



## مدلسازی دینامیکی تأثیر گسترش ناوگان بر سود حاصل ایرلاین

بهار دهقانی وینیچه<sup>۱\*</sup>، شیرین دولت‌آبادی<sup>۲</sup>، مرضیه آقایی<sup>۳</sup>

دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف، [bahar.dehqani@gmail.com](mailto:bahar.dehqani@gmail.com)

دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف، [shirindolatabadi@yahoo.com](mailto:shirindolatabadi@yahoo.com)

دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف، [m.aghaei95@gmail.com](mailto:m.aghaei95@gmail.com)

### چکیده

بازار خطوط هوایی همواره سرشار از پیچیدگی بوده و هر تصمیمی در مسیر توسعه خطوط هوایی نیازمند برنامه‌ریزی استراتژیک است. بدیهی‌ست زمانیکه با سیستمی سروکار داریم که در تعامل با انسان‌ها و سرمایه‌های عظیم است، بررسی پارامترهای موثر در برنامه‌ریزی از طریق آزمایش‌های تجربی خطرهای برگشت ناپذیری در پی خواهد داشت. از این رو مدلسازی و شبیه‌سازی ابزارهایی قدرتمند برای مواجه با مسائل مربوط به این حوزه هستند. هدف از این پژوهش ارائه مدلی‌ست که بتواند سود خط هوایی در شرف توسعه ناوگان را پیش‌بینی کند. همچنین بررسی اثر تغییرات رفتار نرخ تقاضا بر سود خط هوایی مطلوب بوده است. ویژگی خاص خط هوایی در حال توسعه مورد نظر محدودیت آن در فرصت سفارش هواپیما به منظور توسعه ناوگان خط هوایی‌ست. پویاشناسی سیستم‌ها ابزاری قدرتمند و مفید برای شبیه‌سازی مسئله مورد نظر ما و تصمیمات مربوط به آن شناخته می‌شود زیرا باعث شناخت ساختارها و روابط نظام مند شکل دهنده رفتار سیستم شده و اجازه می‌دهد که روندی بر پایه تفکر حلقه بسته برای مدلسازی در پیش گرفته شود. با استفاده از روش پویاشناسی سیستم‌ها مدلی ارائه کردیم که رفتار سوددهی هواپیمایی ملی ایران در اثر قرارداد جدید خرید هواپیما را پیش‌بینی میکند. در وهله اول رفتار آینده تقاضا را بدون در نظر گرفتن تغییراتی در سیاست‌های مربوطه لحاظ کرده‌ایم و رفتار کنونی تقاضا پایه‌ای برای تخمین رفتار آینده آن در نظر گرفته شد. نتایج بدست آمده بر این اساس سود بسیار کمی را برای خط هوایی پیش‌بینی میکند. سپس با بررسی رفتارهای محتمل نرخ تقاضا، اثر افزایش تقاضا بر سود نشان داده شد. استفاده از مدلسازی صورت گرفته میتواند به خط هوایی در حال توسعه کمک کند تا با علم بر میزان سود مورد نظر، رفتار بهینه نرخ افزایش تقاضا را شناسایی کرده و سیاست‌های مناسب این مورد را اعمال کند.

**واژه‌های کلیدی:** پویاشناسی سیستم‌ها، توسعه ایرلاین، پیش‌بینی سود، مدیریت ناوگان، مدلسازی.

### ۱- مقدمه

حمل و نقل هوایی به عنوان یکی از ارکان مهم صنعت حمل و نقل و نیز به عنوان شاخص اقتصادی جوامع و از مهم‌ترین ارکان توسعه کشورهای پیشرفته و در حال پیشرفت محسوب می‌شود. خطوط هوایی، در کنار سیستم کنترل ترافیک و فرودگاه‌ها، از بخش‌های اصلی سیستم حمل و نقل هوایی است. رشد سیستم خطوط هوایی نقش مهمی در توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشورها برعهده دارد. خطوط هوایی نه تنها وظیفه حمل و نقل مسافر و کالا را برعهده دارند، بلکه بر اساس گزارش

۱ و \* - نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا گرایش مکانیک پرواز

۲ - کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا گرایش مکانیک پرواز

۳ - کارشناسی مهندسی هوافضا و مهندسی صنایع



سازمان حمل و نقل هوایی بین المللی، این صنعت در حال حاضر از پیشگامان ایجاد شغل و تولید ناخالص در سطح بین‌المللی است [۱]. حلقه های متعدد موثر بر موفقیت یا شکست اقتصادی خطوط هوایی تصمیم‌گیران این حوزه را واداشته تا به دنبال دست یابی به مدلی تجاری باشند که بتواند بقای سود آن‌ها را تضمین کند. [۲]

به عنوان بخشی از سیستم حمل و نقل، خطوط هوایی سیستمی چند بعدی است. در چنین سیستم‌های پیچیده‌ای، مسائل ریشه در ذات سیستم دارند و هر اقدامی برای رفع مسئله در قسمتی از سیستم می‌تواند منجر به مسائلی در قسمت های دیگر سیستم بشود. از این رو، بدون در نظر گرفتن حلقه های ارتباطی و با دیدگاه حلقه باز نمیتوان ارتباط پویا بین اجزاء این سیستم را تشخیص داد و آنچه نیاز است رویکردی سیستمی است. [۳]

برای شناخت دینامیک مسائل مختلف جهان، پروفیسور فارستر<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۱ روش پویاشناسی سیستم ها را معرفی کرد. او با توسعه تئوری ساختار برای سیستمها، روشی را ابداع کرد که با استفاده از آن بتوان ساختارها و روابط نظاممندی که تغییر و تحولات را در نظامهای اقتصادی و اجتماعی به وجود می‌آورند شناسایی کند [۴]. از اولین کاربردهای روش پویاشناسی سیستم‌ها در مسائل مربوط به حمل و نقل میتوان به پژوهش‌های هزل<sup>۲</sup> و درو<sup>۳</sup> اشاره کرد [۵] و [۶]. ترویج کاربرد این روش در مطالعات مربوط به مدلسازی سیستم‌های حمل و نقل (اعم از حمل و نقل شهری، هوایی و ...) منجر به انجام پژوهشی دوره‌ای بر روی کاربردشناسی روش پویاشناسی سیستم‌ها در مدلسازی حمل و نقل شد. [۳]

وقتی با سیستمی به پیچیدگی سیستم حمل و نقل هوایی سر و کار داریم، واضح است که بررسی و تحقیق از طریق آزمایش های تجربی خطرهای برگشت ناپذیر در پی خواهد داشت. در نتیجه توجیه پذیر است که اکثر مطالعات مربوط به سیستم حمل و نقل هوایی بر پایه مدلسازی و شبیه‌سازی استوار باشند. موثر بودن کاربرد پویاشناسی سیستم ها در مطالعات مربوط به توسعه سیستم حمل و نقل هوایی ثابت شده است و تصمیم‌گیران این حوزه ها میتوانند با استفاده از مدلسازی‌های استوار بر این روش، با صرف زمان و هزینه بسیار اندک، نتیجه سیاست‌های مورد نظرشان را پیش بینی کنند. [۷]

پیش بینی تقاضا حمل و نقل هوایی پارامتری مورد نیاز برای طیف وسیعی از تصمیم‌گیری‌های اقتصادی است که از جمله آن‌ها میتوان به تصمیمات مربوط به توسعه ناوگان هوایی یک کشور اشاره کرد. [۸] بدیهی است در اکثر مطالعاتی که بر پایه پویاشناسی سیستم ها بر روی سیستم حمل و نقل هوایی (به طور خاص سیستم خطوط هوایی)، با هدف مدلسازی توسعه سیستم حمل و نقل هوایی انجام شده است، اولین قدم شناسایی تقاضای موجود از خطوط هوایی و همچنین پیش بینی تقاضا در آینده است [۷]، [۹] و [۱۰]. آنچه تصمیم‌گیری مربوط به این حوزه در ایران را از سایر کشورها جدا میکند، عدم امکان سفارش پیوسته ناوگان بر اساس نیاز خطوط هوایی کشور است. به این معنا که شرایط خاص سیاسی محدود کننده خرید هواپیما است و خطوط هوایی کشور ما نمیتوانند بر اساس منابع موجود و طرح توسعه مد نظر بر پایه تقاضای پیش بینی شده، در هر زمان مطلوب و به تعداد بهینه ناوگان خود را توسعه ببخشند. بلکه در این خصوص باید منتظر فرصت های سیاسی پیش رو باشند و نیز به دلیل غیر قابل پیش بینی بودن فرصت های بعدی، قرارداد خرید ناوگان برای تعداد زیادی هواپیما به یک باره بسته میشود.<sup>۴</sup>

<sup>1</sup> Jay W. Forrester

<sup>2</sup> Hazel

<sup>3</sup> Drew

<sup>۴</sup> در حال حاضر توسعه ناوگان هوایی کشور با عقد قرارداد بین ایران ایر و ایرباس مبنی بر خرید ۱۱۸ دستگاه هواپیما آغاز شده است که اولین فروند این هواپیما در دی ماه سال ۱۳۹۵ وارد کشور شد.



هدف از مطالعه پیش رو پاسخ به این مسئله است که با توجه به توسعه ناوگان هواپیمایی کشوری ایران مطابق با آنچه شرح داده شد، اگر سیاست جدیدی مبنی بر تغییر دادن رفتار متغیرهای اصلی سیستم نظیر تقاضا در پیش گرفته نشود، سوددهی خط هوایی چه رفتاری خواهد داشت. همچنین در مرحله بعد تعیین میکنیم که نیاز است تقاضا برای حمل و نقل هوایی به چه اندازه و طبق چه رفتاری افزایش پیدا کند تا توسعه ناوگان منجر به ضرردهی شرکت هواپیمایی ملی ایران (ایران ایر) نشود. و ایران ایر بتواند حاشیه سود مطلوب خود را نگه دارد. پیش بینی افزایش تقاضای مورد نیاز برای دست یابی به این مهم میتواند به هواپیمایی کشوری ایران کمک کند تا تصویری واضح برای اهداف و سیاست گذاری های آتی خود داشته باشد. موفقیت در شکل دهی تحولات آتی مستلزم درک علل تغییر و تحول در گذشته و شناخت ساختارها و روابط ایجاد کننده تحولات است [۴] از این رو در قدم اول تلاش شده با استفاده از ابزار پویاشناسی سامانه‌ها مدل سوددهی ایران ایر، مبتنی بر درآمد ناشی از جابه جایی مسافر و هزینه های عملکردی و غیرمستقیم، با اعمال خرید ناوگان مذکور بدست بیاید.

