

اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های هواپیمایی با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها

محمدرضا صادقی مقدم^۱ حسین صفری^۲، محمود دهقان نیری^۳، مظاهر رضایی فر^{۴*}

۱- دانشیار، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استاد، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۴- دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۷)

چکیده

علیرغم افزایش رقابت و نیاز به شناخت بهتر از میزان کارایی نسبی یک شرکت هواپیمایی در مقایسه با دیگر شرکت‌ها، تاکنون مطالعات انگشت شماری به موضوع کارایی شرکت‌های هواپیمایی در ایران همراه با مدنظر قرار دادن فازهای مختلف فرایند انجام کار و عدم اطمینان‌های موجود پرداخته‌اند. به عبارتی پژوهش‌های موجود بیشتر از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در حالت قطعی استفاده نموده‌اند و این در حالی است که در واقعیت، در بسیاری از مسائل با انواع ابهام و عدم قطعیت مواجه هستیم. هدف این پژوهش این است تا با استفاده از منطق فازی و رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها شبکه‌ای در قالب ارائه یک روش جدید (رویکرد تجزیه جمعی فازی)، خطوط هوایی ایران را مورد ارزیابی قرار دهد. از این رو داده‌های واقعی ۱۴ شرکت هواپیمایی ایرانی استفاده شده است. مطالعه موردی مورد نظر، نشان می‌دهد که خطوط هوایی پویا، تابان و ایرتور در مقایسه با دیگر خطوط هوایی بترتیب با ۰/۹۷، ۰/۹۶ و ۰/۷۷ دارای کارایی کل بهتری بوده‌اند. اگرچه تنها خط هوایی کارا با بازدهی ۱، پویا می‌باشد. این در حالی است که خط هوایی نفت با کارایی ۰/۷۷ در مقایسه با دیگران از بازده کمتری برخوردار بوده است. **واژه‌های کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌ها فازی دو مرحله‌ای، رویکرد تجزیه جمعی فازی، شرکت هواپیمایی، کارایی، DMU

Analysis of aviation companies' efficiency using Data Envelopment Analysis

MohammadReza S. Moghaddam, Hossein Safari, Mahmoud D. Nayyeri, Mazaher Rezaeifar

Abstract

Despite the increase in competition and the need for a better understanding of the relative efficiency of an airline compared to other companies, so far, only a handful of studies have addressed the issue of airline efficiency in Iran along with taking into account the different phases of the work process and the existing uncertainties. In other words, existing researches have mostly used data envelopment analysis models in deterministic mode, despite the fact that in reality we are faced with different kinds of ambiguity and uncertainty in many issues. The purpose of this research is to evaluate Iranian Airlines by using fuzzy logic and two-stage data envelopment analysis approach in the form of presenting a new method of two-stage fuzzy data envelopment analysis (fuzzy additive analysis approach). Hence, the real data of 14 Iranian airlines have been used. The case study in question, shows that Pouya, Taban and Airtour airlines have better overall efficiency compared to other airlines with 0.1, 0.97 and 0.96 respectively, Although the only efficient airline with an efficiency of 1 is Pouya.

Key words: two-stage Fuzzy Data Envelopment Analysis fuzzy additive analysis approach, aviation companies, efficiency, DMU.

مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها^۱ یک ابزار استاندارد برای محاسبه کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری^۲ همکار، در حضور ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد می‌باشد که اولین بار توسط [۱] ارائه شده است. این تکنیک به عنوان یک تکنیک کارا مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و توسعه‌های نظری و کاربردهای عملی زیادی در این حوزه گزارش شده است (به عنوان مثال به مقالات مروری [۶-۲] مراجعه شود).

[۷] و [۸] اولین مطالعات در زمینه‌ای بودند که بعدها توسط [۹] تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای^۳ نامیده شد. NDEA بسط فرمت عام DEA است [۱۰]، که ساختار داخلی DMUs را نیز در محاسبه کارایی در نظر می‌گیرد. این نوع مدل‌ها با لحاظ کردن کامل ساختار داخلی یک DMU اجازه درک بهتر فرآیندهای تولید را فراهم می‌سازند. در حالت شبکه‌ای، DMUs شامل ساختارهای دو یا چند مرحله‌ای با مقادیر میانی^۴ می‌باشند؛ بطوریکه در هر DMU، خروجی‌های هر مرحله، ورودی‌های مرحله بعدی هستند. بعبارت دیگر، بر خلاف مدل‌های سنتی DEA استاندارد^۵ که در آن DMUs به عنوان یک جعبه سیاه^۶ شناخته می‌شود، در NDEA، DMUs، شبکه‌ای از زیر فرایندهای به هم مرتبط (مراحل، زیر واحدها، تقسیمات و ...) بوده که اتصالات، نشان دهنده جریان مقادیر میانی است. برر سی و طبقه بندی جامعی از توسعه مدل‌های NDEA توسط [۱۴-۱۱] ارائه شده است.

مدل دو مرحله‌ای^۷ که مورد بحث این مقاله است حالت خاصی از مدل NDEA می‌باشد که در آن هر DMU شامل دو مرحله با مقادیر میانی می‌باشند. اتفاقاً در این روش مشکل اصلی همین مقادیر میانی هستند که از یک سو به عنوان خروجی‌های مرحله اول مطلوب است که بیشینه شوند و از سویی به عنوان ورودی‌های مرحله دوم باید کمینه شوند. اگرچه در حوزه DEA، محققان مقالات زیادی به چاپ رسانده‌اند، با این حال به نسبت مدل استاندارد DEA، توجه کمتری به NDEA و همچنین حالت خاص آن مدل دو مرحله‌ای شده است.

در دنیای واقعی بدلیل اینکه در بسیاری از مسائل انواع ابهام و عدم قطعیت وجود دارد نیازمند رویکردی برای مواجهه با این نوع مسائل هستیم [۱۵]. از طرفی پیچیدگی موجود در فرایندهای یک شرکت چند وجهی نظیر یک شرکت هواپیمایی که دارای

فازهای مختلفی اعم از خدمات، عملیات و ... برای انجام یک پرواز ایمن است، لزوم استفاده از منطق فازی^۸ و همچنین اعداد فازی^۹ را به عنوان رویکرد مناسبی برای مواجهه با شرایط گفته شده را ثابت می‌نماید. [۱۶، ۱۷]. در مسائل DEA نیز گاهی اوقات مقادیر ورودی، میانی، و خروجی با اعداد فازی بیان می‌شوند. تا کنون روش‌های مختلفی برای حل مدل‌های فازی DEA توسعه داده شده‌اند، مانند روش تحمل^{۱۰}، فازی‌زدایی^{۱۱}، برش α ، رتبه‌بندی، رویکرد اعتبار و ... [۱۵]. در این پژوهش به دلیل مزایای زیاد روش برش α ، از آن استفاده شده است.

در ادامه مقاله شامل موارد زیر است:

- روش شناسی
- منطق فازی در ارزیابی کارایی خطوط هوایی
- مدل دومرحله‌ای، مدل دومرحله‌ای تجزیه جمعی فازی و روش حل آن‌ها
- معرفی ساختار شبکه خطوط هوایی و مطالعه موردی خطوط هوایی ایران
- ارائه نتایج شرکت‌های هواپیمایی ایرانی
- نتیجه گیری
- پیشنهادها

روش شناسی

در این بخش به روش شناسی این مقاله پرداخته می‌شود. ابتدا، مدل‌های DEA و FDEA شرح داده شده‌اند. سپس مدل تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای فازی با رویکرد تجزیه جمعی فازی برای اندازه‌گیری کارایی یک سیستم ارائه شده است.

همانطور که پیشتر اشاره شد، تحلیل پوششی داده‌ها یک ابزار استاندارد برای محاسبه کارایی نسبی واحدهای تصمیم همکار، می‌باشد که اولین بار توسط [۱] ارائه شده است (فرمول ۱). این تکنیک به عنوان یک تکنیک کارا مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و توسعه‌های نظری و کاربردهای عملی زیادی در این حوزه گزارش شده است [۱۸].

مدل‌های استفاده شده دائماً در حال بروز شدن بوده و کاربردهای آن‌ها افزایش می‌یابد. یکی از حوزه‌هایی که همواره مورد توجه پژوهشگران بوده، صنعت حمل و نقل به‌خصوص صنعت حمل و نقل هوایی است (که در ادامه به تفصیل به آن پرداخته خواهد شد).

[۲۵] جهت بررسی کارایی ۸ خط هوایی بزرگ آفریقایی از نیروی کار، هزینه های مربوط به سوخت، هزینه های عملیاتی، و تعداد هواپیما به عنوان نهاده ها و درآمد و میزان سرویس دهی باری و مسافری را خروجی قرار دادند.

[۲۶] جهت بررسی کارایی ۱۴ خط هوایی ایرانی از نیروی کار، سرمایه، انرژی و مواد به عنوان ورودی ها و مسافر و بار حمل شده را خروجی کار خود قرار داد.

[۲۷] جهت ارزیابی ۱۳ شرکت هواپیمایی آمریکایی و غیر آمریکایی با داده هایی در فاصله سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵، داده های مربوط به خدمات و عملیات را نهاده ها و میزان حمل بار ضرب در مسافت جابه جاشده را ستاده در نظر گرفتند.

[۲۸] به اندازه گیری کارایی شرکت های هواپیمایی حوزه آسه آن^{۱۶} پرداختند. این پژوهشگران تعداد کارکنان و سوخت مصرفی را به عنوان ورودی و دو عامل "تعداد مسافر- میزان مسافت" و همچنین "میزان بار- میزان مسافت" را خروجی های سیستم خود قرار دادند.

[۲۹] ارزیابی ۱۹ خط هوایی بین المللی را با ورودی هایی نظیر تعداد مسافر، اندازه خط هوایی و هزینه ها انجام دادند در حالی که خروجی های مد نظر ایشان، تعداد مسافر و بار جابه جاشده بود.

بررسی های بیشتر، نشانگر این موضوع است که [۴-۶، ۱۵، ۳۲-۳۰] و بسیاری دیگر از پژوهش های مشابه، عواملی همچون تعداد کارکنان، هزینه های جاری، انواع سرمایه و یا ترکیبی از این ها را ورودی ها و عواملی مانند تعداد مسافر جابه جاشده، میزان بار جابه جاشده، مسافت پیموده شده، میزان درآمد یا سود خالص و نظیر این ها را خروجی مدل های خود قرار داده اند.

