه
۱۶	۸	دوری	دوطرفه
۱۵	۱۱	زنجیره‌ای	
۱۰	۱۵	زنجیره‌ای	
۱	۱۰	زنجیره‌ای	

مأخذ: مولابیگی، ۱۳۹۵.

۱- هر بیماری که با دهندهِ خود تطبیق یابد به آن زنجیرهِ حداقلی گویند.

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۳- ارزش شپلی

ائتلاف بیماران ۵ و ۱۸ با یکدیگر

بیمار ۵ تنها می‌تواند با بیمار ۱۸ ائتلاف تشکیل دهد و چون دهنده بیمار ۵ در اولویت اول بیمار ۱۸ است، بنابراین، بهترین پیوند کلیه از نظر بیمار ۱۸، دهنده بیمار ۵ است. اگر بیماران ۵ و ۱۸ با یکدیگر ائتلاف تشکیل ندهند به بیمار ۵ کلیه‌ای نخواهد رسید، اما بیمار ۱۸ با دهندهِ خود که در اولویت هشتم هست تطبیق خواهد یافت[۱]. اگر بهترین کلیه از نظر پزشکی ۱۵۰ میلیون ریال[۲] فرض شود، در آن صورت، بیمار ۱۸، ۸۰ میلیون ریال[۳] سود می‌برد و حداقل ۱۶۰ میلیون ریال نیز به دلیل عمل پیوند صرفه‌جویی ایجاد می‌شود که در نهایت، کل ارزش بیمار ۱۸، برابر با ۲۴۰ میلیون ریال خواهد بود و چون بیمار ۵ به کلیه‌ای نمی‌رسد ارزش آن صفر خواهد شد، اما اگر ائتلاف بین بیماران تشکیل شود، هر دو بیمار به کلیه خواهند رسید، به‌طوری که بیمار ۱۸ به اولویت اول خود خواهد رسید[۴] و بیمار ۱۸ به اولویت دوم خود دسترسی خواهد یافت، بنابراین، ارزش کل ائتلاف برابر با ۶۱۰ میلیون ریال خواهد بود.

۱- از آنجا که هزینه پیوند کلیه و هزینه دیالیز برای هر بیمار سالانه در ایران در سال ۲۰۱۴ به ترتیب برابر ۱۹۰ میلیون ریال و ۳۵۳ میلیون ریال بوده است، بنابراین، هر عمل پیوند حداقل به‌اندازه ۱۶۳ میلیون ریال صرفه‌جویی اقتصادی دارد (مولابیگی، ۱۳۹۵).

۲- در حال حاضر، قیمت کلیه ۱۵۰ میلیون ریال است که ۱۴۰ میلیون ریال آن را بیمار و ۱۰ میلیون ریال آن را دولت به‌عنوان هدیه ایثار به دهنده کلیه پرداخت می‌کند.

۳- عدد ۷ میلیون تومان فرضی بوده و به این صورت است که بهترین کلیه ۱۵۰ میلیون ریال است که در اولویت اول بیمار قرار می‌گیرد، به‌طور منطقی اولویت‌های بعدی دارای قیمت پایین‌تری هستند که در این تحقیق هر اولویت پایین‌تر ۱۰ میلیون ریال در نظر گرفته شده است، هرچند به‌جای ۱۰ میلیون ریال می‌توان هر عددی را در نظر گرفت و نتیجه تفاوتی نخواهد کرد.

۴- چون بیمار ۱۸ به اولویت اول خود رسیده، بنابراین، ۱۵ میلیون تومان به این دلیل سود کرده و بیمار ۵ به اولویت دوم رسیده است، بنابراین، ۱۴ میلیون تومان سود برده و از سوی دیگر، چون هر دو به پیوند کلیه رسیده‌اند، حداقل ۳۲ میلیون تومان به دلیل صرفه‌جویی هزینه‌های دیالیز، سود کرده‌اند که مجموع سود آنها برابر ۶۱ میلیون تومان خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- محاسبه ارزش ائتلاف‌ها بین دو بیمار ۵ و ۱۸ (میلیون تومان)

احتمال	ترتیب تقدم بیماران	سهم حاشیه‌ای بیمار ۵	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۸
$\frac{1}{2}$	18 , 5	v(1)=0	v(1,2)-v(1)=61
$\frac{1}{2}$	5 , 18	v(1,2)-v(2)=37	v(2)=24

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

سهم نهایی انتظاری بیماران ۵ و ۱۸ برابر است با:

$$X_5 = \frac{1}{2}[0 + 37] = 18/5 \quad \text{و} \quad X_{18} = \frac{1}{2}[61 + 24] = 42/5 \qquad (۲)$$

برای اینکه این ائتلاف پایدار باشد، باید شروط زیر برقرار باشد:

$$X_{18} > 24 \qquad X_5 > 0 \qquad (۳)$$

از آنجا که مقدار شپلی بیماران ۱۸ و ۵ به ترتیب برابر با ۴۲/۵ و ۱۸/۵ میلیون تومان است، بنابراین، شرایط یادشده برقرار است و این ائتلاف ویژگی پایداری را دارد.

ائتلاف بیماران ۱۷، ۱۴، ۲ و ۱۲ با یکدیگر

اگر بیماران یادشده که در جدول بعد به ترتیب با شماره ۱، ۲، ۳ و۴ نشانه‌گذاری شده‌اند، با یکدیگر ائتلاف تشکیل بدهند، در آن صورت، بیماران ۲ و ۱۲ نسبت به زمانی که با یکدیگر ائتلاف نداشتند به پیوند کلیه خواهند رسید، زیرا تمام بیماران به اولویت اول خود رسیده‌اند، بنابراین، ارزش ائتلاف برابر با ۱۲۴۰ میلیون ریال خواهد بود. اگر بیماران با همدیگر ائتلاف تشکیل ندهند، بیمار ۱۷ و ۱۴ با دهندهِ خودشان که به ترتیب در اولویت پنجم و چهارم بیماران خود قرار گرفته‌اند، تطبیق می‌یابند، در آن صورت، ارزش بیماران ۱۷ و ۱۴ به ترتیب برابر با ۲۷۰ و ۲۸۰ میلیون ریال خواهد بود و بیماران ۲ و ۱۲ به پیوند کلیه نخواهند رسید که ارزش آنها صفر لحاظ می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- محاسبه ارزش ائتلاف‌ها بین چهار بیمار ۱۷، ۱۴، ۲ و ۱۲ (میلیون تومان)

