Archive of SID.ir

تحلیل و پیش‌بینی تعداد ناوگان هوایی ایران با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها

▪ علی حاجی غلام سریزدی *+

پسادکتری پویایی شناسی سیستم‌ها، دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف، مدیر گروه پژوهشی پویایی شناسی سیستم‌ها در موسسه آموزش عالی امام جواد (ع) یزد

تاریخ دریافت: 1399/2/22، تاریخ بازنگری: 1401/5/25 و تاریخ پذیرش: 1401/6/9

صفحات: 104-89

10.22034/jtd.2022.254483

چکیده

امروزه با بروز تغییرات شدید در محیط اقتصادی- اجتماعی جهان، صنعت حمل و نقل هوایی نیز دچار تحولات اساسی شده و برنامه‌ریزی برای این صنعت را مشکل‌تر از پیش نموده است. این صنعت در ایران به دلیل تحریم‌های بین‌المللی شدید، نیاز به توسعه هر چه بهتر و بیشتر حمل و نقل هوایی، تقاضا روبه افزایش و همچنین تاثیرات بلندمدت فناورانه ساخت هواپیما دارای پیچیدگی‌های خاص خود است. یکی از الزامات برنامه‌ریزی در هر صنعتی پیش‌بینی درست از نیازهای صنعت در آینده است. در این مقاله سعی کرده‌ایم تا با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها و شبیه‌سازی، ساختار حاکم بر صنعت را شناسایی و تعداد ناوگان موردنیاز در صنعت هوایی ایران را در افق 1404 پیش‌بینی کنیم. به عبارت دیگر، با مدل‌سازی صنعت هوایی و سپس اعتبارسنجی مدل به بررسی رفتار تعداد ناوگان صنعت هوایی تحت سناریوی پارامتری خوشبینانه و وضع موجود پرداخته‌ایم. خروجی مدل‌های شبیه‌سازی بیانگر این بود که: 1) تقاضا صنعت هوایی رو به افزایش است که این ناشی از رشد اقتصادی، افزایش جمعیت و بد بودن و ضعیت سایر و سایل حمل و نقل است؛ 2) تعداد هواپیماهای مورد نیاز تا سال 1404 طبق سرانه 3.4 برابر 322 فروند(ادامه وضع موجود) و سرانه 5(سناریوی خوشبینانه) برابر 428 فروند است. هر چند نیاز به ناوگان هوایی و تقاضا افزاینده است، اما نهایتا به دلایل مختلف از جمله محدود بودن بازار ایران این تقاضا در بلندمدت کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: صنعت هوایی ایران، پویایی‌شناسی سیستم‌ها، شبیه‌سازی، پیش‌بینی.

* عهده دار مکاتبات

+ آدرس پست الکترونیکی: A.saryazdi@iju.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

1- مقدمه

بروز تغییرات شدید در محیط اقتصادی- اجتماعی جهان در چند دهه گذشته، صنعت حمل و نقل هوایی را دچار تحولات اساسی کرده است. برنامه‌ریزی جدید در مورد مسیرهای فاقد سوددهی، کسب درآمد از طریق تبلیغات، حمل و نقل بار، ایجاد خطوط هوایی ارزان قیمت، توسعه فناورانه هواپیماها با سوخت کمتر و برد بیشتر و ... از تغییرات بوجود آمده است.

بدون شک حمل و نقل هوایی را می‌توان موتور محرکه اقتصادی هر جامعه دانست. از آغاز به کار مسافرت هوایی تجاری از دهه 1950 صنعت حمل و نقل هوایی روند رو به رشدی داشته است[15]. به‌طوری‌که طبق چشم انداز 2050 یاتا[1] از سال 1970 تا 2010 مسافرت هوایی ده برابر شده است. همچنین در سال 2007 خاورمیانه با رشد 20 در صدی در درآمد حاصل از جابجایی مسافر-کیلومتر، بیشترین رشد درآمدی را در جهان داشته است[24].

بررسی‌ها و مطالعات صورت‌گرفته در ارتباط با صنعت هواپیماسازی در سایر کشورها، حاکی از سرمایه‌گذاری‌های کلان چند دهه‌ای دولت‌ها در صنعت هواپیماسازی تا رساندن آن به نقطه پایدار نسبی است. حتی در دهه‌های اخیر هم که قوانین تجارت جهانی قوت گرفته‌اند، دولت‌ها همچنان به کمک‌های مالی و انواع سوبسیدهای مستقیم و غیرمستقیم خود به این صنعت ادامه می‌دهند. صنعت هواپیماسازی به دلیل اثرات خود مانند منافع اقتصادی در فروش هواپیما در دو بخش هواپیماهای تجاری و نظامی؛ تامین نیازهای حمل و نقل هوایی؛ کسب اعتبار و پرستیژ بین‌المللی با در اختیار داشتن فناوری هوایی؛ توسعه فناوری‌های نوین و نفوذ آن به سایر بخش‌های صنعتی و توسعه فناوری در کل کشور؛ کمک به توسعه‌ی بخش نظامی و ... همواره مورد توجه دولت‌ها بوده است. با توجه به این موارد، توجه جدی به صنعت هوایی و برنامه‌ریزی و سیاستگذاری درازمدت برای آن از ضرورت‌های توسعه‌ی اقتصادی، سیاسی و صنعتی کشور است.

از طرف دیگر، جمهوری اسلامی ایران نیز به دلیل موقعیت ژئوپلیتیک خاص خود و واقع شدن در مسیر ارتباطی اروپا با جنوب شرق آسیا و استرالیا، کوتاه بودن مسیر و در نتیجه هزینه سوخت کمتر و نیز به دلیل امنیت و ثبات سیاسی به خوبی می‌تواند از این استراتژی بهره بگیرد. متاسفانه علی‌رغم وجود زیرساخت‌های سخت‌افزاری و موقعیت ممتاز کشور در این بخش، نبود برنامه‌ریزی و سیستم‌های مدیریتی هوشمند و عدم وجود دیدگاه رقابتی در صنعت هوایی موجب واگذاری این بازار بالقوه به رقبای منطقه‌ای گشته است. وجود پتانسیل فراوان و اهداف بلندمدتی که در چشم‌انداز 1404 مطرح شده و همچنین تقاضای رو به افزایش مسافرت هوایی، ایجاب می‌کند تا کشور برای جبران عقب‌ماندگی‌ها و رسیدن به جایگاه واقعی خود در این بخش، هر چه سریع‌تر در جهت توسعه صنعت هوایی(چه حمل و نقل و چه ساخت هواپیما) و استفاده از ظرفیت‌های خالی خود اقدام نموده و در درجه بعد در جهت افزایش ظرفیت گام بردارد.

این مقاله با هدف ساخت مدل شبیه‌سازی و آنالیز پویایی‌های موردنیاز ناوگان صنعت هوایی در دوره چشم انداز 20 ساله به‌منظور پیش‌بینی تعداد ناوگان موردنیاز و روش‌های تامین آن در صنعت هوایی انجام شده است. برای این منظور، از روش پویایی شناسی سیستم‌ها استفاده شده که رویکردی مفید برای حل مسائل مدیریت دولتی و خصوصی بوده و برای ارائه و تحلیل موقعیت‌های شامل ساختارهای پیچیده و تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی استراتژیک کارآمد است.

ساختار مقاله به این صورت است که در قسمت 2 و در مرور پیشینه، پویایی شناسی سیستم‌ها و گام‌های آن معرفی شده و فواید این رویکرد نسبت به دیگر روش‌های پیش‌بینی توضیح داده شده است. قسمت 3 به تعریف مسئله با ارائه نمودارهای مرجع پرداخته و قسمت 4 یافته‌های پژوهش شامل مدل علت و معلولی سیستم ترسیم و تشریح شده است. همچنین در این قسمت مدل جریان زیرسیستم‌های مختلف آورده شده و تشریح گردیده است. درنهایت، در این قسمت به اعتبارسنجی مدل و شبیه‌سازی آن پرداخته و نتایج حاصل از سناریوهای مختلف ارائه شده است. سپس در قسمت 5 نتیجه‌گیری مقاله طرح گردیده است.

2- مرور پیشینه تحقیق: پویایی شناسی سیستم‌ها و پیش‌بینی

پویایی شناسی سیستم‌ها رویکردی برای نشان دادن روابط میان ساختار و متغیرها در یک سیستم است. مدل‌سازی پویایی شناسی سیستم‌ها فرایند و ابزاری است که نشان می‌دهد چگونه یک سیستم پیوسته خودش را در طول زمان برای سازگاری با سیاست‌های انتخابی تصمیم‌گیرندگان تنظیم می‌کند. کویل[2] پویایی‌شناسی سیستم‌ها را به‌عنوان یک رویکردی کمی یا کیفی برای توصیف مدل و طراحی ساختار برای سیستم‌ها تعریف

1 IATA's Vision 2050

2 Coyle

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

می‌کند که به‌منظور درک چگونگی تاخیر، بازخورد و روابط میان متغیر ها رفتار سیستم را در طول زمان تحت تاثیر قرار می‌دهد[14]. تعریف وب سایت جامعه پویایی شناسی سیستم‌ها این گونه است: پویایی شناسی سیستم‌ها " یک متدولوژی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده بازخوردی می‌باشد"[43].

خصوصیت اصلی مسئله برای استفاده از این روش وجود سیستم پیچیده(پیچیدگی سیستم)، تغییر رفتار سیستم در طول زمان(پویایی سیستم) و وجود حلقه بازخورد است. مدل‌سازی پویایی شناسی سیستم‌ها روشی تکراری و برگشتی است[41]. پویایی‌شناسی سیستم‌ها در زمینه‌های مختلفی از جمله استراتژی و برنامه‌ریزی بنگاه، مدیریت دولتی، توسعه فرایندهای کسب و کار، مدل‌سازی بیولوژیکی و پزشکی، انرژی و محیط، توسعه نظریه‌ها در علوم طبیعی و اجتماعی، تصمیم‌گیری پویا، پویایی‌های غیرخطی پیچیده، مهندسی نرم‌افزار و مدیریت زنجیره تامین و پیش‌بینی بکار گرفته شده است.

