Archive of SID

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

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 مهم ترین وظایف مدیریت عملیاتی باندها، می‌توان به مدیریت ترکیب باندها، مدیریت تخصیص باندها و برنامه‌ریزی عملیاتی باندها اشاره کرد.

در این تحقیق، الگوئی 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 به‌کار گرفته شود.

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

۱. مقدمه

فرودگاه به عنوان یک گلوگاه در سیستم ترافیک هوائی 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 از مواقع به استفاده مؤثر از باندهای پروازی و در نهایت فرودگاه نمی‌انجامند؛ و بنابراین استفاده بهینه از باندهای پروازی به امری گریزناپذیر تبدیل می‌شود [۱]، که می‌تواند به توالی عملیات و تخصیص بهینه عملیات نشست و برخاست به باندهای پروازی منجرشود. توجه شود که ظرفیت فرودگاه، اغلب به صورت حاصل‌جمع عملیات ساعتی نشست و برخاست، اطلاق می‌گردد [۲].

*تاریخ دریافت: ۸۶/۸/۱۰ – تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۲/۲۰

www.SID.ir

Archive of SID

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 ارایه سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری‌های اتخاذشده[1]، 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 کارآیی حداکثر باندها نمی‌دهد. این که چه زمانی، از کدام باند و برای چه عملیاتی استفاده شود، می‌تواند نقش بسیار مهمی‌در 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[2]، حجم عملیات نشست و برخاست، حجم و محل نقاط ثابت[3]، 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 هوائی آنچنان اهمیت پیدامی‌کند که بدون برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص بهینه، ظرفیت حداکثر باندها و در نهایت بخش هوائی قابل حصول نیست. علاوه بر آن، سبب ایجاد تأخیرهای چشمگیر، اتلاف منافع اقتصادی و نارضایی کاربران فرودگاه ـ اعم از مسافران و شرکتهای هوائی ـ می‌شود.

ساختار این تحقیق به شرح ذیل است: در بخش ۳، مروری بر مدیریت ترافیک هوائی[4] و توضیحاتی در مورد بخش‌های اصلی مدیریت عملیاتی باندها[5]، از جمله برنامه‌ریزی عملیاتی باند[6] و مدیریت تخصیص باندها[7] ارایه شده‌است. در بخش ٤، در مورد یکپارچگی ROP و RAM بحث شده است. در بخش ٥، با استفاده از تئوری زمان‌بندی و توالی عملیات، مدل یکپارچه ROP و RAM ارایه شده‌است. در بخشهای ٦ و ٧ در مورد روش حل مدل و اجرای آن بحث شده و نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم برای تحقیقات آتی ارایه شده است.

۳. مدیریت ترافیک هوائی

برای ATM ساختار چندان مشخصی تعیین نشده‌است، 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 سیستم‌کمک‌کننده در تصمیم‌گیری‌ها[8] برای کنترل‌کنندگان ترافیک هوائی مفید باشد. طبق این شکل،ROP و RAM هر دو متعلق به ROM هستند که در کل زیر مجموعه‌ای از سیستم ATM محسوب می‌شوند [٤].

وظایف عمده ROM عبارتند از:

- مدیریت ترکیب باندها[9]، 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 هوائی،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 [٥]، این وظایف به صورت سلسله مراتبی در نظرگرفته شده‌اند، ولی در این تحقیق برخی از این وظایف به صورت تلفیقی ارایه شده‌اند.

