مدل بهینهٔ طراحی محوطهٔ توقفگاه هواپیما (ایپرون) فرودگاه

محمود صفارزاده*، و غلامرضا معصومی**

دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت مقاله: ۷۹/۳/۸ – دریافت نسخه نهایی: ۸۰/٦/۱۹)

چکیده : در حقیقت در فرایند طراحی بهینهٔ محوطهٔ توقفگاه هواپیماها یا ایپرون[1] در فرودگاه باید پاسخی برای مسائلی یافت که عمده‌ترین آنها عبارت‌اند از: مساحت، ابعاد و اندازهٔ بهینهٔ محوطهٔ توقفگاه پایانهٔ موجود و یا طراحی شده اعم از مسافری و باری؛ تعداد و ابعاد و همچنین نحوهٔ آرایش گیتها[2] براساس انواع مختلف عملیات ورود و خروج و نحوهٔ توقف هواپیماها؛ شبیه‌سازی و آرایش هواپیماها در محوطهٔ توقفگاه موجود یا پیش بینی شده در مقاطع زمانی مختلف از روز در فرودگاه. به طور کلی در این تحقیق، ابتدا مدل ریاضی بهینه‌ای برای طرح و آرایش محوطهٔ توقفگاه هواپیماها ارائه و سپس براساس مبانی نظری این مدل و به منظور دستیابی به شرایط واقعی طرح و لحاظ کردن مشخصه‌ها و متغیرهای تصادفی از جمله تقاضای وارده بر مجموعهٔ عناصر سیستم و ارزیابی و آزمایش آن، مدل شبیه‌سازی طراحی این بخش از فرودگاه مطرح خواهد شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی رایانه‌ای مبتنی بر مدل ریاضی ارائه شده نشان‌دهندهٔ این است که سیاستها و خط مشیهای مدیران فرودگاه و شرکتهای هوایی در قالب برنامه‌های زمان‌بندی پروازی، نوع کاربری گیتهای توقفگاه، ترکیب ناوگان هواپیمایی فرودگاه در طول دوره‌های طرح،شرایط عملیاتی و خدمات‌رسانی و ملاحظات اقتصادی تأثیر تعیین کننده‌ای در ساختار طراحی توقفگاههای هواپیما دارد.

واژگان کلیدی : فرودگاه، توقفگاه (ایپرون)، بهینه سازی

An Optimum Model for the Design of Airport Aprons

M. Saffarzadeh and Gh. Masoumi

Department of Civil Engineering, Tarbiat Modarres University

Abstract: ***In the process of the optimum design of aprons, solutions should be found for problems and such issues as the optimum area and dimensions of the apron, including the passenger and the cargo; the number and dimensions of the gates on the basis of different types of aircraft; parking configuration; aircraft simulation and arrangement in different time periods of the given day at the airport. In this research, a mathematical model was developed for the analysis and design of airport aprons based on minimum transportation cost. Some of the parameters of transportation cost include user, capital, and operational costs. Moreover, based on the fundamentals of the mathematical model, a computerized simulation model was developed taking into consideration the actual parameters of design of airport aprons such as stochastic demand, passenger behaviour, and evaluation of analytical model. The results obtained from the computerized simulation model indicate that policies of the airport authorities and air carriers such as flight schedules, gate use strategy, the mix of aircraft fleet during the planning horizon, operational conditions, and economic cosiderations have significant impacts on the design of the aprons.***

Keywords: *Airpornt, Apron, Optimization, Design.*

---

* – استادیار ** – کارشناس ارشد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

۱- مقدمه

فرودگاه مجموعه‌ای از تأسیسات و تجهیزات و بخشهای مختلف است که به منظور فراهم آوردن امکانات برای انجام حمل و نقل هوایی در کنار یکدیگر تلفیق شده‌اند. به طور کلی ارکان و بخشهای اصلی یک فرودگاه عبارت‌اند از: سیستم کنترل ترافیک هوایی، مجموعهٔ بخش هوایی فرودگاه شامل باند پرواز، باند خزش و محوطهٔ توقفگاه هواپیماها یا اپرون، مجموعهٔ بخش زمینی اعم از محدودهٔ پایانهٔ مسافری و باری و سیستم گردشی وسایل نقلیه و حمل و نقل زمینی در فرودگاه و همچنین پارکینگ، شبکه‌های دسترسی به فرودگاه و تسهیلات و تجهیزات پشتیبانی و تدارکاتی. محوطهٔ توقفگاه هواپیماها، به ویژه توقفگاه پایانهٔ مسافری و باری در واقع قسمتی از محدودهٔ بخش هوایی فرودگاه است که محوطه‌ای برای خدمات‌رسانی به هواپیما به منظور پیاده و سوار کردن مسافران، بار و محموله‌های پستی، سوختگیری، عملیاتهای تعمیر و سایر خدمات است. انواع طرحهای محوطهٔ توقفگاه هواپیماها مشتمل بر طرحهای خطی، انگشتی، اقماری، ترانسپورتر و یا ترکیبی از دو یا چند طرح مذکورند [۱].

از جمله مسائل و مشکلاتی که در محاسبه، طراحی و تحلیل محوطهٔ توقفگاه هواپیما در فرودگاههای موجود یا در حال ساخت و توسعه، به ویژه در کشور ما وجود دارد، عدم استفاده و بهره‌وری بهینه از محوطه، عدم آرایش و قرارگیری مناسب گیتهای هواپیما، عدم کارایی عملیاتی در مرحلهٔ ورود و خروج و مانور هواپیما در محوطهٔ توقفگاه است. وجود شرایط مذکور موجب استفاده ناکارا از محدودهٔ زمین موجود، افزایش اجتناب ناپذیر مسافت پیاده‌روی مسافران، افزایش تأخیر وارد به هواپیما در طی مراحل دریافت خدمات و همچنین افزایش هزینه‌های عملیات خدمات‌رسانی و عدم کارایی آنها می‌شود. به منظور جلوگیری از پیامدهای مذکور در فرایند تحلیل و طراحی اپرون باید از مدلهای عددی و ریاضی یا مدلهای شبیه‌سازی استفاده کرد. در واقع از مدلهای ریاضی می‌توان به عنوان مبنای نظری مدلهای شبیه‌سازی استفاده کرد. به دلیل عدم کفایت و جامعیت روشهای ریاضی در تشریح عملکرد اجزای مختلف فرودگاه در شرایط عملی و عینی و همچنین متغیر بودن تقاضای وارده بر مجموعهٔ عناصر سیستم، مدل شبیه‌سازی دارای مزایای بیشتری در مقایسه با مدلهای ریاضی برای تحلیل و طراحی محوطهٔ توقفگاه هواپیماهاست [۲]. از شبیه‌سازی می‌توان به عنوان اولین مرحله برای تحلیل، طراحی و ارزیابی سیستمهای واقعی استفاده کرد و با کمک آن می‌توان بدون طراحی، ساخت و یا تخریب سیستم واقعی به نتایج سودمندی دست یافت.

۲- پیشینهٔ تحقیق

مطالعات نظری خاصی در طراحی مدلهای ریاضی به منظور بهینه‌سازی عملکرد بخشهای زمینی، هوایی و پایانه فرودگاهها انجام شده است. از جمله این کارها شامل بهینه‌سازی عملیات پردازش مسافران پایانه [۲]، مدل تحلیل تقاضا برای تعیین تعداد گیتها یا جایگاههای توقف هواپیما [۵]، مدل حداقل مسافت پیاده‌روی مسافران در ساختمان پایانه [۸] و طرح جانمایی بهینه پایانه در فرودگاه [۹] هستند.

