فصلنامه آینده‌پژوهی مدیریت
سال بیست و نهم/ شماره ۱۱۲ / بهار ۱۳۹۷

آینده‌پژوهی رفتار صنعت هوانوردی مبتنی بر سناریوهای همزمان تقاضا و توسعه ظرفیت پایانه‌های مسافری با استفاده از رویکرد پویایی سیستم

احسان محبی
کارشناسی ارشد مهندسی صنایع-آینده پژوهی، دانشگاه علوم و فنون مازندران

بابک شیرازی
دکتری مهندسی صنایع ، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی صنایع و استادیار دانشگاه علوم و فنون مازندران،(نویسنده مسئول)
shirazi_b@yahoo.com

علی تاجدین
دکتری مهندسی صنایع ، عضو هیئت علمی و استادیار دانشگاه علوم و فنون بمازندران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۲۰ **تاریخ پذیرش:** ۹۷/۰۲/۰۳

چکیده

حمل‌ونقل هوایی به دلیل سرعت بالای جابجایی و دسترسی به نقاط بیشتر از اهمیت خاصی برای توسعه سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی هرکشوری برخوردار است. پهنه گسترده ایران به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی و سرعت تحرکات رشد اقتصادی در توسعه منطقه‌ای محسوب متقاضی گسترش حمل‌ونقل هوایی است. هدف اصلی این تحقیق آینده‌پژوهی تقاضای مسافرت هوایی و توسعه ظرفیت پایانه‌های مسافری کشور بوده است. در این تحقیق یک متد توسعه مدل برای پیش‌بینی تقاضای مسافرت هوایی و برخی از سناریوهای مرتبط با باند فرود و توسعه ظرفیت پایانه‌های مسافری برای رودررو شدن با آینده تقاضا در افق سال ۱۴۱۴ ازنقطه نظر پویایی‌های سیستم ارائه شد. با وجود تعداد زیاد مطالعات در کشور بر روی حوزه حمل‌ونقل هوایی ، پژوهشی جهت بررسی تقاضای مسافرت هوایی و توسعه ظرفیت پایانه‌های مسافری بر اساس رویکرد آینده‌پژوهی تاکنون دیده نشده است. با توجه به مدل توسعه داده شده در این مقاله و بررسی سناریوهای بدبینانه و خوش‌بینانه و مقایسه این سه سناریو با یکدیگر، مقادیر مختلفی از اهداف مورد نظر، تحلیل حساسیت گردید. سناریوهای مورد نظر بر اساس عوامل ظرفیتی تعداد پروازها در هر روز، استفاده از باند فرودگاه و تراکم خطوط هواپیمایی طراحی گردیده است. با استفاده از شرایط متفاوت به وجود آمده در سناریوها و پیش‌بینی شرایطی که ممکن است در آینده برای صنعت هوایی کشور رخ دهد، می‌توان رفتار کلی سیستم را با استفاده از این مدل آزمون کرد. به‌منظور آزمون صحت‌سنجی و اعتباربخشی نتایج مدل از نرم‌افزار شبیه‌سازی پویایی‌های سیستم Vensim برای توسعه مدل و تحلیل حساسیت پارامترها استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: آینده‌پژوهی، پویایی سیستم، تقاضای مسافرت هوایی، ظرفیت پایانه‌های مسافری، روابط علّی و حلقوی.

۱- مقدمه

حمل‌ونقل یکی از عوامل مهم برای توسعه اجتماعی و اقتصادی هر منطقه یا کشور به‌حساب می‌آید. پیشرفت اقتصادی هرملتی، با میزان کارایی سیستم ترابری آن رابطه مستقیمی داشته و امروزه پیشرفت هر کشور یا منطقه‌ای بدون امکانات کافی حمل‌ونقل مقدور نیست. دراین‌بین حمل‌ونقل هوایی به دلیل سرعت بالای جابجایی، سفرهای ممتد و دسترسی به نقاط بیشتر از اهمیت خاصی برخوردار است (حسنی، ۱۳۹۵). اگرچه صنعت حمل‌ونقل در زمره صنایع خدماتی بشمار می‌رود، اما خصوصیات ویژه‌ای که در این صنعت وجود دارد سبب تمایز این صنعت از سایر صنایع خدماتی شده است. ازجملهٔ این خصوصیات را برشمرد (Srivastava and Kaul, 2015). صنعت هوایی از گذشته تا به امروز همواره از گران‌ترین منابع عملیاتی محسوب شده است (خردمند و همکاران، ۱۳۹۵). هر مؤسسه یا سازمان موفقی باید با توجه به پیش‌بینی وضع آینده، برنامه‌ریزی‌های لازم را به انجام رساند. یک برنامه‌ی منطقی باید بر پیش‌بینی متکی باشد و این پیش‌بینی در مورد حوادثی است که در آینده احتمال وقوع دارند و معمولاً بر اساس رویدادهای صورت می‌گیرند که درگذشته اتفاق افتاده‌اند. حمل‌ونقل یکی از عوامل مهم توسعه اقتصادی و اجتماعی هر کشوری محسوب می‌شود. پیشرفت اقتصادی هر کشوری با میزان کارایی سیستم حمل‌ونقل آن رابطه مستقیم داشته و ازآنجایی‌که، حمل‌ونقل هوایی به‌عنوان یکی از شاخه‌های سیستم حمل‌ونقل، دارای نقش بسیار مهمی در توسعه اقتصادی، اجتماعی، صنعتی و گردشگری است بنابراین، توجه به این صنعت لازم و ضروری است (سقایی، ۱۳۸۹). گسترش روزافزون صنعت حمل‌ونقل هوایی در دهه اخیر در جهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محورهای توسعه و رشد کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه مطرح و از جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و تکنولوژیکی کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه برخورداراست (سقایی، ۱۳۸۹). در قرن حاضر حمل‌ونقل هوایی در روابط کشورهای مختلف جهان، تبادل فرهنگ، نمایش قدرت‌های اقتصادی و نظامی و تسریع امور حیاتی یک کشور نقش حساسی بر عهده دارد، و دراین‌بین فرودگاه‌ها بخش حیاتی و مهمی از سیستم حمل‌ونقل هوایی را تشکیل می‌دهند و درواقع زیربنایی‌ترین بخش در صنعت حمل‌ونقل هوایی محسوب می‌شوند (سقایی، ۱۳۸۹). بهترین مسیر، امن‌ترین راه، سریع‌ترین و سالم‌ترین وسیله حمل‌ونقل با رعایت حداقل زمان و هزینه ، همه سبب توجه به حمل‌ونقل هوایی شده است. صنعت حمل‌ونقل هوایی در هر منطقه و کشوری جنبه استراتژیک دارد (نظریان و همکاران، ۱۳۸۹). گسترش روزافزون توسعه صنعت حمل‌ونقل هوایی در دهه اخیر در جهان، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محورهای توسعه و رشد کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه مطرح‌شده و از جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و تکنولوژیکی کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه برخوردار است. رشد فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی در ایران، لزوم جابه‌جایی سریع مردم و کالاها و درنتیجه افزایش روزافزون تقاضا بخش حمل‌ونقل هوایی را یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر ساخته است (ضرابی و همکاران، ۱۳۸۸). در ایران نیز امروزه همانند بسیاری از نقاط جهان، حمل‌ونقل و به‌ویژه حمل‌ونقل هوایی از عوامل رشد، اقتصادی و سرعت تحرکات در توسعه منطقه‌ای محسوب می‌شود و پهنه گسترده ایران به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی متقاضی این شاخصه از حمل‌ونقل است. لذا آگاهی از وضعیت حاکم بر صنعت حمل‌ونقل هوایی کشور باعث شناخت مشکلات و تنگناها و ارائه راهکارها می‌گردد که در حل معضلات و توسعه این صنعت نقش مؤثری دارد (سقایی، ۱۳۹۳). پیش‌بینی در حوزه صنعت هوانوردی نقشی مهم را در تصمیم‌های استراتژیک ایفا می‌کند. پویایی‌های سیستمی یک رویکردی است که می‌تواند برای آنالیز و توسعه مدل‌ها جهت پیش‌بینی تقاضای مسافرت هوایی و ارزیابی برخی سناریوها مانند باند فرودگاه و توسعه ظرفیت زیرساخت‌های مربوط به تقاضای مسافرت هوایی مورد استفاده قرار بگیرد. چون تقاضا برای سفرهای هوایی جهت پیش‌بینی بسیار مشکل است، این امر مهم است که از پویایی‌های سیستم جهت پیش‌بینی بر اساس قواعد و اصول مدل‌های دینامیک سیستمی استفاده شود. برآورد تقاضا و به دنبال آن گسترش ساختارها بر اساس تقاضا،

به مدیران کمک خواهد کرد تا بر اساس میزان تقاضای پیش‌بینی‌شده در سال‌های آینده، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیمات لازم برای افزایش کارایی، کاهش هزینه‌های خدماتی و رفاهی، سرمایه‌گذاری، تولید و قیمت‌گذاری در هزینه‌های سفر را لحاظ کنند. نبود این اقدامات منجر به از دست دادن سفارش‌ها و هزینه‌های بسیاری خواهد شد که می‌تواند در سوددهی و کاهش تقاضای حمل‌ونقل هوایی، تأثیر بسزایی داشته باشد. با توجه به مطالعات انجام شده در سطح بین الملل و هم‌چنین در ایران، پژوهش‌های مربوط محدود به پیش بینی تقاضای هواپیمایی می‌باشد. با وجود اینکه تعدادی از مطالعات در کشور ایران بر روی حوزه حمل‌ونقل هوایی بر اساس رویکرد پویایی‌های سیستمی وجود دارد، اما پژوهشی جهت بررسی همزمان سناریوهای مربوط به تقاضای مسافر هوایی و توسعه ظرفیت ترمینال‌های مسافری تاکنون در ایران دیده نشده است. لذا این پژوهش جهت بررسی و توسعه یک مدل برای پیش‌بینی تقاضای مسافرت هوایی و ارزیابی سناریوهای مربوط به باند فرودگاه و گسترش ظرفیت پایانه مسافری در آینده است. در این مطالعه با توجه مدل توسعه داده شده و بررسی سناریوهای بدبینانه و خوش‌بینانه و مقایسه این سه سناریو با یکدیگر، مقادیر مختلفی را از اهداف موردنظر تحلیل حساسیت کردیم.

