

ارایه الگوی نوین در مدیریت عملیاتی باندهای پروازی جهت ارتقاء ظرفیت بخش هوایی فرودگاه (در فرودگاه‌های چندباند)

محمود صفارزاده، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
علی عبدی، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمد علی بهشتی‌نیا، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: Saffar_m@modares.ac.ir

چکیده

در سالهای اخیر، افزایش تقاضای فرودگاه‌ها سبب ایجاد مسایلی از جمله ایجاد تأخیرهای زیاد و اتلاف هزینه‌های اقتصادی شده است. بنابراین ارایه راهکارهای مناسب برای جلوگیری از این مسأله و استفاده بهینه از باندهای موجود، بهترین روش برای استفاده کامل از منابع موجود است. مدیریت عملیاتی باندها ابزار مناسبی برای افزایش کارآیی باندهای موجود است که به عنوان نقاط گلوگاهی در بسیاری از فرودگاه‌ها مطرح هستند. از مهم‌ترین وظایف مدیریت عملیاتی باندها، می‌توان به مدیریت ترکیب باندها، مدیریت تخصیص باندها و برنامه‌ریزی عملیاتی باندها اشاره کرد. در این تحقیق، الگویی برای تلفیق برنامه‌ریزی عملیاتی و مدیریت تخصیص باندها ارایه شده است که تاکنون به صورت جدا از یکدیگر در نظر گرفته می‌شدند. الگوی یاد شده بر اساس ترکیب معین باندها ارایه شده است که معمولاً برای هر زمانی از طول سال، مشخص است. برای تحلیل مدل از روش زمان‌بندی و تئوری توالی عملیات استفاده شده است که روش مناسبی برای این تلفیق است. در این روش، از مدل ماشین‌های موازی استفاده شده است. نهایتاً با الگوی مذکور مشخص می‌شود که الگوی مذکور در چه زمانی، از کدام باند و برای چه عملیاتی استفاده شود تا حداکثر ظرفیت سیستم باندها به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت باندهای پروازی، برنامه‌ریزی عملیاتی، مدل یکپارچه، ظرفیت، زمان‌بندی و ترتیب عملیات و ماشین‌های موازی

۱. مقدمه

از مواقع به استفاده مؤثر از باندهای پروازی و در نهایت فرودگاه نمی‌انجامند؛ و بنابراین استفاده بهینه از باندهای پروازی به امری گریزنپذیر تبدیل می‌شود [۱]، که می‌تواند به توالی عملیات و تخصیص بهینه عملیات نشست و برخاست به باندهای پروازی منجر شود. توجه شود که ظرفیت فرودگاه، اغلب به صورت حاصل جمع عملیات ساعتی نشست و برخاست، اطلاق می‌گردد [۲].

فرودگاه به عنوان یک گلوگاه در سیستم ترافیک هوایی مطرح است؛ این در حالی است که بسیاری از فرودگاه‌ها در ساعاتی از شبانه روز، با ظرفیت نهایی خود عمل می‌کنند. باندهای پروازی نیز به عنوان گلوگاه‌های فرودگاه‌ها محسوب می‌شوند. ظرفیت باندهای فرودگاه تحت تأثیر عوامل متعددی تغییر می‌کنند که عمده‌ترین آنها شرایط جوی و قابلیت دید است. بنابراین تأخیرهای نشست و برخاست مکرری رخ می‌دهند که در بسیاری

روش حل مدل و اجرای آن بحث شده و نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

۳. مدیریت ترافیک هوایی

برای ATM ساختار چندان مشخصی تعیین نشده است، اما برخی از محققان ساختار نوینی پیشنهاد کرده‌اند که مبنای این تحقیق، قرار گرفته است. از آنجاکه این ساختار وابستگی‌ها و ارتباطات بین سه جزء اصلی ترافیک از جمله ترافیک نشست، برخاست و ترافیک زمینی را طبق شکل ۱ توضیح می‌دهد، می‌تواند به عنوان سیستم کمک‌کننده در تصمیم‌گیری‌ها^۱ برای کنترل‌کنندگان ترافیک هوایی مفید باشد. طبق این شکل، ROP و RAM هر دو متعلق به ROM هستند که در کل زیر مجموعه‌ای از سیستم ATM محسوب می‌شوند [۴].

وظایف عمده ROM عبارتند از:

- مدیریت ترکیب باندها^۲، که شامل برنامه‌ریزی استراتژیک زیر است:

- ترکیب‌های مورد استفاده باندها؛

- روشهای عملیاتی شکل گرفته متناسب با هر ترکیب و

- تغییرات زمانی ترکیب، به دلیل شرایط آب و هوایی، نوسانات ترافیک قابل انتظار و سایر محدودیت‌ها و مقررات.