۳-۱ برنامه‌ریزی عملیاتی باندها

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

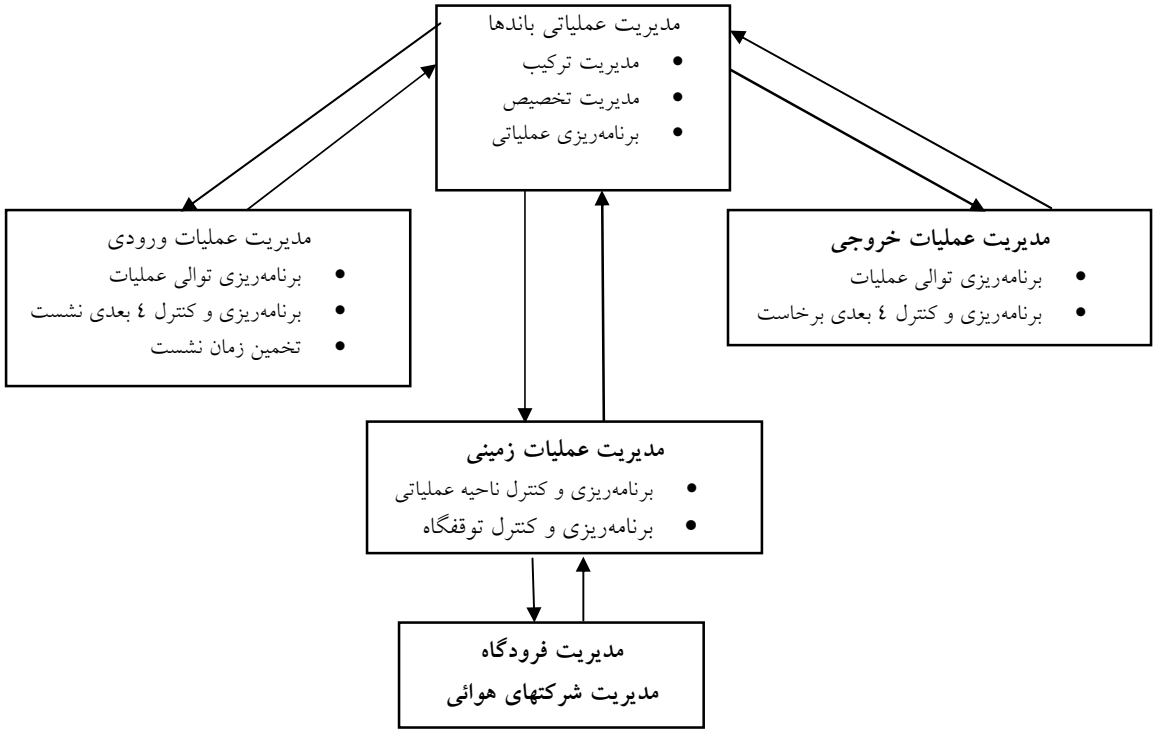
بدون اغماض از همبستگی و رابطه بین آنها، باید از نظر مفهومی از یکدیگر تمیز داده شوند. این رابطه نه آشکار است و نه قابل مشاهده، زیرا در بسیاری از موارد، کنترل‌کننده، هر او عمل کنترل و برنامه‌ریزی را به طور ذهنی و در یک زمان انجام می‌دهد. اما، در یک فرودگاه، این دو عمل چون بر روی کل سیستم فرودگاه تأثیر می‌گذارند، بایستی بین اهداف، بین محدودیت‌ها، بین پارامترهای ورودی تمام بخش‌های فرودگاه، یکپارچگی وجود داشته باشد. بنابراین ROP به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی مطرح‌بوده و بر روی سرمایه‌های مالی و عملیاتی چندین بخش از جمله کاربران فرودگاه (مسافران و شرکت‌های هوائی) و ارایه‌کنندگان خدمات ATM (مسئولان فرودگاهی و کنترل‌کنندگان ترافیک هوائی) تأثیر می‌گذارد [٤]. به طور کلی در مراجع تحقیق، اهداف و محدودیت‌ها فقط برای عملیات نشست و یا برخاست در ROP در نظر گرفته شده است [٦].

۳-۲ 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 مناسبی اتخاذ کنند که لزوماً به استفاده بهینه از ظرفیت باندهای پروازی نمی‌انجامد. همچنین در اکثر موارد تخصیص برای عملیات ورودی انجام می‌گیرد [٧].

تخصیص باندها به هواپیماهای ورودی، یک تصمیم‌گیری تاکتیکی است که توسط کنترل‌کنندگان انجام می‌شود. اگرچه تخصیص استراتژیک، سبب تعادل[10] بارکاری کنترل‌کنندگان و کاهش تأخیر می‌شود، بارکاری کنترل‌کنندگان را افزایش می‌دهد، زیرا آنها در فضای هوائی ترمینال، آن‌چنان با مسأله جدایی ناوگان درگیر می‌شوند که تخصیص باندها امری ناچیز تلقی می‌شود. در دوره‌های پرترافیک، کنترل‌کنندگان روش‌های آسانی را برای تخصیص در نظر می‌گیرند و معمولاً از فواصل زمانی به دست‌آمده برای عملیات نشست[11]، 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 [٨].

