

عوامل مؤثر در تقاضای حمل و نقل هوایی و تهیه مدل ریاضی تقاضای مسافر در ایران

دکتر محمد کرمانشاه

استادیار دانشکده عمران و معاون پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف

چکیده:

مطالعه تقاضای حمل و نقل هوایی مسافر بین شهری و ارائه مدل ریاضی برآورد این نوع تقاضا برای ایران مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات قبلی انجام شده نشانگر آن است که ساختار ریاضی مدل‌های تقاضای بین زوج شهرها عمدتاً از نوع جاذبه‌ای بوده، و حجم ترافیک هوایی بین یک زوج شهر به صورت تابعی از حاصل ضرب عوامل اقتصادی اجتماعی شهرهای مبدأ و مقصد (نماینده تولید و جذب سفر) و شاخصی از ویژگیهای سیستم حمل و نقل هوایی بین آنها (عامل جدایی زوج شهر) تعریف می‌شود. با استفاده از آمار سال ۱۳۶۴، جمعیت و درآمد سرانه به عنوان عوامل تولید سفر، تعداد سرانه کارگران و کارمندان کارگاه‌های صنعتی بزرگتر از ۱۰ نفر به عنوان عامل جذب سفر، و مسافت بین زوج شهر به عنوان معیاری از عدم مطلوبیت مسافرت هوایی و جدایی شهرها، به منظور برآورد حجم مسافرت هوایی بین زوج شهر در مدل‌های لگاریتم خطی (*Loglinear*) متعددی مورد بررسی قرار گرفت. برای یک نمونه ۳۸ زوج شهری در کل کشور مدل‌های ساخته شده نشان می‌دهد که از توان توصیفی بالایی برخوردار نبوده و نوعی ناهمگونی از نظر عواملی مانند فاصله بین زوج شهرها و تنوع بازار تقاضا (*Demand market*) در شهرهای مبدأ و مقصد مشاهده می‌شود. از این رو دو مجموعه مدل یکی برای گروه‌های مختلف فاصله پرواز (مسافت کوتاه، متوسط و بلند) و دیگری گروه‌های مختلف حجم تقاضا (*Submarket*) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج به مراتب بهتری حاصل شد. مدل حجم تقاضای سفر هوایی زوج شهر در فاصله بین ۸۰۰-۴۰۰ کیلومتر از برازندگی نسبتاً خوبی برخوردار است که بیش از مدل‌های مسافت کمتر از ۴۰۰ و بیشتر از ۸۰۰ کیلومتر است. برای مسافت کمتر از ۴۰۰ کیلومتر به سبب امکان رقابت دیگر طرق حمل و نقل با طریقه هوایی احتمالاً چار چوب مدل تقاضای چند طریقه‌ای مورد نیاز خواهد بود. نارسایی مدل مسافت بلند را می‌توان ناشی از نبود پروازهای منظم بین زوج شهرهای با این مسافت دانست. برای بازارهای با حجم بالای تقاضا مدل پیشنهادی توان توصیفی خوبی را نشان می‌دهد. بطور کلی، در تمام مدل‌ها حجم تقاضا با افزایش جمعیت و درآمد سرانه افزایش می‌یابد و افزایش مسافت بین زوج شهر موجب کاهش تقاضا می‌شود. افزایش تعداد مشاغل باعث کاهش تقاضا می‌شود که تا حدودی خلاف انتظار است. به سبب کوچک بودن نمونه‌های آماری در این مطالعه صرفاً جنبه‌های پژوهشی آن توصیه می‌شود.

Factors Affecting Air Passenger Demand: A Mathematical Model for Iran.

Mohammad kermanshah

Vice-Chancellor on Research
Sharif University of Technology

ABSTRACT

Air travel demand for intercity passengers in Iran was analyzed and a methodology for

model building was suggested. A set of gravity type models was calibrated by loglinear method for a sample of 38 city-pairs. Population and per capita income of origin city, number of industrial employees in destination city, and distance between the two cities constitute structures of tested models. Due to data inhomogeneity no conclusive results were obtained. Then, market segmentations based on city-pair distance and demand volume for 3 distance groups: "<400 km," "400-800 km" and ">800 km"; and 2 demand volume groups: "high volume" and "low volume" were performed. The models were improved and much better results were obtained. In all models air travel demand increases as population and per capita income increase and decreases as distance between cities increases. However, as the number of industrial employees increases demand decreases, the finding which is not expected.

مقدمه :

در تعدادی از مطالعات برآورد تقاضای مسافر هوایی از روش لگاریتم خطی استفاده شده است [۴،۲،۱]. در برخی دیگر، مدل‌های حاصل ضریبی بصورت غیر خطی پرداخت شده‌اند [۷،۶،۵]. در غالب این مطالعات آمار مجموعه‌های زمانی بکار رفته است که تقاضای سفر در سال t ، در بعضی از آنها، به صورت تابعی از ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی محدودده مورد مطالعه و خصوصیات سیستم حمل و نقل تعریف می‌شود [۸] و در بعضی دیگر، به صورت تابعی از ویژگی‌های سالهای قبل برآورد می‌شود [۹،۱۰،۱۱].

