

کالج پروژه

www.collegeprozheh.ir



دانلود پروژه های دانشگاهی

بانک موضوعات پایان نامه

دانلود مقالات انگلیسی با ترجمه فارسی

آموزش نگارش پایان نامه ، مقاله ، پروپوزال



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

الغیر

مؤسسه آموزش عالی غیردولتی - غیرانتفاعی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته: مهندسی صنایع - مهندسی سیستم های اقتصادی و اجتماعی
گرایش: تحقیق در عملیات

عنوان:

بهینه سازی برنامه ریزی گیت های فرودگاهی

استاد راهنما: دکتر سید علی میرحسینی

استاد مشاور: دکتر داود بهبودی

پژوهشگر:

ساناز خطیبی

تبریز

بهمن ۸۸

الحَمْدُ لِلّٰهِ
الْحَمْدُ لِلّٰهِ

تقديم به:

پدر و مادر عزيزم

حق چاپ و تکثیر و مالکیت معنوی نتایج

بسمه تعالی

اینجانب ساناز خطیبی تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب می‌باشد و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران، با ذکر کامل مشخصات منبع ارجاع گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به موسسه آموزش عالی الغدیر تبریز می‌باشد. استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: ساناز خطیبی

امضاء دانشجو:

تقدیر و تشکر:

سپاس و قدردانی سزاوار آنانی است که

« الف » ابتدا را به من آموختند و تا « یاء » انتها با من همراه شدند،

بزرگوارانی همچون،

جناب آقای دکتر سید علی میرحسینی که بر بنده منت نهاده و راهنمای من در این

راه طولانی و طاقت فرسا شدند،

جناب آقای دکتر داود بهبودی که مشورت‌های خود را از بنده دریغ نفرمودند،

و

با تشکر از تمامی پرسنل محترم « فرودگاه بین‌المللی مهرآباد » که مرا در به انجام

رساندن این پایان‌نامه یاری رساندند.

.

شناسه پایان نامه (فارسی)

نام خانوادگی دانشجو: خطیبی	نام: ساناز
عنوان پایان نامه: بهینه سازی برنامه ریزی گیت های فرودگاهی	
استاد راهنما: دکتر سید علی میرحسینی	استاد مشاور: دکتر داود بهبودی
استاد داور: دکتر جواد مهری تکمه	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی صنایع - مهندسی سیستم های اقتصادی و اجتماعی
گرایش: تحقیق در عملیات	
مؤسسه آموزش عالی: الغدیر - تبریز	
تعداد صفحات: ۱۱۷	تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۸/۱۱/۲۹
واژه های کلیدی: حمل و نقل هوایی، برنامه ریزی گیت فرودگاه، مسئله تخصیص گیت، مسئله تخصیص مجدد گیت، برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته.	
طبقه بندی JEL: R40,L93,C61	
<p>چکیده به زبان فارسی:</p> <p>مسئله تخصیص گیت از جمله مسائل اصلی فرودگاه ها است که به صورت یک مساله بهینه سازی مطرح می باشد. هدف اصلی این مسئله پیدا نمودن یک تخصیص مناسب برای پروازهای در حال ورود یا خروج است. مطالعات نشان می دهد که ایجاد و بکارگیری جداول تخصیص گیت باعث کاهش تاخیر پروازها، مسافت پیاده روی مسافران و افزایش کارآئی و بهره وری گیت ها می شود. وقوع رخداد های ناخواسته نظیر تاخیر در ورود و یا خروج پرواز، بدی شرایط آب و هوایی و خرابی احتمالی تجهیزات می تواند سبب بروز اختلال در این برنامه شود. در این وضعیت برای حداقل نمودن عواقب ناشی از آن باید جداول مذکور مورد بازنگری قرار گیرد. این موضوع باعث شده است که در سال های اخیر محققان به سمت مدل های تخصیص مجدد برای اعمال این تغییرات صورت گرفته حرکت نمایند.</p> <p>در این پایان نامه ضمن بررسی مطالعات و تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفت است، دو مدل ریاضی برای مسائل تخصیص گیت و تخصیص مجدد گیت ارائه شده است. در مدل اول (GAP) گیت ها به گونه ای به پروازها تخصیص داده می شوند که: تراکم تعداد مسافران در گیت ها حداقل شود. در مدل دوم (GRP) گیت ها به پروازهای جدید و تاخیردار به گونه ای تخصیص داده می شوند که: انحراف برنامه تخصیص جدید گیت از برنامه مرجع حداقل شود. مطالعه موردی این پایان نامه، بهینه سازی برنامه ریزی گیت های فرودگاه بین المللی مهرآباد می باشد و کلیه داده های بکار گرفته شده واقعی می باشند.</p>	

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه

فصل اول: کلیات

۴	۱-۱ مقدمه
۵	۲-۱ معرفی مفاهیم اصلی
۸	۳-۱ اهمیت و جایگاه مسئله برنامه‌ریزی گیت در فرودگاه‌ها
۱۰	۴-۱ بیان مساله
۱۴	۵-۱ اهداف تحقیق
۱۵	۶-۱ رویکرد انتخابی برای رسیدن به هدف
۱۶	۷-۱ ساختار پایان‌نامه
۱۷	۸-۱ روش تحقیق
۱۸	۹-۱ جمع‌بندی

فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع

۲۰	۱-۲ مقدمه
۲۰	۲-۲ برنامه‌ریزی گیت‌ها
۲۱	۱-۲-۲ استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی
۲۱	۱-۱-۲-۲ مدلسازی مسئله برنامه‌ریزی گیت
۲۷	۲-۱-۲-۲ حل ابتکاری مدل‌های ریاضی
۳۰	۲-۲-۲ سیستم خبره
۳۲	۳-۲-۲ مدل‌های شبیه‌سازی
۳۳	۴-۲-۲ مدل‌های تلفیقی (برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های شبیه‌سازی، سیستم خبره)
۳۴	۳-۲ تخصیص مجدد گیت‌ها (GRP)

۳۷.....	۴-۲ مدل‌های تخصیص استوار.....
۳۹.....	۵-۲ مروری بر ادبیات مسئله برنامه‌ریزی گیت.....
۴۱.....	۶-۲ دسته‌بندی مقالات بررسی شده در زمینه برنامه‌ریزی گیت.....
۴۷.....	۷-۲ جمع‌بندی.....

فصل سوم: توصیف و معرفی مسئله برنامه‌ریزی گیت

۵۰.....	۱-۳ مقدمه.....
۵۱.....	۲-۳ معرفی توابع هدف در مسئله برنامه‌ریزی گیت.....
۵۲.....	۳-۳ معرفی محدودیت‌ها در مسئله برنامه‌ریزی گیت.....
۵۵.....	۴-۳ مدل‌سازی مسئله برنامه‌ریزی گیت.....
۵۶.....	۵-۳ معرفی مفروضات.....
۵۸.....	۶-۳ تعریف مسئله.....
۵۸.....	۱-۶-۳ مسئله تخصیص گیت GAP.....
۶۴.....	۲-۶-۳ مسئله تخصیص مجدد گیت GRP.....
۶۷.....	۷-۳ جمع‌بندی.....

فصل چهارم: مطالعه موردی

۶۹.....	۱-۴ مقدمه.....
۷۱.....	۲-۴ تعریف مسئله مطرح شده در مطالعه موردی.....
۷۴.....	۳-۴ جمع‌آوری داده‌های مطالعه موردی.....
۷۴.....	۱-۳-۴ پارامترهای ورودی در مطالعه موردی.....
۷۵.....	۲-۳-۴ روش گردآوری.....
۷۵.....	۴-۴ معرفی نرم افزار Aimms 3.9.....
۷۶.....	۵-۴ حل مدل.....
۷۷.....	۱-۵-۴ حل مطالعه موردی با استفاده از مدل GAP.....
۸۲.....	۱-۱-۵-۴ تفسیر نتایج در مدل اول GAP.....
۸۵.....	۲-۵-۴ حل مطالعه موردی با استفاده از مدل GRP.....

۸۶.....	۴-۵-۱ تفسیر نتایج در مدل GRP
۸۹.....	۴-۶ جمع بندی

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاداتی آتی

۹۲.....	۵-۱ مقدمه
۹۲.....	۵-۲ محدودیت های تحقیق
۹۳.....	۵-۳ نتیجه گیری
۹۳.....	۵-۴ زمینه های پیشنهادی برای تحقیقات آتی
۹۵.....	۵-۵ جمع بندی
۹۶.....	مراجع
۱۰۱.....	پیوست
۱۱۶.....	واژه نامه فارسی به انگلیسی

فهرست جداول

جدول (۲-۱) روند گسترش مسئله برنامه‌ریزی گیت.....	۴۰
جدول (۲-۲) دسته‌بندی مقالات مسئله برنامه‌ریزی گیت.....	۴۳
جدول (۳-۱) مفروضات مسئله.....	۵۸
جدول (۴-۱) مدت زمان اشغال گیت بر اساس تعداد مسافران هر هواپیما.....	۸۰
جدول (۴-۲) حالت‌های گوناگون جهت حل مسئله.....	۸۲
جدول (۴-۳) تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت اول.....	۸۳
جدول (۴-۴) تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت دوم.....	۸۴
جدول (۴-۵) تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت سوم.....	۸۴
جدول (۴-۶) تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت چهارم.....	۸۴
جدول (۴-۷) تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت پنجم.....	۸۵
جدول (۴-۸) نتایج حل مساله GAP توسط نرم افزار.....	۸۵
جدول (۴-۹) تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت اول.....	۸۷
جدول (۴-۱۰) تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت اول.....	۸۷
جدول (۴-۱۱) تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت دوم.....	۸۸
جدول (۴-۱۲) تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت سوم.....	۸۸
جدول (۴-۱۳) تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت چهارم.....	۸۹
جدول (۴-۱۴) تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت پنجم.....	۸۹

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) ارکان بخش‌های اصلی فرودگاه ۷
- شکل (۱-۲) نمودار روش تحقیق ۱۷
- شکل (۲-۱) طبقه‌بندی مسئله برنامه‌ریزی گیت و رویکرد انتخابی حل ۴۲
- شکل (۴-۱) نمودار گانت چارت ترمینال ۲ مدت زمان اشغال ۱۵ دقیقه ۷۸
- شکل (۴-۲) نمودار گانت چارت ترمینال ۲ مدت زمان اشغال ۳۰ دقیقه ۷۹
- شکل (۴-۳) نمودار گانت چارت ترمینال ۴ مدت زمان اشغال ۱۵ دقیقه ۷۹
- شکل (۴-۴) نمودار گانت چارت ترمینال ۴ مدت زمان اشغال ۳۰ دقیقه ۸۰
- شکل (۴-۵) نمودار گانت چارت ترمینال ۴ مدت زمان اشغال ۲۰ دقیقه ۸۱
- شکل (۴-۶) نمودار گانت چارت ترمینال ۴ مدت زمان اشغال ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ دقیقه ۸۱

مقدمه

امروزه صنعت حمل و نقل هوایی، به عنوان یکی از مهمترین محورهای رشد در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، مطرح می‌باشد. بخش هوایی به دلیل رشد روز افزون و نیاز به توسعه زیر بنایی این صنعت، از اهمیت به سزایی برخوردار است.

با رشد ترافیک حمل و نقل هوایی (که تقریباً از اوایل سال ۱۹۸۰ به سرعت دو برابر شده است) تکنیک‌های مدیریت و تخصیص هواپیماها به منابع فرودگاه‌ها و خطوط هوایی در یک محیط عملیاتی پویا، به طور چشمگیری مورد توجه قرار گرفته است. رقابت شدید بین خطوط هوایی و بالا رفتن سطح توقع مسافران، منجر به طرح مسائل پیچیده زمانبندی و برنامه‌ریزی شده است بطوریکه نیازمند مدل‌ها و روش‌های جدید برای حل این گونه مسائل می‌باشد. مشکلات زمانبندی که این روزها مدیران فرودگاه و خطوط هوایی با آن مواجه می‌شوند بسیار پیچیده‌تر از مسائل برنامه‌ریزی سنتی می‌باشد. در این خصوص می‌بایست طیف گسترده‌ای از منابع مورد توجه قرار بگیرد: پروازها، پایانه‌ها، پرسنل، باربری و غیره. علاوه بر این، تصمیمات اتخاذ شده در مورد هر منبع، بر دیگر منابع تاثیر می‌گذارد و یک سیستم مدیریتی پیچیده را برای فرودگاه‌ها و خطوط هوایی ایجاد می‌کنند.

یکی از منابع فرودگاهی که در فرآیند حمل و نقل هوایی نقش ویژه‌ای دارد گیت‌های فرودگاهی می‌باشد. بطور معمول به جایگاه‌های توقف هواپیما گیت گفته می‌شود که از طریق آن مسافران و خدمه هواپیما از ترمینال‌های مسافربری به داخل هواپیماها و بالعکس عبور و مرور می‌کنند. گیت‌های پرواز یکی از گرانترین و کمیاب‌ترین منابع در فرودگاه می‌باشد [۱]. از این رو افزایش و تدارک این چنین منابع مستلزم هزینه‌های بسیار بالا به همراه صرف زمان، طراحی مجدد ساختمان‌های پایانه‌ها، گیت‌ها و توقفگاه‌ها است که البته این کار همیشه در کوتاه مدت امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین

برنامه‌ریزی صحیح و بکارگیری درست آن‌ها از لحاظ اقتصادی برای کارشناسان فرودگاه یا پایانه‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۲].

گیت‌های پرواز یک بخش اصلی در مسئله برنامه‌ریزی گیت می‌باشند. تعیین بهترین نحوه استفاده از گیت‌های در دسترس امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد [۱].

نظر به اهمیت و نقش این منابع در افزایش کارایی و کیفیت سرویس‌دهی فرودگاه‌ها و شرکت‌های هواپیمایی به مسافران، مسئله برنامه‌ریزی گیت از جمله وظایف کلیدی و مهم فرودگاه‌ها به شمار می‌آید، که انجام آن نیازمند دانش، تجربه و تخصص کافی است.

با توجه به مطالب فوق در این پایان‌نامه به بررسی جامع این مسئله خواهیم پرداخت. این پایان‌نامه در پنج فصل تنظیم شده است. در فصل اول، مفاهیم و کلیات موجود در زمینه برنامه‌ریزی گیت معرفی می‌شود. در فصل دوم، مرور ادبیات موضوع در حوزه مسئله تخصیص گیت، مسئله تخصیص مجدد گیت ارائه می‌شود و سپس رویکردهای موجود جهت حل این مسائل بررسی خواهد شد. در فصل سوم، دو مدل ریاضی برای مسائل تخصیص گیت و تخصیص مجدد گیت ارائه می‌شود. در فصل چهارم، مدل‌ها با استفاده از داده‌های گردآوری شده از دنیای واقعی توسط نرم‌افزار Aimms 3.9، اجرا و پیاده‌سازی می‌شود و نتایج حاصل از حل مسائل تفسیر خواهد شد. فصل پنجم، ضمن بررسی موانع و محدودیت‌های موجود در روند تحقیق به نتیجه‌گیری و ارائه زمینه‌های پیشنهادی برای مطالعات آینده می‌پردازد.

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر فرودگاه‌ها به عنوان یکی از مراکز اصلی جابجایی مسافر و کالاهای تجاری محسوب می‌شوند. مراکزی که با هدف اولیه حمل‌ونقل ایجاد شدند هم اکنون با رشد روز افزون فن‌آوری ارتباطات و اطلاعات و افزایش حجم ارتباطات داخلی و خارجی و توسعه تجارت جهانی و حرکت دنیا به سمت ایجاد دهکده جهانی و همچنین پیچیده‌تر شدن عملیات فرودگاهی و افزایش رقابت در این زمینه به یکی از حوزه‌های گسترده مطالعاتی تبدیل شده‌اند.

در فرودگاه‌های امروزی، مدیریت مجموعه برای تصمیم‌گیری صحیح نیازمند ابزار علمی با ضریب اطمینان بالا است تا در راستای افزایش کارایی و بهره‌وری منابع موجود از آن‌ها استفاده نماید. یکی از مهمترین منابع فرودگاه، گیت‌هایی هستند که برای سرویس‌دهی به پروازهای در حال خروج و پروازهای وارد شده به فرودگاه از آن‌ها استفاده می‌شود. گیت بخشی از یک فرودگاه است که پروازهای وارد شده به فرودگاه در آن متوقف شده و مسافران از هواپیما خارج می‌شوند و یا اینکه مسافران در حال عزیمت از طریق آن به هواپیمای در حال عزیمت سوار می‌شوند.

برای استفاده بهینه از گیت‌ها می‌بایست آن‌ها را به گونه‌ای به پروازهای در حال ورود تخصیص داد که حداکثر استفاده از آن‌ها بعمل آید و در مقابل میزان تاخیر پروازها، میزان مسافت پیاده‌روی مسافران در پایانه‌ها، میزان مسافت جابجایی وسایل در محوطه فرودگاه حداقل گردیده و سایر موارد متأثر از این تخصیص نیز بهینه شود. از این روی امروزه تخصیص گیت‌ها را در بازه زمانی مشخصی و بصورت برنامه‌ریزی شده انجام داده و در این کار از جدول تخصیص گیت‌ها کمک گرفته می‌شود، به علاوه هنگامی که تغییر شرایط اولیه (مثلاً تاخیر پروازها و یا خرابی تجهیزات) سبب بروز اختلال در جدول تخصیص اولیه می‌شود، برای اعمال تغییرات و جابجایی پروازها، برنامه‌ریزی مجددی صورت گرفته و جدول اولیه اصلاح می‌شود. پر واضح است به علت اینکه بعد از وقوع هر گونه

تغییر در پارامترهای ورودی مسئله تخصیص مجدد باید در کوتاهترین زمان ممکن و یا بصورت آنلاین حل شود این موضوع مشکلاتی عدیده‌ای را به وجود می‌آورد.

در ادامه این فصل به بررسی جامع آنچه در بالا شرح داده شد، پرداخته می‌شود. این فصل که به کلیات اختصاص دارد شامل: اهمیت و جایگاه مسئله برنامه ریزی گیت در فرودگاه‌ها، تعریف مفاهیم اصلی، بیان مساله، اهداف، رویکرد انتخابی برای رسیدن به هدف می‌باشد.

۲-۱ معرفی مفاهیم اصلی

از بنیادیترین مفاهیمی که در مسئله برنامه‌ریزی گیت با آن مواجه می‌شوند، می‌توان به مفاهیمی از قبیل فرودگاه، توقفگاه، گیت، جت‌وی، برنامه ریزی گیت و طبقه‌بندی گیت و غیره اشاره نمود. در ادامه هر یک از موارد فوق تعریف خواهند شد.

فرودگاه^۱: مجموعه‌ای از تاسیسات و تجهیزات و بخش‌های مختلف است که به منظور فراهم آوردن امکانات برای انجام حمل و نقل هوایی در کنار یکدیگر تلفیق شده‌اند.

توقفگاه^۲: محوطه توقفگاه هواپیماها در حقیقت تامین کننده ارتباط بین ساختمان‌های پایانه و بخش هوایی از طریق گیت‌های ورودی و خروجی است.

گیت^۳: در فرودگاه‌ها به معابر ویژه‌ای که برای عبور و مرور مسافران و خدمه هواپیما از ترمینال‌های مسافری به داخل هواپیماها و بالعکس تعبیه شده دروازه یا گیت گفته می‌شود.

جت‌وی^۴: علامت تجاری ثبت شده برای نوع خاصی از بارگذاری پل هوایی است که به مسافران اجازه می‌دهد تا بطور مستقیم از ترمینال به هواپیما بطور حفاظت شده‌ای دسترسی پیدا نمایند.

1 Airport

2 Apron

3 Gate

4 Jetway

برنامه‌ریزی گیت^۱: برنامه‌ریزی گیت به پیدا کردن تخصیص مناسب پروازها یا هواپیماها به پایانه‌ها یا گیت‌ها می‌پردازد.

ارکان و بخش‌های اصلی فرودگاه: شامل سیستم کنترل ترافیک هوایی، مجموعه بخش هوایی فرودگاه شامل باند پرواز، باند خزش و محوطه توقفگاه هواپیما، مجموعه بخش زمینی اعم از محدوده پایانه مسافری و باری و سیستم گردشی وسایل نقلیه و حمل و نقل زمینی در فرودگاه و پارکینگ و شبکه‌های دسترسی به فرودگاه و تسهیلات و تجهیزات پشتیبانی و تدارکاتی می‌باشد که در شکل (۱-۱) بطور شماتیک نشان داده شده است [۳ و ۴].

• طبقه‌بندی گیت‌ها:

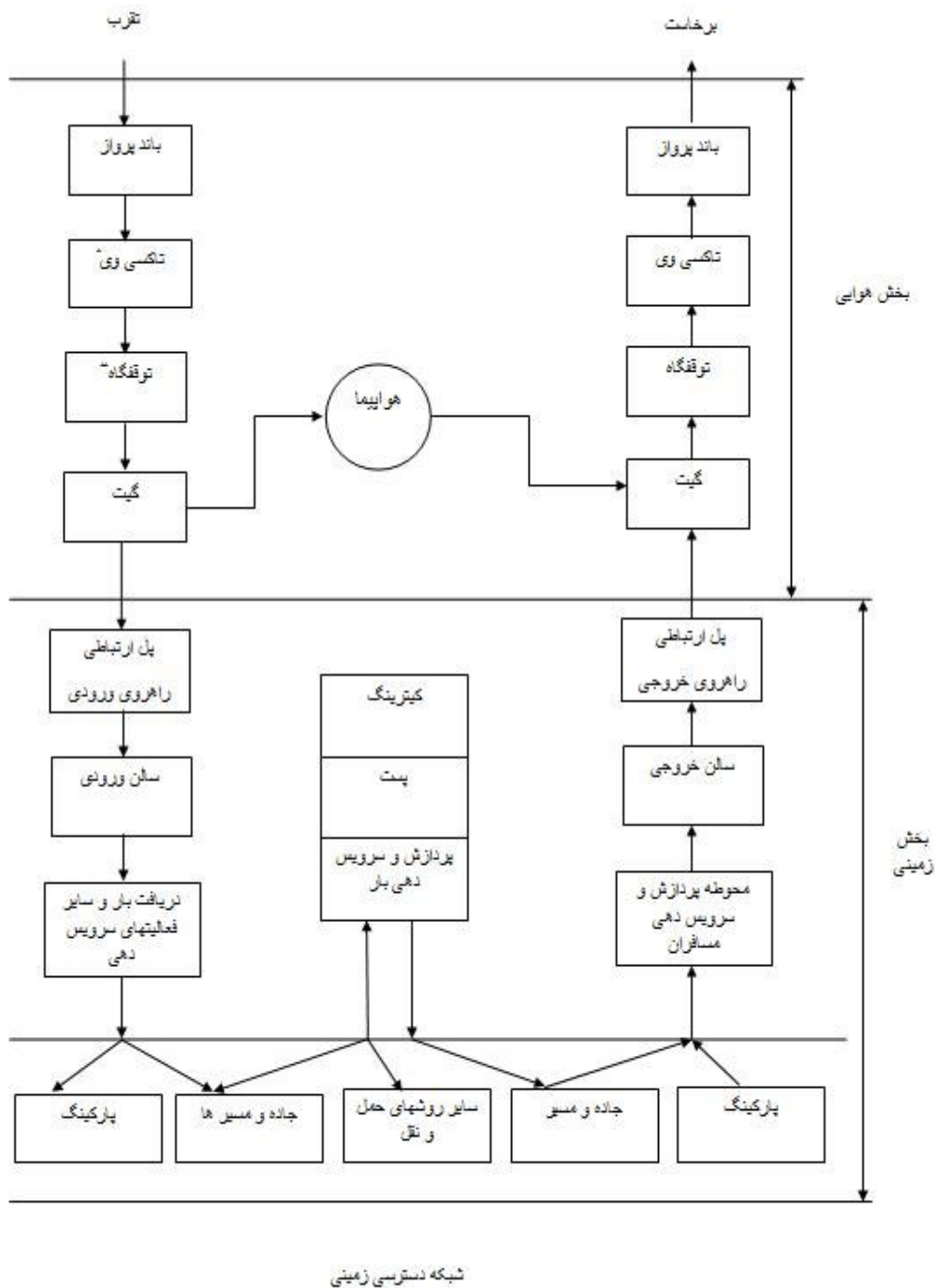
براساس سیستم طبقه‌بندی سازمان بین المللی هواپیمایی کشوری یا سازمان هوانوردی فدرال و بر مبنای دهانه بال هواپیماها، انواع توقفگاه‌ها یا گیت‌ها را می‌توان به ۴ گروه زیر تقسیم کرد:

۱- گیت نوع A: هواپیماهایی که از این نوع توقفگاه استفاده می‌کنند، دارای دهانه بال به طول کمتر از ۲۴ متر (۷۹ فوت) هستند.

۲- گیت نوع B: هواپیماهایی که از این نوع توقفگاه استفاده می‌کنند، دارای دهانه بال به طول ۲۴ تا ۳۶ متر (۷۹ تا ۱۱۷ فوت) هستند.

۳- گیت نوع C: هواپیماهایی که از این نوع توقفگاه استفاده می‌کنند، دارای دهانه بال بطول ۳۶ تا ۵۲ متر (۱۱۸ تا ۱۷۱ فوت) هستند.

۴- گیت نوع D: هواپیماهایی که از این نوع توقفگاه استفاده می‌کنند، دارای دهانه بال به طول بیش از ۵۲ متر (۱۷۱ فوت) هستند.



شکل (۱-۱): ارکان و بخش‌های اصلی فرودگاه

• انواع استفاده از گیت‌های فرودگاه:

چندین عامل مختلف در تعیین تعداد گیت‌های مورد نیاز در توقفگاه یک فرودگاه تاثیر دارد.

از میان این عوامل، برنامه پروازی در زمان اشغال توقفگاه توسط هواپیماها بیشترین اهمیت را

دارد. علاوه بر آن، چگونگی عملیات شرکت‌های هوایی در محدوده توقفگاه و نوع استفاده شرکت‌های هوایی از گیت‌ها نیز اهمیت به سزایی دارد. انواع کاربری توقفگاه و یا راهبرد استفاده از گیت به ترتیب زیر می‌باشد:

– استفاده اختصاصی

گیت‌های با استفاده اختصاصی، انحصاراً مورد استفاده یک شرکت هوایی خاص است. در شرایط استفاده اختصاصی، هر شرکت هوایی دارای تعداد گیت‌های مختص به خود است که شرکت‌های دیگر نمی‌توانند از آن استفاده کنند.

– استفاده اشتراکی

گیت‌های با استفاده اشتراکی مربوط به گیت‌های مورد استفاده مشترک دو یا چند شرکت هوایی می‌باشد.

– استفاده عمومی

گیت‌های با استفاده عمومی مورد استفاده تمامی شرکت‌های هوایی خدمات‌دهنده در فرودگاه هستند [۶ و ۵].

• ظرفیت گیت

حداکثر تعداد هواپیماهایی که می‌توانند توسط گیت ثابتی در طول فاصله‌ی زمانی مشخص که تقاضای پیوسته‌ای برای استفاده وجود دارد، خدمات رسانی شوند [۷].

۳-۱ اهمیت و جایگاه مسئله برنامه‌ریزی گیت در فرودگاه‌ها

امروزه افزایش رقابت چشمگیر خطوط هوایی، بالا رفتن سطح توقع مسافران، کمبود امکانات و تجهیزات در مقابل تقاضاهای موجود و افزایش اهمیت زمان در فعالیت‌ها سبب شده است مسائل و

مشکلات فرودگاه‌ها اهمیتی دو چندان یافته و مدیران و مسئولان فرودگاهی برای بهبود فرآیندها و عملیات جاری و همچنین حل بحران‌های پیش‌روی، دست به دامن ابزارها و تکنیک‌های نوین مدیریتی شوند.

از جمله موضوعات عمده‌ای که در سال‌های اخیر مورد توجه متخصصین و محققین این حوزه قرار گرفته است می‌توان به طراحی بهینه ساختمان پایانه‌های فرودگاه، بررسی و برنامه‌ریزی ظرفیت و تجهیزات فرودگاه، زمانبندی بهینه جداول پرواز، ارزیابی و مطالعه عوامل موثر بر سطح سرویس و رضایت مسافران، برنامه‌ریزی و مدیریت نیروی انسانی و منابع فرودگاهی اشاره نمود.