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



شکل ۱. اندرکنش مدیریت عملیاتی باندها [٤]

www.SID.ir

Archive of SID

٤. 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[12] یا محلهای ثابت[13] در دروازه‌های ورودی، به صورت ثابت و نه متغیر در نظرگرفته 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 [٦]، زیرا بهترین استفاده از ظرفیت باندها در سیستم باندهای موازی، با بکارگیری هر دو باند برای عملیات ورودی و خروجی میسر می‌شود[٩].

برخی از مراجع، فقط برنامه‌ریزی عملیاتی ورودی را با احتساب هزینه‌های شرکتهای هوائی، در نظر گرفته‌اند [١٠]. به دلیل وابستگی‌های بین پروازهای ورودی و خروجی، در صورت در نظرگرفتن توأم عملیات نشست و برخاست، بسیاری از هزینه‌های اضافی، صرفه‌جوئی می‌شوند [١]. 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 کارآیی و کاهش تأخیرها، مبادله شود[14] [١١]. بنابراین، لزوم پیش‌بینی برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص باندها برای عملیات نشست و برخاست، امری ضروری است.

٥.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 [١٢]. 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 دیرکرددار و ... . این شاخص‌ها می‌توانند به صورت یک تابع هدف یا چند تابع هدف با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره[15]، در نظر گرفته شوند [٦].

٥-١ فرمول‌بندی مسأله با استفاده از برنامه‌ریزی عددصحیح[16]

در مدل‌سازی این مسأله، از مدل ماشین‌های موازی با کارهای مستقل[17] استفاده شده است. یکی از مزایای اصلی و محاسن این مدل نسبت به مدل ارایه‌شده قبلی [٦]، این است که مدل قبلی در اینجا، به صورت یک مدل دنیای واقعی[18] در نظر گرفته شده است. در این مدل، فاصله زمانی جدائی بین هواپیماها[19] و نیز زمان آماده شدن[20] ورود (یا خروج) به (یا از) نقاط ثابت، منظور شده‌اند.

٥-١-١ پارامترها و مجموعه‌های مسأله

j و J: 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 ($0 \le w_j \le 1$)؛

r_j: زمان آماده بودن هواپیمای j ام (ورود به به محل fix)؛

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

٥-١-٢ متغیرهای مسأله

C_j: زمان تکمیل سرویس هواپیمای j ام؛

www.SID.ir

Archive of SID

M : عددی بسیار بزرگ؛

$X_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$: متغیر صفر و یک؛ اگر هواپیمای j ام به باند i ام تخصیص یابد، برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است؛

$Y_{lj} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$: متغیر صفر و یک؛ اگر هواپیمای l 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 تأخیرها ست، تابع هدف انتخاب شده بر این اساس است.

۵-۲ مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی

۵-۲-۱ تابع هدف

Objective Function:

$$Min\ Z = \sum_{j=1}^{n} w_j . T_j \qquad (۱)$$

۵-۲-۲ محدودیت‌ها

Subject to:

محدودیت تخصیص هر هواپیما به یک باند:

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = 1 \qquad \forall j : 1 \le j \le n \qquad (۲)$$

محدودیت ناهم‌پوشانی سرویس‌دهی به هواپیماها در یک باند:

$$C_j + M \times (3 - X_{ij} - X_{il} - Y_{lj}) \ge C_l + P_{ij} \qquad (۳)$$
$$\forall j : 1 \le j, l \le n,$$
$$\forall i : 1 \le i \le m.$$

$$C_l + M \times (2 - X_{ij} - X_{il} + Y_{lj}) \ge C_j + P_{il} \qquad (٤)$$
$$X_{ij}, Y_{lj} \in \{0,1\}$$

محدودیت زمان تکمیل سرویس‌دهی بر اساس زمان پردازش:

$$C_j \ge P_{ij} - M \times (1 - X_{ij}) + r_j \qquad (۵)$$
$$\forall j : 1 \le j \le n,$$
$$\forall i : 1 \le i \le m.$$

محدودیت تعریف دیرکرد:

$$L_j = C_j - d_j \quad , \quad T_j = \max\{0, L_j\} \qquad (٦)$$
$$C_j, T_j \ge 0 \qquad (۷)$$

٦. 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 عمل گاه با روش‌های دقیق امکان پذیر 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[۲۱] 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[۲۲] مرتب کنید (کارها در اولویتی هستند که نسبت $\frac{d_{[j]}}{w_j}$ آنها کمتر باشد) یعنی $\frac{d_{[n]}}{W_n} \le \frac{d_{[2]}}{W_2} \le \ldots \le \frac{d_{[1]}}{W_1}$ که در آن $d_{[j]}$ موعد تحویل کاری است که دارای نوبت j ام است. بر اساس این معیار هواپیمای j ام بر هواپیمای l ام مقدم است اگر و فقط اگر $\frac{d_{[j]}}{W_j} \le \frac{d_{[l]}}{W_l}$.