استرمن مراحل پنج‌گانه‌ای را معرفی می‌کند که عبارتند از: تشریح دقیق صورت مسئله، تعیین تئوری و فرضیه دینامیک، ساختن یک مدل شبیه‌سازی، تست مدل و طراحی سیاست‌ها و ارزیابی آنها[11 و 41].

درحالی که استفاده از مدل‌ها برای پیش‌بینی به‌صورت گسترده استفاده می شود، در جامعه پویایی شناسی سیستم‌ها نسبت به استفاده از مدل‌های پویایی شناسی سیستم‌ها برای پیش‌بینی بی‌میلی وجود داشته است. شاید به دلایل زیر در پیش‌بینی مسائل کسب و کار این واکنش بوجود آمده است:

- خیلی از پیش‌بینی‌ها غلط هستند. اشتباهات درباره پیش‌بینی رشد اقتصادی و تورم به صورت گسترده در نشریات مختلف مستند شده است[39]. درحالی که بعضی از این خطاها می‌تواند به مدل‌های اشتباه یا بیش از حد ساده نسبت داده شود. چنانچه فارستر[3] بیان می‌کند حتی مدل‌های دقیق برای پیش‌بینی می‌تواند از واقعیت دور شود. عناصر تصادفی موجود در سیستم بر رفتار نقطه‌ای سیستم نوسانی اثر گذاشته و تفاوت‌هایی در جریان نویز می‌تواند تفاوت‌هایی در رفتار ایجاد کند[20]. چون ما نمی‌توانیم ورودی‌های تصادفی را پیش‌بینی کنیم، نمی‌توانیم رفتار سیستم را پیش‌بینی کنیم؛
- پیش‌بینی‌ها قسمتی از ساختار تصمیم سیستم هستند و بنابراین می‌توانند در رفتار مسئله‌ساز مشارکت داشته باشند. نتایج معکوسی که اغلب کسب و کارها و صنایع به‌عنوان نتیجه تصمیمات خود براساس پیش‌بینی نادرست تقاضا در آن گرفتار می‌شوند، نسبت به اشتباهات پیش‌بینی کمتر مستند شده ولی خیلی رایج هستند[30].

به‌علاوه اشتباهات و سوءاستفاده‌های بالقوه، بی‌میلی استفاده مدل‌های پویایی شناسی سیستم‌ها برای پیش‌بینی ممکن است نتیجه تاکید مدیریتی به درک و طراحی سیاست‌ها باشد. گرچه ما معتقدیم که استفاده از پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای پیش‌بینی می‌تواند ارزش‌هایی را برای مشتریان ایجاد کند. کسب و کارها به ناچار از مفروضات درباره آینده به‌عنوان مبنا برای بیشتر تصمیماتشان استفاده می‌کنند. حتی اگر تنها با پیش‌بینی ساده با فرض اینکه آینده ادامه گذشته است صورت گیرد. مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها به‌عنوان ابزاری برای پیش‌بینی فواید زیر را داراست:

1. مدل‌های پویایی شناسی سیستم‌ها می‌توانند پیش‌بینی‌هایی مطمئن‌تر و معتبرتر از مدل‌های آماری درباره روندهای کوتاه و میان مدت داشته باشند و حتی منجر به تصمیمات بهتر شوند
2. مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها وسیله‌ای برای یافتن تغییرات در ساختار صنعت به‌عنوان قسمتی از یک سیستم اعلام خطر یا سیستم یادگیری مداوم[4] فراهم می‌کنند؛
3. مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها وسیله‌ای برای تعیین حساسیت‌های کلیدی فراهم می‌کند؛ به عبارت دیگر، باعث تقویت تفکر و حساسیت سناریوها می‌شود؛
4. مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها اجازه تعیین بافرها و احتمالات مناسب را می‌دهد که ریسک را در برابر هزینه‌ها متوازن می‌کند[30]؛
5. مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها توانایی نسبی درنظرگرفتن نویزها و پارامترهای تصادفی را داراست.

پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده به دلیل طبیعت داده محور بودن[5]، هم زمان‌بر و هم هزینه‌بر است. تکنیک‌های مختلفی از جمله مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی عامل بنیان[6] برای بررسی و پیش‌بینی سیستم‌های پیچیده مختلف از جمله حمل و نقل بکار رفته‌اند؛ اما به دلیل محدودیت آنها در نمایش رفتار

3 Forrester
4 Early-warning-system or On-going learning system
5 Data intensive nature
6 Mathematical Modeling and Agent based simulation

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

انسان‌ها در این سیستم‌ها و پیچیدگی آنها خیلی مناسب نبودند. پیچیدگی در سیستم‌ها به دوصورت اتفاق می‌افتد: پیچیدگی ترکیبی و پیچیدگی پویا[7]. پیچیدگی ترکیبی در سیستم‌های بزرگتر و به دلیل وجود احتمالات خیلی زیاد(تعداد نجومی احتمالات) و یافتن راه حل مناسب از میان آنهاست. پیچیدگی پویا گرچه در سیستم‌های ساده نیز ممکن است رخ دهد، از تعامل عناصر درون سیستم در طول زمان ایجاد می‌شود[40]. در نتیجه پویایی‌شناسی سیستم‌ها علاوه بر موارد بالا و به‌دلیل توانایی ارائه ساختارهای پیچیده متعامل و شبیه سازی رفتار آنها و همچنین توانایی ایجاد و تقویت ایده‌های خلاف شهود و جدید در پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده مناسب است[35].

همانطور که اشاره شد پیش‌بینی از لوازم برنامه‌ریزی است[29]. در این رابطه شرکت‌هایی از جمله ایرباس و بوئینگ[8] براساس مطالعه کار شرکت‌های هواپیمایی عمده جهان و گزارش‌های منتشر شده از سوی سازمان‌های بین‌المللی و بنگاه‌های اقتصادی به پیش‌بینی تعداد ناوگان هوایی در جهان و ترکیب آن پرداخته‌اند[44]. همچنین در ایران طباطبائیان و همکاران براساس سه الگو نرخ رشد مسافر، رشد جمعیت و معیار جهانی به پیش‌بینی ناوگان موردنیاز ایران تا سال 1400 و ترکیب آن پرداخته‌اند(جدول شماره 1).

جدول 1: پیش‌بینی تعداد ناوگان هوایی[44]

رده هواپیما	براساس الگوی عادی رشد مسافر	براساس رشد جمعیت	براساس معیارهای جهانی
کمتر از 90 صندلی	26	26	26
از 90 تا 150 صندلی	94	95	95
از 150 تا 250 صندلی	84	85	84
بیش از 250 صندلی	59	59	59
مجموع	**263**	**265**	**264**

البته در زمینه استفاده از پیش‌بینی با مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها، آن هم در صنعت هوایی به دلایل فواید آن، امروزه کارهای زیادی صورت گرفته است[2]. به‌عنوان مثال، لینیز[9] مدل پویایی شناسی سیستم‌ها برای پیش‌بینی تقاضا هواپیماهای جت تجاری توسعه داده است[30]. بر طبق نظر لینیز تقاضا تحت دو گروه فاکتور بیرونی و درونی قرار دارد. فاکتور بیرونی مانند قیمت بلیط و فاکتور بیرونی مانند جمعیت و GDP است[31]. جیمز و گالوین[10] با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم‌ها رفتار آینده مولفه های مهم سیستم کنترل ترافیک هوایی[11] را تعیین کرده‌اند[26].

پیرسون[12] با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها به تحلیل و بررسی طبیعت سیکلی و دوره‌ای سودآوری صنعت خطوط هوایی می‌پردازد. پیرسون در مدل خود متغیرهایی مانند جمعیت، GDP داخلی، GDP جهانی، شاخص قیمت مصرف‌کننده، شاخص قیمت تولیدکننده و قیمت سوخت را لحاظ کرده است[36 و 37]. همچنین حاجی غلام سریزدی و منطقی به تحلیل سودآوری خطوط هوایی ایران با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها پرداخته‌اند[7]. سیریانی، یان چو و هسین چن[13] به توسعه مدل پیش‌بینی تقاضا مسافرت هوایی و ارزیابی سناریوهای سیاستی مختلف پرداخته‌اند. آنها بیان می‌کنند که قیمت بلیط، سطح خدمات، GDP، جمعیت، تعداد پرواز در روز و تاخیرات نقش مهمی در تقاضا مسافرت هوایی دارد[42]. جاکوبز و همکاران[14] تلاش کردند تقاضای مسافرت هوایی و سپس تعداد پرسنل خطوط هوایی را پیش‌بینی نمایند[25]. میلر و کلارک[15] مدلی را برای ارزیابی ارزش استراتژیک زیرساخت‌های حمل و نقل هوایی توسعه داده‌اند. آنها کرایه حمل و نقل(قیمت بلیط) و سطح خدمات را متغیرهای اثرگذار بر تقاضا سفر هوایی درنظرگرفتند. آن‌ها جمعیت و GDP را تعیین کننده تقاضای اسمی و سطح کیفیت و اثرات قیمتی را تعیین کننده تقاضای واقعی دانسته‌اند[33]. بافیل، آبد و جاسیمودین[16] مدلی برای پیش‌بینی تقاضا بلندمدت سفر هوایی داخلی در عربستان توسعه داده‌اند. در این مدل یکی از متغیرهای مهم جمعیت است[9]. گروش، راتلوف و هینزل[17] در تدوین مدلی برای پیش‌بینی تقاضا، متغیرهایی مانند جمعیت، GDP و قدرت خرید را از عوامل تقاضا بیان کرده‌اند[23]. کلیر، کرونرات و زاک[18] به شبیه‌سازی حرکت‌ها و برنامه های استراتژیک