- مدیریت تخصیص باندها، که باند مورد استفاده هر هواپیما را مشخص می‌کند.

- برنامه‌ریزی عملیاتی باندها، که برنامه‌ریزی تاکتیکی برای استفاده پروازهای متفاوت ورودی و خروجی است.

در برخی از مراجع [۵]، این وظایف به صورت سلسله‌مراتبی در نظر گرفته شده‌اند، ولی در این تحقیق برخی از این وظایف به صورت تلفیقی ارائه شده‌اند.

۳-۱ برنامه‌ریزی عملیاتی باندها

سیستم باندها، به عنوان منابع قابل استفاده هواپیماها، جزو مهم‌ترین نقاط گلوگاهی سیستم ترافیک هوایی محسوب می‌شوند که این امر می‌تواند یا به دلیل محدودیت در ظرفیت مؤثر فرودگاه و یا به دلیل افزایش تقاضا باشد.

در فرودگاه‌های پرتراфик، برنامه‌ریزی تخصیص زمان باندها به انواع عملیات پروازی، از کارهای سنگین محسوب می‌شود. برنامه‌ریزی و کنترل، دو مقوله تاکتیکی جدا از هم هستند که

با آگاهی از میزان تقاضای ترافیک موجود و پیش‌بینی شده، بررسی روشهای افزایش ظرفیت فرودگاه، کاهش اثرات زیست محیطی و اتلاف هزینه‌های عملیاتی ناشی از تأخیر، از اولویت بسیاری برخوردارند. بنابراین هر گونه تلاشی برای ارائه سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری‌های اتخاذشده^۱، شامل الگوریتم‌های برنامه‌ریزی و کنترل، به عنوان یک رویکرد مهم مطرح می‌شود [۳].

۲. بیان مسأله

یکی از روش‌های ارتقاء ظرفیت، افزایش تعداد باندهای پروازی است. اما ساخت باندهای جدید به دلیل تحمیل هزینه‌های سنگین و تملک اراضی زیاد، به ویژه در مناطق شهری، همیشه امکان‌پذیر نیست. همچنین افزایش تعداد باندها، بدون برنامه‌ریزی بهینه باندها، تضمینی در مورد کارایی حداکثر باندها نمی‌دهد. این که چه زمانی، از کدام باند و برای چه عملیاتی استفاده شود، می‌تواند نقش بسیار مهمی در ظرفیت سیستم باندها و در نهایت ظرفیت فرودگاه ایفا کند. برای مثال در یک فرودگاه تک باند، پارامترهای ذیل، نقش اساسی در تعیین برنامه‌ریزی عملیاتی بازی می‌کنند که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ترکیب استفاده از باندها^۲، حجم عملیات نشست و برخاست، حجم و محل نقاط ثابت^۳، تعداد و محل‌های پارک هواپیما، تعداد و موقعیت باندهای خزش و باندهای خزش خروجی سریع، نوع هواپیماها و ...

با افزایش تعداد و پیچیدگی هندسی باندها، جهت و موقعیت باندها، نقاط تلاقی و تقرب نهائی باندها، افزایش بارکاری کنترل‌کنندگان ترافیک هوایی آنچنان اهمیت پیدامی‌کند که بدون برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص بهینه، ظرفیت حداکثر باندها و در نهایت بخش هوایی قابل حصول نیست. علاوه بر آن، سبب ایجاد تأخیرهای چشمگیر، اتلاف منافع اقتصادی و نارضایی کاربران فرودگاه - اعم از مسافران و شرکتهای هوایی - می‌شود.

ساختار این تحقیق به شرح ذیل است: در بخش ۳، مروری بر مدیریت ترافیک هوایی^۴ و توضیحاتی در مورد بخش‌های اصلی مدیریت عملیاتی باندها^۵، از جمله برنامه‌ریزی عملیاتی باندها^۶ و مدیریت تخصیص باندها^۷ ارائه شده است. در بخش ۴، در مورد یکپارچگی ROP و RAM بحث شده است. در بخش ۵، با استفاده از تئوری زمان‌بندی و توالی عملیات، مدل یکپارچه ROP و RAM ارائه شده است. در بخش‌های ۶ و ۷ در مورد

مناسبی اتخاڈ کنند که لزوماً به استفاده بهینه از ظرفیت باندهای پروازی نمی‌انجامد. همچنین در اکثر موارد تخصیص برای عملیات ورودی انجام می‌گیرد [۷].