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

مرحله ٤ - موقعیت جفت کار j و l را تعیین کنید که l بعد از j قرار دارد ولی $d_j > d_l$ است.

مرحله ۵- کارهای j و l را جابجا کنید.

مرحله ٦- به طور تکراری، آنقدر به مرحله ۳ برگردید که توالی EDD برقرار شود.

مرحله ۷- کارها را به ترتیب اولویت به‌دست آمده در مرحله ۲ به باندی تخصیص دهید که می‌تواند زودتر از سایر باندها خدمت‌دهی به هواپیمای مورد نظر را سریع تر به اتمام برساند.

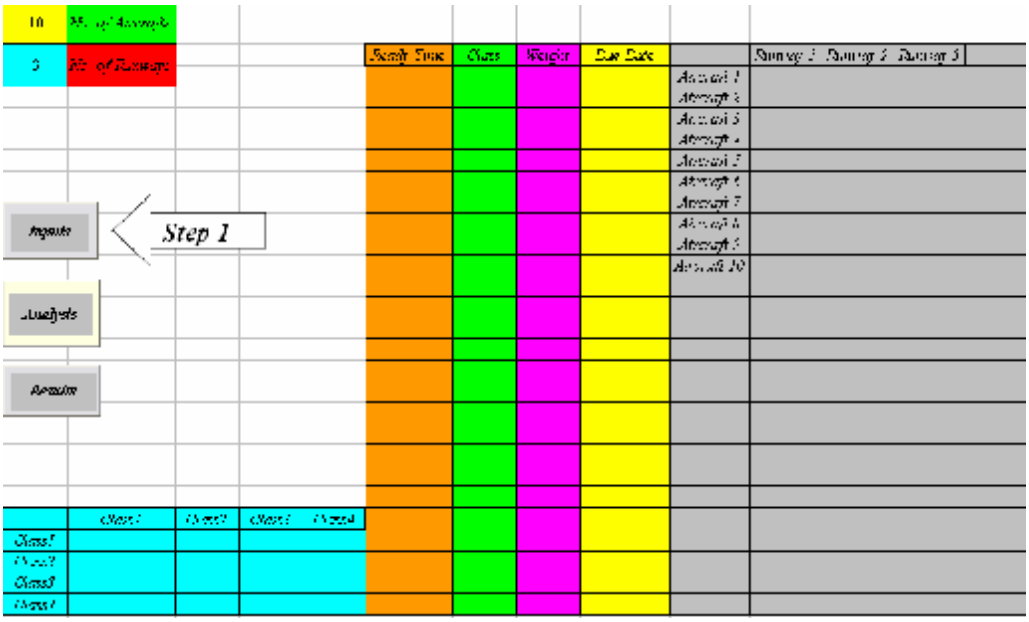
مرحله ۸- اتمام الگوریتم.