7 Combinational complexity and Dynamic complexity
8 Airbus and Boeing
9 Lyneis
10 James and Galvin
11 The air traffic control (ATC) system
12 Pierson
13 Erma Suryani, Shuo-Yan Chou, Chih-Hsien Chen
14 Jacobs et al.
15 Miller and Clarke
16 Bafail, Abed, and Jasimuddin
17 Grosche, Rothlauf, and Heinzl
18 Bernhard Kleer, Eva-Maria Cronrath, Alexander Zock

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

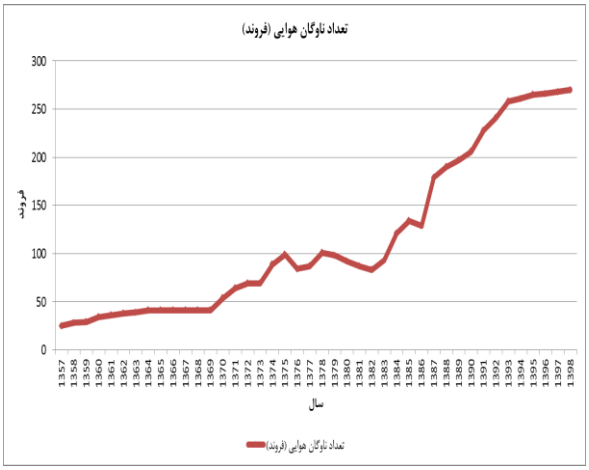
خطوط هوایی با پویایی‌شناسی سیستم‌ها پرداخته‌اند. در مدل آنها کیفیت و قیمت روی تقاضا اثرگذار بود[27 و 32]. لیهر و همکاران قیمت، زمان و برنامه سفر و GDP را از عوامل موثر بر تقاضا دانسته‌اند[28].

والریز و همکاران[19] در مقاله خود، توسعه و استفاده از چارچوبی برای مطالعه پویایی‌های سیستم تعمیر و نگهداری در ناوگان هوایی(موتور هواپیماهای نظامی) را هدف پژوهش خود قرار داده‌اند. آنها به درک روابط پیچیده سیستم تعمیر و نگهداری در جهت توسعه استراتژی‌های اثربخش تعمیر و نگهداری و ارزیابی وندورهای[20] ارائه‌دهنده پرداخته‌اند. در نهایت، عمر ناوگان هوایی را در میزان تعمیر و نگهداری موثر می‌دانند[47]. کایسیدو و دیاز[21] به ارزیابی عملکرد استراتژی‌های مختلف در رابطه با نوسازی ناوگان خطوط هوایی تجاری در کلمبیا با استفاده از مدل پویایی شناسی سیستم‌ها پرداخته و اشاره می‌کنند که یکی از مشکلات فرایند تصمیم‌گیری در این زمینه وجود تاخیرات زیاد در تحویل هواپیماست. برای مثال، ایرباس به‌طور متوسط 6.18 سال طول می‌کشد تا سفارش موردنظر را تحویل نماید[13]. اربان و همکاران[22] به مدل‌سازی سیستم حمل و نقل هوایی اروپا پرداخته و اثر عوامل خارجی بر آن را با استفاده از پویایی شناسی سیستم‌ها بررسی کرده‌اند. مدل آن‌ها از بخش‌های مسافر، فرودگاه، ایرلاین و تولیدکنندگان هواپیما تشکیل شده است[46]. در ادامه به تعریف مسئله پژوهش پرداخته شده است.

3- تعریف مسئله

در این گام به بیان مفروضات[23] و تعریف مسئله پرداخته می‌شود. محققان مفروضات و مسئله پویایی‌شناسی سیستم‌ها را برحسب نمودارهای رفتار در طول زمان[24] یا مد مرجع[25] بیان می‌کنند تا بتوانند نشان دهند که سیستم در حال رشد، افول یا نوسان است[19، 21 و 41]. به عبارت دیگر، یکی از کارهای مهم در پویایی شناسی سیستم‌ها نمایش رفتار متغیرها در طول زمان است. این رفتار می‌تواند هم نشان‌دهنده رفتار متغیرها در دنیای واقعی(مدهای مرجع) و ترسیم‌کننده مسئله باشد و هم می‌تواند نتایج شبیه‌سازی مدل را نشان دهد[1]. نمودارهای رفتار در طول زمان یکی از ابزارهای تفکر سیستمی است. با رسم نمودار رفتار در طول زمان الگوهای رفتاری که می‌خواهید از دیدگاه تفکر سیستمی بررسی کنید نمایش داده می‌شود [1 و 6].

وجود ناوگان هوایی فرسوده و مشکلات سیاسی در خرید و اجاره هواپیماهای جدید، انگیزه‌ای کلیدی برای دولت جمهوری اسلامی برای سرمایه‌گذاری در صنعت هواپیماسازی به‌شمار می‌آید. اینها واقعیت‌های بخش عرضه هستند. در بخش تقاضا واقعیت غیرقابل انکار این است که حجم سفرهای داخلی و خارجی در ایران در دهه‌های گذشته همیشه در حال افزایش بوده است[16]. شکل شماره‌های 1، 2 و 3 به‌ترتیب تعداد کل ناوگان هوایی ایران، تعداد مسافر داخلی و خارجی و نسبت مسافر به ناوگان را طی سال های 1357 تا 1398 را نشان می‌دهد و بیانگر این است که در طول سال‌های مختلف تعداد ناوگان کشور و تعداد مسافران در حال افزایش بوده اما سرعت افزایش ناوگان هوایی کمتر است. از طرف دیگر، متوسط سن ناوگان هوایی در ایران 22.7 سال است که عدد بالایی بوده و همچنین حدود 21 درصد از ناوگان موجود غیرفعال و زمین‌گیرند. آنچه که از این سه نمودار مشخص است، سرانه تعداد هواپیما در ایران پایین و ناوگان هوایی فرسوده است که نیاز به تامین ناوگان موردنیاز هم برای نوسازی و جایگزینی ناوگان و هم برای افزایش ظرفیت و بهبود سرانه هواپیماست.

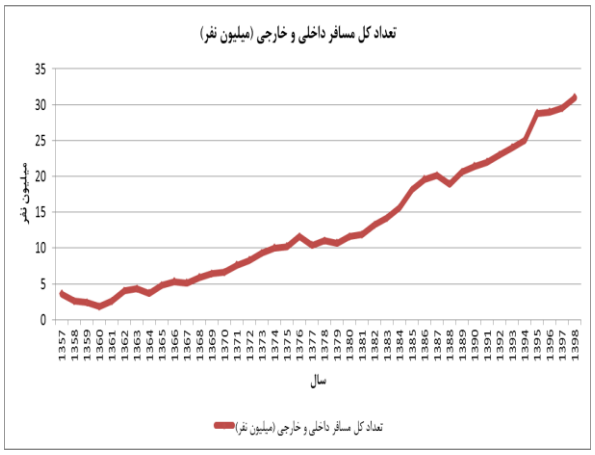


شکل 1: نمودار تعداد کل ناوگان هوایی از سال 1357 تا 1398[12]

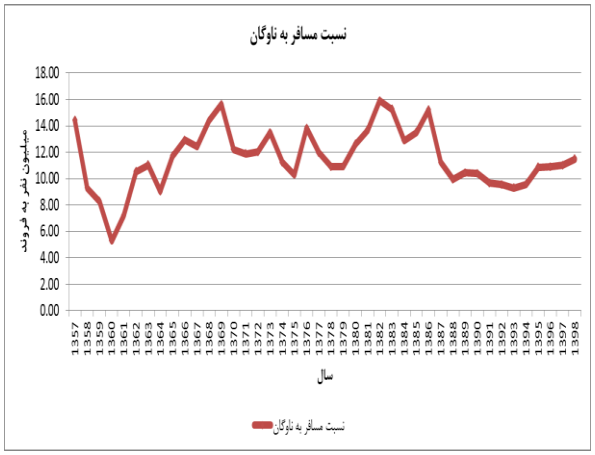
19 Angelos G. Varelis, Yeoryios A. Stamboulis, Emmanuel D. Adamides
20 Vendors
21 Santiago Caicedo, Fabio Andrés Díaz
22 Urban et al.
23 Hypotheses
24 Behavior Over Time Diagrams (BOT Graph)
25 Reference Modes

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل 2: نمودار تعداد کل مسافر داخلی و خارجی از سال 1357 تا 1398[12]



شکل 3: نسبت مسافر به ناوگان از سال 1357 تا 1398[محقق]

با توجه به مسئله فوق سوالات پژوهش عبارتنداز:

1- ساختار حاکم بر مسئله چیست؟ روابط علت و معلولی مدل چیست؟

2- مدل جریان با قابلیت شبیه‌سازی مسئله چه هست؟

3- رفتار مدل در شرایط کنونی و تحت سناریو به چه شکل است؟

با توجه به رویکرد پویایی شناسی سیستم فرضیه تحقیق در قالب نمودار علت و معلولی بیان شده است که در ادامه آورده خواهد شد.

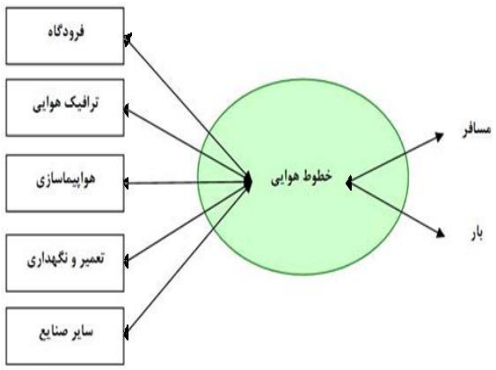
4- یافته‌های پژوهش

در ادامه طبق گام‌های پویایی شناسی سیستم‌ها ابتدا با رسم نمودار علت و معلولی، گام مفهوم‌سازی و تبدیل آن به نمودار جریان و فرمول‌دهی به مدل، شبیه‌سازی را انجام می‌دهیم و درنهایت سناریوهای مختلف را روی مدل بررسی می‌کنیم.