در همین راستا مسئله برنامه‌ریزی گیت^۱ نیز از جمله مسائلی است که در سال‌های اخیر مورد توجه و مطالعه محققین متعددی قرار گرفته است، همانگونه که قبلاً اشاره شده برنامه‌ریزی گیت فرآیندی است که طی آن پروازهای وارد شده به فرودگاه و یا در حال خروج با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود به گیت‌های در دسترس تخصیص داده می‌شوند. این نوع تخصیص می‌تواند به دو صورت تصادفی و برنامه‌ریزی شده صورت گیرد. در نوع نخست کنترل‌کننده‌های زمینی در فرودگاه، پروازها را پس از ورود به فرودگاه به صورت تصادفی به گیت‌های خالی تخصیص می‌دهند در حالی که در تخصیص برنامه‌ریزی شده، بر اساس جداول پرواز از پیش تعیین شده و پیش از ورود پروازها به فرودگاه، گیت مناسب هر پرواز تعیین و مشخص می‌شود، بگونه‌ای که پرواز پس از ورود به فرودگاه در گیت تعیین شده متوقف شده و در همان گیت اقدام به تخلیه بار مسافر یا بارگیری مجدد می‌کند.

واضح است در فرودگاه‌هایی که تعداد زیادی از پروازها با کمک تعداد محدودی از گیت‌ها سرویس‌دهی می‌شوند و یا اینکه ورود یا خروج تعداد زیادی از پروازها در یک بازه زمانی کوتاه

1 Gate Scheduling Problem

صورت می‌گیرد، تخصیص تصادفی گیت‌ها می‌تواند منجر به بروز مسائلی از قبیل افزایش ترافیک هوایی و زمینی، تاخیر در ورود و یا خروج پروازها، کمبود تجهیزات در برخی گیت‌ها، ترافیک در برخی از گیت‌ها و خالی ماندن بیش از حد برخی دیگر، تداخل وظایف کارکنان فرودگاه، شلوغی محوطه فرودگاه و غیره شود. لذا در سال‌های اخیر در اغلب فرودگاه‌ها (به ویژه فرودگاه‌های بزرگ) تخصیص گیت‌ها را از قبل و بصورت برنامه‌ریزی شده انجام داده و از تخصیص تصادفی اجتناب می‌کنند.

در تخصیص برنامه‌ریزی شده، متخصصین امر بر اساس جداول پرواز از پیش تعیین شده و همچنین در نظر گرفتن فاکتورهایی مانند زمان ورود و خروج پروازها، اندازه هواپیماها، تجهیزات موجود در هر یک از گیت‌ها، مسائل امنیتی و گمرکی هر یک از پروازها و غیره برای هر یک از پروازهای جدول پرواز، گیت مناسب را تعیین نموده و در جدول تخصیص گیت‌ها ثبت می‌کنند. بدین ترتیب جدول تخصیصی گیت‌ها تنظیم شده و مبنای کار روزانه کنترل کننده‌های زمینی قرار می‌گیرد.

شاید در نگاه نخست تنظیم چنین جداولی سهل و آسان بنظر برسد اما با در نظر گرفتن این نکته که نحوه اختصاص گیت‌ها به پروازها می‌تواند به طور مستقیم و یا غیرمستقیم بسیاری از عملیات جاری در فرودگاه را تحت تاثیر قرار دهد، انجام چنین کاری را به امری خطیر و مهم تبدیل می‌کند [۳].

۱-۴ بیان مساله

مدیریت فرودگاه و خطوط هوایی مسئولیت چندین کلاس اساسی تصمیم‌گیری را به عهده دارد:

زمانبندی خدمه^۱، مدیریت اختلالات^۲، تخصیص ناوگان خطوط هوایی^۳، زمانبندی هواپیماها^۴، زمانبندی عملیات زمینی^۵ و البته یک سری مسائل دیگر که می‌توان آن‌ها را تحت قالب سنتی مسئله زمانبندی ماشین مدلسازی کرد. با این وجود، مسئله برنامه‌ریزی گیت‌های پرواز یکی از مهمترین و پیچیده‌ترین موضوعات در زمینه مدیریت فرودگاه می‌باشد.

هدف اصلی برنامه‌ریزی گیت پیدا نمودن یک تخصیص مناسب از پروازهاست. مطمئناً، یک تخصیص از پروازها باید مناسب برای فرودگاه و راحتی مسافران باشد. همچنین می‌بایست در تخصیص گیت صورت گرفته تمامی قوانین و محدودیت‌ها به طور کامل رعایت گردد. از مهمترین محدودیت‌ها که بطور معمول در مسئله برنامه‌ریزی از آن‌ها پیروی می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ◆ هر گیت تنها توانایی سرویس دهی به یک هواپیما در یک زمان را دارد.
- ◆ محدودیت گیت مجاور در زمان تخصیص گیت به یک پرواز خاص (هواپیمای بدنه بزرگ) باید در نظر گرفته شود.
- ◆ حداقل زمان توقف و حداقل زمان با هواپیمای بعدی باید بدست آمده باشد.
- اهدافی که بطور معمول سعی به برآوردن آن‌ها می‌شوند عبارتند از:
 - حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت
 - حداکثر کردن مجموع امتیاز اولویت تخصیص گیت به هواپیماهای بخصوص
 - حداقل کردن مجموع مسافت پیاده‌روی مسافران

1 Crew Scheduling

2 Disruption Management

3 Airline Fleet Assignment

4 Aircraft Scheduling

5 Ground Operation Scheduling

➤ حداقل کردن انحراف برنامه جاری از برنامه مرجع برای افزایش راحتی مسافران و نیز ایجاد یک برنامه زمانبندی دقیق.

➤ حداقل کردن تعداد فرآیندهای پر هزینه یدک‌کشی هواپیماها (یا به طریق دیگر، می‌بایست زمان موجود برای عملیات سرویس‌دهی زمینی در محوطه توقفگاه و همچنین در پایانه کاهش یابد) [۱].

همچنین در مسئله دستیابی به تخصیص مناسب گیت، سه موضوع مهم باید در نظر گرفته شود:

در مدت پیش‌بینی یا آماده‌سازی اصلاحات زمانبندی فصلی پرواز، باید توانایی اصلاح یا تطبیق سازی پروازهای پیشنهادی قابل اجرا باشد.

با دادن جدول پرواز جاری، باید برنامه روزانه قبل از اجرای آن قابل تهیه (تدارک) باشد.

❖ روز اجرای عملیات، زمانبندی گیت باید به گونه‌ای باشد که مکرراً برای بروزرسانی اصلاحات یا شکست در زمانبندی پرواز قابل تغییر باشد [۸].

تمامی این شرایط، مسئله زمانبندی گیت را هم از نظر تئوری و هم از نظر عملی بسیار سخت و پیچیده می‌نماید. در واقع، چندگانگی ضوابط و محدودیت‌های گوناگون، طبیعت مسئله را تا جایی می‌کشاند که یافتن و تایید یک روش حلی که از هر نظر مطلوب و بهینه باشد را دور از نظر می‌نمایاند. بنابراین می‌بایست روشی اتخاذ شود که یک سازش مناسب بین برآورد اهداف مختلف فراهم آورد، در حالی که تمامی محدودیت‌ها لحاظ می‌گردد.

علاوه بر این، معمولاً هر گونه برنامه‌ریزی عملی گیت به عنوان مثال در یک فرودگاه بین‌المللی بزرگ، با تعداد زیادی از فعالیت‌های روزانه هواپیما (حدود ۱۰۰۰ پرواز) مواجه است که می‌بایست تخصیص گیت برای تعداد قابل توجهی (حدود ۱۰۰) از گیت‌های پروازی مختلف انجام گیرد.

مقدماتی‌ترین داده‌های ورودی مورد نیاز برای برنامه‌ریزی گیت، جدول زمانی پرواز با زمان‌های ورود و خروج به همراه مشخصات پرواز است که شامل مبدا و مقصد پرواز، نوع هواپیما، تعداد مسافران، حجم بار، نوع پرواز (داخلی یا بین‌المللی) و نیز اولویت‌های گیت و خدمات و تسهیلات مورد نیاز بازرسی فرودگاه می‌باشد.

توجه به این نکته حائز اهمیت است که از نقطه نظر عملی یکی از موضوعات بسیار مهم در بحث برنامه‌ریزی گیت، غیر حساس بودن آن به تغییرات کوچک در داده‌های ورودی است، به عبارت دیگر انعطاف پذیر بودن برنامه‌ریزی یک الزام می‌باشد.

داده‌های ورودی عامل ایجاد عدم قطعیت در بحث برنامه‌ریزی گیت می‌باشند، چرا که این داده‌ها مدام در حال تغییر می‌باشند. وجود این عدم قطعیت در برنامه‌ریزی را می‌توان ناشی از موارد زیر دانست:

۱- خرابی در گیت یا پرواز

۲- زود رسیدن یا دیر رسیدن پرواز

۳- پروازهای اضطراری

۴- شرایط نامناسب هوا

۵- خطاهایی که توسط کارکنان یا سایر موارد اتفاق می‌افتد

به عنوان مثال، تاخیر یک پرواز ممکن است زنجیره‌ای از تاخیرهای جدیدی را برای پروازهای دیگر که به همان گیت اختصاص داده شده بودند را بوجود آورد. در بدترین حالت، این ممکن است منجر به ایجاد اثر دومینو^۱ و در نهایت نیاز به برنامه‌ریزی کامل مجدد گردد، واقعیتی که کاملاً نامطلوب می‌باشد.

بدیهی است که قابل اعتماد بودن داده‌های ورودی را، در سیستم پیچیده یک فرودگاه مدرن نمی‌توان تضمین کرد. از اینرو، تکنیک‌های جدید برنامه‌ریزی گیت سعی در پیدا کردن جوابی (غیر بهین اما نزدیک و ممکن به یک جواب بهین) دارد که دارای خاصیت انعطاف‌پذیری تغییرات داده ورودی باشد.

یک برنامه‌ریزی قابل انعطاف گیت، به اپراتور ترمینال امکان واکنش درست، سریع و به موقع را برای تطبیق دادن تغییرات لازم و اعمال به روز رسانی در برنامه پروازی می‌دهد. در نهایت، تخصیص مناسب و انعطاف‌پذیر گیت منجر به افزایش بهره‌وری در خطوط هوایی و فعالیت‌های تجاری فرودگاه‌ها به علاوه افزایش سطح رضایت و خدمات برای مسافران خواهد شد [۱].

با توجه به این مطالب سعی می‌شود تا با استفاده از تکنیک‌های مهم تصمیم‌گیری نظیر برنامه‌ریزی و مدلسازی ریاضی، مسئله تخصیص گیت و تخصیص مجدد را مدلسازی نموده و راهکاری برای حل مساله و رسیدن به هدف ارائه نماید.

۱-۵ اهداف تحقیق

هدف اصلی، بررسی رویکردهای گوناگون موجود در مسئله برنامه‌ریزی گیت و ارائه دو مدل ریاضی برای مسائل تخصیص گیت و تخصیص مجدد گیت به منظور حداقل نمودن ازدحام مسافران در هر گیت، برای مسئله اول و حداقل نمودن انحراف مطلق تخصیص مجدد گیت از برنامه مرجع، برای مسئله دوم می‌باشد. در این خصوص فرض شده است ترتیب تخصیص گیت‌ها در جدول تخصیص به ترتیب زمان ورود پروازهاست و تعداد پروازها و گیت در آن معین است و جدول تخصیص در یک بازه مشخص T در نظر گرفته شده است. در ضمن فرض می‌شود مسیر حرکت هواپیماها از باند فرودگاه به گیت‌ها در نحوه تخصیص آن‌ها به گیت‌ها تاثیری نداشته باشد. همچنین

مدت زمان اشغال یک گیت توسط یک پرواز از قبل معلوم بوده و در جدول پرواز منعکس شده که با کمک زمان ورود و خروج هر پرواز، می‌توان به میزان این زمان پی‌برد و گیت‌های اشغال شده پس از ترک پرواز بلافاصله قابل استفاده بوده و بین دو پرواز متوالی، بافری در نظر گرفته نمی‌شود، چرا که فرض می‌شود مدت زمان بروی زمین نشستن پرواز قبلی، شامل زمان بافر نیز بوده است.

در این راستا سعی می‌شود به شش سؤال مهم ذیل در حد امکان پاسخ مناسب ارائه شود:

♦ چگونه می‌توان مدلی برای مسئله تخصیص گیت ارائه داد که بتواند ازدحام مسافران در هر

گیت را حداقل نماید؟

♦ چگونه می‌توان مدلی برای مسئله تخصیص مجدد گیت ارائه داد که بتواند انحراف مطلق

تخصیص مجدد گیت از برنامه مرجع را حداقل نماید؟

♦ چه محدودیت‌ها و معیارهایی در نحوه تخصیص هواپیماها به گیت‌های فرودگاه نقش ایفا

می‌کنند و چگونه می‌توان با رعایت این محدودیت‌ها تخصیص مناسبی بدست آورد؟

♦ میزان همپوشانی گیت‌ها در زمان کمبود منابع چگونه خواهد بود؟

♦ چه تعداد گیت جهت عملیات تخصیص روزانه مورد نیاز است؟

♦ از چه الگوریتمی برای حل این دسته از مسائل می‌توان استفاده نمود؟

۱-۶ رویکرد انتخابی برای رسیدن به هدف

یکی از روش‌هایی که امروزه در زمینه مسائل تصمیم‌گیری و مدیریت متداول است، استفاده از

مدلسازی بصورت عام و بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی بصورت خاص است. مدل‌های ریاضی این

امکان را برای مدلساز فراهم می‌کند تا با کمک پارامترها و متغیرهای مناسب، بخشی از مسائل موجود

در دنیای واقعی را مدلسازی کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

در اینجا نیز برای تجزیه و تحلیل و حل مسئله برنامه‌ریزی گیت که یکی از مسائل دنیای واقعی است، مدلسازی در قالب عبارات ریاضی صورت می‌گیرد، بطوریکه این مدل تا حد امکان به واقعیت نزدیک بوده و جواب‌های بدست آمده از آن بتواند پاسخگوی نیازهای واقعی باشد.

در همین راستا برای به تصویر کشیدن مسئله و بدست آوردن یک جواب بهین، مسئله در قالب یک مدل ریاضی ارائه شده است.

۷-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تنظیم شده است، فصل اول به مقدمات و کلیات اختصاص دارد. در فصل دوم ضمن مرور بر ادبیات موضوع، به شناسایی ضعف‌ها و کمبودهای مدل‌های موجود در برنامه‌ریزی گیت پرداخته خواهد شد. در فصل سوم مدلی ریاضی با توجه به شرایط در نظر گرفته شده ارائه می‌شود. در فصل چهارم مدل با بکارگیری داده‌های جمع‌آوری شده و با استفاده از نرم افزارهای تحقیق در عملیات حل خواهد شد. در فصل پنجم نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کل مباحث مطرح شده در پایان‌نامه انجام خواهد شد و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی ارائه می‌شود.

۸-۱ روش تحقیق

به منظور طراحی و حل مدل‌های فوق، روش تحقیق مشتمل بر قدم‌های اصلی ذیل خواهد بود که در شکل (۱-۲) به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل (۱-۲): نمودار روش تحقیق

۹-۱ جمع بندی

در این فصل ابتدا به تعریف مفاهیم اصلی از قبیل فرودگاه، توقفگاه، گیت، جت‌وی، برنامه‌ریزی گیت، ظرفیت گیت، طبقه بندی گیت و غیره پرداخته شد. همانطور که قبلاً اشاره شد، گیت‌ها یکی از مهمترین منابع فرودگاه می‌باشند که برای سرویس‌دهی به پروازهای در حال خروج و پروازهای وارده به فرودگاه از آن‌ها استفاده می‌شود. همچنین باتوجه به اینکه گیت‌های پرواز یکی از گرانترین و کمیاب‌ترین منابع در فرودگاه می‌باشند، واضح است در فرودگاه‌هایی که تعداد زیادی پرواز با کمک تعداد محدودی گیت سرویس‌دهی می‌شوند، تخصیص تصادفی گیت‌ها می‌تواند منجر به بروز مسائلی از قبیل افزایش ترافیک هوایی و زمینی، شلوغی محوطه فرودگاه و غیره شود لذا بدست آوردن یک روش علمی که بتوان در کوتاهترین زمان ممکن تخصیص مناسبی را برای این دسته از مسائل ارائه نماید یکی از اهداف اصلی در بحث برنامه ریزی گیت می‌باشد.

با توجه به موارد فوق در این پایان‌نامه قصد داریم رویکردها و مدل‌های موجود مسئله برنامه‌ریزی گیت را بررسی نماییم و در نهایت با استفاده از روش‌های موجود در این زمینه به ارائه مدلی جهت حل این مسئله بپردازیم. لازمه این کار شناخت کافی و بررسی کامل این رویکردها می‌باشد. بنابراین، فصل دوم به مروری کلی بر کارهای انجام شده در رابطه با این مسئله می‌پردازد و پس از آن ضعف‌ها و کمبودهای مدل‌های موجود را شناسایی خواهد نمود.

فصل دوم

مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱ مقدمه

مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه حل مسئله برنامه‌ریزی گیت را می‌توان از سه دیدگاه مورد بررسی قرار داد. یک دسته مطالعاتی که در پی ایجاد جداول تخصیص گیت دوره‌ای (معمولاً روزانه) برای پروازها می‌باشند که این جداول با توجه به امکانات موجود و پیش‌بینی‌هایی که مبتنی بر اطلاعات قبلی است در ابتدای دوره تهیه و برای کل دوره مورد نظر، مورد استفاده قرار می‌گیرند. دسته دوم، کارها و تحقیقاتی هستند که سعی در اصلاح و بهبود جداول تخصیص اولیه دارند، که این تغییرات ناشی از رویدادهای ناخواسته مانند تاخیر در ورود و خروج پروازها، بدی شرایط آب و هوایی، خرابی هواپیماها یا تجهیزات، فرود اضطراری برخی از پروازها و همچنین خطاهایی که توسط کارشناسان یا سایر موارد رخ می‌دهد می‌باشند که ضمن اجرای جداول تخصیص اولیه به وقوع می‌پیوندند، که اصطلاحاً به آن تخصیص مجدد گیت‌ها اطلاق می‌شود. دسته سوم، کارها و تحقیقاتی هستند که هم سعی در ایجاد جداول تخصیص گیت و هم سعی در اصلاح و تغییر این رویدادها در مرحله برنامه‌ریزی یعنی قبل از وقوع این اختلالات در برنامه را دارند که اصطلاحاً به آن تخصیص‌های استوار گیت اطلاق می‌شود.

در ادامه این فصل ما مروری خواهیم داشت بر مطالعات انجام گرفته در این زمینه، ابتدا به معرفی مدل‌های موجود در مسئله تخصیص گیت خواهیم پرداخت، پس از آن مدل‌های تخصیص مجدد را شرح خواهیم نمود و در ادامه مدل‌های تخصیص استوار را بررسی خواهیم کرد و در پایان به جمع‌بندی کل مطالب خواهیم پرداخت.

۲-۲ برنامه‌ریزی گیت‌ها

با توجه به گستردگی و پیچیدگی این مسئله، تاکنون رویکردهای متفاوتی در مواجهه با آن وجود

داشته و محققین سعی نموده‌اند از راه‌های مختلفی این مسئله را مورد بررسی قرار دهند. مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، سیستم‌های خبره، روش‌های ابتکاری و مدل‌های شبیه‌سازی، راهکارهای اصلی هستند که تاکنون برای حل مسئله برنامه‌ریزی گیت توسط محققین و متخصصین امر پیش گرفته شده است.

۲-۲-۱ استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی

با توجه به اینکه مسئله برنامه‌ریزی گیت، نوعی مسئله زمانبندی^۱ بشمار می‌آید که در آن تخصیص گیت‌ها به پروازهای در حال ورود و یا خروج باید محدودیت‌های مشخصی را برآورده کنند لذا این مسئله یک مسئله بهینه‌سازی است که برای بدست آوردن جواب بهینه می‌توان آن را توسط مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

از این روی تاکنون اغلب تحقیقات صورت گرفته بر روی مدل‌سازی این مسئله متمرکز بوده است اما نکته قابل توجه در حل GAP^2 آن است که از نظر تئوری، پیچیدگی محاسباتی مسئله تخصیص گیت، آن را در دسته مسائل NP-hard قرار می‌دهد [۹].

لذا با توجه به پیچیدگی این مسئله در دنیای واقعی و اینکه حل آن توسط روش‌های کلاسیک برنامه‌ریزی ریاضی در ابعاد واقعی غیر ممکن است، گروهی در راستای تفهیم مسئله و ساده‌سازی مدل ریاضی آن و عده‌ای در راستای ایجاد و بکارگیری روش‌های ابتکاری برای حل مدل ریاضی تلاش کرده‌اند.

۲-۲-۱-۱ مدل‌سازی مسئله برنامه‌ریزی گیت

از اولین کارهای انجام شده در زمینه مدل‌سازی ریاضی، مدل ریاضی ساده‌ای است که توسط

1 Scheduling

2 Gate Assignment Problem

بایک^۱ و همکارانش [۱۰] در سال (۱۹۸۴) ارائه شد. آنها GAP را در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح فرموله کرده و برای کاهش فضای مقایسه از روش شاخه و کران استفاده کرده‌اند. مدل ریاضی مذکور به گونه‌ای تنظیم شده است که در تخصیص نهایی، مسافت پیاده‌روی مسافران در حال ورود^۲ و یا در حال عزیمت^۳ حداقل می‌شود.

متیسل^۴ و همکاران [۱۱] در مطالعه خود در سال (۱۹۸۵) برای حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافران در پایانه از یک مدل برنامه‌ریزی خطی کمک گرفتند. با این تفاوت که در مطالعه آن‌ها علاوه بر مسافران در حال ورود و عزیمت، مسافران انتقالی نیز مد نظر قرار گرفته است. آن‌ها برای حل این مدل از یک روش ابتکاری استفاده کردند. هدف آن حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافران ورودی، در حال عزیمت و انتقالی است. در تمامی مدل‌های فوق، تخصیص گیت‌ها فقط در یک دوره زمانی و برای دسته خاصی از پروازها صورت می‌گیرد. به عبارتی بازه زمانی انتخاب شده برای تخصیص بگونه‌ای است که صرفاً بخشی از جدول پرواز مد نظر قرار گرفته و تخصیص بهینه فقط برای همان تعداد مشخص صورت می‌گیرد. بدین ترتیب بدون توجه به پروازهای قبل و یا بعد از این بازه زمانی، جدول تخصیص بصورت مقطعی تنظیم و مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در تخصیص‌های یک دوره‌ای، پیش از اتمام دوره برنامه‌ریزی قبلی نمی‌توان دوره جدید را شروع کرده و گیت‌ها را به پروازهای بعدی تخصیص داد. بنابراین در برخی از مقاطع زمانی، گیت‌ها بصورت بلااستفاده باقی می‌مانند که این امر سبب کاهش کارایی آن‌ها می‌شود.

علی حقانی و چنگ^۵ [۱۲] در مطالعه‌ای که در این زمینه در سال (۱۹۹۸) انجام داده‌اند برای رفع

1 Babic

2 Entering Passenger

3 Departing Passenger

4 Mathaisel

5 Cheng

مشکل فوق و همچنین نزدیک‌تر کردن مدل ریاضی به واقعیت، تخصیص گیت چند دوره‌ای را پیشنهاد کرده‌اند. در کار ارائه شده توسط ایشان، GAP در قالب فرمول جدیدی از برنامه‌ریزی عدد صحیح مدل‌بندی شده و تخصیص ورودی‌ها بگونه‌ای انجام می‌شود که مسافت پیاده‌روی مسافران (شامل مسافران ورودی، در حال عزیمت و انتقالی) در چندین دوره زمانی متوالی حداقل می‌شود، برای حل این مدل ریاضی، از یک روش کاملاً ابتکاری استفاده شده است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود، «حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافران در پایانه»، تنها تابع هدفی است که در کارهای قبل به عنوان معیار ارزیابی حداقل تخصیص بکار رفته است. انتخاب این تابع هدف از آن روست که مسافتی که مسافران در داخل پایانه‌ها و برای رسیدن به درب‌های خروجی، محل دریافت وسایل و یا رسیدن به پرواز مربوطه خود طی می‌کنند، می‌تواند در بکارگیری موثر گیت‌ها حائز اهمیت باشد و ضمن اینکه مسافت پیاده‌روی، مستقیماً مسافران را تحت فشار قرار داده و می‌تواند بروی رضایت یا عدم رضایت آن‌ها موثر باشد. یکی از راه‌های کاهش این فاصله بدون نیاز به تغییر در ساختمان پایانه‌ها، بهبود روش تخصیص گیت‌ها به پروازهای برنامه‌ریزی شده فرودگاه است. بنابراین در مدل‌های ریاضی که برای تخصیص گیت‌ها ایجاد شدند، حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافران به عنوان یک تابع هدف مطرح گردید.

اما انتخاب معیار فوق به عنوان تنها تابع هدف مسئله، سبب می‌شد تا جدول تخصیص نهایی جوابگوی نیازهای واقعی عملیات‌های فرودگاهی نباشد چرا که ماهیت این تابع هدف به گونه‌ای است که اغلب پروازهای وارد شده را فقط به چند ورودی با شرایط برتر اختصاص داده و سایر گیت‌ها بلااستفاده باقی می‌مانند. واضح است در چنین شرایطی با بروز کمترین تغییر در جدول پرواز، برنامه تخصیص گیت‌های «پراستفاده» با اختلال مواجه می‌شود در حالی که ممکن است گیت‌های

متروک و دور افتاده بدون استفاده باقی بمانند. برای اصلاح چنین وضعیتی «کارآئی گیت‌ها»^۱ به عنوان تابع هدف جدیدی برای مسئله تخصیص گیت مطرح شد. در همین راستا بولات^۲ [۱۳] در مطالعه خود در سال (۱۹۹۹) مدلی ریاضی پیشنهاد کرده است که برای کاهش زمان بلا استفاده بودن گیت‌ها (و در نتیجه افزایش کارآئی آن‌ها)، زمان‌های بیکاری را به صورت یکنواخت بروی گیت‌ها توزیع کرده و ایجاد اختلال در جدول تخصیص را به حداقل می‌رساند (کارآئی گیت‌ها) ضمن اینکه سطح سرویس تعیین شده برای مسافران را نیز در نظر می‌گیرد. به عبارت دیگر، انعطاف جدول تخصیص ایجاد شده توسط این مدل تا حدی است که بروز تغییرات و اصلاحات جزئی در جدول پرواز، تغییر در جدول تخصیص گیت‌ها را سبب نمی‌شود.

یکی از تفاوت‌های مدل ارائه شده توسط بولات با مدل قبل، در نظر گرفتن «سطح کارآئی» برای گیت‌ها می‌باشد. برای حل این مدل، الگوریتم شاخه و کران بکارگرفته شده و برای کاهش مدت زمان حل، تغییراتی بروی این الگوریتم اعمال گردیده است. اگر چه در مدل فوق، زمان بیکاری بطور یکنواخت بروی گیت‌ها توزیع می‌شود اما ممکن است بنا به نوع جداول پرواز، زمان‌های بلااستفاده خیلی طولانی و یا خیلی کوتاه، بطور غیر قابل اجتناب در شروع و پایان هر دوره برنامه‌ریزی بوجود آید.

همین محقق [۱۴] در مطالعه بعدی خود برای رفع چنین مشکلی، واریانس زمان بیکاری گیت‌ها را مد نظر قرار داده و تابع هدف مدل را به حداقل کردن مجموع واریانس‌های زمان‌های بیکاری گیت‌ها تغییر داده است برای حل این مدل نیز از الگوریتم شاخه و کران و دو روش ابتکاری استفاده شده است.

1 Gate Utilization

2 Bolat

زو و بیللی^۱ [۱۶] در مطالعه خود در سال (۲۰۰۱) با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مدلی را برای مسئله تخصیص گیت ارائه کردند که تابع هدف آن مجموع زمان‌های ارتباط مسافران برای رسیدن به پروازهای اتصالی^۲ حداقل می‌کرد. از آن جایی که مدل ارائه شده یک مدل غیرخطی و از نوع درجه دوم بود، آنان برای سهولت کار آن را به فرم برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح بازنویسی کردند. همچنین زو و بیللی برای حل مدل‌شان، از روش تکنیک شاخه و کران به منظور تولید جواب الگوریتم استفاده نمودند.