۷. اجرای مدل پیشنهادی

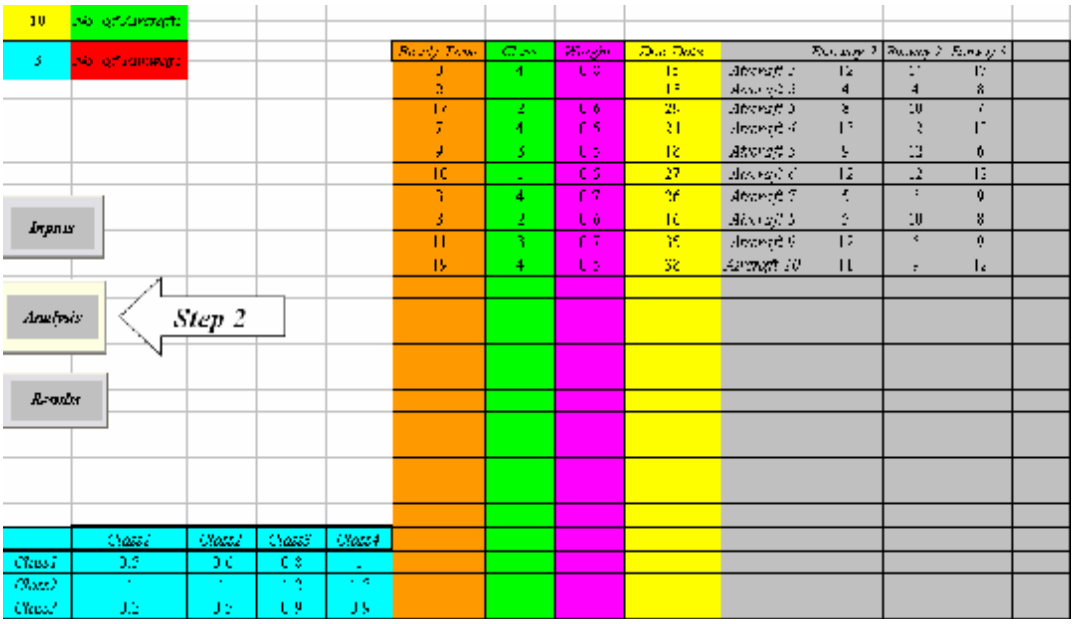
برای اجرای مدل، الگوریتم مذکور با زبان Visual Basic برنامه‌نویسی‌شده و اجرا می‌شود. اجرای برنامه طی دو مرحله به این صورت انجام می‌گیرد؛ در مرحله اول، پس از مشخص کردن تعداد باندها و تعداد هواپیماهای تحت تحلیل، در برنامه به تعداد باندها و هواپیماها، ورودی سلول ورودی طبق شکل ۲ ایجاد می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲. گام اول اجرای برنامه جهت آماده‌سازی داده‌ها



شکل۳. گام دوم اجرای برنامه جهت تحلیل

فاصله جدائی بین هواپیماها طبق یک جدول وارد می‌شود. ورودی‌ها طبق شکل ۳، شامل برنامه زمان‌بندی، زمان پرواز بین محل‌های ثابت فضایی و باندها برای پروازهای ورودی (و یا برعکس برای پروازهای خروجی)، زمان اشغال باند، ضریب وزنی هواپیماها و زمان رسیدن به محل‌های ثابت فضائی هستند که پس از واردکردن این ورودی‌ها، برنامه وارد فاز تحلیل می‌شود.

در مرحله دوم، پس از تحلیل، می‌توان نتایج را طبق جدول ۱ و یا طبق شکل ٤ به صورت نمودار گانت[۲۳] مشاهده کرد که کدام هواپیما، چه زمانی و از کدام باند استفاده می‌کند. یکی از مزیت‌های مشاهده نتایج در نمودار گانت این است که علاوه بر مشاهده زمان‌های نشست و برخاست و تخصیص باندها به هواپیماهای مختلف، می‌توان زمان‌های بیکاری باندها را نیز

www.SID.ir

Archive of SID

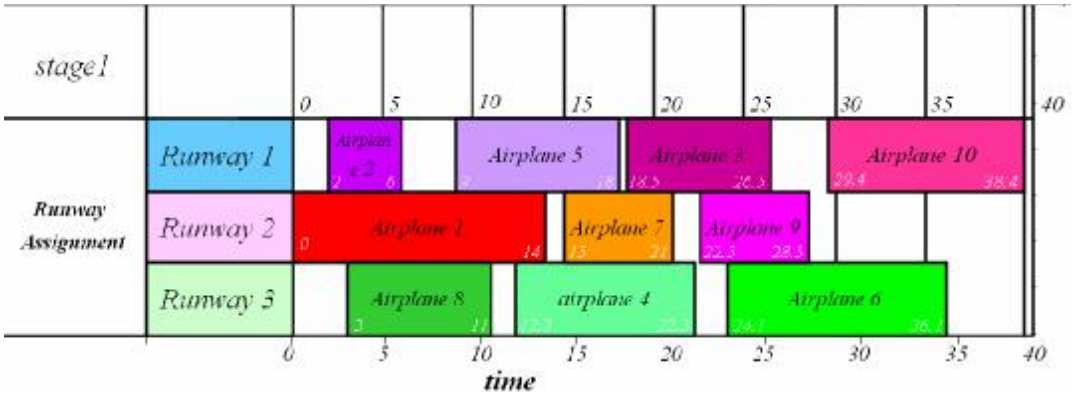
به طور بصری مشاهده و محاسبه کرد. توجه شود کـه ایـن مـدل برای این که در عمل، به صورت اجرائی مورد استفاده قرار گیرد، به عنوان یک سیستم کمک‌کننـده تـصمیم اسـت نـه بـه صـورت تصمیم‌گیر و در نهایت کنتـرل‌کننـدگان ترافیـک هـوائی مـسئول هدایت و کنترل هواپیماها هستند.