فارغ از نهاده ها و ستاده ها که امری مهم در ارزیابی یک شرکت هواپیمایی است، مورد مهم دیگری توسط پژوهشگران در سال های اخیر مطرح گردیده و آن نگاه چند وجهی به کلیت یک شرکت می باشد [۲۷]. به عبارتی با گذشت زمان مشخص شد بخاطر اینکه خطوط هوایی شامل چندین بخش می باشند، نیاز است تا مدل های DEA استفاده شده برای تحلیل عملکرد خطوط هوایی، ساختار داخلی را در نظر بگیرند. [۳۳]. در نظر نگرفتن فازهای مختلف در شرکت هایی که خدمات گوناگونی ارائه می دهند، تصویر صحیحی از ارزیابی ارائه نمی دهد [۳۴]. و باید کارایی فازهای متفاوت نیز به صورت جدا جدا محاسبه

$$\text{Min } Z_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$$

St:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon$$

مدل دو مرحله ای (خصوصاً مدل دو مرحله ای تجزیه راندمان جمعی که مورد بحث این مقاله است نیز حالت خاصی از مدل تحلیل پوششی داده ها شبکه ای است که توسط [۱۹] ارائه شده که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

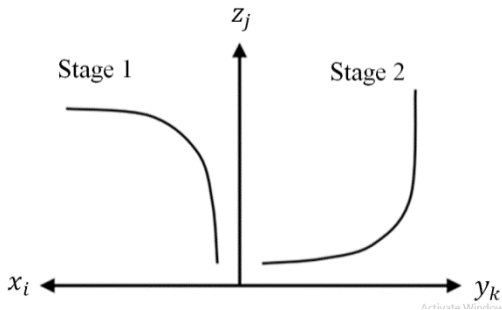
اگرچه در حوزه DEA و NDEA محققان مقالات زیادی به چاپ رسیده ولی به نسبت مدل استاندارد DEA، توجه کمتری به NDEA و همچنین حالت خاص FNDEA خصوصاً اندازه گیری کارایی خطوط هوایی بویژه در ایران شده است. در ادامه به مرور ادبیات مرتبط با مدل های ارائه شده و تغییرات آن ها پرداخته شده است:

تجزیه راندمان جمعی [۱۹] و تجزیه راندمان مضربی^{۱۲} [۲۰] اولین روش های ارزیابی کارایی کلی سیستم با در نظر گرفتن مقادیر میانی بین مراحل هر DMU هستند. همچنین [۲۱] مدل مضربی را مورد توجه قرار داد. در این رویکرد، کارایی مرحله ای به طور همزمان بهینه نمی شود، و اولویت به یکی از دو مرحله (مرحله رهبری) داده می شود. با همین رویکرد [۱۰] یک پارادایم ترکیبی^{۱۳} را در مدل دومرحله ای ارائه کردند. همچنین، [۲۲] رویکرد برنامه ریزی چند هدفه ای را که از مدل بهینه سازی کمینه-بیشینه^{۱۴} استفاده می کند، ارائه کردند. [۲۳] با الهام گرفتن از مفهوم ارتباط ضعیف^{۱۵} در زنجیره تامین مدلی را معرفی کردند.

استفاده از تحلیل پوششی داده ها در ارزیابی خطوط هوایی نیز کاربرد زیادی داشته است. در ابتدا از روش های استاندارد استفاده می شد (در مواردی همچنان ادامه دارد) و مقادیر صرفاً شامل ورودی و خروجی بوده و در آن از مقادیر میانی استفاده نمی شده که به نمونه هایی از آن ها اشاره می شود:

[۲۴] برای اندازه گیری کارایی ۲۹ خط هوایی بین المللی، میزان مصرف سوخت، هزینه ها و اندازه خط هوایی را ورودی و میزان مسافت- بار را خروجی واحدهای تصمیم گیری در نظر گرفتند.

خروجی سیستم نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، اگر در استیج اول مقدار ورودی x_i را افزایش دهیم مقادیر میانی Z_j نیز افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه Z_j خروجی استیج اول است افزایش آن نامطلوب است. در عین حال، زمانی که با Z_j به عنوان ورودی استیج دوم رفتار می‌شود، کاهش آن مطلوب خواهد بود، که این باعث کاهش خروجی نهایی y_k خواهد شد [۱۳].



شکل ۲- یک مدل دومرحله‌ای خروجی محور

بنابراین باید یک کارایی کل^{۱۸} برای هر DMU و همچنین یک کارایی فردی^{۱۹} برای هر استیج (در درون هر DMU) محاسبه شود که بسته به رویکرد مواجهه با مسئله دومرحله‌ای، این مقادیر می‌توانند باهم متفاوت باشند. مدل زیر، فازی شده مدل مقاله [۳۸] و اضافه کرد یک محدودیت (که این محدودیت در حالت قطعی یک محدودیت زائد می‌باشد ولی در حالت فازی باید در مدل لحاظ شود) می‌باشد که می‌توان رویکردهای متفاوت مواجهه با مسئله‌ی دو مرحله‌ای فازی را بر روی آن پیاده کرد (فرمول ۲).

$$\bar{e}_0 = \text{MAX} \left(\frac{\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{ko}}{\sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io}} \right)$$

$$\bar{e}_0^1 = \text{MAX} \left(\frac{\sum_{j \in J} w_j \tilde{z}_{jo}}{\sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io}} \right)$$

$$\bar{e}_0^2 = \text{MAX} \left(\frac{\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{ko}}{\sum_{j \in J} w_j \tilde{z}_{jo}} \right)$$

S. t.

$$\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{kd} / \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{id} \leq 1, \quad \forall d \in D$$

$$\sum_{j \in J} w_j \tilde{z}_{jd} / \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{id} \leq 1, \quad \forall d \in D$$

$$\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{kd} / \sum_{j \in J} w_j \tilde{z}_{jd} \leq 1, \quad \forall d \in D$$

$$v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

گردد [۳۵]. لذا استفاده از این مدل‌ها هم در محاسبه کارایی خطوط هوایی رواج یافت. اگرچه باید پذیرفت که استفاده از مدل‌های یک مرحله‌ای هنوز هم طرفدارانی دارد که البته عمده آن‌ها به دلیل سادگی حل مدل یک مرحله‌ای از آن استفاده می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان به [۶, ۲۴, ۳۶, ۳۷] اشاره نمود.

[۱۵, ۲۶, ۳۳, ۳۴] چند نمونه از پژوهش‌هایی هستند که مقادیر میانی را لحاظ نموده و از مدل‌های مختلف دومرحله‌ای استفاده کردند. بی‌شترین ورودی استفاده شده در این مدل‌ها شامل انواع هزینه‌ها مثل هزینه سوخت، دستمزد، نگهداری و ...، بیشترین مقادیر میانی استفاده شده شامل ضریب بار، اندازه خط هوایی، تعداد صندلی قابل دسترس و میزان اندازه بار قابل دسترس و بیشترین خروجی استفاده شده میزان درآمد بوده است [۶].

مدل دو مرحله‌ای فازی نیز که مورد بحث این مقاله است حالت خاصی از مدل تحلیل پوششی داده‌ها شبکه‌ای فازی^{۱۷} می‌باشد.

مدل دومرحله‌ای فازی

همانطور که قبلاً گفته شد، مدل دو مرحله‌ای فازی حالت خاصی از FNDEA است که در آن هر DMU از دو sub-DMUs تشکیل می‌شود. ساختار پایه‌ای شبکه‌ی این مدل بصورت شکل ۱ می‌باشد که هر DMU تعدادی ورودی (\tilde{x}_{id}) را به واسطه‌ی تعدادی مقادیر میانی (\tilde{z}_{jd}) به خروجی نهایی (\tilde{y}_{kd}) تبدیل می‌کند.



شکل ۱- ساختار داخلی مدل دومرحله‌ای با مقادیر فازی

در این مدل‌ها با مقادیر میانی بصورت مستقل رفتار می‌شود و آن‌ها حتی ممکن است باعث افزایش کارایی در استیج اول شوند (وقتی که آن‌ها به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند) و در عین حال باعث کاهش کارایی در استیج دوم شوند (وقتی که به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند). شکل ۲ رفتار مقادیر میانی را با توجه تغییر در ورودی و

در حل کردن مدل های فازی روش های متفاوتی وجود داد که یکی از پرکاربردترین آن ها در ادبیات DEA، روش α -cut یا برش آلفا می باشد. با این روش، مقادیر ورودی، میانی، و خروجی بصورت فرمول ۵ تعریف می شود [۳۹، ۴۰].

$$(X_{id})_{\alpha} = \{x_{id} \in S(\tilde{x}_{id}) | \mu_{\tilde{x}_{id}}(x_{id}) \geq \alpha\},$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$$(Z_{jd})_{\alpha} = \{z_{jd} \in S(\tilde{z}_{jd}) | \mu_{\tilde{z}_{jd}}(z_{jd}) \geq \alpha\},$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$$(Y_{kd})_{\alpha} = \{y_{kd} \in S(\tilde{y}_{kd}) | \mu_{\tilde{y}_{kd}}(y_{kd}) \geq \alpha\},$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

مقدار $\mu_{\tilde{e}_d}(e_d)$ نیز اساساً برابر است با مینیمم $\mu_{\tilde{x}_{id}}(x_{id})$ ، $\mu_{\tilde{z}_{jd}}(z_{jd})$ و $\mu_{\tilde{y}_{kd}}(y_{kd})$ و طبق فرمول ۶ محاسبه می شود؛ به عبارت دیگر برای α ضای $\mu_{\tilde{e}_d}(e_d) = \alpha$ باید شروط $\mu_{\tilde{x}_{id}}(x_{id}) \geq \alpha$ ، $\mu_{\tilde{z}_{jd}}(z_{jd}) \geq \alpha$ و $\mu_{\tilde{y}_{kd}}(y_{kd}) \geq \alpha$ برقرار باشند [۴۱].

$$\mu_{\tilde{e}_d}(e_d) = \sup_{x,y,z} \min_{l,j,k,d} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{\tilde{x}_{id}}(x_{id}) \\ \mu_{\tilde{z}_{jd}}(z_{jd}) \\ \mu_{\tilde{y}_{kd}}(y_{kd}) \end{array} \middle| e_d = E_k(x, y, z) \right\}$$

عبارت $E_k(x, y, z)$ نمایانگر کل مدل اصلی می باشد. برای محاسبه تابع $\mu_{\tilde{e}_d}(e_d)$ کافی است مقادیر حد پایین و حد بالا را در سطوح مختلف α محاسبه کنیم $(E_d)_{\alpha} = [(e_d)_{\alpha}^l, (e_d)_{\alpha}^u]$.

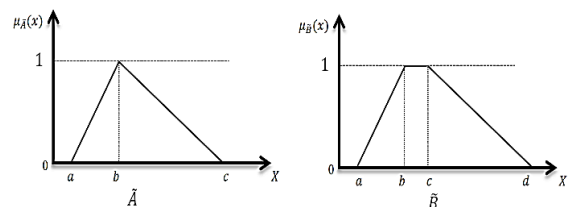
با توجه به اینکه تمام مقادیر فازی، یک اینتروال روی α های متفاوت می باشند بنابراین می توان از فرمول ۷ برای تعریف اعداد فازی در مدل استفاده کرد.

به کمک فرمول ۷ مدل های ارائه شده قبلی را می توان تبدیل به مدل های قطعی نموده و آن ها را حل کرد. بر این اساس، فرمول ۲ تبدیل به فرمول های ۸ و ۹ می شود.

بنابراین مدل ۲ تبدیل به یک مسئله دو سطحی می شود. مقادیر هر یک از x_{id} ، z_{jd} و y_{kd} توسط برش آلفا متناظر در سطح اول (برنامه بیرونی) تعریف می شوند، و مقادیر کارایی در سطح دوم (برنامه درونی) معین می شوند. در هر سطح α ، بزرگترین و کوچکترین مقادیر کارایی براساس مجموعه های

منطق فازی در ارزیابی کارایی خطوط هوایی

در دنیای واقعی بدلیل اینکه در بسیاری از مسائل انواع ابهام و عدم قطعیت وجود دارد نیازمند رویکردی برای مواجهه با این نوع مسائل هستیم. منطق فازی و همچنین اعداد فازی رویکرد مناسبی برای مواجهه با این ابهامات می باشد [۱۷]. در مسائل DEA نیز گاهی اوقات مقادیر ورودی، میانی و خروجی با اعداد فازی بیان می شوند. پرکاربردترین اعداد فازی، اعداد فازی دوزنقه ای و حالت خاص آن اعداد فازی مثلثی می باشند. یک عدد فازی مثلثی فقط با تعریف سه راس آن $\tilde{A} = (a, b, c)$ و یک عدد فازی دوزنقه ای با تعریف چهار راس آن $\tilde{B} = (a, b, c, d)$ قابل تشخیص می باشند [۱۷]. تابع عضویت فازی مثلثی و دوزنقه ای در شکل ۳ و فرمول تابع عضویت آن ها به ترتیب در رابطه های ۳ و ۴ نشان داده شده است (در عدد فازی مثلثی به نقطه b و در عدد فازی دوزنقه ای به بازه $[b, c]$ بیشترین ارزش ممکن 20 گفته می شود) [۱۶]. لازم به ذکر است، که اگرچه در این مقاله از اعداد مثلثی برای اعتبار سنجی 21 مدل استفاده شده است، ولی مدل های ارائه شده برای تمام انواع داده های فازی کاربرد دارد.