از جمله تحقیقات انجام شده در زمینهٔ طراحی مدلهای شبیه سازی طرح و تحلیل اجزای مختلف سیستم فرودگاه مانند توقفگاه هواپیما می‌توان به مدل SIMMOD برای تحلیل وضعیت موجود بخش هوایی فرودگاه، مدل ALSIM برای تحلیل مجموعهٔ بخش زمینی فرودگاه، مدل ATFM سازمان حمل و نقل کانادا و مدل نرم‌افزاری طراحی فرودگاه ۳/۲ اشاره کرد [۱و۳]. مدل SIMMOD همان طور که اشاره شد، محدود به تحلیل فرودگاههای موجود با اجزا و بخشهای مشخص است؛ به گونه‌ای که فرودگاهی با مشخصات ثابتی برای مدل تعریف می‌شود و سپس مدل مورد نظر براساس برنامهٔ زمان‌بندی پروازی و حجم تقاضای پیش‌بینی شده در بخشهای مختلف محوطهٔ پروازی، وضعیت ظرفیت و تأخیر عملیاتی در آن فرودگاه را تحلیل و بررسی می‌کند. علاوه بر آن همان طور که اشاره شد، سازمان هوانوردی فدرال برنامهٔ رایانه‌ای طراحی فرودگاه ۳/۲ را تهیه کرده است که با استفاده از آن می‌توان ابعاد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

لازم نواحی و سطوح بحرانی باند پرواز از جمله طول سطح روسازی، شانهٔ باند پرواز، سطح مانع از فرسایش[3]، محدودهٔ ایمنی و بدون مانع و سطوح تقرب باند پرواز را محاسبه کرد.

هر یک از مدلهای طراحی شدهٔ بالا علی رغم داشتن قابلیتها و مزایای کم‌نظیر و قابل توجه دارای کمبودهایی نیز هستند که می‌توان به مواردی از آنها اشاره کرد. مدلهای ریاضی معرفی شده غالباً به فرایند پردازش مسافران، تحلیل تقاضا، جابه جایی و سرویس‌دهی آنها در ساختمان پایانه و جانمایی بهینهٔ آن در محوطهٔ فرودگاه می‌پردازند. مدلهای شبیه‌سازی نیز عمدتاً محدود به تحلیل فرودگاههای موجود با اجزا و بخشهای مشخص است؛ بنابراین نمی‌توان از آنها برای طراحی اجزای بخش هوایی از جمله محوطهٔ توقفگاه هواپیما در یک فرودگاه جدید استفاده کرد. در مدل طراحی فرودگاه ۳/۲ نیز، فرایند طراحی منحصر به باند پرواز فرودگاه است. مقالهٔ مورد نظر در واقع به بررسی و تشریح اجمالی مدل شبیه‌سازی تحلیل و طراحی توقفگاه هواپیماها می‌پردازد که علاوه بر فرایند تحلیل، در برگیرندهٔ طراحی انواع مختلف توقفگاهها و ملزومات طرح هندسی جایگاههای هواپیما درحالتهای مختلف توقف و شرایط عملیاتی ورود و خروج هواپیماها و همچنین آرایش و استقرار بهینهٔ آنها در محدودهٔ توقفگاه است. مدل شبیه‌سازی مورد نظر تحت محیط سیستم عامل ویندوز ۹۵ و بالاتر قابل اجراست و زبان برنامه‌نویسی آن نیز، ویژوال بیسیک ۴/۰۰ [4] است.

۳- روند ساختاری مدل

در حقیقت در فرایند تحلیل و طراحی بهینهٔ محوطهٔ توقفگاه هواپیماها در فرودگاه باید پاسخی برای مسائلی یافت که عمده‌ترین آنها عبارت‌اند از

۱- مساحت، ابعاد و اندازهٔ بهینهٔ محوطهٔ توقفگاه پایانهٔ موجود و یا طراحی شده اعم از مسافری و باری.

۲- تعداد، ابعاد و اندازه و همچنین نحوهٔ آرایش جایگاههای توقف براساس انواع مختلف عملیات ورود و خروج و شکل توقف هواپیماها

۳- شبیه سازی و چگونگی آرایش و استقرار هواپیماها در محل جایگاههای موجود یا پیش‌بینی شدهٔ توقفگاه در مقاطع زمانی مختلف روز طرح از جمله ساعت و مقطع زمانی اوج براساس برنامهٔ زمان‌بندی پروازی هواپیماهای ورودی و خروجی

٤- استقرار جایگاههای محل توقف هواپیما در محدودهٔ توقفگاه براساس تابع هزینهٔ سفر و با استفاده از مدلسازی ریاضی بر مبنای پارامترهای مؤثر حمل و نقلی همچون مؤلفه‌های مسافری و رفتار آنها، مؤلفه‌های مربوط به پایانه مسافری و مؤلفه‌های هزینه‌ای به منظور دستیابی به آرایش بهینه جایگاههای هواپیما

۵- ارائهٔ مناسبترین طرح از نظر فنی، اجرایی، عملیاتی و اقتصادی براساس ویژگیها و مشخصات خاص هر فرودگاه

٦- تحلیل و سنجش دقیق قابلیت و کارایی وضعیت موجود توقفگاهها از نظر محدودیتهای مختلف

۷- طراحی انواع مختلف توقفگاههای متداول در فروگاهها و تأمین امکان مقایسه و ارزیابی آنها و نهایتاً انتخاب گزینهٔ بهینه

۸- طراحی و تدوین مدل رایانه‌ای شبیه‌سازی محوطهٔ توقفگاه به منظور آزمایش و ارزیابی مدل پیشنهادی با مشخصات بالا.

چگونگی و روند انجام فرایند بالا به نوع و طرح ساختمان و مجموعهٔ پایانه و نحوهٔ توقف هواپیماها و همچنین نوع عملیات ورود و خروج آنها[5] بستگی دارد. در بخش تحلیل محوطهٔ توقفگاه هواپیما یا به عبارت دیگر تحت شرایط محدودیت زمین نیز، میزان و حجم تقاضای استفاده از جایگاههای توقف هواپیما براساس برنامهٔ زمان‌بندی ورود و خروج آنها با تسهیلات و امکانات موجود آن فرودگاه که دارای محدودهٔ زمین قابل استفاده و تسهیلات مشخصی است، مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. از این طریق می‌توان قابلیت محوطهٔ توقفگاه موجود برای جوابگویی به تعداد جایگاههای مورد نیاز در مقطع زمانی اوج روز طرح را سنجید.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

با انجام این فرایند، اداره کنندگان فرودگاه و شرکتهای هوایی قادر خواهند بود که کلیه طرحها و برنامه‌ریزیهای ساخت و توسعهٔ خود طی سالهای آینده را براساس ویژگی و شرایط موجود توقفگاه تدوین و تنظیم کنند.