## ۲- پیشینه تحقیق

در سال های اخیر رشد صنعت حمل و نقل هوایی در کشورهای پیشرفته و در حال پیشرفت، مورد توجه جامعه آکادمیک بوده است. این رشد خود موجب اقبال گسترده مردم به حمل و نقل هوایی شده که توسعه خطوط هوایی را ایجاب می کند. تحقیقات مهمی در سرتاسر جهان انجام شده که هر کدام به روشن کردن قسمتی از پازل مدل حاکم بر توسعه ایران ایر می پردازد. مرجع [۱۲] بر روی گلوگاه جریان مسافر در تعداد زیادی فرودگاه کشور انگلستان، اندازه گیری و پیش بینی انجام داد. پژوهش [۸] به مدلسازی توسعه سیستم حمل و نقل چین پرداخته است. مبنای مدلسازی در این مطالعه تخمین تقاضا در صنعت حمل و نقل چین است تا با توجه به آن مدلی برای گسترش منطقی این سیستم در آینده ارائه شود. مدلسازی در این مرجع با استفاده از ابزار پویاشناسی سیستم ها انجام شده است. در این مدلسازی همانگونه که دید سیستمی ایجاب میکند، نگرش کل نگر بر فعالیت ها، پروسه و طراحی ها حاکم است و بررسی کارآمدی اجزاء در رده های پایین تر دغدغه اصلی پژوهش نیست. در نهایت این مطالعه طرح توسعه ای برای سیستم حمل و نقل چین بر مبنای مدل بدست آمده، ارائه داده است. [۱۳] با استفاده از ابزار پویاشناسی سیستم ها مدلی برای پیش بینی رفتار سیستم کنترل هوایی ارائه داد. این مطالعه پیرو تمرکز تحقیقات بر سیستم حمل و نقل هواپیما کوچک انجام شد و مدلی برای سیستم کنترل هوایی ارائه داد که شامل مردم، تجهیزات، فرودگاه، هواپیما و بودجه سازمان هوانوردی است. در این مطالعه رفتار مدل به ازای ۳ سناریوی مختلف نشان داده شده است.

[۱۴] رساله ای با موضوع آنالیز سیکل سوددهی صنعت خطوط هوایی در روش پویاشناسی سیستم ها انجام شد. در این مطالعه تلاش شد با شناسایی حلقه های سوددهی و دوره آن ها در صنعت خطوط هوایی، دینامیک مالی صنعت خطوط هوایی شناخته شود. در این مدل همانطور که پویاشناسی سیستم ها میگوید، تاخیر در حلقه پسخوران منفی باعث به وجود آمدن نوسان شناخته شده است. مطالعات دیگری نیز در زمینه رفتار نوسانی سیکل سوددهی خطوط هوایی، شناخت علل این رفتار و پیدا کردن پارامترهای موثرتر بر آن انجام شده است که از مهم ترین آن ها میتوان به [۹] و [۱۵] اشاره کرد.

[۱۶] مطالعه ای در زمینه مدلسازی دینامیک حمل و نقل شهری و کاربرد این مدلسازی انجام داد. مدل  $SD^1$  این مطالعه بر ۷ محور اصلی توسعه اقتصادی، جمعیت، تعداد وسایل نقلیه، اثرات محیط زیستی، تقاضای حمل و نقل، عرضه حمل و نقل و تراکم ترافیک استوار است. در این مطالعه نشان داده شد که از آنجا که مردم نقش ایجاد کننده تقاضا برای حمل و نقل را دارند، جمعیت یک فاکتور مهم برای بررسی تقاضای حمل و نقل است.

<sup>1</sup> System Dynamics



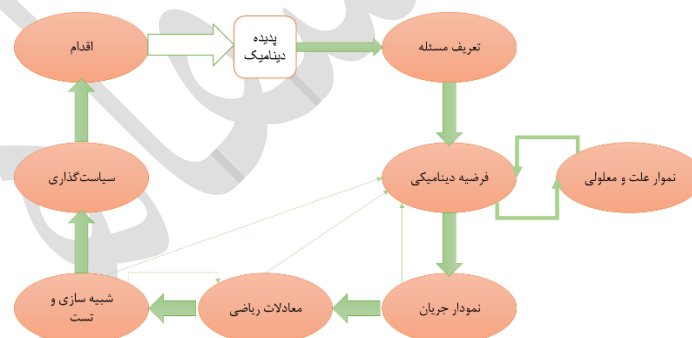
به عنوان بخش مهم دیگری از صنعت حمل و نقل هوایی که در ارتباطی تنگاتنگ با سیستم خطوط هوایی است باید به فرودگاه‌ها اشاره داشت. مراجع [۱۷] و [۱۸] با استفاده از ابزار SD یک مدل جامع برای آنالیز سیستمی عملکرد ترمینال‌های فرودگاه ارائه داده اند که میتواند به تصمیم‌گیران کمک کند تا عملکرد فرودگاه را به طور موثر آنالیز کنند. و با استفاده از همین ابزار مسئله بهبود عملکرد ترمینال‌های فرودگاه را مد نظر قرار داده است و مدلی برای تصمیم‌گیری ارائه کرده است. این مدل پارامترهای مهم بهبود عملکرد (مانند ظرفیت، تاخیر و...) را مد نظر دارد و در عین جامعیت، مدلی انعطاف پذیر است. در این مراجع مورد خاص مورد مطالعه فرودگاه بین‌المللی آتن است.

[۱۹] به مدلسازی مسئله جذب مشتری توسط یک ایرلاین با استفاده از پویاشناسی سیستم‌ها میپردازد. این پژوهش برای مورد فرضی حل شده و هدف آن جذب و نگهداری ۷۰ درصدی جمعیت یک منطقه به عنوان مشتریان یک ایرلاین است.

### ۳- مبانی نظری

#### ۳.۱ مبانی نظری پویاشناسی سیستم‌ها

پویاشناسی سیستم‌ها اولین بار توسط پروفسور فارستر در موسسه فناوری ماساچوستس ابداع شد. این روش بر مبنای تفکر سیستمی استوار است و مراحل برای ساخت و تست یک مدلسازی و شبیه‌سازی کامپیوتری پیشنهاد میدهد. [۲۰] ویژگی‌های اصلی این روش پیچیدگی سیستم مورد بررسی، پویاسیستم (تغییرات سیستم در طول زمان)، و وجود حلقه‌های بسته پسخوران است. یکی از دانشجویان فارستر به نام استرمن در کتابی به نام پویاشناسی کسب و کار که بر اساس پویاشناسی سیستم‌ها استوار است، روشی برای مدلسازی را معرفی کرد که به صورت یک پروسه حلقه بسته بر پایه پند گام انجام میشود و در شکل ۱ نشان داده شده است. [۴]



شکل ۱. گام‌های فرآیند مدلسازی به کمک پویاشناسی سیستم‌ها

گام اول: تعریف مسئله. برای تعریف مسئله در فرآیند مدلسازی پویاشناسی سیستم‌ها ابتدا با مشاهده یک پدیده دینامیکی، مشکلی را معرفی میکنیم که برای حل آن احتیاج به مدلسازی داریم. سپس ابهام در سر راه حل این مشکل بیان میشود به بیان دیگر ابهام در پاسخگویی به این سوال مشخص میشود که "ما چه چیز را نمیدانیم که باعث شده مشکل مطرح شده حل نشود؟" سپس به سراغ تعریف متغیرهای اصلی شرح دهنده مسئله و رفتار متغیرهای اصلی در طول زمان میرویم.

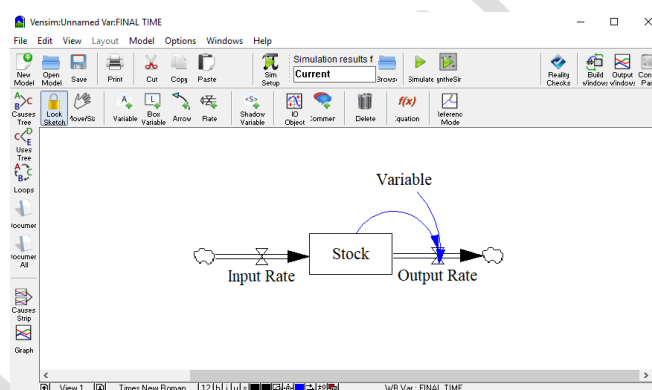
گام دوم: فرضیه دینامیکی و نمودار علت و معلولی. در این مرحله باید مدلی تشریحی ارائه شود که توضیح دهد رفتار متغیرهای مرجع چرا و چگونه به وجود آمده‌اند. در پرداخت فرضیه دینامیکی، استفاده از نظرات خبرگان و توجه به ادبیات موضوع میتواند مفید باشد. در این مرحله همچنین نمودار علت و معلولی مسئله مورد نظر رسم میشود. در این نمودار ارتباط بین



اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

متغیرهای اصلی شرح دهنده مسئله و حلقه‌های موجود در ذات مسئله نمایش داده می‌شوند. فرضیه دینامیکی و نمودار علت و معلولی تکمیل کننده یکدیگر هستند به این معنا که در روند نوشتن فرضیه دینامیکی اگر به نظر برسد پارامتری در تشریح مسئله اهمیت دارد که در نمودار علت و معلولی موجود نیست، آن پارامتر اضافه می‌شود و از طرفی در روند کشیدن نمودار علت و معلولی بر اساس فرضیه دینامیکی هر جا احساس شد نقش یک متغیر که در نشان دادن ارتباطات مهم است در مدل تشریحی جا افتاده است، توضیحات مربوط به آن متغیر اضافه می‌شود.

گام سوم: نمودار جریان. در این مرحله کار اصلی مدلسازی آغاز می‌شود و نمودار جریان متشکل از متغیرهای نرخ و حالت و ارتباط بین آن‌ها شکل می‌گیرد. برای این مرحله از نرم افزارهای گوناگونی استفاده می‌شود که در مطالعه پیش رو از نرم افزار ونسیم<sup>۱</sup> استفاده شده است. المان‌های اصلی مدلسازی در این نرم افزار متغیرهای نرخ، متغیرهای حالت، متغیرهای کمکی و لینک‌های ارتباط دهنده هستند.