شکل ۳- تابع عضویت فازی مثلثی و دوزنقه ای

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & O.W. \end{cases} \quad 3$$

$$\mu_{\tilde{B}}(x) = \begin{cases} 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & c \leq x \leq d \\ 0, & O.W. \end{cases} \quad 4$$

x_{id} , z_{jd} و y_{kd} به ترتیب در فرمول های ۸ و ۹ محاسبه می‌شوند و نهایتاً با تغییر مقادیر α ، تابع عضویت \tilde{E}_d بدست می‌آید.

$$\left\{ \begin{array}{l} \max(e_0) = \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{ko}}{\sum_{i \in I} v_i x_{io}} \\ \max(e_0^1) = \frac{\sum_{j \in J} w_j z_{jo}}{\sum_{i \in I} v_i x_{io}} \\ \max(e_0^2) = \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{ko}}{\sum_{j \in J} w_j z_{jo}} \\ S. t. \\ \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{kd}}{\sum_{i \in I} v_i x_{id}} \leq 1, \forall d \in D \\ \frac{\sum_{j \in J} w_j z_{jd}}{\sum_{i \in I} v_i x_{id}} \leq 1, \forall d \in D \\ \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{kd}}{\sum_{j \in J} w_j z_{jd}} \leq 1, \forall d \in D \\ v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon, \quad \forall i, j, k \end{array} \right. \quad 9$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (e_d)_\alpha^l \\ (e_d^1)_\alpha^l \\ (e_d^2)_\alpha^l \end{array} \right. = \min_{\substack{(x_{id})_\alpha^l \leq x_{id} \leq (x_{id})_\alpha^u \\ (z_{jd})_\alpha^l \leq z_{jd} \leq (z_{jd})_\alpha^u \\ (y_{kd})_\alpha^l \leq y_{kd} \leq (y_{kd})_\alpha^u \\ \forall i \in I, j \in J, k \in K, d \in D}}$$

$$(X_{id})_\alpha = [(x_{id})_\alpha^l, (x_{id})_\alpha^u] = \left[\begin{array}{l} \min_{x_{id}} \{x_{id} \in S(\tilde{x}_{id}) | \mu_{\tilde{x}_{id}}(x_{id}) \geq \alpha\} \\ \max_{x_{id}} \{x_{id} \in S(\tilde{x}_{id}) | \mu_{\tilde{x}_{id}}(x_{id}) \geq \alpha\} \end{array} \right]$$

$$(Z_{jd})_\alpha = [(z_{jd})_\alpha^l, (z_{jd})_\alpha^u] = \left[\begin{array}{l} \min_{z_{jd}} \{z_{jd} \in S(\tilde{z}_{jd}) | \mu_{\tilde{z}_{jd}}(z_{jd}) \geq \alpha\} \\ \max_{z_{jd}} \{z_{jd} \in S(\tilde{z}_{jd}) | \mu_{\tilde{z}_{jd}}(z_{jd}) \geq \alpha\} \end{array} \right]$$

$$(Y_{kd})_\alpha = [(y_{kd})_\alpha^l, (y_{kd})_\alpha^u] = \left[\begin{array}{l} \min_{y_{kd}} \{y_{kd} \in S(\tilde{y}_{kd}) | \mu_{\tilde{y}_{kd}}(y_{kd}) \geq \alpha\} \\ \max_{y_{kd}} \{y_{kd} \in S(\tilde{y}_{kd}) | \mu_{\tilde{y}_{kd}}(y_{kd}) \geq \alpha\} \end{array} \right]$$

$$(E_d)_\alpha = [(e_d)_\alpha^l, (e_d)_\alpha^u] = \left[\begin{array}{l} \min_{e_d} \{e_d \in S(\tilde{e}_d) | \mu_{\tilde{e}_d}(e_d) \geq \alpha\} \\ \max_{e_d} \{e_d \in S(\tilde{e}_d) | \mu_{\tilde{e}_d}(e_d) \geq \alpha\} \end{array} \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \max(e_0) = \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{ko}}{\sum_{i \in I} v_i x_{io}} \\ \max(e_0^1) = \frac{\sum_{j \in J} w_j z_{jo}}{\sum_{i \in I} v_i x_{io}} \\ \max(e_0^2) = \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{ko}}{\sum_{j \in J} w_j z_{jo}} \\ S. t. \\ \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{kd}}{\sum_{i \in I} v_i x_{id}} \leq 1, \forall d \in D \\ \frac{\sum_{j \in J} w_j z_{jd}}{\sum_{i \in I} v_i x_{id}} \leq 1, \forall d \in D \\ \frac{\sum_{k \in K} u_k y_{kd}}{\sum_{j \in J} w_j z_{jd}} \leq 1, \forall d \in D \\ v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon, \quad \forall i, j, k \end{array} \right. \quad 8$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (e_0)_\alpha^u \\ (e_0^1)_\alpha^u \\ (e_0^2)_\alpha^u \end{array} \right. = \max_{\substack{(x_{id})_\alpha^l \leq x_{id} \leq (x_{id})_\alpha^u \\ (z_{jd})_\alpha^l \leq z_{jd} \leq (z_{jd})_\alpha^u \\ (y_{kd})_\alpha^l \leq y_{kd} \leq (y_{kd})_\alpha^u \\ \forall i \in I, j \in J, k \in K, d \in D}}$$

همانطور که قبلاً نیز گفته شد ماهیت مقادیر میانی با مقادیر ورودی و خروجی فرق می‌کند چراکه از یک سو به عنوان خروجی‌های مرحله اول مطلوب است که بیشینه شوند و از سوی به عنوان ورودی‌های مرحله دوم باید کمینه شوند. برای مواجهه با این مشکل، [۴۲] مقادیر میانی را به عنوان متغیرهایی در نظر گرفتند که بین حد پایین و حد بالایشان تغییر می‌کنند و این مقادیر در طی فرایند بهینه‌سازی محاسبه می‌شوند. البته باید به این نکته توجه داشت که مدل ۱۰، بدلیل آنکه توابع هدف دو سطح آن باهم همسو (max-max) هستند به راحتی می‌توان آن را تبدیل به یک مسئله یک سطحی کرد و عبارت می‌توان آن را تبدیل به یک مسئله محدودیت در نظر گرفت؛ این درحالی است که بدلیل غیرهمسو بودن توابع هدف در مدل شماره ۱۱ (min-max) نمی‌توان از این روش استفاده کرد. برای حل این مشکل می‌بایست با استفاده از مدل ثانویه ۲، توابع هدف را همسو کرد و سپس آن را تبدیل به یک مسئله یک سطحی نمود. در ادامه، با کمک این مفاهیم، به برر سی رویکرد مدل دومرحله‌ای تجمیعی پرداخته و مدل خطی ارائه می‌شود.

مدل دومرحله‌ای تجزیه جمعی فازی

حالت قطعی این مدل توسط [۱۹] ارائه شد(فرمول‌های ۱۰ و ۱۱. در این رویکرد ابتدا کارایی کل محاسبه شده و سپس با اولویت دادن به هر کدام از استیج‌ها کارایی آن‌ها محاسبه می‌شود.

$$\sum_{k=1}^r u_k y_{ko} + (1 - e_o^*) \left(\sum_{j=1}^m w_j z_{jo} \right) \\ = e_o^* \sum_{i=1}^n v_i x_{io}$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{io} = 1$$

$$v_i, w_j, u_k \geq 0$$

And:

$$e_o^{2*} = \frac{e_o^* - w_1^* e_o^{1*}}{w_2^*}$$

در صورتی که استیج دوم در اولویت باشد نیز به طریق مشابه می توان فرمول آن را نوشت.

مشاهده می شود که در این مدل راندمان کل از میانگین موزون حسابی راندمان هر مرحله بدست آمده است. (فرمول ۱۲).

در فرمول ۱۴ مقدار ω_1 و ω_2 پارامترهای ثابتی نیستند ولی [۱۹] این مقادیر را بصورت فرمول ۱۵ تعریف کردند.

$$\omega_1 = \frac{\sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io}}{\sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io} + \sum_{j \in J} w_j \tilde{z}_{jo}} \quad 13$$

$$\omega_2 = \frac{\sum_{j \in J} w_j \tilde{z}_{jo}}{\sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io} + \sum_{j \in J} w_j \tilde{z}_{jo}}$$

در این رویکرد، درایور ارزیابی، کارایی کل می باشد، بنابراین ابتدا باید کارایی کل و سپس مقادیر کارایی هر یک از استیج ها را محاسبه کرد. این مقادیر، مقادیر یکتایی نمی باشند؛ بنابراین برطبق مدل فازی چند هدفه شماره ۲ و همچنین وزن های ارائه شده در فرمول شماره ۱۳، مدل دومرحله ای تجزیه جمعی فازی تبدیل به یک مسئله بهینه سازی

$$e_o^* = \text{MAX} \left\{ w_1 \frac{\sum_{j=1}^m w_j z_{jo}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{io}} + w_2 \frac{\sum_{k=1}^r u_k y_{ko}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{io}} \right\}$$

If:

$$w_1 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{io}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{io} + \sum_{j=1}^m w_j z_{jo}}$$

And

$$w_2 = \frac{\sum_{j=1}^m w_j z_{jo}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{io} + \sum_{j=1}^m w_j z_{jo}}$$

$$e_o^* = \text{MAX} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^m w_j z_{jo} + \sum_{k=1}^r u_k y_{ko}}{\sum_{j=1}^m w_j z_{jo} + \sum_{i=1}^n v_i x_{io}} \right\} \quad 10$$

St:

$$\sum_{j=1}^m w_j z_{jo} - \sum_{i=1}^n v_i x_{io} \leq 0$$

$$\sum_{k=1}^r u_k y_{ko} - \sum_{j=1}^m w_j z_{jo} \leq 0$$

$$v_i, w_j, u_k \geq 0$$

If Stage 1 Preferred:

$$e_o^{1*} = \text{MAX} \sum_{j=1}^m w_j z_{jo}$$

S. t.

$$\sum_{j=1}^m w_j z_{jo} - \sum_{i=1}^n v_i x_{io} \leq 0$$

$$\sum_{k=1}^r u_k y_{ko} - \sum_{j=1}^m w_j z_{jo} \leq 0$$

$$\left(\sum_{k=1}^r u_k y_{ko} + \sum_{j=1}^m w_j z_{jo} \right) \\ - e_o^* \left(\sum_{i=1}^n v_i x_{io} + \sum_{j=1}^m w_j z_{jo} \right) = 0 \quad 11$$

Or:

مقدار بهینه استیج دوم نیز بدست می‌آید. با همین شیوه فرمول بندی ۱۵ قابل تفسیر می‌باشد.