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۷ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۴ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۲ (بیمار ۳)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۲ (بیمار ۴)
$\frac{1}{24}$	1,2,3,4	v(1) = 27	V(1,2) – v(1) = 30	V(1,2,3) – v(1,2)= -57	V(s) – v(1,2,3) = 124
$\frac{1}{24}$	1,2,4,3	v(1) = 27	V(1,2) – v(1) = 30	V(s) – v(1,2,4)= 35	V(1,2,4) – v(1,2) =32
$\frac{1}{24}$	1,3,2,4	v(1) = 27	V(1,3,2) – v(1,3) = 0	V(1, 3) – v(1)= -27	V(s) – v(1,3,2) = 124
$\frac{1}{24}$	1,3,4,2	v(1) = 27	V(s) – v(1,3,4) =124	V(1,3) – v(1)= -27	V(1,3,4) – v(1,3) =0
$\frac{1}{24}$	1,4,2,3	v(1) = 27	V(1,4,2) – v(1,4) = 89	V(s) – v(1,4,2)= 35	V(1,4) – v(1) = -27
$\frac{1}{24}$	1,4,3,2	v(1) = 27	V(s) – v(1,4,3) =124	V(1,4,3) – v(1,4)= 0	V(1,4) – v(1) = -27
$\frac{1}{24}$	2,1,3,4	V(2,1) – v(2) = 29	v(2) = 28	V(2,1,3) – v(2,1)= -57	V(s) – v(2,1,3) = 124
$\frac{1}{24}$	2,1,4,3	V(2,1) – v(2) = 29	v(2) = 28	V(s) – v(2,1,4)= 35	V(2,1,4) – v(2,1) =32
$\frac{1}{24}$	2,3,1,4	V(2,3,1) – v(2,3) =0	v(2) = 28	V(2,3) – v(2)= -28	V(s) – v(2,3,1) = 124
$\frac{1}{24}$	2,3,4,1	V(s) – v(2,3,4) =32	v(2) = 28	V(2,3) – v(2)= -28	V(2,3,4) – v(2,3) =92
$\frac{1}{24}$	2,4,1,3	V(2,4,1) – v(2,4) =32	v(2) = 28	V(s) – v(2,4,1)= 35	V(2,4) – v(2) = 29
$\frac{1}{24}$	2,4,3,1	V(s) – v(2,4,3) =32	v(2) = 28	V(2,4,3) – v(2,4)= 92	V(2,4) – v(2) = -28
$\frac{1}{24}$	3,1,2,4	V(3,1) – v(3) = 0	V(3,1,2) – v(3,1) =0	v(3) = 0	V(s) – v(3,1,2) =124
$\frac{1}{24}$	3,1,4,2	V(3,1) – v(3) = 0	V(s) – v(3,1,4) =124	v(3) = 0	V(3,1,4) – v(3,1) =0
$\frac{1}{24}$	3,2,1,4	V(3,2,1) – v(3,2) =0	V(3,2) – v(3) = 0	v(3) = 0	V(s) – v(3,2,1) =124
$\frac{1}{24}$	3,2,4,1	V(s) – v(3,2,4) = 32	V(3,2) – v(3) = 0	v(3) = 0	V(3,2,4) – v(3,2) =92
$\frac{1}{24}$	3,4,2,1	V(s) – v(3,4,2) = 32	V(3,4,2) – v(3,4) =92	v(3) = 0	V(3,4) – v(3) = 0
$\frac{1}{24}$	3,4,1,2	V(3,4,1) – v(3,4) =0	V(s) – v(3,4,1) =124	v(3) = 0	V(3,4) – v(3) = 0
$\frac{1}{24}$	4,1,2,3	V(4,1) – v(4) = 0	V(4,1,2) – v(4,1) =89	V(s) – v(4,1,2) =35	v(4) = 0
$\frac{1}{24}$	4,1,3,2	V(4,1) – v(4) = 0	V(s) – v(4,1,3) =124	V(4,1,3) – v(4, 1)=0	v(4) = 0

www.SID.ir

Archive of SID

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۷ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۴ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۲ (بیمار ۳)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۲ (بیمار ۴)
$\frac{1}{24}$	4,2,1,3	V(4,2,1) – v(4,2) =32	V(4,2) – v(4) = 57	V(s) – v(4,2,1) =35	v(4) = 0
$\frac{1}{24}$	4,2,3,1	V(s) – v(4,2,3) = 32	V(4,2) – v(4) = 57	V(4,2, 3) – v(4,2)= 35	v(4) = 0
$\frac{1}{24}$	4,3,1,2	V(4,3,1) – v(4,3) =0	V(s) – v(4,1,3) = 124	V(4, 3) – v(4)= 0	v(4) = 0
$\frac{1}{24}$	4,3,2,1	V(s) – v(4,3,2) = 32	V(4,3,2) – v(4,3) =92	V(4, 3) – v(4)= 0	v(4) = 0

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

ارزش شپلی بیمار ۱۷، ۱۴، ۲ و ۱۲ به ترتیب برابر با ۱۹۸/۳۴، ۶۰۳/۳۳، ۴۷/۰۸ و ۳۹۱/۲۵ میلیون ریال است:

$$X_1 = \frac{1}{24}[27+27+27+27+27+27+29+29+32+32+32+32+32+32+32+32] = \frac{476}{24}$$

$$X_2 = \frac{1}{24}[30+30+124+89+124+28+28+28+28+28+28+124+124+92+89+124+57+57+124+92] = \frac{1448}{24}$$

$$X_3 = \frac{1}{24}[-57+35-27-27+35-57+35-28-28+35+92+35+35+35] = \frac{113}{24}$$

$$X_4 = \frac{1}{24}[124+32+124-27-27+124+32+124+92+29-28+124+124+92] = \frac{939}{24} \quad (۴)$$

شروطی که برای پایداری باید برقرار باشد، به این شرح است:

(۵)

$$X_1 > 270 \qquad X_2 > 280 \qquad X_3 > 0 \qquad X_4 > 0$$

$$X_1 + X_2 > 57 \qquad X_1 + X_3 > 0 \qquad X_1 + X_4 > 0$$

$$X_2 + X_3 > 0 \qquad X_2 + X_4 > 57 \qquad X_3 + X_4 > 0$$

$$X_1 + X_2 + X_3 > 0 \qquad X_1 + X_2 + X_4 > 89 \qquad X_1 + X_3 + X_4 > 0$$

$$X_2 + X_3 + X_4 > 92$$

www.SID.ir

Archive of SID

از آنجا که مقدار شپلی بیمار ۱۷برابر با ۱۹۸/۳۴ میلیون ریال است، بنابراین، این بیمار در این ائتلاف شرکت نخواهد کرد. بنابراین، بیمار ۱۷ با دهنده خودش تطبیق می‌یابد و سه بیمار بعدی یک ائتلاف پایدار را تشکیل خواهند داد.

ائتلاف بیماران ۱۴، ۲ و بیمار۱۲ با یکدیگر

جدول ۶- محاسبه ارزش ائتلاف‌ها بین سه بیمار ۱۴، ۲ و ۱۲ (میلیون تومان)

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۴ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۲ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار۱۲ (بیمار ۳)
$\frac{1}{6}$	123	v(1) = 28	V(1,2) – v(1) = -28	V(s) – v(1,2) = 93
$\frac{1}{6}$	132	v(1) = 28	V(s) – v(1,3) = 36	V(1,3) – v(1) =29
$\frac{1}{6}$	213	۰V(2,1) – v(2) =	v(2) = 0	V(s) – v(2,1) = 93
$\frac{1}{6}$	231	V(s) – v(2,3) = 93	v(2) = 0	V(2,3) – v(2) = 0
$\frac{1}{6}$	312	V(3,1) – v(3) = 57	V(s) – v(3,1) =36	v(3) = 0
$\frac{1}{6}$	321	V(s) – v(2,3) = 93	V(3,2) – v(3) =0	v(3) = 0

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

برای پایداری باید شرایط زیر برقرار باشد:

(۶)

$$X_1 > 280 \qquad X_2 > 0 \qquad X_3 > 0$$
$$X_1 + X_2 > 0 \qquad X_1 + X_3 > 570 \qquad X_2 + X_3 > 0$$

از آنجا که مقدار شپلی بیماران ۱۴، ۲ و ۱۲ به ترتیب برابر با ۴۹۸/۳۴، ۷۳/۳۴ و ۳۵۸/۳۴ میلیون ریال است، بنابراین، شرایط یادشده برقرار بوده و این ائتلاف ویژگی پایداری را دارد.

ائتلاف بین بیماران ۱۳، ۶، ۱۹ و ۹

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- محاسبه ارزش ائتلاف‌ها بین چهار بیمار۱۳، ۶، ۱۹ و ۹ (میلیون تومان)

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۳ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۶ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۹ (بیمار ۳)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۹ (بیمار ۴)
$\frac{1}{24}$	1,2,3,4	v(1) = 25	V(1,2) – v(1) = -25	V(1,2,3) – v(1,2)= 0	V(s) – v(1,2,3) = 103
$\frac{1}{24}$	1,2,4,3	v(1) = 25	V(1,2) – v(1) = -25	V(s) – v(1,2,4)= 103	V(1,2,4) – v(1,2) =0
$\frac{1}{24}$	1,3,2,4	v(1) = 25	V(1,3,2) – v(1,3) = 0	V(1, 3) – v(1)= -25	V(s) – v(1,3,2) = 103
$\frac{1}{24}$	1,3,4,2	v(1) = 25	V(s) – v(1,3,4) = 22	V(1,3) – v(1)= -25	V(1,3,4) – v(1,3) =81
$\frac{1}{24}$	1,4,2,3	v(1) = 25	V(1,4,2) – v(1,4) = 0	V(s) – v(1,4,2)= 103	V(1,4) – v(1) = -25
$\frac{1}{24}$	1,4,3,2	v(1) = 25	V(s) – v(1,4,3) = 22	V(1,4,3) – v(1,4)= 81	V(1,4) – v(1) = -25
$\frac{1}{24}$	2,1,3,4	V(2,1) – v(2) = 0	v(2) = 0	V(2,1,3) – v(2,1)= 0	V(s) – v(2,1,3) = 103
$\frac{1}{24}$	2,1,4,3	V(2,1) – v(2) = 0	v(2) = 0	V(s) – v(2,1,4)= 103	V(2,1,4) – v(2,1) =0
$\frac{1}{24}$	2,3,1,4	V(2,3,1) – v(2,3) =0	v(2) = 0	V(2,3) – v(2)= 0	V(s) – v(2,3,1) = 103
$\frac{1}{24}$	2,3,4,1	V(s) – v(2,3,4) =30	v(2) = 0	V(2,3) – v(2)= 0	V(2,3,4) – v(2,3) =73
$\frac{1}{24}$	2,4,1,3	V(2,4,1) – v(2,4) =0	v(2) = 0	V(s) – v(2,4,1)= 103	V(2,4) – v(2) = -0
$\frac{1}{24}$	2,4,3,1	V(s) – v(2,4,3) =30	v(2) = 0	V(2,4,3) – v(2,4)= 73	V(2,4) – v(2) = 0
$\frac{1}{24}$	3,1,2,4	V(3,1) – v(3) = -24	V(3,1,2) – v(3,1) =0	v(3) = 24	V(s) – v(3,1,2) =103
$\frac{1}{24}$	3,1,4,2	V(3,1) – v(3) = -24	V(s) – v(3,1,4) =22	v(3) = 24	V(3,1,4) – v(3,1) =81
$\frac{1}{24}$	3,2,1,4	V(3,2,1) – v(3,2) =0	V(3,2) – v(3) = -24	v(3) = 24	V(s) – v(3,2,1) =103
$\frac{1}{24}$	3,2,4,1	V(s) – v(3,2,4) = 30	V(3,2) – v(3) = -24	v(3) = 24	V(3,2,4) – v(3,2) =73
$\frac{1}{24}$	3,4,2,1	V(s) – v(3,4,2) = 30	V(3,4,2) – v(3,4) =14	v(3) = 24	V(3,4) – v(3) = 35
$\frac{1}{24}$	3,4,1,2	V(3,4,1) – v(3,4) =22	V(s) – v(3,4,1) =22	v(3) = 24	V(3,4) – v(3) = 35
$\frac{1}{24}$	4,1,2,3	V(4,1) – v(4) = -27	V(4,1,2) – v(4,1) =0	V(s) – v(4,1,2)=103	v(4) = 27
$\frac{1}{24}$	4,1,3,2	V(4,1) – v(4) = -27	V(s) – v(4,1,3) =22	V(4,1,3) – v(4, 1)=81	v(4) = 27