4-1- مدل علت و معلولی

همانطور که اشاره شد در مرحله مفهوم‌سازی مسئله به رسم نمودار علت و معلولی می‌پردازند. ما نیز در این قسمت ابتدا زنجیره ارزش در صنعت حمل و نقل هوایی را تشریح و سپس نمودار علت و معلولی سیستم را نمایش و توضیح می‌دهیم.

شکل شماره 4 زنجیره ارزش در صنعت حمل و نقل هوایی را نشان می‌دهد. هر چند اکثر افراد بر این باورند که مهم‌ترین بخش صنعت حمل و نقل هوایی مربوط به فناوری‌های طراحی و ساخت هواپیما ست؛ اما سهم صنعت هواپیما سازی از کل زنجیره ارزش صنعت حمل و نقل هوایی کمتر از 15٪ است. از طرف دیگر، روند ساخت هواپیما نیز بدون وجود بهره‌برداران و مشتریان(خطوط هوایی) بی‌معنی است. صنایع هواپیما سازی با توجه به نظرات خطوط هوایی به ساخت هواپیما می‌پردازند[44]. درنتیجه، بازیگر اصلی صنعت حمل و نقل هوایی، خطوط هوایی است. خطوط هوایی مالکان هواپیما بوده که به حمل بار و مسافر می‌پردازند.



شکل 4: زنجیره ارزش در صنعت حمل و نقل هوایی[8]

همانطور که از شکل شماره 4 مشخص است، صنعت هوایی از 5 صنعت تشکیل شده است که شامل: صنعت ساخت هواپیما که تامین‌کننده هواپیماهای موردنیاز خطوط هوایی هستند؛ صنعت فرودگاهی که به منزله پایانه‌های حرکت هستند، امروزه بستری مناسب برای بسیاری از تجارت‌های دیگر مانند تبلیغات را فراهم آورده‌اند و کیفیت و ظرفیت آنها فاکتور مهمی در جذب مسافر هوایی است[42]، مدیریت ترافیک هوایی، صنعت تعمیر و نگهداری هواپیما به‌طوری که هر هواپیما در دوره های زمانی مشخص نیاز به بازبینی و تعمیرات جزئی و یا اساسی دارد. با توجه به اینکه هزینه تعمیر و نگهداری یک هواپیما در دوره عمر آن 3 برابر هزینه خریداری آن است و عمر ناوگان ایران در حدود 22.8 سال است[17]، این صنعت از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین سایر صنایع به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم با صنعت حمل و نقل هوایی مرتبط است؛ مانند صنعت قطعه‌سازی، تجهیزات داخل هواپیما، سیستم‌های الکترونیکی، رنگ و رزین و پلیمر، پتروشیمی و نفت و غیره. به عبارت دیگر، می‌توان گفت

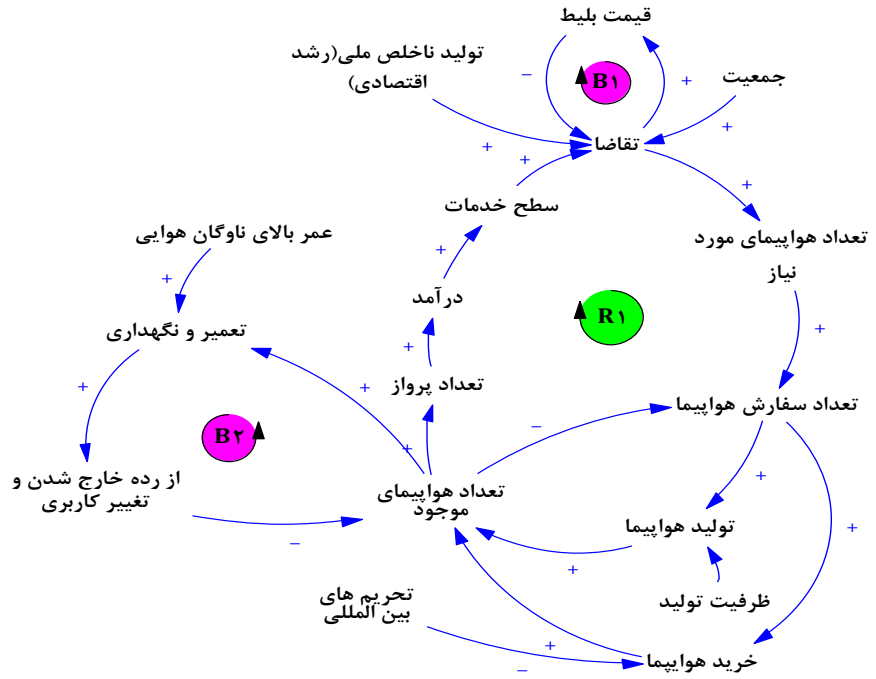
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

صنعت حمل و نقل هوایی از سه مولفه مهم شامل خطوط هوایی، فرودگاه‌ها و شرکت‌های هواپیماسازی تشکیل شده است[38]. از طرف دیگر، عمده فعالیت شـــرکت‌های حمل و نقل هوایی به جابجایی بار و مســافر اختصــاص می‌یابد و این دو، منبع درآمدی خطوط هوایی هستند. کرونرات بیان می‌کند که خروجی صنعت هوایی از طریق تعداد مسافران و سهم در GDP قابل اندازه‌گیری است[15].

در این مقاله تمرکز ما بیشــتر بر ســاخت و تعمیر و نگهداری هواپیما به‌عنوان ورودی‌های صنعت و ساختار تقاضای هواپیما از طریق تقاضـــا مســـافر بوده اســـت. از آنجا که به دلیل وجود ظرفیت‌های خالی فرودگاه‌های کشـــور و عدم محدودیت آن‌ها و همچنین به دلیل اینکه مسیرهای هوایی ایران گسترده و ظرفیت استفاده از آنها خالی است، ظرفیت فرودگاه‌ها و مسیرهای هوایی ایران را در مدل استفاده نکرده‌ایم. همچنین برای سادگی کار و از آنجا که درآمد خطوط هوایی بیشتر مربوط به حمل مسافر است، یعنی حدود 75 در صد مسافر و 15 در صد بار[18]، تقاضا بار و اثرات دیگر صنایع را مدل نکرده‌ایم.

شکل شماره 5 نمودار علت و معلولی سیستم را نشان می‌دهد. این نمودار از یک حلقه تقویتی و دوتعادلی تشکیل شده است که در ادامه تشریح می‌شود.



شکل 5: نمودار علت و معلولی سیستم

حلقه تقویتی R1 بیان می‌کند جمعیت و رشـــد اقتصـــادی، تقاضـا هواپیما را ایجاد و براســاس تقاضـا و ناوگان موجود نیاز به هواپیماهای جدید برآورد شـــده و آن را یا طبق ظرفیت تولید در داخل تولید کرده و یا اینکه از خارج از کشـور خریداری می‌کنیم. خریداری از خارج از کشـــور تحت تاثیر تحریم‌های بین المللی با مشکل روبرو ست. درنهایت، تولید و خرید هواپیما و اضافه شدن آن به ناوگان موجود باعث می‌شـود، تعداد پرواز افزایش یافته و با افزایش پرواز، درآمد حاصـــل افزایش و این درآمد نیز منجر به بهبود خدمات و افزایش امکانات گردد که یکی از عوامل تقویت تقاضا ست. به عبارت دیگر، در این حلقه با تقویت ناوگان هوایی، افزایش تقاضـــا تقویت می‌گردد. اما افزایش تقاضـــا خود منجر به افزایش قیمت شـــده و افرایش قیمت نیز یکی از عوامل کاهنده تقاضا ست(حلقه تعادلی B1). در حلقه B2 از آنجا که عمر ناوگان هوایی ایران(در حدود 22 ســـال) بالاســـت و عمر مفید هواپیما حدود 30 ســـال اســـت، نرخ تعمیر و نگهداری بیشـــتر می گردد؛ چرا که عمر و تعداد هواپیما رو به افزایش می گذارد. از طرفی، تعداد ناوگان موجود بایستی تا 10 سال دیگر از رده خارج شود و این نیز منجر به کاهش تعداد ناوگان موجود شـــده و بایســـتی به نوسازی ناوگان از طریق خرید یا تولید آن پرداخت.

2-4- مدل جریان

برای شـــبیه‌ســـازی مدل علت و معلولی نیاز اســـت تا آن را به نمودار جریان تبدیل کنیم. نمودار جریان[26] بیان کننده مفهوم اساسی پویایی شناسی سیستم‌ها یعنی ساختارهای بازخوردی از روابط انباره‌ها و جریان‌هاســـت که رفتار ســـیســـتم را ایجاد

26 Stock and Flow Diagram(SFD)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

می‌کند[14، 19، 20 و 41]. این نمودار از سه نوع متغیر انباره، جریان و کمکی تشکیل شده است. برای ترسیم نمودار علت و معلولی، جریان و شبیه سازی مدل از نرم‌افزار ونسیم[۲۷] استفاده شده است. نرم‌افزار ونسیم یک ابزار مدل‌سازی بصری[۲۸] است که به شما اجازه مفهوم سازی، مستند سازی، شبیه سازی و آنالیز مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها را می‌دهد. ونسیم یک راه ساده و منعطف برای ساخت مدل‌های شبیه سازی از حلقه‌های علّی یا نمودارهای جریان را فراهم می‌کند[3 و 4].

در ادامه مدل جریان را در قالب 4 مدل تقاضای هواپیما، مدل تهیه هواپیما، قیمت بلیط و بهبود خدمات تشریح می‌گردد.