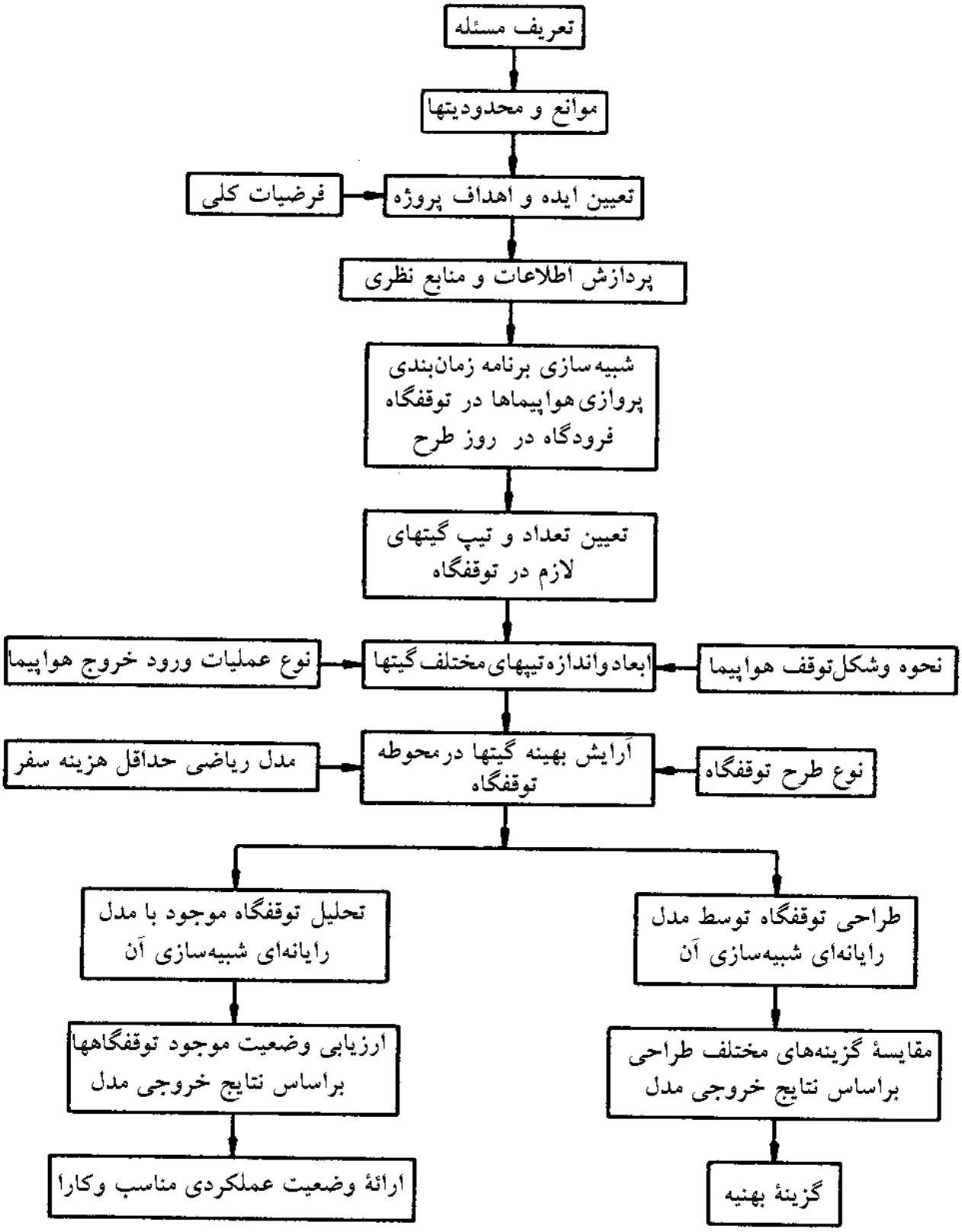
به طور کلی مدل مورد نظر علاوه بر تأمین اهداف بالا، دارای مرحله‌بندی منظم و سازمان یافته‌ای است، به طوری که در مرحلهٔ نخست با استفاده از برنامهٔ زمان‌بندی شبیه‌سازی شدهٔ ورود و خروج هواپیماها به محوطهٔ توقفگاه در روز طرح، وارد فرایند محاسبهٔ تعداد و انواع جایگاههای مورد نیاز شده و جدول تخصیص هواپیماها به هر یک از انواع جایگاهها، نمودار رمپ یا رمپ چارت توقفگاه و همچنین نمودار میزان بهره‌وری هر یک از جایگاههای توقف در طی روز طرح محاسبه می‌شود [۱۰]. علاوه بر برنامهٔ زمان‌بندی پروازی، حداقل زمان مجاز بین خروج هواپیما از یک جایگاه و ورود هواپیمای بعدی به آن و همچنین تعداد و تیپ ابعادی (A,B,C,D) جایگاههای دارای استفادهٔ اختصاصی و شرکت هوایی مالک آن نیز باید در این مرحله مشخص شود. پس از این مرحله وارد فرایند طراحی یا تحلیل می‌شویم. در این فاز می‌توان یکی از انواع طرحهای پایانه‌ای متداول در فرودگاههای دنیا از جمله پایانه‌های با طرح خطی اعم از ساده، نیم‌دایره‌ای و سه‌وجهی، طرح انگشتی ساده و دوگانه، طرح اقماری، ترانسپورتر و یا ترکیبی از دو یا چند طرح بالا را انتخاب کرد. پس از آن، با آرایش و استقرار جایگاههای هواپیما در محوطهٔ توقفگاه بر مبنای مدل ریاضی پیشنهادی می‌توان انواع توقفگاههای طراحی یا تحلیل شده بر اساس میزان تقاضای اوج را از نظر نوع طرح پایانه، چگونگی عملیات ورود و خروج هواپیما و نحوهٔ توقف آن در محل جایگاه اعم از توقف با دماغه رو به جلو، توقف زاویه‌ای (۳۰ تا ٦۰ درجه) و توقف موازی، با یکدیگر مقایسه کرد. نهایتاً مدل بهینه و مطلوب برای اداره‌کنندگان فرودگاه، شرکتهای هوایی و سایر کاربران با توجه به گسترهٔ زمین، هزینه‌های اقتصادی، امکان تأمین تجهیزات و ماشین آلات یدک‌کش و سایر عوامل مؤثر تعیین خواهد شد. مراحل فرایند تحقیقی مورد نظر برای دستیابی به مدل پیشنهادی مذکور در شکل (۱) نشان داده شده است.

٤- فرایند طراحی و تحلیل بهینهٔ محوطهٔ توقفگاه هواپیما توسط مدل پیشنهادی

با توجه به شرح ساختار مدل مورد نظر، ابتدا می‌بایست ابعاد و اندازهٔ دقیق جایگاههای استقرار هواپیماها در شرایط عملیاتی ورود و خروج و اشکال مختلف توقف هواپیما یعنی توقف رو به جلو، توقف زاویه‌ای با زوایای مختلف (۳۰ تا ٦۰ درجه با اختلاف ۵ درجه) و توقف موازی محاسبه شود. طبق تقسیم‌بندی بالا، جایگاههای هواپیما شامل ٦۸ تیپ هستند که هر تیپ از آنها دارای ابعاد طولی و عرضی مختلف‌اند که این ابعاد با محاسبات هندسی دقیقی در مدل ارائه شده تعیین می‌شوند. پس از محاسبهٔ ابعاد و اندازهٔ جایگاهها، باید تعداد مورد نیاز آنها در محوطهٔ توقفگاه و در مقطع زمانی اوج از روز طرح فرودگاه مشخص شود. با بررسی دقیق کلیه روشهای تجربی و ریاضی موجود برای تعیین تعداد جایگاههای مورد نیاز توقفگاه، مشخص شد که روش شبیه‌سازی برنامهٔ زمان‌بندی پروازی و طراحی نمودار رمپ به دلیل صحت و دقت قابل توجه و اعمال کلیهٔ پارامترهای مؤثر، مناسبترین و کاراترین روش است [٦].