روش برآورد خرد تقاضای حمل و نقل هوایی در راستای رفع عدم سیاست پذیری مدل‌های کلان و به عنوان ابزار مناسب برنامه‌ریزی و سیاست سنجی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲]. از مرسومترین انواع طبقه‌بندی تحلیل خرد تقاضا نوع مبدأ - مقصد است. مدل‌های این نوع به مدل زوج شهری معروف بوده و دارای ساختار کلی جاذبه‌ای هستند. در این مدل‌ها تقاضای مسافرت هوایی بین دو شهر به صورت حاصل ضرب متغیرهای اقتصادی - اجتماعی آن شهرها و ویژگی‌های سطح خدمت سیستم حمل و نقل هوایی بین آنها در نظر گرفته می‌شود [۱۳،۱۴،۱۵،۱۶]. برآورد تقاضای ترافیک یک فرودگاه از دیگر موارد کاربرد مدل‌های خرد است [۱۷،۱۸].

برآورد تقاضای بین شهری در ایران و تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر در آن که موضوع این مطالعه است بر مبنای برآورد خرد تقاضا استوار است. هدف از انجام مطالعه شناسایی عواملی است که جابجایی‌های هوایی مسافر بین شهری را توصیف نماید و در قالب مدلی ریاضی بتواند تقاضای آینده را برآورد کند. در بخشهای زیر به این مهم پرداخته می‌شود.

ساختار مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی از نوع جاذبه‌ای و به صورت حاصل ضریبی در نظر گرفته می‌شود. رابطه زیر ساختار کلی مدل را نشان

افزایش تقاضای حمل و نقل هوایی طی دهه‌های گذشته موجب شده‌است که این طریقه جابجایی مورد توجه خاص تحلیلگران و برنامه‌ریزان حمل و نقل و اقتصاد قرار گیرد. بر خورداری حمل و نقل هوایی از ویژگی‌هایی نظیر حریم جداگانه حرکت، سرعت بیشتر، تکنولوژی نسبتاً انحصاری و پیچیده و نهایتاً خصوصیات اقتصادی مصرف کنندگان خدمات این طریقه وجه تمایز آن از سایر طرق حمل و نقل بوده و در نتیجه بازار تقاضای متفاوتی را بوجود آورده است.

علیرغم نقش نسبتاً محدود این طریقه در بخش حمل و نقل یک کشور به سبب ویژگی‌های آن و همچنین بنا به طبیعت بین منطقه‌ای و بین‌المللی بودن تقاضای مسافرت هوایی دخالت گسترده حکومتها و سیاستگذاران در این طریقه از حمل و نقل اجتناب‌ناپذیر است. به علاوه نیاز این زیر بخش از حمل و نقل به زیر ساختها و سیستم‌های هوایی متکی بر تکنولوژی پیشرفته و هزینه‌های بالا که مستلزم زمان زیادی جهت تدارک آنهاست باعث شده است که پیش بینیهای حمل و نقل هوایی بخش مهمی از فعالیت برنامه‌ریزی اقتصادی را بخود اختصاص دهد.

برآورد تقاضای حمل و نقل هوایی و متدولوژی تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر در آن که بر مبنای آن بتوان ابزارهای مناسب جهت تخمین تقاضا را ارائه نمود از سابقه چندانی برخوردار نیست. بررسی مطالعات انجام گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که روشهای برآورد تقاضای سفر هوایی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی نمود (۱) برآورد کلان، (۲) برآورد خرد.

مدل کلان که بر مبنای تئوری اقتصادی تقاضا و تئوری رفتار مصرف کننده استوار است فعالیت‌های حمل و نقل هوایی در گستره سیستم را مورد نظر قرار می‌دهد و مدل‌های ترافیک هوایی برای طبقه‌بندی‌های گوناگون تقاضا ساخته نمی‌شود. در اینگونه مطالعات تقاضای سفر هوایی یک محدوده جغرافیایی با استفاده از نمونه‌های مختلف آماری به صورت مسافر درآمدی - کیلومتر (مایل) برآورد می‌شود.

زوج شهرها در مسافرت‌های رفت و برگشتی مشاهده شد مجموع مسافرت هوایی (رفت و برگشت) بین يك زوج شهر به عنوان تقاضا در مرحله ساخت مدل منظور شده است.

$$T_{ij} = a_0 + a_1 P_i + a_2 A_{ij} + a_3 D_{ij} + \epsilon$$

که در آن، T_{ij} ترافیک هوایی بین منطقه i و منطقه j ، P_i عامل تولید سفر هوایی در منطقه i ، A_{ij} عامل موثر در جذب سفر به منطقه j ، و D_{ij} عدم مطلوبیت مسافرت هوایی (مانند مسافت، بهای بلیط، ...) بین دو منطقه i و j است. ϵ بخش تصادفی مدل پیشنهادی است. پارامترهای a_0 تا a_3 نیز مقادیر ثابت مدل‌اند. پرداخت مدل در این مطالعه بر مبنای روش تخمین گرایش خطی چندگانه (Multiple linear regression) است که با استفاده از لگاریتم خطی دو طرف رابطه ممکن می‌شود.

نمونه آماری

محدوده مورد بررسی در این مطالعه گستره کشور ایران است که به سبب قرار گرفتن فرودگاهها در شهرها، تقاضای مسافرت هوایی به صورت تقاضای زوج شهری در این گزارش بیان می‌شود. نظر به اینکه اطلاعات و آمار به تفکیک جغرافیایی کوچکتر از استان به ندرت یافت می‌شود از اطلاعات استان استفاده شده و تقاضای زوج شهری در واقع تقاضای زوج استانی است که زوج - شهر دارای فرودگاه در زوج - استان مربوطه واقع شده‌اند.

