

رقابت ایرلاین‌ها با استفاده از خوشه‌بندی بازیکنان در تئوری بازی‌ها

مقاله پژوهشی

سامان سروری قره آغاج، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، ایران
رامین صادقیان*، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، ایران
رضا توکلی مقدم، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
احمد ماکوئی، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sadeghian@pnu.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۶/۱۹- پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

صفحه ۲۱۴-۲۰۱

چکیده

با توجه به اینکه تعداد بازیکنان زیاد و ناهمگون در تئوری بازی‌ها موجب دشوار شدن تعیین نقطه تعادل می‌گردد، از این رو برای کاهش تعداد بازیکنان در رقابت و همگونی رقبا، ابتدا بازیکنان خوشه‌بندی شده و سپس از تئوری بازی در دو مرحله استفاده می‌شود. یکبار رقابت بین خوشه‌ها بررسی می‌شود تا نقطه تعادل و سهم هر خوشه در رقابت تعیین گردد. سپس رقابت درون هر خوشه بررسی می‌شود تا سهم و میزان بهره‌وری هر بازیکن تعیین گردد. در این مقاله رقابت بین ۴۷ ایرلاین در فرودگاه امام خمینی (ره) بررسی و با استفاده از آزمون‌های آماری ارزیابی می‌شود. توابع مطلوبیت در این بازی، حداقل نمودن هزینه مرتبط با اشغال استندهای جت‌وی و اپرون و حداکثر نمودن سهم هر ایرلاین از استند جت‌وی می‌باشد. به منظور اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، از آزمون فرض برابری میانگین‌ها در مشاهدات زوجی و تحلیل واریانس استفاده شده است. نتیجه P - $Value=1$ توسط آزمون تحلیل واریانس یک طرفه با $\alpha=0.05$ در نرم افزار مینی تب حاصل شد. بنابراین سهم ایرلاین‌ها از استند جت‌وی به وسیله الگوریتم پیشنهادی در تعداد خوشه ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵ و ۴۷ (حالت بدون خوشه بندی)، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. همچنین آزمون برابری میانگین‌ها در مشاهدات زوجی، برای مقایسه حالت بدون خوشه‌بندی ($k=47$) با حالات مختلف خوشه‌بندی در تعداد خوشه های ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ اجرا و نتایج P - $Value$ به ترتیب ۰/۹۶۴، ۰/۹۴۴، ۰/۹۴۷، ۰/۹۳۰ حاصل شد. این نتایج اثبات می‌نماید که تفاوت معنی‌داری در سهم ایرلاین از استند جت‌وی در حالت بدون خوشه‌بندی و استفاده از خوشه‌بندی وجود ندارد. نتایج حاکی از آن است که خوشه‌بندی بازیکنان زمانی که تعداد بازیکنان زیاد است می‌تواند بدون اینکه اختلاف چندانی در نتایج نهایی مشاهده گردد، مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: بازی‌های چند معیاره، تئوری بازی‌ها، خوشه‌بندی بازیکنان، رقابت ایرلاین‌ها

۱-مقدمه

هر بعد نمایانگر مجموعه‌ای از استراتژی‌های یک بازیکن است و مولفه‌های این ماتریس مطلوبیت کسب شده برای بازیکنان در ازای ترکیب‌های مختلف از استراتژی بازیکنان را نشان می‌دهد. اگر چند بازیکن با یکدیگر هماهنگ شوند و ائتلاف تشکیل دهند، بازی همکارانه است و اگر بازیکنان به طور کامل مقابل یکدیگر قرار بگیرند، بازی غیرهمکارانه است. اگر هر بازیکن بدون اطلاع از استراتژی انتخابی رقیب

تئوری بازی‌ها مطالعه مدل‌های ریاضی تعارض و همکاری بین تصمیم‌گیرندگان عاقل و هوشمند است و از روش‌های ریاضی به منظور تجزیه و تحلیل مواردی استفاده می‌کند که دو فرد یا بیشتر، ملزم به تصمیم‌گیری در شرایطی هستند که تصمیم هر یک از طرفین بر منافع طرف دیگر تاثیرگذار است (نویسی، کتابچی و بیدگلی، ۱۳۹۰). ساختار اصلی تئوری بازی‌ها در بیشتر تحلیل‌ها شامل ماتریسی چند بعدی است که

در محیط رقابتی مورد بررسی قرار داد. استراتژی رقبا تعداد پروازها در هر مسیر با تابع مطلوبیت حداکثر کردن سود بود (Dae Ko, 2016). هان و دیگران برای به حداکثر رساندن ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم در رقابت FBS و MBS با استراتژی تخصیص منابع (قدرت) مدل با چارچوب استکلبرگ معرفی نمودند و نتایج شبیه‌سازی اثربخشی مدل پیشنهادی را نشان داد (Han and et al, 2016). تخصیص منابع موضوع بسیار مهمی در بهینه‌سازی می‌باشد. یالونگ، هلی و کی نیز تخصیص منابع را به منظور کاهش پیچیدگی، در دو سطح برای فمتوسل‌های خدماتی مخابراتی استفاده کردند. در سطح اول منابع بلاک با استفاده از مدل تئوری بازی استکلبرگ و در سطح دوم با استفاده از بازی غیر همکارانه، توان یا قدرت تخصیص داده شده است. مدل‌های ارائه شده با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات حل شد و نتایج در مقایسه با روش‌های سنتی عملکرد بهتری نشان داد (Yalong, Heli and Ke, 2016).

ژاو و همکاران رقابت در حالت انحصاری دو نفره همراه با عدم قطعیت تقاضا در کالاهای تعویض پذیر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که چگونه قیمت‌گذاری و تصمیمات تخصیص ظرفیت شرکت‌ها به شرایط و عملکرد بازار بستگی دارد و چگونه تخفیفات، باعث رقابت شرکت‌ها و کسب سود بیشتر می‌شود (Zhao and et al, 2017). تمنایی و راستی بزرگی، مسئله رقابت در بازار حمل و نقل کالا بین طریقه‌های حمل جاده‌ای (کامیون) و ترکیبی (کامیون-قطار-کامیون) با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها را مورد بررسی قرار دادند. دو سناریو در حالت وجود سیستم‌های ریلی منعطف و غیرمنعطف مورد بررسی قرار گرفت. ساختار بازی در سناریوی اول، مبتنی بر تعادل نش است؛ در حالی که سناریوی دوم دارای ساختار بازی استکلبرگ می‌باشد. برای هر یک از سناریوها، بازار رقابت حمل و نقل کالا مدل‌سازی شده و تأثیر سیاست‌های مختلف فنی و اقتصادی مثل افزایش قیمت سوخت، کاهش هزینه‌های تخلیه و بارگیری کالا در ایستگاه‌های ریلی، کاهش ضریب هزینه‌ی سرمایه‌گذاری، استفاده از کامیون‌های مدرن بر این بازار مورد تحلیل قرار گرفته‌است (تمنایی و راستی بزرگی، ۱۳۹۷). سوزا، ویگانگ و گارسیا، از رویکرد تطبیق بازی‌های دو طرفه پایدار به منظور تصمیم‌گیری همکارانه تخصیص