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

زمان‌های آماده‌بـودن کارهـا، همـان زمـان رسـیدن هواپیماهـا بـه محل‌های ثابت فضائی، برای پروازهای ورودی و یا زمان رسـیدن به ابتدای باند بـرای پروازهـای خروجـی هـستند. چنـان کـه در قسمت‌های قبلی اشاره شد، از مزایای مدل مذکور نسبت به مـدل قبلی [٦]، احتساب فاصله جدائی بین ناوگان و زمان‌های رسـیدن به محل‌های ثابت و ابتدای باند است، که در مـدل قبلـی در نظـر گرفته نشده بود.

جدول۱. نتیجه تحلیل برنامه به‌صورت 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 ٤. نتیجه برنامه به صورت نمودار گانت

www.SID.ir

Archive of SID

۸. خلاصه و نتیجه‌گیری

با توجه به این که کنترل‌کنندگان ترافیک هوائی در کنترل هواپیماها به باندها و بالعکس، نیاز به تصمیم‌گیری دارند، مطمئناً زمان محدودی برای این افراد خبره و ماهر، جهت انتخاب برترین گزینه برای نحوه استفاده از باندوجود دارد که ممکن است، باتوجه به بارکاری کنترل هواپیما، همیشه به بهینه‌ترین گزینه منجر نشود. این تصمیم‌گیری با افزایش تعداد باندها، حتی آن‌چنان پیچیده می‌شود که نیاز به یک سیستم کمک‌کننده تصمیم، اجتناب‌ناپذیر می‌شود. به عنوان مثال، از جمله مزایای بسیار چشمگیر این سیستم، می‌توان به حالت سه باند و ده هواپیمای مذکور اشاره کرد که، به دلیل این که هواپیمای هفتم، سومین هواپیمائی است که وارد سیستم می‌شود، می‌بایست طبق قانون اولویت به ترتیب ورود[۲۶] و طبق منطق عقلانی کنترل‌کنندگان ترافیک هوائی، سومین هواپیمای خدمت‌گیرنده باشد؛ در صورتی که با حل این مسأله و اجرای برنامه، چنان که ملاحظه می‌شود، برای استفاده بهینه‌از سیستم باندها، در دقیقه پانزدهم و با اعمال کمی تأخیر برای آن، خدمت‌دهی می‌شود؛ زیرا دیرکرد کل استفاده از باندها به حداقل میزان خود می‌رسد. این همان حالتی است که در مراجع توالی عملیات و زمان‌بندی به بیکاری اجباری[۲۷] مشهوراست.

بنابراین با در نظرگرفتن توأم و ارایه مدل یکپارچه مدیریت تخصیص و برنامه‌ریزی عملیاتی باندها، با دیدی وسیع‌تر می‌توان نسبت به استفاده بهینه و حداکثر از ظرفیت بخش هوائی فرودگاه اقدام کرد.

۹. پیشنهاد برای تحقیقات آینده

از آنجا که این مسأله، یکی از مسائل مهم در زمینه ارتقاء ظرفیت و کارائی فرودگاه است، سمت و سوی تحقیقات آتی باید در جهت اجرائی‌شدن آن باشد تا بتوان از خروجی‌های دستگاه‌های برج کنترل ترافیک هوائی، به عنوان ورودی برنامه در جهت برنامه‌ریزی لحظه‌ای استفاده کرد. درج مسیرهای هوائی در مدل نیز می‌تواند به عنوان توسعه مدل مذکور مورد بررسی قرار گیرد. استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره در جهت افزایش تعداد توابع هدف نیز، مسیر جدیدی برای بررسی‌های آتی باز می‌کند.

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., B¨ohme, D. and V¨olckers, 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 Science13, pp.201–241.

www.SID.ir

Archive of SID

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).

11. Gilbo, E. P. and Howard, K. W. (2000) "Collaborative 0ptimization of airport arrival and departure traffic Flow Management Strategies for cdm, In 3rd USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar.

12. Baker, Kenneth R. (1974) "Introduction to sequencing and scheduling", John Wiley & Sons.

پانویس‌ها

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)

8- Decision-Aiding

9- Runway Configuration Management

10- Balancing

11- Landing Slots

12- Gate

13- Arrival and Departure Fixes

14- Trade off

15- MCDM (Multiple Criteria Decision Making)

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

www.SID.ir