www.SID.ir

Archive of SID

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۳ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۶ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۹ (بیمار ۳)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۹ (بیمار ۴)
$\frac{1}{24}$	4,2,1,3	V(4,2,1) – v(4,2) =0	V(4,2) – v(4) = -27	V(s) – v(4,2,1) =103	v(4) = 27
$\frac{1}{24}$	4,2,3,1	V(s) – v(4,2,3) = 30	V(4,2) – v(4) = -27	V(4,2, 3) – v(4,2)= 73	v(4) = 27
$\frac{1}{24}$	4,3,1,2	V(4,3,1) – v(4,3) =22	V(s) – v(4,1,3) = 22	V(4, 3) – v(4)= 32	v(4) = 27
$\frac{1}{24}$	4,3,2,1	V(s) – v(4,3,2) = 30	V(4,3,2) – v(4,3) =14	V(4, 3) – v(4)= 32	v(4) = 27

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

$X_1 = \frac{1}{24}[272] \quad X_2 = \frac{1}{24}[8] \quad X_3 = \frac{1}{24}[1084] \quad X_4 = \frac{1}{24}[1108]$

شروطی که برای پایداری باید برقرار باشد:

$X_1 > 270 \quad X_2 > 280 \quad X_3 > 0 \quad X_4 > 0$

$X_1 + X_2 > 57 \quad X_1 + X_3 > 0 \quad X_1 + X_4 > 0$

$X_2 + X_3 > 0 \quad X_2 + X_4 > 57 \quad X_3 + X_4 > 0$

$X_1 + X_2 + X_3 > 0 \quad X_1 + X_2 + X_4 > 89 \quad X_1 + X_3 + X_4 > 0$

$X_2 + X_3 + X_4 > 92$

از آنجایی که مقدار شپلی بیمار ۱۷برابر با ۱۹۸/۳۴ میلیون ریال می‌باشد بنابراین این بیمار در این ائتلاف شرکت نخواهد کرد. بنابراین بیمار ۱۷ با دهنده خودش تطبیق می‌یابد و سه بیمار بعدی تشکیل یک ائتلاف پایدار را خواهند داد.

ائتلاف بیماران ۱۴، ۲ و بیمار۱۲ با یکدیگر

.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- محاسبه ارزش ائتلاف‌ها بین سه بیمار۶، ۱۹ و ۹ (میلیون تومان)

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۶ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۹ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۹ (بیمار ۳)
$\frac{1}{6}$	123	v(1) = 0	V(1,2) – v(1) = 0	V(s) – v(1,2) = 88
$\frac{1}{6}$	132	v(1) = 0	V(s) – v(1,3) = 88	V(1,3) – v(1) =0
$\frac{1}{6}$	213	V(2,1) – v(2) = -24	v(2) = 24	V(s) – v(2,1) = 88
$\frac{1}{6}$	231	V(s) – v(2,3) = 29	v(2) = 24	V(2,3) – v(2) = 35
$\frac{1}{6}$	312	V(3,1) – v(3) = -27	V(s) – v(3,1) =88	v(3) = 27
$\frac{1}{6}$	321	V(s) – v(2,3) = 29	V(3,2) – v(3) =32	v(3) = 27

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

شروطی که باید برای پایداری برقرار باشد، به شرح زیر است:

$X_1 > 0 \qquad X_2 > 240 \qquad X_3 > 270$

$X_1 + X_2 > 0 \qquad X_1 + X_3 > 0 \qquad X_2 + X_3 > 590$

مقدار شپلی بیماران ۶، ۱۹ و ۹ به ترتیب برابر با ۱۱/۷، ۴۲۶/۷ و ۴۴۱/۶ میلیون ریال است. بنابراین، شرایط یادشده برقرار بوده و این ائتلاف ویژگی پایداری را دارد.

ائتلاف بیماران ۸ و۱۶ با یکدیگر

ارزش ائتلاف بین بیماران ۵۳۰ میلیون ریال است.

جدول ۹- محاسبه ارزش ائتلاف‌ها بین دو بیمار ۸ و ۱۶ (میلیون تومان)

احتمال	ترتیب تقدم بیماران	سهم حاشیه‌ای بیمار ۸	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۶
$\frac{1}{2}$	16 , 8	v(1)=25	v(1,2)-v(1)=28
$\frac{1}{2}$	8 , 16	v(1,2) - v(2)=53	v(2)=0

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

www.SID.ir

Archive of SID

سهم نهایی انتظاری بیمار ۸ و ۱۶ برابر است با:

$$X_{16} = \frac{1}{2}[28 + 0] = 14 \quad , \quad X_8 = \frac{1}{2}[25 + 53] = 39$$

برای اینکه این ائتلاف پایدار باشد باید شروط زیر برقرار باشد:

$$X_{16} > 0 \qquad X_8 > 25$$

از آنجا که مقدار شپلی بیمار ۱۶ بزرگ‌تر از صفر و بیمار ۸ بزرگ‌تر از ۲۵ است، بنابراین، این ائتلاف پایدار است.