۲-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق

برای توسعه زیر ساختارها و تسهیلات و کاهش ریسک فرودگاه‌ها، ارزیابی و پیش‌بینی تعداد مسافر هوایی در آینده دارای اهمیت بسیاری است. بررسی و پیش‌بینی تقاضای مسافر هوایی به طور عمده به صورت مدل‌های فصلی و دوره‌ای انجام گرفته است. بنابراین مدیریت سیستم حمل‌ونقل هوایی باید برای پوشش دادن به تقاضاها می‌بایست از تعداد تقاضا و رفتار سیستم در مواجه با این مقدار تقاضا مطلع باشد.

درک این موضوع که چگونه ساختارهای سیستم زمینه‌ساز رفتارها و پیشامدهای آن می‌شود، از ضروریات است. این امر در مرحله اول دارای اهمیت بالایی است. در مرحله بعد، ضرورت و اهمیت برای یک سیستم این است که چه عاملی سبب بروز این رفتارها شده است. در واقع یکی از فرض‌های اصلی آن است که رفتار نتیجه ساختار است. با انجام این تحقیق می‌توان با شناخت روابط بین سیاست‌ها و مسائل مدیریتی، برای تصمیم‌گیری‌های طولانی مدت چارچوب و استراتژی را بنا کرد. این استراتژی بر اساس نقاط ضعف و قدرت سیستم و بررسی رفتارهای سیستم ضرورت پیدا می‌کنند. به طور کلی اهمیت و ضرورت این تحقیق را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- ایجاد یک تفکر سیستمی و مبتنی بر پویا شناسی سیستم برای تحلیل همزمان سناریوهای تقاضا و ظرفیتهای فرودگاهی.
- ارائه ابزاری برای تفکر سیستمی شامل روش‌های استخراج و ترسیم ساختار سیستمهای پیچیده و مرتبط کردن ساختارها به پویایی.
- شبیه‌سازی سیستماتیک و همزمان سناریوهای تقاضا و توسعه فرودگاهی.

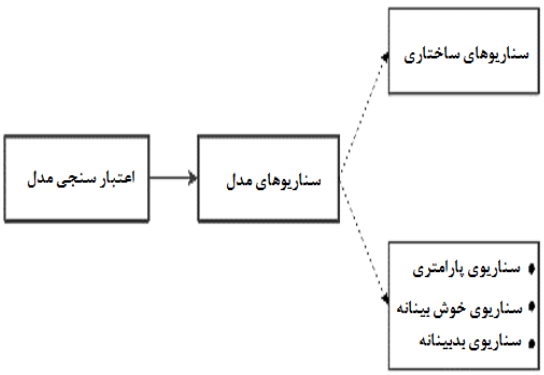
۳- ادبیات تحقیق

بررسی و تحقیق در مورد تعداد تقاضای مسافرت هوایی و توسعه فرودگاه‌ها ازجمله درگیری‌های ذهنی مدیران بوده است. عامل‌های مؤثر در رشد تقاضا هرروز در حال افزایش بوده و این امر مستلزم ارائه خدمات و امکانات مناسب جهت پاسخگویی به این تقاضا است (حسنی، ۱۳۹۵). پذیرش، انتقال و ترخیص مسافر به همراه تمامی امکانات لازم برای این کار را به‌عنوان سیستمی واحد در نظر می‌گیریم. این سیستم متأثر است از جریان‌های اطلاعاتی و فیزیکی بین عامل تأثیرگذار بر روی تقاضای هوایی که همگی تغییرات محسوسی را در رفتار نهایی سیستم ایجاد می‌کند. بررسی رفتار سیستم در بعد کلان و خرد و شناخت نقاط قوت و ضعف از مسائل مهم در سیستم حمل‌ونقل هوایی مسافر است. لذا این پژوهش جهت بررسی و توسعه یک مدل برای پیش‌بینی تقاضای مسافر هوایی و ارزیابی سناریوهای مربوط به باند فرودگاه و گسترش ظرفیت پایانه مسافری در آینده است. در ادبیات حمل‌ونقل مفهومی بسیار مهم و

جذاب به نام "مسافر" به چشم می‌خورد، که توجه به آن هدف اصلی تمامی شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات سفر است (Bernardo and Nietoa, 2016). مسافر شخصی است که با استفاده از یک وسیله نقلیه از مبدأ به مقصد منتقل شده، بدون اینکه کوچک‌ترین مسئولیتی در قبال وسیله نقلیه و عملکرد آن داشته باشد. درواقع مسافر یک نقش غیرفعال[1] را در طول سفر دارا است. با توجه به اهمیت مفهوم "مسافر" و تأثیری که این اشخاص بر پیشرفت شرکت‌های مسافربری دارند، قوانینی برای حمایت از آن‌ها در برابر شرکت‌های مسافربری به وجود آمده است. مسافران در قبال خرید بلیت از شرکت‌های مسافربری علاوه بر اجازه استفاده از سرویس موردنظر، در طول سفر و حتی پیش از آن از حقوقی برخوردار می‌شوند. بلیت خریداری‌شده به‌منزله قراردادی مابین شرکت مسافربری و مسافر بوده که در آن دو طرف بر نحوه ارائه خدمات توافق می‌کنند. این حقوق شامل عدم تبعیض بین مسافرین، کمک به افراد معلول و عدم تبعیض در برخورد با آن‌ها، پرداخت خسارت به مسافرین در صورت بروز تصادف و... است (Fang and Zhaodong,2015). اگرچه صنعت حمل‌ونقل در زمره صنایع خدماتی بشمار می‌رود، اما خصوصیات ویژه‌ای که در این صنعت وجود دارد سبب تمایز این صنعت از سایر صنایع خدماتی شده است. ازجملهٔ این خصوصیات می‌توان موارد زیر را برشمرد (Cheng and Huang, 2014):

- ✓ هر سفر را می‌توان به‌عنوان یک سرویس خاص در نظر گرفت، که توسط جنبه‌های خاصی نظیر شرایط جوی، ترافیک، تعداد مسافران و... تحت تأثیر است. این عوامل بر موفقیت سفر تأثیرگذار بوده و پیش‌بینی وقوع برخی از آن‌ها غیرممکن و یا دشوار است.
- ✓ خدمات حمل‌ونقل قابلیت ذخیره‌سازی نداشته و چنانچه مشتری نتواند در زمان مقرر از آن خدمات استفاده نمایند، احتمال ایجاد یک سرویس مشابه با تمامی امکانات سرویس قبل، ناچیز است.
- ✓ خدمات حمل‌ونقل ازجمله خدمات فاسدشدنی هستند. درصورتی‌که میزان تقاضا کم باشد و از تمام ظرفیت موجود به‌درستی استفاده نشود، ظرفیت هدررفته و شرکت فرصت کسب سود را از دست خواهد داد.
- ✓ پرداخت هزینه‌ها پیش از دریافت خدمات صورت می‌گیرد، که این امر سبب می‌شود که مشتری اجازه ترک خدمت را نداشته باشد و یا اینکه در قبال ترک خدمت بایستی جریمه‌ای را پرداخت نماید.
- ✓ به دلیل فضاهای موقت و پراکنده‌ای که در حمل‌ونقل مسافران وجود دارد، استانداردسازی فعالیت‌ها و نظارت و کنترل رفتار خدمه سفر دشوار است.

توسعه سناریو در واقع یک روش پیش‌بینی است که داده‌های ارائه‌شده را برای توسعه‌های گوناگون امکان‌پذیر می‌کند. در این مطالعه، بعضی از سناریوها را توسعه خواهیم داد که نشان می‌دهد چگونه وضعیت آینده را می‌توان به‌عنوان یک نتیجه منطقی از وقایع ممکن توسعه داد و وقایعی را که ممکن است در آینده اتفاق افتد را مورد تحلیل قرار داد. همان‌طور که بیان شد، یک سناریو را به‌عنوان یک فیلم مشاهده می‌کنند و نه یک عکس. ما نیز از ترکیب بین سناریوی ساختاری و سناریوی پارامتری، آنالیز حساسیت استواری را ایجاد خواهیم نمود. نمودار این روند در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار بلوکی ایجاد سناریوها

طبق بیان (Lyneis, 2000)، تقاضای سفرهای هوایی می‌تواند متأثر از دو نوع فاکتور باشد که این فاکتورها، فاکتورهای درونی و بیرونی است. فرض در مورد تقاضای آینده و عملکرد برای تصمیم‌گیری‌های کسب‌وکار و

تجارت ضروری است. او بلیت هواپیما را به‌عنوان یک عامل داخلی و تولید ناخالص محصولات داخلی[۲] (GDP) و جمعیت را به‌عنوان عوامل خارجی در نظر گرفته است. افراد در زندگی شهری قاعده‌ای تعیین‌کننده را ایفا می‌کنند و مقدار جمعیت با استفاده از تقاضای مسافرت هوایی تعیین خواهد شد.

(Miller and Clarke, 2007)، مدلی را برای ارزش استراتژیکی ساختارهای حمل‌ونقل هوایی ارائه نمودند. آن‌ها اثر بلیت هواپیما و سطح خدمت‌دهی همانند متغیرهای داخلی که بر روی تقاضای مسافرت هوایی تأثیرگذار هستند را در نظر گرفتند.

این دو متغیر به ترتیب با استفاده از مفاهیم کشش قیمتی و کشش زمان معین می‌شوند. طبق انجمن تحقیقات حمل‌ونقل[۳] اجزاء فرعی در پایانه‌های مسافربری می‌تواند به سه کلاس افراز شوند. امکانات پردازش که مسافران و وسایل آن‌ها را مورد پردازش قرار خواهد داد، تسهیلات اجرایی که مسافران برای برخی از پیشامدها مانند بررسی شدن و سوارشدن به هواپیما منتظر می‌مانند. درنهایت افراز سوم، تسهیلات جریانی که مسافران از آن برای حرکت در بین اجزا استفاده می‌کنند (Russon, 1993).

