

# تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

مجید جلیلی (مسئول مکاتبات)، استادیار، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، تهران، ایران

منوچهر منطقی، استاد، دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران

E-mail: m.jalili@itsr.ir

دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۴

## چکیده

در این مقاله تقاضای جابجایی مسافر و بار از طریق هواپیما در ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. برای این منظور از رگرسیون خطی چندگانه استفاده می‌شود. با استفاده از دو مدل جداگانه برای بار و مسافر، اثرگذاری متغیرهای جغرافیایی، اقتصادی-اجتماعی و رقابتی بر میزان تقاضا بررسی شده است. برای این منظور اطلاعات ۵۹۴ مسیر فعال هوایی کشور طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ از شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران جمع‌آوری شده است. مزیت مدل‌های توسعه یافته در این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین، عدم استفاده از متغیر فرکانس پرواز می‌باشد. این متغیر به دلیل همبستگی بالا با تقاضای مسافرت، توانایی پیش‌بینی با مدل‌های به دست آمده با این متغیر را به شدت محدود می‌سازد. در ادامه نتایج حاصل از مدل‌های پیشنهادی و مقادیر تقاضای واقعی در سال ۱۳۹۲ مقایسه شده است تا دقت آن‌ها در پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار مورد بررسی قرار گیرد. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهد که به دلیل تفاوت‌های فراوان و توزیع نامتناسب متغیرهای اثرگذار در سطح کشور، هرگونه مدل‌سازی تقاضا برای کلان‌شهرهای ایران باید به صورت مجزا صورت پذیرد. از این رو در ادامه مقاله مدل‌های خاص کلان‌شهرهای ایران توسعه داده شده است. از طرف دیگر تعریف متغیرهای مجازی برای شهرهای با وضعیت خاص، سبب انطباق هرچه بیشتر مدل با داده‌های واقعی می‌شود. لذا یکی از روش‌های غلبه بر ناهمگونی میان شهرهای ایران استفاده از متغیر مجازی است تا بتوان وضعیت خاص هر شهر را در مدل‌سازی صورت گرفته در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، رگرسیون چندگانه، تقاضای مسافر، تقاضای بار، متغیرهای مجازی.

## ۱. مقدمه

امروزه حمل و نقل هوایی همراه با صنعتی شدن جهان و گسترش فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی و به تبع آن افزایش سفرها و جابجایی‌های میان شهری، یک مقوله مهم شده است که عاملی تاثیرگذار بر افزایش سرمایه گذاری و پیشرفت اقتصادی و صنعتی هر منطقه ای است.

مسافرت‌های هوایی در دو دهه گذشته رشد فزاینده‌ای در سطح جهان داشته و با رشد اقتصادی و صنعتی حال حاضر جهان، پیش‌بینی می‌شود در آینده نیز با شتاب بیشتری افزایش یابد. این حقیقت به نوبه خود گویای ازدحام بیشتر در فرودگاه‌ها و پایانه‌های جابجایی مسافران و کالاهاست. از این رو این صنعت، نیازمند یک برنامه‌ریزی جامع و هدفمند جهت مدیریت نیازهای آتی خود است.

مدیریت نیازهای آتی، نیازمند پیش‌بینی ترافیک هوایی و یا میزان جابجایی مسافران در آینده است. از منظر ایکائو (سازمان بین‌المللی هواپیمایی)<sup>۱</sup> لازمه پیش‌بینی ترافیک هوایی پیش‌بینی ترافیک مسافر است، زیرا تقاضا و به تبع آن ترافیک هوایی ناشی از تقاضای مسافر است.

تولید سفرهای گوناگون از شهرها و فرودگاه‌های مختلف، خود متأثر از عوامل گوناگون است. بنابراین تحلیل تولید سفر و حمل و نقل هوایی در سطح شهرها یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. سؤالات اساسی آن است که چه عواملی در تولید سفرهای هوایی مؤثر است؟ وضعیت مسافرت‌های هوایی در حال حاضر چگونه است و چه آینده‌ای پیش روی این مسافرت‌هاست؟

میزان تقاضای سفر همواره متأثر از تعدادی از عوامل است. این عوامل باید غیرمبهم و قابل اندازه‌گیری باشند. مسافرت‌های هوایی به‌طور کل به میزان جمعیت، اشتیاق به سفر و میزان فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی در هر منطقه وابسته است. البته نقش هزینه سفر، خدمات خطوط هوایی، تولید ناخالص ملی<sup>۲</sup> و غیره را نمی‌توان نادیده گرفت.

حمل و نقل هوایی از مشخصات خاصی مانند مسیر جداگانه حرکت، سرعت بالا، ایمنی و راحتی بیشتر نسبت به سایر روش‌های حمل و نقل برخوردار است. در مقابل، این صنعت به

مجموعه‌ای از زیرساخت‌ها و سامانه‌های هوایی متکی بر فناوری پیشرفته انحصاری و پیچیده نیاز دارد [Wegmann and Everett, 2002]

خصوصیات اقتصادی و اجتماعی سرویس‌گیرندگان این سیستم، وجه تمایز آن از سایر روش‌های حمل و نقل است. در نتیجه بازار تقاضای متفاوتی برای آن به وجود آمده است. با توجه به موارد یادشده، انجام مطالعات بنیادی و کاربردی در زمینه حمل و نقل هوایی کشور کاملاً ضروری به نظر می‌آید.

بنابراین پیش‌بینی میزان تقاضا خود به تنهایی هدف نیست، بلکه بخش از هدف بزرگ‌تر است. برای مثال همان‌طور که عنوان شد، پیش‌بینی میزان تقاضا می‌تواند در تأسیس یا گسترش یک فرودگاه و امکان‌سنجی مالی آن مؤثر باشد.

به‌طور کلی میزان تقاضا، وابسته به عواملی به نام عوامل تولیدکننده سفر است که از سوابق و مشاهدات گذشته استخراج می‌شود. این عوامل در سطوح مختلفی قابل تقسیم هستند.

در سطح منطقه‌ای و محلی، متغیرهای اقتصادی و اجتماعی و حجم فعالیت‌های اقتصادی بیشترین تأثیر را بر حجم مسافران دارند.

در سطح کشوری، وضعیت اقتصاد ملی و وضعیت صنعت خطوط هوایی بیشترین تأثیر را بر حجم مسافران دارند. البته میزان توزیع جغرافیایی جمعیت و پیشرفت فناوری هوایی نیز عوامل مهمی در میزان تقاضاست.

در سطح جهانی، توافقات و یا خصومت‌های دوجانبه، وضعیت اقتصاد ملی و جهانی، ملاحظات سیاسی، مناقشات منطقه‌ای، وابستگی‌های فرهنگی و اجتماعی و پیشرفت صنعت هوانوردی می‌تواند بر تعداد و نوع مسافرت‌های هوایی تأثیرگذار باشد.

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و منابع اطلاعاتی آن از طریق کتب و مقالات مرتبط با حوزه پژوهش تأمین شده است. علاوه بر این به منظور استفاده از داده‌های واقعی، اطلاعات جابجایی هوایی کشور در بازه زمانی تحقیق با مراجعه به سازمان‌های مسئول جمع‌آوری شده و مورد استفاده قرار گرفته است.

هدف این پژوهش بررسی تحلیلی تقاضای مسافرت هوایی در ایران و استخراج عوامل اثرگذار بر آن است تا با شناخت

## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

۲۰۰۷ برای میزان تقاضا در فرودگاه SDIA<sup>۵</sup> صورت گرفت هر دو این رویکردها مورد بررسی قرار گرفت. دسته‌بندی دیگری که برای پیش‌بینی‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد بر اساس شاخص‌هایی است که ممکن است استفاده کنند. این شاخص‌ها می‌توانند کلان و یا خرد باشند. بر این اساس روش‌های برآورد تقاضای سفر هوایی به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند. مدل کلان<sup>۶</sup> و مدل خرد<sup>۷</sup>.

مدل کلان، بر تئوری‌های اقتصادی تقاضا و رفتار مصرف‌کننده حاکم بوده و در آن فعالیت حمل‌ونقل هوایی در مقیاس کلی و بدون پرداختن به طبقه‌بندی‌های گوناگون تقاضا مدنظر قرار می‌گیرد. شاخص‌هایی که در این مدل‌ها به کار می‌روند شاخص‌های کلی نظیر تعداد مسافران یا پروازها در کل کشور است.

با توجه به ماهیت کل‌نگری مدل‌های کلان، قابلیت سیاست‌پذیری آن‌ها بسیار محدود است. برای مثال ترسیم شبکه پروازی، تعیین نقاط مناسب برای احداث فرودگاه‌ها، تعیین نقاط محور و سیاست‌گذاری‌های حمل‌ونقل بین‌شهری از طریق مدل کلان میسر نیست.

در راستای رفع این عیب، مدل خرد تقاضا به‌عنوان ابزار مناسبی به‌منظور برنامه‌ریزی و سیاست‌پذیری مورداستفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های خرد میزان تقاضا بین دو شهر را موردتوجه قرار می‌دهند. میزان مسافران در یک مسیر مشخص و درجه‌بندی کلاس‌های سفر (هنگامی که چندین کلاس وجود داشته باشد) ازجمله شاخص‌های این‌گونه مدل‌هاست. بنابراین برای برنامه‌ریزی و اجرای سیاست‌های منطقه‌ای، مدل‌های خرد ابزار مناسبی هستند.

در تحلیل خرد، زمانی که مدل به مبدأ و مقصد تقسیم می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده مدل زوج شهری نامیده می‌شود. یک‌راه کارا برای استخراج مدل زوج شهری ساختن یک مدل ریاضی برای کل شبکه و تخمین پارامترهای مدل با استفاده از اطلاعات تمامی شهرها و مسیرهای درگیر است. در مدل زوج شهری تقاضا، مشخصه‌های اقتصادی-اجتماعی به‌عنوان متغیرهای تقاضا شناخته می‌شوند [Neufville, 2016].

محرك‌های تقاضا، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در حوزه حمل‌ونقل هوایی تسهیل گردد. به‌منظور ارائه مدل تقاضا و تحلیل متغیرهای اثرگذار، از روش‌های آماری و مدل‌سازی رگرسیون استفاده می‌شود که در بخش سوم مقاله تشریح می‌گردد. سوالات پژوهش به شرح زیر ارائه می‌گردد، که در پایان مقاله به بررسی پاسخ‌های دست‌یافته برای آن‌ها می‌پردازیم.

۱- عوامل اثرگذار بر تقاضای مسافرت هوایی ایران چیست؟

۲- مدل مناسب برای پیش‌بینی تقاضای مسافرت هوایی ایران

چه ویژگی دارد؟

در ادامه به مدل‌سازی و تحلیل نتایج پرداخته شده و در پایان پرسش‌های مطرح‌شده مورد بررسی قرار می‌گیرند و به آن‌ها پاسخ داده می‌شود. ساختار مقاله پیش رو به شرح زیر است. در ادامه بخش اول، تقسیم‌بندی پیش‌بینی در صنعت هوایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین عوامل اثرگذار بر تقاضا در صنعت هوایی و مدل‌های پیش‌بینی معرفی شده در ادبیات موضوع به‌اختصار معرفی می‌گردد. در بخش دوم متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی تشریح می‌گردد. در بخش سوم مدل پیش‌بینی تقاضای بار و مسافر ارائه گشته و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش چهارم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادها به بحث گذارده می‌شود.

## ۲. مرور ادبیات

### ۲-۱ انواع پیش‌بینی تقاضا در صنعت هوایی

نکته کلیدی در تمام پیش‌بینی‌ها، میزان دقت و در دسترس بودن اطلاعات مورداستفاده است [Granados et al. 2012].

پیش‌بینی را به طرق مختلف می‌توان دسته‌بندی کرد. در ادبیات پیش‌بینی تقاضای هوایی، دو نوع پیش‌بینی غیر محدود<sup>۳</sup> و پیش‌بینی محدود<sup>۴</sup> مورداستفاده قرار می‌گیرد. در پیش‌بینی غیر محدود، تقاضا به‌خودی‌خود و بدون در نظر گرفتن هیچ عامل محدودکننده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در پیش‌بینی محدود، تفاوت میان سطح تقاضا و سطحی که یک فرودگاه توانایی پشتیبانی دارد، به‌عنوان یک عامل محدودکننده در پیش‌بینی مدنظر قرار می‌گیرد. برای مثال در پیش‌بینی که در سال

در حوزه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، شناسایی عوامل مؤثر بر تقاضا بسیار مهم است. روش‌های متنوعی برای این منظور وجود دارد. برای نمونه [حبیبیان و کرمانشاه، ۱۳۹۵] با استفاده از مدل لجیت چندگانه دلایل سفر با وسیله شخصی را مورد بررسی قرار دادند. در حوزه حمل‌ونقل هوایی مسافرت هوایی می‌تواند ناشی از عوامل بسیاری باشد، بسته به نوع کشور، فرهنگ و سطح رفاه اقتصادی این عوامل می‌توانند متنوع و گاهی متضاد باشند [Vasigh and Fleming, 2016]. عمده‌ترین عوامل تأثیرگذار بر این نوع تقاضا را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی کرد.

۱. ظرفیت فرودگاهی و هوایی کشور
۲. شرایط اقتصادی محلی، ملی و بین‌المللی
۳. متغیرهای جمعیتی<sup>۱۱</sup> و متغیرهای اقتصادی-اجتماعی<sup>۱۲</sup>
۴. متغیرهای اقتصادی مرتبط با خطوط هوایی و فرودگاه‌ها
۵. رقابت میان خطوط هوایی و همچنین رقابت میان حمل‌ونقل هوایی و سایر الگوهای حمل‌ونقل
۶. محدودیت‌های محیطی<sup>۱۳</sup> و سیاسی<sup>۱۴</sup> واقع بر حمل‌ونقل هوایی
۷. پیشرفت‌های صنعت حمل‌ونقل هوایی
۸. ایمنی<sup>۱۵</sup>، امنیت<sup>۱۶</sup> و آسودگی<sup>۱۷</sup> سفر

هم‌زمان با آزادسازی تجارت در دنیا، حمل‌ونقل هوایی بار طی دهه گذشته رشد شتابنده‌ای داشته است. امروزه تولیدکنندگان کالا در دنیا، خصوصاً تولیدکنندگان کالاهای با فنآوری بالا<sup>۱۸</sup> سهم قابل توجهی برای این نوع از حمل‌ونقل قائل‌اند. به طوری که مطابق برآوردها حدود ۴۰ درصد از حمل‌ونقل کالاهای تجاری در سال ۲۰۰۶ توسط هواپیما صورت پذیرفته است. حمل‌ونقل هوایی بار، برای کالاهای حساس با عمر پایین (مانند گل‌های زینتی میوه و حیوانات) و همچنین کالاهای با حساسیت زمانی<sup>۱۹</sup> که بازار محدود و متغیری دارند مانند گوشی‌های همراه بسیار مهم است [Lee et al. 2014].

دسته دیگری از کالاها که معمولاً از طریق کارگو منتقل می‌شوند، کالاهایی هستند که هزینه حمل‌ونقل بالای وابسته به زمان دارند. به این معنی که به دلیل شرایط خاص نگهداری، نیاز به سرعت بالا

یکی از فرضیات میان مدل‌ها عدم وجود رقابت میان مقصدهاست و ترافیک میان هر دو شهر تنها به مشخصه‌های آن شهرها بستگی دارد [Kanafani, 1983].

در کل، ساختار بیشتر مدل‌های زوج شهری بر اساس مدل جاذبه و یا مدل‌های مشابه است که تقاضا برای مسافرت متناسب با حاصل ضرب میان متغیرهای اثرگذار است [Verleger and Philip, 1972] و [Moore and Soliman, 1981]. لازم به یادآوری است که در مدل‌های زوج شهری تحلیلگر باید تغییرات ساختاری در سیستم را که ممکن است بر مدل اثرگذار باشد را تحت نظر داشته باشد.