متغیر جانشین عامل جذب سفر هوایی در مقصد سفرها تعداد سرانه کارگران و کارمندان کارگاههای بزرگ صنعتی (کارگاههای صنعتی بیشتر از ۱۰ نفر) است. مسافت بین زوج شهرها نیز به عنوان عامل جدایی بین مبدأ - مقصد و نیز معیاری از عدم مطلوبیت مسافرت هوایی انتخاب شد. جدول شماره ۱ اطلاعات تولید و جذب شهرهای دارای فرودگاه را نشان می‌دهد. ترافیک هوایی مبدأ - مقصد و فاصله هوایی بین آنها در جدول ۲ درج شده است. لازم به یادآوری است که هر استان يك فرودگاه آماده پذیرش مسافر درآمدی دارد (به جز استانهای هرمزگان و سیستان و بلوچستان) و تقاضای سفر بین جزایر جنوب و سایر نقاط کشور به سبب ماهیت متفاوت آنها با بقیه نمونه حذف شده‌اند. بدیهی است به مناطق جنگی در سال ۱۳۶۴ رفت و آمد هوایی صورت نگرفته و لذا خارج از نمونه آماریند.

مسافرت هوایی زوج شهری مقطع زمانی سال ۱۳۶۴ به عنوان نمونه آماری انتخاب شده است. نمونه شامل ۳۸ زوج شهری است که در آن مقادیر مسافر درآمدی - کیلومتر بین زوج شهرها در سال موردنظر معلوم است. از حاصل تقسیم این مقادیر بر مسافت بین زوج شهر حجم مسافر هوایی سالانه آن زوج شهر بدست می‌آید. به سبب جابجاییهای قرینه‌ای که بین

جدول ۱- عوامل تولید و جذب مسافرت هوایی شهرهای دارای فرودگاه - سال ۱۳۶۴

ردیف	نام شهر	جمعیت شهری	درآمد سرانه (ریال)	مشاغل سرانه (نفر) 10^5
۱	اصفهان	۲۰۲۲۶۰۰	۲۲۰۰۸۸	۲۳۸۹/۶
۲	بندرعباس	۲۸۱۲۵۶	۲۴۶۱۶۰	۲۸۸/۸
۳	بندربوشهر	۲۷۸۵۱۷	۱۹۱۵۵۴	۲۱۸/۹
۴	تبریز	۱۸۹۲۵۲۱	۱۷۵۹۸۷	۷۹۵/۷
۵	تهران	۷۲۴۹۹۸۹	۳۰۲۴۴۸	۲۹۵۴/۴
۶	رشت	۷۴۳۶۶۰	۲۰۸۳۵۲	۱۸۲۵/۲
۷	زاهدان	۴۳۷/۴۳	۱۴۶۷۶۱	۱۰۳/۴
۸	شیراز	۱۵۲۶۷۱۶	۱۹۲۸۹۵	۶۴۳/۵
۹	کرمان	۶۵۲۲۲۸	۲۱۲۱۰۰	۲۷۱/۳
۱۰	مشهد	۲۳۷۲۷۸۶	۱۹۵۴۱۷	۵۵۲/۲
۱۱	یزد	۳۶۱۱۹۲	۲۱۰۰۴۵	۳۸۲/۱

الف - ترافیک هوایی رفت و برگشت* (نفر)

مبدا	یزد	مشهد	کرمان	شیراز	زاهدان	رشت	تهران	تبریز	بوشهر	بندرعباس	اصفهان
اصفهان	۳۵۶۶۷	۵۲۷۴۰	۶۶۸۵	۵۷۶۴۲	۷۰۸۱		۲۴۲۷۶۸	۴۵	۶۸۵	۷۴۱۹	
بندرعباس	۱۲۹۹۸	۲۳۷۲۳	۱۹۲	۹۰۸۳۹	۳۷۲۹۳		۳۴۴۰۴۶			\$ ۲۰۰۳۵ (۱۷۱)	۸۵۲
بوشهر		۳۷۴۰		۸۶۱۴			۶۴۴۱۱				۴۶۸
تبریز		۲۲۲۷				۱۶۲۲۴	۱۷۶۱۳۴				۹۶۱
تهران	۲۹۵۰۵	۶۴۲۱۷۵	۶۴۱۹۲	۴۳۱۵۰۹	۱۸۹۹۲۳	۲۳۹۸۲		۵۲۹	۷۵۰	۱۰۵۵	۳۴۲
رشت		۸۰۲۷				۲۳۷		۳۰۸			
زاهدان	۸۶۵۶	۵۰۱۳۱	۴۹۹۹	۳۹۷۸	۴۶۸۵۹ (۴۴۵)		۱۱۳۹			۴۴۰	۹۴۴
شیراز		۴۱۲۵۰		۸۱۲			۶۸۶		۱۸۸	۴۲۰	۳۴۵
کرمان	۱۱۲	۱۳۰۴۰		۳۸۸			۸۰۰			۳۴۴	۵۶۶
مشهد	۲۸۳۸۶			۱۲۰۲	۷۶۷	۱۰۲۵	۷۵۰	۱۳۳۴	۱۲۰۲	۱۲۳۷	۱۰۹۳
یزد		۷۴۹	۳۰۴		۶۸۸		۵۱۲			۶۵۲	۲۵۸

ب - فاصله هوایی (کیلومتر)

* پروازهای خدمات هواپیمایی آسمان منظور نشده است.

† ترافیک بین استانی، بندرعباس، بندرلنگه. داخل پراوتز مسافت است.