ائتلاف بیماران ۱۰، ۱۵، ۱۱ و ۱ با یکدیگر

جدول ۱۰- محاسبه ارزش ائتلاف‌ها بین چهار بیمار۱۰، ۱۵، ۱۱ و ۱ (میلیون تومان)

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۰ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۵ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۱ (بیمار ۳)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱ (بیمار ۴)
$\frac{1}{24}$	1,2,3,4	v(1) = 0	V(1,2) – v(1) = 44	V(1,2,3) – v(1,2)= -44	V(s) – v(1,2,3) = 75
$\frac{1}{24}$	1,2,4,3	v(1) = 0	V(1,2) – v(1) = 44	V(s) – v(1,2,4)= 75	V(1,2,4) – v(1,2) =-44
$\frac{1}{24}$	1,3,2,4	v(1) = 0	V(1,3,2) – v(1,3) = 0	V(1, 3) – v(1)= 0	V(s) – v(1,3,2) = 75
$\frac{1}{24}$	1,3,4,2	v(1) = 0	V(s) – v(1,3,4) = 75	V(1,3) – v(1)= 0	V(1,3,4) – v(1,3) =0
$\frac{1}{24}$	1,4,2,3	v(1) = 0	V(1,4,2) – v(1,4) = 0	V(s) – v(1,4,2)= 75	V(1,4) – v(1) = 0
$\frac{1}{24}$	1,4,3,2	v(1) = 0	V(s) – v(1,4,3) = 75	V(1,4,3) – v(1,4)= 0	V(1,4) – v(1) = 0
$\frac{1}{24}$	2,1,3,4	V(2,1) – v(2) = 44	v(1) = 0	V(2,1,3) – v(2,1)= -44	V(s) – v(2,1,3) = 75
$\frac{1}{24}$	2,1,4,3	V(2,1) – v(2) = 44	v(1) = 0	V(s) – v(2,1,4)= 75	V(2,1,4) – v(2,1) =-44
$\frac{1}{24}$	2,3,1,4	V(2,3,1) – v(2,3) =-43	v(1) = 0	V(2,3) – v(2)= 43	V(s) – v(2,3,1) = 75
$\frac{1}{24}$	2,3,4,1	V(s) – v(2,3,4) =75	v(1) = 0	V(2,3) – v(2)= 43	V(2,3,4) – v(2,3) =-43
$\frac{1}{24}$	2,4,1,3	V(2,4,1) – v(2,4) =0	v(1) = 0	V(s) – v(2,4,1)= 75	V(2,4) – v(2) = 0
$\frac{1}{24}$	2,4,3,1	V(s) – v(2,4,3) =75	v(1) = 0	V(2,4,3) – v(2,4)= 0	V(2,4) – v(2) = 0

www.SID.ir

Archive of SID

احتمال	ترتیب تقدم	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۰ (بیمار ۱)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۵ (بیمار ۲)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱۱ (بیمار ۳)	سهم حاشیه‌ای بیمار ۱ (بیمار ۴)
$\frac{1}{24}$	3,1,2,4	V(3,1) – v(3) = 0	V(3,1,2) – v(3,1) =0	v(1) = 0	V(s) – v(3,1,2) =75
$\frac{1}{24}$	3,1,4,2	V(3,1) – v(3) = 0	V(s) – v(3,1,4) =75	v(1) = 0	V(3,1,4) – v(3,1) =0
$\frac{1}{24}$	3,2,1,4	V(3,2,1) – v(3,2) =-43	V(3,2) – v(3) = 43	v(1) = 0	V(s) – v(3,2,1) =75
$\frac{1}{24}$	3,2,4,1	V(s) – v(3,2,4) = 75	V(3,2) – v(3) = 43	v(1) = 0	V(3,2,4) – v(3,2) =-43
$\frac{1}{24}$	3,4,2,1	V(s) – v(3,4,2) = 75	V(3,4,2) – v(3,4) =0	v(1) = 0	V(3,4) – v(3) = 0
$\frac{1}{24}$	3,4,1,2	V(3,4,1) – v(3,4) =0	V(s) – v(3,4,1) =75	v(1) = 0	V(3,4) – v(3) = 0
$\frac{1}{24}$	4,1,2,3	V(4,1) – v(4) = 0	V(4,1,2) – v(4,1) =0	V(s) – v(4,1,2) =75	v(1) = 0
$\frac{1}{24}$	4,1,3,2	V(4,1) – v(4) = 0	V(s) – v(4,1,3) =75	V(4,1,3) – v(4, 1)=0	v(1) = 0
$\frac{1}{24}$	4,2,1,3	V(4,2,1) – v(4,2) =0	V(4,2) – v(4) = 0	V(s) – v(4,2,1) =75	v(1) = 0
$\frac{1}{24}$	4,2,3,1	V(s) – v(4,2,3) = 75	V(4,2) – v(4) = 0	V(4,2, 3) – v(4,2)= 0	v(1) = 0
$\frac{1}{24}$	4,3,1,2	V(4,3,1) – v(4,3) =0	V(s) – v(4,1,3) = 75	V(4, 3) – v(4)= 0	v(1) = 0
$\frac{1}{24}$	4,3,2,1	V(s) – v(4,3,2) = 75	V(4,3,2) – v(4,3) =0	V(4, 3) – v(4)= 0	v(1) = 0

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

شروطی که برای پایداری باید برقرار باشد، به شرح زیر است:

$X_1 > 0 \quad X_2 > 0 \quad X_3 > 0 \quad X_4 > 0$

$X_1 + X_2 > 44 \quad X_1 + X_3 > 0 \quad X_1 + X_4 > 0$

$X_2 + X_3 > 43 \quad X_2 + X_4 > 0 \quad X_3 + X_4 > 0$

$X_1 + X_2 + X_3 > 0 \quad X_1 + X_2 + X_4 > 0 \quad X_1 + X_3 + X_4 > 0$

$X_2 + X_3 + X_4 > 0$

www.SID.ir

Archive of SID

از آنجا که ارزش شپلی به‌دست آمده برای بیماران ۱۰، ۱۵، ۱۱ و ۱ به ترتیب برابر با ۱۸۸/۳۴، ۲۶۰، ۱۸۶/۶۷ و ۱۱۵ میلیون ریال است، بنابراین، ائتلاف تشکیل شده شرایط یادشده را دارد؛ به همین دلیل، دارای ویژگی پایداری است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در دنیای واقعی برخی از بازارها به‌رغم اینکه عرضه‌کننده و تقاضاکننده دارند شکل نمی‌گیرند. احیای این‌گونه بازارها وظیفه طراحان بازار است که به کمک الگوریتم‌های جایابی، مشارکت‌کنندگان بازار را به یکدیگر می‌رسانند، اما نکته‌ای که در این جایابی‌ها نباید از آن غافل شد، ویژگی‌های آنهاست، به عبارتی، هر تخصیصی قابل قبول نیست، تخصیصی مورد قبول طراحان بازار است که پایدار باشد. در غیر این صورت، اگر به شکل متمرکز یا غیرمتمرکز یک تطبیق طراحی شود، اما از ویژگی پایداری برخوردار نباشد، در حل مسایل پیچیده بهینه‌یابی و طراحی بازار قابل کاربرد نخواهد بود، به عبارتی، اگر شرط پایداری در جایابی نباشد، عوامل این انگیزه را پیدا می‌کنندکه در بیرون از الگوریتم، جایابی شوند، زیرا سود و مطلوبیت عوامل افزایش می‌یابد. تخصیص پایدار وضعیتی است که هیچ ائتلافی نمی‌تواند از آن منحرف شود و وضعیت اعضا را بهبود دهد. اهمیت پایداری یک تطبیق چنان مشخص است که اگر تطبیق‌ها پایدار باشند چون هرکدام از طرفین به بهترین موقعیت ممکن رسیده‌اند، امکان انتقال متقاضی بعد از جایابی وجود نخواهد داشت.

بازار کلیه از این نوع بازارهاست که باید توسط طراحان بازار و به کمک مکانیسم چرخه برتر احیا شود. در این پژوهش، از اطلاعات ۲۰ بیمار دیالیزی و ۲۰ اهداکننده کلیه برای بررسی تخصیص‌های پایدار استفاده شده است. روشی که در این پژوهش، به‌منظور بررسی تخصیص‌های پایدار استفاده شده، روش ارزش شپلی است. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که همکاری بین بیماران به دو ائتلاف سه‌طرفه منجر شده‌که یکی از آنها، ائتلاف بین بیماران ۱۴، ۲ و ۱۲ به ارزش ۹۳۰ میلیون ریال بوده و سهم نهایی آنها به

www.SID.ir

Archive of SID

ترتیب برابر ۴۹۸/۴، ۷/۳۴ و ۳۵۸/۴ میلیون ریال است. دیگری، ائتلاف بین بیماران ۶، ۱۹ و ۹ به ارزش ۸۸۰ میلیون ریال بوده که سهم نهایی آنها به ترتیب ۱۱/۷، ۴۲۶/۷ و ۴۴۱/۶ میلیون ریال است. همچنین دو ائتلاف دوطرفه به‌وجود آمده که یکی از آنها، ائتلاف بیماران ۵ و ۱۸ به ارزش ۶۱۰ میلیون ریال با سهم نهایی به ترتیب برابر ۴۲۵ و ۱۸۵ میلیون ریال بوده و دیگری، ائتلاف بیماران ۸ و ۱۶ به ارزش ۵۳۰ میلیون ریال بوده که سهم نهایی آنها به ترتیب ۱۴۰ و ۳۹۰ میلیون ریال است. یک ائتلاف زنجیره‌ای نیز بین بیماران ۱۰، ۱۵، ۱۱ و ۱ به ارزش ۴۵۰ میلیون ریال شکل گرفته که سهم آنها به ترتیب برابر ۱۱۳/۴، ۱۳۱/۶، ۱۱۱/۶ و ۹۳/۴ میلیون ریال بوده است. از آنجا که ارزش شپلی به‌دست آمده از همکاری بیماران دارای شرایط پایداری است. بنابراین، تمام ائتلاف‌های به‌دست آمده در این پژوهش دارای ویژگی ثبات و پایداری هستند. اگر شرایط پایداری برقرار نباشد، نتایج بهینه نخواهد شد؛ به‌طور مثال، ائتلاف بیمار ۸ و ۱۶ بهترین ائتلاف بوده که در این مجموعه شکل گرفته است، زیرا اگر این ائتلاف شکل نگیرد برای بیمار ۸ براساس جدول شماره ۲، دهنده‌های ۱۹، ۲۰ و ۲ به ترتیب بهتر است، اما هیچ‌کدام از بیماران حاضر به ائتلاف با بیمار ۸ نیستند، زیرا اگر با بیمار ۱۹ این ائتلاف را تشکیل بدهد به دهندهِ ۸ که در اولویت پنجم قرار گرفته است، می‌رسد و اولویت اول خود را که دهندهِ ۵ است، از دست می‌دهد یا اگر با بیمار ۲۰ این ائتلاف را تشکیل بدهد بیمار ۲۰ حاضر به شرکت نخواهد بود، زیرا دهنده خودش در اولویت بالاتری قرار گرفته است. همچنین اگر ائتلاف او با بیمار ۲ باشد بیمار ۲ تن به ائتلاف نخواهد داد، زیرا دهنده ۱۴ را که در اولویت اول او قرار گرفته است از دست می‌دهد با همین استدلال برای سایر ائتلاف‌ها مشاهده می‌شودکه هیچ‌کدام از بیماران حاضر به ترک این ائتلاف‌ها نخواهد بود، زیرا در تمام آنها شرایط پایداری رعایت شده است. براساس نتایج حاصل، مکانیسم به‌هم‌رسانی به‌شرط اینکه پایدار باشد، به‌خوبی می‌تواند قسمت اعظمی از مشکلات بیماران دیالیزی را برطرف کند. در ایران چون اطلاعات همه گیرندگان کلیه قبل از پیوند در انجمن حمایت از بیماران کلیوی موجود است، بنابراین، تا حدودی کار طراحی مکانیسم هموار شده، همچنین به دلیل ممنوع نبودن خریدوفروش

www.SID.ir

Archive of SID

کلیه در ایران، مدل مبادله کلیه می‌تواند از عملکرد بهتری نسبت به برخی از کشورهایی که از این مدل استفاده می‌کنند، برخوردار شود. بدین‌ترتیب، براساس نتایج پژوهش پیشنهاد می‌شود، برای جلوگیری از هزینه‌های گزافی که صرف بیماران دیالیزی می‌شود، وزارت بهداشت هرچه سریع‌تر این مکانیسم را به کار گیرد تا از مزایای آن استفاده کند؛ برای این کار ابتدا لازم است، مرکزی مستقل برای فرآیند تطبیق در نظر بگیرد که در آن همه اطلاعات بیماران و دهنده‌های کل کشور ثبت شوند و سپس، به کمک الگوریتم جایابی تعداد پیوندهای کلیه را افزایش و بیماران بسیاری را از خطر مرگ حتمی نجات دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

جعفرزاده، امیر، شاکری، عباس، مؤمنی، فرشاد و عبدلی، قهرمان (۱۳۹۳). امکان تشکیل ائتلاف میان کشورهای ایران، آذربایجان و ترکمنستان در صادرات گاز اروپا: رهیافت نظریه بازی. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، دوره ۱۹، شماره ۶۱ ، ۲۹-۱.

