Archive of SID

مدل تقاضای سفر هوایی بین شهری ایران

محمود صفارزاده[1*]، مهران قربانی[2]

۱- دانشیار گروه راه و ترابری، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- کارشناس ارشد پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و ترابری

*** تهران، صندوق پستی ۱۴۳- ۱۴۱۱۵**

saffar_m@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: خرداد۱۳۸۱، پذیرش مقاله: شهریور ۱۳۸۴)

چکیده- هدف از این تحقیق، امکان‌سنجی تخمین مدلهای براورد تقاضای سفر هوایی بین شهری در ایران بوده است. در بیشتر موارد، ساختار ریاضی این مدلها از شکل جاذبه‌ای پیروی می‌کند و با استفاده از تعدادی از متغیرهای اجتماعی و اقتصادی به عنوان شاخصهای بیانگر پتانسیل سفرسازی زوج شهرها و پارامترهای بیانگر، مشخصه‌های کیفیت ارائه سرویس حمل و نقل هوایی تخمین زده می‌شود. در این تحقیق، تخمین مدلها به روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی و با اعمال تبدیل لگاریتمی به داده‌ها (زوج شهرها) صورت گرفت. تخمین و پرداخت مدلها در چهار گروه ذیل: ۱) برای تمام زوج شهرها، ۲) با همگون‌سازی زوج شهرها توسط متغیر مجازی برای دو شهر خاص، ۳) با همگون‌سازی زوج شهرها بر حسب مسافت، ۴) با همگون‌سازی زوج شهرهای تفکیک شده بر حسب شهرهای با مبدأ و مقصد چهار شهر بزرگ صورت گرفت. با در نظر گرفتن مقادیر توضیح‌پذیری و آزمونهای آماری مربوط، فقط مدلهای گروه چهارم از هر دو حالت با اعمال یا عدم اعمال متغیر فرکانس پرواز، برای پیش‌بینی تقاضای سفر هوایی بین شهری ایران مناسب شناخته شدند.

کلید واژگان: تقاضا، مسافر، پیش‌بینی، حمل و نقل هوایی، مدلهای تقاضای سفر.

۱- مقدمه

نقش و اهمیت حمل و نقل هوایی و مشارکت آن در فرایند رشد و توسعه و تأثیر آن بر ساختار فضایی کشور به لحاظ اقتصادی و اجتماعی و تأثیر آن بر اقتصاد کلان کشور موجب شده است که پیش‌بینی‌های مربوط به تقاضای حمل و نقل هوایی طی دهه‌های گذشته مورد توجه خاص برنامه‌ریزان حوزه‌های حمل و نقل و اقتصاد قرار گیرد. حمل و نقل هوایی از مشخصات خاصی مانند حریم جداگانه حرکت، سرعت بالا، ایمنی و راحتی بیشتر نسبت به سایر روشهای حمل و نقل برخوردار بوده و به مجموعه‌ای از زیرساختها و سیستمهای هوایی متکی بر فناوری پیشرفته انحصاری و پیچیده نیاز دارد. خصوصیات اقتصادی و اجتماعی سرویس‌گیرندگان این سیستم، وجه تمایز آن از سایر روشهای حمل و نقل است و در نتیجه بازار تقاضای متفاوتی برای آن به‌وجود آمده است. با توجه به موارد یاد شده و با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه، انجام مطالعات بنیادی و کاربردی در زمینهٔ حمل و نقل هوایی کشور با توجه به فقر مطالعات انجام شده در این زمینه، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد [۱].

روشهای براورد تقاضای سفر هوایی به دو گروه عمده تقسیم می‌شود: الف) براورد کلان ب) براورد خرد. در

www.SID.ir

Archive of SID

براورد کلان، تئوریهای اقتصادی تقاضا و رفتار مصرف‌کننده حاکم بوده و فعالیت حمل و نقل هوایی در مقیاس کلی سیستم- بدون پرداختن به طبقه‌بندیهای گوناگون تقاضا- مد نظر قرار می‌گیرد و تقاضای کلی با استفاده از روشهای لگاریتم خطی و الگوهای حاصل ضربی در فرم غیرخطی به صورت مسافر درامدی- کیلومتر (مایل) تخمین زده می‌شود [۲].

با توجه به ماهیت کلان‌نگری مدلهای کلان، قابلیت سیاست‌پذیری آنها بسیار محدود است. در راستای رفع این عیب، تحلیل خرد تقاضا به عنوان ابزار مناسبی به منظور برنامه‌ریزی و سیاست‌پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. متداول‌ترین این مدلها، مدلهای زوج شهری «مبدأ- مقصد» است که ساختار جاذبه‌ای دارند. در این مدلها، تقاضای مسافرت هوایی بین دو شهر به صورت حاصلضرب متغیرهای اقتصادی- اجتماعی زوج شهرها و ویژگیهای سطح خدمت سیستم حمل و نقل هوایی در نظر گرفته می‌شود.

ساخت مدلهای پیش‌بینی تقاضای سفر هوایی بین شهری با توجه به اهمیتی که در برنامه‌ریزیهای خرد و کلان صنعت حمل و نقل و سایر بخشهای مرتبط دارد از سابقه‌ای طولانی در جهان برخوردار است. در ایران به دلیل نوپا بودن برنامه‌ریزی حمل و نقل هوایی، نبود آمار مناسب از نوع آمارهای ثبت شدهٔ هوایی و آمارهای مشخصهٔ اقتصادی- اجتماعی زوج شهرها، مطالعات خاصی در این زمینه صورت نگرفته است. لذا در این تحقیق سعی بر آن است که مدلهای تقاضای سفر هوایی برای زوج شهرها با توجه به شرایط حاکم در کمیت و کیفیت عرضه سیستم حمل و نقل هوایی و همچنین مشخصه‌های اجتماعی- اقتصادی قابل دسترس این مدلها تخمین زده شوند. از میان کاربردهای مدلهای پیش‌بینی تقاضای سفر هوایی بین شهری می‌توان به اولویت‌بندی احداث فرودگاههای کشور، ایجاد خطوط جدید هوایی جدید و توسعهٔ شبکهٔ پروازی کشور، پیش‌بینی نیاز آتی ناوگان هوایی کشور، گسترش کمی و کیفی تجهیزات ناوبری و سیاستگذاری حمل و نقل با توجه به تحلیل حساسیت تقاضا نسبت به پارامترهای مؤثر آن، اشاره کرد. با توجه به نتایج حاصل از مطالعهٔ پیشینهٔ طرح و همچنین محدودیتهای حاکم بر تحقیق، فرضیات ذیل در این تحقیق در نظر گرفته شده است [۳].