شکل ۲. محیط کاربری نرم‌افزار ونسیم

گام چهارم: معادلات ریاضی. برای تعریف یک مدلی دینامیکی، بعد از اینکه نمودار علت معلولی را در فضای نرم افزار به نمودار جریان تبدیل شد، باید توضیحات مربوط به مسئله نیز به زمان ریاضیات تبدیل شود. در این مرحله لازم است برخی پارامترها، رفتارها و روابط حاکم بر آن‌ها و مقادیر اولیه تخمین زده شوند. نوشتن به زبان ریاضیات می‌تواند اشکالات موجود در مدل را مشخص کند که لازم است به مراحل قبل برگشته و اشکالات اصلاح گردند.

گام پنجم: شبیه سازی و تست. هدف از این مرحله بدست آوردن رفتارهای خروجی از شبیه‌سازی و مقایسه آن‌ها با رفتارهای سیستم در واقعیت است.

گام ششم: سیاست‌گذاری و اقدام. پس از اینکه مدلساز نسبت به ساختار و رفتار مدل اطمینان حاصل کرد، می‌توان از نتایج کار برای طراحی سیاست استفاده کرد. شایان ذکر است که در این گام باید به اندرکنش بین سیاست‌ها توجه کرد زیرا به دلیل غیر خطی بودن دنیای واقعی، نتیجه ترکیب سیاست‌ها را نمی‌توان به سادگی با جمع اثر تک تک آن‌ها یکسان دانست.

گام‌های معرفی شده برای مدلسازی به وسیله پویاشناسی سیستم‌ها برای طیف وسیعی از مسائل به کار می‌رود که از جمله آن‌ها می‌توان به پیش‌بینی رفتار پارامترهای مهم در صنعت حمل‌ونقل هوایی اشاره کرد.

<sup>1</sup> Vensim



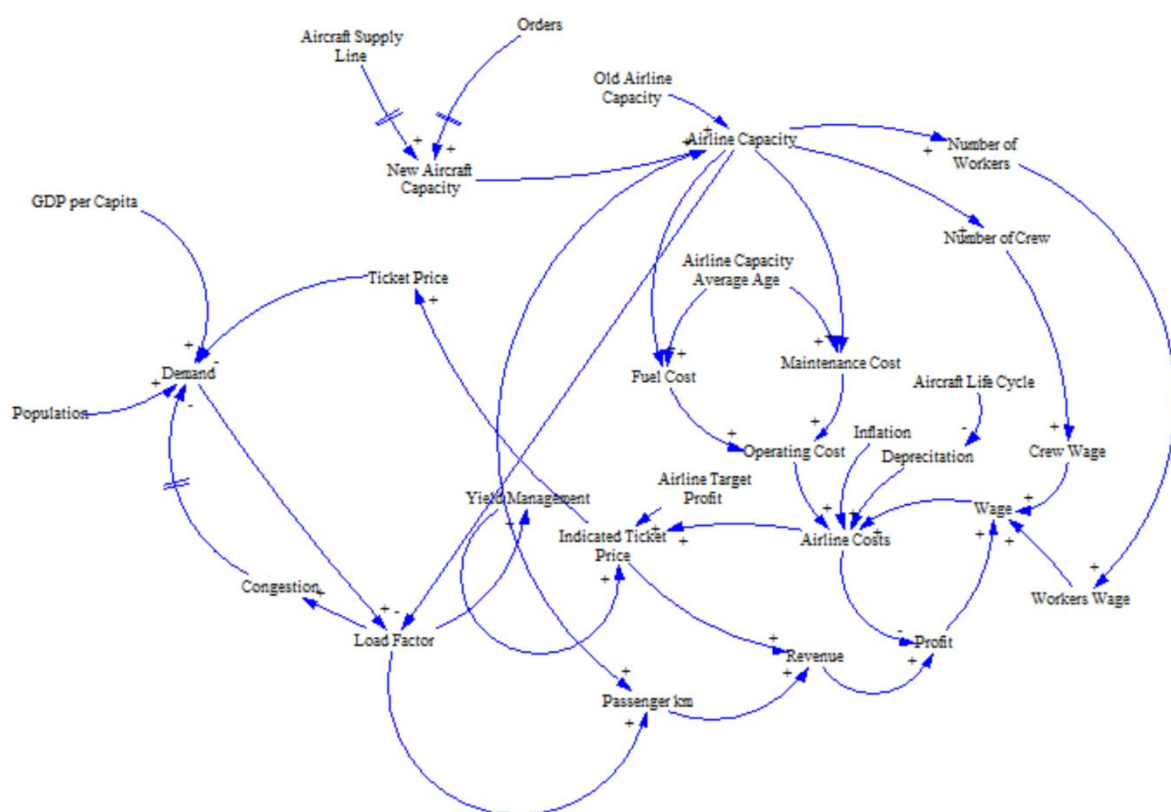


اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

استفاده از پویاشناسی سیستم‌ها برای "پیش‌بینی" بازار توسط لنایس<sup>۱</sup> مطالعه شد. او معتقد بود که ساختارهای بدست آمده از این روش، در مقایسه با مدل‌های آماری، تصویر دقیق‌تری از رفتارها در آینده ارائه می‌دهد. این موضوع با آنچه در کتاب پویایی‌شناسی کسب‌وکار آمده‌است، همخوانی دارد: رفتار پویای یک سیستم، ریشه در ارتباطات بین اجزاء متعدد آن سیستم در طول زمان دارد [۴]. لنایس مدلی پویا برای پیش‌بینی تقاضا در صنعت هواپیمای مسافربری ارائه کرد. [۲۱] و [۲۲]

### ۳،۲ نمودار علت و معلولی

مراحل مدلسازی در این پژوهش طبق گام‌هایی که در روش‌شناسی تحقیق آورده شد، انجام شده است. در شکل ۳ نمودار علت و معلولی حاکم بر مسئله مشاهده می‌شود.



شکل ۳. نمودار علت و معلولی مسئله: شمایی کلی از مرز سیستم و ساختار پسخوران آن

حلقه‌های پسخوران اصلی در ساختمان این پدیده دینامیک ۲ حلقه منفی مربوط به تقاضا و ۳ حلقه مربوط به سود است. حلقه‌های مربوط به تقاضا دو حلقه منفی شامل حلقه تراکم و حلقه قیمت‌گذاری شناور هستند. حلقه منفی تراکم باعث می‌شود افزایش تقاضا برای حمل و نقل از یک خط هوایی در اثر افزایش ضریب بار کنترل شود به این صورت که افزایش ضریب بار موجب ازدحام می‌شود. ازدحام از طریق تاخیر پروازها بر زمان انتظار مسافران اثر می‌گذارد [۲۳]. افزایش زمان انتظار مسافران اقبال مردم را کم کرده و تقاضا را کاهش می‌دهد. [۲۴] قیمت گذاری شناور باعث ایجاد یک حلقه منفی بر روی تقاضا می‌شود [۱۱] به این صورت که زیاد شدن تقاضا، زیاد شدن ضریب بار را در پی دارد که در قیمت گذاری شناور باعث افزایش قیمت بلیط

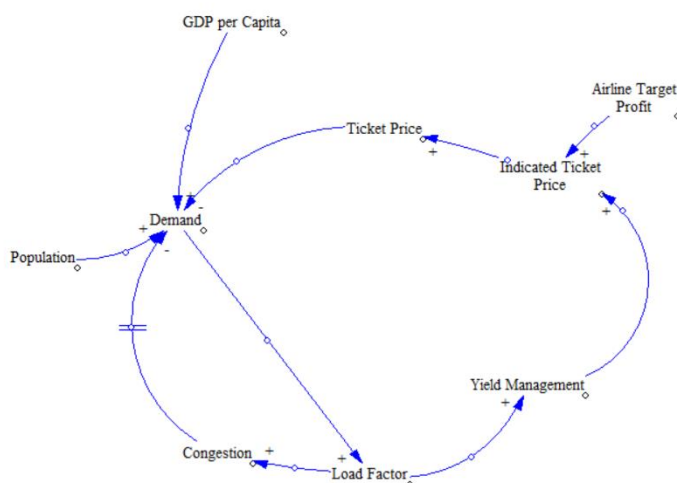
<sup>1</sup> Lyneis



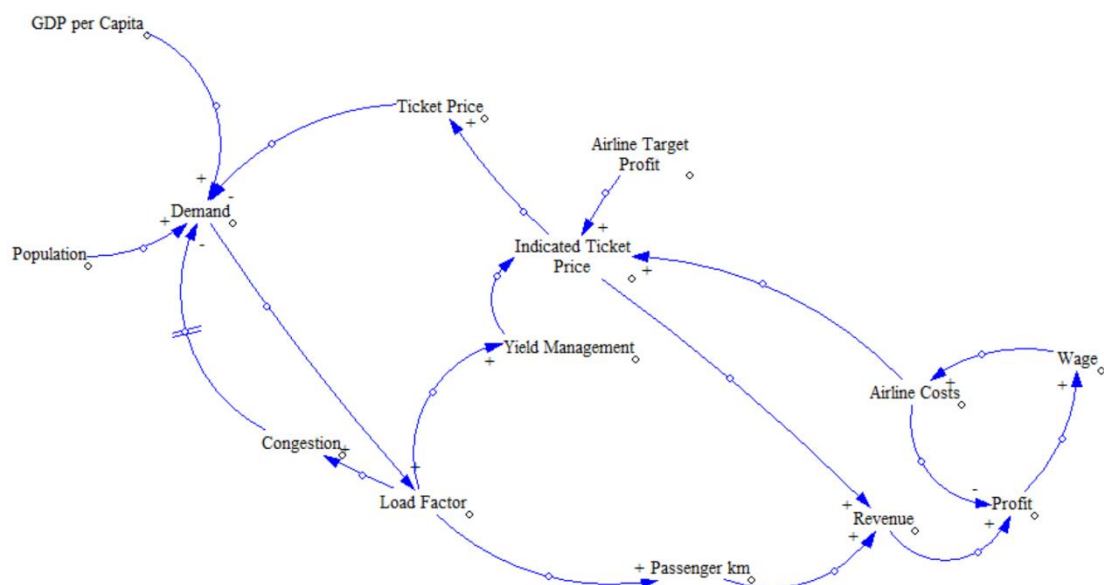
اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

می‌شود و این افزایش قیمت خود اثر منفی در تقاضای مسافران دارد. در شکل ۴ میتوان حلقه های منفی شامل تقاضا را مشاهده کرد.