4-2-1- زیرسیستم تقاضا هواپیما

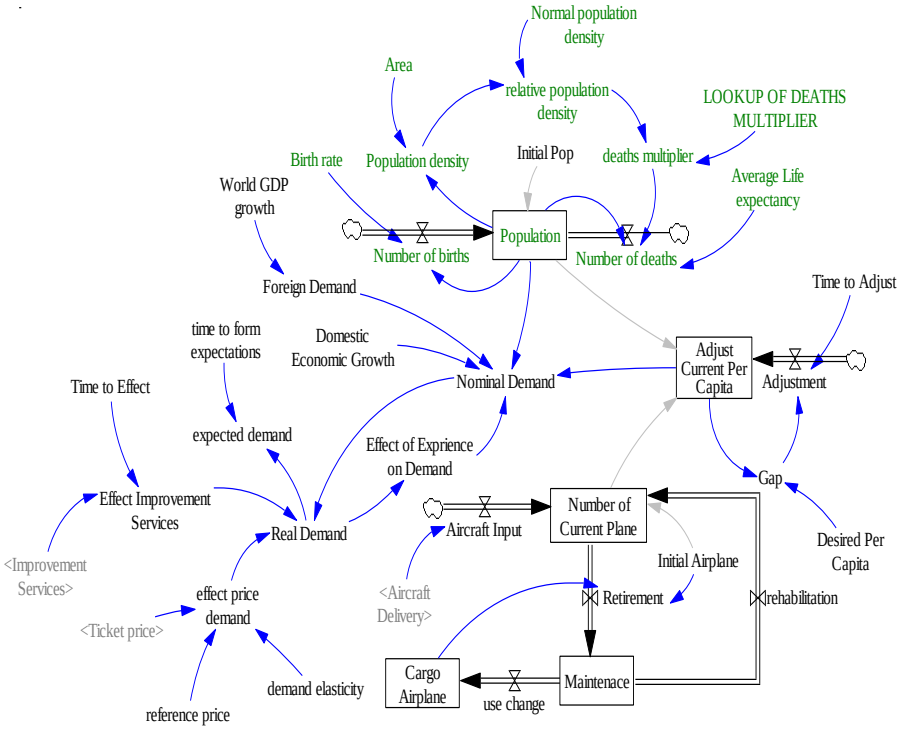
نمودار شکل شماره 6 مدل تقاضا هواپیما را نشان می‌دهد. این مدل از سه قسمت تشکیل شده است: قسمت جمعیت، قسمت تقاضا و قسمت تعداد هواپیماهای موجود.

در قسمت جمعیت براساس میزان موالید، نرخ زاد و ولد و متوسط طول عمر، نرخ مرگ و میر مشخص گردیده است. فرمول محاسبه جمعیت به‌عنوان متغیر حالت به شکل زیر است:

$$\text{Population} = \text{Initial Population} + \int (\text{Number of births} - \text{Number of deaths})dt$$

در قسمت تقاضا مابین تقاضا(تقاضای اسمی) با سطح فعالیت-های مسافران(تقاضای واقعی) تمایز قائل شدیم. جمعیت و GDP تعیین کننده تقاضای اسمی و سطح کیفیت و اثرات قیمتی تعیین کننده تقاضای واقعی است.

ما برای محاسبه تقاضای اسمی از جمعیت، سرانه هواپیما، رشد اقتصادی داخلی، تقاضای خارجی ناشی از رشد اقتصادی جهانی و همچنین تجربه سفر هوایی استفاده کرده‌ایم. گروهی از مشتری‌ها، مسافران جاده‌ای و ریلی هستند که می‌توان نظر آنها را با ایجاد پروازهای امن و ارزان قیمت جلب کرد. در ایران، تنها 5٪ سفرها از طریق خطوط هوایی انجام می‌گیرد. با توجه به وضعیت بد جاده‌های کشور و وجود ناهمواری‌های زیاد جغرافیایی ایران که حمل و نقل زمینی را دشوار می کند، امکان جذب این مشتریان نیز هست. به عبارت دیگر، می‌توان با تجربه پروازی امن و ارزان آنها را مشتری ثابت حمل و نقل هوایی کرد.



شکل 6: مدل تقاضا هواپیما

روش محاسبه تقاضا با کمک سرانه هواپیما در کشور و مقایسه آن با وضعیت مطلوب، اثرات قیمت و بهبود خدمات انجام می‌گیرد. منظور از سرانه هواپیما، تعداد هواپیماهای عملیاتی به ازای هر یک میلیون نفر جمعیت است. این شاخص را می‌توان با توجه به تعداد هواپیماها و جمعیت هر کشور محاسبه کرد. مقایسه این شاخص بین کشورهای مختلف میزان دسترسی مردم

27 Vensim

28 Visual modeling tool

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به هواپیما و سفرهای هوایی را در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد. سرانه مطلوب هواپیما(با توجه به وضعیت این شاخص در کشورهای منطقه) تعیین می‌شود و بر این اساس تعداد هواپیمای موردنیاز محاسبه می‌گردد. اما با توجه به چشم‌انداز 1404 که رسیدن به جایگاه نخست در منطقه را هدف قرار داده است، باید سرانه هواپیما در ایران به سرانه کشور ترکیه یعنی 3.4 هواپیما برسد. از آنجا که معمولا در تمام کشورها، رشد تقاضا برای حمل و نقل هوایی متناسب با رشد اقتصادی است، در نتیجه با توجه به رشد متوسط 5٪ در اقتصاد کشور، تعداد هواپیماهای متناسب با این رشد محاسبه می شود. فرمول تقاضای اسمی به شکل زیر است:

Nominal Demand = (1 + (Population/1e + 006) * Adjust Current Per Capita * (1 + Domestic Economic Growth)) + Foreign Demand + Effect of Exprience on Demand

فرمول تقاضای واقعی برگرفته از تقاضای اسمی و اثرات قیمتی و بهبود خدمات است:

Real Demand = INTEGER(Nominal Demand * effect price demand * Effect Improvement Services)

همانطور که از معادله زیر مشخص است تعداد هواپیماهای موجود براساس تعداد اولیه هواپیماهای موجود، تعداد هواپیماهای نیازمند تعمیر و نگهداری و نرخ بازگشت از تعمیر و نگهداری و همچنین ورودی هواپیماهای جدید ناشی از تقاضا تعیین می‌شود.

به علت عمر بالای هواپیماها در ایران حدود 20 سال و عمر مفید هواپیما در حدود 30 سال، مدل به‌صورتی تدوین شده است که در طول این 20 سال تعدادی اورهال شده و به ناوگان برگشته ولی درنهایت همه آنها از رده خارج شوند. علیرغم وجود 4 نوع تعمیر و نگهداری برای ساده سازی مدل فرض کردیم که یک نوع تعمیر و نگهداری وجود دارد و به‌صورت سالانه تعداد ثابتی از ناوگان نیاز به تعمیر و نگهداری دارند. از این تعداد مقداری نوسازی شده و به ناوگان هوایی برگردانده شده و تعدادی با تغییر کاربری به جابجایی بار می‌پردازند.

Number of Current Plane = Initial Airplane + $\int$(rehabilitation + Aircraft Input - Retirement + rehabilitation)dt

4-2-2- زیرسیستم تهیه هواپیما

تصمیم‌های ساخت هواپیمای جدید به‌طور اساسی به وسیله تقاضای بازار تعیین می‌شود. نیاز به هواپیماهای جدید از تفاوت تقاضا و تعداد هواپیماهای موجود بدست می‌آید. این تعداد یا تولید و یا خریداری می‌شوند. تاخیر در سفارشات و همچنین تاخیر در تولید و تحویل ناوگان هوایی امری رایج و زمانی حدود 1 تا 3 سال طول می‌کشد. میزان تولید تحت تاثیر ظرفیت تولید و مدت زمان تولید است.

اگر فرض شود تولید هواپیما در ایران همان تولید ایران 140 باشد، می‌توان گفت که ظرفیت تولید هواپیما ایران 140 محدود و در سال 12 عدد 54 نفره(برابر یک سوم جت 150 نفره) و با تاخیر 2 سال است.

همچنین نرخ ارز در فروش بلیت و بارهای از هواپیما که در داخل تولید می‌شود، تاثیری ندارد اما با توجه به اینکه درصدی از هواپیما در خارج از کشور تولید می‌شود، نوسان نرخ ارز روی قیمت تمام شده محصول اثر خواهد گذاشت. همچنین با توجه به اینکه بخش زیادی از هواپیما از خارج از کشور تامین می‌شود، نوسان قیمت دلار روی قیمت آنها به شدت تاثیر می‌گذارد.

درنهایت، سود حاصل از ساختار صنعت هوایی از تفاضل درآمد ناشی از فروش و هزینه‌های ناشی از خرید یا ساخت هواپیما بدست می‌آید. معادله زیر فرمول کل هزینه‌ها را نشان می‌دهد.