روش حل مدل دومرحله‌ای تجزیه جمعی فازی

در ادبیات، برای روش تجزیه جمعی یک مدل فازی توسط [۴۳] ارائه شده، ولی رویه حل ایشان با رویه حل استفاده شده در این مقاله متفاوت است. البته نقص بزرگ در مقاله مذکور این است که به ازای هر α فقط یک نقطه محاسبه می‌شود و بر روی مدل ارائه‌شده مشخص می‌شود که در این مقاله، فقط برای حد بالای کارایی، مدل ارائه شده و مدلی برای حد پایین کارایی ارائه نشده است. از این‌رو در این مقاله برانیم تا با استفاده از رویه‌ای که تاکنون معرفی شده، روش حلی جدید ارائه شود تا این گپ موجود در ادبیات پوشانده شود. با توجه به مطالب عنوان شده مقادیر وزن‌ها بصورت فرمول‌های ۱۹ و ۲۰ تعریف می‌شوند.

$$\omega_1^l = \frac{\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u}{\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u + \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}} \quad 19$$

$$\omega_2^l = \frac{\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}}{\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u + \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}}$$

$$\omega_1^u = \frac{\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l}{\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l + \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}} \quad 20$$

$$\omega_2^u = \frac{\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}}{\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l + \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}}$$

با توجه به رویه ارائه شده، فرمول ۱۶ (در حالتی که استیج اول اولویت دارد) به فرمول‌های ۲۱ تا ۲۴ تبدیل خواهد شد.

$$(e_o^*)_\alpha^l = \text{MAX} \left(\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} + \sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^l \right)$$

S. t.

$$\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u + \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} = 1 \quad 21$$

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} - \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u \leq 0$$

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} - \sum_{i \in I} v_i(x_{id})_\alpha^l \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

لکسیکوگرافیک^{۲۳} می‌شود که در فرمول‌های ۱۴ و ۱۵ نمایش داده می‌شوند.

$$\text{lex MAX} \left\{ \begin{aligned} \tilde{e}_o &= \frac{\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} + \sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{ko}}{\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} + \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io}}, \\ \tilde{e}_o^1 &= \sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} / \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io} \end{aligned} \right\}$$

S. t.

$$\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{kd} / \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{id} \leq 1, \quad \forall d \in D \quad 14$$

$$\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jd} / \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{id} \leq 1, \quad \forall d \in D$$

$$\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{kd} / \sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jd} \leq 1, \quad \forall d \in D$$

$$v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

$$\text{lex MAX} \left\{ \begin{aligned} \tilde{e}_o &= \frac{\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} + \sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{ko}}{\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} + \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io}}, \\ \tilde{e}_o^2 &= \sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{ko} / \sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} \end{aligned} \right\}$$

S. t.

$$\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{kd} / \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{id} \leq 1, \quad \forall d \in D \quad 15$$

$$\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jd} / \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{id} \leq 1, \quad \forall d \in D$$

$$\sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{kd} / \sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jd} \leq 1, \quad \forall d \in D$$

$$v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

$$\frac{\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} + \sum_{k \in K} u_k \tilde{y}_{ko}}{\sum_{j \in J} w_j \hat{z}_{jo} + \sum_{i \in I} v_i \tilde{x}_{io}} \geq \tilde{e}_o^* \quad 16$$

در فرمول بندی شماره ۱۴ ابتدا کارایی کل حداکثر می‌شود و در مرحله بعد این مقدار بهینه بعنوان محدودیت (فرمول ۱۶) وارد مدل شده و سپس مقدار بهینه استیج اول بدست می‌آید و در نهایت به کمک فرمول ۱۲ و ۱۳

$$(e_o^{1*})_\alpha^l = \text{MAX} \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}$$

S. t.

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^l + (1 - (e_o^*)_\alpha^l) \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} \\ = (e_o^*)_\alpha^l \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u$$

$$\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u = 1$$

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} - \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u \leq 0$$

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} - \sum_{i \in I} v_i(x_{id})_\alpha^l \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^l - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{kd})_\alpha^u - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^l - \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{kd})_\alpha^u - \sum_{i \in I} v_i(x_{id})_\alpha^l \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

$$w_j(z_{jd})_\alpha^l \leq \hat{z}_{jd} \leq w_j(z_{jd})_\alpha^u,$$

$$\forall d \in D, j \in J$$

$$v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon$$

$$(e_o^{1*})_\alpha^u = \text{MAX} \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo}$$

S. t.

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^u + (1 - (e_o^*)_\alpha^u) \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} \\ = (e_o^*)_\alpha^u \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l$$

$$\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l = 1$$

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} - \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^l - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{kd})_\alpha^u - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^l - \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^u \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{kd})_\alpha^u - \sum_{i \in I} v_i(x_{id})_\alpha^l \leq 0, \forall d \in D, d$$

$$\neq o$$

$$w_j(z_{jd})_\alpha^l \leq \hat{z}_{jd} \leq w_j(z_{jd})_\alpha^u,$$

$$\forall d \in D, j \in J$$

$$v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon$$

۲۳

$$(e_o^*)_\alpha^u = \text{MAX} \left(\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} + \sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^u \right)$$

S. t.

$$\sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l + \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} = 1$$

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} - \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l \leq 0$$

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} - \sum_{i \in I} v_i(x_{id})_\alpha^u \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^u - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{kd})_\alpha^l - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{ko})_\alpha^u - \sum_{i \in I} v_i(x_{io})_\alpha^l \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k(y_{kd})_\alpha^l - \sum_{i \in I} v_i(x_{id})_\alpha^u \leq 0,$$

$$\forall d \in D, d \neq o$$

$$w_j(z_{jd})_\alpha^l \leq \hat{z}_{jd} \leq w_j(z_{jd})_\alpha^u,$$

$$\forall d \in D, j \in J$$

$$v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon$$

۲۲

۲۴

[۴۵] از رویکرد DEA مبتنی بر شبکه برای ارزیابی کارایی فنی و قابلیت خدمات ۱۱ شرکت هواپیمایی در ایران استفاده کردند. [۴۶] از یک رویکرد DEA مبتنی بر شبکه برای اندازه‌گیری کارایی ۲۷ شرکت هواپیمایی بین‌المللی استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که ساختار درآمد و مصرف سوخت دلایل اصلی خطوط هوایی ناکارآمد هستند. [۴۷] از یک مدل شبکه‌ای برای ارزیابی کارایی ۲۲ شرکت هواپیمایی طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۸ استفاده کردند.

از سوی دیگر، در دنیای واقعی، داده‌ها در بسیاری از موارد به دلیل پیچیدگی سیستم نامشخص، مبهم و با عدم قطعیت روبرو هستند.

[۴۸] بر اساس مدل FDEA برای خطوط هوایی در نیجریه کارایی را محاسبه کردند. [۴۹] یک روش ترکیبی جدید با استفاده از FDEA و تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی^{۲۴} (FMADM)، برای اندازه‌گیری کارایی ایمنی هفت شرکت هواپیمایی ایرانی (به دلایلی مانند عدم قطعیت اطلاعات و ریسک بالای هوانوردی در خطوط هوایی ایرانی) پیشنهاد کردند. آنها از FDEA برای محاسبه وزن یک معیار استفاده کردند و سپس رتبه‌بندی هر شرکت هواپیمایی را بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش MADM تعیین کردند. [۳۵] از مدل شبکه پویا FDEA برای محاسبه کارایی هفت شرکت هواپیمایی ایرانی طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۲ استفاده کردند.

در این مقاله جهت نشان دادن قابلیت مدل فازی ارائه شده، کارایی خطوط هوایی ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، تعداد زیادی از مدل‌های DEA با استفاده از ساختار شبکه‌ای جهت محاسبه کارایی خطوط هوایی استفاده شده‌اند. عمده این پژوهش‌ها با بکارگیری ساختاری دو مرحله‌ای از ورودیها، مقادیر میانی و خروجی‌های مشابهی استفاده نموده‌اند که بیشتر در همین بخش به نمونه‌هایی از آنها پرداخته شد. به گفته [۳۵، ۴۷]، ساختار دو مرحله‌ای با نام عملیات و خدمات برای ساختار خطوط هوایی طراحی شده است. ابتدا ساختار شبکه دو مرحله‌ای خطوط هوایی ساخته شده و سپس بر اساس ادبیات قبلی ورودی، مقادیر میانی و خروجی مناسب خطوط هوایی انتخاب می‌شده است.

بر اساس اکثر مطالعات انجام شده، تعداد کارکنان و ظرفیت صندلی‌های مسافری به عنوان ورودی و کیلومترهای مسافربری

$$\sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} - \sum_{i \in I} v_i (x_{id})_{\alpha}^u \leq 0, \quad \forall d \in D, d \neq o$$

$$\sum_{k \in K} u_k (y_{ko})_{\alpha}^u - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jo} \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k (y_{kd})_{\alpha}^l - \sum_{j \in J} \hat{z}_{jd} \leq 0, \quad \forall d \in D, d \neq o$$

$$\sum_{k \in K} u_k (y_{ko})_{\alpha}^u - \sum_{i \in I} v_i (x_{io})_{\alpha}^l \leq 0$$

$$\sum_{k \in K} u_k (y_{kd})_{\alpha}^l - \sum_{i \in I} v_i (x_{id})_{\alpha}^u \leq 0, \quad \forall d \in D, d \neq o$$

$$w_j (z_{jd})_{\alpha}^l \leq \hat{z}_{jd} \leq w_j (z_{jd})_{\alpha}^u, \quad \forall d \in D, j \in J$$

$$v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon$$

برای محاسبه کارایی استیج دوم از فرمول‌های ۲۵ و ۲۶ استفاده می‌شود.

$$(e_o^{2*})_{\alpha}^l = \frac{(e_o^*)_{\alpha}^l - \omega_1^l (e_o^{1*})_{\alpha}^l}{\omega_2^l} \quad 25$$

$$(e_o^{2*})_{\alpha}^u = \frac{(e_o^*)_{\alpha}^u - \omega_1^u (e_o^{1*})_{\alpha}^u}{\omega_2^u} \quad 26$$

با همین رویه می‌توان فرمول‌بندی ۱۷ را (حالتیکه استیج دوم بر استیج اول اولویت دارد) به حالت قطعی تبدیل کرد.

مطالعه موردی: خطوط هوایی ایران

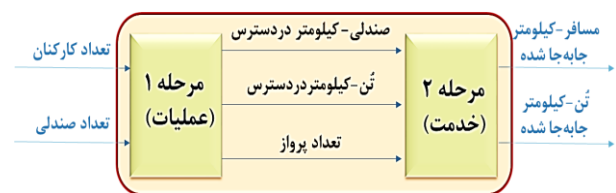
صنعت هوانوردی یکی از ایمن‌ترین و آسان‌ترین راه‌های حمل و نقل است که تاثیر زیادی بر رشد اقتصادی کشور دارد. طی سال‌های گذشته تغییرات زیادی در عملکرد مالی و عملیاتی شرکت‌های هواپیمایی رخ داده است. به عنوان مثال، تصمیمات مدیریت عملیاتی و مالی غیرقابل قبول می‌تواند بر هزینه‌های داخلی تأثیر بگذارد بطوری‌که در صورت عدم رسیدگی مناسب می‌تواند باعث اعلام ورشکستگی شرکت هواپیمایی شود [۴۴]. برای حل این مشکلات، ارزیابی کارایی عملکرد مالی و عملیاتی شرکت‌های هواپیمایی می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد [۱۵].