@ ترافیک بین استانی، زاهدان - چاه‌بهار. داخل پراوتز مسافت است.

در نظر گرفته شده‌اند جمعیت (PP)، درآمد سرانه (IN)، و حاصل ضرب آنها (PI) هستند که مربوط به محل آغاز و پایان تقاضای سفر زوج شهری است. متغیر تعداد سرانه مشاغل صنعتی (EM) مبدأ و مقصد به عنوان عامل جذب سفر هوایی وارد مدل می‌شود. این متغیرها به شکلهای گوناگون (حاصل ضرب و حاصل جمع) در مراحل تکامل مدل سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تمام مدل‌های آزمایشی تقاضای زوج شهری مسافت بین زوج شهر به عنوان معیار عدم مطلوبیت سفر هوایی خواهد بود. جدول شماره ۳ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.

آنچه که از بررسی جدول ۳، صرف نظر از برتری یک مدل بر مدل دیگر، نتیجه می‌شود آن است که حاصل ضرب جمعیت مناطق مبدأ و مقصد و نیز حاصل ضرب درآمد سرانه این مناطق نقش تولیدکننده سفر هوایی را دارند و در تمام مدل‌ها با علامت قابل انتظار مثبت ظاهر می‌شوند. تأثیر متغیر درآمد سرانه در بهبود مدل تقاضا را می‌توان از مقایسه مدل‌های ۴ با ۵ و ۶ با ۷ نتیجه گرفت. مقادیر کشش پذیری درآمد این ۱/۳۲ تا ۳/۱۹ تغییر می‌کند میزان تأثیر این دو متغیر در تقاضای سفر هوایی در مدل ۲ نسبت به سایر مدل‌ها بیشترین است. چنانچه جمعیت و درآمد سرانه به صورت یک متغیر (کل

مرحله ساخت مدل تقاضا

در ساخت مدل به منظور دستیابی به مدل مطلوب تقاضای حمل و نقل مسافر هوایی زوج شهری با ساختار کلی جاذبه‌ای ابتدا از شکلهای ساده شروع می‌کنیم. پرداخت مدل بر مبنای روش حداقل مجموع مربعات مدل لگاریتم خطی انجام می‌گیرد. چون متغیر وابسته در مدل مجموع سفرهای رفت و برگشت زوج شهرها را نشان می‌دهد، هر یک از نقاط مبدأ و مقصد یک زوج شهری به عنوان عامل تولید و جذب سفر فرض شده و ویژگیهای آنها در شکل اولیه پیشنهادی به صورت حاصل ضرب وارد مدل می‌شود.

$$T_{ij} = a. (P_i \times P_j)^{a1} (A_i \times A_j)^{a2} D^{a3}_{ij} e^{\epsilon}$$

که در آن متغیرهای P و A همان تعاریف قبلی را دارند. چنانچه از دو طرف رابطه لگاریتم گرفته شود خواهیم داشت:

$$\ln T_{ij} = \ln a. + a_1 \ln(P_i P_j) + a_2 \ln(A_i \times A_j) + a_3 \ln D_{ij} + \epsilon$$

مدل لگاریتم خطی بالا از روش گرایش خطی چند متغیره قابل پرداخت است و ضرایب آن تعیین می‌شود. در این مرحله متغیرهایی که به عنوان تولیدکننده سفر هوایی

جدول ۳- مرحله اول ساخت مدل تقاضای سفر هوایی زوج شهری (لگاریتم خطی)

متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
ثابت	-۱۲/۷۰	-۹۰/۹۶	-۴۹/۸۱	-۱۰/۰۵	-۶۶/۴۲	-۸/۲۲	-۳۸/۳۰
$In(XPP)_{ij}^*$	۱/۱۶	۱/۴۱		۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۷۰	۰/۵۸
\$							
$In(XIN)_{ij}$	(۲/۷۶)	(۳/۴۱)		(۲/۳۲)	(۲/۵۸)	(۳/۲۰)	(۲/۳۶)
$In(XPI)_{ij}$		۲/۱۹	۱/۴۳		۲/۳۳		۱/۳۲
$In(XEM)_{ij}$		(۲/۲۸)	(۳/۴۰)		(۱/۶۳)		(۱/۰۷)
$In(+EM)_{ij}$	-۰/۴۷	-۱/۰۳	-۰/۸۴	-۰/۳۵	-۰/۹۵		
	(-۱/۲۵)	(-۲/۴۰)	(-۲/۰۵)	(-۰/۵۶)	(-۱/۳۵)		
$In(D_{ij})$	-۰/۵۸	-۰/۵۴	-۰/۶۹	-۰/۳۳	-۰/۱۵	-۰/۲۵	-۰/۰۷
	(-۰/۹۴)	(-۰/۹۲)	(-۱/۱۸)	(-۰/۵۵)	(-۰/۲۴)	(-۰/۴۳)	(-۰/۱۰)
R^2	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۲۴	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۲۶
SSE	۱۱۲/۲۵	۹۶/۴۹	۱۰۱/۷۶	۱۱۶/۳۷	۱۰۸/۱۱	۱۱۷/۲۲	۱۱۳/۶۱

* علامت × یا + جلوی متغیر حاصل ضرب یا حاصل جمع متغیرهای متناظر مربوط به مبدأ و مقصد سفر هوایی است. گ اعداد داخل پرانتز مقادیر t است.