- اساسی‌ترین فرض، به تعادل رسیدن سطوح تقاضا و عرضه در سیستم حمل و نقل هوایی کشور است.
- روابط حاکم بر رابطهٔ بین تقاضای سفر هوایی با پارامترهای اقتصادی – اجتماعی و پارامترهای عرضهٔ سیستم حمل و نقل را می‌توان به صورت ریاضی بیان کرد.
- پتانسیل سفرسازی و عامل مسافت بین شهرها برخی از عوامل مهم در میزان سفرسازی بین شهرها است.
- برای تعداد سفرهای بین شهری هوایی، جمعیت و درامد سرانه حداقل برای سال ۱۳۷۵، آمار مناسب و قابل دسترس دارد.

۲- متغیرهای مناسب برای مدل

شناسایی عوامل مؤثر بر میزان تقاضای سفرهای هوایی بین شهری و توجه به شرایط و در نظر گرفتن محدودیتهای موجود، با توجه به کمبود و نقصان آمارهای موجود، نخستین گام در انتخاب مناسب‌ترین متغیرها برای تخمین مدل است. در جدول ۱ متغیرهای به‌کار رفته در مدلهای خرد که در سایر نقاط جهان تخمین زده شده، ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در تمامی این مدلها، متغیر درامد و هزینه بلیت به کار رفته است.

با توجه به بررسیهای انجام شده، متغیرهایی که در شرایط موجود، آمار و اطلاعات آنها برای ایران قابل دسترس بوده و بیشتر نیز در تخمینها در کشورهای مختلف به‌کار رفته‌اند و توضیح‌پذیری مناسبی نیز برای مدل داشته‌اند، در جدول ۲ پیشنهاد شده که در مرحلهٔ تخمین مدل ارزیابی خواهند شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- شکل تابعی متغیرها

تفسیر مفهوم شکلهای تابعی مختلف متغیرها در مدلهای تقاضا بسیار پیچیده و مشکل است. به همین دلیل با استفاده از روشهای آماری برای ارزیابی هر یک از شکلهای تابعی، بهترین شکل انتخاب می‌شود. معمولاً برای تخمین مدلهای تقاضای سفر زوج شهری، شکلهای تابعی زیر برای هرگونه از متغیرهای فرضی x_i و x_j به‌کار می‌روند:

الف) $\frac{1}{x_i}+\frac{1}{x_j}$ ب) x_i/x

ج) $x_i \times x_j$ د) x_i+x_j

که در آن x_i و x_j متغیرهای به‌کار رفته در مدلها است. لذا هر یک از عوامل اجتماعی- اقتصادی در چهار حالت مختلف، ترکیب شده و شکل تابعی که بیشترین همبستگی را با متغیرهای وابسته تولید کند، انتخاب خواهد شد [۷].

جدول ۱ متغیرهای به‌کار رفته در برخی از مدلهای خرد تقاضای سفر هوایی [۴-۶]

نام مدل	عوامل اقتصادی و اجتماعی			عوامل طرف عرضه سیستم حمل و نقل		
کب[1]		حاصلضرب درامد کلان دو شهر	تعداد مکالمات تلفنی بین دو شهر	متوسط بهای بلیت درجه ۱ و ۲	زمان سفر هوایی	مسافت بین شهرهای j,i
ورلگر[2]		حاصلضرب درامد کلان دو شهر	تعداد مکالمات تلفنی بین دو شهر	متوسط بهای بلیت و تواتر پرواز	زمان سفر هوایی	مسافت بین شهرهای j,i
ریچارد کوانت[3]	جمعیت دو شهر بطور جداگانه	درامد دو شهر بطور جداگانه	اشتغال در کارخانجات و معادن	هزینه سفر	زمان سفر هوایی	
حمل ونقل هوایی کانادا	جمعیت افراد بالغ	درامد قابل مصرف سرانه	مشاغل مدیریتی / رشد سفر شغلی به غیرشغلی	بهای بلیت بین مناطق j,i		
تونلارسن و فریدسترم[4]	جمعیت	درامد سرانه	افراد حقوق‌بگیر و فارغ‌التحصیلان دانشگاهی	نسبت کرایهٔ پرداختی به هواپیما به قسمت سایر وسایل رقیب	نسبت زمان سفر هوایی به زمان سفر با سریعترین وسیلهٔ رقیب	
رنگاراجو و تمیزآراسان[5]	جمعیت شهری			تواتر پرواز در هفته	نسبت زمان سفر با قطار به زمان سفر هوایی	مسافت بین شهرهای j,i
کرمانشاه*	جمعیت شهری	درامد سرانه	اشتغال در کارگاههای صنعتی بالاتر از ده نفر			مسافت بین شهرهای j,i

* منظور مدل کالیبره شده توسط دکتر محمد کرمانشاه در سال ۱۳۷۵ برای سفرهای زوج شهری ایران است.

1. Civil Aviation Board (CAB)
2. Philip K. Verlegr
3. Rechard Quandt
4. Thune-larsen and Fridstrom
5. Rengaraju and Thamizh Arasan

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ متغیرهای منابع جمع‌آوری آمار و توضیحات لازم مربوط به آنها [۳]

ردیف	نام متغیر	شکل متغیر	واحد	مأخذ جمع‌آوری آمار	توضیحات مورد لزوم
۱	جمعیت ساکن شهری	$P_{(i,j)}$	بر حسب ده هزار نفر	سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران- ۱۳۷۵	-
۲	مهاجرین ساکن شهری	$E_{(i,j)}$	درصد از جمعیت	سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران- ۱۳۷۵	مهاجران به شهر در طی ۱۰ سال گذشته
۳	شاغلان حقوق‌بگیر شهری	$O_{s(i,j)}$	درصد از جمعیت	سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران- ۱۳۷۵	مجموع مزد و حقوق‌بگیران بخشهای خصوصی، عمومی و تعاون
۴	شاغلان صنعت و معدن شهری	$O_{I(i,j)}$	درصد از جمعیت	سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران- ۱۳۷۵	-
۵	شاغلان با تحصیلات عالی شهری	$O_{G(i,j)}$	درصد از جمعیت	سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران- ۱۳۷۵	-
۶	شاغلان مدیریتی شهری	$O_{M(i,j)}$	درصد از جمعیت	سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران- ۱۳۷۵	مجموع قانونگذاران، مقامات عالی‌رتبه و مدیران مؤسسات
۷	تعداد کارگاه‌های صنعتی بالای ۵۰ نفر	$M_{I(i,j)}$	عدد	آمارگیری کارگاه‌های صنعتی کشور، مرکز آمار ایران – ۱۳۷۵	برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰-۴۹ نفر و ۵۰ نفر
۸	درامد سرانه سالیانه خانوار شهری	$I_{(i,j)}$	ریال	آمارگیری هزینه و درامد خانوارهای شهری، مرکز آمار ایران – ۱۳۷۵	متوسط درامد بر حسب استان
۹	تواتر پرواز شهری	F	مجموع تعداد رفت و برگشت	سازمان هواپیمایی کشوری	تواتر در خط هوایی در طول سال
۱۰	مسافت زمینی	D	کیلومتر	معاونت راهداری وزارت راه و ترابری	-
۱۱	هزینه سفر هوایی	C_A	ریال	سازمان هواپیمایی کشوری و شرکتهای هواپیمایی	-
۱۲	زمان سفر هوایی	T_A	ساعت	سازمان هواپیمایی کشوری و شرکتهای هواپیمایی	مجموع زمان سفر هوایی و زمان دسترسی قبل و بعد از پرواز
۱۳	نسبت زمان سفر هوایی	$\frac{C_A}{C_R}$	-	-	بر حسب هزینه سفر جاده‌ای از ترمینال تا ترمینال
۱۴	نسبت زمان سفر هوایی	$\frac{T_A}{T_R}$	-	-	بر حسب سرعت متوسط ۶۴ کیلومتر بر سات برای سفر جاده‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