سود در سه حلقه پسخوران مشاهده می‌شود. حلقه اول یک حلقه پسخوران منفی است که شامل اثر سود بر هزینه می‌شود و طبق مکانیزمی که در نمودار مشخص شده است، افزایش سود از طریق اثرگذاری بر میزان دستمزد، موجب افزایش هزینه می‌شود و طبیعتاً افزایش هزینه نیز موجب کاهش سود می‌گردد. دو حلقه بعدی را در واقع میتوانیم حلقه های مثبت و منفی اثر گذار بر درآمد بدانیم که در اثر افزایش هزینه ناشی از افزایش سود (همانطور که در بالا گفته شد) به وجود آمده‌اند. کارکرد حلقه مثبت اثرگذار بر درآمد به این صورت است که با افزایش هزینه ها، طبق قیمت گذاری شناور، قیمت بلیط افزایش می‌یابد که موجب افزایشی در درآمد میشود. از طرفی مطابق با آنچه برای حلقه قیمت گذاری شناور اثرگذار بر تقاضا گفته شد، عملکرد حلقه منفی اثرگذار بر درآمد به این شکل است که در اثر افزایش قیمت بلیط تقاضا نیز کاهش می‌یابد که اثری منفی بر درآمد دارد. در شکل ۵ برشی از نمودار علت و معلولی که حلقه های شامل سود را نشان میدهد، مشاهده می‌شود.



شکل ۴. حلقه‌های پسخوران شامل تقاضا (قسمتی از نمودار علت و معلولی)



شکل ۵. حلقه‌های پسخوران شامل سود و تقاضا

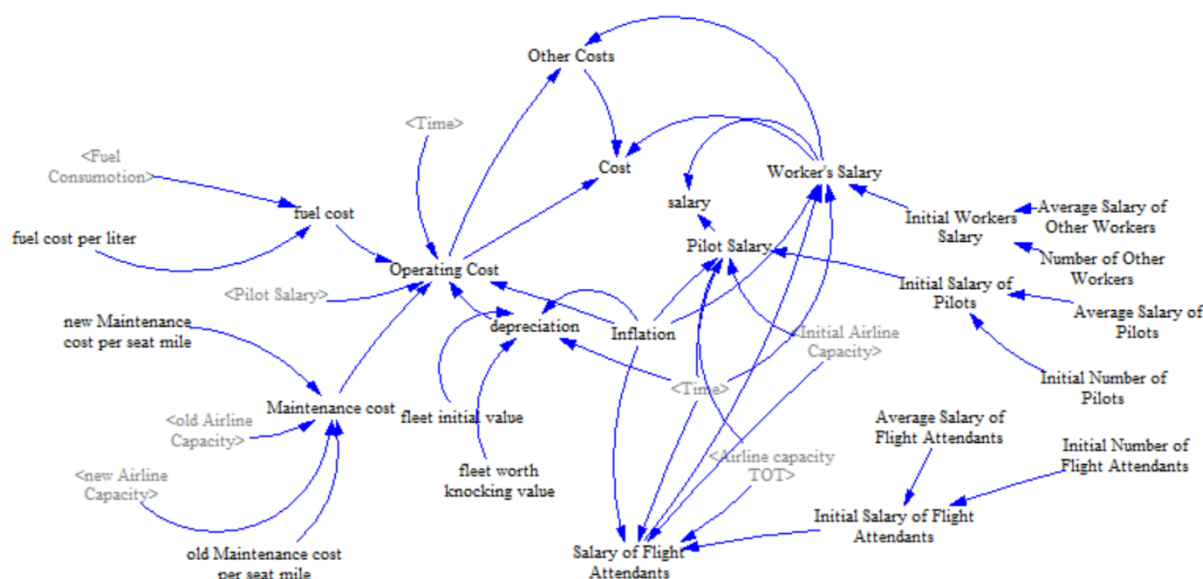
### ۳,۳ نمودار جریان

مطابق با گام سوم روند مدل‌سازی در پویاشناسی سیستم‌ها، بعد از اطمینان از مناسب بودن نمودار علت و معلولی برای مسئله مورد نظر، به سراغ مدل‌سازی آن در نرم افزار ونسیم رفتیم. مدل جریان بدست آمده از ۴ بخش اصلی تشکیل شده است که به توضیح هر کدام می‌پردازیم.

#### ۳,۳,۱ مدل‌سازی هزینه‌ها

هزینه‌های صنعت حمل‌ونقل هوایی متشکل است از سه دسته حقوق و دستمزد، استهلاک ناوگان و هزینه‌های عملیاتی. شکل ۶ نمودار جریان مربوط به هزینه را نشان می‌دهد. در ادامه توضیح مربوط به قسمت مدل‌سازی هزینه آمده است.





شکل ۶. نمودار جریان مربوط به هزینه‌های ایرلاین

حقوق و دستمزد: عملیات هر هواپیما نیازمند حضور کادر پروازی است، در نتیجه تعداد افراد کادر پروازی دارای ارتباط مستقیم با ظرفیت ناوگان خواهد بود، اما تاثیر افزایش ظرفیت ناوگان بر تعداد کارکنان سایر بخش‌ها ناچیز بوده و در این مدل سازی از آن صرف نظر شده است. تورم عامل دیگری است که در طول زمان موجب تغییر سطح حقوق یک سازمان خواهد شد. با اعمال تاثیر دو عامل مذکور درآمد کارکنان طبق فرمول ۱ محاسبه می‌شود.

$$\text{Salary} = \left( \frac{\text{AirlineCapacityTOT}}{\text{InitialAirlineCapacity}} \right) \times \text{InitialCrewSalary} \times (1 + \text{inflation})^{\text{year}} \quad (1)$$

$$+ \text{InitialWorkerSalary} \times (1 + \text{inflation})^{\text{year}}$$

در فرمول بالا، Airline Capacity TOT مجموع ظرفیت ناوگان فعال ایرلاین در هر زمان می‌باشد. هزینه‌های عملیاتی: این دسته هزینه متاثر از هزینه سوخت، هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه استهلاک است. عوامل تاثیرگذار بر هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه سوخت شامل ظرفیت ناوگان، تکنولوژی ناوگان، میزان فرسودگی آن، قیمت سوخت و قیمت ارائه خدمات مربوطه است. به طور میانگین عمر عملیاتی یک هواپیما ۲۵ سال است و پس از آن ارزش هواپیما معادل ارزش اسقاط آن خواهد بود. بر همین مبنا هزینه استهلاک سالانه ناوگان از روش مبنی بر وجوه استهلاکی<sup>۱</sup> در فرمول ۲ محاسبه شده است.

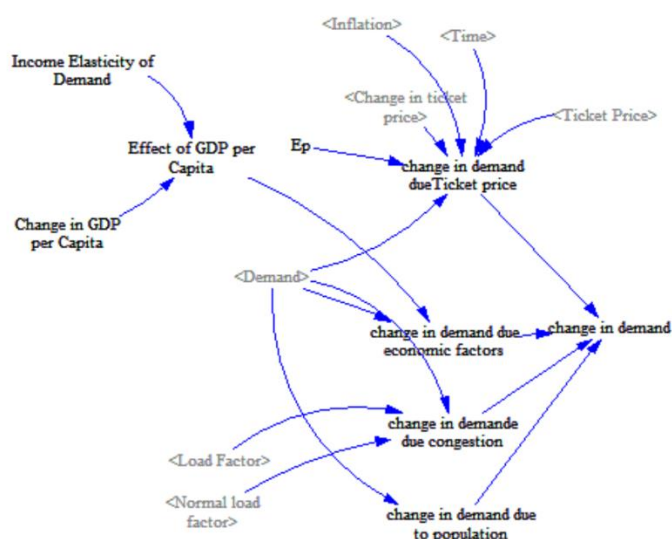
$$\text{depreciation} = (\text{FleetInitialValue} - \text{FleetWorthKnockingValue}) \times \left( \frac{A}{P}, 0.1, 25 \right) \times (1 + \text{inflation})^{\text{time}} \quad (2)$$

<sup>1</sup> Sinking fund depreciation



۳,۳,۲ مدل سازی تقاضا

تقاضا از عوامل اصلی تاثیرگذار بر درآمد است، نرخ تغییر این عامل برای صنعت حمل و نقل از مجموع تاثیر پارامترهای قیمت بلیط، سرانه تولید ناخالص ملی، ازدحام خطوط هوایی و جمعیت حاصل می‌شود. نحوه‌ی مدل سازی تقاضا در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷. نمودار جریان مربوط به تغییرات تقاضا

سطح رفاه اجتماعی بر تقاضای جمعیت برای استفاده از خطوط هوایی در سفرها تاثیرگذار است. سرانه تولید ناخالص ملی معیاری از سطح رفاه اجتماعی است و طبق رابطه ۳ بر تقاضا تاثیرگذار است. [۱۱]

$$ChangeinDemandDueEconomicFactors = ChangeinGDPperCapita^{IncomeElasticityofDemand} \times Demand \quad (3)$$

در صورت افزایش تقاضا و افزایش ضریب بار<sup>۱</sup> خطوط هوایی احتمال یافتن بلیط برای یک مسافر در پرواز مورد نظر او کاهش می‌یابد، همچنین افزایش ازدحام بر کیفیت خدمات ارائه شده تاثیرگذار است. بدین طریق ازدحام خطوط بر مطلوبیت مسافران تاثیر خواهد گذاشت. این عامل بر طبق مدل لوجیت<sup>۲</sup> [۲۴] حمل و نقل به صورت نمایی بر تقاضا تاثیرگذار خواهد بود.

$$change\ in\ demande\ due\ congestion = (e^{\left(\frac{LoadFactor}{NormalLoadFactor} - 1\right)} - 1) \times Demand \quad (4)$$

جمعیت کشور با نرخ رشد ۳ درصد در سال در حال افزایش است که بدین طریق موجب رشد تقاضای سفرهای هوایی با نرخی مشابه خواهد شد.

<sup>1</sup> Load Factor

<sup>2</sup> Logit



۳،۳،۳ مدل‌سازی سود

سه عامل تقاضا، هزینه و نرخ بلیط تعیین کننده میزان سود بخش مسافربری صنعت حمل و نقل هوایی خواهند بود که از این میان چگونگی مدل‌سازی تقاضا و هزینه پیش تر توضیح داده شده‌است. در این بخش نحوه تغییرات نرخ بلیط مورد توجه قرار خواهد گرفت.