(Brunetta et al., 1999) متذکر شدند که اساساً سه‌راه است که به تجزیه‌وتحلیل جریان و تعیین مقدار فضا و تعدادی از سرویس‌دهنده مورد نیاز برای فرودگاه‌ها استفاده می‌شود که آن‌ها در حوزه نظریه صف، تجزیه‌وتحلیل گرافیکی با استفاده از نمودارهای تجمعی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری قرار می‌گیرند. (Poore, 1993) مطالعه‌ای به‌منظور آزمون این فرضیه که پیش‌بینی‌های تقاضا برای حمل‌ونقل هوایی ارائه‌شده توسط تولیدکنندگان هواپیما و تنظیم‌کننده‌های حمل‌ونقل هوایی معقول و نماینده روند ضمنی در تجربه واقعی است را توسعه داد. او پیش‌بینی‌های صادر شده توسط صنایع بوئینگ، صنایع ایرباس و سازمان بین‌المللی هواپیمایی کشور (ICAO)[۴] که تجربه واقعی و نتایج حاصل از یک مدل پایه برای تقاضای کیلومتر مسافر درآمد (RPKs)[۵] مقایسه کرد. (Inzerilli and Sergio, 1994)، توانستند یک مدل تحلیلی را برای تجزیه‌وتحلیل تنظیمات بهینه ظرفیت- قیمت در حمل‌ونقل هوایی توسعه دهند. در این مطالعه، آن‌ها از یک مثال عددی برای تجزیه‌وتحلیل رفتار متغیرهای سیاست (و عوامل به‌کارگیری نتایج) تحت درجات متفاوت غیرقطعی استفاده کردند. (Matthews, 1994)، اندازه‌گیری و پیش‌بینی جریان اوج مسافر را برای چندین فرودگاه در انگلستان انجام داده است. بر اساس تحقیقات او، تقاضای مسافری سالانه می‌تواند به‌عنوان نقطه شروع اساسی، رانده‌شده توسط عوامل اقتصادی و پیش‌بینی دیده شود. درحالی‌که پیش‌بینی جریان‌های ساعتی برای برنامه‌ریزی بلندمدت در رابطه با زیرساخت‌های موردنیاز، لازم و ضروری است. پیش‌بینی ساعات روز تقریباً همیشه در پیش‌بینی جریان سالانه است. (Seraj et al., 2001)، مدلی را برای پیش‌بینی تقاضای طولانی‌مدت برای مسافرت هوایی داخلی در عربستان سعودی توسعه دادند. آن‌ها از چندین متغیر توضیحی مانند هزینه‌ها و مصرف کل و جمعیت برای تولید فرمولاسیون مدل استفاده کردند. دیگر مطالعه برای پیش‌بینی تقاضای سفرهای هوایی توسط (Grosche et al., 2007)، انجام شد. بر اساس تحقیقات آن‌ها، چندین متغیر وجود دارد که می‌تواند بر روی تقاضای مسافر هوایی تأثیرگذار باشد. این متغیرها شامل، جمعیت، تولید ناخالص داخلی و شاخص قدرت خرید است. آن‌ها GDP را همانند یک متغیر نماینده برای سطح فعالیت اقتصادی در نظر گرفتند. مدل استخراجی آن‌ها بر اساس مدل جاذبه است که پژوهشگران زیادی هم‌چون

(Watkins and Brown, 1968; Calderon, 1997; Doganis, 1996; Verleger, 1972; Moor and Soliman, 1981; Fotheringham, 1983; Rengaraju and Arasan,1992;) ، با استفاده از این مدل‌های ریاضی تقاضای مسافر هوایی را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند. (Shen,۲۰۰۴) مدل توزیع‌های تقاضای خطوط هوایی را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داد. این مدل زمانی که شکل تابع گاما و نرمال بودن آن تعیین‌شده باشد، قابل توضیح است. در این مطالعه موردی، او متوجه شد که اشکال گاما احتمالاً برای مدیریت درآمد و اشکال نرمال برای مدل‌سازی نشت بهتر عمل می‌کنند. (Fernandes and Pacheo, 2002)، استفاده مؤثر از ظرفیت فرودگاه را

مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده‌اند. بر طبق تحقیقات آن‌ها، بر اساس پیش‌بینی تقاضای مسافرت، تعیین مدت‌زمانی برای گسترش ظرفیت در حفظ خدمات در سطح استاندارد برای مسافران، امکان‌پذیر است. (Hsu and Chao, 2005) روابط میان درآمد تجاری، سطح خدمت‌دهی به مسافر و فضای تخصیص‌یافته در پایانه‌های مسافربری بین‌المللی را مورد آزمون قرار داد. آن‌ها یک مدل برای به حداکثر رساندن درآمد امتیاز درحالی‌که حفظ سطح خدمات، به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص فضا برای انواع مختلفی از فروشگاه‌ها، توسعه دادند. (Svrcek, 1994)، سه معیار اساسی ظرفیت، شامل ظرفیت ایستا که به‌عنوان قابلیت ذخیره‌سازی یک مرکز برگزاری و یا منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد، ظرفیت پویا که اشاره به حداکثر سرعت فرآیند و یا میزان جریان عبور و مرور دارد و ظرفیت پایدار که برای توصیف ظرفیت کلی یک زیرسیستم به‌جای تقاضای ترافیک در طی یک دوره پایدار استفاده می‌شود را مورد تحلیل و بررسی قرار داد. (Yamaguchi et al., 2001)، تأثیر اقتصادی مقررات زدایی برای گسترش ظرفیت فرودگاه در بازار حمل‌ونقل هوایی داخلی ژاپن را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دادند. بر اساس پژوهش آن‌ها، مقررات زدایی و توسعه ظرفیت فرودگاه در پیداسازی سود کامل رشد بازار هوایی نقش اساسی را ایفا می‌کند. در خط سیاست‌های مقررات زدایی، گسترش ظرفیت فرودگاه به سمت رشد تقاضا تمایل زیادی دارد. بخشنده و دیگران برای کاهش تأخیر پروازها از مدل پویایی‌هایی سیستمی استفاده کردند. در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر بر روی تأخیر پروازها مشخص و سپس روابط میان این عوامل تعیین می‌گردد. درنهایت مدل برای ایجاد و استفاده از این روابط توسعه داده می‌شود.

(Hollingsworth et al., 2006)، برای ارزیابی خط‌مشی زیست‌محیطی حمل‌ونقل هوایی از شبیه‌سازی پویایی‌های سیستمی بهره بردند. در این مطالعه یک مدل بر اساس پویایی‌های سیستمی با ساختاری نامتعادل برای حمل‌ونقل هوایی ارائه شده است.

(Suryani et al., 2012)، برای پیش‌بینی تقاضای بار هوایی از مدل پویایی‌های سیستمی استفاده کردند. در این مدل، پیش‌بینی تقاضای بار هوایی بر اساس رابطه آن با توسعه ظرفیت پایانه صورت گرفته است. برای تعادل ظرفیت و تقاضا نیاز به ایجاد و تحلیل روابط میان فاکتورهای اثرگذار است که در این مطالعه به آن پرداخته شده است. (Zheng et al., 2009)، بر اساس تجزیه‌وتحلیل کیفی یک مدل دینامیک سیستم از تعامل لجستیک حمل‌ونقل هوایی با توسعه اقتصاد منطقه‌ای را توسعه دادند.

(Kleer et al., 2008)، برای بررسی سیاست‌ها و عوامل مؤثر بر روی بازار شرکت‌های هوایی، یک مدل شبیه‌سازی پویایی‌های سیستمی را ارائه کردند.

با توجه به مطالعات انجام‌شده در جهان و همچنین در ایران، پژوهش‌هایی مربوط به پویایی‌های سیستمی با در نظر گرفتن تمامی سیستم موردنظر محدود است.

باوجوداینکه تعدادی از مطالعات در کشور ایران بر روی حوزه حمل‌ونقل هوایی بر اساس رویکرد پویایی‌های سیستمی وجود دارد، اما پژوهشی جهت بررسی تقاضای مسافرت هوایی و توسعه ظرفیت پایانه‌های مسافری تاکنون در ایران دیده نشده است.

جدول ۱- مرور ادبیات

محقق	توضیح تحقیق
Miller and Clarke(2007)	مدلی را برای ارزش استراتژیکی ساختارهای حمل و نقل هوایی ارائه نمودند. آنها اثر بلیت هواپیما و سطح خدمت‌دهی همانند متغیرهای داخلی که بر روی تقاضای مسافرت هوایی تأثیرگذار هستند را در نظر گرفتند.
Poore (1993)	مطالعه‌ای به‌منظور آزمون این فرضیه که پیش‌بینی‌های تقاضا برای حمل‌ونقل هوایی ارائه‌شده توسط تولیدکنندگان هواپیما و تنظیم‌کننده‌های حمل‌ونقل هوایی معقول و نماینده روند ضمنی در تجربه واقعی است را توسعه داد.
Seraj et al. (2001)	مدلی را برای پیش‌بینی تقاضای طولانی‌مدت برای مسافرت هوایی داخلی در عربستان سعودی توسعه دادند. آن‌ها از چندین متغیر توضیحی مانند هزینه‌ها و مصرف کل و جمعیت برای تولید فرمولاسیون مدل استفاده کردند.