مشاغل صنعتی مناطق مبدأ و مقصد و فاصله آنها، در يك مدل لگاریتم خطی (مدل ۲) تقاضای حمل و نقل هوایی مسافر زوج شهری را توصیف می‌کند، گرچه مدل از توان توصیفی بالایی برخوردار نیست. نارسایی مدل را می‌توان به عوامل گوناگونی نسبت داد، از جمله، ناهمگونی مناطق مبدأ یا مقصد. به عنوان مثال شهرهای تهران، مشهد و یا اصفهان از ویژگیهای خاصی برخوردارند که شهرهای دیگری مانند کرمان، رشت، و یا تبریز فاقد آنند. چنانچه این ویژگیها به وسیله متغیرهای مستقل توصیف نشوند، لازم است تأثیر آنها به نحوی مناسب در مدل‌سازی منظور شود. از این رو دو متغیر کمکی^۱ (۱-۰) برای شهرهای تهران به سبب پایتخت بودن و دیگر ویژگیهای و مشهد به دلیل جاذبه زیارتگاهیش به صورت زیر تعریف شدند:

$$\left. \begin{array}{l} 1: \text{اگر زوج شهر يك طرفش تهران باشد} \\ 0: \text{در غیر این صورت} \end{array} \right\} = DT$$

و:

$$\left. \begin{array}{l} 1: \text{اگر زوج شهر يك طرفش مشهد باشد} \\ 0: \text{در غیر این صورت} \end{array} \right\} = DM$$

درآمد شهری) در مدل وارد شود (مدل ۳)، مجموع مربعات خطای مدل نسبت به مدل ۲ افزایش می‌یابد و از R^2 آن کاسته می‌شود. فاصله بین زوج شهر با علامت منفی در تمام مدلها ظاهر شده و منطقی به نظر می‌رسد.

متغیر سرانه مشاغل صنعتی مناطق مبدأ و مقصد چه به صورت حاصل ضرب و چه به صورت حاصل جمع دارای علامت منفی است که خلاف انتظار قبلی است. علت این امر را شاید بتوان به گویا نبودن شاخص تعداد مشاغل کارگاههای صنعتی بیشتر از ۱۰ نفر نسبت داد، که چنانچه از مشاغل صنایع اساسی استفاده شود نتیجه بهتری حاصل شود. بهر حال، دسترسی به این نوع اطلاعات مستلزم صرف وقت بیشتری است که میسر نشد. مقایسه شکل حاصل ضربی این متغیر (مدلهای ۱ و ۲ و ۳) با شکل حاصل جمع آن (مدلهای ۴ و ۵) نشان دهنده برتری شکل حاصل ضرب است. از طرف دیگر نمی‌توان حضور متغیر سرانه مشاغل صنعتی را در مدل نادیده گرفت (مدلهای ۷ و ۲ را مقایسه کنید).

بررسی جدول ۳ به این نتیجه منتهی می‌شود که حاصل ضرب جمعیت، حاصل ضرب درآمد سرانه و حاصل ضرب سرانه

نتیجه پرداخت مرحله دوم ساخت مدل با افزودن متغیرهای کمکی بالا به مدل مبنا (مدل ۲، جدول ۳) در جدول ۴ نوشته شده است.

جدول ۴- نتایج مرحله دوم ساخت مدل تقاضای سفر هوایی زوج شهری (لگاریتم خطی)

متغیر	مدل		تعداد مشاهدات = ۳۸
	۸	۹	
ثابت	-۲۵/۳۹	۱۱/۸۲	-۹۰/۹۶
$\ln(XPP)_{ij}^*$	۰/۷۷	۰/۲۹	۱/۴۱
\$	(۱/۳۴)	(۰/۴۰)	(۳/۴۱)
$\ln(XIN)_{ij}$	۰/۹۲	-۰/۱۹	۳/۱۹
$\ln(XEM)_{ij}$	(۰/۴۶)	(-۰/۰۸)	(۲/۲۸)
$\ln(D_{ij})$	-۰/۲۶	-۰/۴۹	-۰/۵۴
DI	۱/۹۳	۳/۰۲	(-۰/۹۲)
DM	(۱/۵۲)	(۱/۹۱)	۱/۰۹
	(۱/۰۹)	(۱/۰۹)	(۱/۰۹)
R^2	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۳۷
SSE	۸۹/۸۹	۸۶/۴۶	۹۶/۴۹

برای هر زیر بازار است. در این صورت هر نمونه از همگونی بیشتری نسبت به کل نمونه برخوردار است و انتظار دستیابی به مدل‌های بهتری می‌رود، اگر چه کاهش مشاهدات هر نمونه از دقت نتایج خواهد کاست.

در راستای همگون سازی نمونه‌های آماری با توجه به محدود بودن کل مشاهدات دو نمونه پیشنهاد می‌شود. اگر چه مرز تفکیک نمونه‌ها تا حدودی اختیاری است، لیکن به سبب آنکه منحنی صعودی - نزولی ترافیک زوج شهری در نقطه حدود ۳۵۰۰۰ سفر دارای شکستگی زیادی نسبت به نقاط مجاور بود این نقطه انتخاب شد. نمونه اول با بازار تقاضای بیش از ۳۵۰۰۰ سفر هوایی سالانه شامل ۱۶ مشاهده بود و ۸۰٪ سفرهای زوج شهری تهران در آن قرار دارد. نمونه دوم تقاضاهای کمتر از ۳۰۰۰۰ را در برمی‌گیرد و شامل ۲۲ مشاهده است. تفکیک نمونه‌ها از تعادل نسبتاً خوبی برخوردار است.