پس از مرحلهٔ مذکور می‌بایست نوع طرح مجموعهٔ پایانه و توقفگاه هواپیماها مشخص شود تا جایگاههای محاسبه شده بر اساس مشخصات هندسی ویژهٔ هر نوع توقفگاه، در محدودهٔ آن مستقر شوند. چگونگی قرارگیری جایگاههای هواپیما در محوطهٔ توقفگاه باید به گونه‌ای باشد که بتوان علاوه بر تأمین حداکثر کارایی و بهره‌وری از محدودهٔ موجود، به مناسبترین و سازگارترین آرایش نیز دست یافت. از جمله مهمترین معیارها در بهره‌وری عملیاتی بهینه در محوطهٔ توقفگاه، مسافت انتقال یا پیاده‌روی مسافران از هواپیما به داخل ساختمان پایانه و یا برعکس است [٤و۷]. در واقع شاخص سنجش کمی این معیار

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]



شکل ۱- روند ساختاری و مراحل فرایند تحقیقی مدل

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

در برنامه‌ریزیهای حمل و نقل، تابع هزینهٔ سفر یا TC[6] است. شکل کلی این تابع به صورت زیر است

$$TC = \sum_{n=1}^{N} P_n . \overline{W} \qquad (۱)$$

P_n = میانگین ظرفیت مسافری هواپیمای تیپ هر جایگاه توقف

$\overline{w}$ = میانگین مسافت پیاده‌روی انواع مسافران

در معادلهٔ بالا، مسافرانی که باید مورد پردازش قرار گیرند و به تبع آن ملزم به جابه جایی یا پیاده‌روی هستند، به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از مسافران خروجی، ورودی و انتقالی. مسافران انتقالی نیز شامل انتقالی مستقیم و انتقالی غیرمستقیم است. مسافران انتقالی مستقیم، مسافرانی هستند که پس از خروج از هواپیما مستقیماً به دروازهٔ مربوط به جایگاه هواپیمای خروجی می‌روند. این نوع مسافران یا بلیط خود را از قبل تهیه کرده‌اند و یا در محل دروازهٔ خروجی این کار را انجام می‌دهند [۷]. مسافران انتقالی غیرمستقیم نیز باید پس از پیاده شدن از هواپیما به محلهای پردازش داخل پایانه رفته و مبادرت به مطالبهٔ توشه و یا خرید بلیط کنند. بنابراین میانگین مسافت جابه‌جایی کل مسافران انتقالی برابر است با

$$\overline{W}_H = r\overline{W}_{H_1} + (1-r)\overline{W}_{H_2} \qquad (۲)$$

که در آن

$\overline{W}_{H_1}$ = میانگین مسافت جابه‌جایی مسافران انتقالی مستقیمی که دروازهٔ خروجی آنها از قبل تعیین شده باشد.

$\overline{W}_{H_2}$ = میانگین مسافت جابه جایی مسافران انتقالی مستقیمی که احتمال پرواز آنها از هر یک از دروازه‌های پایانه یکسان است.

r = درصد مسافران انتقال مستقیمی که دروازهٔ خروجی آنها از قبل تعیین شده باشد، نسبت به کل مسافران انتقالی مستقیم.

پس میانگین مسافت پیاده‌روی یا جابه‌جایی کل مسافران عبارت خواهد بود از

$$\overline{W} = (1-P)\overline{W}_A + P(1-Q)\overline{W}_N + PQ\overline{W}_H \qquad (۳)$$

که در آن

$\overline{W}_A$ = میانگین مسافت جابه جایی مسافران ورودی وخروجی

$\overline{W}_N$ = میانگین مسافت جا به جایی مسافران انتقال غیرمستقیم

P = درصد مسافران انتقالی به کل مسافران و

Q = درصد مسافران انتقالی مستقیم به کل مسافران انتقالی

به طور کلی در مدل طراحی و تحلیل بهینهٔ توقفگاه هواپیما، ترتیب و نحوهٔ قرارگیری جایگاههای توقف به گونه‌ای است که مقدار تابع TC حاصله برحسب معیار کمی مسافر- متر یا مسافر- فوت، حداقل شود.

علاوه بر آن، در این تحقیق از دیدگاه جامعتری به تجزیه و تحلیل تابع هزینهٔ سفر پرداخته شد، به گونه‌ای که در برگیرندهٔ مهمترین شاخصهای تأثیرگذار حمل و نقلی اعم از مؤلفه‌های مربوط به پایانهٔ مسافری و مؤلفه‌های مربوط به مسافران و رفتار آنها باشد. با مطالعاتی که در این تحقیق و در مورد پایانه‌های با طرح شاخه‌ای یا انگشتی[7] به عنوان نمونه انجام شد، تابع هزینهٔ مدل تحت شرایط بدون محدودیت زمین و فضای لازم و با محدودیت زمین محاسبه شد.

الف) بدون محدودیت زمین

در این شرایط، قابلیت دسترسی و گسترهٔ زمین در فرایند طرح و آرایش بهینه جایگاههای هواپیما از نظر حداقل مسافت انتقال و هزینهٔ سفر، به عنوان پارامتری تأثیرگذار و محدود کننده محسوب نمی‌شود.

$$TC_k = \sum_{k=1}^{v} TC = TC_1 + TC_2 + \cdots + TC_n \qquad (٤)$$

$$TC_1 = \frac{\gamma_w}{L}(1+P-2PQ)\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^2}{4} + y^2 + by + \frac{b^2}{8}\right] \qquad (٥)$$

که در آن

TC_1 = میانگین هزینهٔ سرانهٔ جا به جایی پیادهٔ مسافران ورودی، خروجی و انتقالی غیرمستقیم در محدودهٔ محوطهٔ پایانه و شاخه‌های آن

γ_w = هزینهٔ انتقال هر مسافر به صورت پیاده‌روی به ازای هر کیلومتر

$$\frac{GS_g}{2} = L$$

n = تعداد شاخه‌های ساختمان پایانه

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

x_i = طول هر یک از شاخه‌های ساختمان پایانه

$b=g_b s_g$ = بعد طولی ساختمان پایانه د رجلوی توقفگاه که قابلیت استقرار جایگاههای هواپیما را دارد.

g_b = تعداد جایگاههای توقف مستقر در جلوی ساختمان اصلی پایانه (در صورت وجود)

$$\frac{g_t s_g}{4} = y$$

g_t = مجموع تعداد جایگاههای مستقر در جلوی شاخهٔ متصل به ساختمان پایانه

$$TC_2 = \frac{\gamma_w}{L} PQr\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^2}{3} + F(y)\right] \qquad (٦)$$

که در آن

TC_2 = میانگین هزینهٔ سرانهٔ جا به جایی پیادهٔ مسافران انتقالی مستقیمی که دروازهٔ خروجی آنها از قبل تعیین شده باشد (یعنی از همان دروازه ورودی خارج خواهند شد).

r = درصد مسافران انتقالی مستقیمی که دروازهٔ خروجی آنها از قبل تعیین شده باشد (یعنی از همان دروازهٔ خروجی خارج خواهند شد)، نسبت به کل مسافران انتقالی مستقیم

$$\left(\frac{8y^3}{3} + 3by^2 + b^2y + \frac{b^3}{12}\right)\Big/\left(2y + \frac{b}{2}\right) = F(y)$$

$$TC_3 = \frac{\gamma_w}{L} PQ(1-r)\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^2}{2} - \sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^3}{6L} - \sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{L}\left(2y(b+y) + \frac{b^2}{4}\right) - \frac{F(y)}{L}\left(2y + \frac{b}{2}\right)\right] \qquad (٧)$$