Total Cost = cost of Production + cost of purchase

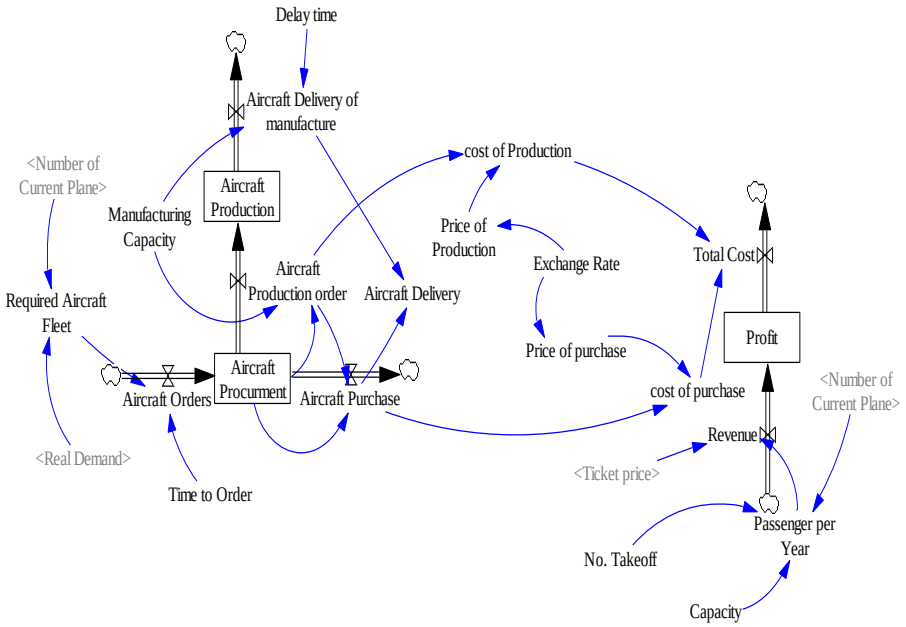
درآمد برابر تقاضا ضرب در قیمت بلیط است.

4-2-3- زیرسیستم قیمت بلیط

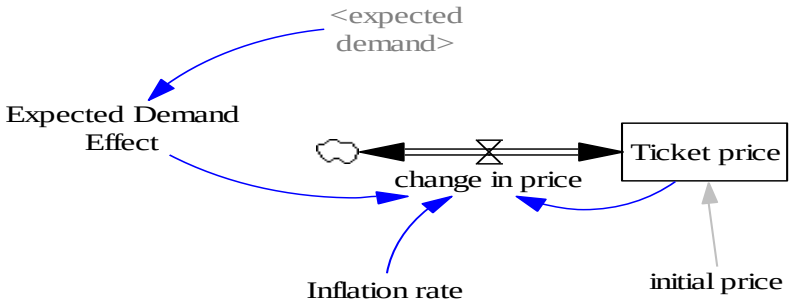
قیمت بر حجم فروش و تصویری که مردم از صنعت حمل و نقل هوایی و خدمات آن دارند، اثر دارد. قیمت بلیط نیز برای یک ایرلاین در ایران می‌تواند به‌عنوان یک محدودیت تلقی گردد. قیمت بلیط‌های داخلی را دولت تعیین می‌کند. از طرفی قیمت بلیط را نیز تا حد مشخصی می‌توان پایین آورد. با این حال می‌توان قیمت بلیط در هر پرواز را با توجه به ویژگی‌های تقاضای آن پرواز تعیین نمود. همان‌طور که اشاره شد، میزان تقاضا تابعی از سطح خدمات و قیمت است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل 7: مدل تهیه هواپیما



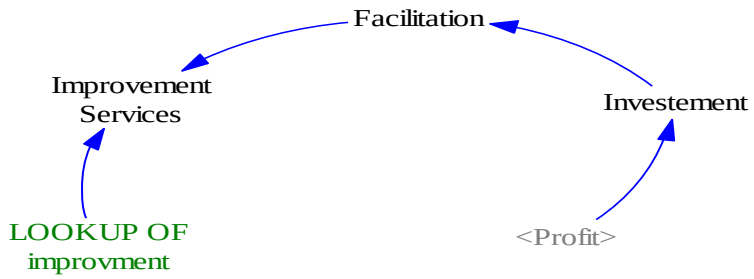
شکل 8: مدل قیمت بلیط

طبق مدل تغییر قیمت ناشی از نرخ تورم و فشار تقاضا ست. قیمت بلیط نیز به‌عنوان یک متغیر حالت شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Ticket price} = \text{initial price} + \int (\text{change in price})dt$$

4-2-4- زیرسیستم بهبود خدمات

آخرین قسمت مدل که نشان‌دهنده تغییرات خدمات ناشی از سرمایه‌گذاری است. در اینجا فرض شده است که با افزایش سودآوری صنعت تسهیلات و حمایت‌ها برای بهبود خدمات افزایش یافته و درنهایت این بهبود منجر به افزایش تقاضا می‌گردد.



شکل 9: مدل بهبود خدمات

4-3- شبیه‌سازی

در این قسمت ابتدا به اعتبارسنجی مدل پرداخته و سپس وضعیت فعلی را تحت سناریو حالت پایه اجرا کرده و با درنظرگرفتن سناریوهای مختلف رفتار مدل را نمایش می‌دهیم.

4-3-1- اعتبارسنجی مدل

فارستر ادعا می‌کند که مدل‌ساز نمی‌تواند مدل های

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

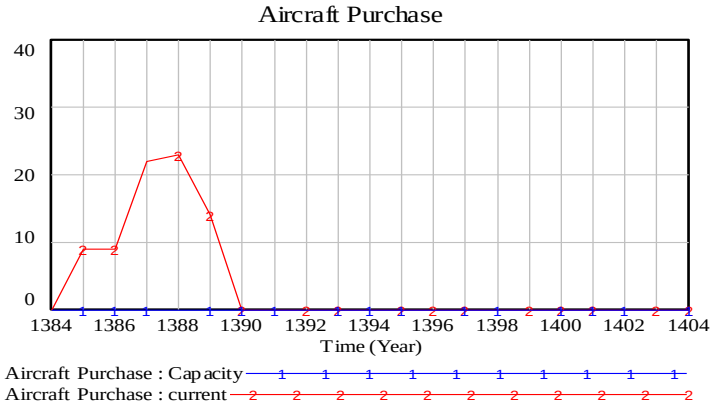
پویایی‌شناسی سیستم‌ها را اعتبارسنجی کند. او مدافع ایجاد سطحی از اطمینان است که محققان فقط بتوانند بپذیرند که مدل نمایانگر نسبتا خوبی از واقعیت است[22].

ما در اینجا با استفاده از تست‌های سازگاری ابعادی[29]، شرایط حدی[30]، تست‌های بازتولید رفتار[31] [41] و مدل بارلاس[32] [10] به اعتبارسنجی مدل پرداخته‌ایم.

تست سازگاری ابعادی: در این تست به بررسی معادلات و استفاده از آنالیزهای روتین نرم‌افزارهای پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای اطمینان از سازگاری واحدهای متغیرهای مدل با معادلات پرداخته می‌شود. در این تست ما با استفاده از گزینه Unit Check به تست واحدها پرداخته که بعد از اصلاح واحد چند متغیر مدل چک کردید. همچنین با استفاده از گزینه Check Model از لحاظ ساختاری مدل توسط نرم‌افزار تایید گردید.

تست شرایط حدی: با استفاده از مقادیر حدی در هر معادله به تست مدل و ترکیباتی از معادلات می‌پردازیم برای تعیین اینکه آیا معادلات و مدل به‌صورت منطقی و مطابق با قوانین فیزیکی رفتار می‌کنند. در این تست در قسمت تقاضا اثر قیمت بر تقاضا لحاظ شد که به‌عنوان مثال با افزایش زیاد در قیمت میزان تقاضا به صفر رسید.

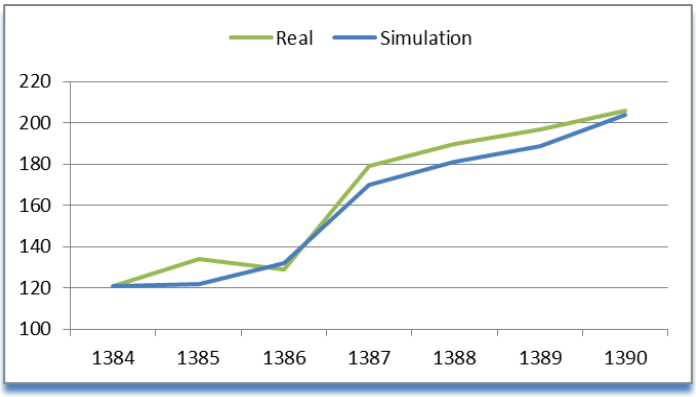
در قسمت تولید هواپیما با افزایش ظرفیت تولید به بی‌نهایت، تمام نیاز ناوگان به قسمت تولید رسید و میزان خرید هواپیما صفر گردید(شکل شماره 10).



شکل 10:تست حالت حدی متغیر ظرفیت تولید

تست‌های بازتولید رفتار: این تست خروجی شبیه‌سازی مدل را با داده‌های واقعی مقایسه و از طریق آماره‌های آماری مناسب توان انعکاس رفتار دنیای واقعی توسط مدل را ارزیابی می‌کند. هرچند تست‌های بازتولید رفتار نمی‌توانند ثابت کنند که مدل درست است اما آنالیز آماری تناسب داده‌های مدل با داده‌های واقعی مانند ضریب همبستگی، انحراف میانگین مطلق به مدل‌ساز برای شناسایی منشا و میزان خطا کمک می‌کند.

شکل شماره 11، رفتار واقعی بین سال‌های 1384 تا 1390 و رفتار شبیه سازی مدل را نشان می‌دهد که انطباق زیادی بین آن دو است. تنها در سال 1386 تعداد ناوگان متفاوت بوده وگرنه رفتار در کل دوره صعودی و نزدیک به رفتار واقعی است.



شکل 11: مقایسه رفتار شبیه‌سازی با مد مرجع

مدل بارلاس: در این مدل نرخ خطا از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود و اگر مقدار آن از 5٪ کمتر باشد، مدل معتبر

29 Dimensional Consistency
30 Extreme Conditions
31 Behavior Reproduction Tests
32 Barlas

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

است. متغیر S مقادیر شبیه‌سازی شده و A مقادیر واقعی است[3].