٤- انتخاب روش تحلیل

روشهای تحلیل، عموماً بـه دو دسـته طریقـه‌گـر[1] و چنـد طریقه‌ای[2] تقسیم می‌شوند. انتخاب روش تحلیـل بـستگی زیادی بـه سیـستم حمـل و نقـل مـورد بررسـی و میـزان تقاضای طرق گوناگون حمل و نقل دارد. روش طریقه‌گرا تقاضای سفر بین شهری مبتنی بـر ایـن فـرض اسـت کـه تقاضای سفر بـا طریقـهٔ مـذکور از طـرق مختلـف دیگـر مستقل بوده و می‌توان آنها را به صـورت جداگانـه مـورد بررسی قرار داد. این روش برای تحلیل سفرها در شرایطی مناسب است که رقابت چندانی بین طرق گوناگون حمـل و نقل بین دو شهر وجـود نـدارد. معمـولاً تقاضـای سـفر هوایی را به سبب ویژگیهای خـاص ایـن طریقـهٔ حمـل و نقل، مستقل از سایر طرق فرض کرده و مـورد بررسـی و مدلسازی قرار می‌دهند. با توجه به موارد مـذکور و تأکیـد بر این نکته که اولاً استفاده‌کنندگان سیـستم حمـل و نقـل هوایی کشور دارای ویژگیهای خاص خود بوده و کمتر از تغییرات طرق دیگر حمل و نقل متـأثر مـی‌شـوند و ثانیـاً، هدف اصلی از این تحقیـق سـاخت و پرداخـت مـدلهایی برای پیش‌بینی تقاضای سفر هوایی در آینـده اسـت و نـه تحلیل حساسیت بـین طـرق مختلـف حمـل و نقـل بـین شهری، لذا در این تحقیق تأکید اصلی بر روش طریقه‌گـرا است. اما برای در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف و سـاختن مدلی قوی و کاربردی و قابل استناد برای آینده، متغیرهایی از مشخصه‌های شیوه‌های حمل و نقل رقیب در مسافتهای کوتاه تا متوسط، در مدل مورد آزمون قرار خواهند گرفت.

٥- همگون‌سازی زوج شهرها

با توجه به ناهمگونی شدید بعضی از شهرهای کشور، بـه احتمال قوی، یک مدل برای پیش‌بینی کل تقاضاهای سـفر هوایی در ایران جوابگو نخواهد بـود. لـذا بـرای برطـرف ساختن این ناهمگونی، به نوعی این زوج شـهرها را بایـد طبقه‌بندی کرد.

با توجـه بـه کـاربردی بـودن مـدل مـد نظـر، مراحـل همگون‌سازی و طبقه‌بندی باید برای استفاده آسان باشد. با بررسیهای انجـام شـده، مبنـای طبقـه‌بنـدی زوج شـهرها، مسافت انتخاب می‌شود که قبلاً توسـط ورلگـر [۷] ارائـه شـده و همچنـین نتـایج بـه‌دسـت آمـده از کـاربرد ایـن طبقه‌بندی در مطالعه پژوهشی کرمانشاه که بر اساس آمـار مقطعی سـال ۱۳۶۴ بـرای بـرآورد سـفرهای هـوایی بـین شهری صورت گرفته، آن را تأیید می‌کند [۲].

گذشـته از طبقـه‌بنـدی فـوق، نـاهمگونی در پتانـسیل سفرسازی بعضی از شهرهای خـاص ایـران چنـان شـدید است که به نظر نمی‌رسد بتوان فقط با طبقه‌بندی فـوق بـه مدلهای مناسبی دست یافت. لذا در این حالتها می‌تـوان از متغیرهای کمکی[3] برای در نظر گرفتن نقـش و تـأثیر ایـن شهرها در مدلها استفاده کرد. از میان این شهرها می‌توان به تهران و مشهد به علت جاذبـهٔ شـدید مـذهبی و زیـارتی، شیراز و اصفهان به عنوان قطبهای گردشگری و تفریحـی، بندرعباس با جاذبهٔ بازرگانی و کیش با جاذبـهٔ تجـارتی و تفریحی اشاره کرد. لذا با در نظـر گـرفتن مـوارد فـوق در فرایند مدلسازی در این تحقیق، به ترتیـب مـدلهایی بـرای حالتهای ذیل تخمین و از میان آنها بهترین مـدل انتخـاب خواهد شد.

- تخمین یک مدل تجمعی برای تمام زوج شهرها،
- تخمین یک مدل تجمعی بـا در نظـر گـرفتن اعمـال متغیرهای مجازی برای چند شهر خاص،
- تخمین یک مدل تجمعی با اعمال متغیرهای مجـازی برای چند شهر خاص همراه با همگون‌سازی زوج شـهرها بر پایهٔ مسافت،
- تخمین مدلهایی مجزا برای زوج شـهرهای بـا یکـسر شهر تهران، مشهد، اصفهان و شیراز.