یان و هو^۳ [۱۷] در مطالعه‌ی خود در سال (۲۰۰۱) مدل جدیدی را برای در نظر گرفتن تاخیرهای اتفاقی میان دو پرواز متوالی برای تخصیص به یک گیت یکسان ارائه دادند. آنان برای حل و فصل^۴ تاخیرهای جزئی از حافظه موقت^۵ (ثابت) استفاده کردند. در مدل ارائه شده توسط آن‌ها مسئله بصورت یک مساله چند هدفی فرمول‌بندی شده است. هدف اول سعی می‌کند زمان پیاده‌روی مسافران را حداقل کند، در صورتی که هدف دوم تلاش می‌کند زمان انتظار مسافران را حداقل نماید. مدل ارائه شده مدلی کارآمد^۶ که برای حل مسائل در اندازه بزرگ مناسب می‌باشد.

آن‌ها برای آزمایش مدل به مطالعه موردی فرودگاه CKS^۷ تایوان پرداختند. همچنین برای حل مدل، از روش وزن‌دهی^۸ (رویکرد تولید ستون^۹) استفاده نموده، و سپس برای توسعه جواب مدل را بار دیگر از تکنیک شاخه و کران حل کردند.

1 Xu & Baily

2 Connection flight

3 Yan & Huo

4 Resolving

5 Buffer time

6 Efficiently

7 Chiang Kai-Shek

8 Weighting method

9 Column generation

لی^۱ [۱۸] در مطالعه خود در سال (۲۰۰۷) مدل جدیدی را برای مسئله تخصیص گیت ارائه نمود. او حداقل کردن تعداد تداخل گیت^۲ را به عنوان تابع هدف در مدل خود در نظر گرفت. (تخصیص همزمان دو هواپیما به یک گیت به علت برنامه‌ریزی نامناسب یا تاخیر در زمان اجرای برنامه مرجع، تداخل گیت را بوجود می‌آورد.) مدل ارائه شده توسط وی دارای تابع هدف خطی ولی محدودیت‌های غیرخطی می‌باشد. لی برای حل مدل خود از یکی از نرم افزارهای بهینه‌ساز استفاده نمود. همچنین وی برای نشان دادن صحت مدل خود از داده‌های فرودگاه بین المللی جورج بوش هوستون^۳ استفاده نمود.

داس^۴ [۱۹] در مطالعه خود که در این زمینه در سال (۲۰۰۹) انجام داده است، مدل‌سازی ساده‌ای از برنامه‌ریزی عدد صحیح (صفر- یک) برای مسئله برنامه‌ریزی گیت فرودگاه ارائه کرد. تفاوت کار او نسبت به مطالعات قبل، تنها در نظر گرفتن تعدادی گوناگون از محدودیت‌های کاربردی^۵ است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به محدودیت تخصیص گیت به پروازهای ثابت^۶ (قبلاً برنامه‌ریزی شده) یا ممنوع^۷ (ممنوعیت تخصیص پرواز به یک گیت خاص) اشاره کرد که این محدودیت‌ها بیشتر توسط شرکت‌های خطوط هوایی تحمیل می‌شود. همچنین می‌توان از محدودیت گیت مجاور به خاطر محدودیت‌های فنی یا اجرایی و یا محدودیت زمان در عملیات خروج^۸ هواپیما از گیت نام برد. در این مدل از یک تابع هدف کمینه‌ساز استفاده شده است که مجموع مسافت پیاده‌روی توسط

1 Li

2 Gate conflict

3 George Bush Intercontinental Airport

4 Das

5 Practical constraints

6 Fixing of flights

7 Prohibiting of flights

8 Push out

مسافران را حداقل می‌کند. در این مطالعه الگوریتم ابتکاری برای حل مدل پیشنهاد نشده است و مدل توسط نرم افزار بهینه‌ساز حل و نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱-۲-۲ حل ابتکاری مدل‌های ریاضی

با توجه به گستردگی و پیچیدگی حل مدل‌های ریاضی برنامه‌ریزی گیت، محققین از روش‌های ابتکاری یا تلفیقی از روش‌های ابتکاری و روش‌های کلاسیک برنامه‌ریزی ریاضی برای حل این مسئله استفاده کرده‌اند. بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج این روش‌ها نشان می‌دهد که اغلب آن‌ها توانسته‌اند نسبت به روش‌های مرسوم، جواب قابل قبولی را در زمان مناسب به دست آورند.

یکی از ساده‌ترین روش‌های ابتکاری به کار گرفته شده در تخصیص گیت، روشی است که توسط متیسل و همکاران ارائه شد، آن‌ها پیشنهاد کردند پروازهای با بیشترین تعداد مسافر به گیت‌هایی تخصیص داده شوند که مجموع مسافت پیاده‌روی آن‌ها حداقل است [۱۱].

بابیک و همکاران [۱۰] نیز روشی ابتکاری بر اساس درخت شاخه و کران ارائه داده است که در آن برای کاهش شاخه‌های غیر ضروری، پیش از شاخه زدن در هر سطح، یک شرط اضافی کنترل می‌شود.

علی حقانی و چنگ [۱۲] نیز برای حل مدل ریاضی خود از یک الگوریتم کاملاً ابتکاری استفاده کرده‌اند. الگوریتم مذکور به گونه‌ای است که در شرایطی که پروازهای جدول پرواز با یکدیگر تداخل ندارند، همه آن‌ها را به یک گیت یکسان تخصیص می‌دهد که بدین صورت حداقل مسافت پیاده‌روی را برای مسافران به دنبال خواهد داشت، اما واضح است که در شرایط واقعی چنین حالتی امکان پذیر نیست، بنابراین در این الگوریتم ابتکاری برای پروازهایی که تداخل دارند، متغیرهای تصمیم به ترتیب صعودی تابع هدفشان مرتب شده و تخصیص پروازها به گیت‌های در دسترس با متغیری شروع

می‌شود که کوچکترین ضریب هزینه یا کوتاهترین مسافت پیاده‌روی را دارد. بدین ترتیب جدول تخصیص نهایی، حداقل مسافت پیاده‌روی را برای مسافران به دنبال خواهد داشت.

بولات [۱۳] در یکی از مطالعات خود برای حل مدل تخصیص گیت پیشنهاد شده، از الگوریتم شاخه و کران استفاده کرده است که در آن انتخاب گره‌ها برای شاخه زدن، بر مبنای دو قانون ابتکاری صورت می‌گیرد. بولات پس از اعمال این دو قانون بصورت مجزا، تاثیر اعمال قوانین را بروی مدت زمان حل و بهترین جواب بدست آمده مورد مقایسه قرار داده است.

در مطالعه دیگری که توسط همین محقق [۱۴] صورت گرفته است، برای حل مدل پیشنهادی از دو روش ابتکاری استفاده شده است که نسبت به روش‌های رایج، به زمان محاسباتی کمتری نیاز دارند. در نخستین روش، در هر زمان یک پرواز به یک گیت تخصیص داده می‌شود اما برای انتخاب بهترین گیت شدنی، از یک تابع اولویت استفاده می‌کند. در همین راستا، چهار اولویت مختلف تعریف و مورد استفاده قرار گرفته است.

در دومین روش ابتکاری که بر مبنای الگوریتم شاخه و کران است، برای تعداد گره‌هایی که شاخه زدن از آن‌ها مجاز است، یک حداکثر در نظر گرفته می‌شود. این روش ممکن است بسته به پارامترهای مسئله به جواب بهینه نیز برسد اما با افزایش اندازه مسئله، این احتمال کاهش می‌یابد.

همین محقق [۱۵] در مطالعه بعدی خود در سال (۲۰۰۱) ضمن بررسی مدل‌های پیشین، واریانس زمان بیکاری گیت‌ها را مدنظر قرار داده و تابع هدف را به حداقل کردن مجموع واریانس زمان‌های بیکاری گیت‌ها تغییر داده است و برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است.

زو و بیلی [۱۶] برای حل مدل ریاضی خود الگوریتم ابتکاری جستجوی ممنوع^۱ پیشنهاد نموده و نتایج بدست آمده از آن را با روش سیمپلکس مقایسه کردند.

1 Tabu Search

دینگ^۱ و همکاران [۲۰] در مطالعه‌ایی که در این زمینه در سال (۲۰۰۴a) انجام دادند مسئله را در زمانی که تعداد هواپیماها بیش از گیت‌های در دسترس باشد (منابع محدود^۲) مدل‌سازی نمودند. آنان دو هدف را در نظر گرفته‌اند. هدف اول حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت، هدف دوم حداقل کردن مسافت پیاده‌روی یا زمان‌های اتصال. دینگ همچنین برای حل مدل خود از الگوریتم حریصانه^۳ و روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوع استفاده نموده و نتایج بدست آمده را باهم مقایسه کردند.

همین محققین [۲۱] در مطالعه بعدی خود در سال (۲۰۰۵) مدل پیشین خود را با الگوریتم‌های حریصانه، SA^۴، هیبرید SA و جستجوی ممنوع حل نموده و نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های فوق را با یکدیگر مقایسه نمودند.

لیم^۵ و همکاران [۲۲] در سال (۲۰۰۵) مسئله تخصیص گیت در فرودگاه را با استفاده پنجره زمانی^۶ مورد مطالعه قرار دادند. مدل ارائه شده توسط آنان به فرم برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (صفر-یک) بود و تابع هدف در نظر گرفته شده در این مدل مسافت پیاده‌روی مسافران به همراه مجموع جریمه‌های تاخیر (زمان مسافرت) را حداقل می‌کرد. همچنین برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم‌های جستجوی ممنوع، ممیتیک و ژنتیک^۷ استفاده کرده و نتایج بدست آمده از این الگوریتم‌ها را با یکدیگر مقایسه نمودند.

یان و تانگ^۸ [۲۳] در مطالعه‌ای در سال (۲۰۰۷) مسئله برنامه‌ریزی گیت را بصورت شبکه

1 Ding

2 Over-Constrained

3 Greedy Algorithm

4 Simulated Annealing

5 Lim

6 Time window

7 Memetic & Genetic Algorithm

8 Yan & Tang

جریان چند کالایی عدد صحیح مدلسازی کردند. همچنین در تابع هدف در نظر گرفته شده در این مدل برای حداقل کردن مجموع زمان‌های انتظار مسافر جریمه‌ای برای تمامی زمینه‌ها در نظر گرفته شده است. آنان برای حل مدل پیشنهادی خود از روش ابتکاری جدیدی استفاده نمودند.

پینتی^۱ و همکاران [۲۴] در سال (۲۰۰۸) مدل ارائه شده توسط دینگ در سال (۲۰۰۴) را با الگوریتم هیبرید مورچگان^۲ و الگوریتم جستجوی ممنوع حل نموده و نتایج را بایکدیگر مقایسه نموده.

درکسل و نیکولین^۳ [۲۵] در مطالعه‌ی خود در سال (۲۰۰۸) مدل اولیه ارائه شده توسط دینگ [۲۶ و ۲۰] در سال (۲۰۰۴ a و ۲۰۰۴ b) را توسعه دادند. آن‌ها از یک تابع هدف چند معیاری در مدل خود استفاده نموده و اهداف مدل فوق حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت، حداقل کردن مجموع مسافت پیاده‌روی مسافران یا زمان‌های اتصال و حداکثر کردن مجموع اولویت تخصیص گیت بود. همچنین آن‌ها برای حل مدل از الگوریتم ابتکاری PSA^۴ استفاده نمودند.

۲-۲-۲ سیستم خبره

با توجه به اینکه در شرایط بحرانی و حساس وظیفه برنامه‌ریزی گیت در فرودگاه‌ها بر عهده افراد با تجربه و خبره است. بکارگیری سیستم‌های خبره، گزینه و راه حل دیگری بود که در مواجهه با مسئله برنامه‌ریزی گیت پیش گرفته شد. متخصصان این حوزه با تاکید بر این نکته که سیستم‌های خبره امکان دخالت تجربه و تخصیص افراد خبره و با تجربه را در تنظیم جدول گیت فراهم می‌آورند، این سیستم‌ها را بعنوان ابزارهایی قوی برای حل مسئله برنامه‌ریزی گیت عنوان کردند.

1 Pinte

2 Hybrid Ant System

3 Drexl & Nikulin

4 Pareto Simulated Annealing version

سیستم‌های خبره‌ای که بدین منظور در سال‌های اخیر در فرودگاه‌ها طراحی و بکار گرفته شده‌اند، هر یک به نوعی سعی دارند جدول تخصیص مناسب‌تری را ایجاد کرده و امکان اعمال تغییرات را برای کاربران فراهم آورند. کاربران این سیستم‌ها می‌توانند با ورود اطلاعات لازم به آن‌ها، خروجی مناسب را دریافت نمایند.

از اولین سیستم‌های خبره‌ای که برای برنامه‌ریزی گیت در فرودگاه‌ها بوجود آمد، سیستم خبره‌ای به نام GATES بود که در سال ۱۹۹۱ توسط برزیل و سوئیگر^۱ طراحی شد [۲۷]. این سیستم قادر بود بر اساس جداول پرواز، جدول تخصیص ماهانه را بوجود آورد و در صورت نیاز تغییرات بعدی را نیز بروی آن اعمال نماید. به علاوه بر اساس محدودیت‌های موجود برای هر پرواز و یا گیت خاص، ترتیب تخصیص پروازها را اولویت بندی کرد.

حدود سه سال پس از طراحی سیستم خبره GATES، طراحان سیستم با اعمال تغییراتی آن را در فرودگاه جان اف کندی^۲، بکار گرفتند [۲۸]. سیستم جدید قادر بود علاوه بر تبدیل جدول تخصیص ماهانه به جدول تخصیص روزانه، وقوع تغییرات را نیز در نظر گرفته و تخصیص مجدد را در کمتر از ۳۰ ثانیه انجام دهد.

گسلینگ^۳ [۲۹] در سال (۱۹۹۰)، نحوه طراحی و همچنین نکات قابل توجه در طراحی سیستم‌های خبره مورد استفاده در تخصیص گیت را مورد بررسی قرار داده است. الگوی اولیه‌ای که توسط ایشان برای سیستم خبره مذکور بوجود آمد، قادر بود در تخصیص گیت بروز سه نوع از مسائل را در نظر گرفته و پوشش دهد: (۱) تاخیر در ورود پروازها (۲) تاخیر در خروج پروازها و (۳) تغییر تجهیزات و امکانات فرودگاه.

1 Brazil & Swigger

2 JFK International Airport

3 Gosling

برای ایجاد چنین سیستمی، اطلاعات مورد نیاز از مراکز فرودگاهی و خطوط هوایی جمع آوری شده و قوانین و دانش مورد نیاز از آن استخراج شد. به علاوه سیستم مذکور با کمک داده‌های واقعی که از فرودگاه استپ لتون دنور^۱ جمع آوری شده بود، مورد ارزیابی قرار گرفت.

سری‌هاری و موتوکریشنان^۲ [۳۰] در سال (۱۹۹۱) ضمن مقایسه راه حل‌های ارائه شده برای مسئله برنامه‌ریزی گیت و بکارگیری سیستم‌های خبره را نسبت به راه حل‌های سنتی ارجحیت داده و برای طراحی چنین سیستمی، متدولوژی کلی خود را پیشنهاد کرد.

برخی از سیستم‌های خبره‌ای که توسط سری‌هاری و سو [۳۱] با هدف ایجاد جداول تخصیص گیت طراحی شدند، ابزار برنامه‌ریزی مناسبی برای مسئولان فرودگاه‌ها محسوب می‌شدند. به عنوان مثال در پاره‌ای موارد از این قبیل سیستم‌ها در برنامه‌ریزی استراتژیک جداول پرواز استفاده می‌شود.

جو^۳ و همکاران [۹] در مطالعه خود در سال (۱۹۹۷) سیستم خبره جدیدی به نام RACES را برای تخصیص طراحی کردند. در این سیستم، جستجو در فضای جواب با کمک تکنیک‌های مناسب محدود شد. و برای ایجاد جدول تخصیص از دو روش (۱) بهترین تخصیص به لحاظ فاصله زمانی و (۲) بهترین تخصیص به لحاظ اندازه هواپیما استفاده شده است. پس از ایجاد سیستم، به منظور ارزیابی دقت آن، سیستم خبره مذکور با کمک داده‌های واقعی که از عملیات روزانه یک شرکت هواپیمایی به دست آمد، مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲-۳ مدل‌های شبیه‌سازی

فرآیند شبیه‌سازی و استفاده از مدل‌های مربوط به آن، ابزار دیگری است که محققین می‌توانند

1 Denver Stapleton

2 Srihari & Muthukrishnan

3 Jo

برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی رویدادهای دنیای واقعی از آن استفاده نمایند.

هسوناح^۱ [۳۲] در سال (۱۹۸۶) برای شبیه‌سازی فرآیند تخصیص گیت در فرودگاه‌ها، برنامه‌ای ارائه داد که ورود و خروج پروازها به فرودگاه را شبیه‌سازی کرده و گیت‌ها را به پروازها تخصیص می‌داد. مدل مذکور علاوه بر تخصیص روزانه پروازها، قادر بود تعداد و اندازه گیت‌ها را نیز برای یک فرودگاه جدید تعیین نماید.

۲-۲-۴ مدل‌های تلفیقی (برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های شبیه‌سازی، سیستم خبره)

عده‌ایی از محققان برای بالابردن ویژگی انعطاف‌پذیری در مسئله برنامه‌ریزی گیت، تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی (شاخه و کران، برنامه‌ریزی پویا، جستجوی محلی) را با مدل‌های شبیه‌سازی و سیستم خبره تلفیق نموده و پس از توسعه آن را بصورت یک سیستم جامع‌تر ارائه نمودند. از تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به کارهای ارائه شده توسط چنگ^۲ [۳۶-۳۳] در طی سال‌های (۱۹۹۷) و (۱۹۹۸) اشاره کرد. او در این روش ابتکاری، تلفیق مدل‌های ریاضی و سیستم‌های خبره را برای حل مسئله تخصیص گیت پیشنهاد کرده است. در روش ارائه شده توسط چنگ، از برنامه‌ریزی ریاضی برای حل بخش‌هایی از مسئله که به آسانی مدل‌بندی شده و شرایط بهتری دارند، استفاده شده است و برای بخش‌هایی از مسئله که قابل مدل کردن نیستند، سیستم خبره مورد استفاده قرار گرفته است.

اساس این روش ابتکاری بدین صورت است که با کمک قوانین تعریف شده و انجام کنترل‌های اولیه، گیت‌های کاندیدی که به کمک روش‌های ریاضی بدست آمده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است و از بین آن‌ها گیت‌های نشدنی حذف می‌شوند سپس با کمک دانش سیستم خبره، گیت‌های

1 Hassounah

2 Cheng

برتر مشخص می‌شوند. بدین ترتیب کارآئی بالای جواب آن‌ها که ناشی از بهینه‌سازی عددی است، با کمک برنامه‌ریزی عددی بدست آید و انعطاف‌پذیری و هوشمندی آن از طریق سیستم خبره حاصل می‌شود.

یان^۱ و همکاران [۳۷] در سال (۲۰۰۲) سیستمی را ارائه دادند که تلفیقی از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی با مدل‌های شبیه‌سازی برای حل مسئله برنامه‌ریزی گیت بود. در سیستم ارائه شده توسط یان و همکاران، چهارچوبی^۲ برای عملیات واقعی تخصیص گیت‌های فرودگاه CKS تایوان شبیه‌سازی شده است، که نه تنها تاثیر تاخیرات احتمالی پروازها را تجزیه و تحلیل می‌کند بلکه همچنین می‌تواند زمان‌های قابل تغییر حافظه موقت و قوانین تخصیص بلادرنگ گیت را ارزیابی کند. در این سیستم از برنامه‌ریزی ریاضی برای حل بخش‌هایی از مسئله که به آسانی مدل‌بندی شده و شرایط بهتری دارند، استفاده شده است و برای بخش‌هایی از مسئله که قابل مدل کردن نیستند، از مدل‌های شبیه‌سازی استفاده شده است.

۲-۳ تخصیص مجدد گیت‌ها^۳ (GRP)

مسئله دیگری که به تازگی در ادبیات موضوع تخصیص گیت مطرح شده و در فرودگاه‌ها اهمیت ویژه‌ای یافته است، مسئله تخصیص مجدد گیت‌هاست. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، این مسئله زمانی مطرح می‌شود که پس از تنظیم جدول تخصیص و به هنگام استفاده از آن، به هر دلیلی مجبور به اعمال تغییر و جابجایی پروازها باشیم. به عنوان مثال تاخیر در ورود و خروج پروازها، خراب شدن ناگهانی برخی از تجهیزات، بدی شرایط آب و هوایی و غیره می‌تواند منجر به بروز اختلال در

1 Yan

2 Framework

3 Gate Reassignment Problem

جدول تخصیص گیت شود که در این صورت لازم است اطلاعات جدول مذکور، مطابق با وضعیت جدید به روز شده و مبنای کار روزانه قرار گیرد.

اهمیت و حساسیت مسئله تخصیص مجدد گیت‌ها (GRP) نسبت به مسئله تخصیص گیت‌ها (GAP) از آن روست که در صورت بروز هر گونه شرایط غیر مترقبه، تخصیص مجدد باید در حداقل زمان انجام شده تا مانع بروز تاخیرهای اضافی گردد. تنظیم جدول تخصیص اولیه گیت پیش از ورود پروازها و در شرایط کاملاً عادی انجام می‌شود در حالی که مسئولان فرودگاهی مجبور هستند پس از بروز شرایط ناخواسته و غیر مترقبه، تخصیص مجدد گیت‌ها را در بازه زمانی کوتاهی انجام داده و جدول تخصیص گیت را به روز نمایند. بنابراین ضروری است برای تنظیم مجدد جدول مذکور، روش‌هایی مورد استفاده قرار گیرند که این منظور را در حداقل زمان برآورده نماید.

مسئله تخصیص مجدد گیت‌ها نیز نوعی GAP است که برای حل آن می‌توان از روش‌های ارائه شده برای حل GAP یعنی برنامه‌ریزی ریاضی، سیستم‌های خبره و روش‌های ابتکاری کمک گرفت. اما نکته قابل تعمق در مسئله تخصیص مجدد گیت‌ها، روبرو بودن با محدودیت‌های زمانی است. بنابراین برای حل این مسئله، صرفاً می‌توان از روش‌هایی کمک گرفت که در بازه زمانی کوتاهی، جدول تخصیص اولیه را با کمک اطلاعات جدید مورد بازنگری و اصلاح قرار داده و جدول تخصیص نهایی را تنظیم کنند. به همین علت محققین به روش‌های ابتکاری و یا فرا ابتکاری رو آورده تا بتوانند در کوتاهترین زمان، جواب بهینه را پیدا کرده و یا جواب موجه نسبتاً خوبی به دست آورند.

گو و چونگ^۱ [۳۸] برای تخصیص مجدد گیت‌ها الگوریتم ژنتیک را به کار برده‌اند. مدل پیشنهاد شده، در صورت تاخیر در ورود و یا خروج پروازها، با جستجو بر روی گیت‌های در دسترس،

1 Gu & Chung

جدول تخصیص مجدد را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که حداکثر تاخیرها، حداقل شوند. ساختار کروموزم‌ها در این مدل بدین صورت است که تعداد بخش‌های هر کروموزم برابر تعداد پروازی است که باید مجدداً تخصیص داده شده و شماره هر بخش، شمار گیتی است که به هر پرواز تخصیص داده می‌شود. در طی فرآیند آماده‌سازی، به تعداد جمعیت، کروموزم‌هایی به صورت تصادفی آماده می‌شوند. بدین صورت که به هر پرواز تاخیردار به صورت تصادفی یک گیت شدنی تخصیص داده شده و این فرآیند به تعداد جمعیت تکرار می‌شود.

برای اعتبار سنجی، جواب‌های به دست آمده از مدل فوق با نتایجی که توسط مدیران متخصص به دست آمده بود، مقایسه شد.

برازجانی [۴۸] در مطالعه‌ای که در این زمینه در سال (۱۳۸۰) انجام داده است، یک مدل ریاضی برای مساله تخصیص مجدد گیت‌ها ارائه داد. تابع هدف آن به گونه‌ای در نظر گرفته شد که اولاً تاخیرهای اضافی ناشی از بروز تاخیر در ورود پروازها، حداقل گردیده و ثانیاً مدت زمان خالی ماندن گیت‌ها و در عین حال استفاده بیش از حد برخی دیگر حداقل شود. وی برای حل مدل روش فرا ابتکاری SA را پیشنهاد نمود.

یان و تانگ [۲۳] در مطالعه خود در سال (۲۰۰۷) برای اینکه مدل پیشنهادیشان به واقعیت نزدیک‌تر باشد تاخیرهای بوجود آمده در پروازها در حین انجام برنامه، در مدل دومی تحت عنوان تخصیص مجدد ارائه کردند و مدل را با استفاده داده‌های فرودگاه CKS تایوان و با استفاده از روش ابتکاری جدیدی حل نمودند.

درکسل و نیکولین [۳۹] در مطالعه بعدی خود در سال (۲۰۰۹) مدل ریاضی ارائه شده توسط دورندورف [۴۰] در سال (۲۰۰۲) را با الگوریتم ابتکاری PSA فازی حل نمود. دورندورف در مدل خود از تابع چند هدفی برای حل مسئله برنامه‌ریزی گیت استفاده نمود که اهداف آن حداکثر کردن

مجموع اولویت‌های گیت پرواز، حداقل کردن تعداد فعالیت‌های یدک‌کشی و حداقل کردن انحراف مطلق تخصیص جدید گیت از برنامه مرجع بود.

هر چند بنا به دلایل ذکر شده بالا، مسئله مجدد گیت‌ها از اهمیت و حساسیت بیشتری نسبت به GAP برخوردار است اما بررسی کارها و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در این زمینه به غیر از مطالعات فوق، کارهای دیگری صورت نگرفته است [۱].

۲-۴ مدل‌های تخصیص استوار^۱

یکی از جالب‌ترین شاخه‌های بهینه‌سازی ترکیبیاتی که از ۲۰-۳۰ سال گذشته پدید آمده است، بهینه‌سازی استوار می‌باشد. نظریه استواری، نظریه‌ای نسبتاً جدید است که به سرعت در حوزه بهینه‌سازی رشدی سریع داشته است و با عدم قطعیت پارامترهای مسئله سروکار دارد [۴۱].

یکی از کاربردهای این نظریه، در حوزه برنامه‌ریزی گیت می‌باشد. برنامه‌ریزی استوار گیت (که احتمالاً جواب بهینه واقعی نبوده بلکه جوابی است که به جواب بهینه واقعی تا حد ممکن نزدیک باشد، به عنوان مثال بدترین شرایط ممکن را بهینه‌سازی می‌کند) در مواردی کاربرد دارد که داده‌های ورودی مسئله بنابر دلایل گوناگونی نامعلوم یا غیرقطعی باشند. همان طور که قبلاً اشاره شد زودرسی و تاخیر در پروازها، خرابی تجهیزات و شرایط بد آب و هوایی و غیره از جمله مواردی بودند که منجر به تغییر داده‌های ورودی در این گونه مسائل می‌شدند. مسئله استواری را می‌توان به دو زیرمسئله تقسیم کرد: ۱- در جایی که سطح عدم قطعیت به طور قطعی تعریف شده باشد، ۲- در جایی که مقادیری (ورودی) که با عدم قطعیت روبرو می‌باشند بصورت تصادفی داده شوند.

در بحث برنامه‌ریزی گیت دو رویکرد برای رویارویی با این اختلالات احتمالی در زمانبندی

وجود دارد: رویکرد اول، بهینه‌سازی یا تخصیص مجدد پس از رویداد این اختلالات و رویکرد دوم، مدیریت این وقایع در مرحله برنامه‌ریزی یعنی قبل از وقوع این اختلالات در برنامه می‌باشد. که این رویکرد، همان استواری در مسئله برنامه‌ریزی گیت می‌باشد.