مدل زوج شهری می‌تواند با استفاده از اطلاعات مقطعی<sup>۸</sup> و یا اطلاعات سری‌های زمانی تنظیم و کالیبره شود. در روش تنظیم با استفاده از اطلاعات مقطعی، همان مدل فرض می‌شود که برای تعداد متفاوتی از شهرها درست است و اطلاعات موجود در این شهرها برای یک دوره زمانی خاص جهت تخمین ضرایب به کار می‌رود [Aranso and Rengaraju, 1986]. زوج شهرهای متفاوت ممکن است تابع تقاضای متفاوتی داشته باشند و تجمیع این اطلاعات در روش مقطعی باید با دقت صورت پذیرد. پس از کالیبره کردن مدل، مهم است که میزان قابلیت اطمینان مدل بر اساس آمار و منطق مورد بررسی قرار گیرد. روش‌های آماری به‌کاررفته برای بررسی میزان قابلیت اطمینان به‌طور عمده به طبیعت مسئله و اهداف خاصی که مدل برای آن به‌کاررفته است بستگی دارد [Denstadli et al. 2013].

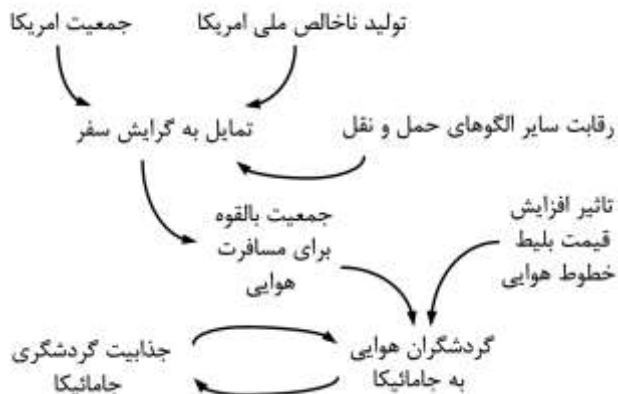
دسته‌بندی دیگر در پیش‌بینی استفاده از سناریو پایین<sup>۹</sup> و سناریو بالا<sup>۱۰</sup> در پیش‌بینی‌هاست. به این معنی که گاهی ممکن است یک متغیر نوسانات بسیاری داشته باشد که برآورد مقدار دقیق آن را مشکل می‌سازد. در این هنگام بر اساس کمترین و بیشترین مقدار برآورد شده، دو پیش‌بینی به نام سناریو پایین و سناریو بالا صورت می‌گیرد.

## ۲-۲ عوامل تأثیرگذار بر تقاضای حمل‌ونقل هوایی مسافر

و بار

## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

اقتصادی آمریکا تأثیرپذیر است. همچنین میزان جرم و جنایت در این کشور عامل اثرگذاری مهمی بر سطح تقاضا است.



شکل ۱. ارتباط تقاضای مسافرت هوایی و عوامل مؤثر بر آن در

جامائیکا [Ishutkina and Marya, 2009]

از میان پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه می‌توان به مقاله [Safarzadeh and Ghorbani, 2006]. اشاره کرد. آنان به معرفی مدل جاذبه پرداخته و سپس اقدام به کالیبره کردن آن برای کلان‌شهرهای کشور پرداختند [Parastari et al. 2007]. با نگاه کلان به تقاضای هوایی، میزان تقاضای فرودگاه مهرآباد را برای سال ۱۳۹۵ پیش‌بینی نمودند. علام و کریم نیز با استفاده از رگرسیون چندگانه دو مدل برای پیش‌بینی تقاضای هوایی در بنگلادش ارائه نمودند و در ادامه به تحلیل حساسیت مدل‌های ارائه‌شده پرداختند [Alam and Karim, 1998].

به‌منظور دسته‌بندی مدل‌های به‌کاررفته در ادبیات پیش‌بینی تقاضای هوایی راه‌های مختلفی وجود دارد. در کل مدل‌ها می‌توانند به یکی از دو روش کلی زیر تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی وابسته به نوع متغیرها است که می‌توانند وابسته<sup>۳۳</sup> یا تشریحی<sup>۳۴</sup> باشند.

روش‌های سری زمانی امروزه به‌طور گسترده‌ای به‌منظور پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال می‌توان به پژوهش‌های صورت‌گرفته توسط [Melville, 1998]، [Karlaftis and Papastavrou, 1998]، [Abed et al. 2001]، [Postorino and Russo, 2001]، [Postorino and Russo, 1998]، [Hensher, 2002]، [Inglada and Rey, 2003]، [Postorino, 2003]، [Lee and McAleer, 2002]، [Ling Lai and Lee, 2004]، [Lu, 2005]، [Kressner and Lauri, 2012]. اشاره کرد. در

برای جابجایی دارند. موتورهای جت و وسایل پزشکی از این دسته هستند. به‌طور عمده جابجایی بار هوایی (کارگو<sup>۳۵</sup>)، تجارت و GDP یک رابطه مستقیم و وابسته به هم دارند و حجم سرمایه‌گذاری خارجی<sup>۳۶</sup> یک عامل مهم در رشد اقتصادی یک کشور و به‌تبع آن افزایش نیاز به کارگو است.

## ۲-۳ مدل‌های پیش‌بینی تقاضای هوایی

یکی از نکات مهم در پیش‌بینی ترافیک هوایی و تقاضای مسافری توجه به ویژگی‌ها و بافت اقتصادی و اجتماعی کشورها است، چراکه مدل‌های معرفی‌شده برای پیش‌بینی تقاضای هوایی، بومی و منحصر به شرایط هر کشور است و به دلیل تفاوت‌های فرهنگی، اقتصادی، جغرافیایی و سیاسی کشورها، استفاده از مدل‌های توسعه‌یافته برای یک کشور برای سایر کشورها مناسب نیست. برای مثال به برخی از این موارد اشاره می‌کنیم.

کشور کانادا به دلیل بافت خاص فرهنگی آن (انگلیسی‌زبان و فرانسوی‌زبان) مدل پیش‌بینی خاص خود به نام مدل PODM<sup>۳۷</sup> را دارد. در این مدل همستگی‌های نژادی میان اقوام فرانسوی‌زبان و انگلیسی‌زبان یک عامل اثرگذار در میزان تقاضای مسافری میان شهرهای این کشور است [ICAO, 2006].

تعدد جزایر در اندونزی، امکان مسافرت جاده‌ای در این کشور را به‌شدت محدود می‌سازد، از این‌رو مسافرت دریایی و هوایی اولویت و جایگاه خاصی در این کشور دارد. آشکار است که ساختار جغرافیایی خاص این کشور نیازمند مدل‌سازی خاص خود است.

کشور تونس به دلیل ویژگی جغرافیایی خاص خود (نزدیکی به اروپا و داشتن مکان‌های گردشگری)، مدل خاص خود را برای پیش‌بینی دارد، به‌طوری‌که در مدل پیش‌بینی این کشور بسیاری از پارامترهای اقتصادی کشورهای اروپایی بر میزان تقاضای مسافرت هوایی تأثیرگذار است [ICAO, 2006].

کشور جامائیکا نیز به دلیل نزدیکی به آمریکا و مناطق گردشگری خود مدل پیش‌بینی خاص خود را دارد. همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، حجم مسافرت‌های هوایی در این کشور بیش از آنکه از پارامترهای اقتصادی جامائیکا تأثیرپذیر باشد، از پارامترهای

شهرها در مدل در نظر گرفته شوند. این متغیرها به افزایش میزان انطباق مدل بسیار کمک نموده‌اند.

مهم‌ترین تقسیم‌بندی پیش‌بینی تقاضا در صنعت هوایی کشور توسط ایکائو در سند ۸۹۹۱ مورد اشاره قرار گرفته است که در شکل ۳ به آن‌ها اشاره شده است. مطابق با متدولوژی تعریف شده توسط ایکائو، روش‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی به سه دسته کلی کمی، کیفی و روش‌های تحلیل تصمیم تقسیم می‌شوند که هر کدام دسته‌بندی خاص خود را دارند. روش‌های کمی که در حیطه پژوهش این مقاله نیز هست، خود به دودسته روش‌های علی و روش‌های تحلیل روند تقسیم می‌شوند. در روش‌های علی که رگرسیون از جمله آن‌ها هست، هدف تعیین و استخراج معادله و رابطه میان متغیرهای مستقل و وابسته است. اما در روش‌های تحلیل روند، روند تغییرات متغیر وابسته توسط روش‌های آماری تحلیل شده و تغییرات آتی آن پیش‌بینی می‌شود.

در این مقاله هدف استخراج عوامل اثرگذار بر تقاضای مسافر در کشور هست. برای این منظور میزان جابجایی مسافر در ۵۹۴ مسیر فعال در کشور مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۲ نقشه فرودگاه‌های کشور را نشان می‌دهد. نوآوری این مقاله به‌طور ویژه بر مدل‌سازی تقاضا با بیشترین مقدار برازش ممکن هست که این مهم به مدد بکارگیری متغیرهای مجازی و همچنین بررسی و تحلیل مجموعه بزرگی از متغیرهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی ممکن گردیده است. به عبارت دیگر در این مقاله هدف طراحی یک مدل پیش‌بینی با بیشترین مقدار برازش است که لازمه آن بررسی همه‌جانبه انواع متغیرهای پیوسته و مجازی در طبقه‌بندی‌های مختلف است. در بخش بعدی، متغیرهایی که به‌منظور بررسی اثرگذاری بر میزان تقاضای بار و مسافر مورد بررسی قرار گرفتند تشریح می‌گردد.

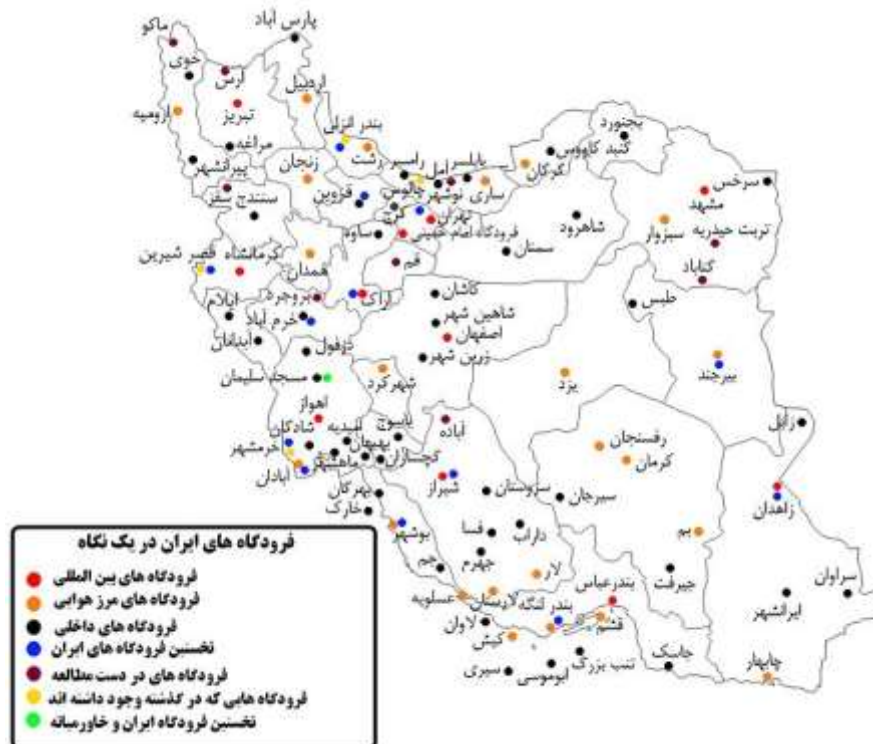
بسیاری از پژوهش‌ها مدل‌های خودهمبسته<sup>۲۵</sup> ساده از سری‌های زمانی مورد استفاده قرار گرفته است.

روش‌های دیگری که می‌تواند استفاده شود شبکه‌های عصبی (NN) است. همچنین شبکه‌های عصبی فازی نیز مورد استفاده قرار گرفته است [Pribyl and Goulias, 2003]، [Sadek et al., 2003]، [Postorino and Versaci., 2008]، [Arikan et al., 2013] و [Abbasi and Yaghubi, 2016]. با این حال شبکه‌های عصبی اجازه درک صحیح از مقدار پارامترها و میزان اثرگذاری آن‌ها را در اختیار نمی‌گذارد، بنابراین تحلیل مدل در برخی از موارد ممکن نیست.

در بسیاری از مدل‌های تجمیعی، برخی از شاخص‌های تقاضای سفر هوایی مانند تعداد کل مسافران، پرواز و یا درآمد بر مایل، به‌عنوان یک تابع خطی از متغیرهای تشریحی نظیر (البته نه محدود به) قیمت، الگوی مسافرتی جایگزین، میزان GDP در یک ناحیه، شاخص‌هایی از گردشگری، شاخص‌هایی از تبادلات خارجی و غیره در نظر گرفته می‌شوند. از این میان می‌توان به [Cline, Ruhl, Abed, Ba-Fail, and Jasimuddin., 2001]، [Saab, Profillidis, 2000]، [Gosling, and Gillen, 1998]، [Wang and Pitfield, 1999]، [and Zouein, 2001] و [Habao et al. 2013]، اشاره کرد. این مدل‌ها به‌طور کل تقاضای مسافرت هوایی را به‌عنوان یک کالای مشابه در سطح کشور مدنظر قرار می‌دهند و تفاوت میان تقاضای هوایی در ناحیه‌های مختلف را در نظر نمی‌گیرند.