TC_3 = میانگین هزینهٔ سرانهٔ جا به جایی پیادهٔ مسافران انتقالی مستقیمی که از همان دروازهٔ ورودی خارج نخواهند شد.

$$TC_4 = \frac{\gamma_R}{L}(1 + P - 2PQ)\left[\sum_{i=1}^{n} x_i^2 (iS)\right] \qquad (٨)$$

که در آن

TC_4 = میانگین هزینهٔ سرانهٔ انتقال سوارهٔ مسافران ورودی، خروجی و انتقالی غیرمستقیم

γ_R = هزینهٔ انتقال هر مسافر به صورت سواره به ازای هر کیلومتر

S = میانگین فاصلهٔ بین شاخه‌های ساختمان پایانه

$$TC_5 = \frac{\gamma_R}{L} PQ(1-r)S\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{L}\left[\sum_{k=1}^{i}(i-k)x_k + \sum_{k=i+1}^{n}(k-i)x_k\right] + \frac{2}{L}\left[L - \sum_{i=1}^{n}x_i\right]\sum_{i=1}^{n} i x_i\right] \qquad (٩)$$

که در آن

TC_5 = میانگین هزینهٔ سرانهٔ انتقال سوارهٔ مسافران انتقالی مستقیم

$$TC_6 = (1 + P - PQ(1+r))\gamma_A \qquad (١٠)$$

که در آن

TC_6 = میانگین هزینهٔ سرانهٔ انتظار و دسترسی مسافران

γ_A = هزینهٔ انتظار و دسترسی هر مسافر

$$TC_7 = n\gamma_\circ \qquad (١١)$$

که در آن

TC_7 = میانگین هزینهٔ سرانهٔ عملیاتی مسافران

$$\gamma_c + \gamma_m S = \gamma_\circ$$

γ_c = هزینهٔ سرمایه‌گذاری برای هر مسافر به ازای هر شاخهٔ ساختمان پایانه

γ_m = هزینهٔ عملیاتی و تعمیر و نگهداری به ازای هر مسافر در هر کیلومتر

متغیرهای معادلات بالا را می‌توان به بخش مؤلفه‌های مربوط به پایانهٔ مسافری و مؤلفه‌های مربوط به مسافران و رفتار آنها و مؤلفه‌های هزینه‌ای تقسیم بندی کرد. مؤلفه‌ها و شاخصهای پایانهٔ مسافری شامل تعداد جایگاههای توقف (G)، میانگین فاصلهٔ بین شاخه‌های ساختمان پایانه (S)، تعداد شاخه‌های ساختمان پایانه (n)، I، فاصلهٔ بین جایگاههای توقف (S_g)، طول هر یک از شاخه‌های ساختمان پایانه (x_i)، و بعد طولی ساختمان پایانه (b) است. مؤلفه‌های مسافری مشتمل بر درصد مسافران انتقالی به کل مسافران (P)، درصد مسافران انتقالی مستقیم به کل مسافران انتقالی (Q)، و درصد مسافران انتقالی مستقیمی که دروازهٔ خروجی آنها از قبل تعیین شده باشد، نسبت به کل مسافران انتقالی است. متغیرهای هزینه‌ای نیز متشکل از هزینهٔ

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

سرانهٔ انتقال مسافر به صورت پیاده‌روی به ازای هر کیلومتر (γ_w)، هزینهٔ انتقال هر مسافر به صورت سواره به ازای هر کیلومتر (γ_R) و هزینهٔ انتظار و دسترسی هر مسافر (γ_A) است.

ب) با محدودیت زمین

در حالت وجود محدودیت زمین برای ساخت محوطهٔ توقفگاه هواپیماها باید در واقع تجزیه و تحلیلی از حجم تقاضای استفاده از جایگاههای توقف در مقایسه با سطح زمین قابل تأمین در محوطهٔ توقفگاه فرودگاه انجام شود. این کار منجر به سنجش قابلیت و کفایت سطح محوطهٔ موجود برای استقرار جایگاههای مورد نیاز در مقطع زمانی اوج تقاضا خواهد شد. راهکارهایی که می‌توان برای دستیابی به شرایط مناسب از آنها استفاده کرد، عمدتاً عبارت‌اند از: تعدیل مشخصات ابعادی اجزای مختلف محوطهٔ توقفگاه از جمله طول و تعداد شاخه‌های ساختمان پایانهٔ نوع انگشتی یا شاخه‌ای که در مدل ارائه شده در این تحقیق و برای این نوع پایانه در نظر گرفته شده است. از جمله روشهای دیگر می‌توان به تعدیل برنامهٔ زمان‌بندی پروازی در روز طرح و یا تغییر دادن و بهینه کردن مشخصات عملیاتی جایگاه توقف هواپیما و نحوهٔ استفاده از آنها اشاره کرد.

$$TC_k = \sum_{k=1}^{7} TC = TC_1 + TC_2 + \cdots + TC_7 \qquad (۱۲)$$

در مورد معادلهٔ بالا لازم به توضیح است که پارامترهای TC_1 تا TC_7 همان پارامترهای معرفی شده در معادلات (۱) تا (۵) هستند. با این تفاوت که در این معادلات مقادیر میانگین مسافت پیاده‌روی و مسافت انتقال سوارهٔ انواع مسافران و همچنین هزینه‌های سرانهٔ مختلف انتقال آنان تحت شرایط وجود محدودیت زمین محاسبه شده‌اند.

$$TC_1 = \frac{\gamma_w}{L}(1+P-2PQ)\left[\sum_{i=1}^{j}\frac{x_i^2}{4} + \sum_{i=j+1}^{n}\frac{x_i^2}{4} + y^2 + by + \frac{b^2}{8}\right] \qquad (۱۳)$$

که در آن

j = تعداد شاخه‌های ساختمانی پایانه با طول مشخص

x_j = تعداد جایگاههای مستقر در جلوی هر طرف از شاخه‌های پایانه با طول مشخص

$$TC_2 = \frac{\gamma_w}{L}PQr\left[\sum_{i=1}^{j}\frac{x_i^2}{3} + \sum_{i=j+1}^{n}\frac{x_i^2}{3} + F_m(y)\right]$$

$$2y + \frac{b}{2} + \left[\sum_{i=1}^{j} x_i + \sum_{i=j+1}^{n} x_i\right] = L \qquad (۱٤)$$

که در آن

$$\left[\frac{8y^3}{3} + 2b_1y^2 + by^2 + b^2y + \frac{b^3}{12}\right] \Big/ \left[2y + \frac{b}{2}\right] = F_m(y)$$

b_1 = بعد عرضی ساختمان پایانه

$$TC_3 = \frac{\gamma_w}{L}PQ(1-r)\left[\sum_{i=1}^{j}\frac{x_i^2}{2} + \sum_{i=j+1}^{n}\frac{x_i^2}{2} - \sum_{i=1}^{j}\frac{x_i^3}{6L} - \sum_{i=j+1}^{n}\frac{x_i^3}{6L} + \right.$$

$$\left. + \left(\sum_{i=1}^{j}\frac{x_i}{L} + \sum_{i=j+1}^{n}\frac{x_i}{L}\right)\left(2y(b_1+y) + \frac{b^2}{4}\right) + \frac{F_m(y)}{L}\left(2y + \frac{b}{2}\right)\right] \qquad (۱۵)$$

$$TC_4 = \frac{\gamma_R}{L}(1+P-2PQ)\left[\left(\sum_{i=1}^{j}x_i^2 + \sum_{i=j+1}^{n}x_i^2\right)(S_1 - S_\circ)\right] \qquad (۱٦)$$