در مورد استراتژی خود تصمیم‌گیری کنند، بازی ایستاست. در صورتی که ابتدا یکی از بازیکنان استراتژی خود را انتخاب کند و سپس بازیکن دیگر با آگاهی از استراتژی آن بازیکن، استراتژی خود را انتخاب کند، بازی از نوع پویا است. اگر تمام اطلاعات مورد نیاز بازی در اختیار تمام بازیکنان باشد، بازی با اطلاعات کامل است در غیر این صورت با اطلاعات ناقص است. با آغاز به کار بازار حمل و نقل هوایی، شرکت‌های هواپیمایی خدمت‌رسانی به مشتریان را در مسیرهای مختلف شروع کردند. افزایش جابجایی مسافران منجر به مشکلاتی از جمله تراکم رفت و آمدها شد که با این روند رشد، مقاومت‌هایی ناشی از عوامل محدود کننده که بعضی از آن‌ها به نحوه توسعه در گذشته و برخی به چالش‌های جدید جهانی مربوط می‌باشد بر سر راه حمل و نقل هوایی قرار گرفت. در این میان رقابت بین ایرلاین‌ها و نحوه فعالیت آن‌ها بسیار مهم می‌باشد. از طرفی ایرلاین‌ها نقش مهمی را در کاهش قیمت‌ها و جذب مسافران بیش‌تر به سوی حمل و نقل هوایی بازی کردند. شرکت‌های هواپیمایی باید به دنبال راهکارهایی باشند که توسط آن‌ها تسهیلاتی برای جلب رضایت مشتری در نظر بگیرند. زیتو و همکاران بررسی نمودند که چگونه ایرلاین‌ها در محیط رقابتی براساس نرخ کرایه و توالی سرویس دهی تصمیم‌گیری می‌کنند. مدل آن‌ها با تابع مطلوبیت حداکثر نمودن سود و به صورت غیر همکاری برای یافتن نقطه تعادل بررسی گردید (Zitoa, Salvoa and Fran, 2011). گرابرگر و کیمس در یک مدل تئوری بازی با تابع مطلوبیت حداکثر سود و محدودیت‌های ظرفیت نشان دادند نقطه تعادل بازی همکاری موجب بهبود بازده شبکه می‌شود (Grauberger and Kimmis, 2014). ایوانس و اسچافر با استفاده از شبیه‌سازی، نقطه تعادل نش بین رقبا را یافتند؛ بدین‌صورت که هر بازیکن سود خودش را با تلاش برای به‌دست آوردن سهم بازار افزایش می‌دهد (Evans and Schafer, 2014). سنگپو رقابت در قیمت‌گذاری را بررسی نمود. یافته‌ها چنین نشان می‌دهد که استفاده از مدل تئوری بازی پیشنهادی، برای رسیدن به حداکثر سود، می‌تواند به رضایت همه رقبا منجر شود (Sengpoh, 2015). دیاکو استراتژی‌های مدیریت سه نوع از ایرلاین‌ها (کم هزینه، خدمات کامل و خدمات فرعی با هزینه کمتر) را براساس نظریه بازی‌ها و

معیارهای تشابه، معیارهای عدم تشابه یا فاصله (مثلا فاصله اقلیدسی) برای این منظور به کار می‌روند تا شباهت یا فاصله دو شی (نقطه) یا دو خوشه را به صورت کمی اندازه‌گیری کنند (مومنی، ۱۳۹۵).

به طور کلی روش‌های خوشه‌بندی به دو دسته قطعی و فازی تقسیم می‌شود. روش‌های قطعی به دو نوع تفکیکی و سلسله مراتبی تقسیم می‌شوند. در خوشه‌بندی قطعی هر شی تنها در یک خوشه قرار می‌گیرد. در خوشه‌بندی فازی هر شی با یک درجه عضویتی در خوشه مشخصی قرار می‌گیرد. هر قدر درجه‌ی عضویت بیشتر باشد، تعلق آن شی به آن خوشه بیشتر خواهد بود. خوشه‌بندی تفکیکی در مسائل بزرگ کارا است مانند روش K -means. منظور از مسائل بزرگ، مسائلی است که یا تعداد اشیا زیاد است، یا تعداد شاخص‌ها، و یا هر دو. به روش‌های تفکیکی، «روش‌های مرکز گر» و «غیرسلسله مراتبی» نیز گفته می‌شود. در این روش‌ها تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص است. از شاخص RS (R-squared Index) که حاصل از تقسیم SS_B (Sum of Squares Between groups) بر SS_T (Total Sum of Squares) است برای اعتبار سنجی خوشه‌بندی استفاده می‌شود. به این شاخص، ضریب تعیین یا ضریب تشخیص (Coefficient of Determination) نیز می‌گویند. دامنه مقادیر RS بین ۰ و ۱ است. هر چقدر این نسبت به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر آن است که پراکندگی داده‌های داخل یک خوشه کم و فاصله بین خوشه‌ها زیاد است. هر چقدر RS بیشتر باشد، بیانگر اعتبار بیشتر خوشه‌بندی است (Sharma, 1996. Halkidi, 2002). هدف از این تحقیق، بررسی این موضوع است که آیا خوشه‌بندی ایرلاین‌ها می‌تواند در مقدار مطلوبیت کسب شده توسط هر ایرلاین و نتایج تئوری بازی موثر باشد یا خیر.

الگوریتم پیشنهادی

به منظور استفاده از خوشه‌بندی بازیکنان با تعداد زیاد در تئوری بازی‌ها گام‌های زیر پیشنهاد می‌شود:

گام اول: انتخاب معیارهای خوشه بندی بازیکنان مطابق با مساله

گام دوم: استفاده از خوشه بندی K -means در تعداد خوشه‌های متفاوت. در روش K -means تعداد خوشه‌ها از

اسلات‌ها در فرودگاه استفاده کرده است. الگوریتم TTC-CDM (Top Trading Cycle Collaborative-) برای کاهش تأخیر در سطح فرودگاه توسعه داده شده است. برای ارزیابی مدل پیشنهادی، با مدل‌های موجود مثل الگوریتم فشرده سازی متعارف (Conventiual Compression) (Algorithm Trade Deferred) و الگوریتم DA-CDM (Acceptance CDM) مقایسه شد. مطالعه موردی نشان می‌دهد که الگوریتم TTC-CDM، مزایای بیشتری برای مدیران فرودگاه در ایرلاین‌ها در پروسه تصمیم‌گیری و کنترل ترافیک هوایی ارائه می‌دهد (Souza, Weigang and Garcia, 2018). با توجه به اینکه در روش‌های تئوری بازی، بازیکنان ناهمگون با تعداد زیاد ممکن است موجب دشوار شدن و افزایش زمان تعیین نقطه تعادل شود، از این رو در این تحقیق ایده خوشه‌بندی بازیکنان مطرح می‌شود. ناهمگون به این معناست که تمایز بین ویژگی‌ها و سطح بازیکنان بسیار است. تحلیل خوشه‌ای از مهم‌ترین روش‌های طبقه‌بندی به شمار می‌آید. در تحلیل خوشه‌ای تلاش می‌شود تا مشاهدات واقع در هر خوشه بیشترین تشابه را از نظر متغیرهای مورد نظر با هم داشته باشند و مشاهدات هر گروه از مشاهدات گروه‌های دیگر بیشترین فاصله را داشته باشند (Sharma, 1996). تحلیل خوشه‌ای را نه تنها می‌توان برای شناسایی ساختاری که در داده‌ها وجود دارد به کار گرفت، بلکه می‌توان از آن برای تحلیل یک ساختار بر مجموعه داده‌های ناهمگون که ناچاریم آن‌ها را به صورت مناسبی تفکیک کنیم، بهره‌برداری کرد. خوشه‌بندی در بسیاری از علوم کاربرد دارد. خوشه‌بندی هدف پایانی نیست بلکه آغازی بر کارهای دیگر است. برای نمونه در بازاریابی، ابتدا مشتریان براساس شاخص‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. سپس رفتار هر طبقه را شناسایی و برای خدمت مناسب‌تر و تخصصی‌تر به هر طبقه برنامه‌ریزی می‌شود (Romesburg, 1984). شاخص‌ها در خوشه‌بندی عبارتند از متغیرهای کمی یا کیفی که براساس آن‌ها اشیا طبقه‌بندی می‌شوند. در ادبیات خوشه‌بندی به جای شاخص، متغیر و ویژگی نیز گفته می‌شود. در ماتریس داده‌ها هر سطر را یک شی و هر ستون را یک شاخص در نظر می‌گیریم. در تحلیل خوشه‌ای