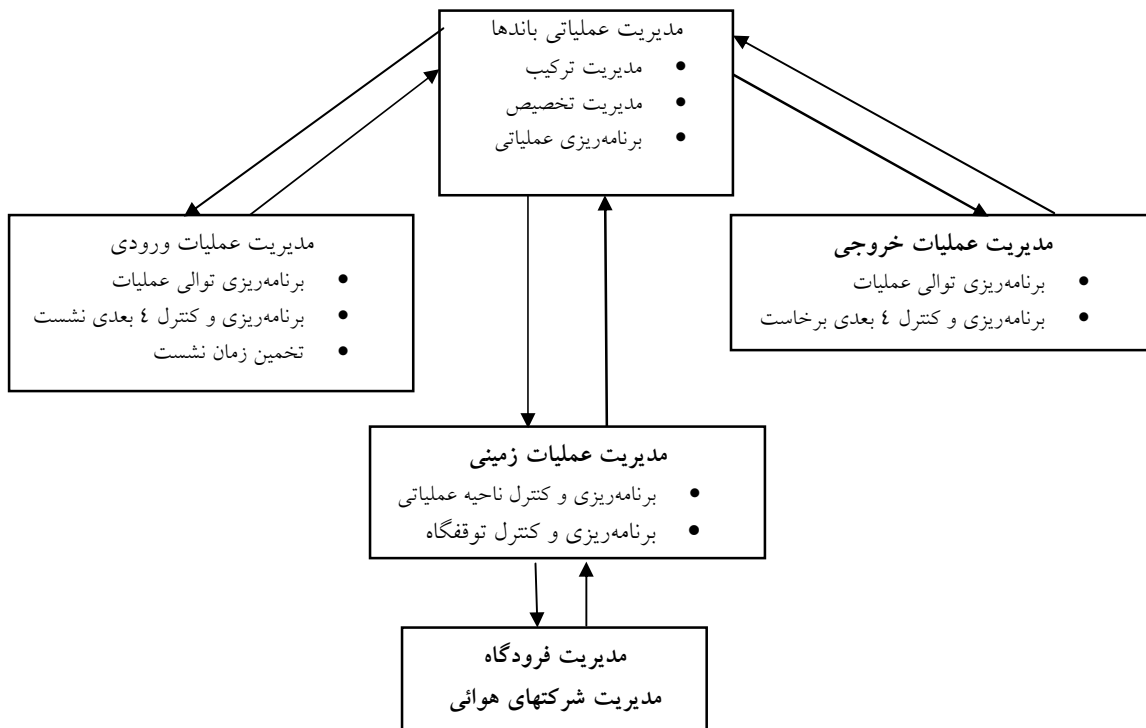
تخصیص باندها به هواپیماهای ورودی، یک تصمیم‌گیری تاکتیکی است که توسط کنترل‌کنندگان انجام می‌شود. اگرچه تخصیص استراتژیک، سبب تعادل^{۱۱} بارکاری کنترل‌کنندگان و کاهش تأخیر می‌شود، بارکاری کنترل‌کنندگان را افزایش می‌دهد، زیرا آنها در فضای هوایی ترمینال، آن‌چنان با مسأله جدایی ناوگان درگیر می‌شوند که تخصیص باندها امری ناچیز تلقی می‌شود. در دوره‌های پرتراфик، کنترل‌کنندگان روش‌های آسانی را برای تخصیص در نظر می‌گیرند و معمولاً از فواصل زمانی به دست آمده برای عملیات نشست^{۱۱}، استفاده می‌کنند. این فرآیند اصلاح تاکتیکی زمان‌بندی عملیات ورودی، نیاز به هماهنگی بین کنترل‌کنندگان دارد که در نهایت باعث افزایش بارکاری و احتمالاً تأخیر می‌شود برای تخصیص باندها، معمولاً از الگوریتم دانش-مبناء و درخت تصمیم‌گیری مربوطه، استفاده می‌شود [۸].

فرآیند مشابهی برای عملیات خروجی وجود دارد. در هر حال تخصیص عملیات ورودی و خروجی به صورت جداگانه و مستقل انجام می‌شود.

بدون اغماض از همبستگی و رابطه بین آنها، باید از نظر مفهومی از یکدیگر تمیز داده شوند. این رابطه نه آشکار است و نه قابل مشاهده، زیرا در بسیاری از موارد، کنترل‌کننده، هر او عمل کنترل و برنامه‌ریزی را به طور ذهنی و در یک زمان انجام می‌دهد. اما، در یک فرودگاه، این دو عمل چون بر روی کل سیستم فرودگاه تأثیر می‌گذارند، بایستی بین اهداف، بین محدودیت‌ها، بین پارامترهای ورودی تمام بخش‌های فرودگاه، یکپارچگی وجود داشته باشد. بنابراین ROP به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی مطرح‌شده و بر روی سرمایه‌های مالی و عملیاتی چندین بخش از جمله کاربران فرودگاه (مسافران و شرکت‌های هوایی) و ارایه‌کنندگان خدمات ATM (مسئولان فرودگاهی و کنترل‌کنندگان ترافیک هوایی) تأثیر می‌گذارد [۴]. به طور کلی در مراجع تحقیق، اهداف و محدودیت‌ها فقط برای عملیات نشست و یا برخاست در ROP در نظر گرفته شده است [۶].