استوار نمودن زمانبندی روشی بازدارنده^۱ برای رویارویی با اختلالات است. مسئله برنامه‌ریزی استوار در خطوط هوایی مسئله‌ای بسیار چالش انگیز می‌باشد که متأسفانه در این زمینه بنا به دلایل گوناگونی تحقیقاتی کافی صورت نگرفته است [۴۲]. یکی از این دلایل نبود تعریف عمومی واحد در زمینه استواری می‌باشد، زیرا این تعاریف از مسئله‌ایی به مسئله دیگر تغییر پذیر است. همچنین اضافه کردن استواری در مرحله برنامه‌ریزی اغلب منجر به بالاتر رفتن هزینه‌های زمانبندی می‌شود. اما عمده ترین مزیت آن کاهش تاخیرها و پروازهای لغو شده می‌باشد، که هزینه آن به مراتب بالاتر از هزینه زمانبندی می‌باشد. از آنجایی که محاسبه این مقدار استواری کار پیچیده‌ای می‌باشد، بنابراین تعیین میزان هزینه پرداختی برای رسیدن به سطوح معینی از استواری برای شرکت‌های هوایی کاری مشکل است.

برای حل مدل‌های تخصیص استوار می‌توان از روش‌های ارائه شده برای حل GAP یعنی برنامه‌ریزی ریاضی، سیستم‌های خبره و روش‌های ابتکاری کمک گرفت.

از مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعه حسن آبادی [۴۹] در سال (۱۳۸۱) اشاره کرد. او در مدلی که در این زمینه ارائه داد با برخورد فازی با پارامترهای ورودی که با عدم قطعیت در خصوص میزان و مقدار آن‌ها مواجه بود، استواری جدول تخصیص نهایی را افزایش داد تا با تغییرات ناخواسته در آن پارامترها جدول استواری خود را حفظ نماید. همچنین او برای حل مسئله و رسیدن به هدف که همانا حداقل کردن تاخیر پروازها و حداکثر کردن کارآئی

1 Proactive way

گیت‌ها است، روش ابتکاری الگوریتم ژنتیک را ارائه نمود.

لیم و وانگ^۱ [۴۳] در مطالعه‌شان در سال (۲۰۰۵) مدل ریاضی را در زمینه برنامه‌ریزی استوار گیت پیشنهاد کردند که تابع هدف آن تعداد تخصیص مجدد گیت به هواپیماها را حداقل می‌کند. آنان مسئله^۲ RAGA را توسط مدل برنامه‌ریزی تصادفی مدل‌سازی کردند و آن را به مدل برنامه‌ریزی باینری «صفر-یک» تبدیل کرده‌اند. همچنین برای حل مدل ترکیبی از روش جستجوی ممنوع با روش فرا ابتکاری هیبرید را استفاده کردند.

دورندورف^۳ و همکاران [۲] در مطالعه خود در سال (۲۰۰۸) بحث استواری در نتایج زمانبندی را در نظر گرفتند. آن‌ها ابتدا مدل را به شکل برنامه‌ریزی ریاضی با تابع چند هدفی فرمول‌بندی کردند. اهدافی که آن‌ها در این مدل در نظر گرفته بودند عبارتند از: حداکثر کردن مجموع امتیاز اولویت تخصیص، حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت در مدت زمان‌های ازدحام، حداقل کردن تعداد یدک‌کشی بعلاوه حداکثر کردن استواری نتایج زمانبندی با در نظر گرفتن تاخیرهای پرواز. سپس مسئله برنامه‌ریزی گیت را به یک مسئله گراف CPP^۴ تبدیل نموده و در نهایت مسئله فوق را با استفاده از الگوریتم ابتکاری Ejection Chain حل نمودند.

۲-۵ مروری بر ادبیات مسئله برنامه‌ریزی گیت

تحولات مطالعات برنامه‌ریزی گیت را می‌توان به چهار دسته طبقه‌بندی نمود. دسته اول مطالعاتی بودند که، به دلیل نبود سیستم محاسبات کارا صرفاً به فرموله کردن مسئله تخصیص گیت اختصاص داشت. دسته دوم، به موازات توسعه رایانه‌ها و ریاضیات، به بررسی مدل‌ها با استفاده از

1 Wang

2 Robust Airport Gate Assignment

3 Dorndorf

4 Clique Partitioning Problem

رویکردهای جدید از قبیل شبیه‌سازی، سیستم خبره و روش‌های ابتکاری برای حل این مدل‌ها در بخش فرودگاه‌ها اختصاص داشت. دسته سوم مطالعاتی بودند که، به علت تغییر و جابجایی در برنامه پروازی شرکت‌های هواپیمایی سعی در فرموله کردن این مسئله به شکل تخصیص مجدد گیت را داشتند. دسته چهارم مطالعاتی بودند که هم سعی در ایجاد جداول تخصیص گیت و هم سعی در اصلاح و تغییر این رویدادها در مرحله برنامه‌ریزی یعنی قبل از وقوع این اختلالات در برنامه را دارند که اصطلاحاً به آن تخصیص‌های استوار گیت اطلاق شود. در پی بررسی‌های فوق روند گسترش مسئله برنامه‌ریزی گیت را می‌توان به صورت جدول (۲-۱) بیان نمود.

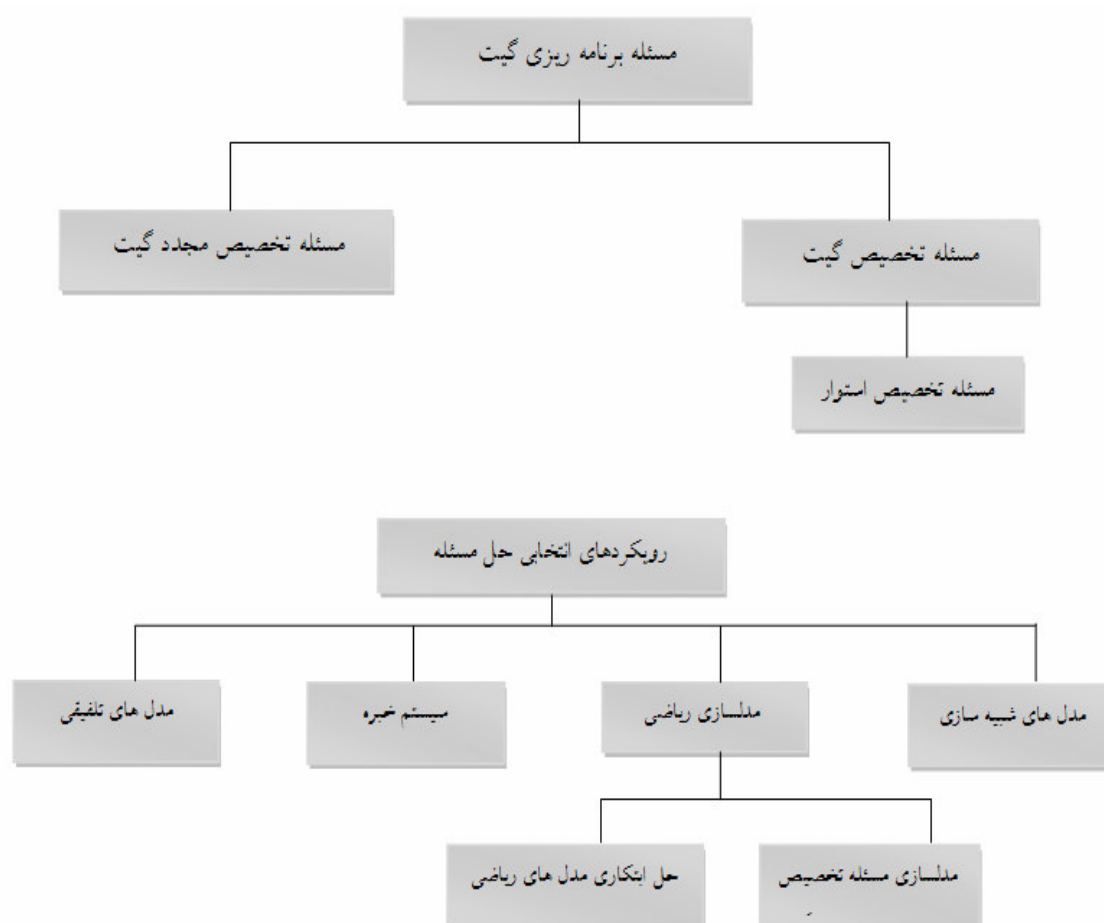
جدول (۲-۱) روند گسترش مسئله برنامه‌ریزی گیت

نویسندگان	نقاط گسترش
Babic et al 1984	مدلسازی مسئله برنامه‌ریزی گیت بفرم برنامه‌ریزی عدد صحیح و در نظر گرفتن حداقل مسافت پیاده‌روی مسافران بعنوان تابع هدف مسئله
Mamgoubi & Mathaisel 1985	ارائه یک روش ابتکاری در مسئله برنامه‌ریزی گیت
Hassunah 1986	استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در مسئله برنامه‌ریزی گیت
Gosling 1990	طراحی سیستم خبره برای مسئله برنامه‌ریزی گیت
Cheng 1997, 1998	استفاده از مدل‌های ریاضی و سیستم خبره در مسائل برنامه‌ریزی گیت
Haghani & Cheng 1998	استفاده از تخصیص چند دوره‌ای و ارائه روش ابتکاری برای حل مسئله برنامه ریزی گیت
Gu & Chung 1999	استفاده از مدلسازی ریاضی غیرخطی برای مسئله تخصیص مجدد گیت و ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله
Bolat 2001	ایجاد مدلسازی ریاضی غیر خطی برای مسئله برنامه‌ریزی گیت و ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای این مسئله
Borazjani 2001	ارائه یک مدل برای برای مسئله تخصیص مجدد گیت و استفاده از الگوریتم SA برای حل این مسئله
Huo & Yan 2001	استفاده از (Buffer Time) در مسئله برنامه‌ریزی گیت و ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح و و بکار گیری روش وزن‌دهی و تکنیک شاخه و کران برای حل این مسئله
Baily & Xu 2001	استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع برای حل مسئله برنامه‌ریزی گیت
Hassan abadi 2002	استفاده از مدل تخصیص استوار در مدلسازی مسئله برنامه‌ریزی گیت و ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله

نویسندگان	نقاط گسترش
Yan et al 2002	استفاده از مدل سازی ریاضی و شبیه سازی و در نظر گرفتن Buffer Time در مدل و یکارگیری از روش تخصیص حریصانه و طراحی یک سیستم شبیه سازی برای حل مسئله
Ding et al 2004	استفاده از الگوریتم های حریصانه و الگوریتم جستجوی فرا ابتکاری ممنوع برای حل مسئله برنامه ریزی گیت
Ding et al 2005	استفاده از الگوریتم های حریصانه، SA و Hybrid SA و الگوریتم جستجوی ممنوع و مقایسه جواب های حاصل از الگوریتم ها در این مسئله
Lim et al 2005	ارائه یک مدل ریاضی با استفاده از Time Window و حل آن با الگوریتم های جستجوی ممنوع و ژنتیک و ممتیک
Wang & Lim 2005	استفاده از مدل سازی ریاضی تخصیص استوار با استفاده از مدل برنامه ریزی تصادفی و حل آن توسط الگوریتم های جستجوی ممنوع و جستجوی فرا ابتکاری ممنوع
Yan & Tang 2007	مدلسازی مسئله برنامه ریزی گیت توسط شبکه جریان چند کالایی و ارائه مدلی برای حل مسئله تخصیص مجدد گیت و ارائه یک روش ابتکاری برای حل مدل های ارائه شده
Pintea et al 2008	حل مدل ریاضی ارائه شده برای مسئله تخصیص گیت با استفاده از الگوریتم هیبرید مورچگان و مقایسه آن با الگوریتم جستجوی ممنوع
Drex1 & Nikulin 2008	حل مدل ریاضی ارائه شده با الگوریتم PSA (Pareto Simulated Annealing)
Dorndorf et al 2008	ارائه یک مدل برنامه ریزی ریاضی تخصیص استوار گیت و تبدیل مدل غیر خطی به Clique Partitioning Problem و حل آن با استفاده از رویکرد ابتکاری الگوریتم Ejection Chain
Nikulin & Drex1 2009	ارائه یک مدل برنامه ریزی ریاضی مسئله تخصیص درجه دوم با تابع هدف چند معیاری و استفاده از رویکرد فازی الگوریتم PSA (Pareto Simulated Annealing)
Das 2009	استفاده از محدودیت های کاربردی در مدل برنامه ریزی گیت

۲-۶ دسته بندی مقالات بررسی شده در زمینه برنامه ریزی گیت

از آنجا که می توان مشخصات یک تحقیق را در زمینه های نوع مسئله، تابع هدف، داده های استفاده شده و روش حل آن دسته بندی نمود، به منظور جمع بندی مطالب خوانده شده و ساده سازی روند مقایسه بین تحقیقات انجام شده و یافتن زمینه تحقیقات آتی و کمک به تعریف مسئله ای جدید، در هر یک از این زمینه ها مجموع مشخصات ارائه شده در مقالات بررسی شده است که در جدول (۲-۲) نشان داده می شود. همچنین شکل (۱-۲) یک طبقه بندی از مسئله برنامه ریزی گیت به همراه رویکرد انتخابی جهت حل آن را نشان می دهد.



شکل (۱-۲): طبقه بندی مسئله برنامه ریزی گیت و رویکرد انتخابی حل

جدول (۲-۲): دسته‌بندی مقالات مسئله برنامه‌ریزی گیت

سال	نویسندگان	نوع مدل	تابع هدف	Over- Constrained	داده‌ها	روش حل
۱۹۸۴	Babic et al	برنامه‌ریزی عدد صحیح (صفر - یک)	حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافر در حال ورود و در حال خروج	—	داده‌های آزمایشی	روش شاخه و کران
۱۹۸۵	Mamgoubi & Mathaisel	مدل برنامه‌ریزی خطی	حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافر در حال ورود، در حال خروج و مسافران انتقالی	—	داده‌های آزمایشی	روش ابتکاری
۱۹۸۶	Hassounah & Cheng	مدل شبیه‌سازی	شبیه‌سازی ورود خروج پروازها، بدست آوردن ماکزیمم تعداد گیت‌ها در یک فرودگاه جدید	—	داده‌های آزمایشی	ارائه برنامه میکرو کامپیوتری
۱۹۹۰	Gosling	سیستم خبره	پوشش سه نوع از مسائل در تخصیص گیت: (۱) تاخیر در ورود پروازها (۲) تاخیر در خروج پروازها و (۳) تغییر تجهیزات و امکانات فرودگاه	—	فرودگاه دنور	طراحی سیستم خبره
۱۹۹۱	Brazil & Swigger	سیستم خبره	بر اساس جدول پرواز، جدول تخصیص ماهانه را بوجود آورد و در صورت نیاز تغییرات بعدی را نیز بروی آن اعمال نماید و تخصیص مجدد در کمتر از ۳۰ ثانیه انجام دهد.	—	فرودگاه جان اف کندی	طراحی سیستم خبره GATES
۱۹۹۱	Srihari & Muthukrishnanl	سیستم خبره	مقایسه راه حل‌های ارائه شده و طراحی سیستمی جدید با متدلوژی کلی	—	داده‌های آزمایشی	طراحی سیستم خبره
۱۹۹۷ و ۱۹۹۸	Cheng	تلفیق مدل‌های ریاضی با سیستم خبره	بدست آوردن گیت‌های کاندیدی به کمک روش‌های ریاضی و انتخاب گیت‌های برتر با کمک دانش سیستم خبره	—	داده‌های آزمایشی	طراحی سیستم خبره
۱۹۹۸	Haghani & Cheng	مدل برنامه‌ریزی ریاضی (تخصیص چند دوره‌ای)	حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافران (شامل مسافران ورودی، در حال عزیمت و انتقالی)	—	داده‌های آزمایشی	روش ابتکاری
۱۹۹۹	Gu & Chung	مدلسازی ریاضی غیرخطی تخصیص مجدد	تابع هدف مرکب حداقل کردن ماکزیمم تاخیر	—	داده‌های آزمایشی	الگوریتم ژنتیک

سال	نویسندگان	نوع مدل	تابع هدف	Over- Constrained	داده‌ها	روش حل
۱۹۹۹	Bolat	مدل برنامه‌ریزی ریاضی	حداقل کردن زمان بلا استفاده گیت‌ها (بصورت یکنواخت)	—	داده‌های آزمایشی	روش شاخه و کران
۲۰۰۱	Bolat	برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی	حداقل کردن مجموع واریانس زمان‌های بیکاری گیت‌ها	—	داده‌های آزمایشی	الگوریتم ژنتیک
۲۰۰۱	Borazjani	مدلسازی ریاضی خطی تخصیص مجدد	حداقل کردن تاخیر اضافی ناشی از بروز تاخیر در ورود پروازها بعلاوه مدت زمان خالی ماندن گیت‌ها	—	داده‌های آزمایشی	الگوریتم فوق ابتکاری SA
۲۰۰۱	Huo & Yan	مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح (صفر – یک) استفاده از (buffer time)	چند هدفی حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافر و حداقل کردن زمان انتظار	—	فرودگاه بین المللی تایوان	روش وزن‌دهی (رویکرد تولید ستون) ، روش سیمپلکس و تکنیک شاخه و کران
۲۰۰۱	Baily & Xu	مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی درجه دوم، عدد صحیح (صفر- یک) و بازنویسی بفرم خطی عدد صحیح بازنویسی	حداقل کردن مجموع زمان‌های ارتباط که مسافران برای رسیدن به پروازهای اتصالی پیاده روی می کنند.	—	داده‌های آزمایشی	روش سیمپلکس و الگوریتم TS
۲۰۰۲	Hassan abadi	مدل برنامه‌ریزی ریاضی مدل تخصیص استوار	حداقل کردن زمان تاخیر ورود پروازها به گیت‌ها و حداقل کردن زمان بیکاری گیت‌ها	—	داده‌های آزمایشی	الگوریتم ژنتیک
۲۰۰۲	Yan et al	تلفیق مدل‌های ریاضی با مدل‌های شبیه‌سازی استفاده از (buffer time)	حداقل کردن مجموع مسافت پیاده‌روی مسافر	—	فرودگاه بین المللی تایوان CKS	تخصیص حریصانه و طراحی سیستم شبیه سازی
۲۰۰۴	Ding et al	مدلسازی ریاضی مسئله تخصیص درجه دوم ♣	تابع هدف چند هدفی حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت و حداقل کردن مجموع مسافت های پیاده‌روی یا زمان های اتصال	*	داده‌های آزمایشی	الگوریتم حریصانه، الگوریتم جستجوی فوق ابتکاری ممنوع
۲۰۰۵	Ding et al	مدلسازی ریاضی مسئله تخصیص درجه دوم ♣	تابع هدف چند هدفی حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت و حداقل کردن مجموع مسافت‌های پیاده‌روی یا زمان‌های اتصال	*	داده‌های آزمایشی	الگوریتم حریصانه، الگوریتم SA الگوریتم هیبرید SA، الگوریتم جستجوی ممنوع

سال	نویسندگان	نوع مدل	تابع هدف	Over- Constrained	داده‌ها	روش حل
۲۰۰۵	Lim et al	مدلسازی ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح (صفر-یک) و استفاده از (time window)	تابع هدف چند هدفی حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافران و حداقل کردن مجموع جریمه‌های تاخیر (زمان مسافرت)	—	داده‌های آزمایشی	الگوریتم جستجوی ممنوع Memetic الگوریتم ژنتیک
۲۰۰۵	Wang & Lim	مدلسازی ریاضی تخصیص استوار با استفاده از مدل برنامه‌ریزی تصادفی-تبدیل به مدل برنامه‌ریزی باینری صفر و یک	حداقل کردن تعداد تخصیص مجدد گیت به هواپیماها	—	داده‌های فرودگاه بین‌المللی هنگ کنگ	ترکیبی از روش جستجوی ممنوع با روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوع
۲۰۰۷	Yan & Tang	مدلسازی برنامه‌ریزی خطی مسئله شبکه جریان چند کالایی عدد صحیح (صفر-یک) استفاده از (buffer time)	حداقل کردن مجموع زمان انتظار مسافر (جریمه برای تمامی زمینه‌های در نظر گرفته شده)	—	داده‌های آزمایشی	رویکرد ابتکاری
۲۰۰۷	Li	مدلسازی ریاضی با محدودیت‌های غیرخطی	حداقل کردن تعداد تداخل گیت	—	فرودگاه بین‌المللی هوستون جورج بوش	نرم افزارهای بهینه سازی Opl-Scrip استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی محدود و ادغام
۲۰۰۸	Pintea et al	مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله تخصیص درجه دوم ♣	حداقل کردن مجموع زمان‌های اتصال مسافر و حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت	*	داده‌های آزمایشی	الگوریتم هیبرید مورچگان (HAS) و مقایسه آن با الگوریتم جستجوی ممنوع
۲۰۰۸	Drexl & Nikulin	مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی تابع چند هدفی، مسئله تخصیص درجه دوم مدل اولیه ارائه شده توسط Ding و همکاران (2004a,2004b)	تابع هدف چند هدفی حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت و مجموع مسافت پیاده روی مسافر یا زمان‌های اتصال مسافر بعلاوه حداکثر کردن مجموع امتیاز اولویت تخصیص گیت	*	داده‌های آزمایشی	الگوریتم PSA (Pareto Simulated Annealing)
۲۰۰۸	Dorndorf et al	مدل برنامه‌ریزی ریاضی مدل تخصیص استوار تابع هدف چند هدفی (که در زمانبندی نتایج در نظر گرفته شده است) و تبدیل آن به Clique Partitioning Problem	تابع هدف چند هدفی حداکثر کردن مجموع امتیاز اولویت تخصیص، حداقل کردن تعداد پروازهای بدون گیت در مدت زمان‌های ازدحام، حداقل کردن تعداد یدک کشی بعلاوه حداکثر کردن پایداری نتایج زمانبندی با در نظر گرفتن تاخیرهای پرواز	—	داده‌های دنیای واقعی	رویکرد ابتکاری بر اساس الگوریتم Ejection Chain

سال	نویسندگان	نوع مدل	تابع هدف	Over- Constrained	داده‌ها	روش حل
۲۰۰۹	Nikulin & Drexl	مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله تخصیص درجه دوم و تابع هدف چند معیاری	تابع هدف چند هدفی، حداکثر مجموع اولویت‌های گیت پرواز، حداقل کردن تعداد فعالیت‌های یدک کشی و حداقل کردن انحراف مطلق تخصیص جدید گیت از برنامه‌های مرجع	*	داده‌های آزمایشی فازی (اعداد فازی)	رویکرد فازی الگوریتم PSA (Pareto Simulated Annealing Fuzzy)
۲۰۰۹	Das	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح (صفر - یک)	حداقل کردن مجموع مسافت پیاده‌روی مسافران - محدودیت‌ها ۱- محدودیت تخصیص گیت به پرواز های ثابت یا ممنوع ۲- محدودیت گیت مجاور ۳- محدودیت تداخل زمان در عملیات خروج درگیت مجاور	—	داده‌های دنیای واقعی	با استفاده از نرم افزارهای بهینه‌ساز

۷-۲ جمع بندی

بررسی و مرور کلی تحقیقات انجام شده در زمینه برنامه ریزی گیت ها، نشان می دهد که با مطرح شدن مسئله تخصیص گیت به عنوان یکی از مسائل حائز اهمیت در فرودگاه ها، استفاده از مدل های ساده برنامه ریزی ریاضی از اولین اقداماتی است که در زمینه حل این مسئله صورت گرفته است. اما وجود برخی اشکالات در این مدل ها (از جمله عدم امکان مدل کردن برخی از رویدادها، عدم امکان دخالت تجربه متخصصین در آن ها، وجود فاصله زیاد بین مدل های ریاضی و واقعیت و غیره) سبب شد در سال های بعد، متخصصین این حوزه برای حل مسئله، سیستم های خبره را نیز به کمک گیرند و همانگونه که در بخش های قبل ملاحظه شد در این زمینه کارهای متعددی نیز صورت گرفت.

اگرچه سیستم های خبره نسبت به مدل های ریاضی اولیه از مزایای بیشتری برخوردار بودند، وجود برخی نقاط ضعف در این سیستم ها، مانع استفاده فراگیر از آن ها در مسئله تخصیص گیت شد. از آن جمله می توان به مشکلات گردآوری اطلاعات از افراد با تجربه و متخصص، عدم اطمینان از تولید جداول تخصیص بهینه، مشکلات نگهداری و بروز نگهداشتن آن ها اشاره کرد.

بنابراین برخی از صاحب نظران با روی آوردن مجدد به مدل های ریاضی، سعی در بهبود آن ها با حل GAP کردند. ابداع روش های ابتکاری برای کاهش زمان حل مدل های ریاضی، ساختن مدل هایی با تابع هدف های چندگانه و در نتیجه واقعی تر شدن آن ها، ادغام مدل های ریاضی با سیستم های خبره و مدل های شبیه سازی، استفاده از روش های فرا ابتکاری برای حل مدل های ریاضی و غیره از جمله اقداماتی است که در زمینه بهبود مدل های برنامه ریزی صورت گرفته است [۱۰ و ۱۳-۱۴ و ۳۳ و ۳۷].

مسئله تخصیص مجدد گیت ها نیز که مسئله ای قدیمی در فرودگاه ها بود اما به تازگی به عنوان مسئله ای علمی به آن توجه شده است، محققین را برای یافتن راه حل های مناسب به تعمق واداشته

است. همان طور که قبلا اشاره کردیم این مسئله زمانی مطرح می‌شود که پس از تنظیم جدول تخصیص و به هنگام استفاده از آن، به هر دلیلی مجبور به اعمال تغییر و جابجایی پروازها باشیم. از جمله از این دلایل می‌توان تاخیر در ورود و خروج پروازها، خراب شدن ناگهانی برخی از تجهیزات، بدی شرایط آب و هوایی و غیره اشاره کرد که منجر به بروز اختلال در جدول تخصیص گیت می‌شود که در این صورت لازم است اطلاعات جدول مذکور، مطابق با وضعیت جدید به روز شده و مبنای کار روزانه قرار گیرد.

مسئله‌ی نسبتا جدید دیگری که امروزه در فرودگاه‌ها به آن توجه شده مسئله تخصیص استوار گیت می‌باشد که متأسفانه در این زمینه بنا به دلایل گوناگونی تحقیقاتی کافی صورت نگرفته است. نبود تعریف عمومی واحد و بالاتر رفتن هزینه‌های زمانبندی از دلایل عمده کمبود تحقیقات در این مبحث می‌باشد. اما عمده‌ترین فایده آن کاهش در تاخیر و لغو پروازها است، اما نبود استواری در برنامه‌ریزی گیت، فرودگاه‌ها و شرکت‌های هوایی را مستلزم هزینه بالاتری خواهد کرد.

حال پس از بررسی و مروری کلی بر کارهای انجام شده در این رابطه و شناسایی ضعف‌ها و کمبودهای مدل‌های موجود در فصل سوم مدل‌های ریاضی مرتبط با مسئله برنامه‌ریزی گیت ارائه خواهد شد.

فصل سوم

توصیف و معرفی مسئله برنامه‌ریزی گیت

۳-۱ مقدمه

امروزه استفاده کارآمد از ظرفیت گیت‌های فرودگاه یکی از موضوعات مهمی است که مسئولین خطوط هوایی با آن روبرو هستند. از سوی دیگر تخصیص کارآمد گیت‌های در دسترس به پروازهای وارد شده به فرودگاه یکی از عوامل کلیدی و موثر در کارایی جداول پرواز، رضایت مسافران و استفاده بهینه از ظرفیت گیت‌ها محسوب می‌شود. به همین علت موضوع «نحوه استفاده از گیت‌ها و برنامه‌ریزی صحیح برای آن‌ها» اهمیتی مضاعف پیدا کرده است چرا که گیت‌ها جزء منابع کمیاب و محدود فرودگاه‌ها می‌باشند و لازم است که پروازهای جدول پرواز با کمک همین تعداد محدود سرویس‌دهی شوند.

اما همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، استفاده بهینه از ظرفیت گیت‌ها جز در سایه برنامه‌ریزی دقیق و از پیش تعیین شده میسر نخواهد بود و اگر تخصیص آن‌ها به پروازها بر اساس برنامه منظمی صورت نگیرد، باعث بروز تلاقی‌های زیاد و تاخیرهای بی‌مورد خواهد شد که بالطبع تبعات اقتصادی و اجتماعی بی‌شماری را در پی خواهد داشت. از این رو در سال‌های اخیر جداول تخصیص گیت‌ها به عنوان ابزاری موثر در فرودگاه‌ها ایجاد و بکار گرفته شد.