٦- شکل اولیه مدل پیشنهادی

در بررسی منابع و مطالعهٔ پیشینهٔ تحقیق، مشاهده شـد کـه ساختار ریاضی مدلهای تقاضای سفر هوایی بین شهری از

1. Model Analysis
2 Multimodel Analysis
3. Dummy Variable

www.SID.ir

Archive of SID

قانون جاذبهٔ نیوتن پیروی می‌کند و این شکل همواره بهترین انتخاب در مدلسازیها بوده است. در این تحقیق نیز برای سفرهای هوایی بین شهری، ساختار مدل جاذبه‌ای انتخاب و تخمین مدلها بر اساس آن انجام خواهد شد. لذا ساختار مدل با توجه به متغیرهای آورده شده در جدول ۲ به‌صورت مدل چند متغیره زیر پیشنهاد و برای پرداخت مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۸].

$$T_{ij} = a_o \, P_{(ij)}^{a1} \, E_{(ij)}^{a2} \, Q_{(ij)}^{a3} \, M_{(ij)}^{a4} \, I_{(ij)}^{a5} \, F^{a6} \, D^{a7} \, C_A^{\,a8} \, T_A^{a9} \left(\frac{CA}{CR}\right)^{a10} \left(\frac{TA}{TR}\right)^{a11} \quad (۱)$$

متغیرهای به‌کار رفته در معادله فوق در جدول ۲ توضیح داده شده است. همچنین عبارت ریاضی $EXP(\partial_1 DUM_1 + ... + \partial_n DUM_n)$، به عنوان یک متغیر مشابه با سایر متغیرها برای حالتی که از تکنیک متغیرهای مجازی برای شهرهای با ویژگی خاص استفاده می‌شود، در مدل جای خواهد گرفت. T_{ij} ، مجموع سفرهای رفت و برگشت هوایی بین شهری (تنها شکل آمار موجود) که بر حسب تابعی از عوامل مؤثر در آن بوده و برای هر دو شهر بر حسب شکل مناسب تابعی متغیرها، کالیبره خواهد شد.

پرداخت مدلهای تقاضای حمل و نقل هوایی که عموماً دارای فرم جاذبه‌ای هستند، ابتدا با خطی‌سازی تابع (توسط لگاریتم خطی دو طرف رابطه) و سپس به‌کارگیری روش تخمین گرایش خطی چند متغیره[1]، با استفاده از تکنیک حداقل مربعات معمولی[2] صورت می‌گیرد.

لذا مطابق روش فوق با استفاده از روش پله‌ای، متغیرها تک تک به مدل افزوده و گزینش می‌شوند. با توجه به نتایج احتمالی ناشی از تخمین که از ناهمگون بودن شدید بعضی از شهرهای کشور به وجود خواهد آمد، متغیرهای کمکی برای اعمال اثر بعضی از زوج شهرهای خاص به‌طور جداگانه در نظر گرفته خواهند شد، که اثر این زوج شهرهای خاص به‌صورت اختلاف در مقادیر عرض از مبدأ در جملهٔ ثابت مدل ظاهر می‌شود. برای اطمینان بیشتر در دستیابی به بهترین مدلها، مدلهایی جداگانه برای زوج شهرهای یکسر تهران، یکسر مشهد و مابقی زوج شهرها ساخته خواهند شد.

۷- آمار مورد استفاده در تخمین مدل

معمولاً آمار و داده‌های مورد استفاده در تخمین مدلها به سه صورت ذیل قابل دسترس است.

الف- داده‌های مقطع زمانی[3]، که اطلاعات مربوط به تقاضا و عوامل مؤثر بر آن برای یک هفته، ماه و در بیشتر موارد سال است.

ب- داده‌های سری زمانی[4]، که اطلاعات مربوط به تقاضا و عوامل مؤثر بر آن برای چندین سال متوالی مورد نظر است.

ج- داده‌های ترکیبی[5]، در مواردی که هر یک از دو نوع آمار الف و ب به‌طور جداگانه برای تخمین مدلها کافی نباشند، از ترکیب آن دو استفاده خواهد شد [۹، ۱۰].

در این تحقیق، با توجه به عدم دسترسی به آمار سری زمانی قابل اطمینان، از داده‌های مقطع زمانی سال ۱۳۷۵- که با پیگیری‌های مستمر به‌دست آمده و صحت آن نیز بررسی شده- استفاده شد. در این سال تقسیمات کشوری ایران شامل ۲۶ استان و ۲۵۲ شهرستان بوده است.

محدودهٔ حوزهٔ نفوذ هر فرودگاه، فقط شهر دربرگیرندهٔ آن فرودگاه نیست و با توجه به تقسیم‌بندی کشوری، شهرستان دربرگیرنده هر فرودگاه مناسب‌ترین جزء برای تعیین حوزهٔ نفوذ فرودگاهها به نظر می‌رسد. از آنجایی که جمع‌آوری اطلاعات و آمار به تفکیک منابع جغرافیایی کوچک‌تر از شهرستان به ندرت ممکن است، لذا کوچک‌ترین جزء برای جمع‌آوری آمار، شهرستان در نظر گرفته می‌شود، هرچند که برای اطمینان بیشتر، چاره‌ای جز

1. Multiple Linear Regression
2. General Least Square
3. Cross Section Data
4. Time Section Data
5. Pooling Data

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین حوزهٔ نفوذی فراتر از شهرستان برای فرودگاهها وجود ندارد.

تعیین حوزهٔ نفوذ فرودگاهها، بسیار مشکل و پیچیده بوده و خود نیازمند یک تحقیق ویژه است. در این تحقیق به منظور دستیابی به حوزهٔ نفوذ فرودگاهها در پروازهای داخلی کشور گامهای ذیل به ترتیب برای مجموعه‌های تقسیمات کشوری (شهرستانها) برداشته شد:

- بررسی وضعیت شبکهٔ راههای کشور (توزیع جغرافیایی، مشخصات فیزیکی محورها)،
- محاسبه زمان سفر بین هر یک از گره‌های ارتباطی شبکه‌ها،
- محاسبه حداقل زمان دسترسی برای ارتباط مراکز شهرستانها با فرودگاههای کشور،
- خطوط تمایل سفرها در هر شهرستان،
- خطوط پروازی موجود در فرودگاهها، و
- خصوصیات اجتماعی- اقتصای هر شهرستان.

بر اساس عوامل یاد شده و محاسبات مرتبط، حوزه نفوذ هر یک از فرودگاههای کشور بر اساس مفروضات اولیه به‌دست آمد. تعیین حوزه نفوذ واقعی بر اساس روش بازخورد[1] و بازبینی در مدل و تصحیح حوزه نفوذ بر اساس جوابهای مدل به‌دست می‌آید که خود موجب تعیین حوزهٔ نفوذ بر اساس بهترین جواب خواهد شد. لازم است ذکر شود که سفرهایی که یکسر آنها به جزایر تجاری جنوب کشور ختم شده‌اند، به‌دلیل خصوصیات خاص و متفاوت این‌گونه سفرها- که تا حدود زیادی تحت تأثیر سیاستهای اعمال شدهٔ اقتصادی و گمرکی است- از این تحقیق حذف شده‌اند.