جدول ۱ - داده‌های خطوط هوایی ایران (ورودی‌ها)

ورودی‌ها		
DMU	تعداد کارکنان	تعداد صندلی
ایران ایر	۱۱۱۱۸	۲۶۹۴۶۹۴
ایرتور	۶۸۳	۱۴۷۱۱۵۱
آتا	۶۰۶	۲۱۳۴۴۳۵
اترک	۲۲۵	۱۷۵۸۳۵
آسمان	۳۱۵۸	۲۵۷۸۷۶۰
تابان	۸۲۳	۱۵۳۵۹۵۰
زاگرس	۶۸۴	۲۵۹۸۲۴۰
پویایر	۱۰۳	۲۱۴۴۰
قشم ایر	۸۳۲	۹۴۰۴۱۶
کاسپین	۵۳۹	۱۳۱۹۳۸۶
کیش ایر	۸۲۶	۱۸۴۳۶۸۲
ماهان	۴۳۶۳	۳۷۸۳۴۳۰
معراج	۳۳۴	۳۶۳۶۴۰
نفت	۵۹۰	۸۱۳۸۳۰

انجام شده و همچنین تن-کیلومتر انجام شده به عنوان خروجی انتخاب شده است [۳۵].

در این پژوهش، بر مبنای ادبیات موجود و داده‌های رسمی قابل دسترس، تعداد صندلی ناوگان و تعداد کارکنان هر خط هوایی، به عنوان ورودی مرحله اول در نظر گرفته می شود. صندلی-کیلومتر و تن-کیلومتر موجود و تعداد پروازهای برنامه‌ریزی شده در این شبکه به عنوان متغیرهای میانی بین مراحل عملیات و خدمات و همچنین مسافر-کیلومتر و تن-کیلومتر جابه‌جا شده به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند. ساختار شبکه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ - ساختار شبکه دومرحله‌ای خطوط هوایی

جدول ۲ - داده‌های خطوط هوایی ایران (مقادیر میانی)

DMU	مقادیر میانی		
	تعداد پرواز	تُن-کیلومتر در دسترس	صندلی-کیلومتر در دسترس
ایران ایر	۲۰۲۱۲	۲۱۰۵۴۲	۱۸۳۸۹۲۳
ایرتور	۹۴۳۹	۱۰۹۱۷۱	۱۲۱۶۰۲۶
آتا	۱۳۲۹۴	۱۳۵۹۶۹	۱۳۷۱۵۹۷
اترک	۱۰۰۹	۱۵۴۶۸	۱۵۳۷۹۴
آسمان	۲۵۶۹۷	۱۸۱۹۵۴	۱۹۲۵۵۲۴
تابان	۱۰۲۲۵	۱۲۴۲۳۳	۱۲۴۸۹۹۶
زاگرس	۱۶۲۳۹	۲۲۱۰۹۳	۲۲۱۰۹۵۱
پویایر	۵۶۷	۴۴۱۹۰	۱۱۵۰۹
قشم ایر	۹۹۱۳	۵۶۳۲۹	۶۶۲۶۲۶
کاسپین	۸۸۴۹	۱۳۱۰۵۷	۱۰۷۰۳۹۸
کیش ایر	۱۴۰۰۵	۱۶۶۲۱۳	۱۵۱۷۸۴۷
ماهان	۲۰۷۳۰	۵۱۸۰۸۴	۳۲۹۵۲۶۷
معراج	۲۱۶۴	۳۰۴۴۷	۲۶۳۱۹
نفت	۱۰۲۲۵	۴۸۸۱۴	۴۹۳۱۶۳

داده‌ها

داده های تجربی برای ۱۴ شرکت هواپیمایی ایران در سال ۲۰۱۴ از سازمان هواپیمایی کشوری ایران جمع آوری شده است. این خطوط شامل خطوط هوایی ایران ایر ، ایران ایرتور ، آتا ، اترک ، آسمان ، تابان ، زاگرس ، پویایر ، قشم ایر، کاسپین ، کیش ایر ، ماهان ، معراج و نفت می‌باشند. مجموعه داده ها در جدول های ۱، ۲ و ۳ گزارش شده است.

قابل توجه است که داده های مربوط به شاخص های مالی مانند هزینه سوخت، دستمزد کارمندان ، درآمد ، سود ، هزینه تجهیزات پرواز ، هزینه تعمیرات و نگهداری ، هزینه های عملیاتی و غیره در کتاب‌های سال آماری سازمان حمل و نقل هوایی ایران وجود ندارد. بنابراین ، در انتخاب شاخص ها ، عوامل مالی نادیده گرفته شده اند زیرا داده ها در دسترس نیستند. اگر داده های مالی در دسترس بود ، نتایج دقیق تری از محاسبه راندمان هواپیمایی بدست می آید.

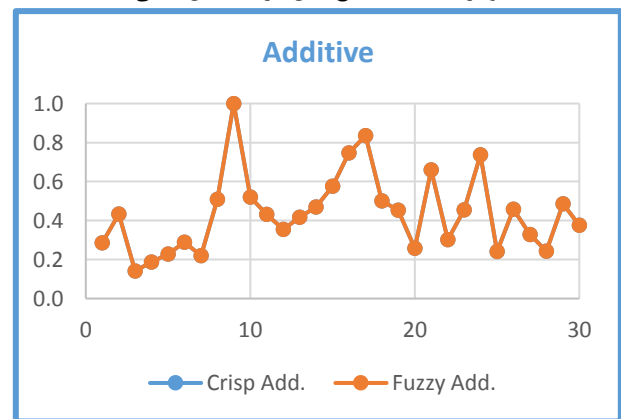
جدول ۳- داده‌های خطوط هوایی ایران (خروجی‌ها)

DMU	خروجی‌ها	
	مسافر- کیلومتر جابه‌جا شده	تن- کیلومتر جابه‌جا شده
ایران ایر	۱۵۱۱۱۰۰	۱۵۵۷۸۱
ایرتور	۱۰۶۸۵۲۴	۹۶۱۶۴
آنا	۱۱۸۳۰۸۶	۱۳۰۲۶۸
اترک	۱۲۲۵۱۴	۱۳۰۷۹
آسمان	۱۶۸۲۷۵۱	۱۵۲۳۸۲
تابان	۱۱۶۱۵۱۲	۱۱۳۵۶۹
زاگرس	۱۵۵۹۲۸۶	۱۴۱۸۹۴
پویا ایر	۸۸۶۰	۱۷۰۴۳
قشم ایر	۵۵۶۸۵۹	۴۷۲۱۲
کاسپین	۸۶۱۴۴۱	۸۹۱۳۹
کیش ایر	۱۲۶۰۰۴۹	۱۲۶۹۴۹
ماهان	۲۵۹۱۷۶۹	۲۳۴۹۰۷
معراج	۱۸۶۷۹	۲۳۳۰۴
نفت	۳۹۵۳۳۴	۳۴۸۰۸

اعتبارسنجی مدل‌ها

مدل دومرحله‌ای تجزیه جمعی فازی ارائه شده با استفاده از داده‌ها و نتایج موجود در مقاله [۲۲] مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. مقادیر به دست آمده از حل مدل فازی ارائه شده (جدول ۴) نشان می‌دهند که این مدل فازی، نتایج یکسانی را در مقایسه با مدل قطعی موصوف، ارائه می‌دهد (نمودار ۱).

نمودار ۱: مقایسه نتایج مدل فازی با مدل قطعی



لذا از مدل پیشنهادی برای محاسبه کارایی ۱۴ شرکت هواپیمایی که داده‌های آن‌ها در بخش قبل آورده شده است (جدول ۱ تا ۳)، استفاده می‌شود. البته این داده‌ها قطعی هستند و برای فازی کردن آن‌ها از مفهوم داده‌های فازی مثلثی کمک گرفته شده است، بطوریکه مقدار داده‌های جدول به عنوان

۱	۴۶۸۵	۴۹۳۱	۵۱۷۸	۴۶۳۷	۴۸۸۱	۵۱۲۵	۹۷۴	۱۰۲۵	۱۰۷۶
۴	۰۴	۶۳	۲۱	۳	۴	۴	۲	۵	۸

جدول ۷ - داده‌های فازی خطوط هوایی ایران (خروجی‌ها)

DMU	Y1			Y2		
	L	M	U	L	M	U
۱	۱۴۳۵۴۵	۱۵۱۱۱۰۰	۱۵۸۶۶۵۵	۱۴۷۹۹۲	۱۵۵۷۸۱	۱۶۳۲۷۰
۲	۱۰۱۵۰۹۷	۱۰۶۸۵۲۴	۱۱۲۱۹۵۰	۹۱۳۵۵	۹۶۱۶۴	۱۰۰۹۷۳
۳	۱۱۲۳۹۳۱	۱۱۸۳۰۸۶	۱۲۴۲۲۴۰	۱۲۳۷۵۴	۱۳۰۲۶۸	۱۳۶۷۸۱
۴	۱۱۶۳۸۸	۱۲۳۵۱۴	۱۲۸۶۳۹	۱۲۴۲۵	۱۳۰۷۹	۱۳۷۳۲
۵	۱۵۹۸۶۱۳	۱۶۸۳۷۵۱	۱۷۶۶۸۸۸	۱۴۴۷۶۲	۱۵۲۳۸۲	۱۶۰۰۰۱
۶	۱۱۰۳۳۲۶	۱۱۶۱۵۱۲	۱۲۱۹۵۸۷	۱۰۷۸۹۰	۱۱۳۵۶۹	۱۱۹۲۲۷
۷	۱۴۸۱۳۲۱	۱۵۵۹۲۸۶	۱۶۳۷۲۵۰	۱۳۴۷۹۹	۱۴۱۸۹۴	۱۴۸۹۸۸
۸	۸۴۱۷	۸۸۶۰	۹۳۰۳	۱۶۱۹۰	۱۷۰۴۳	۱۷۸۹۵
۹	۵۲۹۰۱۶	۵۵۶۸۵۹	۵۸۴۷۰۱	۴۴۸۵۱	۴۷۲۱۲	۴۹۵۷۳
۱۰	۸۱۸۳۶۸	۸۶۱۴۴۱	۹۰۴۵۱۳	۸۴۶۸۲	۸۹۱۱۹	۹۳۵۹۵
۱۱	۱۱۹۷۰۴۶	۱۲۶۰۰۴۹	۱۳۳۰۰۵۱	۱۲۰۶۰۱	۱۲۶۹۴۹	۱۳۳۲۹۶
۱۲	۲۴۶۲۱۸۰	۲۵۹۱۷۶۹	۲۷۲۱۲۵۷	۲۳۳۱۶۱	۲۳۴۹۰۷	۲۴۶۶۵۲
۱۳	۱۷۷۴۵	۱۸۶۷۹	۱۹۶۱۲	۲۲۱۳۸	۲۳۰۰۴	۲۴۴۶۹
۱۴	۳۷۵۵۶۷	۳۹۵۳۳۴	۴۱۵۱۰۰	۳۳۰۶۷	۳۴۸۰۸	۳۶۵۴۸

نتایج

در این بخش نتایج حاصل از حل مدل قطعی و فازی پیشنهادی بر روی داده‌های خطوط هوایی مورد نظر ارائه شده است. ابتدا مدل قطعی برای محاسبه امتیازات کارایی خطوط هوایی استفاده می‌شود. سپس، با استفاده از مدل فازی پیشنهادی، امتیازات بازده کلی خطوط هوایی محاسبه می‌شود. جدول ۸ نتایج مدل دومرحله‌ای تجزیه جمعی را برای ۱۴ شرکت هواپیمایی نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از حل مدل های قطعی و فازی، نشان می‌دهند که خطوط هوایی پویا، تابان و ایرتور در مقایسه با دیگر خطوط هوایی دارای کارایی کل بهتری بوده‌اند. اگرچه تنها خط هوایی کارا با بازدهی ۱، تابان می‌باشد. این در حالی است که خط هوایی نفت با کارایی ۰/۷۷ در مقایسه با دیگران از بازده کمتری برخوردار بوده است.