در جدول ۱ برخی از مدل‌های ارائه شده توسط محققین در حوزه پیش‌بینی تقاضا سفر هوایی مورد اشاره قرار گرفته‌اند. در تمامی مدل‌ها محققین سعی نموده‌اند تا با بکارگیری متغیرهای متعدد و متفاوت بیشترین انطباق و برازش را به دست آورند. در پژوهش حاضر علاوه بر استفاده از متغیرهای اثرگذار، سعی شده است تا با استفاده از متغیرهای مجازی وضعیت خاص برخی از

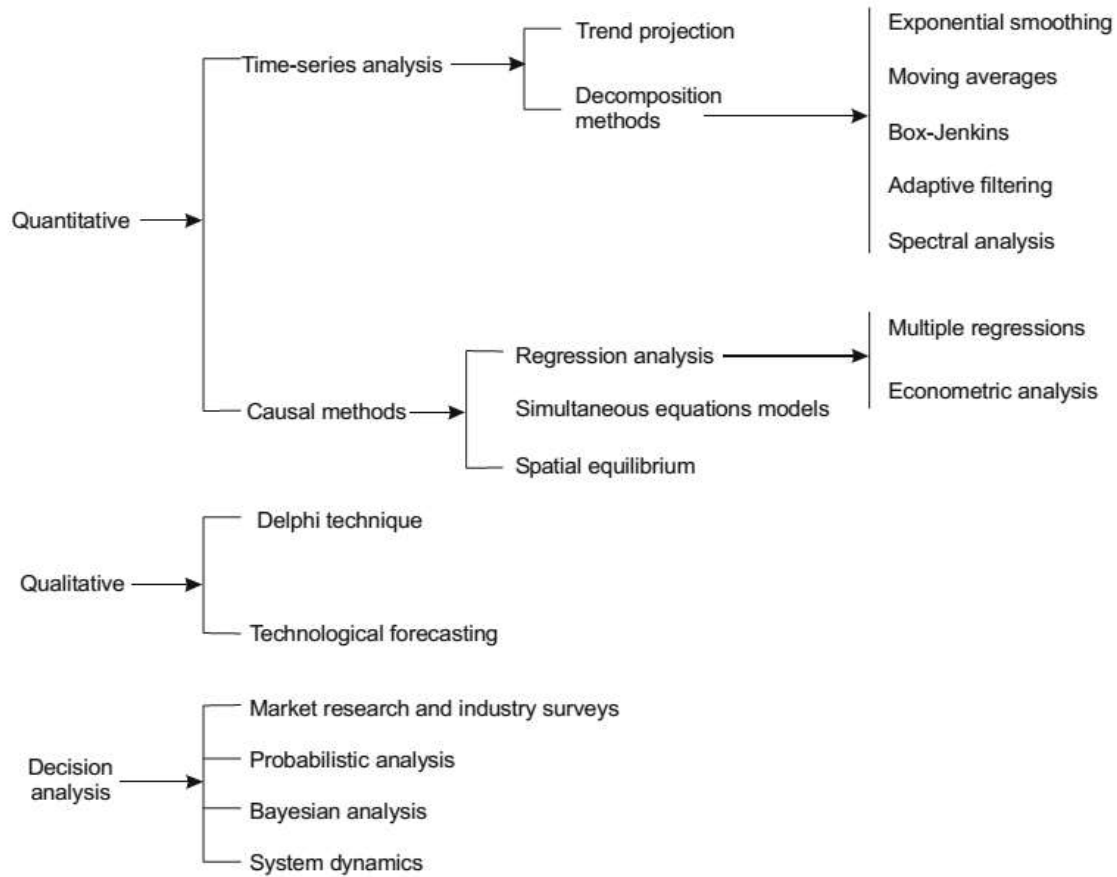
## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران



شکل ۲. نقشه فرودگاه‌های کشور

جدول ۱. برخی از مدل‌های بکاررفته در پیش‌بینی تقاضای سفر هوایی

نام مدل	متغیرهای مورد استفاده
کب	درآمد زوج شهر، مکالمات تلفنی زوج شهر، بهای بلیت، زمان سفر، مسافت سفر
ورلگر	درآمد زوج شهر، مکالمات تلفنی زوج شهر، بهای بلیت، تواتر و فرکانس پرواز، زمان سفر، مسافت سفر
کوانت	درآمد زوج شهر، اشتغال در صنایع و معادن، هزینه سفر، زمان سفر
مدل PODM	جمعیت بالغ، درآمد سرانه قابل مصرف، حجم مشاغل مدیریتی، بهای بلیت
مدل جامائیکا	جمعیت امریکا، تولید ناخالص داخلی امریکا، جذابیت گردشگری، قیمت سفر، رقابت سایر الگوهای سفر
تون لارسن و فریدستورم	جمعیت، درآمد سرانه، افراد حقوق‌بگیر و فارغ‌التحصیلان دانشگاهی، نسبت هزینه سفر هوایی به سایر الگوهای سفر، نسبت زمان سفر هوایی به زمان سریع‌ترین الگوی حمل‌ونقل
کرمانشاه	جمعیت شهری، درآمد سرانه، اشتغال در کارگاه‌های صنعتی بالاتر از ده نفر، مسافت سفر
صفار زاده و قربانی	جمعیت شهری، جمعیت مهاجران، تعداد حقوق‌بگیران، درصد شاغلان، تعداد کارگاه‌های صنعتی، درآمد سرانه خانوار، تواتر (فرکانس) پرواز، زمان، مسافت و هزینه سفر هوایی، نسبت هزینه و زمان سفر هوایی
مدل اداره حمل‌ونقل استرالیا (برای سفرهای یک سر سیدنی)	درآمد، جمعیت
ابراهیم‌زاده و همکاران	حجم سفر هوایی، جمعیت زوج شهر، مسافت سفر
شرکت مشاوره اینتر ویستاس	کرایه واقعی، میانگین هندسی درآمد واقعی شهرهای مبدأ و مقصد، مسافت، متغیر مجازی برای هر فصل و متغیر مجازی برای هر مسیر



شکل ۳. روش‌های پیش‌بینی هوایی از دید سازمان بین‌المللی هوایی (ICAO)

$PPI$	متغیر مستقل (مجازی)	قطب زیارتی	۳
$PC$	متغیر مستقل (مجازی)	قطب مرکزیت یا پایتخت	۴
$PT$	متغیر مستقل (مجازی)	قطب گردشگری	۵
$PH$	متغیر مستقل (مجازی)	قطب محور	۶
$PI$	متغیر مستقل (مجازی)	قطب جزیره	۷
$D_{ij}$	متغیر مستقل (پیوسته)	فاصله زمینی	۸
$PTP_{ij}$	متغیر مستقل (پیوسته)	قیمت بلیت مسافری	۹
$CTP_{ij}$	متغیر مستقل (پیوسته)	قیمت بلیت باری	۱۰
$P_i$	متغیر مستقل (پیوسته)	جمعیت استان مبدأ	۱۱
$P_j$	متغیر مستقل (پیوسته)	جمعیت استان مقصد	۱۲
$P_{ij}$	متغیر مستقل (پیوسته)	مجموع جمعیت استان‌های مبدأ و مقصد	۱۳
$TP$	متغیر مستقل (پیوسته)	جمعیت کل کشور	۱۴

### ۳. متغیرهای تحت بررسی در مدل‌سازی تقاضا

بامطالعه ادبیات موضوع و با توجه به وضعیت جغرافیایی، اقتصادی و اجتماعی ایران، متغیرهای زیر جهت استفاده در مدل‌سازی تقاضا مورد تحلیل قرار می‌گیرند. با توجه به آن‌که هدف بررسی جامع متغیرها به منظور ارائه مدلی با بیشترین مقدار برازندگی هست، تعداد متغیرهای فراوانی در فاز اول بررسی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که در جدول ۲ مورداشاره قرار می‌گیرند.

جدول ۲. نمایه متغیرهای مورداستفاده در مقاله

ردیف	نام متغیر	نوع	نام متغیر در مدل‌سازی
۱	جابجایی بار (کیلوگرم)	متغیر پاسخ	$CD_{ij}$
۲	جابجایی مسافر (نفر)	متغیر پاسخ	$PD_{ij}$



## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

به‌عبارت‌دیگر با افزایش فاصله زمینی میان شهرها، میل و رغبت به مسافرت هوایی افزایش می‌یابد.

### ۲- هزینه بلیت مسیرها

قیمت بلیت پرواز می‌تواند عامل اثرگذار بر تقاضای سفر باشد. از این‌رو محاسبه نرخ بلیت سفرها در سال‌های قبل به‌عنوان یک متغیر ورودی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. نرخ بلیت هواپیمای مسافری در ایران برای پروازهای داخلی دستوری و بر اساس نرخ یک ساعت صندلی پرواز محاسبه می‌شود.

### ۳- مجموع جمعیت استان‌های مبدأ و مقصد

بدون شک جمعیت ساکن در استان‌های مبدأ و مقصد یک عامل اثرگذار بر میزان تقاضا در مسافرت هوایی است. با توجه به اینکه اصولاً امکان تعیین تعلق مسافر به استان مبدأ یا مقصد نیست، مجموع جمعیت استان‌های مبدأ و مقصد به‌عنوان یک متغیر اثرگذار نیز می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین برای فرودگاه‌های مستقر در جزایر، جمعیت جزیره در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۴- متوسط درآمد و هزینه یک خانوار

با توجه به تفاوت محسوس میان استان‌های کشور از نظر درآمد و هزینه، این عامل به‌عنوان یک عامل اثرگذار دیگر در مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میان استان‌های کشور، استان تهران بیشترین متوسط درآمد برای هر خانوار و استان آذربایجان شرقی کمترین متوسط درآمد برای هر خانوار را داشته است. همچنین استان تهران بیشترین متوسط هزینه برای هر خانوار و استان سیستان و بلوچستان کمترین مقدار متوسط هزینه برای هر خانوار را داشته است.

### ۵- میزان واردات و صادرات

کاملاً بدیهی است که میزان تقاضای بار ناشی از دو عامل اقتصاد محلی و اقتصادی کشوری در سطح بین‌المللی است. بنابراین حجم صادرات و واردات، رشد جمعیت، و همچنین میزان درآمد و مصرف می‌تواند در افزایش تقاضای باری اثرگذار باشد.

یکی از عواملی که می‌تواند بر میزان تقاضا و جابجایی بار هوایی میان مبادی و مقاصد داخلی اثر بگذارد میزان صادرات به تفکیک

متوسط درآمد خانوار	متغیر مستقل (پیوسته)	$Income_i$	۱۵
متوسط هزینه خانوار	متغیر مستقل (پیوسته)	$Cost_i$	۱۶
متوسط درآمد خانوار استان مقصد	متغیر مستقل (پیوسته)	$Income_j$	۱۷
متوسط هزینه خانوار استان مقصد	متغیر مستقل (پیوسته)	$Cost_j$	۱۸
تولید ناخالص کشور <sup>۲۶</sup>	متغیر مستقل (پیوسته)	$GDP$	۱۹
سرانه تولید ناخالص ملی	متغیر مستقل (پیوسته)	$PGI$	۲۰
شاخص مصرف‌کننده <sup>۲۷</sup>	متغیر مستقل (پیوسته)	$CPI$	۲۱
واردات و صادرات کل کشور	متغیر مستقل (پیوسته)	$TIE$	۲۲
وزن صادرات کشور (کیلوگرم)	متغیر مستقل (پیوسته)	$EWC$	۲۳
صادرات استان مبدأ	متغیر مستقل (پیوسته)	$Export_i$	۲۴
صادرات استان مقصد	متغیر مستقل (پیوسته)	$Export_j$	۲۵
قیمت بنزین هواپیمای مسافری	متغیر مستقل (پیوسته)	$PAGP$	۲۶
قیمت بنزین هواپیمای باری	متغیر مستقل (پیوسته)	$CAGP$	۲۷
قیمت بنزین (وسیله سبک)	متغیر مستقل (پیوسته)	$CGP$	۲۸
قیمت گازوییل (وسیله سنگین)	متغیر مستقل (پیوسته)	$TGP$	۲۹
هزینه سفر با بنزین (وسیله سبک)	متغیر مستقل (پیوسته)	$CTC$	۳۰
هزینه سفر با گازوییل یا جابجایی بار (وسیله سنگین)	متغیر مستقل (پیوسته)	$TTC$	۳۱

تشریح برخی از متغیرهای فوق به شرح زیر است.

۱- مسافت زمینی میان فرودگاه‌ها: یکی از عوامل اثرگذار بر میزان تقاضا برای مسافرت هوایی، مسافت زمینی سفر است.

## مجید جلیلی، منوچهر منطقی

محاسبه می‌شود. اطلاعات شاخص *CPI* برای سال‌های مختلف از بانک جهانی استخراج شده است. وجود شرایط خاص برای برخی از شهرها (فرودگاه‌های کشور) سبب بروز گرایش به سفر به برخی از آن‌ها شده است. این شرایط خاص از طریق تعریف متغیرهای مجازی (باینری) در مدل‌های پیش رو مورد بررسی قرار می‌گیرند. متغیرهای به‌کاررفته به شرح زیر است.

۱۰- متغیر مجازی قطب زیارتی (*PPI*): یکی از اهداف مسافرت در ایران، زیارت هست. از این رو شهرهایی که مکان‌های زیارتی داشته باشند، یک ویژگی خاص جهت جذب مسافر دارند. از جمله مهم‌ترین این شهرها می‌توان به دو شهر مشهد و قم اشاره کرد. از آنجایی که در شهر قم فرودگاهی وجود ندارد و اصولاً جابجایی مسافری از طریق هوا به آن صورت نمی‌پذیرد، نمی‌توان محاسباتی برای این شهر به‌طور خاص صورت داد. اما با توجه به نزدیکی این شهر به تهران، جابجایی به آن از طریق تهران (متغیر مجازی مرکزیت) بررسی خواهد شد.

از این رو شهر مشهد به‌عنوان قطب زیارتی کشور توسط یک متغیر مجازی مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که متغیر قطب زیارتی هم در مدل مسافر و هم در مدل بار مورد استفاده قرار می‌گیرد چرا که جابجایی مسافر متعاقباً جابجایی بار را نیز به همراه دارد.

۱۱- متغیر مجازی مرکزیت (*PC*): این متغیر مجازی ویژه شهر تهران تعریف شده است تا خصوصیات پنهان مربوط به این شهر را که سبب افزایش تقاضای مسافری و باری می‌شود در بر بگیرد.

۱۲- متغیر مجازی قطب گردشگری (*PT*): دو شهر کیش و قشم به‌عنوان قطب گردشگری انتخاب شده‌اند. لازم به ذکر است این دو شهر صرفاً قطب‌های گردشگری کشور نمی‌باشند، اما با توجه به اینکه غالب مسافرت به این دو شهر از طریق هوا صورت می‌گیرد، این دو شهر به‌عنوان قطب گردشگری کشور انتخاب شده‌اند.

۱۳- متغیر مجازی قطب هاب (*PH*): با توجه به وجود نقاط هاب (محور) در کشور که وظیفه اتصال بین مبادی و مقاصد را بر عهده‌دارند، متغیر مجازی هاب جهت بررسی این شهرها در

استان‌ها هست. با افزایش میزان صادرات استان‌ها، جابجایی بار و به تبع آن حمل‌ونقل هوایی می‌تواند افزایش یابد.

۶- قیمت سوخت هواپیمای مسافری و باری

حدود ۳۰ درصد از هزینه‌های خطوط هوایی مرتبط با قیمت و هزینه‌های مرتبط با سوخت هواپیما است. البته می‌توان پیش‌بینی کرد که قیمت سوخت هواپیما به‌طور مستقیم تأثیری بر میزان تقاضا برای مسافرت با هواپیما نداشته باشد، بلکه این عامل با تأثیر بر قیمت و تعرفه بلیت، می‌تواند یک عامل اثر گزار باشد.

۷- قیمت بنزین و گازوییل

قیمت بنزین و گازوییل با اثرگذاری بر هزینه جابجایی جاده‌ای مسافر و بار و به تبع آن اثرگذاری بر الگوی حمل‌ونقل جاده‌ای به‌عنوان یک رقیب جابجایی هوایی، می‌تواند عامل اثرگذار بر تقاضای مسافر و بار باشد.

۸- هزینه مسافرت با وسیله سبک و سنگین

با توجه به اینکه حمل‌ونقل زمینی و جاده‌ای همواره یک رقیب جایگزین برای حمل‌ونقل هوایی است، بررسی هزینه مسافرت زمینی و جاده‌ای در مقابل هزینه مسافرت هوایی ضروری است. برای این منظور هزینه جابجایی با وسیله سبک (بنزین سوز) برای مقایسه با حمل‌ونقل هوایی مسافر و هزینه جابجایی با وسیله سنگین (گازوییل سوز) برای مقایسه با حمل‌ونقل هوایی بار مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

برای این منظور مصرف ۰/۱ لیتر بنزین برای وسیله سبک و ۰/۲۵ لیتر گازوییل برای وسیله سنگین در هر ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. همچنین سایر هزینه‌های وسیله سبک برابر با هزینه مصرف بنزین و سایر هزینه‌های وسیله سنگین دو برابر هزینه مصرف گازوییل آن در نظر گرفته شده است.