۸- تخمین مدل

قبل از تخمین مدل، ابتدا باید مشخص شود که کدام تقسیم‌بندی برای حوزهٔ نفوذ فرودگاهها، مناسب‌تر است. به بیان دیگر، آیا حوزهٔ نفوذ تعیین شده بر اساس معیارهای چندگانه، جوابهای بهتری ارائه می‌دهد یا حوزهٔ نفوذی که مشابه تقسیم‌بندی کشوری و به صورت شهرستان دربرگیرندهٔ فرودگاه باشد، مناسب‌تر است. محاسبهٔ مقادیر ضرایب همبستگی بین متغیرهای اجتماعی – اقتصادی ۲۵۲ شهرستان کشور (بر اساس تقسیم‌بندی کشوری سال ۱۳۷۵) بیانگر همبستگی بسیار بالای این عوامل با متغیر جمعیت است که با توجه به شدت این همبستگی، بسیار واضح است که بسیاری از این متغیرهای اجتماعی- اقتصادی از مدل حذف خواهند شد. لذا می‌توان با استفاده از متغیر انتخابی جمعیت به‌عنوان نماینده‌ای از بین کلیهٔ متغیرهای در نظر گرفته شده، هر دو تقسیم‌بندی حوزهٔ نفوذ فرودگاهها را بررسی کرد و مناسبترین آن را که R^2 بالایی منعکس نماید، انتخاب نمود.

در جدول ۳ مقادیر ضرایب همبستگی بین متغیر جمعیت و تعداد سفرهای هوایی انجام شده برای شکلهای مختلف تابعی متغیر جمعیت زوج شهرها ارائه شده است. محاسبات نشان می‌دهد که شکل تابعی متغیر جمعیت به صورت حاصل ضرب و بر حسب حوزهٔ نفوذی مشابهٔ شهرستان، ضریب همبستگی بالاتری را با تعداد سفرهای انجام شده ارائه می‌دهد.

تخمین مدلها در دو حالت الف) بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز و ب) با اعمال متغیر فرکانس پرواز (مدلهای با درجهٔ دوم اهمیت در این تحقیق) صورت گرفت.

مقادیر توضیح‌پذیری حاصل از پرداخت مدلها با و بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز در جدول ۴ نشان داده شده است.

در حالت بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز، برای چهار گروه ۱) زوج شهرهای با مسافت کوتاه (از دسته‌بندی سه گانه بر حسب معیار مسافت)، ۲) زوج شهرهای با مسافت متوسط (با یکسر تهران)، ۳) زوج شهرهای با یکسر اصفهان و ۴) زوج شهرهای با یکسر شیراز، مدلهایی با توضیح‌پذیری قابل قبول و مناسب حاصل شده است.

1. Feed Back

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳ مقادیر ضریب همبستگی شکلهای تابعی مختلف متغیر جمعیت با تعداد سفرهای هوایی انجام شده [۳]

شکل تابعی متغیرها	جمعیت	ضریب همبستگی شکل تابعی متغیر جمعیت با تعداد سفرهای هوایی انجام شده	تعداد نمونه‌ها
P_1+P_2	جمعیت شهرستان*	۰/۹	۷۵
	جمعیت حوزه نفوذ	۰/۸۷	۷۵
P_1+P_2	جمعیت شهرستان	۰/۴۷	۷۵
	جمعیت حوزه نفوذ	۰/۴۹	۷۵
P_1/P_2	جمعیت شهرستان	-۰/۰۴	۷۵
	جمعیت حوزه نفوذ	-۰/۰۵	۷۵

* حالت انتخابی برای شکل تابعی متغیر

جدول ۴ مقادیر توضیح‌پذیری R^2 حاصل از پرداخت مدلها با و بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز [۳]

گروه مدلها			مقادیر توضیح‌پذیری مدلها R^2	
			بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز	با اعمال متغیر فرکانس پرواز
برای کلیهٔ زوج شهرها			۰/۴۱	۰/۹۳
با همگون‌سازی زوج‌شهرها با استفاده از متغیرهای مجازی برای شهرهای خاص تهران و مشهد			۰/۴۴	۰/۹۴
با همگون‌سازی زوج‌شهرها توسط تفکیک آنها بر حسب مسافت در دو سناریو (تقسیم‌بندیهای دوگانه و سه‌گانه مسافت زوج‌شهرها)		مسافت کوتاه (۰ تا ۵۰ کیلومتر)	۰/۵۳	۰/۹۹
		مسافت بلند (۵۰۰ کیلومتر به بالا)	۰/۵	۰/۹۴
		مسافت کوتاه (۰ تا ۴۰۰ کیلومتر)	۰/۹	۰/۹۹
		مسافت متوسط (۴۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر)	۰/۶۶	۰/۹۸
		مسافت بلند (۹۰۰ کیلومتر به بالا)	۰/۵۵	۰/۹۳
با همگون‌سازی زوج شهرها توسط تفکیک آنها بر حسب یکسر شهرهای خاص	زوج شهرهای با یکسر شهر مشهد		۰/۷۴	۰/۹۶
	زوج شهرهای با یکسر شهر تهران	یک مدل برای کلیهٔ مسافتها	۰/۷۳	۰/۹۷
		مسافت کوتاه (۰ تا ۴۰۰ کیلومتر)	۰/۶۹	۰/۹۹
		مسافت متوسط (۴۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر)	۰/۹۳	۰/۹۹
		مسافت بلند (۹۰۰ کیلومتر به بالا)	۰/۷۲	۰/۹۶
	زوج شهرهای با یکسر شهر اصفهان		۰/۹۶	۰/۹۶
	زوج شهرهای با یکسر شهر شیراز		۰/۸۱	۰/۹۶
	سایر زوج شهرها (بدون یکسر شهرهای تهران، مشهد، اصفهان و شیراز)		۰/۱۴	۰/۷۳

برای پیش‌بینی تقاضای سفر زوج شهرهایی که در داخل این گروهها قرار نمی‌گیرند، علی‌رغم مقدار نسبتاً کم توضیح‌پذیری آنها (حدود ۰/۷۵) می‌توان با احتیاط از آنها استفاده کرد و در غیر این صورت الزاماً می‌توان از مدلهای تخمین زده شده با اعمال متغیر فرکانس پرواز استفاده نمود. در حالت با اعمال متغیر فرکانس پرواز، به دلیل وضعیت خاص ناشی از اعمال این متغیر مدلها دارای مقادیر توضیح‌پذیری بالایی هستند. اما با توجه به مقادیر

www.SID.ir

Archive of SID

بالای t این متغیر نسبت به سایر متغیرها و غیرپتانسیلی بودن نقش آن، تنها استفاده از گروه مدلهای چهارم (تفکیک زوج شهرها بر حسب یکسر شهرهای خاص) قابل توصیه است.

با توجه به بررسیهای انجام شده، چنانچه بخواهیم مناسب‌ترین گروه مدلها را از حالات ممکن تخمین مدلها (با و بدون متغیر فرکانس پرواز)، انتخاب نمائیم می‌توان تخمین مدلها بر اساس الگوی همگون‌سازی زوج شهرها بر حسب یکسر شهرهای خاص (تهران، مشهد، اصفهان و شیراز) را انتخاب کرد که در زیر به شکل تابعی آنها اشاره می‌شود.