۲-۳ مدیریت تخصیص باندها

تخصیص هواپیماها (ورودی و خروجی) به باندهای پرواز یکی از دغدغه‌های اصلی کنترل‌کنندگان است؛ زیرا در برخی از مواقع، در تقاضاهای بالا، بایستی در مدت زمان کوتاهی، تصمیم‌گیری‌های



شکل ۱. اندرکنش مدیریت عملیاتی باندها [۴]

۴. تلفیق برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص باندها

در فرودگاه‌های تک بانده، مسأله تخصیص باندها مطرح نبوده و فقط برنامه‌ریزی عملیاتی برای عملیات نشست و برخاست اهمیت می‌یابد. اما با افزایش تقاضا برای ارتقاء ظرفیت، تعداد باندها باید افزایش یابد و افزایش تعداد باندها نیز نیاز به برنامه‌ریزی دارد. بنابراین افزایش ظرفیت، بدون برنامه‌ریزی، به اندازه افزایش تعداد باندها، امکان‌پذیر نیست. همچنین افزایش تعداد باندها، به دلیل افزایش تقاضای فضای هوائی، برنامه‌ریزی عملیاتی را پیچیده‌تر می‌کند. این پیچیدگی، اغلب، افزایش بارکاری را به دنبال دارد که به انتخاب روش‌های ساده‌تر تخصیص می‌انجامد (برای مثال در یک سیستم باندهای موازی، یک باند به عملیات نشست و یک باند به عملیات برخاست، تخصیص می‌یابد)؛ که این تصمیم، لزوماً به یک برنامه و کاربرد بهینه از باند، منجر نمی‌شود. تخصیص باندها نیز نمی‌تواند به طور مستقل انجام شود، چرا که در این صورت، تخصیص فقط هواپیماهای ورودی یا خروجی برحسب نزدیکی به محلهای گیت^{۱۲} یا محلهای ثابت^{۱۳} در دروازه‌های ورودی، به صورت ثابت و نه متغیر در نظر گرفته می‌شود. اما گاهی ممکن است مثلاً یکی از محلهای ثابت دروازه ورودی با تقاضای زیادی مواجه شود و نیاز به استفاده از سایر باندها نیز وجود داشته‌باشد [۶]، زیرا بهترین استفاده از ظرفیت باندها در سیستم باندهای موازی، با بکارگیری هر دو باند برای عملیات ورودی و خروجی میسر می‌شود [۹].

برخی از مراجع، فقط برنامه‌ریزی عملیاتی ورودی را با احتساب هزینه‌های شرکتهای هوائی، در نظر گرفته‌اند [۱۰]. به دلیل وابستگی‌های بین پروازهای ورودی و خروجی، در صورت در نظر گرفتن توأم عملیات نشست و برخاست، بسیاری از هزینه‌های اضافی، صرفه‌جویی می‌شوند [۱]. برخی از محققان نیز، استفاده مشترک از ظرفیت نشست و برخاست را مد نظر قرار داده‌اند. ظرفیت عملیات ورودی می‌تواند با ظرفیت عملیات خروجی، به منظور افزایش کارایی و کاهش تأخیرها، مبادله شود^{۱۴} [۱۱]. بنابراین، لزوم پیش‌بینی برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص باندها برای عملیات نشست و برخاست، امری ضروری است.

۵. استفاده از روش زمان‌بندی برای تحلیل مسأله

زمان‌بندی، تخصیص منابع در طول زمان برای انجام مجموعه‌ای

از وظایف است. فرآیند زمان‌بندی در کل، هم نیاز به توالی عملیات و هم نیاز به تصمیم‌گیری در مورد تخصیص منابع دارد [۱۲]. برای ارضاء تابع هدف، توالی عملیات نشست و برخاست نه تنها در هر باند، بلکه در مجموع کل باندها، باید به صورت بهینه توزیع شود. تابع یا توابع هدف، می‌تواند شامل شاخص‌های عملکردی زیر باشد: کمینه کردن متوسط زمان اشغال باند، کمینه کردن بیشینه زمان اشغال باند، کمینه کردن متوسط دیرکرد هواپیماها از برنامه زمانی، کمینه کردن تعداد هواپیماهای دیرکردار و ... این شاخص‌ها می‌توانند به صورت یک تابع هدف یا چند تابع هدف با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره^{۱۵}، در نظر گرفته شوند [۶].