۹- شاخص مصرف‌کننده: این شاخص اندازه‌گیری کننده میانگین تغییر قیمت کالاها و خدماتی است که شهروندان در طول یک‌زمان مشخص خریداری می‌کنند. شاخص *CPI* بر اساس تغییرات قیمت در محصولات غذایی، پوشاک، مسکن، انرژی و سوخت، کرایه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های درمانی و دندانپزشکی، خدمات پزشکی، دارو، و سایر اقلام مورد مصرف روزانه مردم

## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

### ۲-۳ متغیرهای مورد استفاده در مدل تقاضای بار

متغیرهای تعریف شده برای این مدل عبارت است از:

متغیرهای جغرافیایی:

فاصله زمینی ( $D_{ij}$ )؛

متغیرهای اقتصادی-اجتماعی:

قیمت بلیت باری ( $CTP_{ij}$ )، جمعیت استان مبدأ ( $P_i$ )،

جمعیت استان مقصد ( $P_j$ )، متوسط درآمد خانوار استان مبدأ

( $Income_i$ )، متوسط هزینه خانوار استان مبدأ ( $Cost_i$ )،

متوسط درآمد خانوار استان مقصد ( $Income_j$ )، متوسط هزینه

خانوار استان مقصد ( $Cost_j$ )، تولید ناخالص کشور

( $GDP$ )، سرانه تولید ناخالص ملی ( $PGI$ )، شاخص

مصرف‌کننده ( $CPI$ )، ارزش صادرات استان مبدأ

( $Export_i$ )، ارزش صادرات استان مقصد ( $Export_j$ )،

قیمت بنزین هواپیمای باری ( $CAGP$ )؛

متغیرهای رقابتی:

قیمت گازوییل وسیله سنگین ( $TGP$ )، هزینه سفر با وسیله

سنگین ( $TTC$ )؛

متغیرهای مجازی تعریف شده برای مدل مسافر در مدل بار نیز

مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### ۴. مدل پیش‌بینی تقاضای بار و مسافر

روش‌های رگرسیون چندگانه اغلب به منظور توسعه تنوعی از

مسائل پیش‌بینی و برای به دست آوردن رابطه میان متغیرهای

وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای توصیفی شامل متغیرهای

اقتصادی اجتماعی، جمعیتی، بازار، مقاومت سفر و رقابت به کار

می‌روند (وگمن و اورت، ۲۰۰۲). مدل متداول توزیع سفر بر پایه

رگرسیون چندگانه به شرح زیر است.

$$T_{ij} = \exp^{a_0} \times x_1^{a_1} \times x_2^{a_2} \times x_3^{a_3} \times x_4^{a_4} \quad (1)$$

رابطه فوق یک معادله غیرخطی است که می‌توان با لگاریتم

گرفتن از دو طرف، آن را به یک معادله رگرسیونی خطی به

شرح زیر تبدیل کرد.

نظر گرفته می‌شود. قطب‌های محور در کشور، تهران، مشهد،

اصفهان، شیراز و تبریز در نظر گرفته شده‌اند.

۱۴- متغیر مجازی قطب جزیره (PI): با توجه به وجود جزایر

متعدد در جنوب کشور و عدم دسترسی جاده‌ای به این جزایر،

جزایر کیش، قشم، ابوموسی، خارک سیری و لاوان به صورت

یک متغیر مجازی به صورت جداگانه تحت بررسی قرار

می‌گیرند.

۱۵- متغیر مجازی قطب بندر (PPO): این متغیر مجازی تأثیر

بنادر عباس، لنگه و بوشهر را در جابجایی بار لحاظ می‌کند،

از این رو صرفاً در مدل بار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۱-۳ متغیرهای مورد استفاده در مدل تقاضای سفر

#### مسافری

متغیرهای تعریف شده برای این مدل عبارت است از:

متغیرهای جغرافیایی:

فاصله زمینی ( $D_{ij}$ )؛

متغیرهای اقتصادی-اجتماعی:

قیمت بلیت مسافری ( $PTP_{ij}$ )، جمعیت استان مبدأ ( $P_i$ )،

جمعیت استان مقصد ( $P_j$ )، متوسط درآمد خانوار استان مبدأ

( $Income_i$ )، متوسط هزینه خانوار استان مبدأ ( $Cost_i$ )،

متوسط درآمد خانوار استان مقصد ( $Income_j$ )، متوسط هزینه

خانوار استان مقصد ( $Cost_j$ )، قیمت بنزین هواپیمای مسافری

( $PAGP$ )؛

متغیرهای رقابتی:

قیمت بنزین خودرو ( $CGP$ ) و هزینه سفر با خودرو

( $CTC$ )؛

علاوه بر متغیرهای پیوسته فوق تعدادی متغیر مجازی<sup>۲۸</sup> نیز برای

مدل‌سازی تعریف شده که عبارت‌اند از: قطب زیارتی ( $PPI$ )،

قطب مرکزیت یا پایتخت ( $PC$ )، قطب گردشگری ( $PT$ )،

قطب هاب ( $PH$ ) و قطب جزیره ( $PI$ ) که در ادامه توضیح

داده می‌شوند.

$$Ln(T_{ij}) = a + a_1 Ln(x_1) + a_2 Ln(x_2) + a_3 Ln(x_3) + a_4 Ln(x_4) \quad (2)$$

۵- جمعیت استان مبدأ

۶- جمعیت استان مقصد

۷- متوسط هزینه خانوار در استان مبدأ

۸- متوسط هزینه خانوار در استان مقصد

۹- قیمت سوخت هواپیما

۱۰- هزینه سفر جاده‌ای

با توجه به آنکه رگرسیون بهترین زیرمجموعه صرفاً بهترین زیرمجموعه از متغیرها را بر اساس بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقدار  $CP$  ارائه می‌کند، لازم است در ادامه اثرگذاری هر یک از متغیرهای فوق مجدداً مورد بررسی قرار گیرد.

پس از بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای فوق، متغیرهای قیمت سوخت هواپیما و هزینه سفر جاده‌ای در مدل بی‌اثر شناخته شده و از آن حذف می‌شوند.

بنابراین متغیرهای اثرگذار بر مدل عبارت‌اند از: فاصله  $(D_{ij})$ ، جمعیت استان مبدأ  $(P_i)$ ، جمعیت استان مقصد  $(P_j)$ ، متوسط هزینه خانوار در استان مبدأ  $(Cost_i)$ ، متوسط هزینه خانوار در استان مقصد  $(Cost_j)$ ، قطب زیارتی  $(PPI)$ ، قطب گردشگری  $(PT)$  و قطب هاب  $(PH)$ .

مدل رگرسیون مسافر به شرح زیر به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} Ln(PD_{ij}) = & 6.87 - (2.9E - 5)(D_{ij}) + (1.64E - 7)(P_i) + \\ & (1.64E - 7)(P_j) - (7.03E - 9)(Cost_i) - \\ & (6.46E - 9)(Cost_j) + 1.066(PPI) + \\ & 1.056(PT) - 0.466(PH) \end{aligned}$$

در مدل فوق  $PD_{ij}$  میزان تقاضای مسافر میان مبدأ  $i$  و مقصد  $j$  است. ضرایب بتا (استاندارد شده) حاصل از رگرسیون که در واقع نشان‌دهنده میزان اهمیت هر یک از متغیرهای فوق است در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. مقادیر اهمیت (ضرایب بتا) متغیرها در مدل مسافر

$D_{ij}$	$P_i$	$P_j$	$Cost_i$	$Cost_j$	$PP$	$PT$	$PH$
۱/۰۹۴	۱/۴۹۱	۱/۴۹۷	۱/۱۲۹	۱/۱۱۹	۳/۲۶	۲/۳۳	۱/۲۹
-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-

در پژوهش پیش رو به دلیل تعداد زیاد متغیرهای تحت بررسی، از الگوریتم بهترین زیرمجموعه که در آن تمامی زیرمجموعه‌های ممکن از معادلات رگرسیونی، مورد بررسی قرار می‌گیرد استفاده می‌گردد. این روش با استفاده از معیارهای  $R_p^2$ ،  $MSE_p$  و  $C_p$  (تعداد متغیرهای مستقل مسئله است) تعداد کمی از زیرمجموعه‌های برتر را تعیین می‌کند. زیرمجموعه رگرسیونی مناسب‌تر است که مقدار  $R_p^2$  بیشتر و  $MSE_p$  و  $C_p$  کمتری داشته باشد [امین ناصری و بهنام، ۱۳۹۱].

$$R_p^2 = 1 - \frac{SSE_p}{SST_p} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{SSE_p}{MSE(x_1, \dots, x_{p-1})} - (n - 2p) \quad (4)$$

در معادلات (۳) و (۴)،  $SSE_p$  مجموع مربعات خطا برای مدل رگرسیون با  $p$  پارامتر و  $SST_p$  مقدار مجموع مربعات کل برای رگرسیون با  $p$  پارامتر است.

با توجه به آنکه میزان محاسبات و نتایج آماری حاصل از رگرسیون بهترین زیرمجموعه به دلیل تعداد بالای متغیرها و در نتیجه تعداد بسیار بیشتر زیرمجموعه آن‌ها (۲۹ متغیر مستقل و ۴۰۶ زیرمجموعه) فراوان است، از ذکر آن صرف‌نظر شده و تنها نتایج و بهترین زیرمجموعه استخراج شده که مورد هدف ادامه تحلیل‌های مقاله است شرح داده می‌شود. به منظور پیاده‌سازی الگوریتم بهترین زیرمجموعه، از نرم‌افزار مینی تب استفاده شده است.

#### ۴-۱ مدل توسعه یافته برای تقاضای مسافری

پس از انجام رگرسیون بهترین زیرمجموعه، بهترین ترکیب متغیرها به صورت زیر انتخاب می‌شود.

۱- قطب زیارتی

۲- قطب گردشگری

۳- قطب هاب

۴- فاصله

## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

### ۴-۲ مدل توسعه‌یافته برای تقاضای باری

پس از انجام رگرسیون بهترین زیرمجموعه، بهترین ترکیب متغیرها به صورت زیر انتخاب می‌گردد.

۱- قطب زیارتی

۲- قطب گردشگری

۳- قطب هاب

۴- قطب بندر

۵- قیمت بلیت

۶- جمعیت استان مبدأ

۷- جمعیت استان مقصد

۸- متوسط درآمد خانوار استان مبدأ

۹- متوسط هزینه خانوار استان مقصد

۱۰- CPI

۱۱- GDP

۱۲- صادرات استان مبدأ

پس از بررسی اثرگذاری متغیرهای فوق، صادرات مبدأ، بی‌اثر شناخته شد. بنابراین متغیرهای اثرگذار بر مدل عبارت‌اند از: جمعیت استان مبدأ ( $P_i$ )، جمعیت استان مقصد ( $P_j$ )، متوسط درآمد خانوار در استان مبدأ ( $Income_i$ )، شاخص مصرف‌کننده (CPI)، تولید ناخالص ملی (GDP)، قطب بندر ( $PPO$ )، قطب زیارتی ( $PPI$ )، قطب مرکزیت ( $PC$ )، قطب گردشگری ( $PT$ ) و قطب هاب ( $PH$ ) و قطب جزیره ( $PI$ ).

مدل رگرسیون بار به شرح زیر است.

$$\begin{aligned} \ln(CD_{ij}) = & 7.127 + (3.60E - 7)(P_i) + (3.68E - 7)(P_j) - \\ & (5.38E - 9)(Income_i) - 0.01435CPI + \\ & (7.32E - 12)GDP + 0.994(PPO) + \\ & 1.016(PPI) - 1.16(PC) + 1.451(PT) - \\ & 0.656(PH) + 0.748(PI) \end{aligned}$$

در مدل فوق  $CD_{ij}$  میزان تقاضای بار میان مبدأ  $i$  و مقصد  $j$  است. ضرایب بتا (استانداردشده) حاصل از رگرسیون که در واقع نشان‌دهنده میزان اهمیت هر یک از متغیرهای فوق است در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴. مقادیر اهمیت (ضرایب بتا) متغیرها در مدل بار

$P_i$	$P_j$	$Income_i$	CPI	GDP
۱/۰۸۰	۱/۰۵۴	۰/۰۷۷	-۰/۴۳۵	۰/۳۵۳
PPI	PPO	PC	PT	PH
۰/۲۹۵	۰/۲۲۹	-۰/۳۹۵	۰/۳۱۴	-۰/۱۶۶

### ۴-۳ بررسی اعتبار مدل‌ها

الف) آزمون استقلال خطاها

یکی از مفروضات رگرسیون مستقل بودن خطاها از یکدیگر است (خطاها همان تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط معادله رگرسیون است). در صورتی که خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشند، امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمونی به نام آزمون دوربین - واتسون استفاده می‌شود.

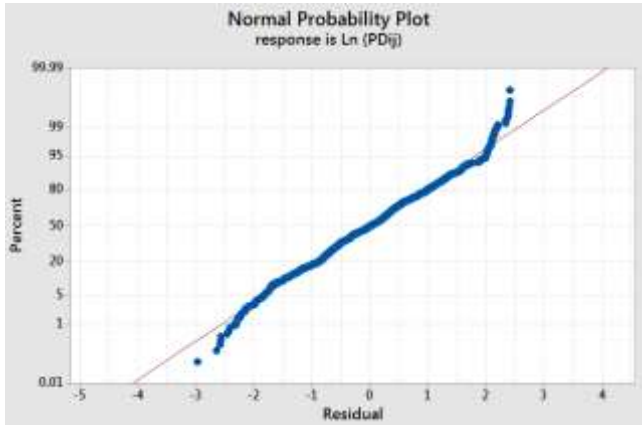
اگر همبستگی میان خطاها را با  $\rho$  نشان دهیم، در این صورت آماره دوربین - واتسون به کمک رابطه  $DW = 2(1 - \rho)$  محاسبه می‌شود. همواره مقدار این آماره در فاصله ۰ تا ۴ قرار دارد و نتیجه آزمون به صورت زیر قابل تفسیر است:

۱- اگر  $\rho = 0$ ، آنگاه مقدار آماره  $DW = 2$  خواهد بود که نشانه استقلال خطاها از یکدیگر است (عدم همبستگی خطاها).  
 ۲- اگر  $\rho = 1$ ، آنگاه مقدار آماره  $DW = 0$  خواهد بود که نشان می‌دهد خطاها دارای خودهمبستگی مثبت هستند.  
 ۳- اگر  $\rho = -1$ ، آنگاه مقدار آماره  $DW = 4$  خواهد بود

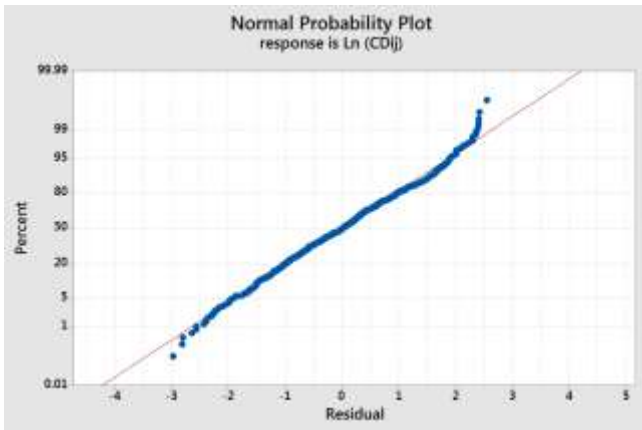
که نشان می‌دهد خطاها دارای خودهمبستگی منفی هستند. از آنجایی که فرض  $H_0$  بر عدم همبستگی خطاها تأکید دارد، چنانچه این آماره در بازه ۱/۵ تا ۲/۵ قرار گیرد، فرض  $H_0$  پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت فرض  $H_0$  رد می‌شود و نتیجه گرفته می‌شود که بین خطاها همبستگی وجود دارد.

مقدار آماره دوربین - واتسون برای مدل مسافر برابر با ۲/۱۲ و برای مدل بار برابر با ۲/۲۵ است که باعث پذیرش فرض عدم همبستگی خطاها برای دو مدل می‌شود.