مولابیگی، جلال، عبادی، جعفر، الهی، ناصر و امیرزرگر، محمدعلی (۱۳۹۵). طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران. *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، دوره ۶، شماره ۲۴ ، ۱۲۳-۹۵.

مولابیگی، جلال، عبادی، جعفر، الهی، ناصر و امیرزرگر، محمدعلی (۱۳۹۵). طراحی سازوکار برای تبادل کلیه در ایران (رساله دکترا). دانشکده اقتصاد، دانشگاه مفید قم.

Abdulkadiroglu, A., Pathak, P. A. and Roth, A. E. (2005) . "The New York City High School Match" .*American Economic Review*, Vol. 95, p.364-367.

Abdulkadiroğlu, & Sönmez, T. (2003). "School choice: A mechanism design approach". *American Economic Review*, 93(3), 729–747.

Gale, D. and L.S. Shapley. (1962). "College Admissions and the Stability of Marriage," *American Mathematical Monthly*, 69, 9-15.

Gillies, D. B. (1959). "Solutions to General Non-Zero-Sum Games. Contributions to the Theory of Games IV, A. W. Tucker and R. D.Luce (eds), Princeton: Princeton University.

Mas-Colell, Michael D. Whinston, and Jerry R. Green.(1995). *Microeconomic Theory*. Oxford University Press. Ch. 18.

Ross, L. F. and Woodle, E. S.(2000). "Ethical Issues in Increasing Living Kidney Donations by Expanding Kidney Paired Exchange Programs". *Transplantation*; Vol. 69: 1539-1543

Roth A. E., T. Sönmez T. and Ünver M. U. (2005). "Pairwise kidney exchange". *Journal of Economic Theory*; 125(2): 151-188.

Roth, A. E. (1982). "The Economics of Matching: Stability and Incentives,"*Mathematics of Operations Research*, 7, 617-628.

Roth, A. E. (2002). "The economist as engineer: game theory,

www.SID.ir

Archive of SID

experimentation an computation as tools for design economics". *Econometrica* 70, 1341-1378.

Roth, A. E. (2012). "The Theory and Practice of Market Design", lecture prize (Nobel).

Roth, A. E. (1988). "Introduction to the Shapley Value. The Shapley Value: Essays in Honor of Lloyd S. Shapley, A. E. Roth (ed), New York: Cambridge University.

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. (1984). "The evolution of the labor market for medical interns and residents: A case study in game theory". *Journal of Political Economy* 92: 991.1016.

Roth, A.E. and E. Peranson. (1999). "The redesign of the matching market for American physicians: Some engineering aspects of economic design ". *American Economic Review* 89: 748.79.

Saidman, Susan L., Alvin E. Roth, Tayfun Sonmez, M. Utku Unver, and Francis L. Delmonico. (2006). "Increasing the Opportunity of Live Kidney Donation By Matching for Two and Three Way Exchanges". *Transplantation*, 81, 773-782.

Serrano, R. (2007). "Cooperative games: core and shapley value". https://www.brown.edu/Departments/Economics/Faculty/serrano/pdfs/2008ECSS.pdf

Shapley, Lloyd. S. (1953). "A value for n-person games ". *Annals of Mathematical Studies*, No. 28, 307-317.

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست‌ها

پیوست ۱- نحوه به‌دست آوردن ائتلاف‌ها

در این پیوست، روش به‌دست آوردن ائتلاف‌ها به کمک الگوریتم طراحی شده ارایه می‌شود. الگوریتم طراحی شده به این ترتیب آغاز می‌شود که یک دهنده به گیرنده‌اش ارجاع داده می‌شود. اگر او در فهرست ترجیحات گیرنده‌اش رتبه اول را داشت تطبیق می‌یابد، اما اگر گیرنده نتواند با او تطبیق یابد، تلاش می‌کند با دهنده‌ای تطبیق یابد که در فهرست ترجیحاتش رتبه اول را دارد و دهنده موردنظر نیز دوباره به گیرنده‌اش مرتبط می‌شود. این فرآیند به همین ترتیب برای سایر دهنده‌ها و گیرنده‌ها ادامه می‌یابد.

نتیجه فرآیند به شرح زیر است:

در تمام مراحل هر اهداکننده به بیمار خود پایبند است.

مرحله اول:

در این مرحله، اهداکننده زوج اول به بیمار اول پایبند است، اما در ترجیحات بیمار ۱ اهداکننده

زوج نهم در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۹ اهداکننده ۱۹ در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۱۹ اهداکننده زوج ۵ در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۵ اهداکننده زوج ۷ در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۷ اهداکننده خودش دارای اولویت است. بنابراین، در این مرحله اهداکننده زوج هفتم با بیمار خود تطبیق می‌یابد. بنابراین، از الگوریتم حذف خواهند شد.

اهداکننده زوج هفتم با بیمار خود تطبیق می‌یابد. بنابراین، از الگوریتم حذف خواهند شد.

$(k_1 , t_1 , k_9 , t_9 , k_{19} , t_{19} , k_5 , t_5 , \mathbf{k_7 , t_7 , k_7})$

مرحله دوم

در این مرحله، با حذف زوج هفتم، در ترجیحات بیمار ۵ اهداکننده زوج ۱۸در اولویت است و در ترجیحات بیمار ۱۸ اهداکننده زوج ۵ در اولویت است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، یک چرخه ایجاد شده است. بنابراین، با این محاسبه: k_5 به t_{18} و k_{18} به t_5

www.SID.ir

Archive of SID

خواهند رسید و از الگوریتم حذف خواهند شد.