محقق	توضیح تحقیق
Fernandes and Pacheo (2002)	استفاده مؤثر از ظرفیت فرودگاه را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده‌اند. بر طبق تحقیقات آن‌ها، بر اساس پیش‌بینی تقاضای مسافرت، تعیین مدت‌زمانی برای گسترش ظرفیت در حفظ خدمات در سطح استاندارد برای مسافران، امکان‌پذیر است.
Hsu and Chao (2005)	روابط میان درآمد تجاری، سطح خدمت‌دهی به مسافر و فضای تخصیص‌یافته در پایانه‌های مسافربری بین‌المللی را مورد آزمون قرار داد.
Svrcek (1994)	سه معیار اساسی ظرفیت، شامل ظرفیت ایستا که به‌عنوان قابلیت ذخیره‌سازی یک مرکز برگزاری و یا منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد، ظرفیت پویا که اشاره به حداکثر سرعت فرآیند و یا میزان جریان عبور و مرور دارد و ظرفیت پایدار که برای توصیف ظرفیت کلی یک زیرسیستم به‌جای تقاضای ترافیک در طی یک دوره پایدار استفاده می‌شود را مورد تحلیل و بررسی قرار داد.
Hollingsworth et al. (2006)	برای ارزیابی خط‌مشی زیست‌محیطی حمل‌ونقل هوایی از شبیه‌سازی پویایی‌های سیستمی بهره بردند. در این مطالعه یک مدل بر اساس پویایی‌های سیستمی با ساختاری نامتعادل برای حمل‌ونقل هوایی ارائه شده است.
Suryani et al. (2012)	برای پیش‌بینی تقاضای بار هوایی از مدل پویایی‌های سیستمی استفاده کردند. در این مدل، پیش‌بینی تقاضای بار هوایی بر اساس رابطه آن با توسعه ظرفیت پایانه صورت گرفته است
Kleer et al. (2008)	برای بررسی سیاست‌ها و عوامل مؤثر بر روی بازار شرکت‌های هوایی، یک مدل شبیه‌سازی پویایی‌های سیستمی را ارائه کردند.
Zheng et al. (2009)	بر اساس تجزیه‌وتحلیل کیفی یک مدل دینامیک سیستم از تعامل لجستیک حمل‌ونقل هوایی با توسعه اقتصاد منطقه‌ای را توسعه دادند.
Yamaguchi et al. (2001)	تأثیر اقتصادی مقررات زدایی برای گسترش ظرفیت فرودگاه در بازار حمل‌ونقل هوایی داخلی ژاپن را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دادند. بر اساس پژوهش آن‌ها، مقررات زدایی و توسعه ظرفیت فرودگاه در پیداسازی سود کامل رشد بازار هوایی نقش اساسی را ایفا می‌کند
Matthews (1994)	اندازه‌گیری و پیش‌بینی جریان اوج مسافر را برای چندین فرودگاه در انگلستان انجام داده است. بر اساس تحقیقات او، تقاضای مسافری سالانه می‌تواند به‌عنوان نقطه شروع اساسی، رانده‌شده توسط عوامل اقتصادی و پیش‌بینی دیده شود.

۳- روش تحقیق

نمودارهای علّی-حلقوی، که اولین بار توسط [Maruyama, 1963]، معرفی گردیدند راهی ساده برای ترسیم عناصر تعاملی سیستم‌های بازخوری است. ایده اصلی این روش آن است که نشان دهد چه عواملی در یک سیستم پویا موجب تغییر عوامل دیگر می‌شود. از نمودارهای علّی حلقوی به‌منظور ترسیم ساختار سیستم برای درک چگونگی رفتار سیستم استفاده می‌شود. هدف اصلی نمودارهای حلقه علی نشان دادن فرضیه‌های علی در هنگام مدل‌سازی است تا از این طریق، ساختار به شکل کامل و به‌هم‌پیوسته بیان شود. نمودارهای علّی-حلقوی کمک می‌کنند تا به‌سرعت با ساختار بازخوری و پیش‌فرض‌های بنیادی، ارتباط برقرار کند [Sushil, 1993].

شکل شماره ۲ نمودار حلقه علّی- حلقوی ارائه‌شده در این تحقیق برای تقاضای مسافرت هوایی را نشان می‌دهد.

در این مطالعه تأثیر بلیت هواپیما، تغییر در تقاضا به ازای تغییرات درصدی در متوسط هزینه سفر و کشش قیمتی و زمان است. رابطه‌های شماره ۱ و۲ ارتباط این متغیرها را نشان می‌دهد.

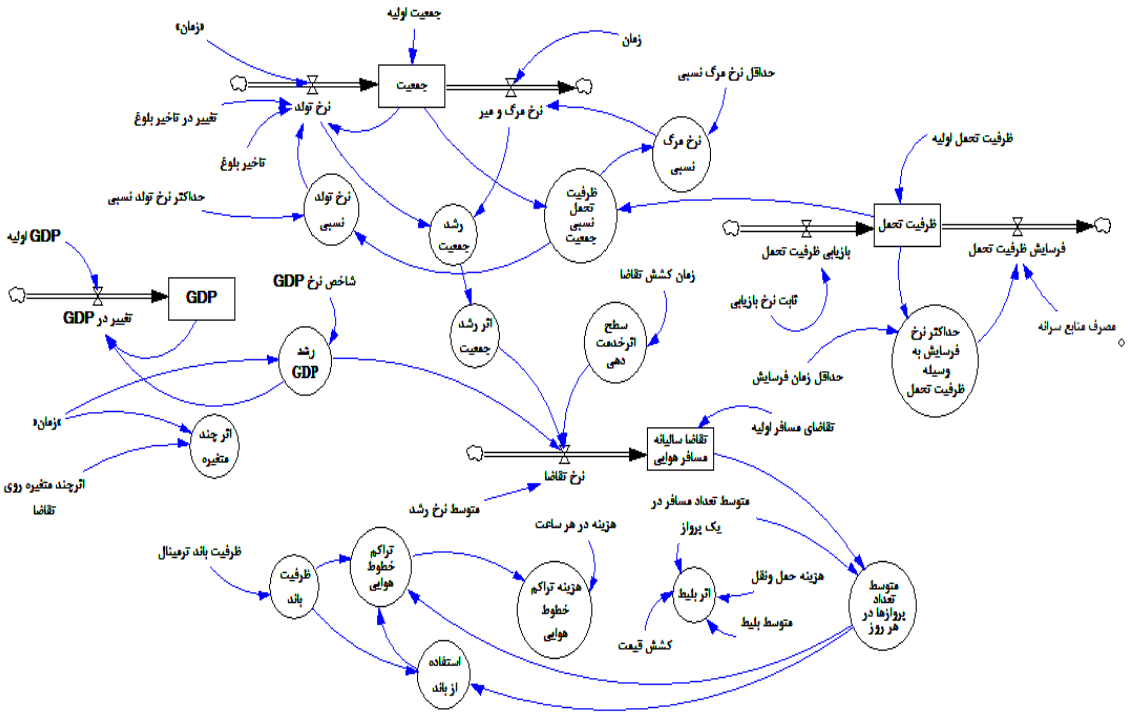
(۱)

$$Airface\ Impact = \varepsilon_{price} \times\times \Delta Travel\ Cost$$

(۲)

$$\text{Travel Cost} = \frac{\text{Congestion Cost/Passenger}}{\text{Average Airface}} \times \text{Travel Cost}$$

به‌طوری‌که ε_{price} شش قیمتی تقاضا که نشان‌دهنده درصد تغییرات در تقاضای مسافر هوایی به‌عنوان نتیجه‌ای از ۱ درصد تغییر در هزینه سفر به علت هزینه تراکم است.



شکل۲- نمودار علّی حلقوی تقاضای مسافر هوایی

کشش قیمتی تقاضا برای مسافرانی که به‌طور فراغتی سفر می‌کنند برابر با منفی ۱/۶ و برای مسافران تجاری (مسافرانی که به‌طورمعمول در حال مسافرت با هواپیما هستند) برابر با منفی ۰/۸ تقریب زده شده است.

تراکم، زمان انتظار (در اوج ساعت ترافیکی) برای هر هواپیما که می‌خواهد بر روی باند فرودگاه فرود آید، تعریف شده است. طبق مطالعه [Larson and Odoni, 1981]، زمان انتظار به دست آمده با استفاده از سیستم‌های صف $M/G/1$ مانند رابطه شماره ۳ است:

(۳)

$$\Pi = \frac{\lambda \times \left(\left(\frac{1}{\tau}\right)^2 + \sigma_t^2\right)}{2 \times (1-\rho)}$$

که Π برابر تراکم و داریم:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

به‌طوری‌که λ متوسط تعداد مسافر پروازها برای زمان مشخص‌شده و خاصی که توسط توزیع پواسون تعیین می‌شود، σ_t انحراف معیار زمان سرویس‌دهی و μ ظرفیت باند فرودگاه است. درحالی‌که ρ را می‌توان استفاده از باند تعریف نمود.

اثر سطح خدمت‌دهی، تغییر در تقاضا همانند اثر تغییر درصد در کشش زمانی زمانه‌ای متوسط مدت سفر است. رابطه شماره ۴ و ۵ نشان‌دهنده این امر است.

(۴)

$$Level\ of\ Service = \varepsilon_{price} \times \Delta Travel\ Cost$$

(۵)

$$Travel\ Time = 0.04 + ABS(0.01 \times Random\ Normal(0,1))$$

به‌طوری‌که ε_{price} کشش قیمتی تقاضا که نشان‌دهنده درصد تغییرات در تقاضای مسافر هوایی به‌عنوان نتیجه‌ای از ۱ درصد تغییر در هزینه سفر به علت هزینه تراکم و $\Delta Travel\ Time$ درصد تغییر در زمان سفر است. توزیع نرمال در این معادله اعداد تصادفی با میانگین صفر و واریانس یک را تولید می‌کند. کشش زمانی تقاضا، درصد تغییرات در تقاضای کل به ازای ۱ درصد تغییر در زمان سفر است. نماد قدر مطلق در معادله بالا برای به دست آوردن مقدار مثبت از مقادیر

منفی تولیدشده از توزیع نرمال است. در این مطالعه فرض می‌کنیم که متوسط درصد تغییر در زمان سفر را در حدود ۴۰ درصد است، با توجه به اینکه سفر هوایی نسبتی از ناوگانی است که برای حل تداخل‌ها برنامه‌ریزی‌شده رزرو شده است.