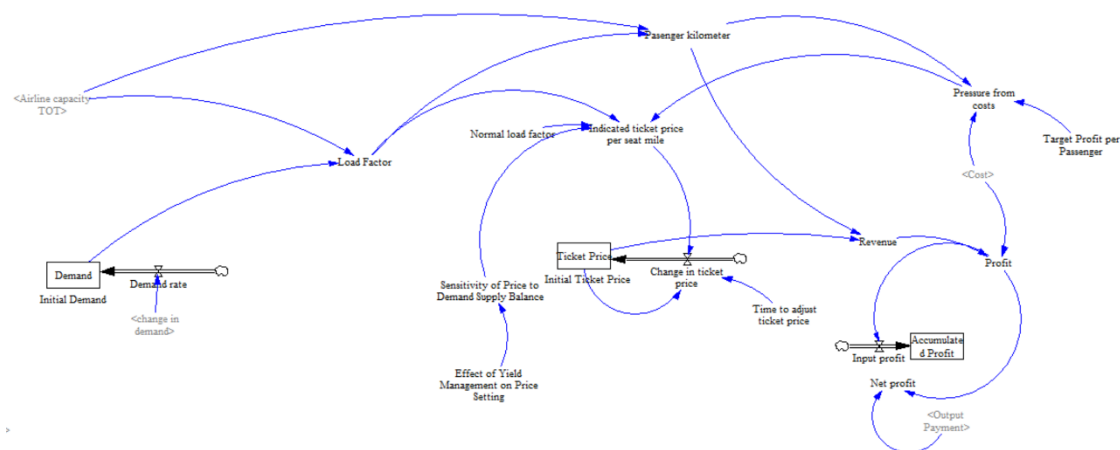
نرخ بلیط به طور اولیه با توجه به هزینه‌های ایرلاین و حاشیه سود مورد انتظار محاسبه می‌گردد، اما در شناوری نرخ‌ها عاملی که علاوه بر حاشیه سود و هزینه‌ها مورد نظر قرار داده می‌شود میزان تقاضا است. بدین طریق با افزایش تقاضا نرخ بلیط نیز افزایش خواهد یافت تا به نقطه تعادلی که در آن میزان ظرفیت عرضه شده با تقاضا برابر خواهد بود، برسد. در نتیجه نرخ تغییرات بلیط بر حسب صندلی-کیلومتر بر طبق رابطه ۵ تعیین می‌گردد که در عمل اجرایی کردن آن با تاخیر همراه خواهد بود. [۱۱]

$$\left( \frac{LoadFactor}{NormalLoadFactor} \right)^{Sensitivity\ of\ Price\ to\ Demand\ Supply\ Balance} \times Pressure\ from\ costs\ per\ seat.km \quad (5)$$

تأثیرات قیمت بلیط از طریق کشش تقاضا نسبت به قیمت بر طبق فرمول ۶ محاسبه می‌شود.

$$Change\ in\ demand\ due\ ticket\ price = -Ep \times (Demand/Ticket\ Price) \times Change\ in\ ticket\ price \quad (6)$$

قیمت بلیط متأثر از نرخ تغییر قیمت ارائه خدمت توسط خطوط هوایی و تاخیر در اعمال این تغییر است. آن چه که بر قیمت ارائه خدمت تأثیر می‌گذارد حاشیه سود مورد نظر، میزان تقاضا و نیز میزان هزینه‌های خطوط هوایی است. نحوه تأثیرگذاری این عوامل در شکل ۸ مشخص شده‌است.



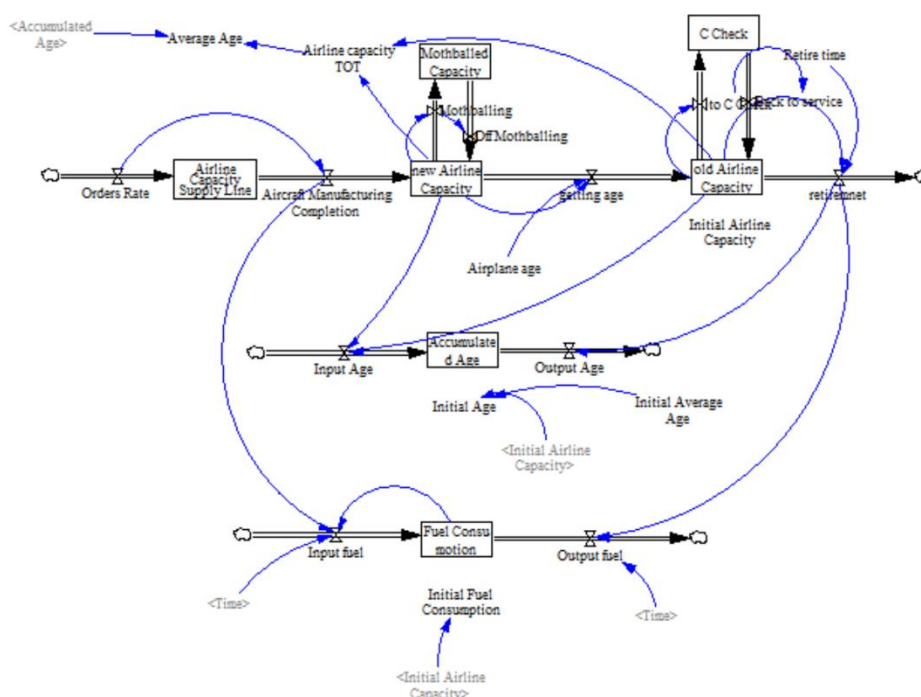
شکل ۸. نمودار جریان مربوط به سود و قیمت بلیط

<sup>1</sup> Ep: Elasticity of Demand to Price



۳,۳,۴ پارامترهای ناوگان

ظرفیت ناوگان از طریق ظرفیت ارائه شده به مسافری و ضریب بار بر میزان درآمد تاثیرگذار خواهد بود. نرخ افزوده شدن ناوگان نیز با توجه قرارداد ایران ایر اعمال شده است. از سوی دیگر ناوگان جدید به دلیل سطح تکنولوژی و نیز پایین بودن میزان استهلاک آن مصرف سوخت و هزینه تعمیر و نگهداری خواهد شد که این عامل در طول زمان و با فرسوده شدن آن افزایش می یابد. برای مدل سازی این پارامترها ظرفیت ناوگان، میزان سوخت مصرفی و سن ناوگان به صورت متغیرهای حالت در مدل مورد بررسی قرار گرفته اند که نمودار جریان مربوط به آن در شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۹. نمودار جریان مربوط به پارامترهای ناوگان

#### ۴- بررسی و تحلیل داده ها

پس از جایگزینی داده های مرتبط با شرکت هواپیمایی ملی ایران از سال ۱۳۹۴ و با در نظر گرفتن ورود ناوگان جدید از سال ۱۳۹۶ طی ده سال در مدل ساخته شده نتایج توضیح داده شده در هر بخش حاصل شد.

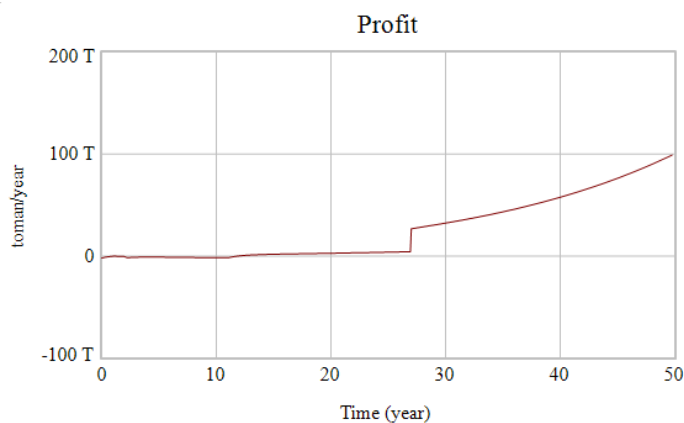
#### تغییرات سود و قیمت بلیط

مطابق شکل ۱۰ مشاهده می شود که سود هواپیمایی ایران ایر در ابتدا منفی اما صعودی است. روند صعودی ابتدایی به دست آمده در مدل، ناشی از سیاست افزایش قیمت بلیط بر اساس مقدار هزینه است که در شکل ۱۱ نشان داده شده. سود ایرلاین پس از خرید هواپیماها به دلیل تحمیل هزینه های ناشی از ورود ناوگان جدید، روندی نزولی پیدا می کند اما از سال دوازدهم همزمان با خرید آخرین هواپیما بار دیگر روند صعودی خود را ادامه می دهد و پس از طی یک سال، به سود مثبت دست پیدا می کند. این روند تا سال بیست و هفتم موعود اتمام پرداخت اقساط هواپیماهای خریداری شده - که به صورت هزینه استهلاک سرمایه<sup>۱</sup> لحاظ شده است - ادامه دارد. اتمام پرداخت اقساط در بازه ای کوتاه باعث افزایش ناگهانی سود می گردد. دقت شود که

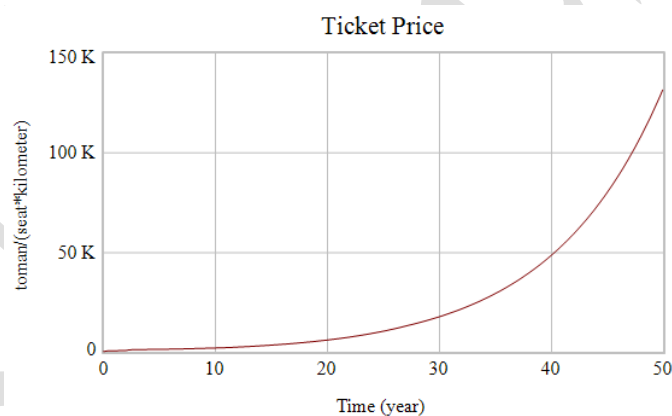
<sup>۱</sup> Depreciation Cost



در این زمان، فشار ناشی از هزینه نیز صفر خواهد شد ولی عدم تغییر ناگهانی قیمت بلیط نشان می‌دهد که قیمت بلیط بیشتر تحت اثر تورم بوده است تا فشار ناشی از هزینه.