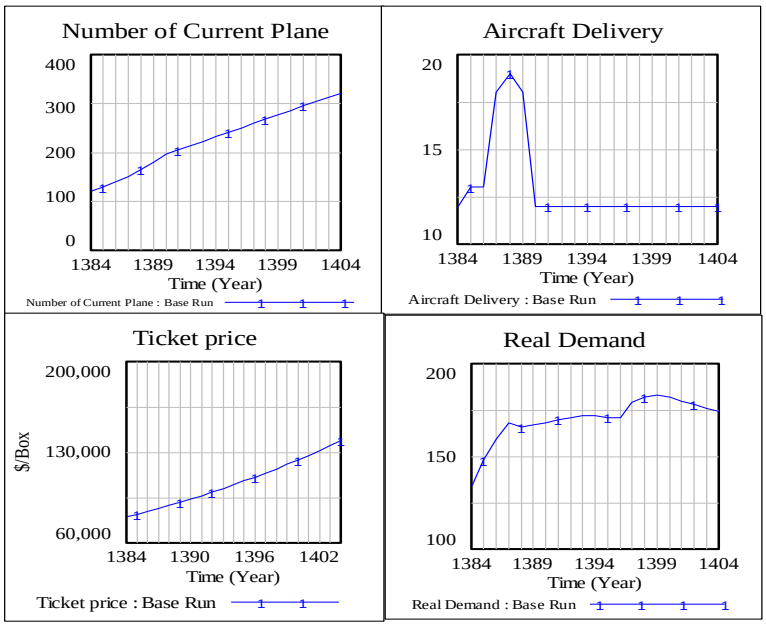
$$Error_rate = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}}, \bar{S} = \frac{\sum S_i}{n}, \bar{A} = \frac{\sum A_i}{n}$$

پس از محاسبه مقادیر فرمول فوق برای سال‌های 1384 تا 1390 مقدار خطا برابر 0.032 بدست آمد که بیانگر معتبر بودن مدل است.

4-3-2- اجرای مدل پایه

دوره شبیه سازی از سال 1384 تا 1404 درنظر گرفته شده است. در حالت پایه رفتار سیستم طبق آنچه در دنیای واقعی است و با فرض اینکه روند فعلی همچنان ادامه می یابد، شبیه‌سازی می‌شود. در نمودار شکل شماره 11، رفتار تعداد هواپیماهای موجود و تامین آن قابل مشاهده است.

همان‌طور که از نمودار مشخص است رفتار تعداد هواپیماهای موجود دارای رشد است که این به‌دلیل نیاز بازار داخلی در کوتاه مدت است. اما در نهایت، تقاضا برای مسافرت به‌دلیل افزایش قیمت محدود شده و ثابت می‌گردد.



شکل 11: رفتار مدل در اجرای مدل پایه

در جدول شماره 2، براساس دو نرخ سرانه 3.4 و 5 تعداد هواپیمای موردنیاز از سال 1390 تا 1404 تعیین شده است.

جدول 2: تعداد هواپیماهای موردنیاز از سال 1391 تا 1400 و پیش‌بینی آن تا 1404

سال	تعداد هواپیما با سرانه 3.4	تعداد هواپیما با سرانه 5
1391	205	311
1392	214	320
1393	223	329
1394	232	338
1395	241	347
1396	250	356
1397	259	365
1398	268	374
1399	277	383
1400	286	392
1401	295	401
1402	304	410
1403	313	419
1404	322	428

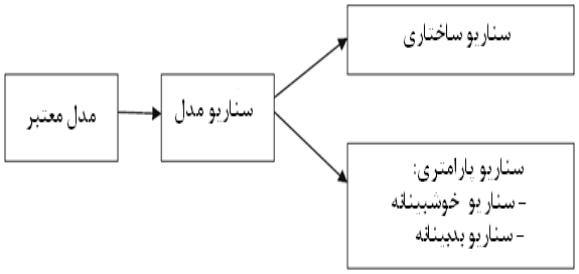
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

همانطور که مشاهده می‌شود، تعداد هواپیماهای موردنیاز تا سال 1400 با تعداد پیش‌بینی شده توسط طباطبائیان و همکارانش متوسط 264)[44] متفاوت است. دلیل این امر درنظرگرفتن تمامی عوامل موجود و اثرگذار بر میزان نیاز هواپیما در مدل ماست؛ درحالی‌که طباطبائیان و همکارانش به‌صورت مجزا به پیش‌بینی پرداخته‌اند.

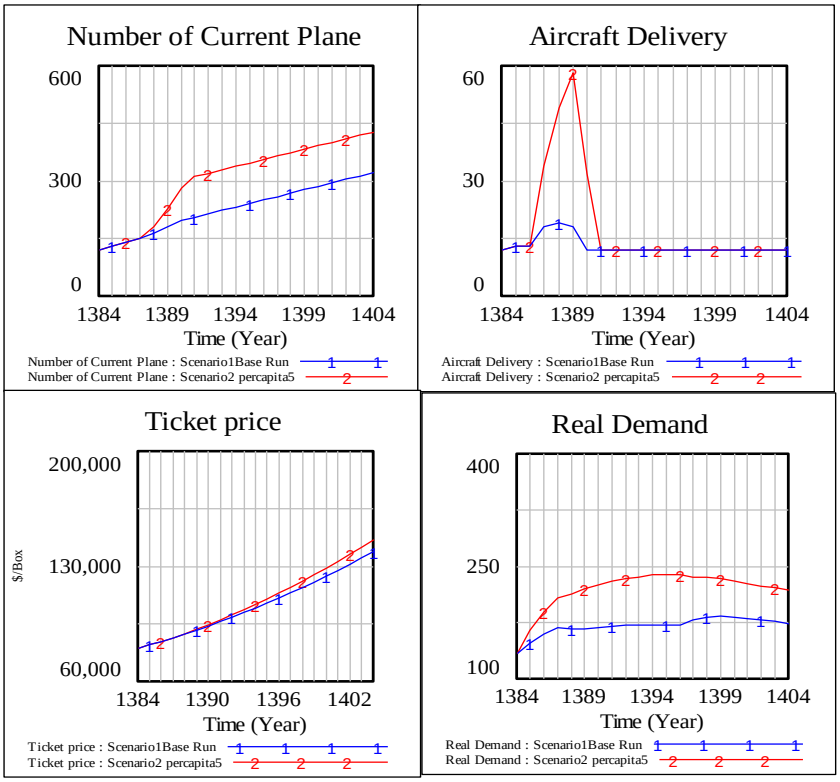
4-3-3- سناریوسازی

میلر و کلارک بیان می‌کنند که دو نوع سناریو داریم: سناریو پارامتری و سناریو ساختاری[۳۳]. سناریو پارامتری با تغییر مقدار پارامترها ساخته می‌شود و سناریو ساختاری با اضافه کردن حلقه های بازخورد علّی، پارامترهای جدید یا تغییر ساختار بارخوردی علّی ایجاد می‌شود[33].



شکل 12: انواع سناریوهای پویایی‌شناسی سیستم‌ها

در این مقاله فقط سناریو پارامتری را مدنظر داریم. به‌عبارت دیگر، سناریو افزایش سرانه هواپیما را بررسی می‌کنیم. در سناریو افزایش سرانه هواپیما این عدد تا سال 1404 به عدد 5 در حالت خوشبینانه رشد می‌کند. شکل شماره 13 رفتار متغیرهای مهم مدل را طبق دو سناریو نشان می‌دهد.



شکل 13: تغییر ساختار مدل تحت سناریو پارامتری

5- نتیجه‌گیری

پیش‌بینی برای برنامه‌ریزی در صنایع امری مهم بوده که این در صنعت هوایی به‌دلیل پیچیدگی و اثرگذاری زمان از اهمیت بیشتری برخوردار است. از طرفی، به‌دلیل فرسودگی ناوگان هوایی و نیاز به توسعه هوایی در ایران، امر برنامه‌ریزی برای تهیه و افزایش ناوگان هوایی در ایران ضرورت بیشتری دارد. لذا هدف این مقاله استفاده از رویکرد شبیه‌سازی پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای بررسی و پیش‌بینی تعداد ناوگان مورد نیاز صنعت هوایی از سال 1384 تا 1404 بود.

بررسی ادبیات موضوع در رابطه با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها در زمینه پیش‌بینی نشان داد که ضمن بی‌میلی اولیه جامعه پویایی شناسی سیستم‌ها در این زمینه اما

33 Parameter scenario, Structure scenario

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به‌دلیل فوایدی چون پیش‌بینی مطمئن، توانمندی این روش در لحاظ کردن نویزها و احتمالات و تحلیل حساسیت اشتیاق به استفاده از این رویکرد روبه افزایش است.

در ادامه در را ستای هدف مقاله، م سئله ا صلی تبیین شد و بیان گردید و سپس براساس تصویر غنی از سیستم و فرضیه پویا برای پیش‌بینی، مدلی با ترکیب چهار زیرمدل شامل مدل تقاضای هواپی‌ما، مدل تهیه هواپی‌ما، مدل قیمت بلیط و مدل بهبود خدمات ساخته شد. سپس با استفاده از تست‌های سازگاری ابعادی، شرایط حدی، تست‌های بازتولید رفتار و مدل بارلاس به مدل اعتبارسنجی گردید. مقایسه نتایج مدل در رابطه با تعداد هواپیماهای موردنیاز تا سال 1400 با تعداد پیش‌بینی شده توسط طباطبائیان و همکارانش[44] نشان داد که نتایج مدل با نتایج آن ها تفاوت دارد که دلیل این امر درنظرگرفتن تمامی عوامل موجود و اثرگذار بر میزان نیاز هواپیما در مدل مقاله حاضر بود که بیانگر برتری نگاه سیستمی در مقابل نگاه جزنگرانه طباطبائیان و همکارانش است. همچنین خروجی مدل های شبیه‌سازی بیانگر موارد زیر بود:

- تقاضا صنعت هوایی رو به افزایش است که این ناشی از رشد اقتصادی، افزایش جمعیت و بد بودن وضعیت سایر وسایل حمل و نقل است.
- تعداد هواپیماهای موردنیاز تا سال 1404 طبق سرانه 3.4 برابر 322 فروند و سرانه 5 برابر 428 فروند است.