افزایش جمعیت امری اجتناب‌ناپذیر است، اما آنچه در برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل حائز اهمیت است، پیش‌بینی‌های مدیریت شهری برای چگونگی استقرار جمعیت و برآورد تقاضای سفر و پیش‌بینی تسهیلات حمل‌ونقل متناسب با آن است. در این خصوص بخشی از برنامه‌ریزی سیستم حمل‌ونقل مرتبط با نرخ رشد جمعیت و دیگر شاخصه‌ای اجتماعی- اقتصادی کلان در مدیریت کشور است. با افزایش جمعیت به‌طور طبیعی تقاضای سفر بیشتری ایجاد می‌گردد. معادلات زیر برای این زیر مدل توسعه داده شده‌اند. برای قسمت جمعیت کل رابطه‌های زیر را داریم:

(۶)

Population(t)=
Initial Population+(Births-Deaths)×dt

(۷)

Birth Rate=Service for Maturation Delay× DELAY 3(Fractional Birth Rate ×Population, Maturation Delay)+(1+Switch for Maturation Delay)

(۸)

Death Rate= Fractional Death Rate ×Population

(۹)

Carrying Capacity=
Initial Carrying Capacity + Regeneration of Carrying Capacity – Degradation of Carrying Capacity

(۱۰)

Regeneration of Carrying Capacity=constant Regeneration Rate

(۱۱)

Degradation of Carrying Capacity=
MIN(Maximum Degradation of Carrying Capacity, Population × Resource Consumption per Capite)

تولد متناسب با جمعیت است. هنگامی‌که تغییر در تأخیر بلوغ[۶] برابر با صفر باشد، تولدها فوراً به جمعیت اضافه می‌شوند و می‌توانند تکثیر شده، بمیرند و ظرفیت را مصرف کنند. وقتی‌که این متغیر برابر با یک باشد، یک تأخیر بلوغ مرتبه سوم با میانگین تأخیر Maturation Delay پیش از اینکه تولدها به انباشت جمعیت اضافه شوند، وجود دارد. مصرف یا فرسایش ظرفیت تحمل محیط متناسب است با جمعیت. تابع MIN به‌کاررفته برای این است که مطمئن باشیم هنگامی‌که ظرفیت تحمل به صفر می‌رسد، فرسایش نیز به صفر خواهد رسید. درواقع نشان می‌دهیم که این دو متغیر نمی‌توانند منفی باشند. متغیرهای کمکی به‌کاررفته در این مدل نیز نقش اساسی را ایفا می‌کنند. متغیر کمکی نرخ تولد نسبی، تابعی است کاهشی از نسبت جمعیت به ظرفیت تحمل است. معادله این متغیر کمکی به شرح زیر است:

(۱۲)

Fractional Birth Rate=Maximum Fraction Birth Rate × (1-(1/(1+exp(-7×(Population RTCC-1)))))

که RTCC مخفف ظرفیت تحمل نسبی جمعیت[۷] است. متغیر کمکی نرخ مرگ نسبی نیز تابعی افزایشی از نسبت جمعیت به ظرفیت تحمل است. معادله این متغیر کمکی به‌صورت زیر است:

(۱۳)

Fraction Death Rate=Maximum Fraction Birth Rate×(1+Population RTCC^2)

برای نسبت جمعیت به ظرفیت تحمل نیز باید یک متغیر کمکی تعریف نمود. معادله این متغیر کمکی برابر است با:

(۱۴)

Population / Carrying Capacity

حداکثر نرخ فرسایش به‌وسیلهٔ ظرفیت تحمل و حداقل زمان فرسایش تعیین می‌شود. فرمول این متغیر بر این اساس است که اولاً ظرفیت تحمل باید همیشه غیر منفی باشد و ثانیاً تخریب محیط با کم شدن محیط تخریب نشده، کاهش می‌یابد.

تولید ناخالص داخلی یکی از مقیاس‌های اندازه‌گیری در اقتصاد است. تولید ناخالص داخلی دربرگیرنده ارزش مجموع کالاها و خدماتی است که طی یک دوران معین، معمولاً یک سال، در یک کشور تولید می‌شود.

تولید ناخالص داخلی به‌عنوان یک متغیر سطح یا انباشت و تغییرات در GDP به‌عنوان متغیر نرخ است. تغییرات در تولید ناخالص داخلی وابسته به رشد تولید

ناخالص داخلی است. دو معادله زیر توضیحات ذکرشده را تکمیل می‌کنند:

(۱۵) *dt×(GDP in dt)+(Change-GDP(t)=GDP(t*

(۱۶) *Change in GDP=GDP Growth / 100× GDP*

رشد اقتصادی کشور از طریق محاسبه تغییرات تولید ناخالص داخلی یا GDP کشور تعیین می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، در ادبیات اقتصادی، به میزان نرخ رشد سالانه تولید ناخالص داخلی یک کشور، رشد اقتصادی گفته می‌شود.

همانند تقاضا برای افزایش سفرهای هوایی، متوسط تعداد پروازها برای خدمت‌رسانی بر روی باندها نیز افزایش می‌یابد. اگر ظرفیت باند فرود ثابت در نظر گرفته شود، افزایش در تقاضا اجازه خواهد داد تا تراکم یا ازدحام نیز بالا رفته و این باعث افزایش در هزینه تراکم خطوط هوایی نیز می‌گردد.

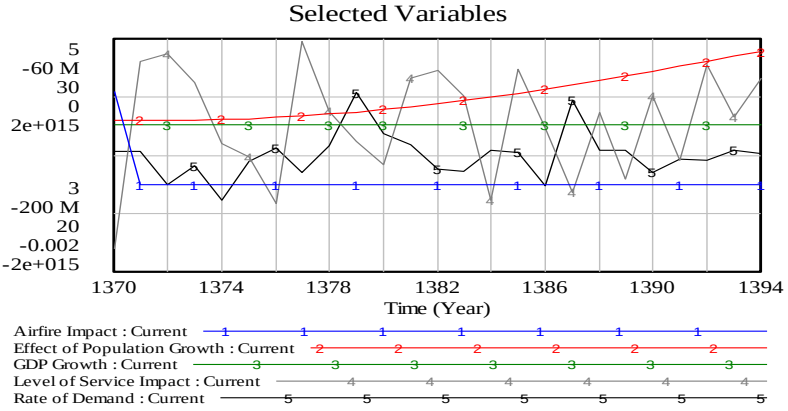
اگر هزینه تراکم خطوط هوایی بالا برود، استفاده از باند فرود و متوسط تعداد پروازها در هر روز به‌صورت معادلات ۱۷ و ۱۸ خواهد بود:

(۱۷) *=Utilization Runway*
Runway / Day per Flights of Number Average
Capacity

(۱۸) *Annual Day= per Flights of Number Average*
Number Average×۳۶۵) / Demand Passenger Air
(Flight a in Passenger of

رابطه بین میزان تقاضا، تأثیر بلیت هواپیما، اثر رشد جمعیت، رشد تولید ناخالص داخلی، اثر سطح خدمات‌دهی و اثر چند متغیره در داده‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل شماره ۳ مشهود است، تأثیر بلیت هواپیما سهم بسیار مهمی در میزان و تغییرات تقاضای مسافر هوایی داشته است. درواقع شکل شماره ۳ اثر چند متغیره به‌عنوان اثرگذارترین متغیرها بر روی تقاضای سفرهای هوایی را نشان می‌دهد. متغیرهای داخلی (تأثیر بلیت هواپیما و سطح خدمات متغیرهای معاون تأثیر) و خارجی (رشد تولید ناخالص داخلی و اثر رشد جمعیت) مجموعه اثر چند متغیره را مشخص می‌کند.



شکل ۳- روابط چند متغیره برای تقاضای مسافر هوایی

۴- مقایسه سناریوها و نتایج نهایی

۴-۱- مقایسه سناریوها

تولید ناخالص داخلی: تولید ناخالص داخلی به‌عنوان فاکتور اقتصادی کشور یک از مهمترین عواملی است که تأثیر مستقیمی بر صنعت حمل‌ونقل هوایی دارد. به ازای اجرای سه مدل که با عناوین سناریوی پایه، سناریوی بدبینانه و سناریوی خوش‌بینانه نام‌گذاری شد، نتایج زیر برای تولید ناخالص داخلی به ازای هر سناریو حاصل می‌گردد. شکل شماره ۳ نمودار تولید ناخالص داخلی را به ازای هر سه سناریو نشان می‌دهد. سناریوهای بدبینانه

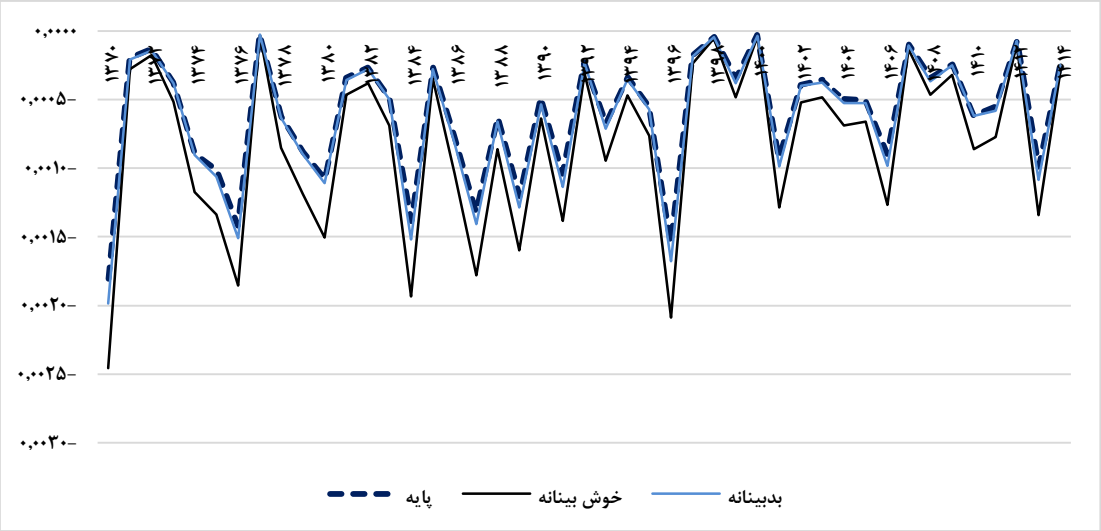
و خوش‌بینانه به‌عنوان یک فاصله اطمینان از شرایط حال (سناریوی پایه) هستند. این اختلاف به ازای وجود تفاوت در نرخ رشد تولید ناخالص داخلی است. تولید ناخالص داخلی از ۴/۸ تا ۶ درصد در حال تغییر است که این سناریوها را به وجود آورده است.

اثر سطح خدمت‌دهی: اثر سطح خدمت‌دهی تغییرات در تقاضا به ازای درصد تغیر در زمان سفر را نشان می‌دهد که به‌طورمعمول مقداری منفی است و همین‌طور اثری منفی بر روی رشد تقاضا دارد. شکل شماره ۴ مقایسه رفتاری سه سناریوی پایه، بدبینانه و خوش‌بینانه را برای عامل اثر سطح خدمت‌دهی نشان می‌دهد. به ازای این سه سناریو رفتاری مشابه از لحاظ روند و رشد وجود دارد که این اختلاف مربوط به تفاوت در سطح خدمت‌دهی است. به ازای تغییر در علت‌های عامل اثر سطح خدمت‌دهی، یعنی کشش زمانی تقاضا و متوسط درصد تغییر در زمان سفر این مقادیر ایجاد شده‌اند که به نسبت دیگر عوامل دارای تفاوت بسیار زیادی در سطوح آن نیست.