پیش از این برای تهیه جداول تخصیص بطور مرسوم از افراد خبره و با تجربه استفاده می‌شد. این افراد با توجه به تجربیات قبلی و احاطه بر جداول پرواز و فعالیت‌های فرودگاهی برای تخصیص گیت‌ها از فاکتورهای محیطی بهره جسته و تصمیم‌گیری‌های محلی را به اجرا می‌گذارند. اما هر چند که این تصمیم‌گیری‌ها در محدوده مورد نظر مناسب بود ولی با در نظر گرفتن کل مجموعه، مشکل تلاقی‌ها و تاخیرهای ناخواسته همچنان پا برجا باقی مانده بود. از این رو نگرشی همه جانبه لازم بود تا با کلیه عوامل موثر بر تخصیص گیت‌ها بتوان مجموع تاخیر پروازها، مسافت پیاده‌روی مسافران در پایانه، مجموع جابجایی وسایل مسافران در محوطه، شلوغی محوطه فرودگاه، هزینه‌های تجاری

فرودگاهی و غیره را حداقل کرد.

اما همان طور که در فصل قبل اشاره شد، برای رویارویی با این تاخیرها و اختلالات احتمالی در بحث برنامه‌ریزی گیت دو رویکرد وجود داشت: رویکرد اول، بهینه‌سازی یا تخصیص مجدد پس از رویدادها بود و رویکرد دوم، مدیریت این وقایع در مرحله برنامه‌ریزی یعنی قبل از وقوع این اختلالات یا رویکرد تخصیص استوار بود. با توجه به اینکه در تخصیص استوار مقادیر پارامترهای ورودی مدل در یک بازه‌ی معین تعریف می‌شوند تا در صورتی که این مدل با این اختلالات در این بازه مواجه شود مسئله نیاز به تخصیص مجدد نداشته باشد، و مدل جوابی نزدیک به جواب بهینه را ارائه می‌داد. اما از آنجایی که یکی از این پارامترهای ورودی، گیت‌های هر فرودگاه می‌باشد و تعداد گیت‌ها در ترمینال‌های اکثر فرودگاه‌ها محدود بوده و امکان فراهم نمودن این چنین منابع مستلزم هزینه‌های بسیار بالا علاوه بر هزینه‌هایی که قبلاً در این زمینه ذکر شد، می‌باشد، در صورتی که ممکن است تنها در شرایط خاصی نیاز به استفاده از این گیت‌ها باشد، در نتیجه استفاده از این رویکرد در این مطالعه مناسب نخواهد بود. بنابراین در این مطالعه از تخصیص مجدد گیت‌ها برای حل این مشکل استفاده خواهد شد.

در این فصل ابتدا مسئله تخصیص گیت تعریف خواهد شد و سپس برای بدست آوردن جدول تخصیص اولیه برای مسئله تخصیص مجدد مدلی متناسب با آن ارائه خواهد شد و در ادامه، مسئله تخصیص مجدد تعریف خواهد شد و سپس مدلی برای رویارویی با مشکلات مذکور پیشنهاد می‌شود.

۲-۳ معرفی توابع هدف در مسئله برنامه‌ریزی گیت

در تمامی مطالعات انجام گرفته در زمینه برنامه‌ریزی گیت، برای ارزیابی مدل تخصیص نهایی از

اهداف متفاوتی استفاده شده است، که تمامی این اهداف را می‌توان به دو دسته بزرگ طبقه‌بندی نمود:

۱- اهداف مربوط به مسافر^۱

این اهداف برای راحتی و آسایش مسافران در نظر گرفته می‌شود. از جمله این اهداف می‌توان به حداقل کردن مسافت پیاده‌روی مسافران در پایانه، حداقل کردن میزان تاخیر پروازها و غیره اشاره نمود.

۲- اهداف مربوط به فرودگاه^۲

این اهداف برای افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها در فرودگاه‌ها در نظر گرفته می‌شوند. از جمله این اهداف می‌توان به حداکثر کردن کارایی گیت‌ها و حداقل کردن واریانس زمان بیکاری و بلااستفاده ماندن گیت‌ها، حداقل کردن تعداد عملیات یدک‌کشی، حداکثر کردن انعطاف جدول نهایی در مقابل تغییرات جزئی، جلوگیری از ازدحام جمعیت در یک گیت خاص و غیره اشاره نمود [۱].

۳-۳ معرفی محدودیت‌ها در مسئله برنامه‌ریزی گیت

برنامه‌ریزان و متخصصان به هنگام تنظیم جدول تخصیص گیت با محدودیت‌هایی (اعم از محدودیت‌های فیزیکی، مدیریتی، امنیتی و غیره) روبرو هستند که لازم است برای حل مسئله برنامه‌ریزی گیت در قالب مدل‌های ریاضی، آن‌ها را مد نظر قرار داده و مدل‌بندی کرد. در ادامه این محدودیت‌ها شرح داده می‌شود.

1 Passenger - Oriented

2 Airport - Oriented

۱- محدودیت تخصیص گیت

از اولین محدودیت‌های موجود در مسئله تخصیص می‌باشد. هر پرواز دقیقاً به یک گیت تخصیص می‌یابد. اما یک گیت می‌تواند در زمان‌های مختلف به پروازهای متفاوتی اختصاص یابد.

۲- محدودیت سریز^۱

یک گیت در زمان یکسان تنها توانایی سرویس‌دهی به یک هواپیما را دارد، بنابراین تا زمانی که یک پرواز به یک گیت تخصیص داده شود و گیت را ترک نکرده باشد، هیچ پروازی نمی‌تواند به آن گیت تخصیص یابد. به عنوان مثال فرض کنید اگر پروازی زمان ورودش به گیت در ساعت ۱۰:۳۰ باشد و زمان خروجش ۱۱:۰۰ باشد و پرواز دوم زمان ورود و خروجش به ترتیب ۱۰:۴۵ و ۱۱:۲۰ باشد آنگاه این دو پرواز باهم تداخل دارند و به گیت یکسانی در این بازه زمانی نمی‌توانند تخصیص داده شوند. در نتیجه وجود این محدودیت مانع تداخل پروازها باهم در یک گیت می‌شود.

۳- محدودیت پروازهای ثابت^۲

گاهی اوقات بعضی از پروازها به دلیل برخی از محدودیت‌های فنی خاص باید به گیت‌های ویژه‌ای اختصاص داده شوند. این مسئله ممکن است به علت انحصاری بودن بعضی از گیت‌ها به برخی از شرکت‌های هوایی بوجود آید.

۴- محدودیت پروازهای ممنوع^۳

همان طور که در محدودیت قبل توضیح داده شد بعضی از پروازها به علت شرایط گوناگون

1 Overlap

2 Fixing of flights

3 Prohibiting of flights

مجبور می‌باشند که به گیت‌های ویژه‌ای تخصیص داده شوند، اما گاهی اوقات بعضی از پروازها از تخصیص به برخی از گیت‌ها منع می‌شوند. این محدودیت ممکن است به علت برخی از الزامات تکنیکی تعدادی از پروازهای خاص بوجود آید و تحت عنوان محدودیت پروازهای ممنوع معرفی می‌شود.

۵- محدودیت استفاده از تجهیزات در گیت مجاور

در برخی از موارد سرویس‌دهی به یک پرواز در یک گیت نیازمند یکسری تجهیزات می‌باشد که این تجهیزات ممکن است برای بعضی از خطوط هوایی مختلف، متفاوت باشد. برای مثال فرض می‌شود گیت B1 و B2، دو گیت مجاور باشند، در این هنگام پرواز اول با زمان ورود ۱۲:۲۰ و زمان خروج ۱۳:۲۰ نیازمند به تجهیزاتی خاص می‌باشد و به گیت B1 تخصیص داده می‌شود. حال اگر پرواز دیگر در همان بازه زمانی ۱۲:۳۰ زمان ورود و ۱۳:۲۰ زمان خروج، گیت B2 را اشغال نماید و به همان تجهیز نیاز داشته باشد آن گاه این عمل غیر ممکن می‌باشد زیرا در این بازه زمانی امکان استفاده از تخصیص مذکور توسط پرواز دوم امکان‌پذیر نیست در نتیجه وجود این محدودیت مانع تخصیص پرواز دوم به گیت مجاور B2 می‌شود.

۶- محدودیت تداخل زمان در عملیات خروج^۱

محدودیت تداخل زمان در عملیات خروج از جمله محدودیت‌هایی است که برای گیت‌های مجاور در نظر گرفته می‌شود. هواپیمای مستقر در محل گیت به منظور عزیمت، نیازمند دریافت خدمات خاصی برای خروج از گیت می‌باشد، این خدمات توسط نیروی انسانی ویژه و وسایل نقلیه بخصوصی انجام می‌پذیرد، که عملیات خروج نام دارد. به عنوان مثال فرض کنید گیت B2, B1 دو

¹ Push out

گیت مجاور هستند و پرواز اول و دوم به ترتیب به گیت های B1 و B2 تخصیص داده شده‌اند اگر پرواز اول در ساعت ۱۳:۲۰ بخواهد گیت خود را ترک نماید و مدت زمان لازم برای عملیات خروج آن ۱۵ دقیقه باشد آنگاه پرواز دوم تا ساعت ۱۳:۳۵ نمی‌تواند گیت خود را ترک نماید زیرا در این بازه زمانی تجهیزات و نیروی انسانی مورد نظر تحت اشغال پرواز اول می‌باشد.

۷- محدودیت بزرگی بدنه هواپیما در گیت مجاور

همانطور که در مفروضات مسئله ذکر شد تخصیص یک گیت به یک پرواز خاص می‌تواند تخصیص گیت‌های مجاور را نیز تحت تاثیر قرار دهد به عنوان مثال ممکن است توقف دو هواپیمای بدنه بزرگ در دو گیت مجاور امکان‌پذیر نباشد و یا اینکه زاویه چرخش یکی از هواپیماها به گونه‌ای باشد که امکان تخصیص نوع دیگری از هواپیماها در گیت مجاور وجود نداشته باشد.

۳-۴ مدل‌سازی مسئله برنامه‌ریزی گیت

هدف از مدل‌سازی به تصویر درآوردن مسائل و مشکلات دنیای واقعی است بطوری که بتوان با استفاده از یک مدل مجازی از مسئله واقعی تاثیر استراتژی و تصمیمات مختلف را بر روی مسئله آزمایش کرد بدون اینکه هیچ گونه هزینه‌ای در دنیای خارج متحمل شد. در رابطه با مسئله تخصیص گیت‌ها، همانطور که در فصل قبل توضیح داده شده، تاکنون از رویکردهای مختلفی برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل مسئله استفاده شده است. یکی از بهترین روش‌ها برای بدست آوردن جواب بهینه برای مسائل، استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی است که در این تحقیق برای به تصویر کشیدن مسئله برنامه‌ریزی گیت و حل آن از این روش استفاده شده است.

۳-۵ معرفی مفروضات

به منظور تدوین جدول تخصیص گیت، فرودگاهی را در نظر می‌گیریم که از گیت‌های آن برای سرویس‌دهی به پروازهای مسافربر استفاده می‌شود و تعداد پروازها و گیت‌ها در آنجا معین است در صورتی که نوع و مشخصات گیت‌ها با یکدیگر متفاوت باشند، می‌توان از یک ماتریس محدودیت (ماتریسی از نوع صفر، یک و دو) استفاده کرد. یعنی ممکن است گیت یک پرواز از قبل تعیین شده باشد و ممکن است استفاده از یک گیت برای یک پرواز مجاز نباشد. همچنین ترتیب تخصیص گیت‌ها در جدول تخصیص به ترتیب زمان ورود پروازهاست و هیچ گونه اولویتی بین پروازها در نظر گرفته نمی‌شود.

اساس کار کنترل کننده‌های زمینی در تخصیص گیت‌ها به پروازها وارد شده، جدول تخصیص است، ترتیب تخصیص گیت‌ها در جدول تخصیص به ترتیب زمان ورود پروازهاست و هیچگونه اولویتی بین پروازها در نظر گرفته نمی‌شود. پروازهای تعیین شده در جدول پرواز می‌بایست در موعد مقرر به فرودگاه وارد شوند اما در صورتی که زودتر از زمان تعیین شده به فرودگاه برسند، اجازه فرود نداشته و مجبور به تاخیر می‌باشند.

در شرایط واقعی، گاهی اوقات تخصیص یک گیت به یک پرواز خاص می‌تواند تخصیص گیت‌های مجاور^۱ را نیز تحت تاثیر قرار دهد. به عنوان مثال ممکن است، توقف دو هواپیمای بدنه بزرگ در دو گیت مجاور، امکان‌پذیر نباشد و یا اینکه زاویه چرخش یکی از هواپیماها به گونه‌ای باشد که امکان تخصیص نوع دیگری از هواپیماها در گیت مجاور وجود نداشته باشد. در این شرایط دو پرواز را به بطور همزمان نمی‌توان به گیت‌های مجاور تخصیص داد. بعلاوه در برخی از فرودگاه‌ها، مسیر حرکت هواپیماها از باند فرودگاه به گیت‌ها به گونه‌ای است که تخصیص ورودی‌ها

¹ Adjacent gate

می‌تواند حرکت در آن‌ها را تحت تاثیر قرار دهد اما چون این مورد به ندرت اتفاق می‌افتد، از این رو می‌توان از آن صرف نظر نمود.

هر پرواز پس از ورود به فرودگاه، مطابق با جدول تخصیص در گیت مورد نظر متوقف شده و تا زمان ترک فرودگاه در همان گیت باقی می‌ماند. به عبارتی پروازهای تخصیص داده شده پیش از زمان مورد نیاز برای تخلیه و یا دریافت سرویس مورد نیاز نمی‌توانند گیت خود را ترک نمایند.

مدت زمان اشغال یک گیت توسط یک پرواز به نوع هواپیما، نوع گیت، تعداد مسافران، میزان بار، نوع سرویس‌های مورد نیاز هواپیما و سایر مسائل مرتبط بستگی دارد و فرض می‌شود که میزان آن از قبل معلوم بوده و در جدول پرواز منعکس شده‌اند. (با کمک زمان ورود و خروج هر پرواز، می‌توان به میزان این زمان پی برد). گیت‌های اشغال شده پس از ترک پرواز، بلافاصله قابل استفاده بوده و بین دو پرواز متوالی، بافری در نظر گرفته نمی‌شود، چرا که فرض می‌شود، مدت زمان توقف پرواز قبلی، شامل زمان بافر نیز بوده است.

جدول تخصیص در یک بازه مشخص (T) در نظر گرفته می‌شود و فرض می‌شود در ابتدای دوره برنامه‌ریزی مشخص باشد که چه گیت‌هایی اشغال است و گیت‌هایی که اشغال هستند در چه زمانی در دسترس قرار خواهند گرفت. مفروضات فوق بطور خلاصه در جدول (۱-۳) نشان داده شده است.

جدول (۱-۳): مفروضات مسئله

شماره	مفروضات
۱	جدول پرواز روزانه (زمان ورود و خروج)، تعداد پروازها، تعداد گیت‌ها، تعداد مسافران هر پرواز، نوع هواپیما و مدت زمان اشغال گیت معلوم فرض می‌شود.
۲	جدول پروازها به صورت دوره ای (هفتگی یا ماهانه) تنظیم می‌شود.
۳	ترتیب تخصیص گیت‌ها در جدول تخصیص به ترتیب زمان ورود پروازهاست و تعداد پروازها و گیت در آن معین است.
۴	جدول تخصیص در یک بازه مشخص T تنظیم می‌شود.
۵	مسیر حرکت هواپیماها از باند فرودگاه به گیت‌ها در نحوه تخصیص آن‌ها به گیت‌ها تاثیری ندارد.
۶	گیت‌های اشغال شده پس از ترک پرواز، بلافاصله قابل استفاده بوده و بین دو پرواز متوالی، بافری در نظر گرفته نمی‌شود، چرا که فرض می‌شود مدت زمان بروی زمین نشستن پرواز قبلی، شامل زمان بافر نیز بوده است.
۷	محدودیت‌های تخصیص گیت، محدودیت سربز، محدودیت پروازهای ثابت، محدودیت پروازهای ممنوع، محدودیت استفاده از تجهیزات در گیت مجاور، محدودیت تداخل زمان در عملیات خروج و محدودیت بزرگی بدنه هواپیما در گیت مجاور از جمله محدودیت‌های پیش بینی شده می‌باشند.

۳-۶ تعریف مسئله

۳-۶-۱ مسئله تخصیص گیت GAP

موضوع مورد نظر را می‌توان در قالب تهیه یک جدول زمانبندی برای یک دوره زمانی مشخص

در یک فرودگاه مطرح کرد که این جدول اساس کار کنترل‌کننده‌های زمینی برای تخصیص گیت‌های

در دسترس به پروازهای وارده به فرودگاه است و شامل زمان ورود و خروج هر یک از پروازها به

گیت‌های تخصیص داده شده است.

فرودگاهی را در نظر بگیرید که دارای تعداد مشخصی گیت است و جدول پرواز آن به صورت دوره‌ای (مثلاً هفتگی یا ماهانه) تنظیم می‌شود. در یک بازه زمانی مشخص که معمولاً شبانه روز در نظر گرفته می‌شود می‌بایست پروازها مطابق با جدول پرواز و در زمان مقرر از مبداهای مشخص به فرودگاه وارد شده، در گیت مناسب متوقف شوند و در صورت نیاز پس از تخلیه مجدداً بارگیری و به سمت مقصد مورد نظر حرکت نمایند. بنابراین مسئولان فرودگاهی به خصوص کنترل‌کننده‌های زمینی می‌بایست در آن دوره زمانی مشخص به تعداد معینی از پروازها سرویس‌دهی نمایند.

در این میان محدودیت‌های موجود در فرودگاه، مانع تخصیص پروازها به هر نوع گیت در دسترس می‌شود. به عنوان مثال از نظر فیزیکی تخصیص همزمان دو پرواز به یک گیت امکان‌پذیر نیست و پرواز بعدی باید پس از خروج پرواز قبلی به گیت وارد شود، یا اینکه نوع، حجم، وزن و زاویه چرخش هواپیما، مسائل امنیتی پروازها، مسائل گمرکی و دولتی فرودگاه، دیدگاه‌های مدیریتی و محدودیت‌هایی از این قبیل مانع تخصیص پروازها به هر نوع گیت در دسترس می‌شود. ضمناً زمان ورود و خروج پروازها به گیت تخصیص داده شده باید به گونه‌ای باشد که اولاً برای پرواز وارد شده به فرودگاه و یا در حال عزیمت، حداقل تاخیر پیش‌آید و ثانیاً گیت مورد استفاده حداکثر بهره‌وری و کارائی را داشته باشد. بنابراین مسئله، یافتن گیت مناسب برای هر پرواز است به صورتی که اهداف فوق برآورده شده و کلیه پروازهای جدول نیز پوشش داده شود. موارد و نکات ذکر شده همگی در زمان تخصیص گیت‌ها اتفاق می‌افتد. در این قسمت، مدل ریاضی طراحی شده برای مسئله تخصیص گیت شرح داده می‌شود.

• معرفی مدل GAP:

در برخی از فرودگاه‌ها بنابر محدودیت‌های موجود در برنامه پروازی شرکت‌های خطوط هوایی، هواپیماها ناچاراً بطور متوسط ۲ یا ۳ بار در روز به فرودگاه مادر رفت آمد می‌کنند. این برنامه پروازی باعث پیک پرواز در ساعات صبح، ظهر و شب از شبانه روز خواهد شد، و در نتیجه در زمان پیک ازدحام مسافران در گیت‌های پرواز بسیار بالا خواهد بود و بهتر است مدل با توجه به تعداد مسافران هر پرواز، پروازها را طوری به گیت‌ها اختصاص دهد که کمترین ازدحام را در گیت‌ها بوجود آورد. از آنجایی که در مطالعات صورت گرفته در مسئله برنامه‌ریزی گیت حداقل کردن ازدحام مسافران در گیت‌های پرواز در نظر گرفته نشده است، بنابراین سعی خواهد شد این تابع هدف مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد تا تاثیر آن را در نحوه تخصیص گیت‌ها به پروازها مشخص شود.

- تعریف اندیس‌های مدل:

i, j : اندیس پروازها	k, l : اندیس گیت‌ها
t : اندیس زمان	e : اندیس تجهیزات

- تعریف پارامترهای مدل:

N : مجموع تعداد پروازهای وارد شده و یا خروجی از فرودگاه در طول افق برنامه‌ریزی مطابق با جدول پرواز

M : تعداد گیت‌های فعال فرودگاه

EQ_{ie} : ماتریس نیازمندی پرواز i ام به تجهیزات e ام

Ep : تعداد تجهیزات

G_{kl} : ماتریس مجاورت گیت‌ها

C_{ik} : پرواز i ام باید به گیت k ام تخصیص داده شود. با توجه به مقادیر موجود در ماتریس محدودیت

تخصیص پرواز i ام به گیت k ام صورت می‌پذیرد.

۰ = تخصیص گیت k ام به پرواز i ام ممنوع می‌باشد.

۱ = تخصیص گیت k ام به پرواز i ام الزامی می‌باشد. (سایر مقادیر در این سطر باید صفر باشد)

۲ = تخصیص گیت k ام به پرواز i ام مجاز می‌باشد.

Wg_i : برابر یک می‌باشد اگر هواپیمای پرواز i ام دارای بدنه بزرگ باشد، صفر در غیر اینصورت.

P_{kl} : ماتریس زمان عملیات خروج برای دو گیت مجاور k و l

Pas_i : تعداد مسافران در پرواز i ام

A_i : زمان ورود پرواز i ام به فرودگاه طبق جدول پرواز

D_i : زمان خروج پرواز i ام از فرودگاه طبق جدول پرواز

U_{it} : برابر یک می‌باشد اگر زمان ورود پرواز i ام در بازه زمانی t ام باشد، صفر در غیر اینصورت.

- تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری:

y_{ik} : برابر یک می‌باشد اگر پرواز i ام به گیت k ام تخصیص داده شود، صفر در غیر اینصورت.

w_{ik} : مجموع تعداد مسافران در گیت k ام در بازه زمانی t ام

w_t : ماکزیمم تعداد مسافران در زمان پیک

- تابع هدف GAP:

در این مسئله برای نزدیک‌تر کردن مدل به واقعیت از تخصیص چند دوره‌ای استفاده شده و

تخصیص به گونه‌ای انجام می‌شود که ازدحام تعداد مسافران در گیت‌ها حداقل شود. بدین منظور تابع

هدف مسئله به صورت یک تابع هدف مرکب در نظر گرفته شده است :

$$\min \sum_{t=1}^T (\max(w_{ik})) \quad (3-1)$$

از آنجایی که تابع هدف مرکب مین ماکس^۱ منجر به غیر خطی شدن مسئله می‌شود، بنابراین برای ساده‌تر شدن، مسئله به فرم خطی برنامه ریاضی عدد صحیح آمیخته نوشته می‌شود.

$$\min \sum_{t=1}^T w_t \quad (3-2)$$

که :

$$w_t = \max(w_{tk}) \quad (3-3)$$

رابطه (۳-۲) حداقل کردن ازدحام تعداد مسافران در گیت‌ها را نشان می‌دهد که بعد از خطی‌سازی در مدل لحاظ شده است.

- بیان ریاضی مدل GAP:

$$\min Z_1 = \sum_{t=1}^T w_t \quad (3-2)$$

to : Subject

$$\sum_{k=1}^M y_{ik} = 1 \quad (3-4)$$

$$y_{ik} + y_{jk} \leq 1 \quad \text{if } A_i \leq A_j \leq D_i \quad \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-5)$$

$$y_{ik} = 1 \quad \text{if } C_{ik} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-6)$$

$$y_{ik} = 0 \quad \text{if } C_{ik} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-7)$$

$$G_{kl} * (EQ_{ie} * y_{ik} + EQ_{je} * y_{jl}) \leq 1 \quad (3-8)$$

$$\text{if } A_i \leq A_j \leq D_i \quad \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M$$

$$G_{kl} * (D_j * y_{jl} + D_i * y_{ik}) \geq P_{kl} \quad \text{if } A_i \leq A_j \leq D_i \quad \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-9)$$

$$G_{kl} * (Wg_i * y_{ik} + Wg_j * y_{jl}) \leq 1 \text{ if } A_i \leq A_j \leq D_i \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-10)$$

$$w_{tk} = \sum_{i=1}^N U_{it} * y_{ik} * Pas_i \quad \forall t = 1, \dots, T \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-11)$$

$$w_t \geq w_{tk} \quad \forall t = 1, \dots, T \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-12)$$

$$w_t, w_{tk} \geq 0 \quad \forall t = 1, \dots, T \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-13)$$

$$y_{ik} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, N \text{ or } 1 \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-14)$$

- توضیح محدودیت‌ها:

محدودیت (۳-۴): بیان می‌کند که هر پرواز دقیقاً به یک گیت تخصیص یابد.

محدودیت (۳-۵): بیان می‌کند که هر گیت در زمان یکسان تنها توانایی سرویس‌دهی به یک هواپیما را دارد.

محدودیت (۳-۶): بیان می‌کند که پرواز i باید به گیت ویژه‌ی k ام تخصیص یابد.

محدودیت (۳-۷): بیان می‌کند که پرواز i ام از تخصیص به گیت k ام منع می‌شود.

محدودیت (۳-۸): بیان می‌کند که دو پرواز نمی‌توانند بطور همزمان از تجهیزات یکسانی در دو گیت مجاور استفاده نمایند.

محدودیت (۳-۹): بیان می‌کند که دو پرواز در گیت‌های مجاور نمی‌توانند بطور همزمان از

گیت‌ها خارج شوند. (از تداخل زمان در عملیات خروج جلوگیری می‌کند).

محدودیت (۳-۱۰): بیان می‌کند که دو هواپیمای بدنه بزرگ نمی‌توانند به دو گیت مجاور تخصیص داده شود.

محدودیت (۳-۱۱): مجموع تعداد مسافران را در بازه زمانی t ام در گیت k ام محاسبه می‌کند.

محدودیت (۳-۱۲): حاصل از خطی کردن تابع هدف بدست آمده و ماکزیمم مجموع تعداد

مسافران در هر بازه زمانی بدست می‌آورد.

محدودیت (۳-۱۳): نامنفی بودن متغیرهای w_{ik} و w_i را نشان می‌دهد.

محدودیت (۳-۱۴): صفر و یک بودن متغیر y_{ik} را نشان می‌دهد.

۳-۶-۲ مسئله تخصیص مجدد گیت GRP

فرض می‌شود پس از تنظیم جدول زمانبندی و زمان به کارگیری آن، در اثر بروز رخدادی ناخواسته و غیر مترقبه، ورود پروازها با تاخیر صورت گرفته و اختلالی در این جدول به وجود آید. واضح است در این صورت برنامه‌ریزان می‌بایست در حداقل زمان جدول تخصیص اولیه را با کمک اطلاعاتی دریافتی اصلاح نمایند.

بنابراین با توجه به پارامترهایی مانند زمان شروع دوره تخصیص مجدد (که این زمان با توجه به زمان ورود اولین پرواز تاخیردار به دست می‌آید)، تعداد پروازهایی که تا آن زمان سرویس‌دهی شده‌اند، تعداد پروازهای باقی مانده، تعداد پروازهای تاخیردار، زودترین زمان دسترسی به هر گیت، زمان پیش‌بینی شده برای ورودی پروازهای تاخیردار و غیره، تخصیص مجدد گیت‌ها انجام و جدول تخصیص اولیه مجدداً زمانبندی می‌شود. همانگونه که ملاحظه می‌شود، مسئله تخصیص مجدد گیت‌ها نیز نوعی مسئله تخصیص گیت است که در آن لازم است، محدودیت‌های موجود در مسئله تخصیص گیت نیز در نظر گرفته شود. در این مساله سرعت عمل و نزدیکی برنامه اصلاحی به برنامه اولیه از اهمیت خاصی برخوردار است.