۵-۱ فرمول‌بندی مسأله با استفاده از برنامه‌ریزی

عدد صحیح^{۱۶}

در مدل‌سازی این مسأله، از مدل ماشین‌های موازی با کارهای مستقل^{۱۷} استفاده شده است. یکی از مزایای اصلی و محاسن این مدل نسبت به مدل ارایه‌شده قبلی [۶]، این است که مدل قبلی در اینجا، به صورت یک مدل دنیای واقعی^{۱۸} در نظر گرفته شده است. در این مدل، فاصله زمانی جدائی بین هواپیماها^{۱۹} و نیز زمان آماده شدن^{۲۰} ورود (یا خروج) به (یا از) نقاط ثابت، منظور شده‌اند.

۵-۱-۱ پارامترها و مجموعه‌های مسأله

J و I : شاخص هواپیما (کار)؛

I : شاخص باند پرواز (ماشین)؛

n : تعداد هواپیماها؛

m : تعداد باندهای پرواز؛

P_{ij} : زمانی که هواپیمای J ام برای پردازش (سرویس گرفتن) از باند I ام نیاز دارد (از محل fix تا لحظه خروج از باند یا از لحظه ورود به باند تا رسیدن به محل fix)؛

w_j : ضریب وزنی هر یک از هواپیماها ($0 \leq w_j \leq 1$)؛

T_j : زمان آماده بودن هواپیمای J ام (ورود به محل fix)؛

d_j : زمانی که باید سرویس‌دهی به هواپیمای J ام تکمیل شود.

۵-۱-۲ متغیرهای مسأله

C_j : زمان تکمیل سرویس هواپیمای J ام؛

M : عددی بسیار بزرگ؛

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \text{ متغیر صفر و یک؛ اگر هواپیمای } j \text{ ام به باند } I \text{ ام}$$

تخصیص یابد، برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است؛

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \text{ متغیر صفر و یک؛ اگر هواپیمای } I \text{ ام زودتر از}$$

هواپیمای J ام سرویس بگیرد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است؛

T_j : مدت زمان دیرکرد هواپیمای J ام.

به دلیل اینکه یکی از هدف‌های اصلی مسئولان فرودگاهی، کمینه کردن تأخیرهاست، تابع هدف انتخاب شده بر این اساس است.

۲-۵ مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی

۱-۲-۵ تابع هدف

Objective Function:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n w_j \cdot T_j \quad (1)$$

۲-۲-۵ محدودیت‌ها

Subject to:

محدودیت تخصیص هر هواپیما به یک باند:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 1 \quad \forall j: 1 \leq j \leq n \quad (2)$$

محدودیت ناهم‌پوشانی سرویس‌دهی به هواپیماها در یک باند:

$$C_j + M \times (3 - X_{ij} - X_{il} - Y_{ij}) \geq C_l + P_{ij} \quad (3)$$

$$\forall j: 1 \leq j, l \leq n,$$

$$\forall i: 1 \leq i \leq m$$

$$C_l + M \times (2 - X_{ij} - X_{il} + Y_{ij}) \geq C_j + P_{il} \quad (4)$$

$$X_{ij}, Y_{ij} \in \{0, 1\}$$

محدودیت زمان تکمیل سرویس‌دهی بر اساس زمان پردازش:

$$C_j \geq P_{ij} - M \times (1 - X_{ij}) + r_j \quad (5)$$

$$\forall j: 1 \leq j \leq n,$$

$$\forall i: 1 \leq i \leq m$$

محدودیت تعریف دیرکرد:

$$L_j = C_j - d_j, \quad T_j = \max\{0, L_j\} \quad (6)$$

$$C_j, T_j \geq 0 \quad (7)$$

۶. روش حل ابتکاری مسأله

به دلیل ابعاد گسترده مسأله و افزایش مدت زمان حل مسأله با روش‌های دقیق از جمله Lingo (با توجه به بزرگی مسأله برای حل)، به جای استفاده از روش‌های دقیق، از روش ابتکاری برای حل این مسأله استفاده می‌شود. ذکر این نکته حائز اهمیت است که سرعت در تصمیم‌گیری برای استفاده بهینه از باندها بسیار مهم است که این عمل‌گاه با روش‌های دقیق امکان‌پذیر نبوده و یکی از دلایل استفاده از روش حل ابتکاری این مورد است. الگوریتم این روش به طور عمده بر اساس روش جابجایی جفتهای مجاور^{۱۱} بوده و به شرح مراحل زیر است:

مرحله ۱- زمان‌های پردازش، زمانهای موعد تحویل، w_j و زمان‌های آماده بودن کارها را وارد کنید.