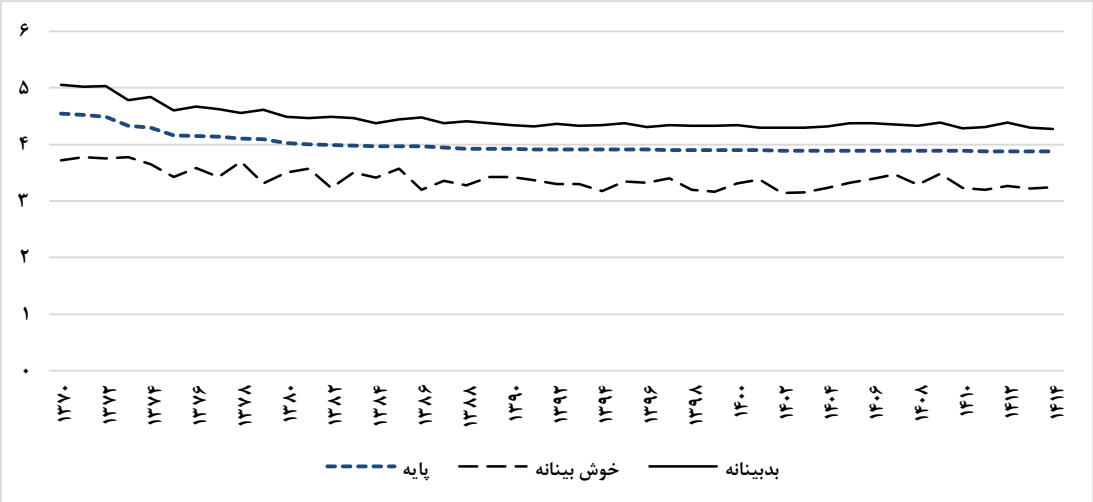
از نمودارهای مربوط به سناریوها در شکل شماره ۴ مشخص است که به ازای اثر سطح خدمت‌دهی مثبت‌تر، تقاضای بیشتری را برای سفرهای هوایی خواهیم داشت. تمامی نقاط سناریوی بدبینانه برای عامل اثر سطح خدمت‌دهی دارای مقداری منفی‌تر از سناریوهای پایه و خوش‌بینانه برای این عامل است.

شکل۴- مقایسه سه سناریوی معرفی‌شده برای عامل تولید ناخالص داخلی

اثر بلیت هواپیما: شکل شماره ۵ نمودار مقایسه‌ای سه سناریوی پایه، خوش‌بینانه و بدبینانه را برای عامل اثر بلیت هواپیما نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً بیان شد، اثر بلیت هواپیما بر روی تقاضای مسافر هوایی دارای تأثیر منفی است. هر چه این اثر کمتر باشد می‌توان این نتیجه را گرفت که منجر به افزایش در تقاضای سفرهای هوایی می‌شود. به ازای این عامل در نمودار شکل شماره ۵ مشاهده می‌شود که مقادیر اثر بلیت هواپیما برای سناریوی خوش‌بینانه کمتر از سناریوی پایه و سناریوی پایه نیز کمتر از سناریوی بدبینانه است. نمودارهای اجرای مدل پویایی‌های سیستمی در برخی موارد می‌توانند مکمل یکدیگر باشند. به این معنی که به‌عنوان‌مثال، چون اثر بلیت هواپیما و تقاضای سفرهای هوایی دارای رابطه عکس نسبت به یکدیگر هستند، این رابطه در نمودارهای آن‌ها نیز نمود پیدا می‌کند. به ازای کاهش اثر بلیت در سناریوی خوش‌بینانه تقاضا برای مسافرت با هواپیما افزایش پیدا خواهد کرد که امری بدیهی است. اثر بلیت هواپیما همانند مواردی که در مدل‌سازی بیان شد، متأثر است از کشش قیمت، متوسط بلیت هواپیما، هزینه نقل‌وانتقال، متوسط تعداد مسافر در هر پرواز و هزینه تراکم خطوط هوایی است. برآیند این عوامل در عاملی با عنوان اثر بلیت هواپیما بر روی تقاضای مسافرت هوایی تأثیرگذار است (شکل ۶).

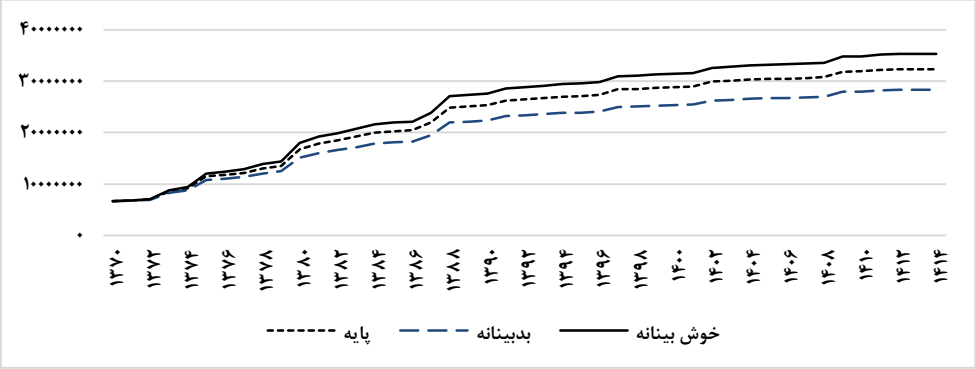


شکل۵- مقایسه سه سناریوی معرفی‌شده برای عامل اثر سطح خدمت‌دهی



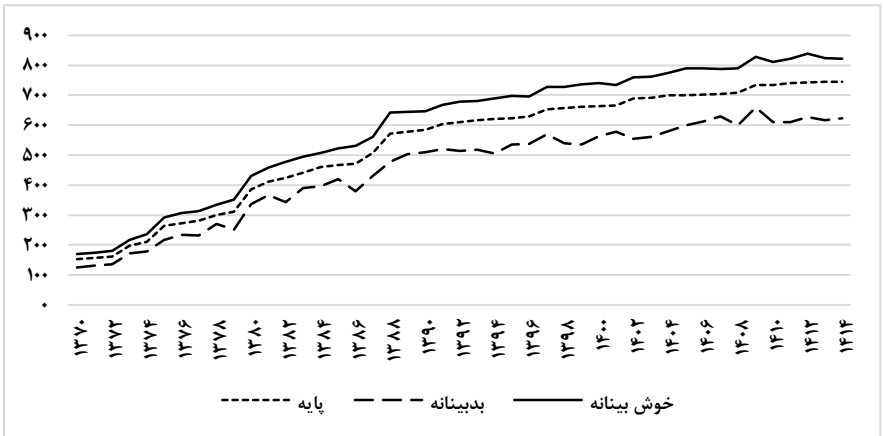
شکل۶- مقایسه سه سناریوی معرفی‌شده برای عامل اثر بلیت هواپیما

تعداد مسافر هوایی: نمودار شکل شماره ۷ نرخ رشد تعداد مسافر را برای هر یک از سه سناریو نشان می‌دهد. با دقت بررسی نمودن این نمودار نشان می‌دهد که نرخ رشد تقاضای مسافرت هوایی به ازای سال‌های قبل ۱۴۱۴ دارای تغییری بسیار اندک و ناچیز است، درحالی‌که این مقدار تغییر نیز می‌تواند زمینه‌ساز شروع تغییری مثبت و در جهت افزایش تقاضا و استفاده بیشتر از صنعت حمل‌ونقل هوایی باشد. مقادیر استخراج‌شده از مدل در حالت سناریوی بدبینانه، پایه و خوش‌بینانه حاکی از متوسط رشد نزدیک به ۴ درصدی در تقاضای مسافر هوایی را به ازای وجود سناریوی بدبینانه، نشان می‌دهد. این رشد برای سناریوی خوش‌بینانه برابر با ۱۱ درصد است. بنابراین به ازای اجرای این سناریوها و با افق دید بیش از ۱۵ ساله، در سال ۱۴۱۴ تعداد مسافر هوایی کشور با سناریوی پایه در حدود سی‌ویک میلیون و نه‌صد هزار نفر، برای سناریوی بدبینانه در حدود بیست‌ونه میلیون پانصد هزار نفر و برای سناریوی خوش‌بینانه برابر با سی و پنج میلیون پانصد هزار نفر است. تغییرات میان دو سناریوی بدبینانه و خوش‌بینانه مقداری بیش از ۵ میلیون نفر در سال است که مقداری قابل‌ملاحظه است.



شکل ۷- مقایسه سه سناریوی معرفی‌شده برای عامل تعداد تقاضای مسافرت هوایی

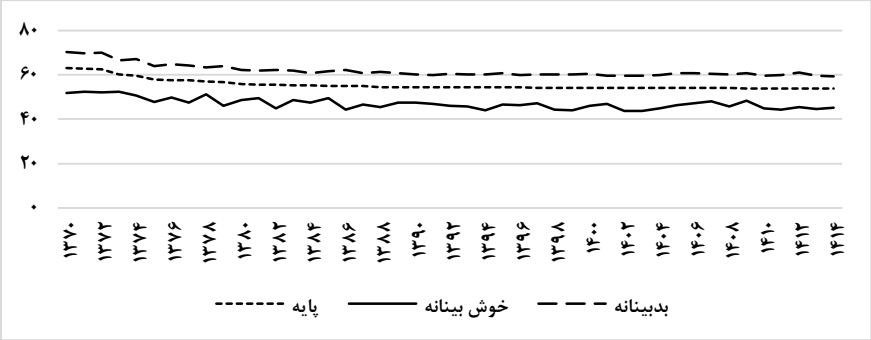
عوامل ظرفیتی: این بخش مربوط به بررسی و مقایسه سه سناریوی پایه، بدبینانه و خوش‌بینانه برای سه عامل ظرفیتی است. این عوامل ظرفیتی عبارت‌اند از تعداد پروازها در هر روز، استفاده از باند فرودگاه و تراکم خطوط هواپیمایی است. به ازای افزایش در تعداد تقاضا و مسافر هوایی، به طبع حجم پروازها و تعداد آن‌ها باید افزایش پیدا کند. افزایش تعداد تقاضا تنها با افزایش تعداد هواپیماها میسر نیست و باید زیرساخت‌ها و دیگر عوامل مؤثر نیز به نسبت روند رو به رشدی را داشته باشند. یک از این عوامل تعداد پروازها در هر روز است که رابطه‌ای مستقیم با تعداد تقاضای سفرهای هوایی دارد. نمودار شکل ۸ مقایسه مربوط به این عامل را برای سه سناریوی پایه، بدبینانه و خوش‌بینانه نشان می‌دهد. روند هر سه نمودار صعودی است و آهنگ تغییر به نسبت یکسانی دارند. در هر روز به ازای افزایش در تعداد تقاضا و مسافرت هوایی، به طبع حجم پروازها و تعداد آن‌ها باید افزایش پیدا کند. افزایش تعداد تقاضا تنها با افزایش تعداد هواپیماها میسر نیست و باید زیرساخت‌ها و دیگر عوامل مؤثر نیز به نسبت روند رو به رشدی را داشته باشند. یک از این عوامل تعداد پروازها در هر روز است که رابطه‌ای مستقیم با تعداد تقاضای سفرهای هوایی دارد.