نتایج مقایسه‌ای مدل‌های تقاضای تمام زوج شهرها، زوج شهرهای اصلی (دارای ترافیک زیاد) و سایر زوج شهرها در جدول ۵ نشان داده شده است.

اثر طبقه‌بندی تقاضا در نوع مدل به طور آشکاری در جدول ۵ نمایان است. زوج شهرهای اصلی به سبب تقاضای بالایی که دارند دارای پروازهای منظم روزانه یا هفتگی هستند و از همگونی آماری نسبتاً مطلوبی برخوردارند، در حالی که سایر

جدول ۵- مقایسه مدل بازارهای مختلف تقاضا

متغیر	مدل به تفکیک حجم ترافیک هوایی		
	تمام زوج شهرها	زوج شهرهای اصلی	سایر زوج شهرها
ثابت	-۹۰/۹۶	-۶۷/۳۴	-۴۲/۸۶
$\ln(XPP)_{ij}^*$	۱/۴۱	۰/۸۲	۰/۳۴
\$	(۳/۴۱)	(۲/۸۹)	(۰/۴۸)
$\ln(XIN)_{ij}$	۳/۱۹	۲/۲۹	۱/۸۲
$\ln(XEM)_{ij}$	(۲/۲۸)	(۲/۸۵)	(۰/۸۳)
$\ln(D_{ij})$	-۰/۲۶	-۰/۴۴	-۰/۵۴
DI	۳/۰۲	۱/۹۳	(-۰/۳۵)
DM	(۱/۵۲)	(۱/۹۱)	(-۰/۳۵)
تعداد مشاهدات	۳۸	۱۶	۲۲
R^2	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۰۵
SSE	۹۶/۴۹	۸۶/۴۶	۵۲/۲۶

* علامت X یا + جلوی متغیر حاصل ضرب یا حاصل جمع متغیرهای متناظر مربوط به مبدأ و مقصد سفر هوایی است. گ اعداد داخل پرانتز مقادیر t است.

* علامت X یا + جلوی متغیر حاصل ضرب یا حاصل جمع متغیرهای متناظر مربوط به مبدأ و مقصد سفر هوایی است. گ اعداد داخل پرانتز مقادیر t است.

جدول ۴ نشان دهنده آن است که با وجود افزایش مقادیر R^2 و کاهش مجموع مربعات خطای مدل‌های ۸ و ۹ نسبت به مدل مبنا، تمامی ضرایب بدون استثناء اهمیت آماری خود را از دست می‌دهند ($2/040 \approx 2.025$ در درجه‌های آزادی ۳۱ و ۳۲). به علاوه، اهمیت افزایش متغیر کمکی DM در مدل مبنا (مدل ۸) از نظر آماری قابل چشم‌پوشی است ($F=2/35$ در برابر $F_{0.05}(1/32) = 4/15$). DM نیز از وضعیت مشابهی برخوردار است.

تجربه مدل‌های ۸ و ۹ در ترسیم ناهمگونی تقاضای زوج-شهری مسافر هوایی در قالب یک مدل واحد تقاضا حاشیه‌ای بودن تأثیر متغیرهای کمکی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، ناهمگونی بازار تقاضا وسیعتر از آن است که از یک مدل واحد تقویت شده با متغیرهای کمکی پیروی کند. یک روش رفع این اشکال تقسیم بازار تقاضا به چند زیر بازار و ارائه مدل جداگانه

زوج شهرها دارای ارتباط کمتری بوده و نوعاً تغییرات فصلی تقاضا در آنها مشاهده می‌شود. آزمایش F^* Chow اختلاف این مدلها را نشان می‌دهد: مقدار محاسبه شده $F = 3/76$ از $F_{(5, 28)} = 2/56$ بزرگتر بوده و اختلاف مدلها مهم است.

یکی دیگر از روشهای همگون سازی آمار ترافیک هوایی تفکیک مشاهدات برحسب مسافت پرواز است. مسافت پرواز معمولاً به سه گروه کوتاه، متوسط و بلند تقسیم شده و در هر گروه یک مدل تقاضا ساخته می‌شود. این تقسیم‌بندی از این نظر دارای اهمیت است که تقاضای مسافرت هوایی بین زوج شهرهای با فاصله کوتاه تحت تأثیر ویژگی دیگر گونه‌های حمل و نقل زمینی بالقوه رقیب قرار می‌گیرد، کاهش تعداد نمونه‌ها موجب کاهش دقت خواهد بود.

جدول ۶- مقایسه مدل تقاضای زوج شهرها با مسافت

مختلف

متغیر	مدل به تفکیک فاصله (کیلومتر)			
	تمام زوج شهرها	۰-۴۰۰	۴۰۰-۸۰۰	۸۰۰
ثابت	-۹۰/۹۶	۲۸/۵۹	-۱۶۱/۱۶	-۱۸۲/۲۱
$\ln(XPP)_{ij}^*$	۱/۴۱	۱/۲۳	۲/۰۳	۱/۳۷
S	(۳/۴۱)	(۰/۸۶)	(۵/۹۷)	(۱/۷۱)
$\ln(XIN)_{ij}$	۳/۱۹	-۱/۲۸	۶/۳۶	۷/۱۹
$\ln(XEM)_{ij}$	(۲/۲۸)	(-۰/۳۸)	(۳/۴۹)	(۳/۴۴)
$\ln(D_{ij})$	-۱/۰۳	۰/۰۱	-۲/۵۱	-۱/۴۴
	(-۲/۴۰)	(۰/۰۱)	(-۴/۶۵)	(-۲/۲۲)
	-۰/۵۴	-۳/۸۷	-۱/۴۴	-۰/۶۱
	(-۰/۹۲)	(-۱/۱۹)	(-۱/۲۳)	(-۰/۱۹)
تعداد مشاهدات	۲۸	۱۰	۱۵	۱۳
R^2	۰/۳۷	۰/۶۰	۰/۸۱	۰/۶۲
SSE	۹۴/۴۹	۲۱/۴۲	۷/۸۵	۱۶/۹۵

* علامت \times یا $+$ جلوی متغیر حاصل ضرب یا حاصل جمع متغیرهای متناظر مربوط به مبدأ و مقصد سفر هوایی است.
 § اعداد داخل پرانتز مقادیر t است.