۸-۱- مدل برای زوج شهرهای با یکسر مشهد

۸-۱-۱- بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j} = 1/22 \quad e^{(-5)} \quad P_{(i,j)}^{1/074} \quad OS_{(i,j)}^{2/154}$

R^2=۰/۷۵ SE=۰/۸۹۴ F=۲۵/۳۳

۸-۱-۲- با اعمال متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۱۳/۲۴ $P_{(i,j)}^{0/239}$ $F_{(i,j)}^{1}$

R^2=۰/۹۲ SE=۰/۴۹۳ F=۱۰۲/۴۳

۸-۲- مدل برای زوج شهرهای با یکسر تهران

۸-۲-۱- زوج شهرهای با مسافت متوسط (۴۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر) بدون متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۴ $e^{(-3)}$ $P_{(i,j)}^{1/01}$ $OM_{(i,j)}^{0/662}$

R^2=۰/۹۳ SE=۰/۴۵۷ F=۴۴/۱

۸-۲-۲- زوج شهرهای با مسافت متوسط (۴۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر) با متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۱/۳۴ $e^{(-3)}P_{(i,j)}^{0/568}$ $F^{0/994}$ $D^{0/808}$

R^2=۰/۹۹ SE=۰/۱۵۷ F=۲۶۵/۳۹

۸-۲-۳- زوج شهرهای با مسافت بلند (۹۰۰ کیلومتر به بالا) بدون متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۱/۱۳ $e^{(-9)}$ $P_{(i,j)}^{0/582}$ $MI^{1/032}$ $D^{3/184}$

R^2=۰/۷۲ SE=۱/۲۷ F=۱۱/۱۵

۸-۲-۴- زوج شهرهای با مسافت بلند (۹۰۰ کیلومتر به بالا) با متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۱/۳۸ $e^{(-1)}$ $F^{1/235}$ $D^{0/728}$

R^2=۰/۹۶ SE=۰/۴۱۲ F=۲۱۳/۱۶

۸-۳- مدل برای زوج شهرهای با یکسر اصفهان

۸-۳-۱- بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۱/۶۲ $e^{(-13)}$ $P_{(ij)}^{1/1}$ $E_{(i,j)}^{2/75}$ $OI_{(i,j)}$ $D^{1/74}$

R^2=۰/۹۶ SE=۰/۵۷۳ F=۱۵/۹۲

۸-۳-۲- با اعمال متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۵/۱۱ $e^{(-16)}$ $P_{(i,j)}^{0/785}$ $E_{(i,j)}^{2/92}$ $OI_{(i,j)}^{0/465}$ $F^{0/69}$ $D^{2/6}$

R^2=۰/۹۹ SE=۰/۲۳۴ F=۷۸

۸-۴- مدل برای زوج شهرهای با یکسر شیراز

۸-۴-۱- بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۳/۷۲ $P_{(i,j)}^{1/056}$ $F^{4/595}$

R^2=۰/۸۱ SE=۰/۷۸۷ F=۲۱/۱۱

۸-۴-۲- با اعال متغیر فرکانس پرواز

$T_{i,j}$=۴/۲۳ $e^{(-1)}$ $F^{0/934}$ $P_{(i,j)}^{0/658}$

R^2=۰/۹۶ SE=۰/۶۰۷ F=۱۹/۹۸

۹- اعتبارسنجی مدل

معمولاً در فرایند مدلسازی، مدلهای ساخته شده به سه صورت تأیید و تصدیق می‌شوند. الف) آزمونهای اولیهٔ آماری، ب) ارزیابی مقطعی[1]، ج) مقایسهٔ مقادیر حاصل از پیش‌بینی سفر با مقادیر معلوم آن، چنانچه مدل تخمین زده شده با ضرایب مناسبی توأم باشد، مقدار همبستگی مضاعف مدل افزایش خواهد یافت. همبستگی مضاعف، همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر معلوم وابسته است [۱۱].

چنانچه دو نمونه از متغیرها در دسترس باشد و از نمونهٔ اول[2]، تخمین مدل و R^2 مربوط به آن صورت پذیرد و از نمونهٔ دوم[3]، مقدار R^2 بین نمونه دوم و مقادیر

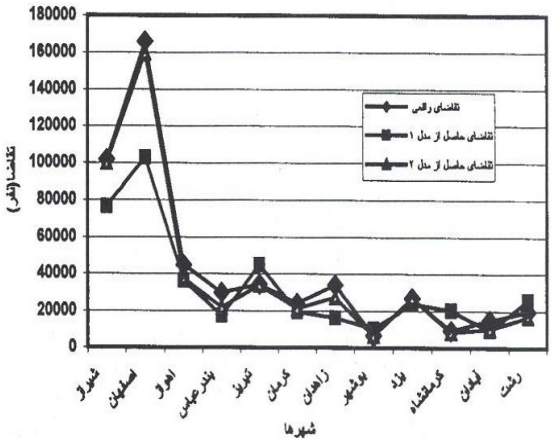
1. Cross-Validation
2. Estimation Sample
3. Calibration Sample

www.SID.ir

Archive of SID

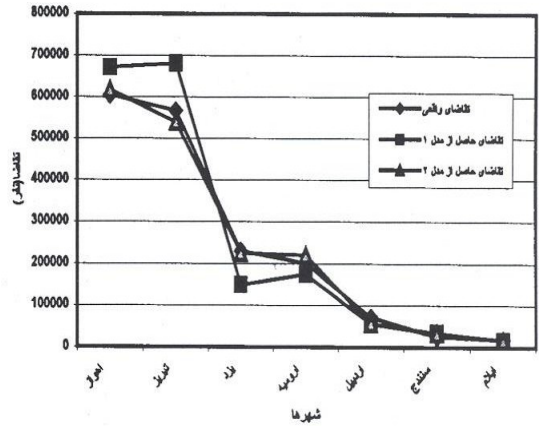
وابستهٔ حاصل از آنها به‌دست آید، مقدار R^2 به‌دست آمده از R^2 اولیه کوچکتر خواهد بود. نسبت این دو R^2، با نام درجه انقباض تعریف می‌شود. در صورتی که درجه انقباض کم باشد (حدود ۱۰ درصد) مقدار R^2 با معنا بوده و معادله رگرسیون برای پیش‌بینی آینده قابل استفاده خواهد بود. در صورت عدم دسترسی به نمونهٔ دوم، نمونهٔ اولیهٔ موجود به دو دسته (مثلاً بر حسب معیارهای فاصله یا جمعیت) تقسیم شده و برای عملیات ارزیابی یاد شده به‌کار می‌رود [۱۲].