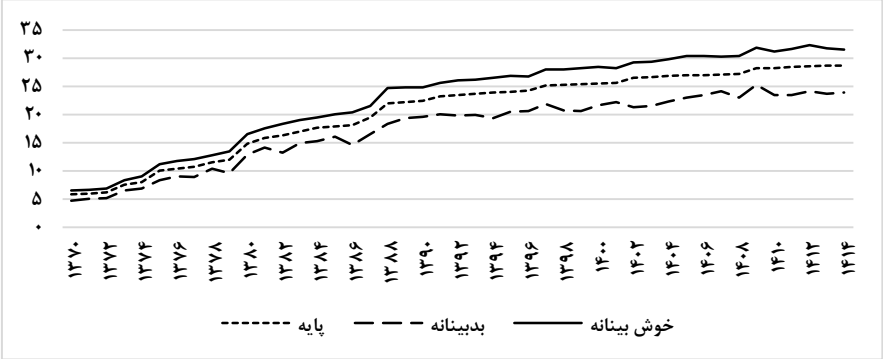
شکل۸- مقایسه سه سناریوی معرفی‌شده برای عامل تعداد پروازها در هر روز

شکل ۹ نمودار مربوط به دو سناریوی بدبینانه و خوش-بینانه است که دارای روندی نوسانی نسبت به روند تقریباً یکنواخت سناریوی پایه هستند و مربوط به عامل تراکم خطوط هوایی است. با اتخاذ سناریوی خوش‌بینانه تراکم خطوط هوایی به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و مقادیر کمتری را نسبت به سناریوی پایه جمع‌آوری می-کند.

شکل ۱۰ نمودار مربوط به دو سناریوی بدبینانه و خوش-بینانه است که دارای روندی نوسانی نسبت به روند تقریباً یکنواخت سناریوی پایه هستند و مربوط به عامل استفاده از باند فرود است. با اتخاذ سناریوی خوش‌بینانه استفاده از باند فرود به صورت غیر محسوسی افزایش می‌یابد و مقادیر بیشتری را نسبت به سناریوی پایه جمع‌آوری می-کند.



شکل ۹- مقایسه سه سناریوی معرفی شده برای عامل تراکم خطوط هوایی

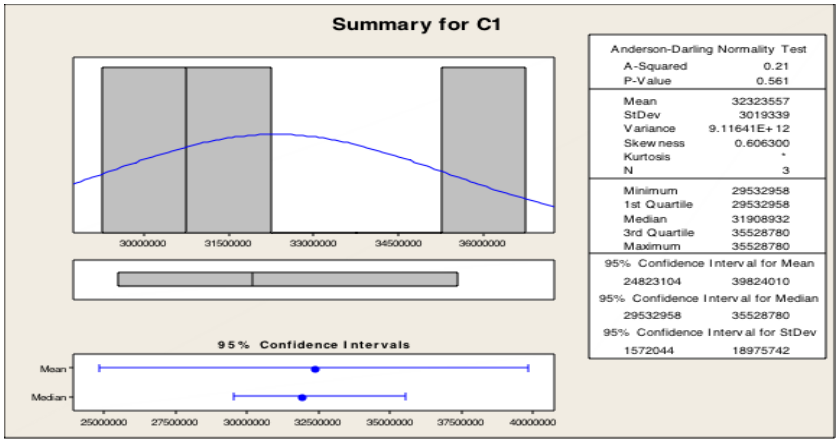


شکل۱۰- مقایسه سه سناریوی معرفی‌شده برای عامل استفاده از باند فرود

۴-۲- نتایج نهایی

در این تحقیق با توجه مدل توسعه داده شده و بررسی سناریوهای بدبینانه و خوش‌بینانه و مقایسه این سه سناریو با یکدیگر، مقادیر مختلفی را از اهداف موردنظر تحلیل حساسیت کردیم. هدف اصلی از این مطالعه بررسی و تعیین تقاضای مسافرت هوایی کشور بوده است. با استفاده از سناریوی پایه و دیگر سناریوها، مقدار تقاضای مسافرت هوایی کشور برای افق سال ۱۴۱۴ برای سناریوی پایه برابر با ۳۲۳۵۸۲۰۰ نفر است. این مقدار به ازای شرایط نسبت کنونی کشور و تصمیماتی که به نسبت از منابع گوناگون جمع‌آوری شده است دارای صحت بوده و اعتبار آن با توجه به اعتبار سنجی مدل مورد تائید قرار می‌گیرد. مقدار تقاضای مسافرت هوایی برای دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب برابر ۳۵۳۴۹۵۰۰ و ۲۸۳۴۱۷۰۰ نفر توسط مدل توسعه داد شده تعیین شده است. به ازای این مقادیر تعیین‌شده، اعتبار سنجی مدل موجود و شرایط فعلی کشور، پیش‌بینی می‌شود که تعداد مسافر هوایی کشور در سال ۱۴۱۴ بین مقادیر سناریوهای بدبینانه و خوش‌بینانه واقع شود. بازه اطمینان ۹۵ درصدی برای تعداد مسافر هوایی می‌تواند همانند شکل شماره ۱۰ تعیین شود.

به ازای بازه اطمینان بدست آمده در شکل ۱۱ مقدار تقاضای هوایی بر اساس این تعداد داده (اگر چه تعداد داده‌های بسیار کمی وجود دارد) بین ۲۸ تا ۳۹ میلیون نفر تخمین زده شده است.



شکل۱۱- آمار مربوط به پیش‌بینی تعداد مسافر هوایی کشور در افق سال ۱۴۱۴

۴-۳-تحلیل راهبردی

تحلیل و برنامه‌ریزی استراتژیک در صنعت حمل و نقل هوایی، راهنمایی‌های عملی در مورد برنامه‌ریزی برای مدیران، رهبران بخش و سایر کارکنان را مورد بررسی قرار می‌دهد. امروزه با توجه به فناوری پیشرفته و پیچیدگی محصول در صنعت هواپیماسازی، مدیران یک سازمان بدون دارا بودن اطلاعات از شرایط تقاضای جامعه نمی‌توانند به سهولت ناوگان هوایی موجود را افزایش دهند، این کار هزینه‌های بسیار زیادی به همراه دارد و ممکن است که یک سازمان را متحمل شکستی سنگین کند. وجود اطلاعات به عنوان عملکرد سازمان در یک برهه از زمان و بررسی‌های پیرامون آن، دست‌یابی به اطلاعاتی نوین و پیش‌بینی‌ها در آینده، صنعت هواپیماسازی را دست‌خوش تغییرات خواهد کرد. پیش‌بینی تعداد مسافر هواپیمای تجاری و توسعه ظرفیت فرودگاهی در پیش‌بینی تقاضای تولیدی صنعت هواپیماسازی کشور گام بلندی به شمار می‌آید. برخوردار بودن از اطلاعاتی این چنینی متضمن یک تصمیم استراتژیک موفق و کارآمد در سازمان می‌گردد. پیش‌بینی در این حوزه از صنعت نقشی مهم را در تصمیم‌های راهبردی ایفا می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه یک متد برای توسعه مدل برای پیش‌بینی تقاضای مسافر هوایی و برخی از سناریوهای مرتبط با باند فرود و توسعه ظرفیت ترمینال‌های مسافری برای رو در رو شدن با آینده تقاضا از نقطه نظر پویایی-های سیستمی ارائه شد. چون تقاضا برای سفرهای هوایی جهت پیش‌بینی بسیار مشکل است، این امر مهم است که از پویایی‌های سیستم جهت پیش‌بینی بر اساس قواعد و اصول مدل‌های دینامیک سیستمی استفاده شود. مشخصات سطح خدمات استاندارد دارای تأثیر مهمی در تعیین فضای ترمینال دارد، چون برای هر منطقه می‌تواند متفاوت باشد. فرض کردیم که تقاضا برای سفرهای هوایی همانند اقتصاد دارای روند و رشدی مثبت برای صنعت هواپیمایی خواهد داشت. رشد سریع در تقاضای مسافر هوایی و سفرهای هوایی مسئولین فرودگاه‌ها را ملزم به توسعه بیشتر فعالیت‌های خود اعم از باند فرود و تسهیلات ترمینال‌های مسافری خواهد کرد.

برای مدل پایه و توسعه سناریوها، فرض کردیم که اثر بلیط هواپیما، اثر سطح خدمت‌دهی، تولید ناخالص داخلی، جمعیت و تعداد پروازها در یک روز نقش موثری در تعیین تعداد مسافر هوایی، استفاده از باند فرود و کل مناطق اضافه شده مورد نیاز برای توسعه ظرفیت ترمینال مسافری دارد. این عوامل برای پیش‌بینی تقاضای مسافر هوایی به منظور حمایت و پشتیبانی در برنامه‌ریزی‌های بلند مدت در برخورد با تقاضای آینده سفرهای هوایی در طول افق برنامه‌ریزی شده دارای اهمیت بسیاری است.