F^*

$$F = \frac{SSE - \sum SSE_i}{N - \sum N_i} / \frac{\sum SSE_i}{\sum N_i}$$

SEE = مجموع مربعات خطای تمام نمونه

SEE_i = مجموع مربعات خطای نمونه i ام

N = درجه آزادی مدل تمام نمونه

N_i = درجه آزادی مدل نمونه i ام

در این مطالعه سه نمونه آماری برحسب مسافت تعریف شدند و نتایج ساخت مدل درجدول ۶ نشان داده شده است. غیر از مدل مسافت کوتاه (کمتر از ۴۰۰ کیلومتر) متغیرهای مدلها مربوط به مسافت متوسط و بلند دارای علامتهای مشابه مدل تمام زوج شهرها هستند، ضمن آن که مدل مسافت متوسط از برازندگی بهتری برخوردار است. از دلایل برتری مدل

متوسط بر مدل مسافت بلند می‌توان نادرست بودن میزان ترافیک بین زوج شهرهای با مسافت بلند را نام برد که از نبود پرواز منظم بین این زوج شهرها ناشی می‌شود (به عنوان مثال، مجموع ترافیک رفت و برگشت تبریز - مشهد کمی بیش از ۲۰۰۰ سفر ثبت شده است).

دامنه کشش پذیری درآمد از ۱/۲۸ - تا ۷/۱۹ است که مقادیر منفی را نیز نشان می‌دهد. بررسی آزمایش F نشان می‌دهد که اختلاف بین مدلها از نظر آماری مهم است

($F = 2/27$) = (۲۳ و ۱) $F_{(1, 0.5)}$ در برابر $F = 2/50$). تقاضای مسافرت کوتاه (تا ۴۰۰ کیلومتر) نیازمند بررسی جداگانه‌ای است که در چارچوب آن ویژگی طریقه‌های زمینی حمل و نقل به دلیل امکان رقابتی که با طریقه هوایی دارند می‌باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مدل حاصل ضربی تقاضای حمل و نقل مسافر هوایی بین شهری بر مبنای آمار مقطع زمانی سال ۱۳۶۴ به صورت تخمین خطی پرداخت شده است. در ساختار جاذبه‌ای مدل، جمعیت شهری و درآمد سرانه به عنوان عوامل تولیدکننده سفر، تعداد مشاغل صنعتی کارگاههای بیش از ده نفر به عنوان عامل جذب‌کننده سفر، و مسافت زوج شهر به عنوان معیاری از عدم مطلوبیت مسافرت هوایی تقاضای سفر هوایی را توصیف می‌کنند. نتایج مرحله ساخت مدل نشان می‌دهد که با افزایش جمعیت و درآمد حجم تقاضای سفر هوایی افزایش می‌یابد و این عوامل در تولید سفر مؤثرند. افزایش تعداد مشاغل در مقصد سفر باعث کاهش تقاضا می‌شود که نتیجه‌ای خلاف انتظار است. به نظر می‌رسد با جایگزینی مشاغل صنعتی اساسی (به عنوان مثال، کارگاه بیش از ۵۰ نفر) این مشکل رفع شود. مسافت بین زوج شهر نیز بر تقاضا تأثیر منفی دارد (جدول ۳). با وجود آنکه متغیرها از اهمیت آماری بالایی برخوردارند، لکن مدل حاصله توان تخمینی بالایی را نشان نمی‌دهد.

ضعف توان توصیفی مدل از ناهمگونی مشاهدات ناشی می‌شود. به عبارت دیگر، تقاضای تمام زوج شهرها از یک مدل تقاضای واحد پیروی نمی‌کند. تقسیم‌بندی تقاضا به دو نوع طبقه‌بندی به تفکیک بازار تقاضا و مسافت بین زوج شهرها به مدلها مناسبتری منجر شده است (جدول ۵ و ۶). تقاضای سفر هوایی زوج شهرهای با فاصله کمتر از حدود ۴۰۰

کیلومتر به سبب امکان رقابت دیگر طرق حمل و نقل با طریق هوایی نیازمند چهارچوب مدل تقاضای چند طبقه‌ای است که جایگاه آن در بخش مطالعه مدل‌های تقاضای بین شهری طرق مختلف حمل و نقل است.