در روش دیگر ارزیابی، با توجه به آنکه در کاربرد مدلهای مقطعی برای پیش‌بینی تقاضا، فرض بر آن است که تأثیر هر متغیر پیش‌بینی کننده و مؤثر بر تقاضای سفر در سالهای آینده ثابت می‌ماند، لذا مقادیر پیش‌بینی شدهٔ تقاضای سفر در یک مقطع زمانی با مقادیر معلوم آن مقایسه می‌شود. در این تحقیق، علاوه بر آزمونهای اولیهٔ آماری، روش اعتبارسنجی «ج» یعنی مقایسه مقادیر حاصل از پیش‌بینی سفر با مقادیر معلوم آن، برای خطوط پروازی مختلف به ازای آمار سال ۱۳۷۶ انجام شد که در شکلهای ۱ تا ۶ به صورت نمادین، میزان تطابق مقادیر واقعی تقاضای سفر با مقادیر پیش‌بینی شده منعکس شده است.

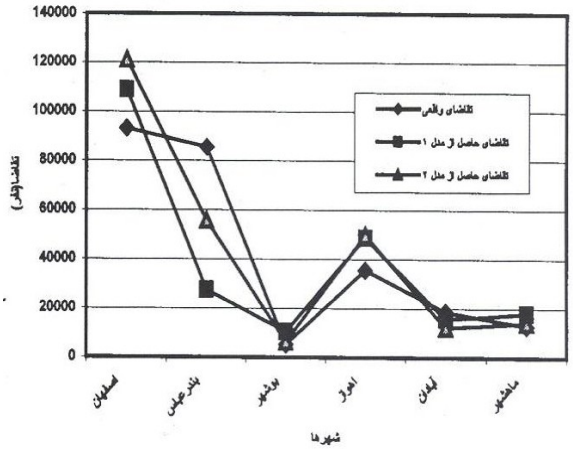


شکل ۱ مقایسه تقاضای واقعی و تخمین زده شده از مدلهای ۱ و ۲ برای زوج شهرهای با یکسر مشهد

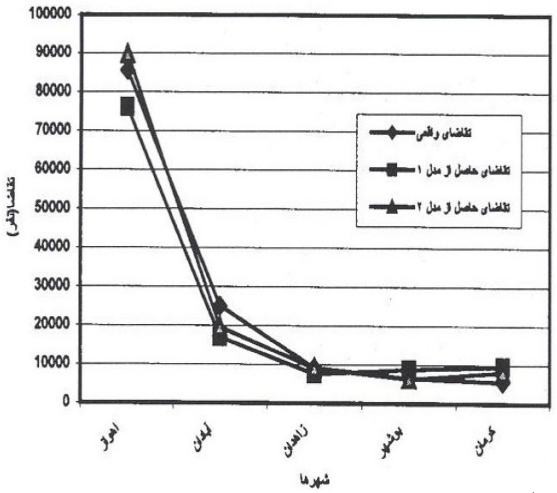
با توجه به فرم تجمعی مدل، اعتبارسنجی مدلها در بیشتر زوج شهرهای با خطوط پروازی متعادل و بخصوص در حالت اعمال متغیر فرکانس پرواز، بر نتایج قابل قبول تأکید دارد و در این خطوط پروازی می‌توان از مدلهای بدست آمده استفاده کرد.



شکل ۲ مقایسه تقاضای واقعی و تخمین زده شده از مدلهای ۱ و ۲ برای زوج شهرهای با یکسر تهران در مسافتهای متوسط



شکل ۳ مقایسه تقاضای واقعی و تخمین زده شده از مدلهای ۱ و ۲ برای زوج شهرهای با یکسر شیراز



شکل ۴ مقایسه تقاضای واقعی و تخمین زده شده از مدلهای ۱و ۲ برای زوج شهرهای با یکسر اصفهان

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰- نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعه و آنالیز مدلهای ساخته شده در این تحقیق، نتایج ذیل حاصل می‌شود:

۱- علی‌رغم تلاش گسترده‌ای که با در نظر گرفتن عوامل و پارامترهای مختلف برای تعیین حوزهٔ نفوذ فرودگاهها به‌کار رفت، با توجه به نتایج محاسبات انجام شده، حوزهٔ نفوذی مشابه با محدودهٔ شهرستان در تقسیم‌بندی کشوری برای فرودگاههای واقع در محدودهٔ شهرستان (برای فرودگاه مهرآباد شامل شهرستانهای تهران، دماوند، کرج و شمیرانات) که مقدار R^2 آن حدود یک درصد از سناریوی اول کمتر بود، برای مدلسازی مناسب است. البته این مسأله بیانگر تمرکز شدید پتانسیل سفرهای هوایی شهرها در محدودهٔ شهرستان در برگیرندهٔ هر فرودگاه است.

۲- با توجه به محاسبات انجام شده، از بین شکلهای مختلف تابعی ترکیب متغیرها، شکل حاصلضرب بهترین نوع برای ترکیب متغیرهای اقتصادی و اجتماعی زوج شهرها است.

۳- همبستگی متغیرهای اجتماعی- اقتصادی انتخابی برای تخمین مدلها، بر خلاف بسیاری از موارد بررسی شده در سایر کشورها، با یکدیگر و بخصوص با متغیر جمعیت بسیار زیاد است. مدلهای ساخته شده، از میان متغیرهای اجتماعی- اقتصادی فقط متغیر جمعیت که دارای همبستگی بالایی با مقدار سفرهای انجام شده بود، انتخاب و وارد مدل گردید.

۴- با توجه به رابطهٔ مستقیم تعداد مسافر جابه‌جا شده و تعداد پروازهای انجام شده بین هر زوج شهر، متغیر فرکانس پرواز همبستگی بسیار بالایی را با تعداد سفرهای انجام شده نشان می‌دهد. از آنجا که در براورد تعداد سفر آتی زوج شهرهایی که خطوط پروازی بین آنها برقرار نبوده، متغیر فرکانس پرواز نامعلوم است، لذا در فرایند مدلسازی برای پوشش جمیع موارد باید دو دسته مدل یکی بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز و دیگری با اعمال متغیر فرکانس پرواز ساخته شود. هر چند هدف اصلی از این تحقیق در وهلهٔ اول، دستیابی به مدلهای مناسب بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز بوده است.

۵- به‌دلیل ناهمگونی بسیار زیاد بین زوج شهرهای موجود در شبکهٔ پروازی کشور، به دلیل ماهیت قطبیت برخی از شهرها در پتانسیلهای اجتماعی- اقتصادی، تلاش برای ارائه مدلی واحد برای تمام این زوج شهرها توصیه نمی‌شود. شدت ناهمگونی بین زوج شهرهای موجود در شبکهٔ پروازی کشور آنچنان شدید است که حتی صرفاً با استفاده از متغیرهای مجازی نیز امکان حذف این ناهمگونی و ارائه مدل مناسب وجود ندارد و باید از روشهایی مانند تفکیک زوج شهرها بر حسب یکسر شهرهای خاص استفاده کرد.