نتایج همچنین بیانگر این موضوع هستند که در صورتی که مدل های قطعی و فازی اولویت را به مرحله اول یعنی عملیات بدهند، ۴ خط هوایی اترک، زاگرس، پویا و ماهان کاملا کارا بوده و خطوط هوایی نفت، آنا و ایران ایر وضعیت بدتری نسبت به دیگر خطوط هوایی دارا هستند. این در حالی است که در صورتی

بیشترین مقدار ممکن در نظر گرفته شده‌اند و با حد اضافه و کم کردن ۵٪ به این مقادیر حد بالا و پایین اعداد فازی تعیین شده- اند(جداول ۵ تا ۷) البته به جهت زیبایی جداول اعشار اعداد حذف شده ولی در محاسبات اعمال شده اند..

جدول ۵ - داده‌های فازی خطوط هوایی ایران (ورودی‌ها)

DMU	X1			X2		
	L	M	U	L	M	U
۱	۱۰۵۶۲	۱۱۱۱۸	۱۱۶۴۷	۲۵۵۹۹۵۹	۲۶۹۴۶۹۴	۲۸۲۹۴۲۹
۲	۹۴۹	۶۸۳	۷۱۷	۱۳۹۷۹۵۳	۱۴۷۱۱۵۱	۱۵۴۴۷۰۹
۳	۵۷۶	۶۰۶	۶۳۶	۲۰۲۷۷۱۳	۲۱۳۴۴۳۵	۲۲۴۱۱۵۷
۴	۲۱۴	۲۲۵	۲۳۶	۱۶۷۰۴۳	۱۷۵۸۳۵	۱۸۴۶۲۶
۵	۳۰۰۰	۳۱۵۸	۳۳۱۵	۲۴۴۹۸۸۲	۲۵۷۸۷۶۰	۲۷۰۷۶۹۸
۶	۷۸۲	۸۲۳	۸۷۳	۱۴۵۹۱۵۳	۱۵۳۵۹۵۰	۱۶۱۲۷۴۸
۷	۶۵۰	۶۸۴	۷۱۸	۲۴۶۸۳۲۸	۲۵۹۸۲۴۰	۲۷۲۸۱۵۲
۸	۹۸	۱۰۳	۱۰۸	۲۰۳۶۸	۲۱۴۴۰	۲۲۵۱۲
۹	۷۹۰	۸۳۲	۸۷۳	۸۹۳۳۹۵	۹۴۰۴۱۶	۹۸۷۴۳۶
۱۰	۵۱۲	۵۳۹	۵۶۵	۱۲۵۳۴۱۷	۱۳۱۹۳۸۶	۱۳۸۵۳۵۵
۱۱	۷۸۵	۸۲۶	۸۶۷	۱۴۵۱۴۹۸	۱۴۴۳۶۸۲	۱۹۳۵۸۶۶
۱۲	۴۱۴۵	۴۳۶۳	۴۵۸۱	۳۵۹۳۳۰۹	۳۷۸۲۴۴۰	۳۹۷۱۵۵۲
۱۳	۳۱۷	۳۳۴	۳۵۰	۳۴۵۴۵۸	۳۶۳۶۴۰	۳۸۱۸۲۲
۱۴	۵۶۱	۵۹۰	۶۱۹	۷۷۱۳۸	۸۱۳۸۳۰	۸۵۴۵۲۱

جدول ۶ - داده‌های فازی خطوط هوایی ایران (مقادیر میانی)

DMU	Z1			Z2			Z3		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U
۱	۱۷۴۶	۱۸۳۸	۱۹۳۰	۳۰۰۰	۳۱۰۵	۳۲۱۰	۱۹۲	۲۰۲۱	۲۱۲۲
۲	۹۷۷	۹۲۳	۸۶۹	۱۵	۴۲	۶۹	۰۱	۲	۳
۳	۱۱۵۵	۱۲۱۶	۱۲۷۶	۱۰۳۷	۱۰۹۱	۱۱۴۶	۸۹۶	۹۴۳۹	۹۹۱۱
۴	۲۲۴	۰۲۶	۸۲۷	۱۲	۷۱	۲۹	۷	۴	۹
۵	۱۳۰۳	۱۳۷۱	۱۴۴۰	۱۲۹۱	۱۳۵۹	۱۴۲۷	۱۲۶	۱۳۲۹	۱۳۹۵
۶	۰۱۷	۵۹۷	۱۷۶	۷۰	۶۹	۶۷	۲۹	۴	۹
۷	۱۴۶۱	۱۵۳۷	۱۶۱۴	۱۴۶۹	۱۵۴۶	۱۶۲۴	۹۵۹	۱۰۰۹	۱۰۵۹
۸	۰۴	۹۴	۸۳	۴	۸	۱	۱	۱	۱
۹	۱۸۲۹	۱۹۲۵	۲۰۲۱	۱۷۲۸	۱۸۱۹	۱۹۱۰	۲۴۴	۲۵۶۹	۲۶۹۸
۱۰	۲۴۷	۵۲۴	۸۰۰	۵۶	۵۶	۵۱	۱۲	۷	۲
۱۱	۱۱۸۶	۱۲۴۸	۱۳۱۱	۱۱۸۰	۱۲۴۲	۱۳۰۴	۹۷۱	۱۰۲۲	۱۰۷۳
۱۲	۵۴۶	۹۹۶	۴۴۵	۲۱	۳۳	۴۴	۴	۵	۶
۱۳	۲۱۰۰	۲۲۱۰	۲۳۲۱	۲۱۰۰	۲۲۱۰	۲۳۲۱	۱۵۴	۱۶۲۳	۱۷۰۵
۱۴	۴۰۳	۹۵۱	۴۹۸	۳۸	۹۳	۴۷	۲۷	۹	۱
۱	۱۰۹۳	۱۱۵۰	۱۲۰۸	۴۱۹۸	۴۴۱۹	۴۶۳۹	۵۳۹	۵۶۷	۵۹۵
۲	۳	۹	۴	۰	۰	۹	۵۳۹	۵۶۷	۵۹۵
۳	۶۲۹۴	۶۶۲۶	۶۹۵۷	۵۳۵۱	۵۶۲۳	۵۹۱۴	۹۴۱	۹۹۱۳	۱۰۴۰
۴	۹۴	۲۶	۵۷	۲	۹	۵	۷	۹	۹
۵	۱۰۱۶	۱۰۷۰	۱۱۲۳	۱۲۴۵	۱۳۱۰	۱۳۷۶	۸۴۰	۸۸۴۹	۹۲۹۱
۶	۸۷۸	۳۹۸	۹۱۷	۰۴	۵۷	۰۹	۷	۷	۷
۷	۱۴۴۱	۱۵۱۷	۱۵۹۳	۱۵۷۹	۱۶۶۲	۱۷۴۵	۱۳۳	۱۴۰۰	۱۴۷۰
۸	۹۵۴	۸۴۷	۷۳۹	۰۲	۱۳	۲۳	۰۵	۵	۵
۹	۳۱۰۳	۳۲۹۵	۳۴۶۰	۴۹۲۱	۵۱۸۰	۵۴۳۹	۱۹۶	۲۰۷۳	۲۱۶۶
۱۰	۵۰۳	۲۶۷	۰۳۰	۴۵	۴۸	۵۰	۹۴	۰	۷
۱	۲۵۰۰	۲۶۳۱	۲۷۶۳	۲۸۹۵	۳۰۳۷	۳۲۰۰	۲۰۵	۲۱۶۴	۲۲۷۲
۲	۳	۹	۴	۳	۷	۰	۶	۶	۶

است که اگر اولویت به مرحله دوم یعنی خدمات اختصاص یابد، خطوط هوایی معراج، پویا و تابان دارای بازدهی کامل بوده و به عبارتی کارا هستند. در حالی که در این حالت، زاگرس وضعیت نامناسب‌تری نسبت به بقیه دارد.

لازم به ذکر است که تنها خط هوایی که در همه ابعاد کاملا کارا بوده، خط هوایی تابان است.

جدول ۸ - نتایج مدل دوم مرحله‌ای تجزیه جمعی

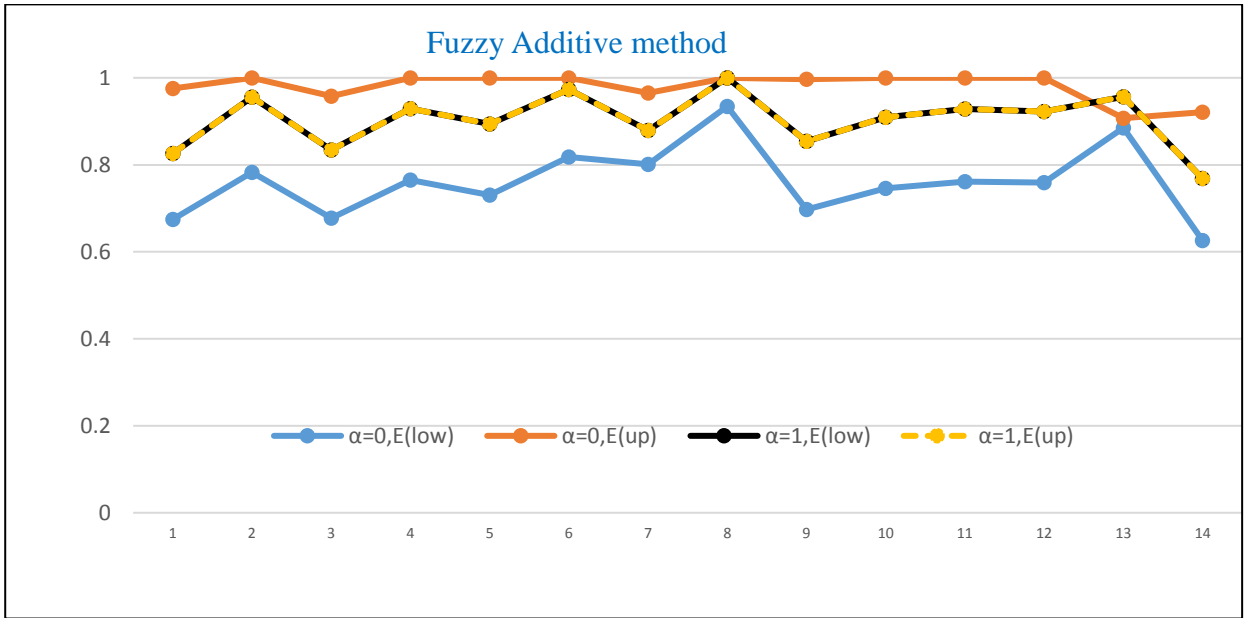
	E _{ff}	E1 _{Max}	E2	E2 _{Max}	E1
ایران ایر	۰/۸۳	۰/۷۸۵	۰/۸۸۹	۰/۸۸۲	۰/۷۷۹
ایرتور	۰/۹۶	۰/۹۷۲	۰/۹۴۸	۰/۹۴۳	۰/۹۷۰
آنا	۰/۸۳	۰/۷۳	۱/۰۰	۰/۹۹۷	۰/۷۲
اترک	۰/۹۳	۱/۰۰	۰/۸۶۴	۰/۸۶۱	۰/۹۹۹
آسمان	۰/۸۹	۰/۸۶۵	۰/۹۴۸	۰/۵۴۱	۰/۸۴۳
تابان	۰/۹۷	۰/۹۵۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵۳
زاگرس	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۷۶۸	۰/۷۶۲	۰/۹۸۸
پویاباير	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
قشم ایر	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۹۰۹	۰/۹۰۱	۰/۸۱
کاسپین	۰/۹۱	۰/۹۵۵	۰/۸۷۷	۰/۸۷۲	۰/۹۵۱
کیش ایر	۰/۹۳	۰/۹۶۸	۰/۸۹۸	۰/۸۹۵	۰/۹۶۲
ماهان	۰/۹۲	۱/۰۰	۰/۸۵۶	۰/۸۵	۱/۰۰
معراج	۰/۹۵	۰/۸۲۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۲۳
نفت	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۸۶۶	۰/۸۶۲	۰/۷۰