هر چند نیاز به ناوگان هوایی و تقا ضا افزاینده ا ست اما نهایتا به دلایل مختلف از جمله محدود بودن بازار ایران این تقاضا در بلندمدت کاهش می‌یابد.

فهرست منابع

[1] حاجی غلام سریزدی، علی؛ رجب زاده قطری، علی؛ م شایخی، علینقی؛ ح سن زاده، علیر ضا؛ **"معمای م سائل دینامیکی: ارائه چارچوبی برای فرایند تعریف م سئله"**، ف صلنامه پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره 21، شماره 2، تاب ستان 1396، صص 1-26، 1396.

[2] حاجی غلام سریزدی، علی؛ منطقی، منوچهر؛ **"طراحی پارک فناوری هوایی با ا ستفاده از رویکرد پویایی شنا سی کیفی سیستم‌ها"**، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره 38، صص 56-39، 1398.

[3] حاجی غلام سریزدی، علی؛ **پویایی شناسی سیستم‌ها و آموزش نرم‌افزارهای مختلف آن به زبان ساده (14 نرم افزار)**، با پیشگفتاری از دکتر علینقی مشایخی، انتشارات دانش ماندگار عصر، چاپ اول، تهران، زمستان 1397.

[4] حاجی غلام سریزدی، علی؛ منطقی، منوچهر؛ **آموزش نرم افزارهای سیستم داینامیک: ونسیم و مپ سیز**، انتشارات الماس البرز، چاپ اول، تهران، پاییز 1392.

[5] حاجی غلام سریزدی، علی؛ منطقی، منوچهر؛ **"تحلیل تاثیر سیاست‌های پارک علم و فناوری یزد بر توسعه فناوری موسسات مستقر در آن با استفاده از رویکرد پویایی های سیستمی"**، فصلنامه علمی - پژوهشی مدیریت نوآوری، سال دوم، شماره 2، تابستان 1392.

[6] حاجی غلام سریزدی، علی؛ منطقی، منوچهر؛ **سیستم داینامیک**، انتشارات الماس البرز، چاپ اول، تهران، پاییز 1392.

[7] حاجی غلام سریزدی، علی؛ منطقی، منوچهر؛ **"تحلیل سودآوری ایرلاین‌های ایرانی با استفاده از پویای شناسی سیستم‌ها"**، دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت صنعتی، مازندران، دانشگاه مازندران، اردیبهشت 1396.

[8] Asadi, E.; "*Flying in the next 100 years; key issues in national aviation companies*", Prepared at the ASME Washington DC Aerospace Division (Report of the Future Commission of the US Aerospace Industry), November 2003, article at the Raha Strategic Management Consulting Institute website, 2008. (http://www.Raha.co.ir)

[9] Bafail, A. O.; Abed, S. Y.; Jasimuddin, S. M.; "*The determinants of domestic air travel demand in the Kingdom of Saudi Arabia*", Journal of Air Transportation World Wide, 5(2), 72–86, 2000.

[10] Barlas, Y.; "*Model validation in system dynamics*", In International system dynamic conference, 1994.

[11] Bastan, M.; Abbasi, E.; Ahmadvand, A. M.; Ramazani Khorshid Dost, R.; *"Bank Customer Simulation Model of Bank Acceptance by Bank Clients Using System Dynamics Approach*", Industrial Management Studies, Vol. 16, Issue 50, pp. 257-284, , Autumn 1977.

[12] Bureau of Information Technology and Statistical Surveys; *National Statistical Yearbook of Aviation in the year 90*, Civil Aviation Agency Website.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[13] Caicedo, S.; Díaz, F. A.; "Too early, too quickly: Impact of short term decisions in fleet renewal programs", the 27th International Conference of the System Dynamics Society, Albuquerque, New Mexico, USA, July 26 – 30, 2009.

[14] Coyle, R.; *System Dynamics Modelling: A Practical Approach*, London: Chapman & Hall, 1996.

[15] Cronrath, E.; "*Understanding the Airline Profit Cycle– Research Approach and First Results*", Contribution to the 13th PhD Colloquium of the Student Chapter of the System Dynamics Society, St. Gallen, Switzerland, July 22, 2012.

[16] Daddy, A.; "*A review of the Iranian aviation industry and the challenges ahead*", 8th Tehran International Management Conference, 2010.

[17] Dadpay, A.; "A Review of Iranian Aviation Industry: Victim of Sanctions or Creation of Mismanagement?", 2010.

[18] Ferreira, P.; "*Systems in Transportation: The case of the Airline Industry*", for ESD.83 – Research Seminar in Engineering Systems, Fall 2001.

[19] Ford, A.*; Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems*, Washington, D.C.: Island Press, 1999.

[20] Forrester, J.; *Industrial Dynamics*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1961.

[21] Forrester, J.; *Principles of Systems*, New York: Wright-Allen Press, Inc., 1971.

[22] Forrester, J.; "*System Dynamics, System Thinking, and Soft OR*", System Dynamics Review, Vol. 10, Issue 2-3, pp. 245-255, 1994.

[23] Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.; "*Gravity models for airline passenger volume estimation*", Journal of Air Transport Management, 13, pp. 175–183, 2007.

[24] IATA's Vision 2050; Summit in Singapore, 12 February 2011.

[25] Jacobs, T.L.; Batra, S.; Purnomo, H.; Dege, K.; Wegner, M.A.; Gulbranson, J.; *Reserve forecasting systems and methods for airline crew planning and staffing*. U.S. Patent Application 10/102,487, 2018.

[26] James, J.; Galvin, Jr.; "*Air traffic control resource management strategies and the small aircraft transportation system: A system dynamics perspective*", Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.

[27] Kleer, B.; Cronrath, E.; Zock, A.; "*Market development of airline companies: A system dynamics view on strategic movements*", The 2008 International Conference of the System Dynamics Society, Athens, Greece, July 20 – 24, 2008.

[28] Liehr, M.; Größler, A.; Klein, M.; "*Understanding Business Cycles in the Airline Market*", the 17th International Conference of the System Dynamics Society and the 5th Australian & New Zealand Systems Conference, Wellington, New Zealand, July 20 - 23, 1999.

[29] Lin, L.; Luo, B.; Zhong, S.; "*Multi-objective decision-making model based on CBM for an aircraft fleet with reliability constraint*", International Journal of Production Research, 1-18, 2018.

[30] Lyneis, J.; "*System dynamics in business forecasting: A case study of the commercial jet aircraft industry*", System Dynamics in Business Forecasting, May 1998.

[31] Lyneis, J.; "*System dynamics for market forecasting and structural analysis*", System Dynamics Review, 16, pp. 3–25, 2000.

[32] Miller, B.; Clarke, J. P.; "*The hidden value of air transportation infrastructure*", Technological Forecasting and Social Science, 74, pp. 18–35, 2007.

[33] Miller, B.; Clarke, J.; "*Investments Under Uncertainty in Air Transportation: A Real Options Perspective*", Journal of the Transportation Research Forum, Vol. 44, No. 1, 2004.

[34] Moghaddam E.; Martinez, A. C.; Koochak- Yazdi, S.; Murad, H.; "*Industry Analysis: The Fastener Supply Chain in Aerospace Industry*", the 30th International Conference of the System Dynamics Society, Gallen, Switzerland, July 22 – 26, 2012St.

[35] Olaya, C.; Díaz, F.; Caicedo S.; "*Towards a System Dynamics Model of De Soto's Theory on Informal Economy*", Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society, Massachusetts Institute of Technology – System Dynamics Group, Boston, MA, USA 2007.
ISBN: 978-0-9745329-7-4.

[36] Pierson, K.; *The Cyclical Nature of Airline Industry Profits*, MIT System Dynamics Group 3nd Year PhD, Albany-MIT PhD Colloquium, Fall 2008.

[37] Pierson, K.; "*Modeling the Cyclical Nature of Aggregate Airline Industry Profits*", MIT Sloan School of Management PhD Candidate, the 27th International Conference of the System Dynamics Society9, Albuquerque, New Mexico, USA, July 26 – 30, 200.

[38] Quan, C.; *Integrated Modeling of Air Traffic, Aviation Weather, and Communication Systems*, Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy in civil and environmental engineering, Blacksburg, Virginia, April 20, 2007.

[39] Sherden, W. A.; *The Fortune Sellers*, New York, John Wiley and Sons, 1998.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[40] Steele, A.; Hollingsworth, P.; "*A Systems Approach to Investigate the Rigidity of Intermodal Transport Systems*", 11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference, including the AIA 20 - 22 September 2011, Virginia Beach, VA, 2011.
[41] Sterman, J.; *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston: McGraw-Hill Publishing, 2000.
[42] Suryani, E.; Chou, S.; Chen, C.; "*Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework*", Expert Systems with Applications, 37, pp. 2324–2339, 2010.
[43] System Dynamics Society (2001) available at http://www.albany.edu/cpr/sds/
[44] Tabatabaei, Seyed Habibollah; et al.; *Identification of aviation industries in the country*, Project Manager: Department of Modern Technology, Department of Technology, Ministry of Industries and Mines, Fall 2009.
[45] The New England Regional Airport System Plan (NERASP); *Understanding Regional Airport System Dynamics Scheduled Passenger Jet Service Airports*, NERASP, Fall 2006.
[46] Urban, M.; Kluge, U.; Plötner, K. O.; Barbeito, G.; Pickl, S.; Hornung, M.; *Modelling the European air transport system: A System Dynamics approach*, Deutsche Gesellschaft für Luft-und Raumfahrt-Lilienthal-Oberth eV, 2017.
[47] Varelis, A. G.; Stamboulis, Y. A.; Adamides, E. D.; "*A life-cycle system dynamics model of aircraft-engine maintenance*", The 20th International Conference of the System Dynamics Society, Palermo, Italy, July 28 - August 1, 2002.

Archive of SID.ir