مرحله ۲- کارها را بر اساس WEDD^{۱۲} مرتب کنید (کارها در اولویت هستند که نسبت $\frac{d_{[j]}}{w_j}$ آنها کمتر باشد) یعنی

که دارای نوبت J ام است. بر اساس این معیار هواپیمای J ام بر

$$\frac{d_{[j]}}{w_j} \leq \frac{d_{[l]}}{w_l}$$

مرحله ۳- کار را با یک ترتیب غیر EDD آغاز کنید.

مرحله ۴- موقعیت جفت کار J و I را تعیین کنید که I بعد از J قرار دارد ولی $d_j > d_I$ است.

مرحله ۵- کارهای J و I را جابجا کنید.

مرحله ۶- به طور تکراری، آنقدر به مرحله ۳ برگردید که توالی EDD برقرار شود.

مرحله ۷- کارها را به ترتیب اولویت به دست آمده در مرحله ۲ به باندهای تخصیص دهید که می‌تواند زودتر از سایر باندها خدمت‌دهی به هواپیمای مورد نظر را سریع‌تر به اتمام برساند.

مرحله ۸- اتمام الگوریتم.

۷. اجرای مدل پیشنهادی

برای اجرای مدل، الگوریتم مذکور با زبان Visual Basic برنامه‌نویسی شده و اجرا می‌شود. اجرای برنامه طی دو مرحله به این صورت انجام می‌گیرد؛ در مرحله اول، پس از مشخص کردن تعداد باندها و تعداد هواپیماهای تحت تحلیل، در برنامه به تعداد باندها و هواپیماها، ورودی سلول ورودی طبق شکل ۲ ایجاد می‌شود.

صفارزاده، عبدی و بهشتی نیا

10	No of Attempts					Survey 3	Survey 2	Survey 1
3	No of Attempts	Survey Time	Class	Height	Date Date	Attempt 1	Attempt 2	Attempt 3
						Attempt 4		
						Attempt 5		
						Attempt 6		
						Attempt 7		
						Attempt 8		
						Attempt 9		
						Attempt 10		
		Class1	Class2	Class3	Class4			
		Class1	Class2	Class3	Class4			
		Class1	Class2	Class3	Class4			
		Class1	Class2	Class3	Class4			

Step 1

شکل ۲. گام اول اجرای برنامه جهت آماده سازی داده ها

10	No of Attempts					Survey 3	Survey 2	Survey 1	
3	No of Attempts	Survey Time	Class	Height	Date Date	Attempt 1	Attempt 2	Attempt 3	
		1	4	1.3	12	Attempt 1	12	17	17
		2			13	Attempt 2	4	4	8
		17	2	1.6	21	Attempt 3	8	10	7
		7	4	1.5	21	Attempt 4	13	2	17
		9	3	1.3	12	Attempt 5	5	11	6
		10			27	Attempt 6	12	2	13
		7	4	1.7	24	Attempt 7	5	3	9
		3	2	1.6	16	Attempt 8	5	10	8
		11	3	1.7	15	Attempt 9	13	4	9
		15	4	1.3	32	Attempt 10	11	7	14
		Class1	Class2	Class3	Class4				
		Class1	Class2	Class3	Class4				
		Class1	Class2	Class3	Class4				
		Class1	Class2	Class3	Class4				

Step 2

شکل ۳. گام دوم اجرای برنامه جهت تحلیل

در مرحله دوم، پس از تحلیل، می توان نتایج را طبق جدول ۱ و یا طبق شکل ۴ به صورت نمودار گانت^{۳۳} مشاهده کرد که کدام هواپیما، چه زمانی و از کدام باندا استفاده می کند. یکی از مزیت های مشاهده نتایج در نمودار گانت این است که علاوه بر مشاهده زمان های نشست و برخاست و تخصیص باندا به هواپیماهای مختلف، می توان زمان های بیکاری باندا را نیز

فاصله جدائی بین هواپیماها طبق یک جدول وارد می شود. ورودی ها طبق شکل ۳، شامل برنامه زمان بندی، زمان پرواز بین محل های ثابت فضایی و بانداها برای پروازهای ورودی (و یا برعکس برای پروازهای خروجی)، زمان اشغال باندا، ضریب وزنی هواپیماها و زمان رسیدن به محل های ثابت فضایی هستند که پس از وارد کردن این ورودی ها، برنامه وارد فاز تحلیل می شود.