$$\begin{cases} s. t: \varphi_i(X, \lambda_i) = \nabla_i f_i(x) + \sum_i \lambda_i \cdot \nabla_i g_i(x_i) = 1 \\ g_i(x_i) \geq 0 \\ \lambda_i \geq 0 \\ \rightarrow i = 1, 2, \dots, N \\ X \in x \end{cases}$$

عناصر بردار λ_i به تعداد محدودیت‌های موجود از بازی کننده i ام است. تابع هدف از مدل (۱) در بهینگی می‌بایست برابر صفر شود و \bar{X} حاصل از مدل شرایط نقطه تعادل تک معیاره را نشان می‌دهد. شرایط لازم KKT نیز شرط کافی برای بهینگی خواهد بود، زیرا مدل (۱) براساس مفروضات قید شده یک برنامه‌ریزی محدب است (اصغرپور، ۱۳۸۲). نتایج حاصل از مدل (۱) به ازای همه توابع مطلوبیت، نقطه ایده‌آل چند معیاره را نشان می‌دهد.

گام پنجم: استفاده از مدل ریاضی تئوری بازی چند معیاره تئوری بازی در رقابت بین خوشه‌ها به منظور تعیین سهم با توجه به نقطه ایده‌آل به دست آمده در گام چهارم:

یو راه حل سازشکارانه برای بازی های N نفره چند معیاره را پیشنهاد داد. مدل ریاضی برای یک بازی چند معیاره به گونه زیر فرموله می‌شود: u_{il} مطلوبیت بازیکن i ام در تابع مطلوبیت i ام است. u_{il}^* نشان دهنده مطلوبیت بازیکن i ام برای تابع مطلوبیت i ام در نقطه ایده‌آل می‌باشد. $|u_{il}^* - u_{il}|$ نشان دهنده فرصت از دست رفته برای بازی کننده i ام در تابع مطلوبیت i ام است (YU, 1973).

$$\min: D_p = \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^h |u_{il}^* - u_{il}|^p \right\}^{1/p}$$

گام ششم: تکرار گام چهارم برای رقابت درون خوشه‌ها گام هفتم: تکرار گام پنجم با استفاده از نقطه ایده‌آل محاسبه شده در گام ششم و تعیین سهم هر بازیکن در رقابت درون خوشه‌ها در این تحقیق نوع بازی، نرمال، همزمان یا ایستا، غیر همکارانه و غیر تصادفی با استراتژی خالص و اطلاعات کامل است. با توجه به خصلت مساله، بازی یک بار در ابتدای دوره برنامه‌ریزی، مستقل از بازی‌های قبل انجام می‌شود و تعداد بازیکنان، استراتژی‌ها (متغیرهای تصمیم) و تابع مطلوبیت بازیکنان در ابتدای بازی معلوم و در طول بازی ثابت است. بنابراین بازی با اطلاعات کامل و غیر تکاملی است. همچنین بازی نامتقارن است زیرا براساس دریافت یکسان بازیکنان از منبع، مطلوبیت متفاوت وجود دارد. خواص این الگوریتم زمانی که تعداد بازیکنان زیاد و ناهمگون باشد بیشتر خود نمایی می‌کند.

قبل مشخص است. هدف آن است که مشخص کنیم هر بازیکن با توجه به معیارهای خوشه‌بندی به کدام خوشه اختصاص می‌یابد. روش K -means، از روش‌های تفکیکی و کاربردی‌ترین روش خوشه‌بندی داده‌ها است. در این روش، ابتدا اشیاء به صورت تصادفی به k خوشه تقسیم می‌شوند. سپس فاصله هر یک از اشیاء از مرکز خوشه خود محاسبه می‌شود. در صورتی که فاصله شی مورد نظر از میانگین خوشه خود زیاد و به میانگین خوشه دیگر نزدیک‌تر باشد، این شی به خوشه‌ای که نزدیک‌تر است اختصاص می‌یابد. این کار آن قدر تکرار می‌شود تا اعضای خوشه‌ها تغییر نیابد. این گام در تعداد خوشه‌های متفاوت انجام می‌گیرد تا در گام سوم تعداد خوشه مناسب برای انجام رقابت بین بازیکنان انتخاب گردد.

گام سوم: انتخاب تعداد خوشه مناسب برای انجام رقابت براساس معیارهای ارزیابی

برای تعیین تعداد خوشه، براساس هدف اصلی از خوشه‌بندی در این مساله که کاهش تعداد بازیکنان است، از سه شاخص زیر استفاده می‌شود: بیشترین تعداد بازیکنان حداقل باشد، درصد خوشه‌های تک عضوی حداقل باشد و نقاط تغییر شیب در نمودار RS.

گام چهارم: استفاده از مدل ریاضی تئوری بازی در رقابت بین خوشه‌ها به منظور تعیین سهم هر خوشه با هر تابع مطلوبیت (معیار) به طور جداگانه، به منظور یافتن نقطه ایده‌آل چند معیاره:

در این گام لازم است با استفاده از یک مدل ریاضی تئوری بازی چند نفره که بر پایه شرایط KKT (Karush-Kuhn-Tucker) می‌باشد، مقدار نقطه تعادل برای هر تابع مطلوبیت محاسبه گردد تا نقطه ایده‌آل چند معیاره به دست آید. توابع مطلوبیت به ازای هر بازیکن (f_i) و محدودیت‌های (g_i) نسبت به x_i مشتق پذیر است. بنابراین به منظور دسترسی به نقطه تعادل NASH از تعمیم شرایط KKT (کوهن تاگر) به ازای x_i و λ_i نامعلوم، بهینه‌سازی تک معیاره زیر مورد توجه است:

$$\text{مدل (۱)} \quad \min: \sum_{i=1}^N \lambda_i^t g_i(x_i)$$

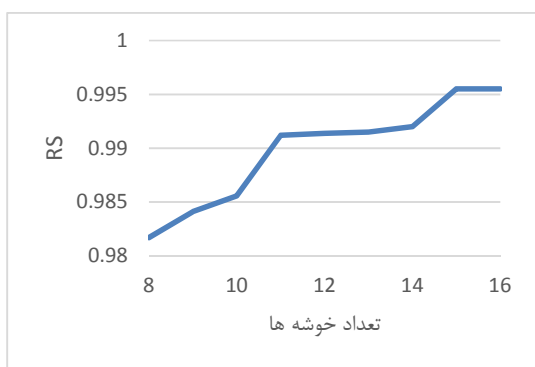
۲-پیشینه تحقیق

به منظور بررسی الگوریتم پیشنهادی، مساله رقابت ایرلاین‌ها در تخصیص منابع فرودگاه امام خمینی (ره) بررسی گردید. انتظار می‌رود ترافیک هوایی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ دو برابر شود و فرودگاه‌ها به گلوگاه مهم ترافیک هوایی تبدیل شوند (Guépet and et al, 2015). در فرودگاه محل پارک هواپیما را استند می‌نامند. استندها یا در اپرون هستند و یا در مجاورت و متصل به ترمینال هستند، که استند متصل یا جت‌وی گویند (Leonard and bekker, 2011). اپرون محدوده‌ای در محوطه فرودگاه که هواپیما می‌تواند در آن پارک شود. در برخی موارد نیز از آن به‌عنوان پارکینگ در فضای باز، گیت مجازی یا پارکینگ دور یاد می‌شود (Guépet and et al, 2015). در اروپا و بعضی از فرودگاه‌های آسیا، فرودگاه‌ها مسئول برنامه‌ریزی استند هستند (Tang and wang, 2013). از آنجایی که تعداد استندهای جت‌وی در فرودگاه و زمان استفاده از آنها محدود است، مواجه شدن با استندهای مسدود، موجب قطع ارتباطات مسافران انتقالی، هدر رفت سوخت و آلودگی محیط، تاخیر خدمه و پرواز و افزایش هزینه‌ها می‌شود که تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملیات روزانه فرودگاه و ایرلاین‌ها دارد و این انگیزه مناسبی برای رقابت ایرلاین‌ها در کسب استند جت‌وی در فرودگاه است (Dell'Orco and et al, 2017). Castaing and Mukherjee, 2016. استفاده از استند جت‌وی باعث کوتاهی زمان و مسیر پیاده‌روی مسافران می‌شود و معمولاً تمایل به استفاده از استند اپرون وجود ندارد (Dell'Orco and et al, 2017). ذینفعان ترافیک هوایی، فرودگاه‌ها، ایرلاین‌ها و خدمت دهندگان ناوبری هستند (Knabe and Schultz, 2016).

از آن جایی که منافع هر ایرلاین در کسب منابع فرودگاه، مستقل از تصمیم (استراتژی) سایر ایرلاین‌ها نیست، بنابراین از تئوری بازی‌ها در بررسی رقابت بین ایرلاین‌ها استفاده می‌شود. در این تحقیق، تمرکز بر رقابت ایرلاین‌ها در کسب استند جت‌وی در فرودگاه امام خمینی است که فرودگاه وظیفه برنامه‌ریزی را بر عهده دارد و منافع ایرلاین‌ها را نیز در نظر می‌گیرد. در فرودگاه امام خمینی حدود ۴۷ ایرلاین با هم رقابت دارند. در رقابت ایرلاین‌ها در فرودگاه امام خمینی با یک بازی ۴۷ نفره مواجه هستیم. با توجه به اینکه در نظر

گرفتن یک بازی ۴۷ نفره ممکن است دچار دشواری‌هایی باشد، با استفاده از خوشه‌بندی ایرلاین‌ها، در واقع تعداد بازیکنانی که در هر مرحله درگیر رقابت می‌شوند کاهش می‌یابد. بنابراین ایده اصلی این تحقیق استفاده از ابزار خوشه بندی در تئوری بازی‌ها برای حالتی است که تعداد بازیکنان زیاد و ناهمگون باشد.

گام اول: معیار خوشه‌بندی ایرلاین‌ها، تعداد پروازها و تعداد مسیرهای پروازی از فرودگاه مورد نظر در واحد زمان می‌باشد. گام دوم: در این گام از نرم‌افزار مینی‌تب به منظور خوشه‌بندی K -Means در تعداد خوشه‌های ۸ تا ۱۶ استفاده می‌شود. گام سوم: معیار اعتبار خوشه‌بندی RS (R -Squared index) می‌باشد. معیارهای خوشه‌بندی می‌تواند در همگن نمودن بازیکنان درون خوشه نقش مهمی داشته باشد. برای تعیین تعداد خوشه، از سه شاخص زیر استفاده کرده‌ایم: بیشترین تعداد بازیکنان حداقل شود، درصد خوشه‌های تک عضوی حداقل شود و نقاط شکست در نمودار RS براساس نتایج شاخص‌ها در جدول (۱) و شکل (۱)، تعداد خوشه‌ها، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ انتخاب شد. توسط معیار حداقل حداکثر تعداد بازیکنان $k=12$ ، توسط معیار حداقل درصد خوشه‌های تک عضوی $k=13$ و توسط نقاط تغییر شیب در نمودار RS : $k=11$ ، $k=15$ انتخاب شد (حداکثر تعداد بازیکنان ۱۵ در نظر گرفته شده. یعنی حداکثر تعداد اعضای درون خوشه و تعداد خوشه‌ها، ۱۵ می‌باشد). نتایج خوشه‌بندی به ازای تعداد خوشه‌های متفاوت در جدول (۲) آمده است. اعداد داخل این جدول شماره خوشه‌ای است که ایرلاین به آن تعلق دارد. مثلاً ایرلاین TBZ به ازای تمام k ها در خوشه شماره ۱ قرار می‌گیرد.



شکل ۱. نمودار تغییرات RS در تعداد خوشه‌های ۸ تا ۱۶

مدل به منظور رقابت بین خوشه‌ها استفاده گردد، منظور از بازیکن i ام، خوشه i ام است و اگر مدل به منظور رقابت درون خوشه‌ها استفاده گردد، منظور از بازیکن i ام، ایرلاین نام می‌باشد.

گام چهارم: در این گام دو مدل تئوری بازی تک معیاره به طور جداگانه با توابع مطلوبیت حداقل نمودن هزینه استند و حداکثر نمودن تعداد پروازهای متعلق به استند جت‌وی برای ایرلاین‌ها، به منظور رقابت بین خوشه‌ها معرفی و نقطه تعادل ایده‌آل چند معیاره تعیین می‌شود. در تعاریف زیر اگر

جدول ۱. معیارها برای انتخاب تعداد خوشه

تعداد خوشه	RS	حداکثر بازیکنان	درصد خوشه‌های تک‌عضوی
۷	-	۲۷	۰/۴۲۸
۸	۰/۹۸۱۷	۱۷	۰/۳۷۵
۹	۰/۹۸۴۱	۱۷	۰/۳۳۳
۱۰	۰/۹۸۵۶	۱۴	۰/۳
۱۱	۰/۹۹۱۲	۱۴	۰/۲۷۲
۱۲	۰/۹۹۱۴	۱۲	۰/۲۵
۱۳	۰/۹۹۱۵	۱۳	۰/۲۳
۱۴	۰/۹۹۲	۱۴	۰/۳۵۷
۱۵	۰/۹۹۵۵	۱۵	۰/۳۳۳
۱۶	۰/۹۹۵۵	۱۶	۰/۳۱۲