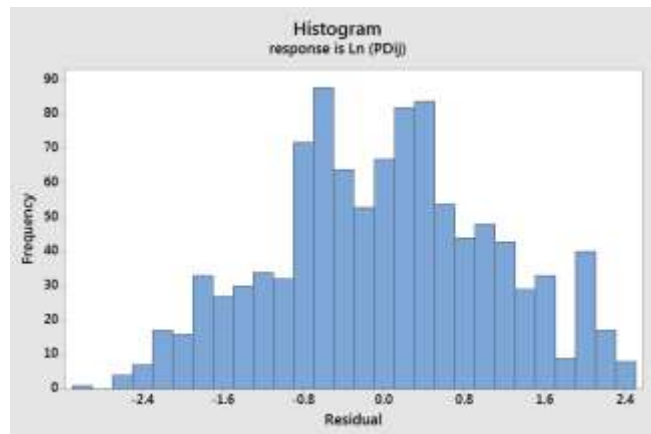
ب) نرمال بودن خطاها



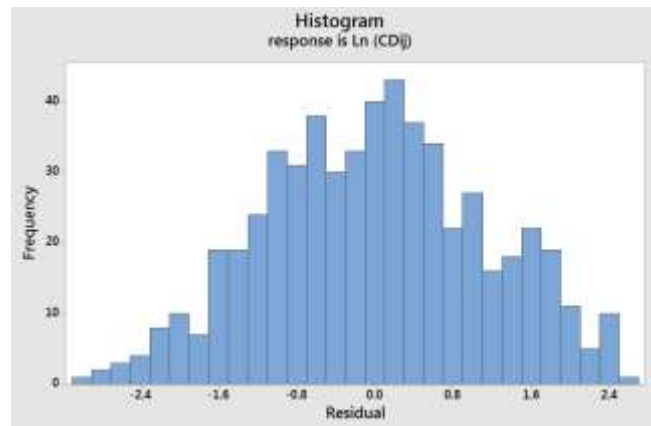
شکل ۶. نمودار توزیع خطا برای مدل مسافر



شکل ۷. نمودار توزیع خطا برای مدل بار



شکل ۴. نمودار توزیع خطا برای مدل مسافر



شکل ۵. نمودار توزیع خطا برای مدل بار

یکی دیگر از مفروضات در نظر گرفته شده در رگرسیون آن است که خطاها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر باشند. بدیهی است در صورت عدم برقراری این فرض، نمی‌توان از رگرسیون استفاده کرد. برای این منظور باید مقادیر استاندارد خطاها محاسبه شود و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار نرمال آن‌ها رسم شود. سپس مقایسه‌ای بین دو نمودار صورت گیرد. شکل‌های ۴ و ۵ توزیع فراوانی خطاها برای دو مدل بار و مسافر را نشان می‌دهد. با مقایسه این نمودار با نمودار نرمال مشاهده می‌شود که توزیع خطاها تقریباً نرمال است، بنابراین می‌توان از رگرسیون استفاده کرد.

### ج) معیار $R^2$

این معیار برای دو مدل به شرح جدول ۵ است. در جدول زیر دو معیار  $R^2_{adj}$  و  $R^2_{pre}$  نیز اشاره شده‌اند.  $R^2_{adj}$  انطباقی از  $R^2$  بر اساس تعداد متغیرهای مستقل مدل است. این معیار تنها زمانی افزایش می‌یابد که متغیر مستقل افزوده شده به مدل، میزان انطباق آن را بیشتر از یک مقدار تصادفی و شانسی افزایش دهد.  $R^2_{pre}$  توانایی مدل را در برآورد و پیش‌بینی داده‌های اولیه حذف شده از آن موردسنجش قرار می‌دهد. بدیهی است هرچه مقدار این متغیر بیشتر باشد، مدل در برآورد داده‌های اولیه حذف شده توانایی بیشتری دارد.

با توجه به آنکه اصولاً اقدام به مسافرت با هواپیما یک فعالیت وابسته به تصمیم انسان است و از طرف دیگر عوامل متنوع و غیرقابل پیش‌بینی دیگری در این تصمیم دخیل است، مدل‌های برآورد شده برای آن دارای تغییرپذیری بالایی خواهند

شکل‌های ۶ و ۷ نیز نمودار احتمال نرمال<sup>۲۹</sup> برای باقی‌مانده‌هاست<sup>۳۰</sup>. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر باقی‌مانده‌ها بر روی یک خط با زاویه ۴۵ درجه قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده نرمال بودن آنان است.

## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

بود که این امر محدودکننده افزایش مقدار  $R^2$  در مدل‌سازی است.

جدول ۵. مقادیر برازندگی مدل‌های مسافر و بار

	$R^2$	$R^2_{adj}$	$R^2_{pre}$
مدل مسافر	۳۲/۸۴	۳۲/۳۲	۳۱/۶۶
مدل بار	۳۹/۹۵	۳۸/۷۶	۳۷/۴۵

برای نمونه میزان متوسط درآمد یک خانوار در یک استان، خود تابعی از عوامل متعدد و پیچیده ایست که سبب تغییرپذیری بالایی در آن می‌شود. همچنین سیاست‌های شرکت‌های هوایی در جهت جذب مسافر عامل مهم دیگری است که می‌تواند تغییرپذیری مدل را افزایش دهد.

باین‌حال مهم‌ترین دلیلی که می‌توان برای پایین بودن  $R^2$  در مدل‌سازی فوق دانست، ناهمگونی شدید میان متغیرهای وابسته به شهرهای ایران و توزیع کاملاً نامتقارن تقاضا است، به‌طوری‌که سبب می‌شود تا مدل‌سازی جامعی برای تمامی این شهرها نتوان ارائه کرد. از این‌رو توصیه می‌شود تا برای شهرهای با تقاضای بالا مدل‌سازی خاص صورت پذیرد.

از این‌رو در ادامه تقاضای مسافر برای کلان‌شهرهای کشور به‌صورت جداگانه مدل‌سازی می‌شود. برای این منظور متغیرهای به‌دست‌آمده از الگوریتم بهترین زیرمجموعه‌ها برای مدل‌سازی رگرسیون چندگانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول ۵ متغیرهای اثرگذار بر مدل هر کلان‌شهر و مقادیر برازندگی آن را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اصولاً توسعه مدل‌های پیش‌بینی برای تقاضای مسافرت باید به‌طور مشخص برای مسیرهایی با یک سر (مبدأ یا مقصد) مشخص صورت پذیرد.

مزیت مدل به‌دست‌آمده در این پژوهش نسبت به مدل [Saffarzadeh and Ghorbani, 2006]، عدم استفاده از متغیر فرکانس (تعداد) پرواز است. آنان در مقاله خود به‌منظور افزایش مقدار از این متغیر استفاده کردند.

هرچند که استفاده از متغیر فرکانس پرواز به دلیل همبستگی بالا با مقدار تقاضا سبب افزایش قابل‌توجه در مقدار برازش می‌شود، اما از طرفی موجب می‌شود که مدل‌سازی عملاً غیرقابل

استفاده باشد. چراکه تعداد پرواز و مقدار تقاضا شدیداً به هم وابسته هستند و نمی‌توان یکی را به‌صورت مستقل از دیگری جهت متغیر ورودی تخمین زد. به‌عبارت‌دیگر بدیهی است که تعداد پرواز بیشتر نتیجه جابجایی بیشتر و جابجایی بیشتر منجر به تعداد پرواز بیشتر می‌شود. از این‌رو چنانچه یکی از این دو متغیر به‌عنوان متغیر مستقل و دیگری به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شود، مدل به‌دست‌آمده غیرقابل استفاده است چراکه هیچ‌کدام از آن دو مستقلاً قابل پیش‌بینی نیست.

به‌عبارت‌دیگر متغیر فرکانس پرواز خود همانند متغیر تقاضا یک متغیر وابسته است. بنابراین زمانی که یکی از این دو متغیر به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل‌سازی شود، مدل به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی مناسب نیست.

جدول ۶ میزان وابستگی میان جابجایی مسافر و متغیر فرکانس پرواز را بین سال‌های ۸۷ تا ۹۲ نشان می‌دهد. در این جدول میزان وابستگی میان متغیر فرکانس پرواز و میزان تقاضا بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ حداقل به میزان ۹۸ درصد بوده است. جدول ۷ نیز متغیرهای اثرگذار، مقادیر برازندگی و مدل‌های رگرسیونی کلان‌شهرهای کشور برای جابجایی مسافر را نشان می‌دهد.

جدول ۶. مقادیر وابستگی میان متغیر فرکانس پرواز و میزان تقاضا

سال	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲
$\rho$	۰/۹۸۴	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۴	۰/۹۸۴	۰/۹۸۴

جدول ۸ مقادیر به‌دست‌آمده از مدل [Saffarzadeh and Ghorbani, 2006] و مدل [Ebrahimzadeh et al. 2011] را نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر حاصل از مدل‌سازی این پژوهشگران با مقادیر به‌دست‌آمده در این مقاله، نشان می‌دهد که مدل‌سازی صورت گرفته بدون نیاز به متغیر فرکانس پرواز قابلیت پیش‌بینی مناسب‌تری دارد. همچنین مقدار برازندگی به‌دست‌آمده از مدل اصفهان از مقدار برازندگی به‌دست‌آمده برای مدل [Ebrahimzadeh et al. 2011] به‌مراتب بیشتر است که نشان می‌دهد مدل به‌دست‌آمده میزان دقت پیش‌بینی بالاتری دارد.

## مجید جلیلی، منوچهر منطقی

می‌تواند یکی از دلایل بروز خطای ناشی از مدل برازش باشد. برای مثال در شکل ۸ بیشترین اختلاف مشاهده شده برای شهر اهواز هست، با توجه به آنکه شهر اهواز شامل هیچ کدام از متغیرهای مجازی نیست اما جابجایی کلانی با شهر تهران دارد، پیش‌بینی ارائه شده توسط مدل تفاوت نسبتاً معناداری با مقدار واقعی تقاضا دارد. همچنین ذکر این نکته نیز ضروری است که بروز یک حادثه غیرمترقبه نظیر سیل، زلزله، تعطیلی فرودگاه و غیره می‌تواند منجر به تغییراتی در میزان جابجایی گردد که قاعدتاً مدل برازش قادر به شناسایی آن‌ها نیست.

شکل ۹ میزان تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی را برای شهر مشهد نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مدل ارائه شده در پیش‌بینی تقاضا به خوبی عمل کرده و اختلاف میان تقاضای واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده ناچیز است. اشکال ۱۰، ۱۱ و ۱۲ میزان تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی را به ترتیب برای شهرهای اصفهان، شیراز و تبریز نشان می‌دهد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل ارائه شده برای پیش‌بینی تقاضای مسافری میان این شهرها و سایر شهرهای کشور است.

شکل‌های ۸ تا ۱۲ میزان تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی مسافر را برای کلان‌شهرهای کشور در سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهد. برای هر شهر، مقادیر پیش‌بینی برای شهرهایی با بیش از ۳۰۰۰ مسافر در سال صورت گرفته است. برای مثال در شکل ۸ پیش‌بینی تقاضا برای تهران و ۳۲ شهر دیگر که تقاضایی بیشتر از ۳۰۰۰ نفر داشته‌اند، صورت پذیرفته است.

مطابق با شکل‌های ۸ تا ۱۲ مدل رگرسیونی ارائه شده توانسته نتایج قابل قبولی در پیش‌بینی مسافر برای فرودگاه تهران و سایر شهرها ارائه دهد. میان پیش‌بینی‌های صورت گرفته و مقادیر تقاضای واقعی تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. وجود این اختلاف به دو دلیل عمده هست. دلیل اول می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری داده‌ها باشد. به عبارت دیگر خطای اندازه‌گیری تقاضای مسافر و بار طبیعتاً موجب ایجاد اختلاف میان مقادیر پیش‌بینی و تقاضای واقعی خواهد بود. دلیل دوم مربوط به خطای درون مدل برازش هست. بدیهی است مدل پیش‌بینی انطباق ۱۰۰ درصدی نداشته و این عدم انطباق منجر به بروز اختلاف میان داده‌های برازش شده و مقادیر مشاهده شده می‌گردد. به عنوان نمونه عدم شناسایی سایر متغیرهای اثرگذار،

جدول ۷. مدل‌های رگرسیونی مسافر برای کلان‌شهرهای کشور

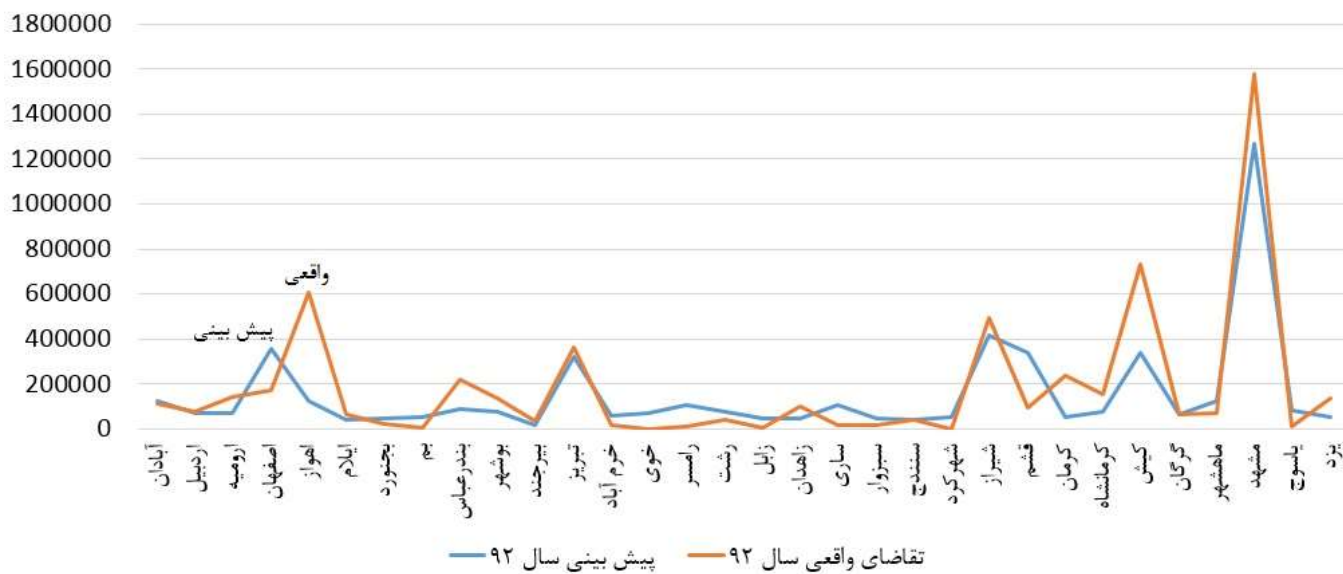
مدل	معادله رگرسیونی مسافر	$R^2$	$R^2_{adj}$	$R^2_{pre}$	متغیرهای اثرگذار
تهران	$PD_{ij} = -566974 + 0.01487 P_i + 0.01450 P_j$ $+ 0.001427 Income_i + 0.001546 Income_j$ $+ 873573 PPI + 271207 PT + 265546 PH$	۶۹/۷۷	۶۹/۱۷	۶۷/۴۹	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، درآمد استان مبدأ، درآمد استان مقصد، قطب زیارتی، قطب گردشگری، قطب هاب
مشهد	$PD_{ij} = -۸۳۹۱۶ + ۰.۰۱۰۸۶ P_i + ۰.۰۱۱۳۴ P_j$ $+ ۴۱.۴ CGP + ۱۰۲۱۷۸۳ PC + ۵۶۹۹۸ PT + ۱۰۹۵۴۲ PH$	۹۶/۳۷	۹۶/۲۷	۹۷/۵۷	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، قیمت بنزین خودرو، قطب مرکزیت، قطب گردشگری، قطب هاب
اصفهان	$PD_{ij} = -۷۸۳۸ + ۰.۰۰۳۵۷ P_i + ۰.۰۰۳۳۵ P_j$ $+ ۲۴.۰۶۳۷ PPI + ۱۵۷۶۶۸ PC + ۳۹۰۲۶ PT - ۱۱۶۶۸ PH$	۹۳/۲۲	۹۲/۸۹	۹۲/۰۹	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، قطب زیارتی، قطب مرکزیت، قطب گردشگری، قطب هاب
شیراز	$PD_{ij} = ۳۲۳۶۷ - ۰.۰۰۲۶۴۱ P_i - ۰.۰۰۲۴۴۸ P_j$ $+ ۱۳۲۷۴۷ PPI + ۵۴۱۷۲۶ PC$	۹۸/۱۲	۹۸/۰۷	۹۷/۹۷	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، قطب زیارتی، قطب مرکزیت
تبریز	$PD_{ij} = -۳۲۹۷۶ + ۰.۰۰۶۵۸ P_i + ۰.۰۰۷ P_j$ $+ ۲۹۶۱۷۰ PC + ۲۰۰۰۶ PT$	۹۶/۳۴	۹۶/۱۰	۹۵/۳۹	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، قطب مرکزیت، قطب گردشگری