که در آن

S = میانگین فاصلهٔ بین شاخه‌های ساختمان پایانه

$S - S_1 = S_\circ$

S_1 = فاصلهٔ بین ساختمان پایانه تا اولین شاخهٔ آن

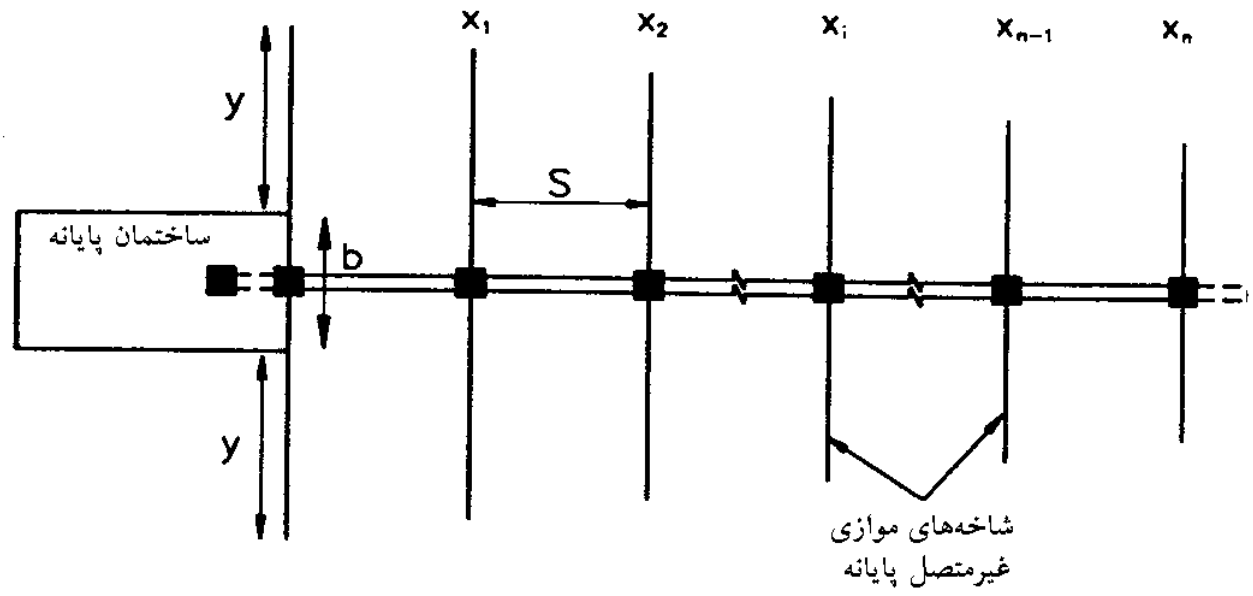
$$TC_5 = \frac{\gamma_R}{L^2}PQ(1-r)\left[S\left(\sum_{i=1}^{j}x_i\left(\sum_{k=1}^{j}(i-k)x_k + \right.\right.\right.$$

$$\left.\sum_{k=j+1}^{i}(k-i)x_k + \sum_{k=i+1}^{n}(k-i)x_k\right) + \sum_{i=j+1}^{n}x_i\left(\sum_{k=1}^{j}(i-k)x_k + \right.$$

$$\left.\sum_{k=j+1}^{i}(i-k)x_k + \sum_{k=i+1}^{n}(k-i)x_k\right) + \left(L - \sum_{i=1}^{j}x_i + \sum_{i=j+1}^{n}x_i\right)$$

$$\left.\left(\sum_{i=1}^{j}ix_i + \sum_{i=j+1}^{n}ix_i\right)\right) + \left(2S_0\left(L - \sum_{i=1}^{j}x_i + \sum_{i=j+1}^{n}x_i\right)\right.$$

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]



شکل ۲- مشخصات طرح هندسی محوطهٔ پایانه و توقفگاه نوع انگشتی یا شاخه ای

$$\left(\sum_{i=1}^{j} x_i + \sum_{i=j+1}^{n} x_i\right)\Bigg] \qquad (۱۷)$$

$$TC_6 = \left(1 + P - PQ(1+r)\right)\gamma_A \qquad (۱۸)$$

$$TC_7 = m\gamma_0 \qquad (۱۹)$$

که در آن

$$m = \begin{cases} n & \text{در شرایط عدم محدودیت} \\ n+1 & \text{در شرایط محدودیت} \end{cases}$$

نمونه‌ای از محوطهٔ توقفگاه هواپیما و پایانه دارای طرح انگشتی یا شاخه‌ای همراه با معرفی برخی مشخصه‌های مربوطه در مدل، در شکل (۲) نشان داده شده است.

به طور کلی به دلیل پیچیدگی حل فرمولهای ریاضی مدل تابع حداقل هزینهٔ سفر و همچنین به دلیل اینکه حل مدل ریاضی مذکور در شرایط مختلف و با توجه به متغیر و تصادفی بودن تقاضا و رخدادهای وارد بر سیستم، منجر به تحلیل یا طراحی هندسی محوطهٔ توقفگاه نخواهد شد، بنابراین با استفاده از مبانی مدل ریاضی پیشنهادی و برای لحاظ کردن شرایط واقعی طرح و مشخصه‌های متغیر حمل و نقلی و همچنین ارزیابی و آزمایش آن، مدل شبیه‌سازی این بخش از فرودگاه در ادامهٔ این تحقیق ارائه می‌شود. در واقع مدل شبیه‌سازی مذکور به عنوان نمونهٔ آزمایشگاهی سیستم واقعی در نظر گرفته می‌شود که می‌توان از آن به عنوان مناسبترین روش برای تحلیل، طراحی و ارزیابی سیستمهای واقعی استفاده کرد. استفاده از مدل شبیه‌سازی مورد نظر موجب تحقق همزمان و همه جانبه شرایط و ویژگیهای مدل ریاضی اقتصادی و بهینهٔ مطرح شده برای تحلیل و طراحی این بخش از فرودگاه خواهد شد.

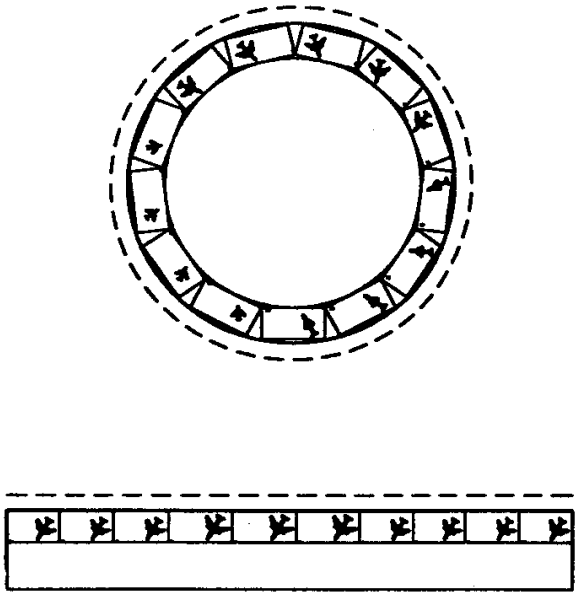
۵- آزمایش و ارزیابی مدل بهینهٔ پیشنهادی با شبیه‌سازی رایانه‌ای