جدول ۲. نتایج خوشه‌بندی ایرلاین‌ها در تعداد مختلف خوشه

نام ایرلاین	$K=12$	$K=15$	$K=11$	$K=13$	نام ایرلاین	$K=12$	$K=15$	$K=11$	$K=13$
TBZ	۱	۱	۱	۱	TBN	۴	۴	۴	۴
IRA	۶	۲	۶	۶	KAC	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰
TAX	۳	۳	۳	۳	ABY	۸	۸	۸	۸
IRC	۱	۱	۱	۱	FDB	۱۲	۱۲	۷	۱۲
UAE	۵	۵	۵	۵	AUA	۱۰	۱۳	۱۰	۱۳
IAW	۱۱	۶	۱۱	۱۱	TJK	۱۲	۱۲	۷	۱۲
SYR	۷	۷	۷	۷	CSN	۳	۳	۳	۳
AHY	۸	۸	۸	۸	AFR	۱۲	۱۲	۷	۱۲
DLH	۹	۹	۹	۹	AZQ	۷	۷	۷	۷
KIM	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰	AEE	۳	۳	۳	۳
THY	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	KZR	۱۲	۱۲	۷	۱۲
BRU	۱۲	۱۲	۷	۱۲	GMI	۷	۷	۷	۷
AZA	۱۰	۱۳	۱۰	۱۳	UZB	۱۲	۱۲	۷	۱۲
IRM	۲	۱۴	۲	۲	ETD	۸	۸	۸	۸
OMA	۸	۸	۸	۸	SAW	۱۲	۱۲	۷	۱۲
AFL	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	KIS	۸	۸	۸	۸
QTR	۵	۱۵	۵	۵	AZQ	۷	۷	۷	۷
PGT	۱۰	۱۳	۱۰	۱۳	IZG	۵	۱۵	۵	۵

KKK	۹	۹	۹	۹	WLB	۷	۷	۷	۷
AUI	۱۰	۱۳	۱۰	۱۳	THA	۳	۳	۳	۳
QSM	۱۱	۱	۱۱	۱۱	NGT	۷	۷	۷	۷
CPN	۵	۵	۵	۵	HRV	۱۰	۱۳	۱۰	۱۳
MRJ	۱	۱۵	۱	۱	MHK	۱۲	۱۲	۷	۱۲
BAW	۱۰	۱۳	۱۰	۱۳					

متغیر و پارامترها

x_i : متغیر تعداد استند جت‌وی تخصیص داده شده به بازیکن

i ام

m : تعداد بازیکنان که با اندیس i نشان داده می‌شوند.

NJ : تعداد کل ظرفیت در دسترس از استند جت‌وی در دوره

زمانی مورد نظر که در گام‌های ششم و هفتم (رقابت درون خوشه) برابر با سهم خوشه می‌باشد که از نقطه تعادل گام پنجم حاصل شده است.

NE : تعداد کل ظرفیت در دسترس از استند اپرون در دوره

زمانی مورد نظر که در گام‌های ششم و هفتم (رقابت درون خوشه) برابر با سهم خوشه می‌باشد که از نقطه تعادل گام پنجم حاصل شده است.

d_i : حداقل تعداد استند جت‌وی که به بازیکن i ام اختصاص می‌یابند.

no_i : مجموع تعداد پرواز ایرلاین‌های متعلق به خوشه i ام در گام‌های چهارم و پنجم (تعداد پرواز بازیکن ایرلاین i ام در گام‌های ششم و هفتم)

c_{1i} : متوسط هزینه استند جت‌وی برای مجموعه ایرلاین‌های متعلق به خوشه i ام در گام‌های چهارم و پنجم (هزینه استند جت‌وی برای ایرلاین i ام در گام‌های ششم و هفتم)

c_{2i} : متوسط هزینه استند اپرون برای مجموعه ایرلاین‌های متعلق به خوشه i ام در گام‌های چهارم و پنجم (هزینه استند اپرون برای ایرلاین i ام در گام‌های ششم و هفتم)

f_{1i} : تابع مطلوبیت هزینه استند برای بازیکن i ام

f_{2i} : تابع مطلوبیت تعداد پروازهای متعلق به استند جت‌وی برای بازیکن i ام

u_{1i} : مقدار مطلوبیت هزینه استند برای بازیکن i ام

u_{2i} : تعداد پروازهای متعلق به استند جت‌وی برای بازیکن i ام

λ_{1i} و λ_{2i} و λ_3 : متغیرهای کوهن تاگر برای حل مساله KKT

Z_1 : تابع هدف از تعمیم KKT برای مطلوبیت حداقل کردن

هزینه استند برای بازیکنان رقیب

Z_2 : تابع هدف از تعمیم KKT برای مطلوبیت حداکثر

نمودن تعداد پروازهای متعلق به استند جت‌وی

Z^* : تابع مطلوبیت روش یو برای مدل بازی چند معیاره

مفروضات

نوع بازی، نرمال، همزمان یا ایستا، غیرهمکارانه و غیرتصادفی با استراتژی خالص و اطلاعات کامل است.

فرودگاه شرایط و امکانات بازی را فراهم می‌کند و فرودگاه بازیکن نیست.

با توجه به خصلت مساله، بازی یک بار در ابتدای دوره برنامه‌ریزی مثلا ماهیانه، مستقل از بازی‌های قبل انجام می‌شود در صورت اضافه یا حذف ایرلاین از رقابت، بازی مجدداً تکرار می‌شود که این موضوع به ندرت در فرودگاهها اتفاق می‌افتند.

تعداد بازیکنان، استراتژی‌ها (متغیرهای تصمیم) و تابع مطلوبیت بازیکنان در ابتدای بازی معلوم و در طول بازی ثابت است.

بازی با اطلاعات کامل و غیر تکاملی است.

بازی نامتقارن است زیرا براساس دریافت یکسان بازیکنان از منبع، مطلوبیت متفاوت برای بازیکنان وجود دارد.

برای استفاده از روش چندمعیاره یو از P با مقدار ۲ استفاده شده است زیرا تمرکز بر مطلوبیت گروهی بازیکنان است.

مدل این مرحله دارای توابع مطلوبیت و محدودیتهای خطی بوده بنابراین مشتق پذیر و محدب است و شرایط KKT را داراست.

مدل ریاضی برای تابع مطلوبیت هزینه به شکل زیر است:

$$f_{1i}^{min} = c_{1i} x_i + c_{2i}(no_i - x_i) \quad (1)$$

st:

$$d_i \leq x_i \quad \forall i \quad (2)$$

مدل نهایی از تعمیم شرایط KKT به منظور محاسبه نقطه تعادل برای مطلوبیت تعداد پروازهای تخصیص داده شده از هر خوشه به استند جت‌وی به شرح ذیل است:

$$\text{Min } z_2 = \sum_{i=1}^m ((\lambda_3 - \lambda_4 - a_i)x_i - (\lambda_3 - \lambda_4 - a_i + \lambda_{2i})d_i + \lambda_{2i}no_i) + \lambda_3(N - \sum_{i=1}^m x_i) + \lambda_4(NE - \sum_{i=1}^m no_i + \sum_{i=1}^m x_i) \quad (13)$$

st: 2,3,4,5,6,9,10,11

$$\lambda_3 - 1 + \lambda_{2i} \geq 0 \quad \forall i \quad (14)$$

رابطه (۱۲)، سهم هر ایرلاین از استند جت‌وی را بر اساس ضریب اهمیت حداکثر می‌نماید.

گام پنجم: استفاده از مدل ریاضی تئوری بازی چند معیاره به ازای $p=2$ با توجه به نقطه ایده‌آل به دست آمده در گام چهارم به شکل زیر است:

$$\text{Min } z^* = \sum_{i=1}^m [(\frac{u_{1i}^* - u_{1i}}{u_{1i}^*})^2 - (\frac{u_{2i}^* - u_{2i}}{u_{2i}^*})^2]^{1/2} \quad (15)$$

s.t.: Constraints (2)-(6)

$$u_{1i} = cc_{1i}x_i - cc_{2i}(no_i - y_i) \quad \forall i \quad (16)$$

$$u_{2i} = a_i x_i \quad \forall i \quad (17)$$

گام ششم: پس از تعیین سهم هر خوشه از استند جت‌وی، گام چهارم برای رقابت درون خوشه‌ها (ایرلاین‌ها) تکرار و نقطه ایده‌آل چند معیاره برای رقابت درون خوشه‌ها تعیین می‌شود.