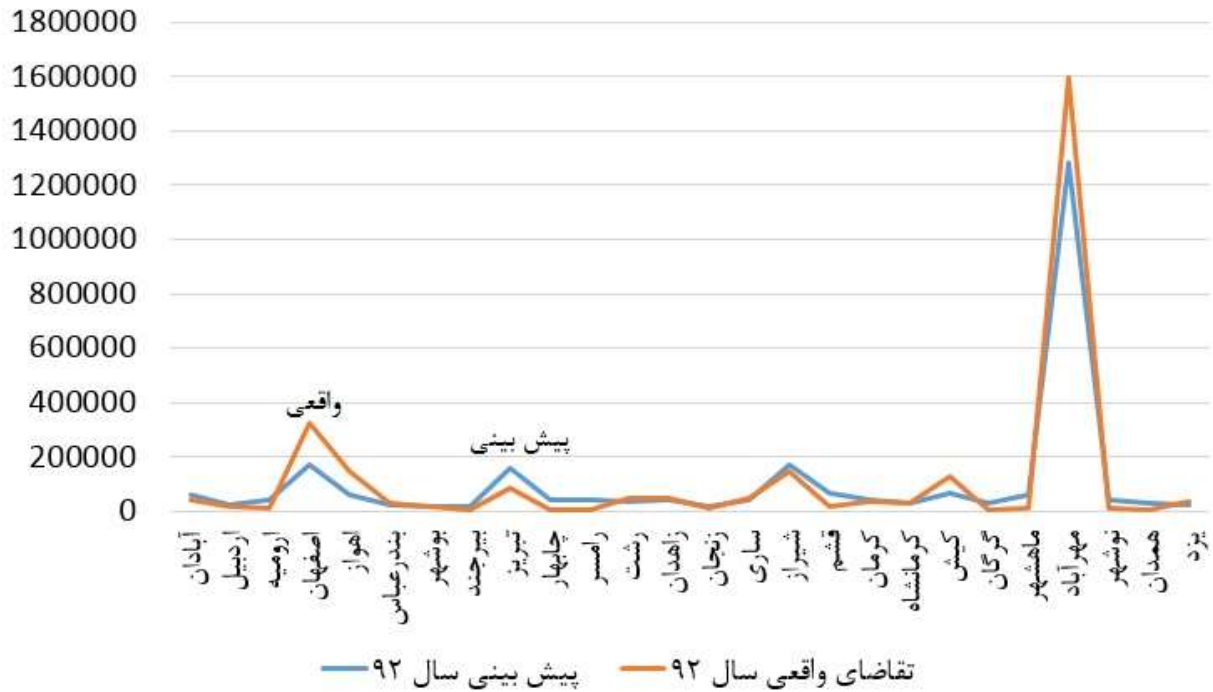
## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

جدول ۸. نتایج مدل‌سازی صفار زاده و قربانی، و ابراهیم‌زاده و همکاران

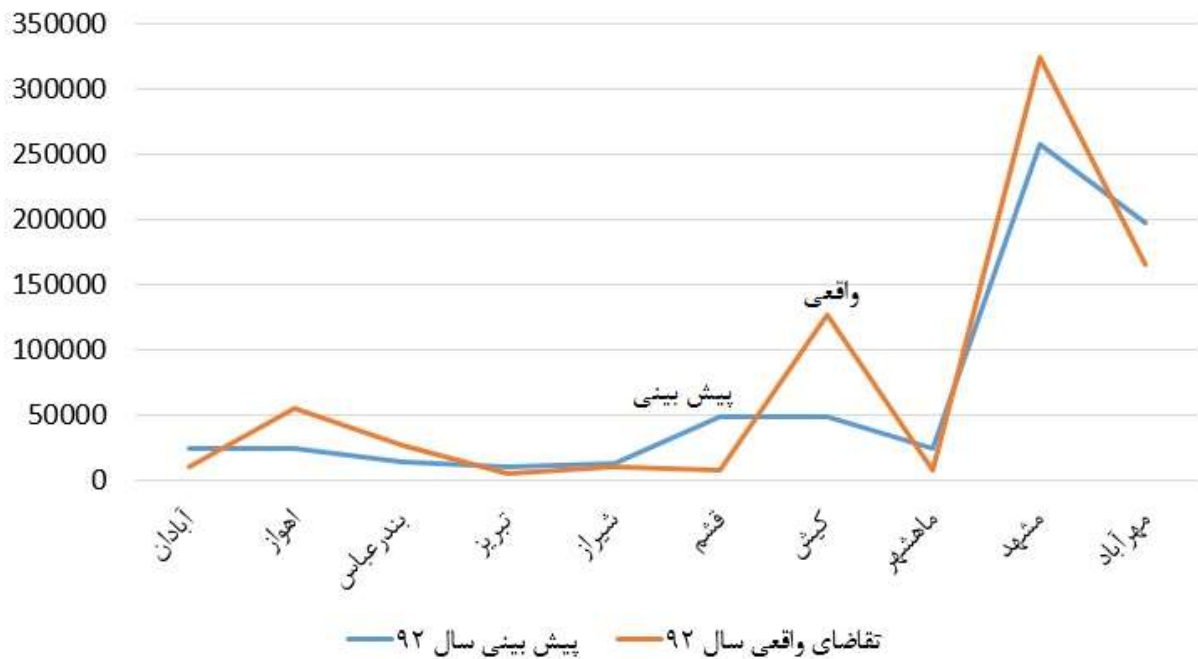
پژوهشگران	شاخص برازندگی	مشهد	تهران	اصفهان	شیراز
بدون متغیر فرکانس پرواز	$R^2$	۰/۷۴	۷۶/۷۵	۰/۹۶	۰/۸۱
صفار زاده و قربانی <sup>۳۱</sup>	$R^2$	۰/۹۶	۹۷/۷۵	۰/۹۶	۰/۹۶
همراه با متغیر فرکانس پرواز	$R^2$	*	*	۰/۵۳۷	*
ابراهیم‌زاده و همکاران <sup>۳۲</sup>	$R^2$				



شکل ۸. مقایسه تقاضای واقعی مسافر و مقدار پیش‌بینی برای شهر تهران

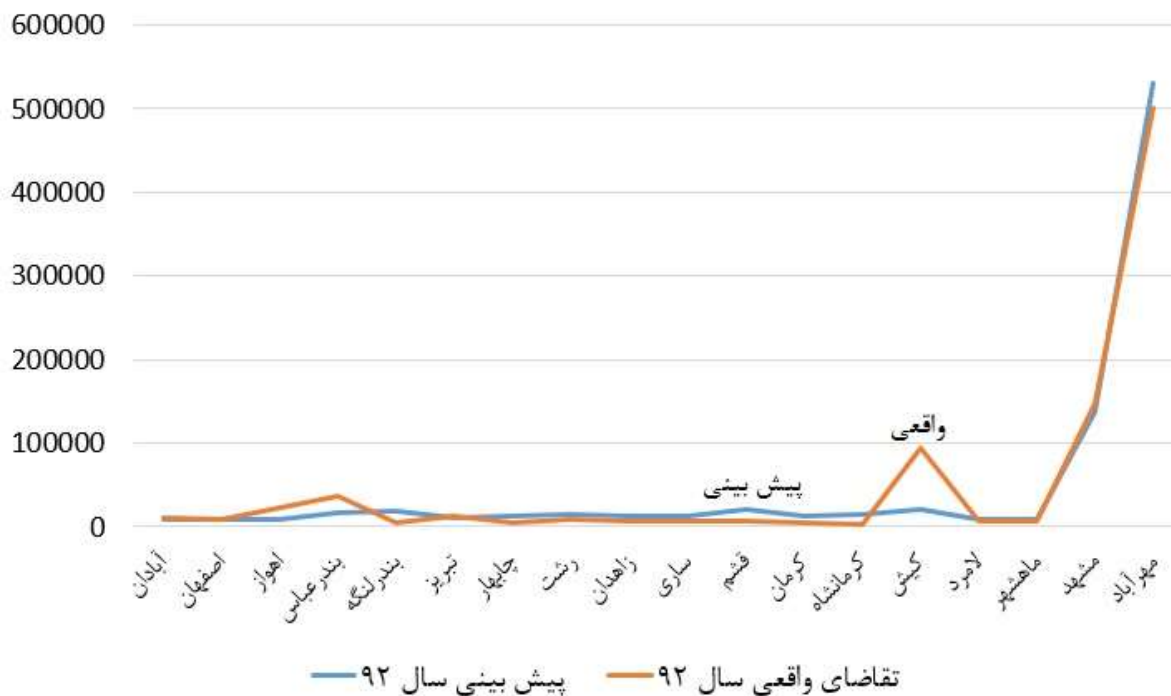


شکل ۹. مقایسه تفاضای واقعی مسافر و مقدار پیش‌بینی برای شهر مشهد

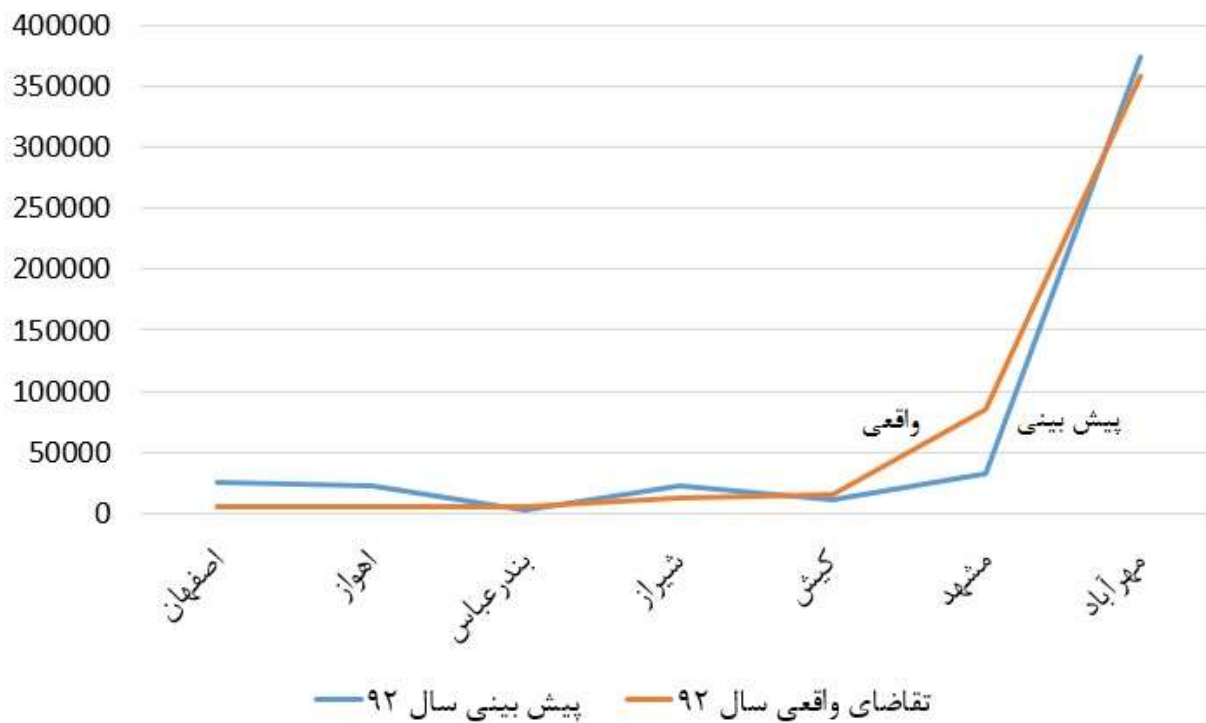


شکل ۱۰. مقایسه تفاضای واقعی مسافر و مقدار پیش‌بینی برای شهر اصفهان

### تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران



شکل ۱۱. مقایسه تقاضای واقعی مسافر و مقدار پیش‌بینی برای شهر شیراز



شکل ۱۲. مقایسه تقاضای واقعی مسافر و مقدار پیش‌بینی برای شهر تبریز

## مجید جلیلی، منوچهر منطقی

بیشترین اختلاف میان مقدار پیش‌بینی و تقاضای واقعی میان شهرهای مشهد و تهران هست. شکل ۱۵ میزان تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی جابجایی بار برای شهر اصفهان را نشان می‌دهد. در این نمودار بیشترین اختلاف میان مقدار پیش‌بینی و تقاضای واقعی میان شهرهای اصفهان و مشهد هست. شکل ۱۶ میزان تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی جابجایی بار برای شهر شیراز را نشان می‌دهد. در این نمودار بیشترین اختلاف میان مقدار پیش‌بینی و تقاضای واقعی میان شهرهای شیراز و تهران هست. شکل ۱۷ میزان تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی جابجایی بار برای شهر تبریز را نشان می‌دهد. در این نمودار بیشترین اختلاف میان مقدار پیش‌بینی و تقاضای واقعی میان شهرهای تبریز و تهران هست.

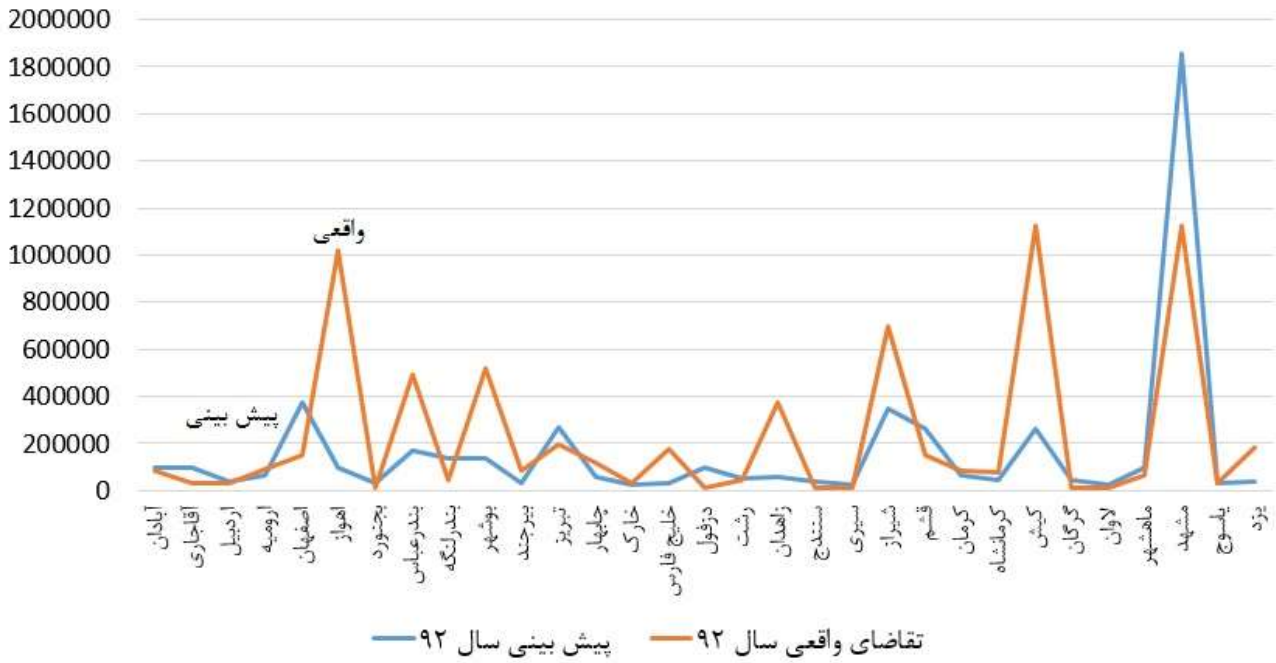
جدول ۹ متغیرهای اثرگذار، مقادیر برازندگی و مدل‌های رگرسیونی کلان‌شهرهای کشور برای جابجایی بار را نشان می‌دهد. هدفمند کردن توسعه مدل‌ها بر اساس کلان‌شهرها به‌وضوح مقدار برازندگی مدل را افزایش داده است. خصوصاً برای شهرهای مشهد، اصفهان، شیراز و تبریز، مدل‌های به‌دست‌آمده برای کلان‌شهرها، مقادیر برازندگی بیشتری نسبت به مدل ارائه‌شده کلی بار دارد.

شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ مقادیر پیش‌بینی و تقاضای واقعی بار را برای کلان‌شهرهای تحت بررسی با جابجایی بار بیش از ۱۰ هزار کیلوگرم نشان می‌دهد. شکل ۱۳ مقادیر تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی را برای ۳۱ مسیر جابجایی بار بین تهران و سایر شهرها نشان می‌دهد. در این شکل بیشترین اختلاف برای تهران و کیش مشاهده می‌شود. شکل ۱۴ میزان تقاضای واقعی و مقدار پیش‌بینی جابجایی بار برای شهر مشهد را نشان می‌دهد. در این نمودار

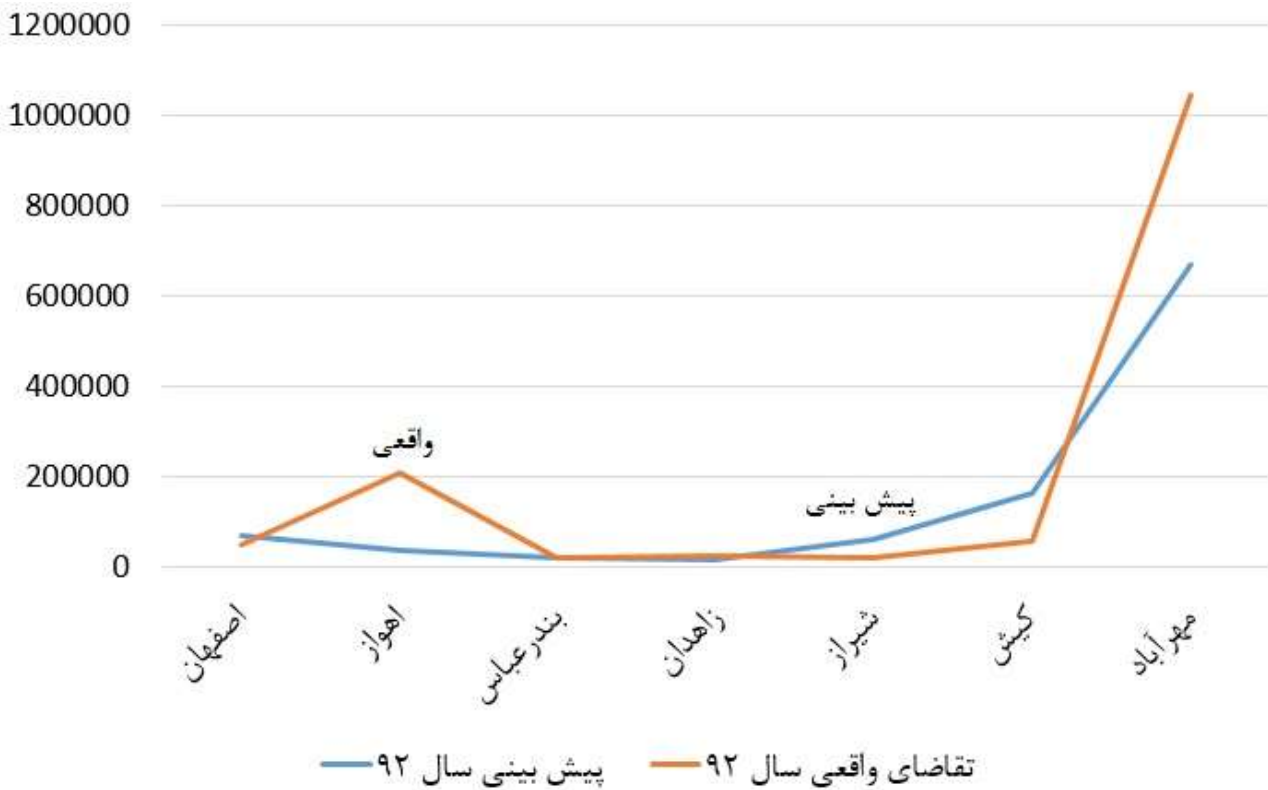
جدول ۹. مدل‌های رگرسیونی بار برای کلان‌شهرهای کشور

مدل بار	معادله رگرسیونی بار	$R^2$	$R^2_{adj}$	$R^2_{pre}$	متغیرهای اثرگذار
تهران	$Ln(CD_{ij}) = 5.12 + (2.58E-07) P_i + (3.01E-07) P_j + (1.5E-08) Income_i + (7.71E-12) GDP - 0.01548 CPI + 1.397 PPO + 1.253 PPI + 2.309 PT + 1.233 PH$	۳۷/۰۷	۳۴/۶۸	۳۲/۰۲	جمعیت مبدأ، جمعیت مقصد، درآمد مبدأ، GDP، CPI، قطب بندر، قطب زیارتی، قطب گردشگری، قطب هاب
مشهد	$Ln(CD_{ij}) = 7.146 + (5.14E-07) P_i + (4.58E-07) P_j + (1.73E-11) GDP - 0.03585 CPI + 0.696 PPO - 1.466 PC + 3.639 PT + 0.466 PH$	۶۶/۹۲	۶۴/۸۱	۶۲/۴۷	جمعیت مبدأ، جمعیت مقصد، GDP، CPI، قطب بندر، قطب مرکزیت، قطب گردشگری، قطب هاب
اصفهان	$Ln(CD_{ij}) = 6.98 + (1.79E-07) P_i + (1.78E-07) P_j + (1.19E-08) Income_i + (1.17E-11) GDP - 0.02125 CPI + 2.501 PPI + 1.437 PT$	۷۳/۴۷	۶۹/۴۴	۶۲/۹۰	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، درآمد استان مبدأ، GDP، CPI، قطب زیارتی، قطب گردشگری
شیراز	$Ln(CD_{ij}) = 6.34 + (1.56E-07) P_i + (1.59E-07) P_j + (1.62E-08) Income_i + (1.05E-11) GDP - 0.01957 CPI + 0.994 PPI + 2.390 PC + 0.851 PI$	۸۶/۴۹	۸۴/۷۷	۸۲/۴۳	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، درآمد استان مبدأ، GDP، CPI، قطب زیارتی، قطب مرکزیت، قطب جزیره
تبریز	$Ln(CD_{ij}) = 12.01 - (3E-07) P_i - (2.3E-07) P_j + 3.020 PPI + 4.85 PC$	۵۵/۳۴	۴۷/۲۲	۳۲/۶۳	جمعیت استان مبدأ، جمعیت استان مقصد، قطب زیارتی، قطب مرکزیت

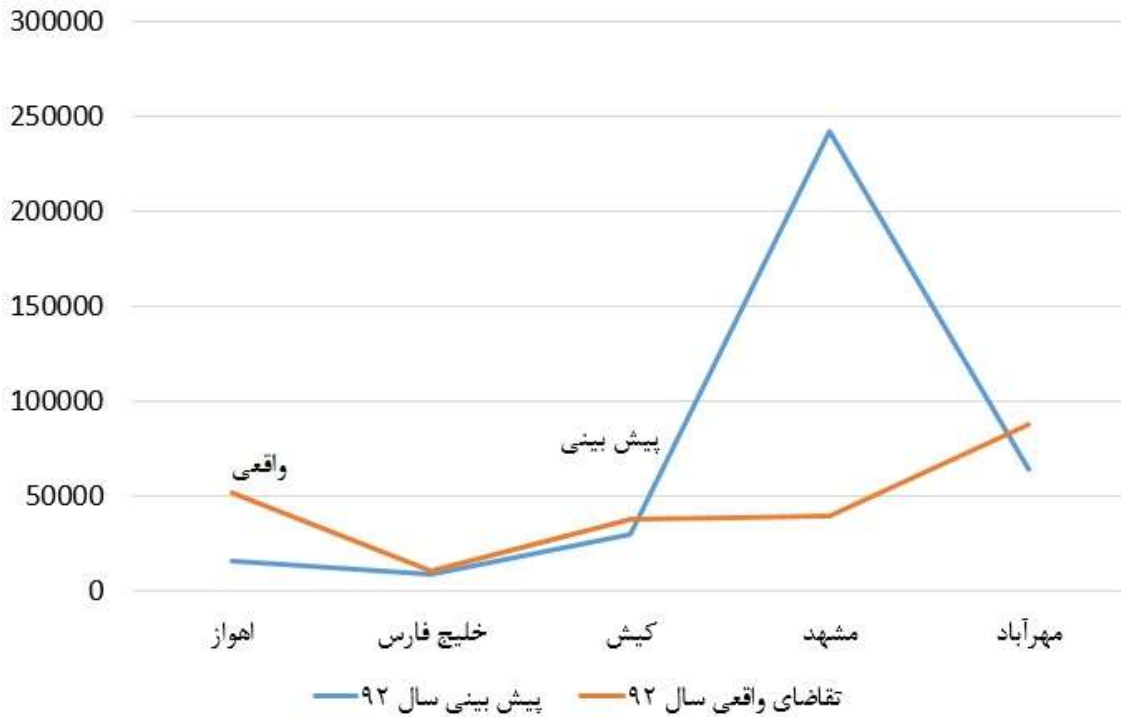
### تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران



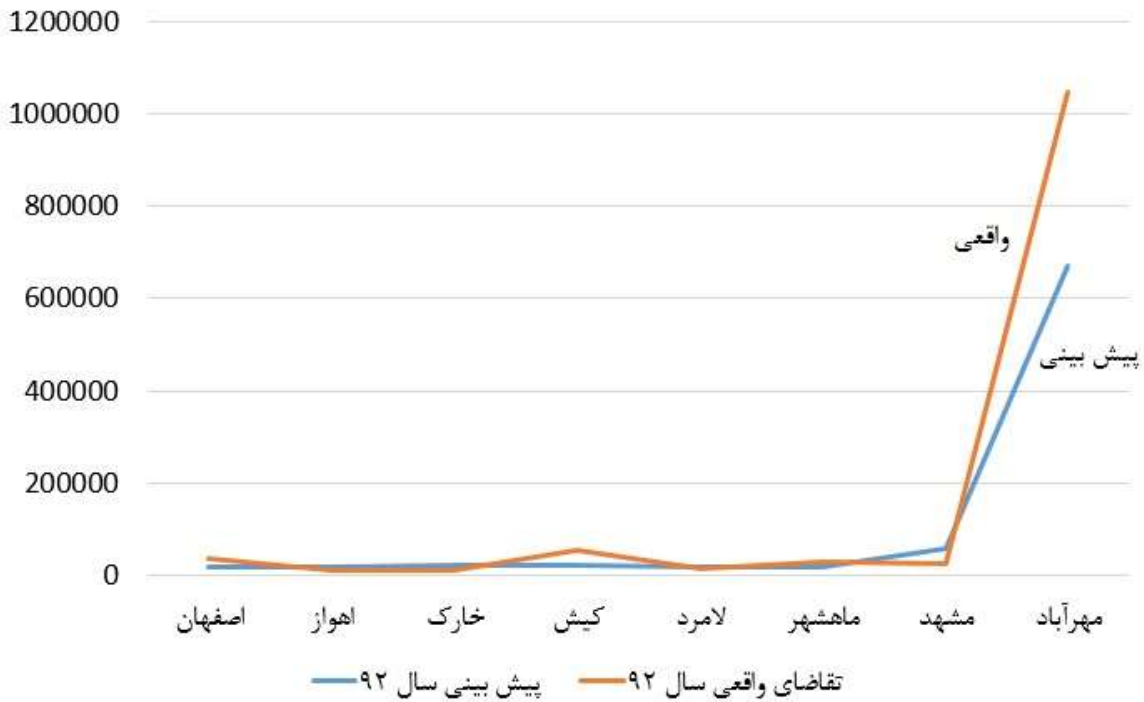
شکل ۱۳. مقایسه تقاضای واقعی بار و مقدار پیش‌بینی برای شهر تهران



شکل ۱۴. مقایسه تقاضای واقعی بار و مقدار پیش‌بینی برای شهر مشهد

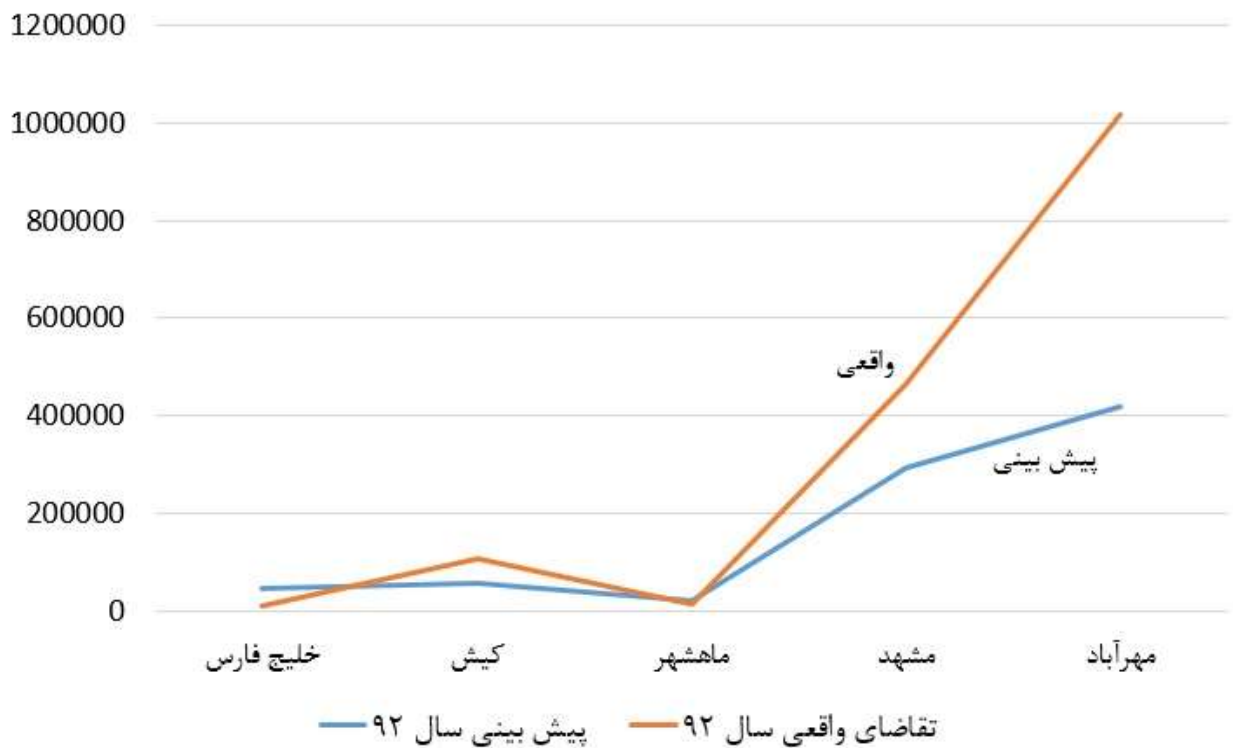


شکل ۱۵. مقایسه تقاضای واقعی بار و مقدار پیش‌بینی برای شهر اصفهان



## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

شکل ۱۶. مقایسه تقاضای واقعی بار و مقدار پیش‌بینی برای شهر شیراز



شکل ۱۷. مقایسه تقاضای واقعی بار و مقدار پیش‌بینی برای شهر تبریز

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله تقاضای بار و مسافر هوایی در کشور مورد تحلیل قرار گرفت و بر اساس متغیرهای جغرافیایی، اقتصادی - اجتماعی و رقابتی، میزان تقاضا توسط مدل رگرسیون چندگانه مورد تحلیل قرار گرفت. یافته‌های مدل ارائه شده با مدل [Ebrahimzadeh و Saffarzadeh and Ghorbani, 2006] et al. 2011 مقایسه گردید و نشان داده شد که مدل ارائه شده در این مقاله قابلیت انطباق مناسب‌تری دارد. مدل‌سازی صورت گرفته به دلیل عدم استفاده از متغیر فرکانس پرواز قابلیت پیش‌بینی بیشتری نسبت به مدل صفارزاده و قربانی دارد. از طرف دیگر همانند نتیجه گرفته شده توسط صفارزاده و قربانی، با توجه به تأثیرپذیری بالای متغیرهای اقتصادی - اجتماعی بر میزان تقاضا برای مسافرت و از طرف دیگر ناهمگونی شدید سطح این متغیرها میان شهرهای ایران، توصیه