همان گونه که گفته شد، پس از تبیین مشخصات و ساختار مدل بهینهٔ پیشنهادی در قالب اجزای مختلف آن، با طراحی نرم‌افزار شبیه‌سازی طرح و تحلیل محوطهٔ توقفگاه می‌توان مدل ارائه شده را مورد ارزیابی و آزمایش قرار داد. نرم‌افزار شبیه‌سازی تحلیل و طراحی ایپرون فرودگاه تحت محیط سیستم عامل ویندوز ۹۵ به بالا قابل اجراست. زبان برنامه‌نویسی مدل مذکور نیز، زبان ویژوال بیسیک ٤/۰۰ است. برنامهٔ مورد نظر به صورت یک بستهٔ نرم‌افزاری با قابلیت نصب خودکار و دارای

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

خصوصیات یک برنامهٔ مناسب کاربر[8] است. به طور کلی نرم‌افزار مورد نظر به تبع مدل ارائه شده دارای مرحله‌بندی منظم و سازمان‌یافته‌ای است، به طوری که پس از شبیه‌سازی برنامهٔ زمان‌بندی ورود و خروج هواپیماها به توفقگاه در روز طرح و در نتیجه تعیین تعداد و تیپ جایگاههای مورد نیاز هواپیماها، وارد فرایند تحلیل یا طراحی می‌شود. در این فاز می‌توان یکی از انواع طرحهای توقفگاهی متداول در فرودگاهها از جمله طرحهای نوع خطی ساده[9]، نیم‌دایره[10] و سه‌ضلعی[11]، انگشتی ساده و دوگانه[12]، اقماری[13]، ترکیبی[14] و ترانسپورتر[15] را انتخاب کرد. پس از آن با استفاده از نتایج به دست آمده از مرحلهٔ قبل، فرایند طراحی یا تحلیل انجام خواهد شد.

به طور کلی در فرایند ارزیابی و آزمایش مدل ارائه شده با استفاده از نرم‌افزار مورد بحث، هر یک از انواع عملیات ورود و خروج و اشکال مختلف توقف هواپیماها برای هر فرودگاه در نظر گرفته می‌شود. این به معنای این است که هر نوع توقفگاهی در حالتهای عملیاتی ورود و خروج و نحوهٔ توقف مختلف هواپیماها، تحلیل یا طراحی می‌شود. به عبارت دیگر، هدف اصلی از طراحی این نرم‌افزار شبیه‌سازی، اجرای همزمان و تلفیقی مراحل مدل پیشنهادی در قالب فرایندی منسجم است [۱۰]. با این کار در واقع تمامی معیارها و پارامترهای مدل در شرایط واقعی و برای نمونه‌های فرودگاهی مختلف با برنامه‌های زمان‌بندی پروازی متفاوت، قابل اجراست. نهایتاً بهترین گزینهٔ طراحی شده و یا بهترین وضعیت تحلیل شدهٔ هر نوع توقفگاهی از نظر مشخصات مدل ارائه شده، تعیین می‌شود. به عنوان یک نمونه عملی، نتایج فرایند طراحی توقفگاه یکی از فرودگاهها در مقایسه با شرایط موجود آن در ادامهٔ مطلب شرح داده خواهد شد. از خصوصیات بارز دیگر این نرم‌افزار، قابلیت گرافیکی برنامه در نمایش محوطهٔ توقفگاه طراحی یا تحلیل شده و شبیه‌سازی قرارگیری بهینهٔ هواپیماها براساس تابع حداقل هزینهٔ سفر در طول ۲۴ ساعت روز طرح در محیط ویندوز است. علاوه بر محیط ویندوز، نرم‌افزار قادر است که فایلهای طراحی شده با برنامه را در صورت دلخواه به فایلهای گرافیکی قابل نمایش در محیط اتوکد ۱۴ تبدیل کند. در حقیقت با توجه به قابلیتهای گرافیکی بالای اتوکد، به ویژه نسخهٔ ۱۴ آن، مدل نرم‌افزاری مذکور دارای توانایی انعطاف پذیری و اعمال تغییرات مختلف در طرح خواهد بود. حتی در صورت امکان می‌توان سایر اجزای مختلف فرودگاه از جمله عناصر محوطهٔ پروازی مانند باندهای پرواز و خزش و نحوهٔ اتصال آن به محوطهٔ توقفگاه و همچنین اجزای بخش زمینی فرودگاه را در محیط اتوکد طراحی و ترسیم کرد. به عنوان مثال نمونه‌ای از فرایند طراحی محوطهٔ توقفگاه هواپیماها در فرودگاهی با برنامهٔ زمان‌بندی پروازی مشخص در روز طرح که دارای طرح اقماری ترکیبی باشد، مد نظر قرار می‌گیرد. نتایج مراحل مختلف این فرایند به صورت پلان طراحی شدهٔ محوطهٔ توقفگاه، در شکل (۳) و خلاصه‌ای از نتایج محاسباتی به دست آمده از نرم‌افزاربرای این نوع توقفگاه، در جدول (۱) نشان داده شده است. علاوه بر آن خلاصه‌ای از نتایج محاسباتی حاصل از گزینه‌های بهینهٔ انواع توقفگاههای طراحی شده برای یک فرودگاه دارای برنامهٔ زمان‌بندی پروازی یکسان، در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۳- پلان طراحی شده محوطهٔ توقفگاه اقماری ترکیبی همراه با آرایش هواپیماها در محیط اتوکد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

جدول ۱- نتایج محاسباتی حاصل از طراحی توقفگاه اقماری ترکیبی

مشخصات	نتایج	مشخصات	نتایج
نوع عملیات خروج	Power out	مساحت گیتهای نگهداری	۰
زاویه توقف هواپیما	۳۰	طول ساختمان پایانه	۱٤٤۱ (m)
تعداد جایگاههای اصلی	۲۳	عرض ساختمان پایانه	۱۲۲ (m)
تعداد جایگاههای نگهداری	۰	شعاع ساختمان اقماری پایانه	۳۲۳ (m)
مساحت جایگاههای اصلی	۲۸٤۷۸٦ (m^2)	فاصلهٔ اقمار تا ساختمان اصلی پایانه	٦۱۰ (m)

جدول ۲- خلاصهٔ نتایج محاسباتی حاصله از گزینه‌های بهینهٔ انواع توفقگاههای طراحی شده

انواع توقفگاه	عملیات ورود و خروج	مساحت کل جایگاههای هواپیما (مترمربع)	حداقل مساحت لازم محوطهٔ توقفگاه (مترمربع)
انگشتی ساده	Push out	٦٤٥۱۳	۱۸٥۹۷۸
	Power out	۹۸٤٤۸	۲٦۲۹۸٤
انگشتی دوگانه	Push out	٦٤٥۱۳	۲۲٥۲٦۸
	Power out	۹۸٤٤۸	۲۹٤۳٦۹
خطی ساده	Push out	٦٤٥۱۳	۱۰٦۷۰۰
	Power out	۹۸٤٤۸	۲٦٤۱٤٥
نیم‌دایره‌ای	Push out	۷۲۲۰۳	۱٤۷٦۰۰
	Power out	۱۱٥۳۹۰	۲۱۸۱۹۰
سه‌وجهی	Push out	٦٤٥۱۳	۱٤۲۱۳۸
	Power out	۹۸٤٤۸	۲۰۷٤٥٦
اقماری دایره‌ای	Push out	۷۲۲۰۳	۲٦۰۹۸٤
	Power out	۱۱٥۳۹۰	٤٤٥۷٤۲
اقماری چهارضلعی	Push out	۷۲۲۰۳	۲۷۰٤۰٥
	Power out	۱۱٥۳۹۰	٤٤۸۱۷٦
ترکیبی دایره‌ای خطی	Push out	۷۲۲۰۳	٥۷۹٥٤٦
	Power out	۱۱٥۳۹۰	٦٥۱۱۷٥
ترکیبی چهارضلعی خطی	Push out	۷۲۲۰۳	٥۳۰۲٤۳
	Power out	۱۱٥۳۹۰	٥۷٦۷٥٥
ترانسپورتر	Push out	۷۲۲۰۳	٤٤۲۸۰۰
	Power out	۱۱٥۳۹۰	٤٤٦٥۲۰