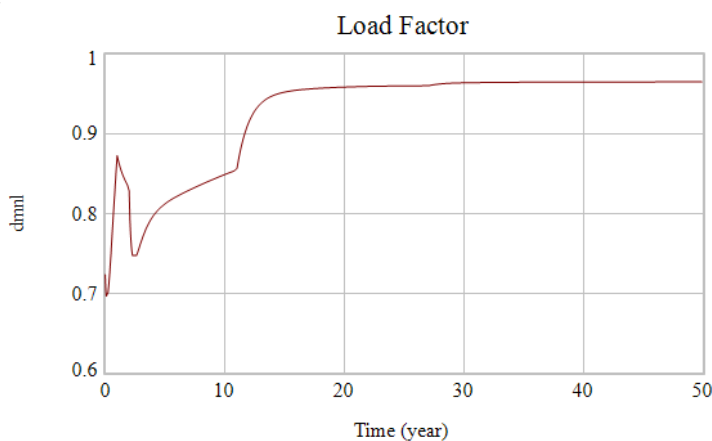
شکل ۱۰. رفتار سود ایرلاین پس از ورود ناوگان



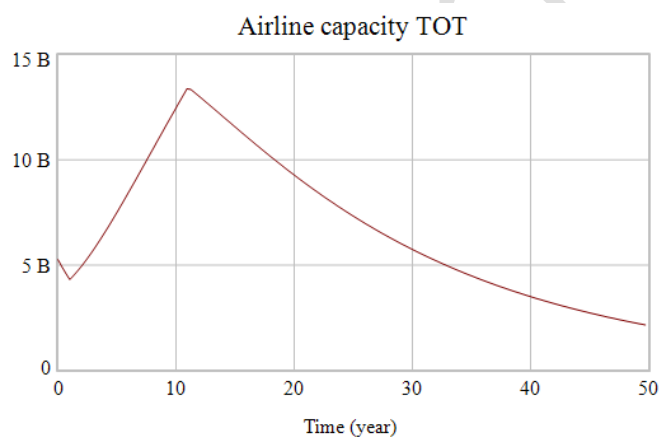
شکل ۱۱. تغییرات قیمت بلیط هواپیما در هر کیلومتر

#### تغییرات ضریب بار

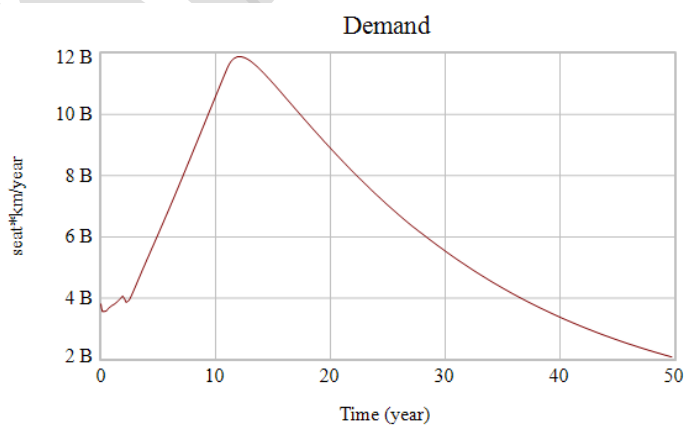
در نمودار شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که در ابتدا میزان ضریب بار به دلیل خروج ناوگان فرسوده بدون جایگزینی بالا می‌رود. پس از ورود ناوگان نو به دلیل افزایش ظرفیت حمل مسافر، که در شکل ۱۳ آورده شده، این مقدار تا حدود ۰,۷۵ کاهش پیدا می‌کند اما با گذر زمان با بالا رفتن مقدار تقاضا (شکل ۱۴) این مقدار افزایش می‌یابد. در سال دوازدهم رفتار تقاضا برای مدت کوتاهی به صورت ثابت باقی می‌ماند اما ناوگان قدیمی ایرلاین در حال بازنشستگی است که رفتار آن با ظرفیت در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در نتیجه رشد ضریب بار افزایش می‌یابد تا آن که مقدار این ضریب به تعادلی نسبی می‌رسد.



شکل ۱۲. نمودار تغییرات ظرفیت بار در طول زمان



شکل ۱۳. نمودار تغییرات ظرفیت ایرلاین در طول زمان



شکل ۱۴. نمودار تغییرات تقاضا در طول زمان

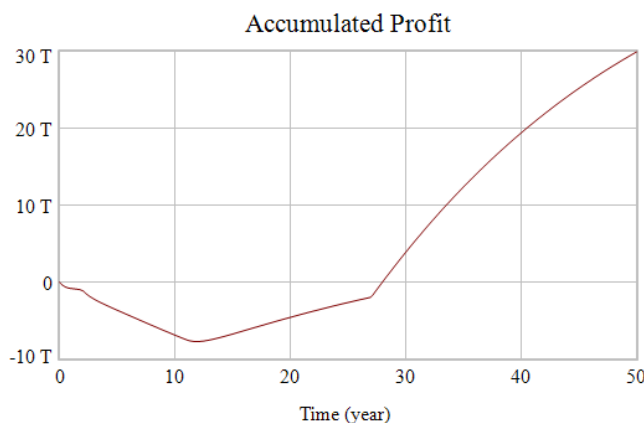
سود تجمعی





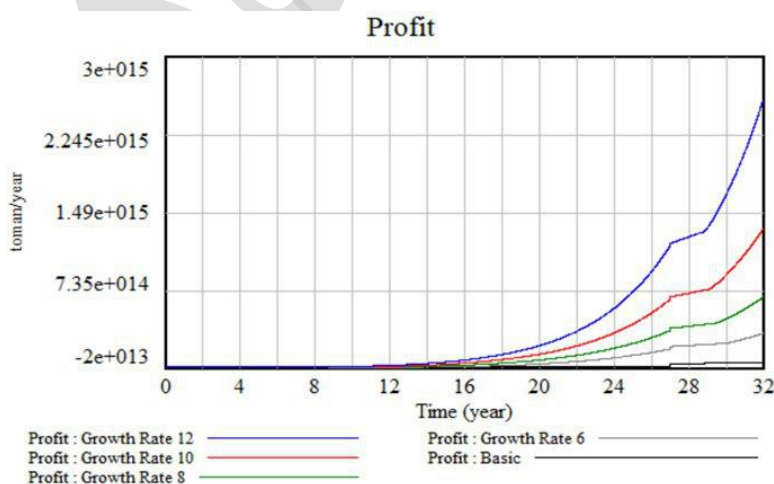
اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

در بررسی نمودار سود تجمعی (شکل ۱۵) مشاهده می‌شود در سال دوازدهم شرکت هواپیمایی دچار بدهی با مبلغ معادل حدود دوازده هزار میلیارد تومان سال ۱۳۹۴ خواهد شد. این بدهی پس از بیست سال - یعنی در سال سی و دوم - با سودی که از ایرلاین به دست می‌آید جبران خواهد شد. اما به دلیل طولانی بودن این زمان شرکت هواپیمایی ایران ایر برای خرید چنین ناوگانی نیاز به تامین هزینه از منابع خارجی دارد.



شکل ۱۵. نمودار سود تجمعی

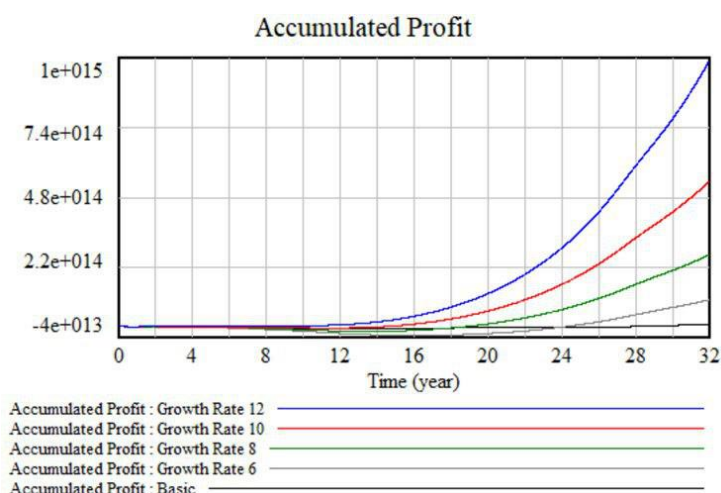
نتیجه‌ی حاصل در شکل ۱۵ با تخمین نرخ افزایش تقاضا از طریق اعمال فاکتورهای معرفی شده در بخش ۳،۳،۲ حاصل شده‌است. توجه به این نکته لازم است که به کارگیری استراتژی‌های گوناگون با تغییر نرخ افزایش تقاضا منجر به تغییر میزان سود خواهد شد. مطابق با هدف فرعی معرفی شده، آن چه که در این بخش مورد بررسی قرار خواهد گرفت رفتار سود در نتیجه‌ی اعمال نرخ‌های متفاوت افزایش تقاضا است که برای حصول آن‌ها باید استراتژی متناسب به کار گرفته شود. تغییرات سود و تغییرات سود تجمعی به ازای نرخ‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد به ترتیب در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ مشخص شده‌است.



شکل ۱۶. میزان سود برحسب نرخ‌های مختلف افزایش تقاضا



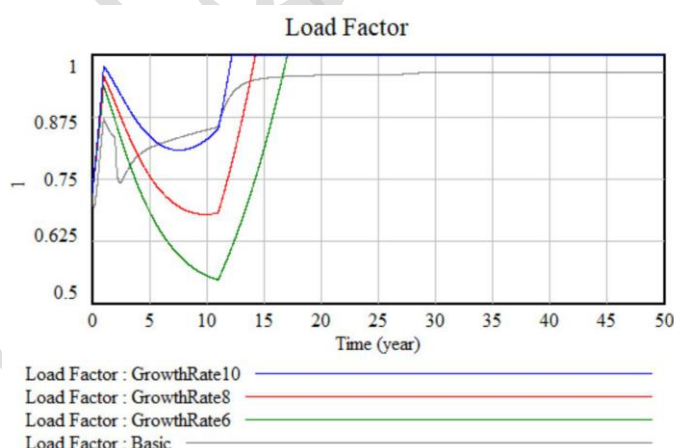
اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



شکل ۱۷. میزان سود تجمعی بر حسب نرخ‌های مختلف افزایش تقاضا

بر این اساس میزان سود سالانه با توجه به نتایج مدل‌سازی تقاضا در بخش ۴،۲،۲ و نیز نرخ‌های ۶، ۸ و ۱۰ درصد به ترتیب در سال‌های یازدهم، شانزدهم، سیزدهم و یازدهم میزانی مثبت خواهد یافت، این زمان برای میان سود تجمعی به ترتیب سی، بیست و چهار، هیجده و چهارده سال خواهد بود.