• معرفی مدل GRP:

مسئله تخصیص مجدد گیت زمانی مطرح می‌شود که پس از تنظیم جدول تخصیص، به هنگام

استفاده، بنابه دلایل گوناگون این جدول نیازمند اعمال تغییرات و جابجایی در پروازها باشد. به عنوان

مثال تاخیر در ورود و خروج پروازها، خراب شدن ناگهانی برخی از تجهیزات، بدی شرایط آب و هوایی و غیره می‌تواند منجر به بروز اختلال در جدول تخصیص گیت شود که در این صورت لازم است اطلاعات جدول مذکور، مطابق با وضعیت جدید به روز شده و مبنای کار روزانه قرار می‌گیرد. از آنجایی که این گونه تغییرات پس از تنظیم جدول نهایی تخصیص در اکثر فرودگاه‌ها به طور مکرر انجام می‌پذیرد به یکی از مشکلات اساسی در این زمینه تبدیل شده است. در نتیجه در این تحقیق سعی شده است بنابر اهمیت این موضوع به مدل‌سازی مدل دوم در زمینه تخصیص مجدد پرداخته شود.

اندیس‌ها و پارامترهای استفاده شده در مدل اول عیناً در مسئله تخصیص مجدد گیت استفاده می‌شوند. بعلاوه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مختص به این مسئله بشرح زیر می‌باشد.

- تعریف اندیس‌های مدل :

s : اندیس پروازهای مشترک در تخصیص جدید و تخصیص مرجع

- تعریف پارامترهای مدل:

y_{sk}^* : برابر یک می‌باشد اگر پرواز s ام به گیت k ام تخصیص داده شود، صفر در غیر اینصورت. (این

پارامتر وضعیت پرواز را در جدول مرجع نشان می‌دهد).

- تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری:

y_{ik} : برابر یک می‌باشد اگر پرواز i ام به گیت k ام تخصیص داده شود، صفر در غیر اینصورت.

dv : انحراف مطلق تخصیص جدید گیت از برنامه مرجع

dv_{sk}^1 : انحراف نوع اول dv_{sk}^2 : انحراف نوع دوم

- تابع هدف GRP:

تابع هدف در مدل دوم حداقل کردن انحراف مطلق تخصیص جدید گیت از برنامه مرجع می‌باشد.

$$dv = \min \sum_{s=1}^N \sum_{k=1}^M |y_{sk} - y_{sk}^*| \quad (3-15)$$

از آنجایی که رابطه (۳-۱۵) غیرخطی می‌باشد، در نتیجه بصورت روابط خطی (۳-۱۶) بازنویسی می‌شود.

$$dv = \min \sum_{s=1}^N \sum_{k=1}^M dv_{sk}^1 + dv_{sk}^2$$

$$dv_{sk}^1, dv_{sk}^2 \geq 0 \quad (3-16)$$

در ادامه مدل به شکل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته نوشته می‌شود.

- بیان ریاضی مدل GRP:

$$\min Z_2 = \sum_{s=1}^N \sum_{k=1}^M dv_{sk}^1 + dv_{sk}^2 \quad (3-16)$$

to : Subject

$$\sum_{k=1}^M y_{ik} = 1 \quad (3-4)$$

$$y_{ik} + y_{jk} \leq 1 \quad \text{if } A_i \leq A_j \leq D_i \quad \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-5)$$

$$y_{ik} = 1 \quad \text{if } C_{ik} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-6)$$

$$y_{ik} = 0 \quad \text{if } C_{ik} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-7)$$

$$G_{kl} * (EQ_{ie} * y_{ik} + EQ_{je} * y_{jl}) \leq 1 \quad (3-8)$$

$$\text{if } A_i \leq A_j \leq D_i \quad \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M$$

$$G_{kl} * (D_j * y_{jl} + D_i * y_{ik}) \geq P_{kl} \quad \text{if } A_i \leq A_j \leq D_i \quad \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-9)$$

$$G_{kl} * (Wg_i * y_{ik} + Wg_j * y_{jl}) \leq 1 \quad (3-10)$$

$$\text{if } A_i \leq A_j \leq D_i \quad \forall i, j = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M$$

$$dv_{sk}^1 \geq y_{sk}^* - y_{sk} \quad \forall s = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-17)$$

$$dv_{sk}^2 \geq y_{sk} - y_{sk}^* \quad \forall s = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-18)$$

$$y_{ik} \geq 0 \text{ or } 1 \quad \forall i = 1, \dots, N \text{ or } 1 \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-14)$$

$$dv_{sk}^1, dv_{sk}^2 \geq 0 \quad \forall s = 1, \dots, N \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (3-19)$$

- توضیح محدودیت‌ها:

رابطه (۳-۱۵): تابع هدف، حداقل کردن مجموع انحراف‌های تخصیص‌های جدید گیت از برنامه

مرجع.

محدودیت‌های (۳-۴) تا (۳-۱۰) در مدل اول توضیح داده شد.

محدودیت‌های (۳-۱۷) و (۳-۱۸) از خطی کردن تابع هدف مسئله بدست آمده‌اند. این

محدودیت‌ها انحراف برنامه جدید از برنامه مرجع را محاسبه می‌کنند.

محدودیت (۳-۱۴): صفر و یک بودن متغیر y_{ik} را نشان می‌دهد.

محدودیت (۳-۱۹): نامنفی بودن متغیرهای dv_{sk}^1 و dv_{sk}^2 را نشان می‌دهد.

۷-۳ جمع‌بندی

در این فصل پس از تعریف دو مسئله تخصیص و تخصیص مجدد گیت، دو مدل ریاضی به

شکل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته ارائه شد. در مدل اول، به برنامه‌ریزی جداول تخصیص

اولیه گیت‌ها با هدف حداقل کردن حداکثر تعداد مسافران در هر بازه زمانی در گیت‌ها و در مدل دوم پس از تغییرات در برنامه اولیه به تخصیص مجدد گیت‌ها با هدف حداقل انحراف مطلق برنامه تخصیص جدید گیت از برنامه مرجع پرداخته شد. پس از آن تمامی محدودیت‌های در نظر گرفته شده در دو مدل ارائه شده را معرفی شدند. در فصل چهارم عملکرد این مدل‌ها در حالت‌های مختلف با داده‌های واقعی بررسی و تفسیر خواهند شد.

فصل چهارم

مطالعه موردی

۴-۱ مقدمه

پس از ارائه دو مدل ریاضی و انتخاب راهکار مناسب برای حل آنها، لازم است عملکرد مدل‌های مذکور در قبال حل مسائل با داده‌های واقعی حاصل از یک مطالعه موردی، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد. از این رو در این فصل مدل‌های پیشنهاد شده برای مسئله تخصیص گیت و مسئله تخصیص مجدد گیت با کمک یکی از نرم افزارهای بهینه‌ساز تحقیق در عملیات حل و نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

در همین راستا در بخش نخست از این فصل ابتدا مسائل مطرح شده در مطالعه موردی تعریف خواهد شد، سپس مدل‌های ارائه شده برای مسائل مذکور حل و ارزیابی خواهند شد.

➤ تاریخچه فرودگاه بین‌المللی مهرآباد^۱

فرودگاه بین‌المللی مهرآباد در سال ۱۳۱۷ در تهران تاسیس شد. این فرودگاه بین‌المللی از شمال با جاده مخصوص کرج، از غرب با بزرگراه آیت‌الله سعیدی و از جنوب با بزرگراه ۶۵ متری فتح همجوار است. این فرودگاه نام خود را از روستای مهرآباد که پیشتر در آن منطقه قرار داشت گرفته است. نام اصلی روستای مهرآباد «حسین آباد» بود تا اینکه در زمان قاجار نام مهرآباد را بر آن گذاشتند. در سال ۱۳۰۴ در دوران سلطنت پهلوی اول، حق انحصاری هواپیمایی به کشور آلمان واگذار شد و پس از تاسیس باشگاه خلبانی با ۲۰ فروند هواپیما، در سال ۱۳۱۷ عملاً فرودگاه مهرآباد بنیان‌گذاری شد. در مرداد سال ۱۳۲۵، اداره‌ای تحت عنوان اداره کل هواپیمایی کشوری تشکیل و یکسال بعد این اداره به فرودگاه مهرآباد منتقل گشت.

با تصویب قانون هواپیمایی کشوری در تاریخ ۲۸ تیر سال ۱۳۲۸، در مجلس وقت، اداره کل

هواپیمایی کشوری زیرنظر وزارت راه قرار گرفت. در سال ۱۳۵۳، اداره مذکور تحت عنوان سازمان هواپیمایی کشوری زیر پوشش وزارت جنگ قرار گرفت و مجدداً در سال ۱۳۵۷ و با تصویب شورای انقلاب به وزرات راه و ترابری ملحق شد. در سال ۱۳۸۴ این فرودگاه دارای ۶ پایانه بوده که پایانه شماره ۱ فرودگاه به پروازهای حجاج تعلق دارد پایانه ۲ مربوط به پروازهای ایران ایر و ایران ایرتور است. پایانه‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ برای خروج و ورود پروازهای دیگر شرکت‌ها به کار می‌رود. همچنین در این سال فرودگاه قادر به کنترل بیش از ۷۰ هزار پرواز عبوری و ۱۰ هزار پرواز داخلی و ۳۰ هزار نشست و برخاست بین المللی بوده است. در محوطه این فرودگاه حدود ۱۰۰ شرکت هوایی و غیرهوائی و اشخاص حقیقی و حقوقی فعالیت های تجاری دارند. برج مراقبت این فرودگاه دارای ۱۵۰ مترمربع فضای مراقبت پرواز، ۲۲۵ مترمربع فضای رادار تقرب پرواز، ۲۲۵ مترمربع فضای تجهیزات ناوبری، هر طبقه با ۱۲۰ متر مربع فضاهای اداری و عملیاتی (یکم تا هفتم)، ۳۰۰ متر مربع ساختمان سایت رادار، ۱۲۰۰ مترمربع در چهار طبقه و ساختمان تسهیلات است. این ساختمان در ۱۰ طبقه و ۴۰ متر ارتفاع ساخته و نمای خارجی آن از سنگ گرانیات و شیشه است. پروازهای بین المللی فرودگاه بین المللی مهرآباد از روز یکشنبه ششم آبان ۱۳۸۶ به فرودگاه بین المللی امام خمینی منتقل شد [۴۶].

۴-۲ تعریف مسئله مطرح شده در مطالعه موردی

در بررسی که بصورت میدانی از واحد مربوطه در خصوص نحوه برنامه‌ریزی گیت‌ها در فرودگاه بین المللی مهرآباد به عمل آمد مشخص شد که، عملیات تخصیص گیت در این فرودگاه به شرح زیر است. در فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، مرکز کامپیوتر اعلان پرواز مسئولیت کنترل و تخصیص کانترها، گیت‌ها و تسمه‌ها را به پروازهای ورودی و خروجی به عهده دارد. در این فرودگاه فقط برای

پروازهای خروجی از کانتر و گیت استفاده می‌شود، بنابراین در این تحقیق تنها به بررسی ترمینال‌هایی که پروازهای خروجی در آن‌ها انجام می‌پذیرد، پرداخته می‌شود.

همان طور که پیشتر توضیح داده شد، پروازهای خروجی تنها از طریق ترمینال‌های ۲ و ۴ انجام می‌پذیرد ترمینال ۲ دارای ۸ گیت پروازی است که در شرایط موجود ۵ گیت عملیاتی هستند و ۳ گیت باقی مانده غیرعملیاتی می‌باشند. بنابراین در ترمینال ۲ با حداکثر ۵ گیت روزانه عملیات تخصیص انجام می‌پذیرد. این ترمینال که متعلق به شرکت‌های هواپیمایی ایران ایر تور و ایران ایر می‌باشد روزانه به طور متوسط ۴۰ تا ۵۰ پرواز خروجی در آن انجام می‌پذیرد که گاه به بیش از این تعداد پرواز در روز افزایش می‌یابد.

ترمینال ۴ دارای ۱۰ گیت پرواز می‌باشد که تنها ۸ گیت آن عملیاتی می‌باشند و ۲ گیت باقی مانده غیرعملیاتی می‌باشند. بنابراین در ترمینال ۴ با حداکثر ۸ گیت عملیات روزانه تخصیص انجام می‌پذیرد. این ترمینال که متعلق به سایر شرکت‌های هواپیمایی از جمله ماهان، آسمان، کیش ایر، تابان، کاسپین و غیره می‌باشد روزانه به طور متوسط ۶۰ تا ۷۰ پرواز خروجی در آن انجام می‌پذیرد که گاه به بیش از این تعداد پرواز در روز افزایش می‌یابد.

زمان اختصاص داده شده هر کانتر به پرواز ۱ ساعت و ۴۰ دقیقه و زمان تخصیص هر گیت به پرواز ۳۰ دقیقه می‌باشد. بنابراین ۱:۴۰ قبل از پرواز کانتر مورد نظر به پرواز تخصیص داده می‌شود و نیم ساعت قبل از پرواز گیت پرواز باز خواهد شد و ۵ الی ۱۰ دقیقه قبل از پرواز گیت بسته خواهد شد.

سیستم تخصیص گیت به پروازهای خروجی در ترمینال ۲ فرودگاه مهرآباد تهران از اردیبهشت سال ۱۳۸۷ بصورت نرم‌افزاری انجام می‌شود اما در ترمینال ۴ این سیستم بصورت دستی انجام می‌گیرد.

نرم افزار تخصیص گیت در ترمینال ۲ هر روز پروازها را از ساعت ۰۰:۰۱ تا ۲۳:۵۹ به گیت‌های مورد نظر تخصیص می‌دهد. سیستم به این صورت است که پروازها بصورت فصلی وارد می‌شوند و عمل تخصیص گیت بصورت کامپیوتری صورت می‌پذیرد. در صورتی که هیچ تغییری در پروازهای فصلی صورت نگیرد، مانند اضافه کردن پرواز جدید در یک روز بخصوص و نداشتن تاخیر در پروازها، نرم افزار بصورت پیش فرض گیت‌ها را زمانبندی می‌کند و ۲۴ ساعت قبل از پرواز نتیجه قطعی به واحدهای مربوطه اعلام می‌کند. حال اگر پرواز جدیدی در روز قبل از پرواز یا روز پرواز اضافه شود و یا اینکه پرواز دچار تاخیر شود تخصیص گیت از حالت اتوماسیون خارج می‌شود و تخصیص مجدد باید توسط کارشناسان بصورت دستی انجام پذیرد، که یکی از عمده‌ترین مشکلات نرم‌افزار موجود می‌باشد.

یکی دیگر از مشکلات موجود، در زمان از رده خارج کردن گیت‌ها می‌باشد. زمانی که یک گیت غیرعملیاتی می‌شود نرم افزار در این شرایط تمام گیت‌ها را از پروازها می‌گیرد و پروازها را دوباره به گیت‌های باقی‌مانده تخصیص می‌دهد، که این باعث تغییر گسترده در برنامه قبلی می‌شود. در صورتی که می‌توان با حذف گیت غیرعملیاتی باقی پروازها را به گیت‌های باقی‌مانده تخصیص داد.

به خاطر برنامه‌های پروازی شرکت‌های خطوط هوایی، هواپیماها بطور متوسط ۲ تا ۳ بار در روز به فرودگاه مهرآباد رفت و آمد می‌کنند، در نتیجه بیشترین میزان استفاده از گیت‌ها در ساعات صبح و ظهر و شب از شبانه روز صورت می‌گیرد و نرم افزار بدون در نظر گرفتن تعداد بار استفاده از گیت‌ها، تخصیص پروازها را تخصیص انجام می‌دهد. یعنی ممکن است از یک گیت در یک بازه زمانی (صبح) به کرات استفاده شود و از گیت دیگر حتی یک بار هم استفاده نشود. در نتیجه این عمل ازدحام مسافران را در برخی گیت‌ها به وجود می‌آورد که یکی دیگر از مشکلات این نرم‌افزار می‌باشد که فرودگاه در این ساعات با آن مواجه است.

کافی نبودن منابع برای تخصیص سیستماتیک، تراکم بیش از حد پروازها بر روی برخی گیت‌ها، دستی بودن عملیات تخصیص مجدد، به واقعیت نزدیک نبودن برنامه شرکت‌های هواپیمایی و سایر موارد مطرح شده، مشکلات فراوانی را برای کارشناسان این واحد بوجود آورده است.

۳-۴ جمع آوری داده‌های مطالعه موردی

از آنجایی که مسئله برنامه‌ریزی گیت یکی از مسائل رایج در فرودگاه‌های جهان می‌باشد و وجود یک برنامه‌ریزی مناسب باعث کاهش ازدحام و افزایش کارایی در گیت‌ها و فرودگاه‌ها می‌شود، در نتیجه قبل از فرمول‌بندی و حل مسئله، جمع آوری داده‌های ورودی^۱ مورد نیاز می‌باشد، که این داده‌ها متناسب با هر فرودگاه می‌تواند متفاوت باشد. در ادامه این داده‌ها معرفی می‌شوند.

۱-۳-۴ پارامترهای ورودی در مطالعه موردی

پارامترهای ورودی در این مطالعه عبارتند از:

- ♦ تعداد مسافران هر پرواز
- ♦ تعداد پروازها و گیت‌های فرودگاه
- ♦ جدول پرواز^۲ روزانه (زمان ورود و خروج)
- ♦ نوع هواپیما
- ♦ مدت زمان اشغال گیت توسط پرواز
- ♦ مدت زمان تاخیر هر پرواز

1 Input Data

2 Flight Table

۴-۳-۲ روش گردآوری

داده‌های این پایان‌نامه به صورت کتابخانه‌ای با همکاری پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری از شرکت مادر تخصصی فرودگاه‌های کشور تهیه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. این داده‌ها مربوط به ترمینال‌های ۲ و ۴ فرودگاه بین‌المللی مهرآباد در روز شنبه مورخ ۸۸/۵/۱۷ می‌باشند [۵۰].



۴-۴ معرفی نرم افزار Aimms 3.9

نرم افزار Aimms نوعی جدید از ابزارهای مدل‌سازی ریاضی می‌باشد که توسط شرکت پاراگون^۱ در سال ۱۹۹۳ به بازار معرفی شد.

این نرم‌افزار یک محیط مناسب برای بهینه‌سازی عملیات مبتنی بر کاربردهای تحقیقاتی و سیستم‌های برنامه‌ریزی پیشرفته است. این نرم‌افزار توسط کمپانی‌های پیش‌تاز برای تصمیم‌گیری در صنایع گسترده، فضاهایی چون مدیریت زنجیره‌ی تولید، برنامه‌ریزی تولید، تدارکات، ریسک و برنامه‌ریزی جنگلی^۲ (انبوه)، مدیریت دارایی و سهام^۳ بکار گرفته می‌شود. علاوه بر این، Aimms در دانشگاه‌ها برای درس‌هایی چون تحقیق در عملیات، مدل‌سازی بهینه و هم چنین در پروژه‌های پایانی و تحقیقاتی استفاده می‌شود. این نرم افزار به علت شماری از مفاهیم مدل‌سازی پیشرفته، و نیز داشتن

1 Paragon

2 Forestry planning

3 Revenue- and Asset- management

واسط کاربری کاملاً گرافیکی برای توسعه‌دهندگان و کاربران نهایی، از دیگر نرم‌افزارهای بهینه‌سازی تمایز دارد. بعلاوه دارای حل‌کننده‌هایی چون CPLEX، Lgo، Knitro، Xa، Conopt و ... برای تمام گونه‌های برنامه‌ریزی ریاضی (مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی صحیح آمیخته و برنامه‌ریزی غیرخطی) می‌باشد. Aimms می‌تواند با حل‌کننده‌های تجاری موجود در بازار امروز ترکیب شده، و وسیله‌ای عالی برای بکارگیری کاربردهای تحقیقاتی شود.

قابل شهود بودن مفاهیم زبان مدل‌سازی ریاضی برای متخصصین تحقیق در عملیات و وجود واسط گرافیکی اشاره‌و-انتخاب^۱، استفاده از این نرم‌افزار را سهل و آسان نموده است. بعلاوه به دلیل وجود مستندات جامع و در دسترس الکترونیکی که به فرم کتاب موجود می‌باشد، یادگیری آن را آسان نموده است. در نهایت سطح بالا و چند منظوره، آن را مناسب برای هر گونه فعالیتی از جمله: تحقیقاتی، مشاوره استراتژیک، توسعه کسب و کار و غیره می‌سازد بطوری که می‌توان به راحتی از این نرم‌افزار استفاده کرد [۴۴].

۴-۵ حل مدل

همان طور که در بخش قبل توضیح داده شد در ترمینال‌های فرودگاه مهرآباد به علت برنامه پروازی شرکت‌های هواپیمایی پیک استفاده از گیت‌ها در ساعات بخصوص از شبانه‌روز وجود دارد، همچنین به علت عملکرد نرم‌افزار تخصیص گیت، استفاده بیش اندازه از بعضی گیت‌ها و بیکاری گیت‌های دیگر، توزیع نامناسبی از پروازها به گیت‌ها را بوجود آورده و منجر به ازدحام مسافران در برخی از گیت‌های می‌شود. بعلاوه در صورت بروز هر گونه تغییری در برنامه نهایی امکان تخصیص مجدد بصورت نرم‌افزاری امکان‌پذیر نمی‌باشد و برنامه‌ریزی از حالت اتوماسیون خارج شده و برنامه

1 Point-and-Click

باید توسط کارشناسان بصورت دستی انجام پذیرد. حال با توجه به مسائل بوجود آمده در این فرودگاه یعنی مسئله تخصیص گیت و تخصیص مجدد، مدل‌های ارائه شده در فصل قبل برای حل مسائل فوق پیشنهاد می‌شوند. همچنین برای اطمینان از صحت عملکرد، مدل‌ها با استفاده از داده‌های واقعی جمع آوری شده از فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، در فرمت نرم‌افزار Aimms 3.9 پیاده‌سازی و اجرا می‌شوند. همچنین این نرم‌افزار در کامپیوتر شخصی با مشخصات Pentium(R) 4 CPU 3.06 GHz و RAM 1.00 GB اجرا شده است.

۴-۵-۱ حل مطالعه موردی با استفاده از مدل GAP

همان طور که پیشتر توضیح داده شد، مدل (GAP) برای حل مسئله تخصیص گیت ارائه شد. این مدل از به وجود آمدن ازدحام مسافران در گیت‌های ترمینال جلوگیری می‌کند و حداکثر تعداد مسافران را در هر بازه زمانی در گیت‌ها حداقل می‌کند. با توجه به مطالعه موردی مربوط به ترمینال ۲ تعداد کل گیت‌ها در این ترمینال، ۸ گیت می‌باشد و از این تعداد تنها ۵ گیت در این ترمینال عملیاتی می‌باشد، ضمناً مدت زمان اشغال هر پرواز توسط هر گیت در حالت عادی ۳۰ دقیقه می‌باشد، بنابراین امکان تخصیص ۶۰ پرواز با ۵ گیت با مدت زمان ۳۰ دقیقه وجود ندارد. با توجه به محدود بودن تعداد گیت‌های عملیاتی (منابع محدود) باید مساله با مدت زمان کمتر از ۳۰ دقیقه برنامه‌ریزی شود و سپس گیت‌هایی که در ۲ پرواز همپوشانی دارند، مشخص گردند. شکل (۴-۱) قسمتی از تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در بازه زمانی ۴ تا ۸ صبح می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود پروازهای F2، F4، F9 در گیت ۱، پروازهای F3، F7 در گیت ۳ و پروازهای F5، F10 در گیت ۵ باهم همپوشانی دارند. این همپوشانی بصورت نقطه چین در شکل (۴-۱) مشخص شده است. در نتیجه با کاهش زمان اشغال گیت می‌توان از همپوشانی پروازها جلوگیری نمود. همچنین طی انجام

محاسبات، زمان ایده‌آل ۱۵ دقیقه بدست آمده است.

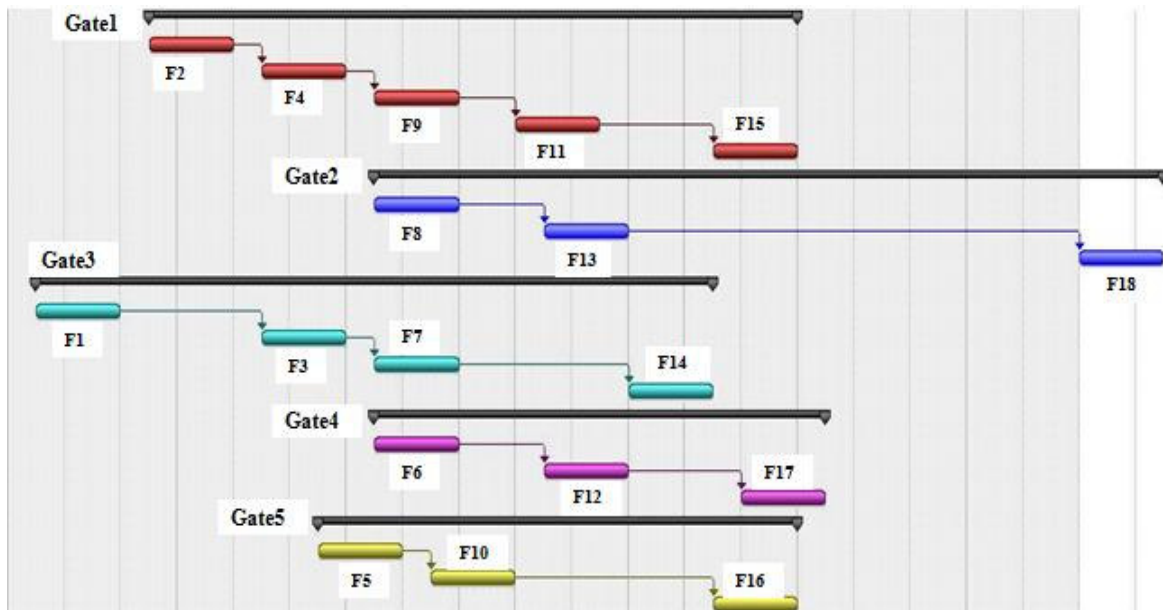
همچنین در مطالعه موردی مربوط به ترمینال ۴ تعداد کل گیت‌ها در این ترمینال ۱۰ گیت می‌باشد که از این تعداد تنها ۸ گیت عملیاتی می‌باشند، باتوجه به اینکه امکان تخصیص ۸۶ پرواز با ۸ گیت با مدت زمان ۳۰ دقیقه وجود ندارد، زیرا پروازها باهم همپوشانی خواهند داشت. شکل (۴-۳) قسمتی از تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در بازه زمانی ۴ تا ۸ صبح می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود پروازهای F11 ، F16 در گیت ۳، پروازهای F10 ، F17 در گیت ۴ باهم همپوشانی دارند. این همپوشانی بصورت نقطه چین در شکل (۴-۳) مشخص شده است. همچنین طی انجام محاسبات، زمان ایده‌آل ۲۰ دقیقه بدست آمده است.



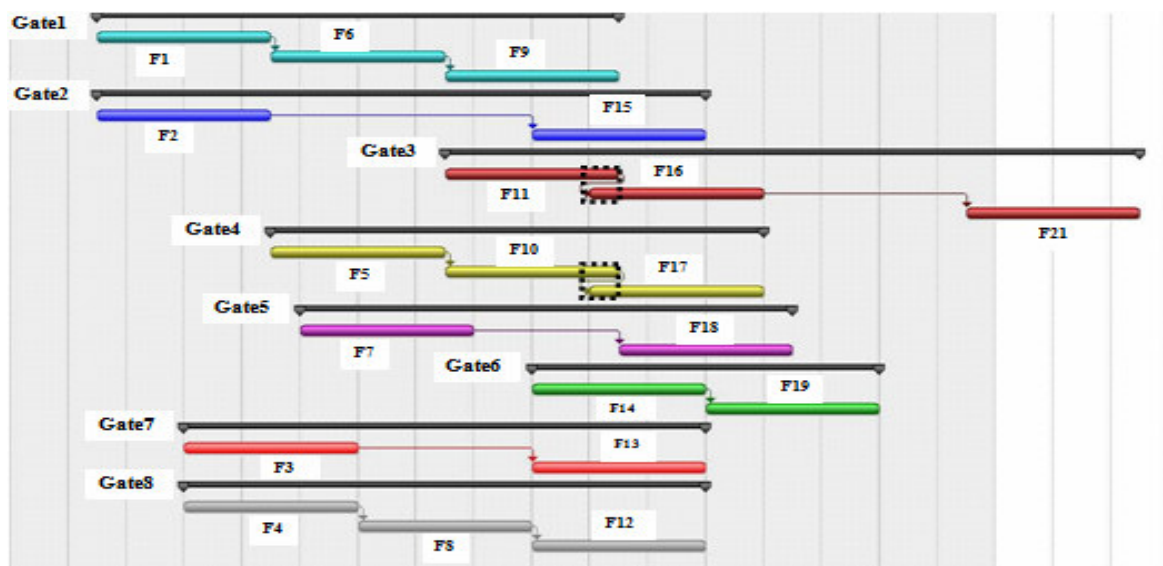
شکل (۴-۱): نمودار گانت چارت تخصیص گیت ترمینال ۲ در مدت زمان اشغال ۳۰ دقیقه

شکل (۴-۲) تخصیص گیت‌ها را در ترمینال ۲ پس از اعمال زمان جدید نشان می‌دهد. همان‌طور

که مشاهده می‌شود، هیچ همپوشانی بین پروازها وجود ندارد.