نتایج این مطالعه در وضعیت موجود بیشتر جنبه پژوهشی دارد و استفاده از مدل به صورت عملیاتی پیشنهاد نمی‌شود. کمبود مشاهدات نمونه آماری یکی از دلایل آن است. هرگونه طبقه‌بندی مشاهدات به منظور همگون سازی منجر به کاهش بیشتر مشاهدات نمونه مورد مطالعه خواهد شد که در نهایت اعتبار نتایج را کاهش می‌دهد. مشاهدات موجود نیز دارای نارسایی‌هایی است. به عنوان مثال، نبود امکانات ارتباط منظم هوایی بین زوج شهرهای با فاصله زیاد موجب می‌شود که ارزیابی بر مبنای اندک سفرهای انجام شده صورت گیرد و بقیه سفرها که به طور مستقیم انجام نگرفته‌اند به عنوان تقاضای دیگر زوج شهرها منظور شود. به علاوه، لازم به یادآوری است که آمار جابجایی هوایی که در این گزارش تقاضای سفر نامیده شده است نباید با مقدار واقعی تقاضا که سطح خدمت عرضه سیستم حمل و نقل نقش اساسی را در شکل‌گیری آن

دارد اشتباه شود. در صورت افزایش عرضه خدمات هوایی در کشور، بدیهی است به مقدار زیادی بر حجم سفرها افزوده خواهد شد و در آن صورت از مشاهدات می‌توان به عنوان مبنای تقاضا استفاده نمود.

برای بهبود مدل و افزایش توان تخمین آن لازم است متغیرهای دیگری علاوه بر تعداد مشاغل صنعتی اساسی به مدل اضافه شوند. این متغیرها می‌تواند بهای بلیط، تواتر پرواز بین زوج شهرها، و یا زمان مسافرت بین آنها باشد. افزودن این متغیرها امکان ارزیابی سیاست‌گذاریهای قیمت گذاری، مدیریت و انتخاب تکنولوژی حمل و نقل هوایی در آینده را میسر می‌سازد. به علاوه، روش تخمین غیرخطی باید جایگزین روش تخمین موجود شود. چنانچه امکان تحقق پیشنهادات بالا فراهم آید و ترکیب آمار مقطع زمانی و مجموعه زمانی کمبود مشاهدات آماری موجود را به نوعی رفع نماید مدل‌های پیشنهادی می‌تواند گذشته از توصیفی بودن از توان پیش‌بینی خوبی نیز برخوردار باشد. بدیهی است برآورد آینده متغیرهای مستقل و جایگذاری آنها در مدل، پیش‌بینی تقاضای آینده حمل و نقل مسافر هوایی رانتيجه خواهد داد.

پاورقی

1. Income elasticity
2. Dummy variable
3. Submarket

منابع :

1. Lave, L. B., "The Demand for Intercity Passenger Transportation," *Journal of Regional Science*, Vol. 12, no. 1, pp. 71-84, 1972.
2. Bartlett, H. C., "The Demand for Passenger Air Transportation, 1974-62," unpublished Ph. D. Thesis, University of Michigan, 1965.
3. Joun, Y. P., "The Demand for Air" unpublished Travel, Ph.D. Thesis, University of Washington, 1966.
4. Morrell, P., "Air Travel Demand Forecasting in Europe" Research paper submitted for a course at the MIT Flight Transportation Laboratory, May, 20, 1977.
5. Kanafani, A., "Price Elasticities of Non-business Air Travel Demand," *Engineering Transportation Journal*, ASCE, Vol. 106, no. TE2, pp. 217-225, 1980.
6. Kanafani, A., E. Sadoulet, and E. C. Sullivan, "Demand Analysis for North Atlantic Air Travel," ITE, Berkeley, research report, Vol. 1. 1974.
7. Behbehani, R., and A. Kanafani, "Demand and Supply Models of Air Traffic in International Markets," ITE, Berkeley, research report ITS-WP-80-5, 1980.
8. Manual on Air Traffic Forecasting, International Civil Aviation Organization, 2nd ed. 1985.
9. U.S. Civil Aeronautics Board, "Domestic Passenger, Fare Investigation" Docket 21866-5, 1970.
10. Young, K. H., "A Synthesis of Time-Series and Cross

- Section Analysis: Demand for Air Transportation Service," *Journal of American Statistical Association*, Vol. 67, no. 339, pp. 560-566, sept, 1972.
11. Aureille, Y. G., "The Outlook for the U.S. Airline Industry: An Econometric Approach," *Proceedings, Workshop on Air Transportation Demand and Systems Analysis*, MIT report R75-8, pp. 386-439, 1974.
 12. Kanafani, A., *Transportation Demand Analysis*, New York, Mc Graw Hill Company, 1983.
 13. Verleger, P.K., "A point to point Model of the Demand for Air Transportation," unpublished Ph. D. Thesis, MIT, 1971.
 14. Verleger, P.K., "Models of the Demand for Air Bell Transportation," *Journal of Economic Management Science*, Vol. 3, no. 2, 1972.
 15. Blumer, T. P., "A Short Haul Passenger Demand Model for Air Transportation," unpublished master's thesis, MIT, 1976.
 16. Eriksen, S. E., and N. K. Taneja, "Directions for Paper Improving Air Transportation Demand Models," presented at the Joint National Meeting of the Operation Research Society of America and the Institute of Management Science, Miami, Florida, (Nov. 1976).
 17. Baxter, N. D., and E.P. Howrey. "The Determinants of General Aviation Activity: A cross-sectional Analysis," in G.P. Howard (ed.), *Airport Economic Planning*, MIT Press, pp. 177-190, 1974.
 18. Howrey, E. P., "On the Choice of Forecasting Models for Air Travel," *Journal of Regional Science* vol. 9, pp. 215-224, 1969.
- ۱۹ - مرکز آمار ایران، "سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۶۵، نتایج مقدماتی کل کشور"، وزارت برنامه و بودجه، تهران، دی ۱۳۶۵.