گام هفتم: گام پنجم با استفاده از نقطه ایده‌آل محاسبه شده در در گام ششم تکرار و سهم هر ایرلاین در رقابت استندهای جت‌وی تعیین می‌شود.

ایرلاین‌ها به ازای وقوع نقطه تعادل با یکدیگر هم عقیده بوده و به عقیده یکدیگر احترام می‌گذارند. بازی ایرلاین‌ها برای یک دوره مشخص مبنای کار فرودگاه قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی در جدول (۳) نشان داده شده است. اعداد داخل این جدول نشان دهنده سهم هر ایرلاین از استند جت‌وی در تعداد مختلف خوشه می‌باشد. برای سناریوی بدون خوشه بندی ($k=47$) از قدم‌های ششم و هفتم الگوریتم استفاده نمی‌شود.

$$x_i \leq no_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_i \leq NJ \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m no_i - \sum_{i=1}^m x_i \leq NE \quad (5)$$

$$x_i: INT \quad (6)$$

رابطه (۱) تابع مطلوبیت هزینه استند برای هر ایرلاین است که شامل هزینه‌های استند اپرون و استند جت‌وی است. رابطه (۲) محدودیت حداقل میزان سهم هر ایرلاین از استند جت‌وی است. رابطه (۳) محدودیتی است که نشان می‌دهد حداکثر سهم هر ایرلاین از استند جت‌وی می‌تواند به تعداد پروازهای ایرلاین باشد. رابطه (۴) محدودیتی است که بیان می‌کند مجموع سهم ایرلاین‌ها از استند جت‌وی نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت در دسترس از استند جت‌وی در دوره زمانی مورد نظر باشد. رابطه (۵) بیان می‌کند تعداد پروازهای تخصیص داده شده به استند اپرون باید کمتر از ظرفیت استندهای اپرون باشد. رابطه (۶) نوع متغیر را عدد صحیح معرفی می‌کند. مدل نهایی از تعمیم شرایط KKT به منظور محاسبه نقطه تعادل برای مطلوبیت هزینه خوشه‌ها به شرح ذیل است:

$$\text{Min } z_1 = \sum_{i=1}^m ((c_{1i} - c_{2i} + \lambda_3 - \lambda_4)x_i - (c_{1i} - c_{2i} + \lambda_3 - \lambda_4 + \lambda_{2i})d_i + \lambda_{2i}no_i) + \lambda_3(N - \sum_{i=1}^m x_i) + \lambda_4(NE - \sum_{i=1}^m no_i + \sum_{i=1}^m x_i) \quad (7)$$

s.t.: Constraints (2)-(6)

$$c_{1i} - c_{2i} + \lambda_3 + \lambda_{2i} \geq 0 \quad \forall i \quad (8)$$

$$\lambda_{2i} \geq 0 \quad \forall i \quad (9)$$

$$\lambda_3 \geq 0 \quad (10)$$

$$\lambda_4 \geq 0 \quad (11)$$

مدل ریاضی برای تابع مطلوبیت تعداد پروازهای متعلق به استند جت‌وی (معیار دوم) به شکل زیر است:

$$f_{2i}^{max} = a_i x_i \quad (12)$$

s.t.: Constraints (2)-(6)

جدول ۳. نتایج حاصل از الگوریتم (سهام هر ایرلاین در رقابت) به ازای تعداد خوشه‌های متفاوت

نام ایرلاین	K=۴۷	K=۱۱	K=۱۲	K=۱۳	K=۱۵	نام ایرلاین	K=۴۷	K=۱۱	K=۱۲	K=۱۳	K=۱۵
TBZ	۱۴	۷۸	۷۸	۷۸	۱۴۶	TBN	۷۶	۱۱	۹۲	۹۲	۷۶
IRA	۳۵۸	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	KAC	۱	۱۷	۱۷	۱	۱
TAX	۱	۱	۱۴	۱۴	۱۴	ABY	۳	۳	۳	۳	۳
IRC	۱۲۵	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۲	FDB	۱	۹	۹	۹	۹
UAE	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	AUA	۳	۳۰	۳	۳	۳
IAW	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	TJK	۱	۹	۹	۹	۹
SYR	۱	۴	۱	۱	۱	CSN	۲	۳	۲۱	۲۱	۲۱
AHY	۴	۴	۴	۴	۴	AFR	۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱
DLH	۳۸	۴	۴	۴	۴	AZQ	۱	۶	۱	۱	۱
KIM	۱	۱۷	۱۷	۱	۱	AEE	۱	۱	۱۵	۱۵	۱۵
THY	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	KZR	۱	۹	۹	۹	۹
BRU	۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	GMI	۱	۴	۱	۱	۱
AZA	۳	۳۰	۱۱	۳	۳	UZB	۱	۹	۹	۹	۹
IRM	۴۳۳	۴۳۳	۴۳۳	۴۳۳	۴۳۳	ETD	۴	۴	۴	۴	۴
OMA	۴	۶	۶	۶	۶	SAW	۱	۹	۹	۹	۹
AFL	۲	۲۱	۲۱	۳	۳	KIS	۷	۷	۷	۷	۷
QTR	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۹	AZQ	۱	۲	۱	۱	۱
PGT	۲	۹	۲۸	۳	۳	IZG	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
KKK	۲۵	۳	۳	۳	۱	WLB	۱	۲	۱	۱	۱
AUI	۲	۲۴	۲	۲	۲	THA	۱	۱	۱	۱	۱
QSM	۶۹	۱۹	۱۹	۱۰۱	۱۸۴	NGT	۱	۶	۱	۱	۱
CPN	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	HRV	۲	۲۶	۲	۲	۲
MRJ	۱۱	۱۰۷	۱۰۷	۱۰۷	۳۰	MHK	۱	۹	۹	۹	۹
BAW	۳	۳۰	۳	۳	۳						

۳- بحث و تحلیل نتایج

در جدول (۲) نتایج خوشه‌بندی ایرلاین‌ها در تعداد مختلف خوشه و در جدول (۳) نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است. اعداد داخل جدول (۲) شماره خوشه و اعداد داخل جدول (۳)، سهم هر ایرلاین از استند جت وی در تعداد مختلف خوشه را نشان می‌دهد. برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، نیاز است نتایج آن در تعداد خوشه‌های متفاوت با نتایج مدل تئوری بازی در حالت بدون خوشه‌بندی ($K=۴۷$) مقایسه شود. به این منظور از آزمون فرض برابری میانگین‌ها در مشاهدات زوجی و تحلیل واریانس استفاده می‌شود. اگر بخواهیم فرض برابری میانگین بیش از دو

جامعه را آزمون کنیم و یا به عبارتی بررسی کنیم که آیا تفاوت بین میانگین‌های چند جامعه وجود دارد یا خیر، از روش تحلیل واریانس استفاده می‌کنیم. برای مطالعه بیشتر تحلیل واریانس می‌توان به کتاب شارما (Sharma, 1996) مراجعه شود.

فرض صفر: سهم ایرلاین‌ها از استند جت وی به وسیله الگوریتم پیشنهادی در تعداد خوشه ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵ و ۴۷، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

فرض یک: بر خلاف فرض صفر است.