نتایج حل مدل‌ها در هر دو حالت قطعی و فازی بیانگر این موضوع هستند که وزن‌های اتخاذ شده در مدل، تاثیر زیادی بر خروجی مدل‌ها دارند. چرا که با مقایسه نتایج حاصل از داده‌های مختلف مشخص می‌گردد که در صورتی که اولویت با هر کدام از استیج‌ها باشد، میزان کارایی محاسبه شده ماکزیمم آن استیج فقط کمی بیشتر از بقیه حالاتی است که استیج دیگر در اولویت است. برای روشن شدن موضوع برای مثال دقت شود به نتایج جدول ۸ که در سطر اول برای خط هوایی ایران ایر، در صورتی که اولویت با مرحله اول باشد، E1_{Max} برابر ۰/۷۸۵ و در صورتی که اولویت با مرحله دوم باشد، برابر ۰/۷۷۹ شده است، که اختلاف کمی را نشان می‌دهد. این در حالی است که برای بعضی خطوط هوایی دیگر حتی اختلاف به همین مقدار هم نمی‌رسد و در بعضی موارد حتی یکسان است (کاسپین یا پویاباير). به همین ترتیب می‌توان برای حالت دوم نیز این را مشاهده نمود.

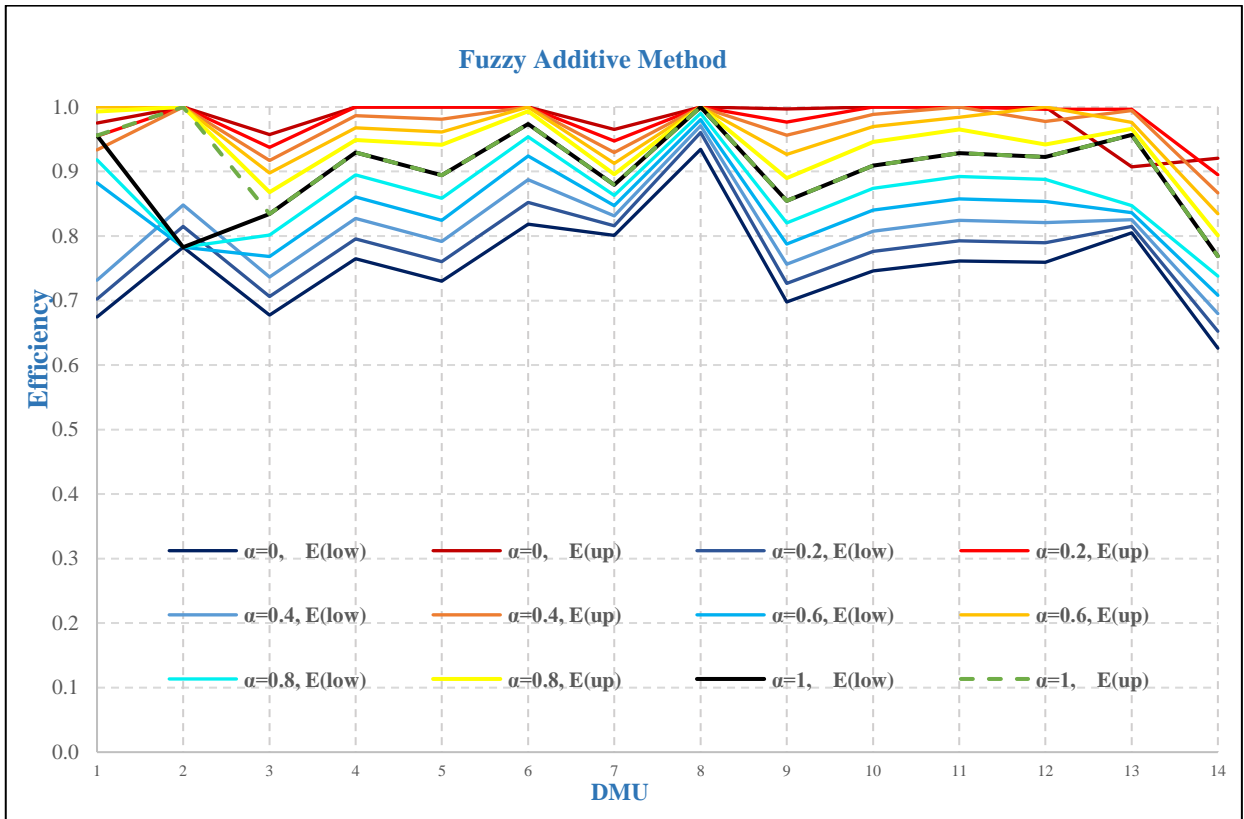
در حل مدل‌ها با توجه به اینکه ابتدا کارایی کل محاسبه می‌شود و در مرحله بعد به صورت محدودیت به مدل اضافه می‌گردد، مشاهده می‌شود که کارایی استیج دارای اولویت در مواردی از کارایی کل بیشتر شده است (ایرتور، اترک، زاگرس و...). نکته حائز اهمیت در این رویکرد حل مدل این است که در مواردی مشاهده می‌شود با اینکه اولویت با مثلا مرحله اول بوده است، کارایی بدست آمده برای مرحله دوم از ماکزیمم حالت مرحله اول بیشتر بوده که اتفاقا نکته قوت مدل بوده و بیانگر این موضوع است که هر مرحله تابع داده‌های خود است و لزوما حداکثر کردن هر مرحله به کاهش کارایی و تضعیف مرحله دیگر نمی‌انجامد. مثلا به خط هوایی ایران ایر نگاه کنید. نتایج نشان می‌دهند در حالتی که اولویت با مرحله اول است، کارایی مرحله دوم از حداکثر کارایی بدست آمده مرحله اول بیشتر است. البته این موضوع با منطق کلی تحلیل پوششی داده‌ها نیز سازگار است. چرا که ما در مدل‌ها به دنبال حداکثر کردن کارایی در هر مرحله هستیم.

لازم به ذکر است که نتایج حاصل از مدل فازی در برش آلفا برابر ۱، با نتایج حاصل از مدل قطعی مقایسه و نتایج یکسانی را نشان می‌دهد که این هم دلیلی بر صحت مدل فازی ارائه شده است (نمودارهای ۲ و ۳).

نمودار ۲: نتایج مدل فازی در آلفای صفر و یک



نمودار ۳: نتایج مدل فازی در برش های متفاوت



نتیجه گیری

با توجه به اهمیت روزافزون ارزیابی و محاسبه کارایی فرایندهای مختلف در حال جریان در شرکت های هواپیمایی، در نظر گرفتن کل شرکت به عنوان جعبه سیاه و صرفنظر کردن از مقادیر میانی و فرایندهای مختلف، ارزیابی دقیقی به همراه نخواهد داشت. به عبارتی در دنیای واقعی، ساختار یک DMU (مثل شرکت هواپیمایی) ممکن است شامل چندین فرآیند متصل باشد، در حالی که تحلیل پوششی داده ها استاندارد فقط ورودی ها و خروجی های آنها را در ارزیابی در نظر می گیرد که این امر باعث می شود که روابط فرآیند داخلی نادیده گرفته شوند. از طرفی در دنیای واقعی به دلیل پیچیدگی سیستم، عدم قطعیت ها و ابهام های مختلف داده ها "صرفاً قطعی" نمی باشند. لذا استفاده از مدل های قطعی کافی به نظر نمی رسد. از این رو مدل ارائه شده در این مقاله تحت عنوان مدل دو مرحله ای فازی تجزیه جمعی با رویکرد جدیدی که به تفصیل توضیح داده شد، ارائه گردید تا هم مشکل مقادیر میانی و لحاظ کردن فرایندهای مختلف خدمات، عملیات و ... را پوشش دهد هم ناتوانی مدل های قطعی در عدم پاسخگویی به ابهامات دنیای واقعی را بر طرف نماید. نتایج نشان دادند که این مدل ضمن پاسخگویی قابل قبول به موارد اشاره شده این قابلیت را دارد که از جهات مختلف نیز تعمیم یابد.

برای نشان دادن قابلیت مدل فازی پیشنهادی، کارایی خطوط هوایی ایران در دو مرحله محاسبه شد. بر اساس نتایج نشان داده در جداول و توضیحات ارائه شده در مرحله قبل تابان به عنوان بهترین ایرلاین انتخاب گردید. نفت ایر کمترین راندمان کلی را در بین شرکت های هواپیمایی داشت و این راندمان پایین با عملکرد ضعیف آن در مرحله عملیات ارتباط تنگاتنگی دارد. همچنین مدل فازی پیشنهادی می تواند نشان دهد که یک شرکت هواپیمایی چقدر می تواند عملکرد خود را در شرایط مطلوب بهبود بخشد. مدیران خطوط هوایی می توانند بخش های ناکارآمد را شناسایی کرده و با ارزیابی کارایی های مرحله، آنها را بهبود بخشند. آزادسازی و خروج از ساختار دولتی، گردشگری داخلی و خارجی، عامل انسانی کارآمد، اعتماد مشتری، هزینه های اصلاحات ساختاری، مدیریت زیرساخت و فرودگاه، آشتی با دانش هوانوردی، خدمات مشتری، شبکه هواپیما و پرواز بهینه،

ساختار دستوری حاکمیتی، خدمات فروش بهینه مدیریت، عدم فشار تحریم ها و توسعه فرهنگی اجتماعی از عواملی است که زمینه را برای فعالیت شرکت های حمل و نقل ارزان قیمت در ایران فراهم می کند.

یکی از محدودیت های اصلی این تحقیق این است که به منظور محرمانه بودن، ما به ورودی های دیگر مانند داده های مربوط به شاخص های مالی دسترسی نداریم. از سوی دیگر، در این مطالعه موردی، از آنجایی که سایر شرکت های هواپیمایی اطلاعات سالانه ارائه نکرده بودند، تنها چهارده شرکت هواپیمایی برای تحلیل در نظر گرفته شده اند. اگر مجموعه بزرگ تری از شرکت های هواپیمایی با داده های مالی در دسترس بود، نتایج دقیق تری از محاسبه کارایی خطوط هوایی به دست می آمد. البته با قدرت و قابلیت مدل ارائه شده این امکان وجود دارد. به عبارتی خللی بر مدل وارد نمی شود.