$(k_1 , t_1 , k_9 , t_9 , k_{19} , t_{19} , \mathbf{k_5 , t_5 , k_{18} , t_{18} , k_5})$

مرحله سوم

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

$(k_1 , t_1 , k_9 , t_9 , k_{19} , t_{19} , k_6 , t_6 , k_{13} , t_{13} , \mathbf{k_{12} , t_{12} , k_2 , t_2 , k_{14} , t_{14} , k_{17} , t_{17} , k_{12}})$

مرحله چهارم

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

$(k_1 , t_1 , \mathbf{k_9 , t_9 , k_{19} , t_{19} , k_6 , t_6 , k_{13} , t_{13} , k_9})$

مرحله پنجم

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

$(k_1 , t_1 , k_8 , t_8 , \mathbf{k_{20} , t_{20} , k_{20}})$

مرحله ششم

در ترجیحات بیمار ۸ اهداکننده زوج ۱۶ در اولویت بوده و در ترجیحات بیمار۱۶ اهداکننده ۸ در اولویت است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، یک چرخه ایجاد شده و با این محاسبه، زوج هشتم و شانزدهم از مکانیسم حذف می‌شوند.

$(k_1 , t_1 , \mathbf{k_8, t_8 , k_{16} , t_{16} , k_8})$

www.SID.ir

Archive of SID

مرحله هفتم

در این مرحله، اهداکننده زوج اول با بیمار دهم، اهداکننده زوج دهم با بیمار پانزدهم و اهداکننده پانزدهم با بیمار یازدهم تطبیق می‌یابد. اهداکننده یازدهم با هیچ بیماری تطبیق نخواهد یافت و همچنین به بیمار اول هیچ کلیه‌ای نرسیده است. اگر بیمار اول قبول کند که با اولویت به فهرست انتظار بپیوندد، زوج‌های بالا در پیوند شرکت می‌کنند. در غیر این صورت، باید منتظر ورود دیگر اهداکنندگان و بیماران شد که با ورود آنها چرخه جدیدی شکل گیرد (مولابیگی، ۱۳۹۵).

$(k_{11} , t_{11} , k_{15} , t_{10} , k_1 , t_1 , w)$

پیوست ۲- منافع حاصل از پایداری ائتلاف‌ها

در این پیوست، منافع حاصل از پایداری ائتلاف‌ها بررسی و چند نمونه از محاسبات صورت گرفته ارایه می‌شود.

الف- تعداد پیوندها در صورت وجود ائتلاف‌ها و نبود ائتلاف‌ها

از جدول شماره ۲، مشخص است، زوج‌هایی که در آن بیمار و اهداکننده ناسازگار هستند، عبارت‌اند از:

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

زوج‌هایی که در آن بیمار و اهداکننده دارای سازگاری خونی و بافتی هستند، عبارت‌اند از:

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

به عبارتی بین ۲۰ زوج، ۱۱ زوج دارای ناسازگاری خونی بین دهنده و گیرنده هستند. اگر ائتلاف تشکیل نشود این بیماران نمی‌توانند از دهندهِ خود، کلیه دریافت کنند و اهداکنندگان آنها هم بدون استفاده خواهند ماند ازاین‌رو، تنها ۹ زوج از ۲۰ زوج به پیوند کلیه دسترسی خواهند یافت و از بین ۹ زوج تنها ۴ زوج به نام‌های زوج ۷، ۱۳، ۱۷ و ۲۰ به کلیه کارا دسترسی خواهند یافت.

www.SID.ir

Archive of SID

ب- تعداد پیوندها در صورت وجود ائتلاف‌ها

براساس الگوریتم طراحی شده در پیوست شماره ۱، چهار چرخه (چرخه‌های ایجاد شده در مرحله دوم، سوم، چهارم و ششم) و یک زنجیره (ایجاد شده در مرحله هفتم) ایجاد شده است. از چرخه‌های ایجاد شده، چرخه‌های سوم و چهارم که مبادله چهارطرفه است، شرایط پایداری را ندارند؛ به همین علت، گروه خونی‌های مشابه[1]، زوج‌های ۱۳(بیمار و دهنده او دارای گروه خونیB است) و ۱۷ (بیمار و دهنده او دارای گروه خونیB است) با هم تطبیق می‌یابند. با این فرآیند تعداد پیوندها به ۱۷ پیوند خواهد رسید که نسبت به حالت عدم ائتلاف، ۱۳ زوج به کلیه کارا دسترسی خواهند یافت.

ج- منافع تشکیل ائتلاف پایدار

۱- افزایش تعداد پیوندها از ۹ به ۱۷ پیوند.

۲- افزایش تعداد پیوندهای پایدار و کارا از ۴ به ۱۷ پیوند.

اگر پایداری در نتایج برقرار نباشد، عوامل این انگیزه را دارند که از مکانیسم خارج شوند، اما اگر پایدار باشد چون عوامل به بهترین جا تخصیص داده شدند بنابراین، انگیزه خروج از مکانیسم وجود ندارد، زیرا اگر عوامل از الگوریتم خارج شوند، به‌طور قطع سود و مطلوبیت آنها کاهش خواهد یافت؛ برای مثال، بیمار ۵ را در نظر بگیرید: در ترجیحات این بیمار به ترتیب بهترین کلیه‌ها عبارت‌اند از:۱- دهنده ۷، ۲- دهنده ۸، ۳- دهنده ۱۳، ۴- دهنده ۹، ۵- دهنده۸ و ۶- دهنده ۷. بیمار ۵ با بیمار ۷ ائتلاف تشکیل نمی‌دهد، بیمار ۷ حاضر به این کار نخواهد شد، زیرا دهنده ۵ در اولویت‌های بیمار ۷ قرار ندارد. اولویت دوم در ترجیحات بیمار، دهنده ۱۸ است که بیمار ۱۸ به‌دلیل اینکه دهنده بیمار ۵ در اولین اولویت اوست در ائتلاف شرکت خواهد کرد که بهترین ائتلاف آنهاست و پایدار هم هست، زیرا عوامل انگیزه‌ای برای تغییر آن ندارند و هر ائتلافی به غیر از این برای آنها دارای مطلوبیت کمتری است.

1- The Same Blood Group

www.SID.ir