برای این آزمون از تحلیل واریانس یک طرفه با $\alpha=0.05$ در نرم افزار مینی تب استفاده شد. مقدار $F\text{-Value}=0$ و

نتایج Z و P-Value حاصل از آزمون فرض برابری میانگین‌ها در مشاهدات زوجی که در جدول (۴) آمده است اثبات می‌نماید که تفاوت معنی‌داری در سهم ایرلاین از استند جت‌وی در حالت بدون خوشه‌بندی و استفاده از خوشه‌بندی وجود ندارد.

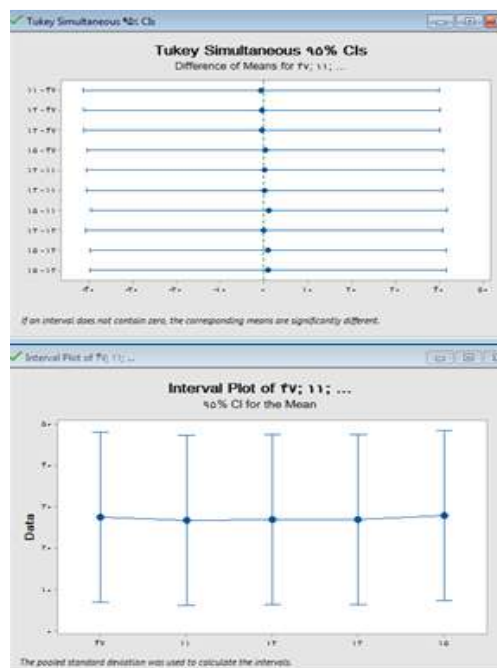
جدول ۴: نتایج آزمون فرض برابری میانگین‌ها در مشاهدات

Test of $\mu = 0$ vs $\neq 0$	N	SE Mean	95% CI	Z	P-Value
۱۱-۴۷	۴۷	۷/۸۰	(-۱۴/۶۱; ۱۵/۹۷)	۰/۰۹	۰/۹۳۰
۱۲-۴۷	۴۷	۷/۶۲	(-۱۴/۴۳; ۱۵/۴۵)	۰/۰۷	۰/۹۴۷
۱۳-۴۷	۴۷	۷/۵۳	(-۱۴/۲۳; ۱۵/۲۹)	۰/۰۷	۰/۹۴۴
۱۵-۴۷	۴۷	۸/۰۲	(۱۶/-۰۸; ۱۵/۳۵)	-۰/۰۵	۰/۹۶۴

۵- نتیجه‌گیری

یافتن نقطه تعادل در حل مدل تئوری بازی با بازیکنان ناهمگون و تعداد زیاد، دارای پیچیدگی است. بنابراین الگوریتمی با هفت گام پیشنهاد می‌شود: در گام اول معیارهای خوشه‌بندی بازیکنان مطابق با مساله انتخاب شده است. در گام دوم از روش خوشه‌بندی K-means در تعداد خوشه‌های متفاوت استفاده و در گام سوم تعداد خوشه مناسب برای انجام رقابت براساس معیارهای ارزیابی انتخاب می‌شود. در گام چهارم چند مدل تئوری بازی تک معیاره به طور جداگانه به منظور رقابت بین بازیکنان (خوشه‌ها) معرفی، اجرا و نقطه تعادل ایده‌آل چند معیاره تعیین می‌شود. در گام پنجم از مدل ریاضی تئوری بازی چند معیاره با توجه به نقطه ایده‌آل به دست آمده در گام چهارم استفاده می‌شود. پس از پایان گام پنجم، سهم هر خوشه در رقابت مشخص شده است. در گام‌های ششم و هفتم مشابه گام‌های چهارم و پنجم، رقابت درون خوشه انجام می‌شود که سهم هر بازیکن در رقابت مشخص می‌گردد. به منظور بررسی الگوریتم پیشنهادی، مساله رقابت ایرلاین‌ها در تخصیص منابع فرودگاه امام خمینی (ره) بررسی گردید. در این فرودگاه حدود ۴۷ ایرلاین فعالیت دارند که برای تصاحب استند جت‌وی با یکدیگر رقابت می‌کنند. معیار خوشه‌بندی ایرلاین‌ها تعداد پروازها و تعداد مسیرهای پروازی از فرودگاه در واحد زمان می‌باشد. نتایج خوشه‌بندی به ازای تعداد خوشه‌های متفاوت

$P\text{-Value}=1$ حاصل شد. با توجه به اینکه $P\text{-Value}$ برابر یک و بیشتر از آلفا (۰/۰۵) می‌باشد، فرض صفر پذیرفته می‌شود. گروه‌بندی توکی نیز این موضوع را تأیید می‌کند. شکل (۲) نتایج حاصل از تحلیل واریانس و آزمون توکی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که از آنجایی که روش $K\text{-means}$ خاصیت تصادفی دارد و با توجه به نتایج تحلیل واریانس یک طرفه به همراه آزمون توکی نشان می‌دهد که نتایج خوشه‌بندی در تعداد خوشه متفاوت (۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵) با هم و با حالت بدون خوشه‌بندی ($k=47$) تفاوت معناداری ندارند. از آنجایی که به دنبال آزمون فرض برابری میانگین سهم ایرلاین‌ها از استند جت‌وی در حالت خوشه‌بندی و بدون خوشه‌بندی هستیم، از آزمون فرض برابری میانگین‌ها در حالتی که مشاهدات زوجی است، استفاده می‌کنیم. در این آزمون داده‌های مربوط به جوامع مستقل نیستند و ابتدا تفاوت بین هر زوج (سهم ایرلاین از استند جت‌وی در حالت خوشه‌بندی و بدون خوشه‌بندی) را به دست می‌آوریم و بنابراین سپس یک نمونه ۴۷ تایی حاصل از اختلاف دو جامعه داریم و می‌خواهیم فرض برابری میانگین آن‌ها با صفر را آزمون کنیم. این آزمون را برای مقایسه حالت بدون خوشه‌بندی ($k=47$) با حالت خوشه‌بندی با تعداد خوشه ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ به ترتیب با ۱۱-۴۷، ۱۲-۴۷، ۱۳-۴۷ و ۱۵-۴۷ اجرا می‌شود.



شکل ۲: نتایج حاصل از تحلیل واریانس و آزمون توکی

جت‌وی در حالت بدون خوشه‌بندی و استفاده از خوشه‌بندی وجود ندارد. بنابراین از الگوریتم فوق می‌توان در زمان‌هایی استفاده کرد که تعداد بازیکنان به شدت زیاد و ناهمگون هستند. زیرا رقابت را به رقابت با تعداد کمتر بازیکن، تقسیم می‌نماید. همچنین این الگوریتم در بازی‌هایی که بازیکنان تمایل دارند، یا می‌بایست با بازیکنان هم رده خود رقابت کنند و یا تعداد معیارهای رقابت زیاد است کاربرد دارد، که در این صورت می‌توان تعدادی از معیارها در معیارهای خوشه‌بندی و مابقی آن‌ها در تابع مطلوبیت‌های تنوری بازی چند معیاره قرار گیرند.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، از روش پیشنهادی در سایر محیط‌های رقابتی مثل رقابت تولیدکنندگان در کسب سهم بازار و رقابت در تخصیص بودجه استفاده شود. همچنین می‌توان سایر روش‌های خوشه‌بندی را به کار گرفت و نتایج را تحلیل و مقایسه نمود. همچنین می‌توان نقش معیارهای خوشه‌بندی در نتایج الگوریتم پیشنهادی بررسی نمود.