پیشنهادها

با توجه به قابلیت و توانایی مدل، استفاده از آن در محاسبه کارایی و ارزیابی صنایع مختلفی که در آنها فرایندهای متفاوت ولی در عین حال در راستای یک هدف در حال انجام هستند، پیشنهاد می گردد. از طرفی می توان با نگاه از زاویه دیگر این مدل را متناسب با نوع فرایندها، ترجیحات و اهمیت ها در صنایع مختلف، با رویکردهای جدیدی حل نمود. به عنوان مثال با تغییر در مدل می توان ترجیحاتی نظیر ترجیح در کارایی کل بر کارایی فرایندها یا برعکس را متناسب با نوع صنعت به کار برد. از طرفی می توان به جای رویکرد تجزیه جمعی، مدل را با رویکرد تجزیه مضربی، نظریه بازی ها، کمینه-بیشینه، ارتباط ضعیف و ... حل نمود. این خود دلیلی بر قدرت مدل ارائه شده می باشد. استفاده از رویکردهای مختلف و بدست آوردن نتایج امکان مقایسه آنها را با هم فراهم می سازد. مزیت این کار این است که می توان ضمن ارائه یک پاره تو فرضیات مختلفی را مطرح نموده و نتایج را پیش بینی نمود. به عنوان نمونه می توان به این نتیجه رسید که حداقل و حداکثر کارایی توسط کدام رویکرد به دست می آید. این امر باعث می شود که برنامه ریزی و پیش بینی آینده صنعت، شرکت و یا در کل واحد تصمیم گیری مورد نظر، با اشراف اطلاعاتی مناسب تری صورت پذیرد.

پی نوشت ها

- [5].D. Yu, and X. He, "A bibliometric study for DEA applied to energy efficiency: Trends and future challenges," *Applied Energy*, Vol. 268, pp. 115048, 2020.
- [6].Q. Cui, and L.-T. Yu, "A review of data envelopment analysis in airline efficiency: state of the art and prospects," *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 21, pp. 1-13, 2021.
- [7].R. Färe, and D. Primont, "Efficiency measures for multiplant firms," *Operations Research Letters*, Vol. 3, pp. 257-260, 1984.
- [8].A. Charnes, "Data Envelopment Analysis Approaches to Policy Evaluation and Management of Army Recruiting Activities I, Tradeoffs Between Joint Services and Army Advertising,: *Research Report CCS 532*, Vol. 5, pp. 135-143, 1984.
- [9].R. Fare, and S. Grosskopf, "Network DEA," *Socio Economics Planning Science*, Vol. 4, pp. 35-49, 2000.
- [10].D.k. Despotis, G. Koronakos, and D. Sotiros, "Composition versus decomposition in two-stage network DEA: a reverse approach," *Journal of productivity Analysis*, Vol. 45, pp. 71-87, 2016.
- [11].P.J. Agrell, and A. Hatami-Marbini, "Frontier-based performance analysis models for supply chain management: State of the art and research directions," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 66, pp. 567-583, 2013.
- [12].L. Castelli, R. Pesenti, and W. Ukovich, "A classification of DEA models when the internal structure of the decision making units is considered," *Annals of Operations Research*, Vol. 173, pp. 207-235, 2010.
- [13].G.E. Halkos, N.G. Tzeremes, and S.A. Kourtzidis, "A unified classification of two-stage DEA models," *Surveys in operations*

1. Data Envelopment Analysis (DEA)
2. Decision Making Units (DMUs)
3. Network DEA (NDEA)
4. measures
5. Standard DEA
6. Black Box
7. Two-Stage
8. Fuzzy logic
9. fuzzy numbers
10. Tolerance method
11. defuzzification
12. multiplicative efficiency decomposition
13. composition paradigm
14. Min-max method
15. weak-link
16. ASEAN-5
17. Fuzzy NDEA(FNDEA)
18. overall efficiency
19. individual efficiency
20. Most possible value
21. validation
22. Dual form
23. lexicographic optimization
24. Fuzzy Multi Attribute Decision Making (FMADM)

منابع و مراجع

- [1].M. J. Farrell, "The measurement of productive efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, vol. 120, pp. 253-281, 1957.
- [2].A. Mardani, "A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 70, pp. 1298-1322, 2017.
- [3].A. Emrouznejad, and G.-l. Yang, "A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016," *Socio-economic planning sciences*, Vol. 61, pp. 4-8, 2018.
- [4].H. Yu, "A comparative study of airline efficiency in China and India: A dynamic network DEA approach," *Research in Transportation Economics*, Vol. 76, pp. 123-136, 2019.

- Naval Research Logistics (NRL)*, Vol. 55, pp. 643-653, 2008.
- [22].D. K. Despotis, D. Sotiros, and G. Koronakos, "A network DEA approach for series multi-stage processes," *Omega*, Vol. 61, pp. 35-48, 2016.
- [23].D.K. Despotis, G. Koronakos, and D. Sotiros, "The "weak-link" approach to network DEA for two-stage processes," *European Journal of Operational Research*, Vol. 254, pp. 481-492, 2016.
- [24].Q. Cui, "A data-based comparison of the five undesirable output disposability approaches in airline environmental efficiency," *Socio-Economic Planning Sciences*,. Vol. 74, pp. 10093. 2021.
- [25].O. Mhlanga, J. Steyn, and J. Spencer, "The airline industry in South Africa: drivers of operational efficiency and impacts," *Tourism Review*, Vol. 73. pp. 389-400, 2018.
- [26].F. Shirazi, and E. Mohammadi, "Evaluating efficiency of airlines: A new robust DEA approach with undesirable output," *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 33, p. 100467, 2019.
- [27].A. Saini, D. Truong, and J.Y. Pan, "Airline efficiency and environmental impacts–Data envelopment analysis," *International Journal of Transportation Science and Technology*, Vol. 12, pp.335-353, 2022.
- [28].Y.H. Ling, "Productivity and efficiency modeling amongst ASEAN-5 airline industries," *International Journal of advanced and applied sciences*,. Vol. 5, pp. 47-57, 2018.
- [29].C. Kao, "Exploring the Influence of Corporate Social Responsibility on Efficiency: An Extended Dynamic Data Envelopment Analysis of the Global Airline research and management science, Vol. 19, pp. 1-16, 2014.
- [14].C. Kao, "Network data envelopment analysis: A review," *European journal of operational research*, Vol. 239, pp. 1-16, 2014.
- [15].C. Heydari, H. Omrani, and R. Taghizadeh, "A fully fuzzy network DEA-Range Adjusted Measure model for evaluating airlines efficiency: A case of Iran," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 89, pp. 101923, 2020.
- [16].M. Alavidooost, H. Babazadeh, and S. Sayyari, "An interactive fuzzy programming approach for bi-objective straight and U-shaped assembly line balancing problem," *Applied soft computing*, Vol. 40, pp. 221-235, 2016.
- [17].M. Alavidooost, "Assembly line balancing problems in uncertain environment, a novel interactive fuzzy approach for solving multi-objective fuzzy assembly line balancing problems," LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017.
- [18].F. B. Mariz, M.R. Almeida, and D. Aloise, "A review of dynamic data envelopment analysis: state of the art and applications," *International Transactions in Operational Research*, Vol. 25, pp. 469-505, 2018.
- [19].Y. Chen, "Additive efficiency decomposition in two-stage DEA," *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, pp. 1170-1176. 2009.
- [20].C. Kao, and S.-N. Hwang, "Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan," *European journal of operational research*, Vol. 185, pp. 418-429, 2008.
- [21].L. Liang, W.D. Cook, and J. Zhu, "DEA models for two-stage processes: Game approach and efficiency decomposition,"

- separable inputs disposability Range Adjusted Measure models,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 320, pp. 128844, 2021.
- [38].G. Koronakos, D. Sotiros, and D.K. Despotis, “Reformulation of Network Data Envelopment Analysis models using a common modelling framework,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 278, pp. 472-480, 2019.
- [39].M. Alavidoost, M. Tarimoradi, and M.F. Zarandi, “Fuzzy adaptive genetic algorithm for multi-objective assembly line balancing problems,” *Applied soft computing*, Vol. 34, pp. 655-677, 2015.
- [40].H. Ebrahimzadeh Shermeh, M.H. Alavidoost, and R. Darvishinia, “Evaluating the efficiency of power companies using data envelopment analysis based on SBM models: a case study in power industry of Iran,” *Journal of applied research on industrial engineering*, Vol. 5, pp. 286-295, 2018.
- [41].L.A. Zadeh, “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility,” *Fuzzy sets and systems*, Vol. 1, pp. 3-28, 1978.
- [42].C. Kao, and S.-T. Liu, “Efficiencies of two-stage systems with fuzzy data,” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 176, pp. 20-35, 2011.
- [43].M. Nabahat, “Two-stage DEA with Fuzzy Data,” *International Journal of Applied Operational Research*, Vol. 5, pp. 51-61, 2015.
- [44].P.J.G. Pineda, “An integrated MCDM model for improving airline operational and financial performance,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 68, pp. 103-117, 2018.
- [45].M. Tavassoli, G.R. Faramarzi, and R.F. Saen, “Efficiency and effectiveness in airline performance using a SBM-NDEA Industry,” *Sustainability*, Vol. 14, p. 12712, 2022.
- [30].N.S.Y. Ali, C. Yu, and K.F. See, “Four decades of airline productivity and efficiency studies: A review and bibliometric analysis,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 96, p. 102099, 2021.
- [31].Y. Xu, “Evaluating the environmental efficiency of the US airline industry using a directional distance function DEA approach,” *Journal of Management Analytics*, Vol. 8, pp. 1-18, 2021.
- [32].H. Omrani, M. Shamsi, and A. Emrouznejad, “Evaluating sustainable efficiency of decision-making units considering undesirable outputs: an application to airline using integrated multi-objective DEA-TOPSIS,” *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 74, pp. 1-32, 2022.
- [33].Y. Li, and Q. Cui, “Airline efficiency with optimal employee allocation: an input-shared network range adjusted measure,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 73, pp. 150-162, 2018.
- [34].X. Xu, and Q. Cui, “Evaluating airline energy efficiency: An integrated approach with Network Epsilon-based Measure and Network Slacks-based Measure,” *Energy*, Vol. 122, pp. 274-286, 2017.
- [35].E. Soltanzadeh, and H. Omrani, “Dynamic network data envelopment analysis model with fuzzy inputs and outputs: An application for Iranian Airlines,” *Applied Soft Computing*, Vol. 63, pp. 268-288, 2018.
- [36].Z. Wang, “Evaluation of carbon emission efficiency in China's airlines,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 243, pp. 118500, 2020.
- [37].Q. Cui, and L.-t. Yu, “Airline environmental efficiency comparison through two non-

model in the presence of shared input,”
Journal of Air Transport Management,
Vol. 34, pp. 146-153, 2014.

- [46]. Y. Chang, “Evaluating economic and environmental efficiency of global airlines: A SBM-DEA approach,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 27, pp. 46-50, 2014.
- [47]. Y. Li, Y.-z. Wang, and Q. Cui, “Evaluating airline efficiency: an application of virtual frontier network SBM,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 81, pp. 1-17, 2015.
- [48]. P. Wanke, C.P. Barros, and Z. Chen, “An analysis of Asian airlines efficiency with two-stage TOPSIS and MCMC generalized linear mixed models,” *International Journal of Production Economics*, Vol. 169, pp. 110-126, 2015.
- [49]. S. Barak, and J.H. Dahooei, “A novel hybrid fuzzy DEA-Fuzzy MADM method for airlines safety evaluation,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 73, pp. 134-149, 2018.