می‌شود تا مدل‌سازی برای کلان‌شهرها به صورت خاص صورت پذیرد. از طرف دیگر تعریف متغیرهای مجازی برای شهرهای با وضعیت خاص، سبب انطباق هرچه بیشتر مدل با داده‌های ورودی می‌شود. لذا یکی از روش‌های غلبه بر ناهمگونی میان شهرهای ایران استفاده از متغیر مجازی هست. در پاسخ به سؤالات مطرح شده در مقدمه پژوهش نیز می‌توان بیان داشت که:

- ۱- با توجه به تنوع عوامل اثرگذار بر ویژگی‌های خاص کلان‌شهرهای ایران و سفرهای صورت گرفته، عوامل اثرگذار بر تقاضای سفر هوایی برای هر کلان‌شهر متفاوت هست. جمعیت شهر مبدأ و جمعیت شهر مقصد به عنوان عوامل اثرگذار بر همه شهرها مورد شناسایی قرار گرفتند.

- ۲- مدل مناسب برای پیش‌بینی تقاضای مسافرت هوایی مدلی مختص برای هر کلان‌شهر است تا تفاوت‌های ماهیتی مسافرت به کلان‌شهرها را به خوبی در نظر بگیرد. این ویژه سازی

- <sup>10</sup> High scenario
- <sup>11</sup> Demographic variables
- <sup>12</sup> Socioeconomic variables
- <sup>13</sup> Environmental
- <sup>14</sup> Political
- <sup>15</sup> Safety
- <sup>16</sup> Security
- <sup>17</sup> Convenience
- <sup>18</sup> High technology
- <sup>19</sup> Time sensitive
- <sup>20</sup> Cargo
- <sup>21</sup> Foreign Direct Investment (FDI)
- <sup>22</sup> Passenger Origin Destination Model
- <sup>23</sup> Dependent
- <sup>24</sup> Explanatory
- <sup>25</sup> Autoregressive
- <sup>26</sup> Gross Domestic Product
- <sup>27</sup> Consumer Price Index
- <sup>28</sup> Dummy variable
- <sup>29</sup> Normal Probability Plot (NPP)
- <sup>30</sup> Residuals

<sup>31</sup> با توجه به آنکه در مقاله ذکر شده، مدل سازی شهر تهران با سطح بندی فاصله میان سایر شهرها و تهران صورت گرفته است، مقدار  $R^2$  میانگین ارائه شده است.

<sup>32</sup> این پژوهش صرفاً برای فرودگاه اصفهان صورت گرفته است.

## ۷. مراجع

- ابراهیم زاده، عیسی؛ سقایی، محسن؛ ایزد فر، الهام و ایزد فر، نجمه (۱۳۹۰) "مدل تحلیلی برنامه ریزی سفر و حمل و نقل هوایی در کشور، مطالعه موردی: فرودگاه بین المللی شهید بهشتی اصفهان"، مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای، سال سوم، شماره دهم.
- امین ناصری، محمدرضا و بهنام، فرنام (۱۳۹۱) "پیش بینی تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران - مشهد؛" پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره اول، بهار.
- پرستاری، جواد؛ عرب عامری، محمد و عمرانیان، محمد (۱۳۸۶) "پیش بینی ترافیک هوایی ایران برای دوره ده ساله طبق الگوی ایکائو"، هفتمین همایش سالانه بین المللی انجمن هوافضای ایران.

سبب می شود که نیاز به متغیر فرکانس پرواز که محدودیت هایی را برای پیش بینی اعمال می کند نباشد.

با نگاهی به متغیرهای اثرگذار شناسایی شده، حساسیت تقاضا به جمعیت مبدأ و مقصد به خوبی نمایان است و این متغیرها بیشترین ضریب تأثیرگذاری میان متغیرهای پیوسته را در تابع تقاضای برآورد شده برای هر کلان شهر داشته اند. به عبارت دیگر با تحلیل حساسیت اثرگذاری متغیرها با استفاده از ضرایب رگرسیونی گزارش شده در مقاله، تقاضای مسافرت هوایی بیشترین حساسیت را از متغیرهای جمعیتی پذیرفته است. در ادبیات موضوع نیز اثرپذیری مستقیم تقاضا و مسافرت میان دو شهر از جمعیت بین آنها مورد تأکید قرار گرفته است و مدل جذبه با همین استدلال تعریف و توسعه داده شده است.

در کنار جمعیت استان های مبدأ و مقصد، متغیرهای مجازی تعریف شده که هر یک وضعیت خاص کلان شهرها را مورد بررسی قرار می دادند با ضرایب نسبتاً بالایی به عنوان متغیرهای اثرگذار دیگر بر تقاضا شناخته شده اند. این متغیرهای مجازی با در نظر گرفتن شرایط خاص هر شهر (برای نمونه قطب زیارتی بودن مشهد) توانستند میزان معناداری مدل و شاخص های برازندگی آن را به طرز معناداری افزایش دهند. از این رو پرواضح است که مدل های تقاضای تقریب زده شده بیشترین حساسیت را نسبت به جمعیت استان های مبدأ و مقصد و متغیرهای مجازی تعریف شده دارند.

## ۶. پی نوشتها

- <sup>1</sup> International Civil Aviation Organization (ICAO)
- <sup>2</sup> Gross National Product (GNP)
- <sup>3</sup> Unconstrained
- <sup>4</sup> Constrained
- <sup>5</sup> (San Diego International Airplane) فرودگاهی در ایالت سن دیگو آمریکا است و به عنوان شلوغ ترین فرودگاه این کشور، در سال ۲۰۰۷ میزبان بیش از ۱۸ میلیون مسافر، ۲۳۰۰۰۰ هواپیما و ۱۵۵۰۰۰ تن بار بود.
- <sup>6</sup> Macroscopic model
- <sup>7</sup> Microscopic model
- <sup>8</sup> Cross-Sectional
- <sup>9</sup> Low scenario



of Air Transport Management, Vol. 4, No. 1, pp.11-23.

- Denstadli, J. M., Gripsrud, M., Hjorthol, R. and Julsrud, T. E. (2013) "Videoconferencing and business air travel: Do new technologies produce new interaction patterns?", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* Vol.29, pp. 1-13.

- Granados, N., Gupta, A. and Kauffman, R. J. (2012) "Online and offline demand and price elasticities: Evidence from the air travel industry", *Information Systems Research*, Vol 23, No. 1, pp. 164-181.

- Hensher, David A. (2002) "Determining passenger potential for a regional airline hub at Canberra International Airport", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 8, No. 5, pp.301-311.

- Inglada, V. and Rey, B. (2004) "Spanish air travel and the September 11 terrorist attacks: a note", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 10, No. 6, pp.441-443.

- International Civil Aviation Organization (2009) "Manual on air traffic forecasting", ICAO, Third Edition.

- Ishutkina, Mariya A. (2009) "Analysis of the interaction between air transportation and economic activity: a worldwide perspective", PHD Dissertation, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139 USA.

- Kanafani, Adib (1983) "Transportation demand analysis", McGraw-Hill, New York, N.Y.

- Karlaftis, M. G. and Papastavrou, J. D. (1998) "Demand characteristics for charter air-travel", *International Journal of Transport Economics, Rivista Internazionale de Economia dei Trasporti* Vol. 25, No. 1., pp. 19-35.

- Kressner, J. and Garrow, L. (2012) "Lifestyle segmentation variables as predictors of home-based trips for Atlanta, Georgia, Airport", *Transportation Research Record: Journal of the*

- حبیبیان، میقات و کرمانشاه، محمد "مدل‌سازی دلایل استفاده

شهروندان از سواری شخصی در سفرهای کاری به محدوده مرکزی کلان‌شهر تهران"، فصل‌نامه مهندسی حمل‌ونقل، سال چهارم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۱، ص. ۱۱۷-۱۳۵

- صفارزاده، محمود و قربانی، مهرا (۱۳۸۵) "مدل تقاضای سفر هوایی بین‌شهری ایران"، مجله فنی و مهندسی مدرس؛ شماره ۲۳، ویژه‌نامه مهندسی عمران، ص. ۱-۱۲.

- کرمانشاه، محمد (۱۳۶۵) "عوامل مؤثر بر تقاضای سفر هوایی و تهیه مدل ریاضی تقاضای مسافر در ایران"، مجله امیرکبیر، دوره ۱۱، شماره ۱، ص. ۴۵-۵۳

- عباسی، حمید و یعقوبی، مهدی (۱۳۹۵) "رویکردی نو در بررسی پیش‌بینی پذیرش ترافیک شهری مبتنی بر تئوری آشوب و پیش‌بینی جریان ترافیک شهر مشهد مبتنی بر سیستم فازی-عصبی تطبیقی چندگانه"، آماده انتشار در فصل‌نامه مهندسی حمل و نقل، خردادماه ۱۳۹۵ (نسخه آنلاین).

- Abed, Seraj Y., Ba-Fail, Abdullah O. and Jasimuddin, Sajjad M. (2001) "An econometric analysis of international air travel demand in Saudi Arabia", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 7, No. 3, pp. 143-148

- Alam, J. B. and Karim, Dewan Masud (1998) "Air travel demand model for domestic air transportation in Bangladesh", *Journal of Civil Engineering*, Vol 26, pp.1-13.

- Arasan, T. V. and Rengaraju, V. R. (1986) "A methodology of approach for intercity travel demands modeling", *Indian Highway*, Vol 14, No 12.

- Arian, M., Deshpande, V. and Sohoni, M. (2013) "Building reliable air-travel infrastructure using empirical data and stochastic models of airline networks", *Operations Research*, Vol. 61, No. 1, pp. 45-64.

- Cline, Richard C., Ruhl Terry, A., Gosling Geoffrey, D. and Gillen, David, W. (1998) "Air transportation demand forecasts in emerging market economies: a case study of the Kyrgyz Republic in the former Soviet Union", *Journal*

- Pribyl, O. and Goulias, K. G. (2003) "Application of adaptive neuro-fuzzy inference system to analysis of travel behavior", *Transportation Research Record*, Vol. 1854, pp. 180-188.
- Profillidis, V. A. (2000) "Econometric and fuzzy models for the forecast of demand in the airport of Rhodes", *Journal of air transport management*, Vol 6, No. 2, pp. 95-100.
- Saab, S. S. and Zouein, P. P. (2001) "Forecasting passenger load for a fixed planning horizon", *Journal of Air Transport Management*, Vol 7, No. 6, pp. 361-372.
- Sadek, A., Spring, G. and Smith, B. (2003) "Toward more effective transportation applications of computational intelligence paradigms", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1836, No. 1, pp. 57-63.
- Vasigh, B. and Fleming, K. (2016) "Introduction to air transport economics: from theory to applications", Routledge Press.
- Verleger Jr, Philip K. (1972) "Models of the demand for air transportation", *The Bell Journal of Economics and Management Science*, pp. 437-457.
- Wang, H., Macilree, J. and Wheaton, S. (2013) "Long-term trends of visitors by air between New Zealand and its key markets", In *Australasian Transport Research Forum (ATRF)*, 36th, 2013, Brisbane, Queensland, Australia.
- Wang, P. T. and D. E. Pitfield (1999) "The derivation and analysis of the passenger peak hour: an empirical application to Brazil", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 5, No. 3, pp.135-141.
- Wegmann, F. and Everett, J. (2002) "Minimum travel demand model calibration and validation gaudiness for State of Tennessee", *Center for Transportation Research*, Knoxville, Tennessee, the University of Tennessee.
- Transportation Research Board, Vol. 2266, pp. 20-30.
- Lai, S. L. and Lu, W. L. (2005) "Impact analysis of September 11 on air travel demand in the USA", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 11, No. 6, pp. 455-458.
- Li, J., Granados, N. and Netessine, S. (2014) "Are consumers strategic? Structural estimation from the air-travel industry", *Management Science*, Vol. 60, No. 9, pp. 2114-2137.
- Lim, C. and McAleer, M. (2002) "Time series forecasts of international travel demand for Australia", *Tourism Management*, Vol. 23, No. 4, 389-396.
- Melville, Juliet A. (1998) "An empirical model of the demand for international air travel for the Caribbean region", *Rivista internazionale di Economia Dei Trasporti*.
- Moore, O. E. and Soliman, A. H. (1981) "Airport catchment areas and air passenger demand", *Transportation Engineering Journal*, Vol. 107, No. 5, pp. 569-579.
- Neufville, R. De. (2016) "Air transport management: An international perspective", Routledge Press.
- Postorino, M. N. (2003) "A comparison among different approaches for the evaluation of the air traffic demand elasticity", In *Proceedings of Sustainable Planning and Development Conference*, WIT press.
- Postorino, M. N. and Russo, F. (2001) "Time series uni-mode or random utility multi-mode approach in national passenger models: The impact on Italian air demand forecast", In *proceedings of the AET European transport conference*, Held 10-12 September, Homerton College, Cambridge, UK-CD-ROM.
- Postorino, M. N. and Versaci, M. (2008) "A neuro-fuzzy approach to simulate the user mode choice behaviour in a travel decision framework", *International Journal of Modelling and Simulation*, Vol. 28, No. 1. pp. 64-71.

## تحلیل پیش‌بینی تقاضای مسافر و بار در صنعت هوایی ایران

مجید جلیلی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه قم و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه شاهد اخذ نمود. وی در سال ۱۳۹۵ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از پژوهشگاه مواد و انرژی گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان پیش بینی و تحلیل تقاضا، مدل سازی آماری و رقابت پذیری تجاری و صنعتی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در موسسه مطالعات و پژوهش های بازرگانی است.



منوچهر منطقی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق را در سال ۱۳۵۶ از دانشگاه شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کنترل و الکترونیک را در سال ۱۳۵۹ از دانشگاه شریف اخذ نمود. وی در سال ۱۳۷۶ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت سیستم ها از دانشگاه تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت نوآوری و انتقال فنآوری، طراحی و توسعه محصول جدید و استراتژی فناوری بنگاه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه مالک اشتر است.