ارایه الگوی نوین در مدیریت عملیاتی باندهای پروازی جهت ارتقاء ظرفیت بخش هوایی فرودگاه

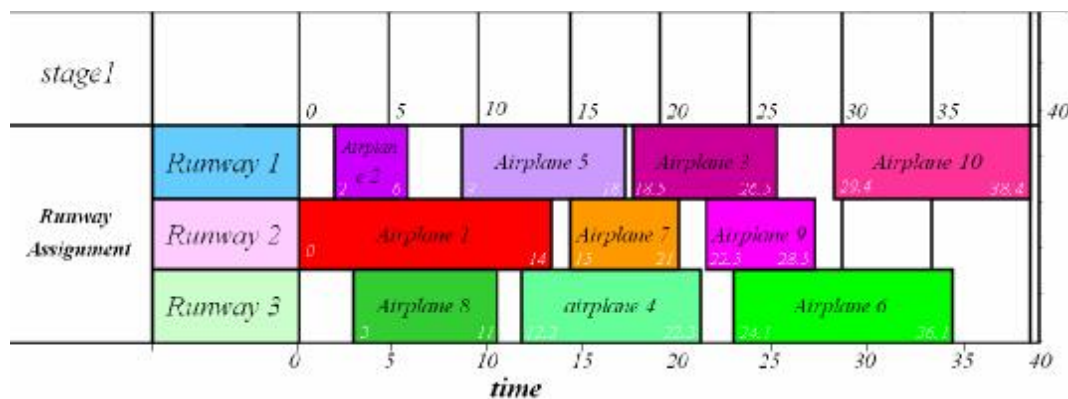
زمان‌های آماده‌بودن کارها، همان زمان رسیدن هواپیماها به محل‌های ثابت فضائی، برای پروازهای ورودی و یا زمان رسیدن به ابتدای باند برای پروازهای خروجی هستند. چنان‌که در قسمت‌های قبلی اشاره شد، از مزایای مدل مذکور نسبت به مدل قبلی [۶]، احتساب فاصله جدائی بین ناوگان و زمان‌های رسیدن به محل‌های ثابت و ابتدای باند است، که در مدل قبلی در نظر گرفته نشده بود.

به طور بصری مشاهده و محاسبه کرد. توجه شود که این مدل برای این که در عمل، به صورت اجرایی مورد استفاده قرار گیرد، به عنوان یک سیستم کمک‌کننده تصمیم است نه به صورت تصمیم‌گیر و در نهایت کنترل‌کنندگان ترافیک هوایی مسئول هدایت و کنترل هواپیماها هستند.

توجه شود که در مشخص کردن طبقه‌بندی هواپیما^{۲۴}، این عمل بر اساس فاصله جدائی^{۲۵} لازم بین هواپیماها انجام می‌شود. برنامه زمان‌بندی به صورت موعدهای تحویل به برنامه وارد می‌شود.

جدول ۱. نتیجه تحلیل برنامه به صورت جدول زمانی

هواپیما	شماره باند	زمان شروع	زمان اتمام عملیات
1	2	0	14
2	1	2	6
3	1	18.5	26.5
4	3	12.3	22.3
5	1	9	18
6	3	24.1	36.1
7	2	15	21
8	3	3	11
9	2	22.5	28.5
10	1	29.4	38.4



شکل ۴. نتیجه برنامه به صورت نمودار گانت

۸. خلاصه و نتیجه گیری

با توجه به این که کنترل کنندگان ترافیک هوایی در کنترل هواپیماها به باندها و بالعکس، نیاز به تصمیم گیری دارند، مطمئناً زمان محدودی برای این افراد خبره و ماهر، جهت انتخاب برترین گزینه برای نحوه استفاده از باند وجود دارد که ممکن است، با توجه به بارکاری کنترل هواپیما، همیشه به بهینه ترین گزینه منجر نشود. این تصمیم گیری با افزایش تعداد باندها، حتی آن چنان پیچیده می شود که نیاز به یک سیستم کمک کننده تصمیم، اجتناب ناپذیر می شود. به عنوان مثال، از جمله مزایای بسیار چشمگیر این سیستم، می توان به حالت سه باند و ده هواپیمای مذکور اشاره کرد که، به دلیل این که هواپیمای هفتم، سومین هواپیمایی است که وارد سیستم می شود، می بایست طبق قانون اولویت به ترتیب ورود^{۲۶} و طبق منطق عقلانی کنترل کنندگان ترافیک هوایی، سومین هواپیمای خدمت گیرنده باشد؛ در صورتی که با حل این مسأله و اجرای برنامه، چنان که ملاحظه می شود، برای استفاده بهینه از سیستم باندها، در دقیقه پانزدهم و با اعمال کمی تأخیر برای آن، خدمت دهی می شود؛ زیرا دیرکرد کل استفاده از باندها به حداقل میزان خود می رسد. این همان حالتی است که در مراجع توالی عملیات و زمان بندی به بیکاری اجباری^{۲۷} مشهور است. بنابراین با در نظر گرفتن توأم و ارایه مدل یکپارچه مدیریت تخصیص و برنامه ریزی عملیاتی باندها، با دیدی وسیع تر می توان نسبت به استفاده بهینه و حداکثر از ظرفیت بخش هوایی فرودگاه اقدام کرد.