۶- مسافت با تقسیم‌بندی سه‌گانه شامل کوتاه (۰ تا ۴۰۰ کیلومتر)، متوسط (۴۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر) و بلند (۹۰۰ کیلومتر به بالا) نسبت به تقسیم‌بندی دوگانه شامل کوتاه (۰ تا ۵۰۰ کیلومتر) و بلند (۵۰۰ کیلومتر به بالا)، به عنوان معیار مناسبی برای تفکیک زوج شهرها و دستیابی به مقادیر توضیح‌پذیری بالاتر- در گروه مدلهایی که تعداد زوج شهرها برای انجام این تفکیک کافی باشد- شناخته شده و کاربرد آن پیشنهاد می‌شود.

۷- مدلهای تخمین زده شده بدون اعمال متغیر فرکانس پرواز برای پنج گروه ۱) زوج‌شهرهای با مسافت کوتاه (دسته‌بندی سه‌گانه بر حسب معیار مسافت)، ۲) زوج‌شهرهای با مسافت متوسط با یکسر تهران، ۳) زوج‌شهرهای با مسافت بلند بدون یکسر تهران یا مشهد، ۴) زوج‌شهرهای با یکسر اصفهان و ۵) زوج‌شهرهای با یکسر شیراز با توضیح‌پذیری قابل قبول و مناسب حاصل شد. برای پیش‌بینی تقاضای سفر زوج شهرهایی که در داخل این گروهها قرار نمی‌گیرند، به‌دلیل پایین بودن توضیح‌پذیری سایر مدلها، می‌توان به اجبار از مدلهای تخمین زده شده با اعمال متغیر فرکانس پرواز استفاده کرد.

۸- مدلهای تخمین زده شده با اعمال متغیر فرکانس پرواز به‌دلیل همبستگی بسیار بالای متغیر فرکانس پرواز با

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد سفرهای انجام شده، توضیح‌پذیری بالایی دارند. به‌دلیل مقادیر بالای t متغیر فرکانس، نسبت به سایر متغیرهای به‌کار رفته در مدلها، استفاده از گروه مدلهای چهارم (تفکیک زوج شهرها بر حسب یکسر شهرهای خاص) ، فقط در مواردی که مدلهای بدون متغیر فرکانس جوابگوی نیازهای پیش‌بینی نباشد، توصیه می‌شود.

۹- در پیش‌بینی‌های مربوط به طرحهای فراگیر و در سطوح کلان مانند طرح جامع حمل و نقل هوایی کشور، بهترین گزینه تخمین مدلها، بر اساس همگون‌سازی زوج شهرها بر حسب یکسر شهرهای خاص (مانند تهران، مشهد، اصفهان و شیراز و ...) است و برای گروه مدلهای با توضیح‌پذیری کم در حالت عدم اعمال متغیر فرکانس پرواز (مشخص شده در این تحقیق) می‌توان از متغیرهای دیگری که در هنگام مطالعات به‌طور موردی انتخاب خواهند شد، استفاده کرد.

۱۰- عدم ورود قطعی متغیرهای اقتصادی در مدلهای انتخاب شده با توجه به وضعیت اقتصادی و پراکندگی آن در سطح کشور، دلالت بر قابلیت استفاده و توجیه‌پذیر بودن روشهای پیش‌بینی غیراقتصادی در برنامه‌ریزیهای آتی حمل و نقل هوایی بین‌شهری دارد.

۱۱- در فرایند مدلسازی با توجه به رابطهٔ مستقیم بین پتانسیل سفرسازی و سطح سرویس سیستم حمل و نقل، در صورتی مدلهای تقاضای مناسبی حاصل خواهد شد که سطوح تقاضا و عرضه سیستم حمل و نقل هوایی به تعادل رسیده باشند. هم اکنون در بسیاری از مسیرهای پروازی کشور با توجه به کمبود ناوگان هوایی، سرویس‌دهی نامناسب توأم با تأخیر بالا و طولانی بودن زمان ترخیص مسافر و بار از فرودگاهها وجود دارد، که خود عاملی برای عدم تعادل بین عرضه و تقاضا است. لذا این گونه مدلهای تخمین زده شده برای دوره‌های زمانی طولانی قابل کاربرد نبوده و با توجه به تغییرات موجود در عوامل مؤثر در سطوح عرضه و تقاضا، باید از آخرین آمار و داده‌های اطلاعاتی به منظور دستیابی به بهنگام‌ترین مدلها، استفاده شود.

۱۱- منابع

[۱] سازمان هواپیمایی کشوری،"تهیه برنامه جامع توسعه و احداث فرودگاههای کشور"، نسخه بازنگری شده، ۱۳۸۱.

[۲] کرمانشاه، محمد، "عوامل مؤثر بر تقاضای سفر هوایی و تهیهٔ مدل ریاضی تقاضای مسافر در ایران"، مجله امیرکبیر، شمارهٔ ۵، ۱۳۶۵.

[۳] قربانی، مهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، ۱۳۸۰.

[4] Kanafani, A. "Transportation Demand Analysis", Mc-GrawHill, New York, 1983.

[5] Young, K.H. "A Synthesis of Time-Series and Cross-Section Analysis Demand for Air Transportation Service", Journal of American Statistical Association, 67, No. 339, 1972, pp. 56-66

[6] Kammerle, KC. "Estimating The Demand for Small Community Air Service", Transportation Research, 25 A, 2001, pp. 101-112.

[7] Verleger, P.K. "Models of the Demand for Air Transportation", Bell Journal of Economic Management Science, 3, No. 22, 2002 pp. 437-451.

[8] Fridstrom, L. and Thune-Larsen, H. "An Econnimetric Air Travel Demand Model For The Entire Case of Norway", Transportation Research, part B, vol. 35, No. 2, 2002.

[9] Rengaraju, V.R. and Thamizh Arasan, V. "Modelling for Air Travel Demand", Journal of Transportation Engineering, 118, no.3, 1992 pp.371-380.

[10] Ippolito, R. "Estimating Airline Demand with Quality of Service Variable", Journal of Transport Economics and Policy, 75, 2001 pp. 7-15.

[11] Kanafani, A. "Price Elasticities of Non business Air Travel Demand" Transportation Engineering Journal, 106, no. TE2, 1980 pp. 217-225.

[12] Manual on Air Traffic Forecasting, International Civil Aviation Organization, 2nd ed, 1985.

www.SID.ir