در جدول (۲) آمده است. توابع مطلوبیت ایرلاین‌ها، حداقل هزینه تخصیص منابع و حداکثر تعداد پروازهای تخصیص داده شده به استند جت‌وی (منبع محدود) است.

در این تحقیق نوع بازی، نرمال، غیر همکارانه و غیر تصادفی با استراتژی خالص و اطلاعات کامل است. با توجه به خصلت مساله، بازی یک بار در ابتدای دوره برنامه‌ریزی، مستقل از بازی‌های قبل انجام می‌شود و تعداد بازیکنان (ایرلاین‌ها)، استراتژی‌ها (متغیرهای تصمیم) و تابع مطلوبیت بازیکنان در ابتدای بازی برای ایرلاین‌ها معلوم و در طول بازی ثابت است. جدول (۳) نتایج تنوری بازی‌ها (سهم هر ایرلاین) به ازای تعداد خوشه‌های متفاوت نشان داده شده است. در انتها، برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، نتایج آن در تعداد خوشه‌های متفاوت با نتایج مدل تنوری بازی در حالت بدون خوشه‌بندی ($K=47$) مقایسه شد. به این منظور از آزمون فرض برابری میانگین‌ها در مشاهدات زوجی و تحلیل واریانس استفاده گردید. نتایج آزمون‌ها اثبات می‌نماید که تفاوت معنی‌داری در سهم ایرلاین‌ها از استند

۶-مراجع

-مومنی، م، خوشه بندی داده ها، (۱۳۹۵)، ناشر مولف، تهران، ایران.

-نویدی. ح، کتابچی. س، مسی بیدگلی. م، (۱۳۹۰)، "مدخلی بر نظریه بازی‌ها"، انتشارات دانشگاه شاهد، تهران، ایران. ص. ۳-۴.

-Evans, A. Schäfer, A., (2014), "Simulating airline operational responses to airport capacity constraints" *Transport Policy*, Vol. 34, pp. 5-13.

-Graubeger, W. Kimms, A., (2014), "Decision Support Computing approximate Nash equilibria in general network revenue management games", *European Journal Operational Research*, Vol. 237, pp. 1008-1020.

-Guépet, J. cuna-Agostb, b,R.A. Brianta, O.Gayon J.P., (2015), "Exact and heuristic approaches to the airport stand allocation

-اصغریپور. م، (۱۳۸۲)، "تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات"، انتشارات سمت دانشگاه تهران، تهران، ایران. ص. ۲۸۸.

-تمنایی، م. راستی برزکی، م، (۱۳۹۷)، "رویکرد نظریه بازی برای مدل سازی رقابت در بازار حمل و نقل جاده‌ای و ریلی کالا، پژوهشنامه حمل و نقل.

-Castaing, j. Mukherjee, I., (2016), "Reducing airport gate blockage in passenger aviation: Models and analysis. *Computers & Operations Research*".

-Dae Ko, Y., (2016), "An airline's management strategies in a competitive air transport market", *Journal of Air Transport Management* 50, pp.53-61.

-Dell'Orco, M., Marinelli, M., Giovanna Altieri, M., (2017), "Solving the gate assignment problem through the Fuzzy Bee Colony Optimization", *Transportation Research Part C*.

- Tang, C, Wang, W., (2013), "Airport gate assignments for airline-specific gates. Airport Management", Elsevier Journal of Air Transport Management 30 (2013) pp.10-16.
- Yalong, W., Xi, L., Heli, Z., & Ke, W., (2016), "Resource allocation scheme based on game theory in heterogeneous networks", The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 23(3), pp.57-88.
- YU, P. L., (1973a.), "A Class of Solution for Group Decision Problem". Management Science, Vol. 19, No. 8, pp. 936-946.
- Zhao,X, Atkins, D, Hu, M, Zhang, W.,(2017), "Revenue management under joint pricing and capacity allocation competition", European Journal of Operational Research, Vol. 257 . pp. 957–970.
- Zitoa, P. Salvoa, G. Fran, L., (2011), "Modelling Airlines Competition on Fares and Frequencies of Service by Bi-level Optimization", Procedia Social and Behavioral Sciences. Vol. 20, pp. 1080–1089.
- problem", European Journal of Operational Research 246, pp.597–608.
- Halkidi, M., Batistakis, Y., and Vazirgiannis, M., (2002), "Clustering validity methods: Part I. ACM SIGMOD Record", 31(2).
- Han, S., Li, X., Liu, Z., & Guan, X., (2016), "Distributed hierarchical game-based algorithm for downlink power allocation in OFDMA femtocell networks. Computer Networks, 94, pp.176-188.
- Knabe, F, Schultz, M., (2016), "A new way to indicate airport airside performance from an economic perspective", Transportation Research Procedia 14. pp. 3771 – 3780.
- Leonard, T. Bekker, J., (2011), " Comparing airport apron layout designs using computer simulation and the cross-entropy method", Thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University.
- Lim Sengpoh, (2015), "The Competitive Pricing Behaviour of Low Cost Airlines in the Perspective of Sun Tzu Art of War". Procedia - Social and Behavioral Sciences", Vol. 172. pp. 741– 748.
- Romesburg, H. C., (1984), "Cluster analysis for researchers", Lulu Press.
- Sharma, S., (1996), "Applied multivariate techniques, New York: John Wiley & Sons".
- Souza, M. A. D. S., Weigang, L. I., & Garcia, R. C., (2018)., "Stable two-sided matching of slot allocation in airport collaborative decision making by top trading cycles mechanism", Chinese Journal of Aeronautics, 31(3), pp.34-545.

Analyzing the Airlines Competition by Players Clustering in the Game Theory Approach

Saman Sorouri Ghare-Aghaj, Ph.D. Student, Payame Noor University, Iran.

Ramin Sadeghian, Associate Professor, Industrial Engineering Department, Engineering Faculty, Payame Noor University, Iran.

Tavakkoli-Moghaddam, Professor, School of Industrial, University of Tehran, Tehran, Iran.

Ahmad Makoui, Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: sadeghian@pnu.ac.ir

Received: March 2021-Accepted: July 2021

ABSTRACT

The large number of heterogeneous players makes difficult to determine the equilibrium point in the game theory, so firstly the players are clustered and then the game theory is used in two stages. First, the clusters compete to determine the point of equilibrium. Then the players within each cluster compete to determine the share and the payoff for each player. In this paper, the results of the game theory in the competition between 47 Airlines at the Imam Khomeini Airport are evaluated by statistical tests. The payoff functions in this model are the cost of the stand and the share of the jet way stand for each airline. The results show that the players clustering can be useful when the number of the players is high. ANOVA and the T student test in paired observations were used for the validation of the proposed algorithm. The result of P-Value = 1 were obtained by ANOVA with $\alpha = 0.05$ in Minitab software. The share of jet way stand for airlines in the number of clusters 11, 12, 13, 15 and 47 (without clustering mode) did not differ significantly. Also the T student test in paired observations was performed to compare the non-clustering ($k = 47$) with different clustering states in the number of 11, 12, 13 and 15 clusters. Respectively P-Value results were obtained 0.930, 0.947, 0.944, 0.964. These results shown that there is no significant difference in the contribution of Airlines from the jet stand without clustering and clustering. The results of this research show how to using clustering in game theory approach on a real world case. Also considering airlines as a member of transportation modes can be useful.

Keywords: Multi-Criteria Game, Game Theory, Player Clustering, Airline Competition