۹. پیشنهاد برای تحقیقات آینده

از آنجا که این مسأله، یکی از مسائل مهم در زمینه ارتقاء ظرفیت و کارایی فرودگاه است، سمت و سوی تحقیقات آتی باید در جهت اجرایی شدن آن باشد تا بتوان از خروجی های دستگاه های برج کنترل ترافیک هوایی، به عنوان ورودی برنامه در جهت برنامه ریزی لحظه ای استفاده کرد. درج مسیرهای هوایی در مدل نیز می تواند به عنوان توسعه مدل مذکور مورد بررسی قرار گیرد. استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره در جهت افزایش تعداد توابع هدف نیز، مسیر جدیدی برای بررسی های آتی باز می کند.

۱۰. مراجع

1. Soomer, M. J. (2006) "Equitable hub airport scheduling using airline costs" Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands.
2. Jason, A. D., Atkin, Edmund K., Burke, John S. and Greenwood, Dale Reeson (2007) "Hybrid metaheuristics to aid runway scheduling at London Heathrow Airport", Transportation Science, Vol. 41, No. 1, pp. 90–106.
3. Anagnostakis, I., Idris, H.R., Clarke, J-P., Ferone, E., Hansman, R.J., Odoni, A., Hall, W.D. (2000) "A Conceptual Design of a Departure Planner Decision Aid", presented at the 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D SEMINAR, 13-16 June 2000 Naples, Italy.
4. Anagnostakis, I., Clarke, J-P., Böhm, D. and Volckers, Uwe (2001) "Runway operations planning and control, sequencing and scheduling", Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-34), pp. Hawaii, January 3-6. 12p.
5. Anagnostakis, I., Clarke J-P. (2004), "A multi objective decomposition – based algorithm design methodology and its applications to runway operations planning", Report No. ICAT-2004-5, MIT International Center for Air Transportation, Department of Aeronautics & Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA.
6. Saffarzadeh, Mahmoud, Abdi Kordani, Ali and Beheshtinia, M. A. (2007) "A new approach in runway operations management for airside capacity enhancement", Air Traffic Research Society Conference, Berkeley, USA.
7. Isaacson, D. R., and Robinson, J. E. (2001) "A knowledge conflict resolution algorithm for terminal area air traffic control advisory generation", American Institute of Aeronautics and Astronautics.
8. Isaacson, D. R., Davis, T. J., and Robinson, J. E. (1997) "Knowledge-based runway assignment for arrival aircraft in the terminal area", To be published at the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, New Orleans, LA August 11-13.
9. Newell, G. F. (1979) "Airport capacity and delays", Transportation Science 13, pp.201–241.

- | | |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8- Decision-Aiding | 10. Soomer, M. J. and Franx, G. J. (2006) "Scheduling aircraft landings using airlines' preferences", European Journal of Operations Research, Submitted for publication (in revision). |
| 9- Runway Configuration Management | |
| 10- Balancing | |
| 11- Landing Slots | |
| 12- Gate | 11. Gilbo, E. P. and Howard, K. W. (2000) "Collaborative Optimization of airport arrival and departure traffic Flow Management Strategies for cdm, In 3rd USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar. |
| 13- Arrival and Departure Fixes | |
| 14- Trade off | |
| 15- MCDM (Multiple Criteria Decision Making) | 12. Baker, Kenneth R. (1974) "Introduction to sequencing and scheduling", John Wiley & Sons. |
| 16- Integer Programming | |
| 17- Parallel-Machine Independent Jobs | |
| 18- Real World Problem | |
| 19- Separation | |
| 20- Ready Time | |
| 21- Adjacent Pair Wise Interchange | |
| 22- Weighted Earliest Due Date | |
| 23- Gantt Chart | |
| 24- Aircraft Classification | |
| 25- Separation | |
| 26- FCFS (First-Come-First-Serve) | |
| 27- Inserted Idleness | |

پانویس ها

- 1- Decision Support System
- 2- Configuration of Runways
- 3- Fixes
- 4- ATM (Air Traffic Management)
- 5- ROM (Runway Operations Managements)
- 6- ROP (Runway Operations Planning)
- 7- RAM (Runway Assignment Management)