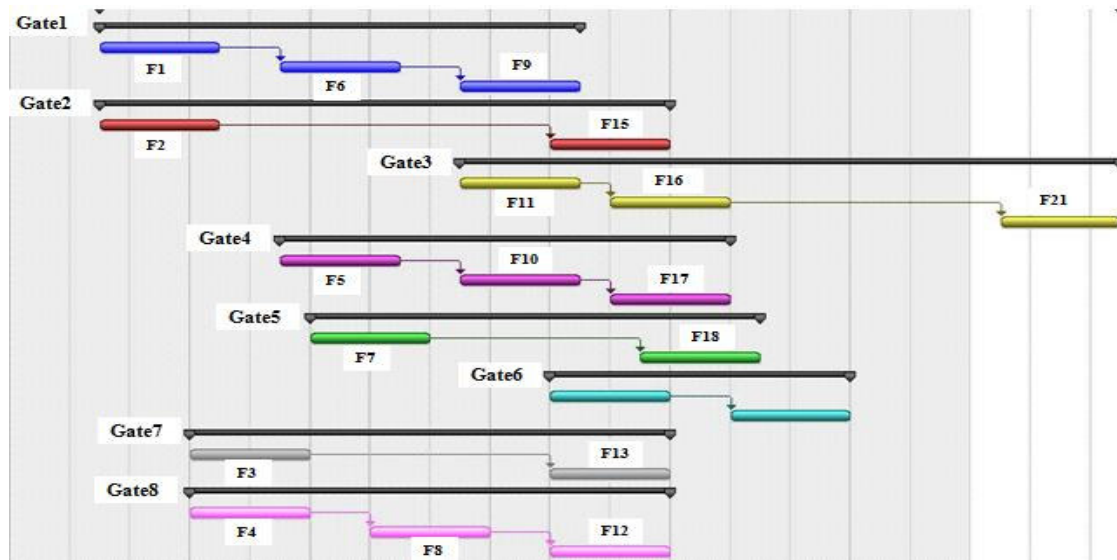
شکل (۲-۴): نمودار گانت چارت تخصیص گیت ترمینال ۲ در مدت زمان اشغال ۱۵ دقیقه



شکل (۳-۴): نمودار گانت چارت تخصیص گیت ترمینال ۴ در مدت زمان اشغال ۳۰ دقیقه

شکل (۴-۴) تخصیص گیت‌ها را در ترمینال ۴ پس از اعمال زمان جدید نشان می‌دهد. همان‌طور

که مشاهده می‌شود، هیچ همپوشانی بین پروازها وجود ندارد.



شکل (۴-۴): نمودار گانت چارت تخصیص گیت ترمینال ۴ در مدت زمان اشغال ۲۰ دقیقه

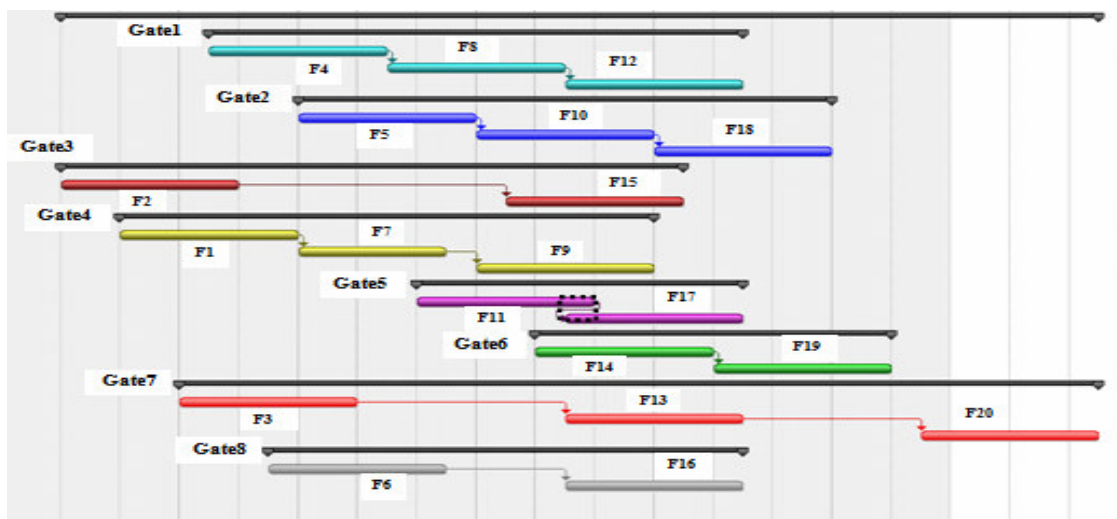
ضمن مشورت با کارشناسان خبره در این واحد در خصوص امکان کاهش این مدت زمان، این نتیجه استنباط شد که آنان در این شرایط مدت زمان ۳۰ دقیقه را برای برخی از پروازها متناسب با تعداد مسافران و میزان بار کاهش می‌دهند. استفاده از مدت زمان‌های متفاوت برای اشغال گیت‌ها توسط پروازهای گوناگون در مدل‌های مذکور (با توجه به تعداد بالای پروازها در فصل تابستان و منابع محدود در ترمینال‌ها) بررسی گردید که این امکان تنها در ترمینال ۴ فرودگاه وجود دارد. بنابراین شکل (۴-۵) تخصیص گیت‌ها به پروازها را در مدت زمان‌های متفاوت نشان می‌دهد. در این مثال بر اساس تعداد مسافرین هر هواپیما، مدت زمان اشغال گیت به ترتیب زیر در جدول (۴-۱) تعریف شده است.

جدول (۴-۱): مدت زمان اشغال گیت بر اساس تعداد مسافران هر هواپیما

تعداد مسافران ≤ 200 نفر	$200 \leq$ تعداد مسافران ≤ 150 نفر	تعداد مسافران ≥ 150 نفر
مدت زمان اشغال گیت: ۲۵ (دقیقه)	مدت زمان اشغال گیت: ۲۰ (دقیقه)	مدت زمان اشغال گیت: ۱۵ (دقیقه)

در این شرایط همان طور که بصورت نقطه چین مشخص شده است فقط پروازهای F11 و F17

باهم همپوشانی دارند.



شکل (۵-۴): نمودار گانت چارت تخصیص گیت ترمینال ۴ در مدت زمان اشغال ۳۰ دقیقه

شکل (۶-۴) تخصیص گیت‌ها را در ترمینال ۴ پس از اعمال زمان جدید نشان می‌دهد. همان‌طور

که مشاهده می‌شود، هیچ همپوشانی بین پروازها وجود ندارد.



شکل (۶-۴): نمودار گانت چارت تخصیص گیت ترمینال ۴ در مدت زمان‌های اشغال ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ دقیقه

باتوجه به شرایط فوق متوسط همپوشانی پروازها در هر گیت را می‌توان برای مساله اول برای

ترمینال‌های مذکور از رابطه ذیل بدست آورد:

$$\text{مجموع کل پروازها} / (\text{مجموع کل همپوشانی‌ها}) = \text{میانگین همپوشانی}$$

– ترمینال ۲، با تعداد ۶۰ پرواز، ۵ گیت عملیاتی و مدت زمان اشغال یکسان (۳۰ دقیقه) متوسط همپوشانی در هر گیت برابر است با ۱/۱۶ دقیقه.

– ترمینال ۴، با تعداد ۸۶ پرواز، ۸ گیت عملیاتی و مدت زمان اشغال یکسان (۳۰ دقیقه) متوسط همپوشانی در هر گیت برابر است با ۰/۱۱۶ دقیقه.

– ترمینال ۴، با تعداد ۸۶ پرواز، ۸ گیت عملیاتی و مدت زمان اشغال متناسب با تعداد مسافران هر پرواز (۳۰ دقیقه) متوسط همپوشانی در هر گیت برابر است با ۰/۱۷۲ دقیقه.

در ادامه ضمن بررسی بیشتر، این مسئله برای دو ترمینال ۲ و ۴ فرودگاه بین‌المللی مهرآباد در حالت‌های گوناگون و تحت شرایط متفاوت از نظر تعداد پرواز، تعداد گیت عملیاتی و زمان اشغال گیت، مطابق با جدول (۲-۴) حل خواهد شد.

جدول (۲-۴): حالت‌های گوناگون جهت حل مسئله

شماره حالت	شماره ترمینال	تعداد پرواز	تعداد گیت عملیاتی	مدت زمان اشغال گیت
اول	۲	۶۰	۵	۱۵ (دقیقه)
دوم	۲	۶۰	۸	۳۰ (دقیقه)
سوم	۴	۸۶	۸	۲۰ (دقیقه)
چهارم	۴	۸۶	۸	۱۵ و ۲۰ و ۲۵ (دقیقه)
پنجم	۴	۸۶	۱۰	۳۰ (دقیقه)

۴-۱-۵-۱ تفسیر نتایج در مدل اول GAP

پس از اجرای مدل در حالت‌های مذکور نتایج بدست آمده تفسیر می‌شوند. در این مدل پروازها به ۶ بازه زمانی ۴ ساعته (طبق زمان ورود و خروج) طبقه بندی شده است. این بازه‌ها به ترتیب زیر می‌باشند:

[۰ و ۴]، [۴ و ۸]، [۸ و ۱۲]، [۱۲ و ۱۶]، [۱۶ و ۲۰]، [۲۰ و ۲۴].

این طبقه‌بندی بر اساس زمان باز شدن گیت می باشد. مثلا اگر زمان خروج پروازی در ساعت ۶:۰۰ صبح باشد آن گاه زمان باز شدن گیت ۵:۳۰ و زمان بسته شدن آن ۶:۰۰ می‌باشد.

۱- حالت اول

جدول (۴-۳) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص گیت‌ها به پروازها در دسترس ترمینال ۲ در بازه‌ی زمانی [۸و۴] می‌باشد. این جدول حاوی اطلاعات نام پروازها و مجموع مسافران در هر گیت در بازه‌های زمانی می‌باشد. همان طور که از مجموع تعداد مسافران در هر گیت در جداول (۴-۳) پیداست، تعداد مسافران در هر گیت تقریبا بطور یکسانی تخصیص داده شدند و در این بازه زمانی از تمامی گیت‌ها استفاده شده است. همچنین به گیت ۳ بیشترین تعداد مسافران (۵۴۲) تخصیص داده شده است. ادامه جداول مربوط به سایر بازه‌های زمانی در بخش پیوست ضمیمه شده است.

جدول (۴-۳) : تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت اول

[۸ و ۴]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F2	F8	F1	F6	F5
F4	F13	F3	F12	F10
F9	F18	F7	F17	F16
F11		F14		
F15				
540	504	542	536	496

۲- حالت دوم

جدول (۴-۴) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص پروازها در حالت دوم می‌باشد. بعلاوه به گیت ۶ بیشترین تعداد مسافران (۳۸۸) تخصیص داده شده است.

جدول (۴-۴): تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت دوم

[۸ و ۴]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F10	F2	F1	F3	F7	F5	F8	F9
F14	F6	F4	F13	F18	F12	F15	F17
	F16	F11					
216	374	374	276	276	388	276	378

۳- حالت سوم

جدول (۴-۵) قسمتی از نتایج بدست آمده از گیت‌ها به پروازها در حالت سوم می‌باشد. بعلاوه

به گیت ۲ بیشترین تعداد مسافران (۳۹۲) تخصیص داده شده است.

جدول (۴-۵): تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت سوم

[۸ و ۴]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F1	F2	F11	F5	F7	F14	F3	F4
F6	F15	F16	F10	F18	F19	F13	F8
F9			F17			F20	F12
382	392	382	367	349	370	374	356

۴- حالت چهارم

جدول (۴-۶) قسمتی از نتایج بدست آمده از گیت‌ها به پروازها در حالت چهارم می‌باشد. بعلاوه

به گیت‌های ۳ و ۴ بیشترین تعداد مسافران (۳۹۲) تخصیص داده شده است.

جدول (۴-۶): تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت چهارم

[۸ و ۴]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F4	F5	F2	F1	F11	F14	F3	F6
F8	F10	F15	F7	F17	F19	F13	F16
F12	F18		F9			F20	
356	367	392	392	339	370	374	382

۵- حالت پنجم

جدول (۷-۴) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص گیت‌ها به پروازها در حالت پنجم

می‌باشد. بعلاوه به گیت ۵ بیشترین تعداد مسافران (۳۳۸) تخصیص داده شده است.

جدول (۷-۴): تخصیص گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت پنجم

[۸ و ۴]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F3	F8	F7	F11	F6	F4	F1	F5	F2	F9
F13	F16	F12	F20	F15	F17	F14	F18	F10	F19
274	336	294	264	338	293	285	293	292	303

جدول (۸-۴) نتایج حل مساله GAP نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، با افزایش تعداد

پروازها، تعداد محدودیت‌ها و تعداد متغیرهای مسئله افزایش می‌یابد بنابراین مدت زمان اجرای برنامه

افزایش می‌یابد. در نتیجه استفاده از روش‌های محاسباتی جواب دقیق برای مسائلی با اندازه بزرگ

مناسب نمی‌باشد.

جدول (۸-۴): نتایج حل مساله GAP توسط نرم افزار

مسئله تخصیص گیت (GAP)					
شماره حالت	تعداد پرواز	تعداد محدودیت	تعداد متغیر	زمان (دقیقه)	جواب بهین
۱	۶۰	۹۰۶۱	۲۲۷	۹۸	۱۹۱۴
۲	۶۰	۱۴۲۹	۵۳۵	۱/۵۹	۱۴۴۴
۳	۸۶	۲۸۵۳۵	۷۴۳	۲۱۲/۱۸	۱۷۲۱
۴	۸۶	۱۴۹۵	۷۴۳	۲۲۶/۳۱	۱۷۱۴
۵	۸۶	۳۶۳۰۷	۹۷۲	۳۳۵/۰۵	۱۴۸۱

۴-۵-۲ حل مطالعه موردی با استفاده از مدل GRP

در مسائل مورد نیاز برای آزمایش مدل تخصیص مجدد گیت، باید جداول تخصیص از پیش

تعیین شده‌ای باشند که در اثر بروز اختلال به تنظیم و زمانبندی مجدد نیاز دارند، در نتیجه در اینجا

برای حل مدل دوم از جداول تخصیصی که از مدل اول بدست آمده استفاده می‌شود. اما برای قابل استفاده نمودن آن‌ها به عنوان مسائل آزمایش مسئله تخصیص مجدد گیت، باید زمان‌های تاخیر پروازها به این جداول وارد شوند که باعث اختلال آن‌ها شده و در این صورت مسئله نیازمند تخصیص مجدد شود. در این مدل تخصیص مجدد گیت‌ها بگونه‌ای انجام می‌پذیرد که در کوتاهترین زمان، تخصیص جدید پروازها به گیت‌ها کمترین تغییرات را نسبت به برنامه مرجع داشته باشد. یعنی انحراف مطلق تخصیص جدید گیت از برنامه مرجع حداقل شود. در ادامه این بخش نتایج حاصل از حل حالت‌های قبل برای مسئله تخصیص مجدد گیت تفسیر خواهند شد. بعلاوه درصد تغییرات برنامه جدید به برنامه مرجع برای صحت عملکرد تابع هدف محاسبه خواهد شد که از حاصل تعداد پروازهای جابه‌جا شده به کل پروازها ضرب درصد بدست آمده می‌آید.

$$100 \times (\text{تعداد کل پروازها}) / (\text{تعداد پروازهای جابه‌جا شده}) = \text{درصد تغییرات}$$

۴-۵-۲-۱ تفسیر نتایج در مدل GRP

در ادامه این بخش با استفاده از جداول تخصیصی که از مدل (GAP) در حالات اول تا پنجم بدست آمده است و با وارد کردن زمان‌های تاخیر پروازها به این جداول، مدل (GRP) در حالات مذکور حل خواهد شد.

۱- حالت اول

جدول (۹-۴) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص مجدد پروازها در حالت اول می‌باشد. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود در این بازه زمانی تنها گیت پرواز F9 در تخصیص مجدد تغییر کرده است و این پرواز از گیت اول به گیت چهارم جابه‌جا شده است و همچنان به گیت ۳ بیشترین تعداد مسافران (۵۴۲) تخصیص داده شده است. ادامه جداول مربوط به این بحث در بخش پیوست ضمیمه شده است.

جدول (۹-۴): تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت اول

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F2	F8	F1	F9	F5
F4	F13	F3	F12	F10
F11	F18	F7	F17	F16
F15		F14		
432	504	542	486	496

۲- حالت دوم

جدول (۱۰-۴) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص مجدد پروازها در حالت دوم می‌باشد.

همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در این بازه زمانی تنها گیت‌های دو پرواز F16, F1 در

تخصیص مجدد تغییر کرده است و به گیت ۸ بیشترین تعداد مسافران (۵۳۶) تخصیص داده شده

است.

جدول (۱۰-۴): تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۲ در حالت دوم

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F10	F2	F4	F3	F7	F5	F8	F1
F14	F6	F11	F13	F18	F12	F15	F9
		F16					F17
216	266	324	276	276	388	276	536

۳- حالت سوم

جدول (۱۱-۴) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در حالت سوم

می‌باشد. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در این بازه زمانی تنها گیت‌های سه

پرواز F11, F8, F6 در تخصیص مجدد تغییر کرده‌اند و به گیت ۵ بیشترین تعداد مسافران (۵۱۳)

تخصیص داده شده است.

جدول (۴-۱۱): تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت سوم

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F1	F2	F6	F5	F7	F14	F3	F4
F9	F15	F16	F10	F11	F19	F8	F12
			F17	F18		F13	
						F20	
218	392	328	367	513	370	492	238

۴- حالت چهارم

جدول (۴-۱۲) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در حالت

چهارم می‌باشد. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در این بازه زمانی تنها پرواز F4 به خاطر تاخیر در زمان خروج به بازه زمانی بعدی انتقال یافته و در این بازه زمانی گیت پروازها در تخصیص مجدد تغییر نکرده است و به گیت‌های ۴ بیشترین تعداد مسافران (۴۱۰) تخصیص داده شده است.

جدول (۴-۱۲): تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت چهارم

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F8	F5	F15	F4	F11	F14	F3	F6
F12	F10		F7	F17	F19	F13	F16
	F18		F9			F20	
236	367	174	410	339	370	374	382

۵- حالت پنجم

جدول (۴-۱۳) قسمتی از نتایج بدست آمده از تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در حالت

پنجم می‌باشد. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در این بازه زمانی تنها گیت‌های دو پرواز F15, F17 در تخصیص مجدد تغییر کرده‌اند و به گیت ۱ بیشترین تعداد مسافران (۴۴۹) تخصیص داده شده است.

جدول (۱۳-۴): تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازهای ترمینال ۴ در حالت پنجم

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F3	F8	F7	F11	F6	F4	F1	F5	F2	F9
F13	F16	F12	F20		F15	F14	F18	F10	F19
F17									
449	336	294	264	164	292	285	293	292	303

جدول (۱۴-۴) نتایج حل مساله GRP نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول، در این مدل،

سرعت عمل و نزدیکی برنامه اصلاحی به برنامه اول از اهمیت خاصی برخوردار است. در نتیجه

برای صحت عملکرد تابع هدف مسئله، درصد تغییرات برنامه جدید نسبت به برنامه مرجع محاسبه

می‌شود که از حاصل تعداد پروازهای جابه‌جا شده به کل پروازها ضرب در صد بدست می‌آید.

جدول (۱۴-۴): نتایج حل مساله GRP توسط نرم افزار

مسئله تخصیص مجدد گیت (GRP)						
شماره حالت	تعداد پرواز	تعداد محدودیت	تعداد متغیر	زمان (ثانیه)	جواب بهین	درصد تغییرات(%)
۱	۶۰	۹۰۷۱	۹۰۱	۳	۷	۶/۶
۲	۶۰	۱۴۶۷۷	۱۴۴۱	۶	۴	۳/۳
۳	۸۶	۳۰۷۵۱	۲۰۶۵	۱۲/۹۷	۱۴	۶/۹
۴	۸۶	۲۶۲۳	۲۰۶۵	۵/۸۸	۱۴	۵/۸
۵	۸۶	۳۸۴۵۷	۲۵۸۱	۲۰/۱۷	۱۶	۹/۳

۶-۴ جمع‌بندی

در این فصل پس از تعریف مسئله در مطالعه موردی و گردآوری داده‌های واقعی، دو مسئله با

استفاده از مدل‌های ارائه شده در فصل قبل در نرم‌افزار Aimms 3.9 حل شد و نتایج حاصل از این

مدل‌ها در شرایط گوناگون بررسی شدند. بر طبق نتایج بدست آمده و نظر کارشناسان، مدل‌های ارائه

شده برای دو مسئله تخصیص و تخصیص مجدد در شرایط مذکور تخصیص مناسبی از پروازها را

ارائه می‌دهند.

در مدل GAP، پروازها با توجه به تابع هدف مسئله، در هر بازه زمانی طوری به گیت‌ها اختصاص داده می‌شود که از ازدحام مسافران در گیت‌ها جلوگیری نماید و از هر گیت در هر بازه‌ی زمانی به خوبی استفاده شود بطوری که هیچ گیتی در هر بازه‌ی زمانی بیکار نباشد.

در مدل GRP، پس از ورود پروازهای تاخیردار در مدل، مسئله، پروازها را طوری به گیت‌ها تخصیص می‌دهد که کمترین انحراف را از برنامه مرجع داشته باشند یعنی حتی المقدور از جابه‌جا شدن گیت‌های سایر پروازها جلوگیری نماید تا کمترین تغییرات در برنامه جدید بوجود آید. در ضمن برای صحت عملکرد تابع هدف مسئله، درصد تغییرات برنامه جدید نسبت به برنامه مرجع محاسبه شد. بعلاوه در مدل دوم، سرعت عمل و نزدیکی برنامه اصلاحی به برنامه اول از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین در مدل‌های فوق برای رفع مشکل همپوشانی گیت‌ها در زمان کمبود منابع، کاهش مدت زمان اشغال گیت پیشنهاد شد.

در فصل پنجم ضمن نتیجه‌گیری از کل مباحث مطرح شده، زمینه‌های پیشنهادی برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی آتی

۵-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا موانع و محدودیت‌های تحقیق شرح داده خواهد شد، سپس زمینه‌های پیشنهادی برای مطالعات آتی ارائه می‌شود و در پایان یک جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از کل پایان‌نامه ارائه خواهد شد.

۵-۲ محدودیت‌های تحقیق

بطور کلی محدودیت‌های متعددی در شروع فرآیند تحقیقی مزبور و همچنین در طی انجام آن و دستیابی به نتایج دقیق و قابل ارائه وجود داشته است. هر یک از محدودیت‌ها و مشکلات، معلول دلایل مشخصی است که برخی از آنها عوامل عمومی می‌باشند که تقریباً شامل تمامی فرودگاه‌ها می‌شود و برخی دیگر، عوامل ناشی از شرایط و ملاحظات مختص کشور ماست. عدم دسترسی آسان به اطلاعات و منابع بویژه اطلاعات آماری و برنامه‌های زمانبندی پروازی پیش‌بینی شده در فرودگاه‌های ایران و جهان به عنوان یکی از اصلی‌ترین داده‌های ورودی مدل‌ها، موجب ایجاد مشکلات عدیده‌ای در روند تحقیق مورد نظر گردید.

از جمله مشکلات دیگر در این زمینه، محدودیت‌های امنیتی اعمال شده در محوطه‌ی پروازی فرودگاه‌های کشور است که موجب عدم دسترسی به محوطه توقفگاه هواپیما می‌شود. این مسئله موجب عدم امکان مشاهده مستقیم عملیات ورود و خروج هواپیماها و فعالیت‌های خدمات رسانی و پشتیبانی در محدوده توقفگاه و همچنین عدم بررسی چگونگی تخصیص گیت‌ها بطور عملی می‌شود. وجود مسایل مذکور باعث بروز موانع و مشکلات زیادی در فرآیند مدلسازی و آزمایش مدل در یک سیستم واقعی می‌گردد.

نهایتاً عدم دسترسی به نرم‌افزارهای موجود تخصیص گیت در فرودگاه‌های کشور برای بررسی و

مقایسه مدل تدوین شده با مدل‌های ارائه شده در سایر کشورهای جهان از جمله مشکلات و محدودیت‌های موجود در روند این تحقیق می‌باشد.

۳-۵ نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه، با بهره‌گیری از دانش و نظرات تعدادی از کارشناسان خبره فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، مسأله‌ای نزدیک به واقعیت مدلسازی و حل شد. بر طبق نتایج بدست آمده و نظر کارشناسان، مدل‌های ارائه شده برای دو مسئله تخصیص و تخصیص مجدد در شرایط مذکور تخصیص مناسبی از پروازها را ارائه می‌دهند. مدل GAP، پروازها با توجه به تابع هدف مسئله، در هر بازه زمانی طوری به گیت‌ها اختصاص داده می‌شود که از ازدحام مسافران در گیت‌ها جلوگیری نماید و از هر گیت در هر بازه‌ی زمانی به خوبی استفاده شود بطوری که هیچ گیتی در بازه‌ی زمانی بیکار نباشد. مدل GRP، پس از ورود پروازهای تاخیردار در مدل، مسئله پروازها را طوری به گیت‌ها تخصیص می‌دهد که کمترین انحراف را از برنامه مرجع داشته باشند یعنی حتی المقدور از تغییر گیت‌های سایر پروازها جلوگیری نماید تا کمترین تغییرات در برنامه جدید بوجود آید. همچنین در مدل‌های فوق برای رفع مشکل همپوشانی گیت‌ها در زمان کمبود منابع، کاهش مدت زمان اشغال گیت پیشنهاد شد. بعلاوه در مدل GRP، سرعت عمل و نزدیکی برنامه اصلاحی به برنامه اول از اهمیت خاصی برخوردار است.

۴-۵ زمینه‌های پیشنهادی برای تحقیقات آتی

مدل‌های ارائه شده برای تخصیص گیت یا تخصیص مجدد گیت، مدل‌های کاربردی هستند که می‌توان آن‌ها را متناسب با نوع فرودگاه‌ها تعدیل نموده و مورد استفاده قرار داد. البته این امر منوط به فراهم بودن شرایط لازم برای بکارگیری آن‌هاست. به عنوان مثال در فرودگاه‌هایی که در حال حاضر، تخصیص گیت‌ها و یا حتی تخصیص مجدد گیت‌ها را به صورت علمی انجام می‌دهند، در اولین گام

اطلاعات لازم برای پیاده‌سازی و بکارگیری این سیستم‌ها را، جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند.

متأسفانه در حال حاضر در فرودگاه‌های ایران علیرغم تلاش‌های پیگیرانه‌ای که در اوائل این تحقیق صورت گرفته است، بدلیل کمبود منابع در دسترس از جمله گیت‌های پرواز و به واقعیت نزدیک نبودن برنامه شرکت‌های هواپیمایی با توجه به امکانات و شرایط موجود، امکان استفاده از چنین مدل‌هایی دشوار است.

در ادامه موارد ذیل می‌تواند به عنوان تحقیقاتی برای مطالعات آتی برای کاربردی کردن مدل‌های ارائه شده، مد نظر قرار گیرد:

❖ با در نظر گرفتن جزئیات بیشتری از مساله در مدل‌های ریاضی می‌توان، مدل را به واقعیت نزدیکتر کرد.

❖ از آنجایی که با افزایش تعداد پروازها اندازه مسئله بیش از حد بزرگ خواهد شد، و روش‌های دقیق قادر به ارائه جواب در زمان مناسب نمی‌باشند، در نتیجه بکارگیری روش‌های ابتکاری برای مدل‌های ریاضی ارائه شده به عنوان زمینه تحقیقاتی آتی پیشنهاد می‌شود.