علاوه بر بدست آوردن هدف اصلی این مطالعه (پیش-بینی تعداد تقاضای مسافر هوایی کشور) بر اساس شرایط مختلف، مدیران می‌توانند تحلیل‌ها و بازخور تصمیمات خود را بر اساس این مدل توسعه داده شده، مورد محک

قرار دهند. با استفاده از شرایط متفاوت به وجود آمده در واقعیت و یا پیش‌بینی شرایطی که ممکن است در آینده برای صنعت هوایی کشور رخ بدهد، می‌توان رفتار کلی سیستم را با استفاده از این مدل آزمون کرد. این مدل می‌توان بر اساس متغیرهای استراتژیک دیگر توسعه یافته و تخمین دقیق‌تری را فراهم کند. اضافه نمودن ساختارهایی که در این مدل نادیده گرفته شده، کاهش فرض‌های مدل و نزدیک نمودن مدل به سیستم واقعی می‌تواند پیشنهادها و آینده این گونه از مدل‌ها بشمار آید. مواردی هم‌چون ایمنی، ضریب اطمینان، صنعت گردشگری و توسعه موارد فرهنگی کشور و دیگر عوامل می‌توانند به تنهایی و به طور وابسته به یکدیگر بر روی تقاضای مسافر هوایی اثر گذار باشند.

فهرست منابع

۱) نظریان، اصغر؛ قادری، اسماعیل و حقیقی، عبدالرضا، (۱۳۸۹). " حمل‌ونقل هوایی در توسعه صنعت توریسم با تاکید بر فرودگاه بین المللی ارومیه"، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیای انسانی، سال دوم، شماره سوم، ص: ۴۴-۲۶.

۲) خردمند،شکوه؛ محمدی، محمد، نادری، بهمن، (۱۳۹۵). " برنامه ریزی خطوط هواپیمایی با در نظر گرفتن محدودیت های عملیاتی"، مجله مدیریت توسعه و تحول، ص: ۵۱-۴۹.

۳) حسنی، قاسم، (۱۳۹۵). "بررسی تاثیر توفان‌های تندری بر ایمنی حمل‌ونقل هوایی"، چهارمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

٤) سقائی، محسن، (۱۳۹۳). "بررسی عوامل مؤثر بر سوانح هوایی در صنعت حمل‌ونقل هوایی ایران"، سومین کنفرانس ملی تصادفات جاده ای، سوانح ریلی و هوایی، زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.

۵) ضرابی، اصغر؛ محمدی، جمال و سقایی، محسن، (۱۳۸۸). " چالش های صنعت حمل‌ونقل هوایی ایران(مطالعه موردی ترافیک هوایی اصفهان)"، فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیستم، شماره(۳۳)، ص: ۴۲-۳۴.

٦) سقایی، محسن، (۱۳۸۹). " تحلیلی بر تأثیر فرودگاه مهرآباد بر توسعه فعالی تهای اقتصادی، صنعتی و گردشگری شهر تهران ۱۳۸۵-۱۳۸۰"، مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای سال اول، شماره سوم، ص: ۱۵۰-۱۳۵.

۷) مرکز آمار ایران. (۱۳۹۲). پایگاه اطلاعات نشریات مرکز آمار ایران.

۸) شرکت فرودگاه‌های مادرتخصصی ایران، (۱۳۹۲). "گزارش حمل‌ونقل هوایی کشور," شرکت فرودگاه های مادر تخصصی ایران.

۹) سازمان هواپیمایی کشوری، (۱۳۹۲). "سالنامه آماری" مرکز اطلاعات و اطلاع رسانی

10) Lyneis, J. (2000). "System dynamics for market forecasting and structural analysis." System Dynamics Review, vol.16, pp. 3–25

11) Miller, B., & Clarke, J. P. (2007). "The hidden value of air transportation infrastructure." Technological Forecasting and Social Science, vol.74, pp. 18–35.

12) Seraj, Y. A., Abdullah, O. B., & Sajjad, M. J. (2001)."An econometric analysis of international air travel demand in Saudi Arabia." Journal of Air Transport Management, vol.7, pp. 143–148.

13) Srivastava, M. & Kaul,D. (2015), "Social interaction, convenience and customer satisfaction: The mediating effect of customer experience". Journal of Retailing and Consumer Services, 61, 5–15.

14) Cheng, Y.H. & Huang, T.Y. (2014), "High speed rail passenger segmentation and ticketing channel preference." Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol.33, pp. 8-12

15) Fang,L., & Zhaodong,H. (2015), System Dynamics Based Simulation Approach on Corrective Maintenance Cost of Aviation Equipment's, Procedia Engineering 99,150-155.

16) R. Bernardo, & Nietoa, M. (2016) "An Econometric Dynamic Model to estimate passenger demand for air transport industry," World Conference on Transport Research (WCTR),.Shanghai. July 2016, pp. 10-15

17) Sushil, (1993). "System dynamic: a practical approach for managerial problem: Wiley Eastern Limited,. 1993

18) Suryani,E., Chou,S., & Chen, C. (2012). " Dynamic Simulation of Air Cargo Demand Forecast and Terminal Capacity Planning," The 3rd Conference Annual Indonesian Scholars in Taiwan, November 2012
19) Brunetta,L . Righi, L. & Andreatta, G. (1999). "An Operations Research Model For the evaluation of an airport terminal: SLAM (simple landside aggregate model)," Journal of Air Transport Management, vol.5, pp. 161-175.
20) Maruyama,M. (1963). "Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes," American Scientist, vol. 5, pp. 164-179.
21) Fernandes,E., & Pacheo,R. (2002) "Efficient use of airport capacity", Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol.36, pp. 225-238.
22) Hsu,C., & Chao, C. (2005). " Space allocation for commercial activities at international Passenger terminals", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 41, pp.29-51.
23) Grosche, T.,Rothlauf,F., & Heinzl,A. (2007). "Gravity models for airline Passenger volume estimation," journal of Air Transport Management, vol. 13, pp. 175-183.
24) Inzerilli,F., & Sergeo,R. (1994). "Uncertain demand, model competition and optimal price-capacity adjustments in air transportation," Transportation, vol. 21, pp.91-101.
25) Svrcek,T. (1994). " Planning level decision support for the selection of robust configuration of airport passenger buildings," Cambridge, Mass.: MIT, Dept. of Aeronautics & Astronautics, Flight Transportation laboratory.
26) Yamaguchi, K. , Ueda, T. Ohashi, T. & Takuma,F., Tsuchiya,K., & Hikada, T. (2001). "Economic impact analysis of deregulation and airport capacity expansion in Japanese domestic aviation market.
27) Hollingsworth,P., Pfander,H., & Mavis, D. (2006) " Aviation Environmental Policy Assessment Though Dynamic Simulation," 25th International Congress of the Aeronautical Sciences.
28) Kleer,B., Cronrath,E., & Zock, A. (2008) "Market development of airline companies: A dynamics view on strategic movement", 26th International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece.
29) Zheng,C., Liu,Z., Wang,C., Wang,X., & Xu,B. (2009) "A System Dynamic Model of the Interaction of Aviation Logistics Regional Economy Development in Guangxi Faced to CAFTA," in E-Business and Information System Security. EBISS'09. International Conference, pp. 1-5.
30) Larson, R. C., & Odoni, A. R. (1981). "Urban operations research," N.J: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
31) Doganis,R. (1966). "Traffic forecasting and the gravity model," Flight International, vol.29, pp. 547-549.
32) Watkins,W., & Brown,S. (1968). "The demand for air travel: a regression study of time-series and cross-sectional data in the US domestic market," Highway Research Record.
33) Verleger, P. K., (1972). "Model of the demand for transportation," The Bell Jornal of Economics and Management Journal, vol.107, pp. 437-457.
34) Moor, O. & Soliman, A. (1981) "Airport catchment areas and air Passenger demand," Transportation Engineering Jornal, vol.107, pp. 569-579.
35) Fotheringham, A. S. (1983). "Some theoretical aspect of destination choice and their relevance to production-constrained gravity models," Environment and planning A: vol.15, pp. 1121-1132.
36) Rengaraju,V., & Arasan, V. T. (1992) " Modeling for air travel demand," Journal of Transportation Engineering, vol.118, pp.371-380.
37) Russon,M. (1993) "Airport Substitution in a short haul model of air transportation," Rivista internazionale di economia dei transporti, vol.20, pp.157-174
38) Calderon,J. (1997). "A demand model for scheduled airline services on international European routes," Journal of Air Transport Management, vol. 3, pp.23-35.
39) Shen,G. (2004). "Reverse-fitting the gravity to inter-city airline passenger flows by an algebraic simplification," Journal of Transport Geography, vol. 12, pp.219-234.
40) Matthews,L. (1994). "Forecasting peak passenger flows at airports," Research Department, vol. 22, pp. 55-72

پی‌نوشت‌ها

1. Passive
2. Gross Domestic product
3. Transportation Research Board
4. International Civil Aviation Organization
5. Revenue Passenger Kilometers
6. Switch for Maturation Delay
7. Population Relative to Carrying Capacity

Future Aviation Industry Behavior Studies Based on Demand Scenarios and Expansion Capacity of Passenger Terminals Using the Dynamic System Approach

Ehsan Mohebbi
Mazandaran university of science and technology

Babak Shirazi
Department of Industrial Engineering, Mazandaran university of Science and Technology(correspondent)
shirazi_b@yahoo.com

Ali Tajdin
Mazandaran university of science and technology

Abstract

Due to the high speed of relocation, air transportation has particular importance for the development of socio-economic systems of each region or country. The wide area of Iran in order to the geographical characteristics and economic growth speed has the high potential for the expansion of air transport. The main purpose of this paper is to the future study of Iran's air travel demand and passenger terminals capacity. The paper has presented a method for developing the air passenger demand forecast model and the scenarios related to runway and passenger terminals capacity expansion. The approach meets the future demand from the point of view of system dynamics in the horizon of 2020. Although there are a number of studies in the air transport field based on the system dynamics, the researchers have not been conducted to investigate the demand for air travel and the development of passenger terminals capacity in Iran. Due to the developed model and study, the pessimistic and optimistic scenarios different sensitivity values have been compared within these three scenarios . Scenarios are designed based on capacity factors, the number of flights per day, the use of airport runways, and airline congestion. Using the different conditions of scenarios and predicting the conditions that may occur in the future for the country's airline industry, it is possible to test the overall behavior of the model. In order to verification and validation of the proposed method, Vensim system dynamics simulation have been used for model development and sensitivity analysis.

Keywords: Future study; system dynamics; air travel demand; passenger terminals capacity; causal loop.