لازم به ذکر است که بر طبق فرضیات مدل در طی این دوره‌ی زمانی ظرفیتی به جز آن‌چه که در قرار داد فعلی با ایرباس منظور شده به ناوگان افزوده نخواهد شد. با توجه به این ظرفیت چنان که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود برای نرخ‌های رشد ۶، ۸ و ۱۰ درصد ضریب بار با گذشت زمان به ۱ خواهد رسید و افزایش درآمد تنها از طریق شنواری قیمت‌ها با توجه به نسبت تقاضا به ظرفیت موجود ادامه خواهد یافت.



شکل ۱۸. ضریب بار بر حسب نرخ‌های مختلف افزایش تقاضا

### اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی مدل عملکرد شرکت هواپیمایی آلمانی لوفتانزا از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ شبیه‌سازی شد. داده‌های حقیقی از میزان درآمد، سود، تقاضا و عرضه در گزارش‌های سالیانه در تارنمای این شرکت موجود است. مقادیر گزارش شده در جدول ۱



اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

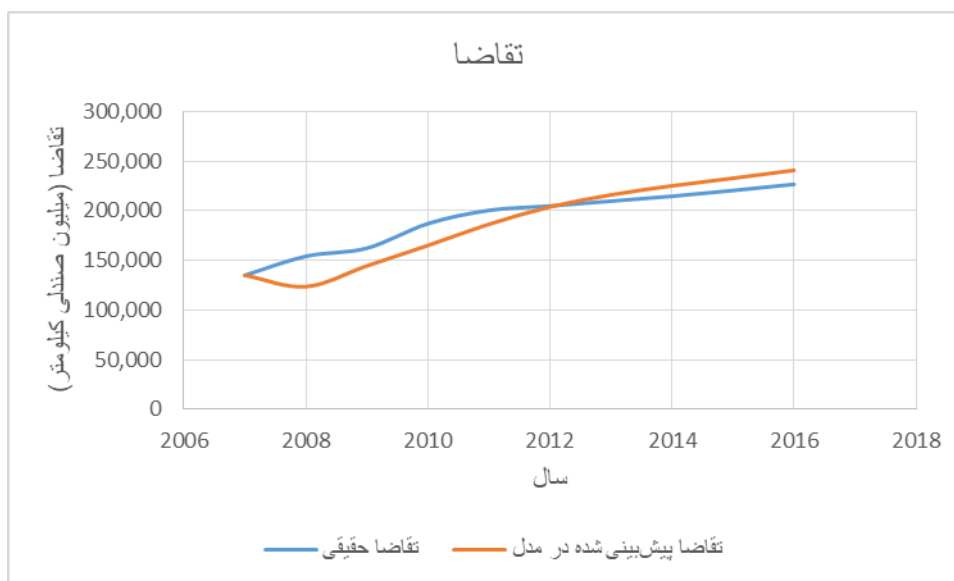
آمده است. به دلیل وجود داده صندلی کیلومتر عرضه شده برای این شرکت هواپیمایی، ناوگان این هواپیمایی در طی زمان با داده‌های موجود به مدل وارد شد.

جدول ۱ داده‌های مربوط به هواپیمایی لوفتانزا

سال	صندلی کیلومتر عرضه شده (میلیون)	صندلی کیلومتر خریداری شده (میلیون)	درآمد کسب شده از پروازها (میلیون یورو)	قیمت بلیط در هر صندلی کیلومتر (یورو)	سود حاصل از پروازها (میلیون یورو)
2007	169,108	135,011	13,522	0.100154802	1,586
2008	195,431	154,156	14,133	0.091679857	-۲۲۱
2009	۲۰۸,۲۲۶	162,286	11,970	0.073758673	-۴۰۴
2010	235,837	187,000	13,525	0.072326203	230
2011	258,263	200,394	15,179	0.075745781	-۱۶۹
2012	259,861	204,775	15,964	0.077958735	-۳۸۰
2013	262,682	209,652	14,818	0.07067903	24
2014	268,104	214,641	14,569	0.067876128	-۱۰۱۲
2015	273,975	220,396	15,314	0.06948402	614
2016	286,555	226,633	14,063	0.062051864	849

### تقاضا

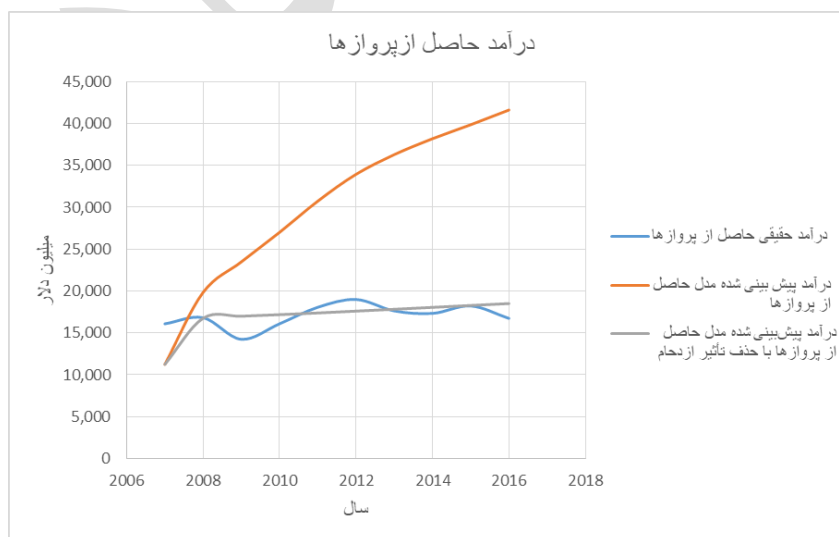
تقاضا در میان داده‌ها به صورت صندلی کیلومتر عرضه شده آمده است. با قرار دادن مقدار اولیه تقاضا در سال ۲۰۰۷ در مدل تقاضا، نموداری برای مقدار تقاضا در طول زمان حاصل شد. در شکل ۱۹ مقایسه مقادیر حقیقی با روند بدست آمده از مدل، نشان می‌دهد که روند صعودی مقدار تقاضا درست پیش بینی شده است. در سال دهم در واقعیت تقاضا به مقدار ۲۲۶۶۳۳ میلیون صندلی کیلومتر افزایش یافته این مقدار در مدل با درصد خطا حدود ۹ درصد حدود ۲۴۸ هزار میلیون صندلی کیلومتر به دست آمده است.



شکل ۱۹. مقایسه تغییرات تقاضا پیش‌بینی شده در مدل با واقعیت

#### درآمد کسب شده

رفتار درآمد حاصل از مدل رفتاری سعودی دارد که در واقعیت نیز همین رفتار با شیب تغییرات کمتر مشاهده می‌شود. در سال ۲۰۱۶ مدل درآمد ۴۴,۱ میلیون دلار را پیش‌بینی کرده است که این مقدار در واقعیت حدوداً ۱۷,۰۰۰ میلیون دلار است. به نظر می‌رسد چنین رشدی در درآمد ناشی از رشد تقاضا است. عدد مربوط به ضریب رشد تقاضای ناشی از ازدحام از پژوهش هزل اخذ شده [۵] و به نظر می‌رسد مقدار این ضریب در اروپا کمتر است. با صفر قرار دادن این ضریب مقدار درآمد برابر ۱۹ میلیون دلار با خطای حدود ۱۲ درصد حاصل شد. مقایسه درآمد حاصل از مدل با واقعیت در شکل ۲۰ آمده است.

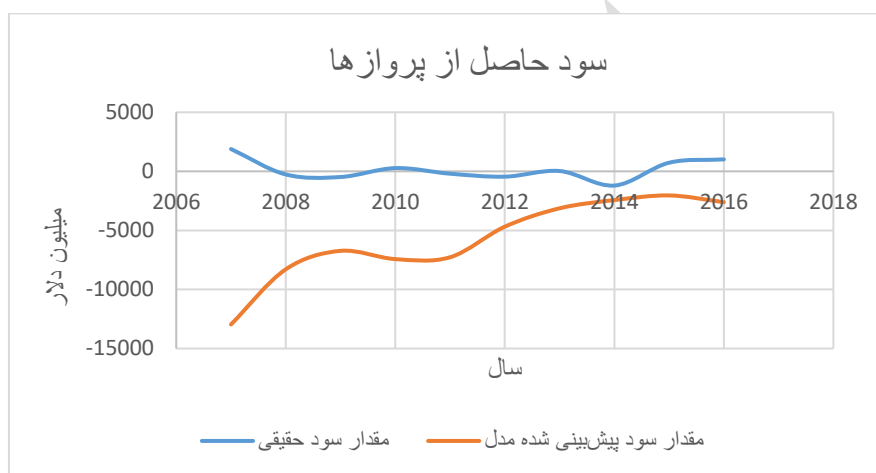


شکل ۲۰. مقایسه درآمد پیش‌بینی شده در مدل و درآمد پیش‌بینی شده در مدل بدون تأثیر ازدحام با درآمد حقیقی



### سود حاصل از پروازها

مدل در تمام سال‌ها سود منفی را پیش‌بینی می‌کند. کمینه مقدار پیش‌بینی شده حدود ۱۰ میلیارد دلار در آغاز مدلسازی است و در سال ۲۰۱۶ مقدار منفی ۱,۷ میلیارد دلار پیش‌بینی شده است. پاسخ مدل با واقعیت تفاوت دارد. با توجه به رفتار سود در واقعیت به دلیل لحاظ نشدن استراتژی‌های خاص شرکت لوفتانزا در مدل، پاسخ درستی برای مقدار سود ارائه نشده. منتها همانطور که مقایسه دو رفتار در شکل ۲۱ نشان می‌دهد، رفتار سیکلی موجود در ذات مدل در هر دو روند مشهود است.