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

٦- نتیجه‌گیری

براساس مشخصات مدل بهینهٔ ارائه شده در این مقاله بـرای طراحی و تحلیل محوطهٔ ایپرون یا توقفگاه هواپیماها و ارزیـابی و آزمایش مدل با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی معرفی شده، بـه نتایج قابل توجهی دست می‌یـابیم کـه بـه طـور خلاصـه شـامل موارد زیرند

الف) بهترین و مناسبترین روش بـرای تحلیـل و طراحـی بهینـهٔ انواع توقفگاه هواپیماها در شرایط عملیـاتی مختلـف بـرای هـر فرودگاه و نهایتاً دستیابی به یک گزینهٔ بهینه، شبیه‌سـازی فراینـد تحلیل و طراحی این بخش از فرودگاه براساس مبـانی نظـری و منطق حاکم بر مدل ریاضی حداقل هزینهٔ سفر شرح داده شده و در واقع، کـاربردی کـردن و سـپس ارزیـابی مـدل بـا نرم‌افـزار شبیه‌سازی است.

ب) نتایج حاصل از مدل بهینهٔ پیشنهادی و آزمون و ارزیـابی آن نشان دهندهٔ ایـن اسـت کـه سیاسـتها و خـط مشـیهای مدیـران فـرودگاه و شـرکتهای هوایـی در قـالب برنامـه‌های زمـان‌بندی پـروازی، انـواع کـاربری جایگاهـهای توقـف، ترکیـب نـاوگان هواپیمایی فرودگاه در طول دوره‌های طرح، شـرایط عملیـاتی و خدمات‌رسـانی و ملاحظـات اقتصـادی تـأثیر تعیین‌کننـده‌ای در چگونگی طراحی یا تحلیل توقفگاههای هواپیما دارد.

ج) آرایـش و قـرارگیـری هـواپیماهـا در جایگاهـهای محوطـهٔ توقفگاه براساس مدل حداقل هزینهٔ سفر یا TC موجـب کـاهش عمده‌ای در مسافت پیاده‌روی یا انتقال مسـافران از هـواپیمـا بـه پایانه و برعکس می‌شود.

د) با مقایسهٔ دو حالت عملیاتی خروج هواپیما از جایگاه توقف، مشخص شد که در صورت استفاده از ماشیـن آلات یدک‌کـش برای این منظور، حداقل سطح مورد نیاز محوطهٔ توقفگاه کاهش قابل ملاحظه‌ای (در بعضی موارد تا حدود ۵۰ درصد) می‌یابد.

هـ) بهترین حالت توقف هواپیما در محل جایگاهها از نظر سطح زمیـن لازم، در شـرایط عملیـاتی خـروج بـا اسـتفاده از موتـور هواپیما[16]، توقف موازی با ساختمان پایانه و در شرایط عملیـاتی خروج با یدک‌کش[17]، توقف زاویه‌ای ٤٥ درجه است.

و) مناسبترین روش از نظر تعداد جایگاههای لازم بـرای توقـف هواپیماها و همچنین بهترین راهبرد دستیابی به بهره‌وری مناسب آنها، اتخاذ کـاربری عمومـی جایگاهـهای توقـف بـرای تمـامی شرکتهای هوایی استفاده کننده از فرودگاه است.

ز) از مهمترین مسـائل لازم در مـدل بهینـهٔ پیشـنهادی کـه بـاید توسط کاربران، برنامه‌ریزان و طراحـان فـرودگاه دقیقـاً رعـایت شود، حفظ قابلیت انعطاف‌پذیـری و امکـان توسـعهٔ گزینـه‌های تحلیـل و طراحـی شـده در چـارچـوب برنامه‌ریزیـهای آینـدهٔ فرودگاه است.

ح) با توجه به قابلیت نرم‌افزار در عملی کـردن و ارزیـابی مـدل بهینهٔ پیشنهادی و انتقال طرح منتخب به محیـط اتوکـد و نـهایتاً الحاق مناسب سایر اجزای فرودگاه به محوطهٔ پایانـه و توقفـگاه طراحی شده، به یک سیستم مناسب و کارا برای فـرودگاه مـورد نظر دست می‌یابیم.

ط) به دلیل اینکه هزینه‌های اقتصـادی از مـهمترین پارامترهـای برنامه‌ریزی، طراحی، انتخاب و اجرای هر پروژه است، بنـابراین برنامه‌ریزان و اداره‌کنندگان فرودگاه باید با بررسـی همـه جانبـهٔ عوامل مختلف همچون هزینه‌های افزایش و تملک سطح زمیـن لازم، هزینـه‌های سـاخت انـواع طرحـها، تـأمین ماشـین‌آلات یدک‌کـش و تجـهیزات ویـژهٔ آن و ارزیـابی و مقایسـه تمـامی گزینه‌های مطرح بر مبنای نتایج خروجی از نرم‌افزار مربوطه، بـه مدلی مناسب، اقتصادی و سازگار با ویـژگیـهای فـرودگاه مـورد مطالعه دست یابند.

واژه نامه

1. apron
2. gates
3. blast pad
4. visual basic 4.00
5. power out & push out
6. travel cost
7. user friendly
8. finger concept
9. frontal or linear concept
10. semi-circular concept
11. trigonal concept
12. single & double finger concept

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]

13. satellite concept
14. hybrid concept
15. transporter concept
16. power out
17. push out

مراجع

1. Horonjeff, R., and MCKelvey, F. X., *Planning and Design of Airport,* Fourth Edition, Mc Graw Hill, 1994.
2. Parizi, M. S., "A Practical Procedure for the Optimum of Airport Passenger Terminals," Ph.D Thesis, Carleton University, Ottawa, 1995.
3. Federal, Aviation Administration, -AC 150/5360-13; "Planning and Design Guidelines for Airport Terminal Facilities," 1988.
4. International Air Transport Association, "Airport Development Reference Manual," 8th Edition, Montreal, Canada, 1995.
5. Hassounah, Mazen. I., and Steuart, Gerald. N., "Demand for Aircraft Gates," paper No. 93. Of 72nd Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C, January 1993.
6. International Civil Aviation Organization, DOC 9157-AN1901, "Aerodrome Design Manual," Part 2: *Taxiways, Aprons and Holding Bays*," Second Edition, 1983.
7. International Civil Aviation Organization, Annex 14, "Aerodromes," Vol. 1, *Aerodrome Design and Operations*, First Edition, Montreal, Canada, July 1990.
8. Bandara, S., and Wirasinghe, S. C., "Walking Distance Minimization and Simulation for Airport Terminal," Ph.D Thesis., The University of Calgary, Calgary, Canada, 1992.
9. Braaksma, J. P., "Optimum Airport Terminal Layout Planning," *Engineering Optimization Journal*, Vol. 3, pp. 1-15, 1977.
10. معصومی، غ.، "طراحی مدل کامپیوتری برای طرح و آنالیز بهینهٔ توقفگاه فرودگاه،" پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۷.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1380.20.2.6.3]