شکل ۲۱. مقایسه تغییرات تقاضا پیش‌بینی شده در مدل با واقعیت

یکی از این عوامل کاهش تعداد کارمندان شرکت هواپیمایی لوفتانزا است. در مدل ایجاد شده در نظر گرفته شده است که با افزایش ظرفیت ناوگان تعداد کارمندان نیز افزایش می‌یابد که روندی معقول است اما هواپیمایی لوفتانزا استراتژی دیگری را پیش گرفته است. میزان ظرفیت ناوگان این هواپیمایی و تعداد کارمندان مشغول در قسمت حمل مسافر در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. تعداد کارمندان و ظرفیت هواپیمایی لوفتانزا از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶

سال	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
تعداد کارمندان										
مشغول در قسمت حمل مسافر	۲۳۹۴۷	۲۷۴۳۰	۳۰۷۵۹	۳۳۷۷۰	۳۵۷۳۵	۳۵۱۸۸	۳۴۵۱۶	۳۵۱۸۱	۲۲۵۶۲	۲۳۳۴۱
صندلی کیلومتر عرضه شده (میلیون)	۱۶۹۱۰۸	۱۹۵۴۳۱	۲۰۸۲۲۶	۲۳۵۸۳۷	۲۵۸۲۶۳	۲۵۹۸۶۱	۲۶۲۶۸۲	۲۶۸۱۰۴	۲۷۳۹۷۵	۲۸۶۵۵۵

در سال ۲۰۱۶ ظرفیت ناوگان این هواپیمایی ۱,۶۹ برابر شده است. با این حال تعداد کارمندان ۲,۵ درصد کاهش داشته است. میانگین سنی ناوگان لوفتانزا طبق داده‌های موجود در تارنمای ایکائو<sup>۱</sup> حدود ۱۱ سال است. این هواپیمایی از استراتژی فروش هواپیماها پیش از رسیدن به بازنشستگی استفاده می‌کند (در تارنمای ذکر شده این استراتژی را می‌توان در قسمت هواپیماهای پیشین این هواپیمایی مشاهده کرد). در این حالت این هواپیمایی هزینه کمتری را در زمینه هزینه استهلاک سرمایه متحمل

<sup>۱</sup> ICAO



می‌شود. همچنین این هواپیمایی با توجه به ادعای مطرح شده در تارنمای مجله خود از بازیافت هواپیماها نیز درآمد کسب می‌کند. هیچ کدام از این عوامل در مدل لحاظ نشده است.

#### ۶- نتیجه گیری، محدودیت کار و پیشنهادات

نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که گسترش ناوگان هواپیمایی ملی ایران که حاصل قرار داد این خط هواپیمایی با شرکت ایرباس است تا ۳۲ سال آینده سود ده نخواهد بود. استراتژی‌هایی پیشنهادی برای جلوگیری از مواجه شدن با این مساله ابتدا بازنگری در سفارش و کاهش ظرفیت درخواست شده می‌باشد. همچنین نشان داده شد که میزان افزایش تقاضای مطلوب ۱۵ درصد است و بالاتر از آن تاثیر چندانی بر سوددهی ایرلاین ندارد. استراتژی برای دستیابی به این مهم میتواند افزایش تقاضا با استفاده از جذب بازارهای بالقوه، چون پروازهای متصل بین‌المللی، باشد. به دلیل حضور فعال خطوط هوایی چون امارات و ترکیش ورود به بازار رقابتی این منطقه نیازمند اتخاذ راهکارهای مناسب است.

فرکانس پروازی، قیمت بلیط و کیفیت خدمات ارائه شده توسط سایر خطوط هوایی بر میزان تقاضای ایران‌ایر تاثیرگذار خواهد بود، چرا که این عوامل بازار رقابتی را در این صنعت شکل می‌دهند. در این بررسی از تاثیر رقابت صرف نظر شده است و فرض شده که سایر ایرلاین‌ها نیز با برخورداری از امکان خرید ناوگان جدید با همان نسبت رشد خواهند داشت. همچنین در این مدل پروازهای خارجی و داخلی از هم تفکیک نشده‌اند. منظور کردن اختلاف رفتار برخی پارامترها چون رشد GDP در مقاصد مختلف پروازی در دنیا بر دقت مدل خواهد افزود.

عامل دیگری که از آن صرف نظر شده‌است برخی هزینه‌ها از جمله هزینه عوارض فرودگاهی می‌باشد، اگر چه این عوامل سهم بسیار کم‌تری در هزینه خواهند داشت اما در نظر گرفتن آن‌ها از خطای مدل‌سازی می‌کاهد.

همچنین باید توجه داشت که در این مدل نرخ تورم و نرخ رشد GDP به صورت ثابت فرض شده، به کار بردن پیش‌بینی دقیق‌تر از این دو نرخ بر دقت نتایج حاصل از مدل خواهد افزود.

مقدار دو پارامتر کشش تقاضا نسبت به قیمت و کشش تقاضا نسبت به درآمد با توجه به اطلاعات مربوط به خطوط هوایی آمریکا در مدل وارد شده‌است، در صورت در دست بودن اطلاعات کافی محاسبه‌ی این دو پارامتر بر اساس رفتار مشتریان در خطوط هوایی ایران نتایج دقیق‌تری را به دست خواهد داد.

#### مراجع

- [1] [https://www.iata.org/pressroom/facts\\_figures/fact\\_sheets/Documents/fact-sheet-economic-and-social-benefits-of-air-transport.pdf](https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-economic-and-social-benefits-of-air-transport.pdf)
- [2] Belobaba, P., Odoni, A., & Barnhart, C. (Eds.). (2015). **The global airline industry**. John Wiley & Sons.
- [3] Abbas, K. A., & Bell, M. G. (1994). **System dynamics applicability to transportation modeling**. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 28(5), 373-390.
- [4] Sterman, J. D. J. D. (2000). **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world** (No. HD30. 2 S7835 2000).
- [5] Hazel, G. M. (1989). **The estimation and effect of new transferred and pass-by private car trips to retail centres**. PLANNING AND TRANSPORT RESEARCH AND COMPUTATION, 324.
- [6] Drew, D. R. (1990). **System dynamics modeling of development induced by transportation investment**. Transportation Research Record, (1274).





- [7] Quan, C. (1996). **A system dynamics model for the development of China's air transportation system** (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- [8] Carson, R. T., Cenesizoglu, T., & Parker, R. (2011). **Forecasting (aggregate) demand for US commercial air travel**. International journal of Forecasting, 27(3), 923-941.
- [9] Pierson, K., & Sterman, J. D. (2013). **Cyclical dynamics of airline industry earnings**. System Dynamics Review, 29(3), 129-156.
- [10] Suryani, E., Chou, S. Y., & Chen, C. H. (2010). **Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework**. Expert Systems with Applications, 37(3), 2324-2339.
- [11] Sterman, J. D. (2013). **Cyclical dynamics of airline industry earnings**. System Dynamics Review, 29(3), 129-156.
- [12] Matthews, L. (1995). **Forecasting peak passenger flows at airports**. Transportation, 22(1), 55-72.
- [13] James, J., & Galvin, Jr. (2002). **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
- [14] Jiang, H., & Hansman, R. J. (2006). **An analysis of profit cycles in the airline industry**. AIAA.
- [15] Liehr, M., Größler, A., Klein, M., & Milling, P. M. (2001). **Cycles in the sky: understanding and managing business cycles in the airline market**. System Dynamics Review, 17(4), 311-332.
- [16] Jifeng, W. A. N. G., Huapu, L. U., & Hu, P. E. N. G. (2008). **System dynamics model of urban transportation system and its application**. Journal of Transportation Systems engineering and information technology, 8(3), 83-89.
- [17] Manataki, I. E., & Zografos, K. G. (2009). **A generic system dynamics based tool for airport terminal performance analysis**. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 17(4), 428-443.
- [18] Manataki, I. E., & Zografos, K. G. (2010). **Assessing airport terminal performance using a system dynamics model**. Journal of Air Transport Management, 16(2), 86-93.
- [19] Faboya, O. T., & Siebers, P. O. (2015). **Simulation airline marketing strategies using system dynamics modelling**.
- [20] Forrester, J., (1961). **Industrial dynamics**. Productivity Press, Cambridge, Mass.
- [21]
- [21] Lyneis, J. M. (1998, July). **System dynamics in business forecasting: a case study of the Commercial Jet Aircraft Industry**. In CD-ROM Proceedings of the 1998 System Dynamics Conference.
- [22] Lyneis, J. M. (2000). **System dynamics for market forecasting and structural analysis**. System Dynamics Review, 16(1), 3.
- [23] Roosens, P. (2008). **Congestion and Air Transport: a challenging phenomenon**. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 8(2), 137-146.

[۲۴] سیدحسینی، سید محمد؛ (۱۳۸۰). برنامه‌ریزی مهندسی حمل‌ونقل و جابه‌جایی مواد، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.



The First National Conference of  
The Iranian System **Dynamics** Society

اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



## Dynamics of Airline industry Earnings due to airfleet expansion

**Bahar Dehqani Viniche<sup>1,\*</sup>, Shirin Dolatabadi<sup>2</sup>, Marziyeh Aghaei<sup>3</sup>**

*bahar.dehqani@gmail.com*. Aerospace Department, Sharif University of Technology

*shirindolatabadi@yahoo.com*. Aerospace Department, Sharif University of Technology

*m.aghaei95@gmail.com* Aerospace Department, Sharif University of Technology

### Abstract

Marketing airline products and services has always been highly complex and requires that rigorous strategic planning is put in place for achieving maximum growth and profitability. However, it's obvious that finding solution to problems in this field that involve people and huge investment by experimenting will be vary dangerous. So, modelling and simulation studies have become a powerful tool to proffering solutions to such problems. This paper deals with how to develop a

---

<sup>1,\*</sup> Corresponding author: M.S. Aerospace Engeniering

<sup>2</sup> M.S. Aerospace Engeniering

<sup>3</sup> B.Sc Aerospace Engeniering



The First National Conference of  
The Iranian System **Dynamics** Society

اولین کنفرانس ملی

انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



dynamic model to forecast the profit of an under development airline so the model could be used as a decision support tool for fleet expansion in airlines. Moreover, it's desired to evaluate the effect of change in demand rate on airline profit in this condition. The under development airline is a special case in the way that it has limited opportunities to order airplane for the development of its fleet. System Dynamics framework has shown strong potential as a decision support tool in this instance because of its capability of representing physical and information flows, based on information feedback control that are continuously converted into decisions and actions. We have developed a SD model that forecast airline profit trend based on its current demand trend. It shows that if there will be no change in demand trend, the profit margin due to fleet expansion will be way lower than desired because of lack in demand. Additionally, with testing different rate behavior for demand the effect of increases in demand on profit has been indicated and the airline is suggested to evaluate policies in order to reach the optimal demand rate based on its desired profit.

**Keywords:** System Dynamics, fleet management, airline development, profit forecastings, modelling