❖ در نظر گرفتن مسئله در حالت عدم قطعیت در زمان ورود پروازها.

❖ بکارگیری مدل‌های تخصیص گیت و تخصیص مجدد گیت در بندرگاه‌های کشور از جمله تحقیقات قابل پیاده‌سازی و اجرا می‌باشند که می‌توان پیشنهاد کرد. با این تفاوت که در مسئله جدید با کمک مدل‌های مذکور کشتی‌های وارده به بندرگاه به محل‌های تخلیه و یا بارگیری تخصیص داده می‌شوند.

۵-۵ جمع‌بندی

در این پایان‌نامه در مورد دو مسئله تخصیص گیت و تخصیص مجدد گیت بحث شد.

در فصل اول، مفاهیم و کلیات موجود در زمینه برنامه‌ریزی گیت معرفی کردیم و جایگاه و

اهمیت این مبحث در فرودگاه‌ها را بررسی کردیم.

در فصل دوم، مرور ادبیاتی موضوع در حوزه مسئله تخصیص گیت، مسئله تخصیص مجدد گیت

و مسئله تخصیص استوار گیت ارائه کردیم و سپس رویکردهای موجود جهت حل این مسائل بررسی

نمودیم.

در فصل سوم، دو مدل ریاضی برای مسائل تخصیص گیت و تخصیص مجدد گیت ارائه کردیم.

در مدل اول، پروازها با توجه به تابع هدف مسئله، در هر بازه‌ی زمانی طوری به گیت‌ها اختصاص

داده شد که از ازدحام مسافران در گیت‌ها جلوگیری نماید. در مدل دوم، پس از ورود پروازهای

تاخیردار و پروازهای جدید در مدل، مسئله پروازها را طوری به گیت‌ها تخصیص می‌دهد که کمترین

انحراف از برنامه مرجع داشته باشد. همچنین سرعت بالا و نزدیکی برنامه اصلاحی به برنامه اول از

ویژگی‌های این مدل می‌باشد.

در فصل چهارم، برای اطمینان از صحت عملکرد مدل‌های مذکور، مدل‌ها را با استفاده از

داده‌های گردآوری شده از دنیای واقعی توسط نرم‌افزار Aimms 3.9، اجرا کردیم و نتایج حاصل از

حل مسائل را در حالت‌های گوناگونی تفسیر نمودیم.

در فصل پنجم، ضمن بررسی موانع و محدودیت‌های موجود در روند تحقیق و نتیجه‌گیری از

کل پایان‌نامه، زمینه‌های پیشنهادی برای تحقیقات آتی ارائه نمودیم.

مراجع

- [1] U. Dorndorf, A. Drexl, Y. Nikulin and E. Pesch, (2007), "Flight gate scheduling state-of-the-art and recent development", The international Journal of management science, Vol.35, PP.326-334.
- [2] U. Dorndorf, F. Jaehn, E. Pesch, (2008), "Modelling robust flight gate scheduling as a clique partitioning problem", Transportation Science, Vol.42, No.3, PP.292-301.
- [3] R. Horonjeff, F.X. Mc kelvey, (1994), "Planning and design of airport", 4th edition, MC Graw Hill.
- [4] N. Ashford, P. Wright, (1992), "Airport engineering", 3th edition, John Wiley & Sons.
- [5] International Civil Aviation Organization, (1983), "A erodrome Design Manual" Part2: "Taxi ways, Aprons and Holding Bays", Doc 9157-AN 1901, Second Edition.
- [6] M.I. Hassounah, S. G.N, (1993), "Demand for aircraft gates", Transportation Res. Record 1423, PP.26-33.
- [7] Federal Aviation Administration, (1983), "Airport Capacity and Delay", AC 150/5060-5
- [8] E. Pesch, U. Dorndorf, (2008), "Flight gate allocation: Modells, Methods and Robust solutions", Institute of information systems, University Siegan, 57068, Germany.
- [9] G. Jo, J. Jung, Ch. Yang, (1997), "Expert system for scheduling in an airline gate allocation", Expert system with application, Vol. 14, No.4, PP.275-282.
- [10] O. Babic, D. Tedorovic, V. Tasic, (1984), "Aircraft stand assignment to minimize walking", Journal of Transportation Engineering, Vol. 26 A, No. 1, PP.55-66.
- [11] R.S. Mamgoubi, D.F.X. Mathaisel, (1985), "Optimization gate assignment at airport terminals", Transportation Science, Vol.19, No.2, PP.173-188.
- [12] A. Haghani, M. Cheng, (1998), "Optimization gate assignment at airport terminals", Transportaion Research-A, Vol.32, No.6, PP.437-454.

- [13] A. Bolat, (1999), "Assigning arriving flight at an airports to the available gate" , Journal of the Operational Research Society , Vol.50, PP.23-34.
- [14] A. Bolat, (2000), "Procedures for providing robust gate assignments for arriving aircrafts", J Opl Res Soc 50: 23-34.
- [15] A. Bolat, (2001), "Models and a genetic algorithm for static aircraft-gate assignment problem", Journal of the Operational Research Society, Vol.52,PP .1107-1120.
- [16] J. Xu, G. Bailey, (2001), "The airport gate assignment Problem: Mathematical model and a Tabu search algorithm", Proceeding of the 34th Hawaii international conference on system science.
- [17] Sh. Yan, Ch. Huo, (2001), "Optimization of multiple objective gate assignment", Transportation Research, Part A , Vol.35,PP.413-432.
- [18] Ch. Li, (2008), "Airport gate assignment: New model and implementation", Department of computer science , Texas Tech University.
- [19] N. Das, (2009), "The airport gate assignment problem with some practical constraints", Applied Management Science, Vol.1,No.3,PP.315-323.
- [20] H. Ding, A. Lim, B. Rodrigues , Y. Zhu, (2004a) , "Aircraft and gate scheduling optimization at airports", Proceeding of the 37th Hawaii international Conference on system science.
- [21] H. Ding, A. Lim, B. Rodrigues , Y. Zhu , (2005) , "The over-constrained airport gate assignment problem", Computer & Operation Research , Vol. 32, PP.1867-1880.
- [22] A. Lim, B. Rodrigues, Y. Zhu, (2005), "Airport gate scheduling with time windows", Artificial intelligence Review, Vol.24, PP.5-31 .
- [23] S. Yan, Ch. Tang, (2007), "A heuristic approach for airport gate assignment s for stochastic flight delays" , European Journal of Operational Research, Vol.180, PP. 547-567.
- [24] C. Pintea, P. Pop, C. Chira, D. Dumitrescu, (2008) , "A hybrid ant-based system for gate Assignment Problem", Springer-Verlag Berlin Heidelberg , PP.273-280.

- [25] A. Drexl, Y. Nikulin, (2008) , "Multicriteria airport gate assignment and pareto simulated annealing", IIE Transactions , Vol.40, PP.385-397.
- [26] H. Ding, A. Lim, B. Rodrigues , Y. Zhu, (2004b) , "New heuristics for the over-constrained airport gate assignment problem", Journal of the Operational Research Society, 55, 760-768.
- [27] C. Cheng, P. Schonfeld, (1995), "Flight sequencing in airport hub operations" , Transportation Research Record 1506, PP.27-33.
- [28] R. Brazil, K.M. Swigger, (1991), "Generalized Heuristic for the assignment problem", Control and Computers, Vol.19,No.1,PP.27-32.
- [29] G.D. Gosling, (1990), "Design of an expert system for aircraft gate assignment", Transportation Research-A, Vol.24A, No.1,PP.59-69.
- [30] K. Srihari, R. Muthukrishnan, (1991) , "An expert system methodology for aircraft gate assignment", Computer & Industrial Engineering, Vol.21, No.1-4,PP.101-105.
- [31] K. Srihari, Y.Y. Su, (1993), "A knowledge based aircraft gate assignment advisor", Computer & Industrial Engineering, Vol.25, Nos 1-4, PP.123-126.
- [32] S.G. Hassounah, (1986) , "Microcomputer Simulation aids gate assignment " , Airport forum, No.5, PP.66-70.
- [33] Y. Cheng, (1997) , "A knowledge-based airport gate assignment system integrated with mathematical programming", Computers & Industrial Engineering , Vol.32,PP.837-852.
- [34] Y. Cheng, (1998), "Network based simulation of aircraft at gates in airport terminals", Journal of Transportation Engineering, Vol.124, PP.188-196.
- [35] Y. Cheng, (1998), "A rule-based reactive model for the simulation of aircraft on airport gates", Knowledge-based system, Vol.10,PP.225-236.
- [36] Y. Cheng, (1998) , "Solving Push-out conflicts in apron taxiway of airport by a network-based simulation", Computers & Industrial Engineering, Vol.34,PP.351-369.
- [37] Sh. Yan, Ch. Shieh and M. Chen, (2002) , "A simulation framework for evaluating

- airport gate assignments", Transportation Research Part A, Vol.36, PP.885-898.
- [38] Y. Gu, A. Chung, (1999), "Genetic algorithm approach to aircraft gate reassignment problem", Journal of Transportation Engineering, Vol.125, No.15, PP.384-389.
- [39] Y. Nikulin, A. Drexl, (2009), "Theoretical aspect of multicriteria flight gate scheduling: deterministic and fuzzy models", Springer Science.
- [40] U. Dorndorf, (2002), "Project scheduling with time windows: from theory to applications. ", Physical-Verlag, Heidelberg-New York.
- [41] Y. Nikulin, (2006), "Robustness in Combinatorial Optimization and scheduling Theory: An extended Annotated Bibliography", Manuskripte aus den instituten für Betrieb swirtschaftslehre der, No.606, Christian Albrechts-Universität zu Kiel.
- [42] C. Agbokou, (2004), "Robust airline schedule Planning :Review and Development of Optimization Approaches", Fulfillment of the Requirement for the Master of Science Degree in transportation, Massachusetts Institute of Technology.
- [43] A. Lim, F. Wang, (2005), "Robust airport gate assignment", Proceeding of the 17th IEE international conference on tools with artificial intelligence.
- [44] J. Bisschop, M. Roelofs, (2006), "AIMMS", Paragon Decision Technology B.V.
- [45] S. Yan, C. Chang, (1998), "A network model for gate assignment", Journal of Advanced Transportation, Vol.32, PP.176-189.
- [46] Website: <http://www.ketabeavval.ir/Tehran/2379.aspx>
- [47] D. Crocker, (2007), "Dictionary of Aviation", A&C Black Publishers Ltd, 38 Soho Square, London W1D 3HB.
- [۴۸] برازجانی سکینه، (۱۳۸۰)، «حل مسئله تخصیص مجدد ورودی‌ها در فرودگاه‌ها»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.
- [۴۹] حسن‌آبادی محمدحسین، (۱۳۸۱)، «حل و تجزیه تحلیل مسئله تخصیص هواپیماها به گیت‌های فرودگاه در شرایط عدم قطعیت»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، ایران.
- [۵۰] شرکت مادر تخصصی فرودگاه‌های کشور، مرداد (۱۳۸۸)، جداول زمانبندی پروازهای

خروجی فرودگاه بین المللی مهرآباد، تهران.

پیوست

– تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۲ تفکیک بازه‌های زمانی، ۱۵ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۱)

[۴ و ۸]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F2	F8	F1	F6	F5
F4	F13	F3	F12	F10
F9	F18	F7	F17	F16
F11		F14		
F15				
540	504	542	536	496

جدول (۲)

[۸ و ۱۲]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F20	F25	F21	F19	F24
F22	F29	F27	F23	
F26		F28		
324	276	384	276	280

جدول (۳)

[۱۶ و ۱۲]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F33	F30	F32	F34	F39
F36	F31	F35	F37	
F38				
324	276	276	266	280

جدول (۴)

[۲۰ و ۱۶]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F48	F41	F40	F43	F42
F49	F50	F44	F52	F45
F51		F46		F47
384	336	384	266	384

جدول (۵)

[۲۴ و ۲۰]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F53	F57	F55	F54	F56
	F59	F60	F58	
280	276	276	276	168

– تخصیص گیت‌ها به پروازها در ترمینال ۲، ۱۵ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۶)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F2	F8	F1	F6	F5
F4	F13	F3	F12	F10
F9	F18	F7	F17	F16
F11	F25	F14	F19	F24
F15	F29	F21	F23	F39
F20	F30	F27	F34	F42
F22	F31	F28	F37	F45
F26	F41	F32	F43	F47
F33	F50	F35	F52	F56
F36	F57	F40	F54	
F38	F59	F44	F58	
F48		F46		
F49		F55		
F51		F60		
F53				
1852	1668	1862	1620	1608

– تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در ترمینال ۲، ۱۵ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۷)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5
F2	F8	F1	F9	F5
F4	F13	F3	F12	F10
F11	F18	F7	F17	F16
F15	F25	F14	F19	F24
F20	F29	F21	F23	F39
F22	F31	F27	F34	F42
F26	F37	F28	F43	F45
F33	F41	F30	F52	F47
F36	F50	F32	F54	F49
F38	F57	F35	F58	F56
F48	F59	F40		
F49		F44		
F51		F46		
F53		F55		
		F60		
1576	1658	2030	1412	1776

– نتایج حاصل از تخصیص گیت ترمینال ۲ توسط نرم افزار Aimms 3.9

جدول (۸)

T2 Assignment 15Min	Value
Constraints	9061
Variables	337
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	58030753
Nodes	7091462
Best Solution	1914
Solving Time	4991.81 Sec (1:38)Min
Total Time	4995.88 Sec
Memory Used	673.6 Mb
Memory Free	1496.7 Mb

جدول (۹)

T2 Reassignment 15Min	Value
Constraints	9071
Variables	901
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	4
Nodes	0
Best Solution	7
Solving Time	0.05 Sec
Total Time	2.81 Sec
Memory Used	83.2 Mb
Memory Free	2077.0 Mb

– تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۲ به تفکیک بازه‌های زمانی، ۳۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۱۰)

[۴ و ۸]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F10	F2	F1	F3	F7	F5	F8	F9
F14	F6	F4	F13	F18	F12	F15	F17
	F16	F11					
216	374	374	276	276	388	276	378

جدول (۱۱)

[۸ و ۱۲]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F25	F20	F22	F26	F23	F24	F19	F21
	F29	F28				F27	
280	276	276	108	108	280	276	108

جدول (۱۲)

[۱۲ و ۱۶]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F33	F31	F34	F32	F36	F39	F35	F30
	F37					F38	
108	266	108	168	108	280	216	168

جدول (۱۳)

[۱۶ و ۲۰]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F41	F42	F40	F43	F50	F52	F47	F45
F44		F49	F46				F51
F48							
384	168	336	216	168	158	108	216

جدول (۱۴)

[۲۴ و ۲۰]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F57	F53	F59	F60	F58	F56	F55	F54
108	280	168	168	168	168	108	108

- تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۲، ۳۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۱۵)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F10	F2	F1	F3	F7	F5	F8	F9
F14	F6	F4	F13	F18	F12	F15	F17
F25	F16	F11	F26	F23	F24	F19	F21
F33	F20	F22	F32	F36	F39	F27	F30
F41	F29	F28	F43	F50	F52	F35	F45
F44	F31	F34	F46	F58	F56	F38	F51
F48	F37	F40	F60			F47	F54
F57	F42	F49				F55	
	F53	F59					
1156	1364	1262	936	828	1274	984	978

- تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در ترمینال ۲، ۳۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۱۶)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F10	F2	F1	F3	F7	F5	F8	F1
F14	F6	F4	F13	F18	F12	F15	F9
F25	F20	F11	F26	F23	F24	F19	F17
F33	F29	F16	F32	F36	F39	F27	F21
F41	F31	F22	F43	F50	F52	F35	F30
F44	F37	F28	F46	F58	F56	F38	F45
F48	F42	F34	F60			F47	F51
F57	F53	F40				F55	F54
		F49					
		F59					
1156	1256	1212	936	828	1274	984	1136

- نتایج حاصل از تخصیص گیت در ترمینال ۴ توسط نرم افزار Aimms 3.9

جدول (۱۷)

T2 Assignment 30Min	Value
Constraints	14589
Variables	535(528 integer)
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	1613608
Nodes	261915
Best Solution	1444
Solving Time	5383.59 Sec (1:50) Min
Total Time	5390.22 Sec
Memory Used	92.2Mb
Memory Free	2056.2 Mb

جدول (۱۸)

T2 Reassignment 30Min	Value
Constraints	14677
Variables	1441(480 integer)
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	3
Nodes	0
Best Solution	4
Solving Time	0.08 Sec
Total Time	6.45 Sec
Memory Used	95.0 Mb
Memory Free	2052.0 Mb

– تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۴ به تفکیک بازه‌های زمانی، ۲۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۱۹)

[۸ و ۴]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F1	F2	F11	F5	F7	F14	F3	F4
F6	F15	F16	F10	F18	F19	F13	F8
F9			F17			F20	F12
382	392	382	367	349	370	374	356

جدول (۲۰)

[۸ و ۱۲]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F23	F25	F21	F32	F26	F24	F34	F22
F27	F29		F36	F35	F33	F38	F28
F30				F37			F31
310	284	263	293	310	292	284	292

جدول (۲۱)

[۱۲ و ۱۶]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F41	F45	F42	F44	F43	F39	F46	F40
F52	F29	F50	F47			F49	F51
		F53	F48				
310	284	263	293	310	292	284	292

جدول (۲۲)

[۲۰ و ۱۶]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F57	F54	F64	F59	F56	F55	F60	F66
F61	F58	F71	F63	F62	F65	F70	F72
			F73	F68		F74	
284	520	393	402	556	523	368	381

جدول (۲۳)

[۲۰ و ۲۴]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F76	F80	F79	F85	F77	F78	F82	F4
F86		F84		F83			
381	175	192	185	236	164	118	263

- تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۴، ۲۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۲۴)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F1	F2	F11	F5	F7	F14	F3	F4
F6	F15	F16	F10	F18	F19	F13	F8
F23	F25	F21	F17	F26	F24	F20	F12
F27	F29	F42	F32	F35	F33	F34	F22
F30	F45	F50	F36	F37	F39	F38	F28
F41	F54	F53	F44	F43	F55	F46	F31
F52	F58	F64	F47	F56	F65	F49	F40
F57	F67	F71	F48	F62	F69	F60	F51
F61	F75	F79	F59	F68	F78	F70	F66
F76	F80	F84	F63	F77		F74	F72
F86			F73	F83		F82	F81
			F85				
1537	1589	1584	1601	1569	1534	1382	1629

- تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در ترمینال ۴، ۲۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۲۵)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F1	F2	F6	F5	F7	F14	F3	F4
F9	F15	F16	F10	F11	F19	F8	F12
F23	F25	F21	F17	F18	F24	F13	F22
F27	F29	F42	F32	F26	F33	F20	F28
F30	F45	F50	F36	F35	F39	F34	F31
F41	F58	F53	F44	F37	F55	F38	F40
F52	F67	F64	F47	F43	F69	F46	F51
F57	F75	F71	F48	F56	F78	F49	F66
F61	F80	F84	F59	F62		F60	F72
F65			F63	F68		F70	F81
F76			F73	F77		F74	F82
F86			F85	F83			
1676	1469	1292	1795	1733	1349	1382	1629

- نتایج حاصل از تخصیص گیت در ترمینال ۴ توسط نرم افزار Aimms 3.9

جدول (۲۶)

T4 Assignment 20Min	Value
Constraints	28535
Variables	743
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	53197246
Nodes	3845567
Best Solution	1721
Solving Time	12731.73Sec (3:53)Min
Total Time	12746.77 Sec
Memory Used	642.8 Mb
Memory Free	1505.8 Mb

جدول (۲۷)

T4 Reassignment 20Min	Value
Constraints	30751
Variables	2065(688 integer)
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	21
Nodes	0
Best Solution	14
Solving Time	0.16 Sec
Total Time	12.97 Sec
Memory Used	95.9 Mb
Memory Free	2086.7 Mb

– تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۴ به تفکیک بازه‌های زمانی، ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۱۹)

[۴ و ۸]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F4	F5	F2	F1	F11	F14	F3	F6
F8	F10	F15	F7	F17	F19	F13	F16
F12	F18		F9			F20	
356	367	392	392	339	370	374	382

جدول (۲۰)

[۸ و ۱۲]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F27	F30	F25	F23	F26	F21	F22	F24
F29	F36	F34	F28	F32		F31	F38
			F35	F37		F33	
282	293	284	310	310	263	292	294

جدول (۲۱)

[۱۲ و ۱۶]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F41	F46	F43	F45	F39	F44	F40	F50
F48	F47	F52	F51	F42	F49		F53
292	238	278	292	303	236	263	236

جدول (۲۲)

[۲۰ و ۱۶]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F54	F56	F59	F57	F64	F55	F62	F66
F60	F63	F61	F65	F67	F58	F71	F69
F74	F75	F73	F68	F72	F70		
414	446	412	433	411	402	436	437

جدول (۲۳)

[۲۴ و ۲۰]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F79	F86	F76	F78	F85	F80	F81	F77
F83		F84					F82
192	263	236	164	185	175	263	236

– تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۴، ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۲۴)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F4	F5	F2	F1	F11	F14	F3	F6
F8	F10	F15	F7	F17	F19	F13	F16
F12	F18	F25	F9	F26	F21	F20	F24
F27	F30	F34	F23	F32	F44	F22	F38
F29	F36	F43	F28	F37	F49	F31	F50
F41	F46	F52	F35	F39	F55	F33	F53
F48	F47	F59	F45	F42	F58	F40	F66
F54	F56	F61	F51	F64	F70	F62	F69
F60	F63	F73	F57	F67	F80	F71	F77
F74	F75	F76	F65	F72		F81	F82
F79	F86	F84	F68	F85			
F83			F78				
1536	1607	1602	1591	1548	1446	1628	1585

– تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در ترمینال ۴، ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۲۵)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8
F8	F5	F15	F4	F11	F14	F3	F6
F12	F10	F25	F7	F17	F19	F13	F16
F27	F18	F34	F9	F26	F21	F20	F24
F29	F30	F43	F23	F32	F44	F22	F38
F41	F36	F52	F28	F37	F49	F31	F50
F48	F46	F61	F35	F39	F55	F33	F53
F54	F47	F68	F45	F42	F58	F40	F66
F60	F56	F73	F51	F64	F70	F62	F69
F74	F59	F76	F57	F67	F80	F81	F77
	F63	F84	F65	F72		F83	F82
	F75		F71	F85			
	F79		F78				
	F86						
1226	2093	1440	1653	1548	1446	1528	1585

– نتایج حاصل از تخصیص گیت در ترمینال ۴ توسط نرم افزار Aimms 3.9

جدول (۳۵)

T4 Assignment Mix	Value
Constraints	1495
Variables	743(736 integer)
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	151517697
Nodes	9349051
Best Solution	1714
Solving Time	13579.04 Sec (3:46)hr
Total Time	13580.18 Sec (3:50)hr
Memory Used	1213.0 Mb
Memory Free	3789.8 Mb

جدول (۳۶)

T4 Reassignment Mix	Value
Constraints	2623
Variables	2065(688 integer)
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	10
Nodes	0
Best Solution	14
Solving Time	0.02 Sec
Total Time	5.88 Sec
Memory Used	82.2 Mb
Memory Free	4096.0 Mb

– تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۴ به تفکیک بازه‌های زمانی، ۳۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۲۸)

[۴ و ۸]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F3	F8	F7	F11	F6	F4	F1	F5	F2	F9
F13	F16	F12	F20	F15	F17	F14	F18	F10	F19
274	336	294	264	338	293	285	293	292	303

جدول (۲۹)

[۸ و ۱۲]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F31	F29	F25	F27	F21	F28	F30	F22	F24	F23
F34		F32	F33		F38	F35	F26	F37	F36
220	164	238	236	263	238	236	236	248	249

جدول (۳۰)

[۱۶ و ۱۲]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F39	F45	F44	F52	F41	F46	F53	F43	F42	F40
		F49		F51	F50		F47		F48
185	218	236	160	248	238	118	236	118	381

جدول (۳۱)

[۲۰ و ۱۶]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F61	F45	F44	F64	F57	F54	F59	F60	F58	F55
F74		F49	F68	F66	F71	F67	F70	F69	F65
						F72	F75		
348	338	328	349	337	338	354	312	338	349

جدول (۳۲)

[۲۴ و ۲۰]

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F77	F79	F82	F81	F78	F86	F80		F85	F76
F84	F83								
236	192	118	263	164	263	175	0	185	118

- تخصیص پروازها به گیت‌های ترمینال ۴، ۳۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۳۳)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F3	F8	F7	F11	F6	F4	F1	F5	F2	F9
F13	F16	F12	F20	F15	F17	F14	F18	F10	F19
F31	F29	F25	F27	F21	F28	F30	F22	F24	F23
F34	F45	F32	F33	F41	F38	F35	F26	F37	F36
F39	F62	F44	F52	F51	F46	F53	F43	F42	F40
F61	F73	F49	F64	F57	F50	F59	F47	F58	F48
F74	F79	F56	F68	F66	F54	F67	F60	F69	F55
F77	F83	F63	F81	F78	F71	F72	F70	F85	F65
F84		F82			F86	F80	F75		F76
1263	1248	1214	1272	1350	1370	1168	1077	1181	1440

- تخصیص مجدد گیت‌ها به پروازها در ترمینال ۴، ۳۰ دقیقه زمان اشغال گیت

جدول (۳۴)

Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6	Gate7	Gate8	Gate9	Gate10
F3	F8	F7	F11	F6	F4	F1	F5	F2	F9
F13	F16	F12	F20	F21	F15	F14	F18	F10	F19
F17	F29	F25	F27	F41	F28	F30	F22	F24	F23
F31	F45	F32	F33	F51	F38	F35	F26	F37	F36
F34	F62	F44	F52	F57	F46	F59	F43	F42	F40
F39	F79	F49	F53	F66	F50	F67	F47	F58	F48
F61		F56	F64	F74	F54	F80	F60	F65	F55
F73		F63	F68	F78	F71		F70	F69	F72
F77		F82	F81		F86		F75	F85	F76
F84									F83
1384	1010	1214	1390	1350	1369	932	1077	1366	1451

نتایج حاصل از تخصیص گیت در ترمینال ۴ توسط نرم افزار Aimms 3.9

جدول (۳۵)

T4 Assignment 30Min	Value
Constraints	36307
Variables	972(920 integer)
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	110334869
Nodes	3106944
Best Solution	1481
Solving Time	20103.31 (5:58)Min
Total Time	20124.72 Sec (5:59 Min)
Memory Used	708.2 Mb
Memory Free	1227.5 Mb

جدول (۳۶)

T4 Reassignment 30Min	Value
Constraints	38457
Variables	2581(860 integer)
Model Type	MIP
Direction	Minimize
Solver	CPLEX 11.2
Iterations	21
Nodes	0
Best Solution	16
Solving Time	0.19 Sec
Total Time	20.17 Sec
Memory Used	100.2 Mb
Memory Free	2082.0 Mb

« واژه‌نامه فارسی به انگلیسی »

Adjacent Gate	گیت مجاور
Aircraft Capacity	ظرفیت هواپیما
Airline	خط / شرکت هواپیمایی
Airport	فرودگاه
Air Transportation	حمل و نقل هوایی
Arrival Time	زمان ورود
Assignment	تخصیص
Aviation	هوایی / هواپیمایی
Boundary Constraint	محدودیت‌های مرزی
Buffer Time	زمان بافر
Connecting Flight	پروازهای اتصالی
Crew Scheduling	زمانبندی خدمه
Departure Time	زمان عزیمت
Destination	مقصد
Disruption	اختلال
Domestic Flight	پروازهای داخلی
Departing Passenger	مسافران در حال عزیمت
Entering Passenger	مسافران در حال ورود
Efficiency	کارایی
Fleet	ناوگان
Flight Table	جدول پرواز
Gate	گیت / دروازه
Gate Assignment Problem	مسئله تخصیص گیت
Gate Conflict	تداخل گیت
Gate Reassignment Problem	مسئله تخصیص مجدد گیت
Gate Scheduling Problem	مسئله برنامه‌ریزی گیت
Input Data	داده‌های ورودی
Jetway	پل هوایی حفاظت شده

Mix Integer Programming	برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته
Overlap	سرریز
Optimization	بهینه‌سازی
Peak	پیک
Practical Constraint	محدودیت‌های کاربردی
Prohibiting of Flight	پروازهای ممنوع
Push Out	عملیات خروج
Runway	باند فرودگاه
Robustness	استواری
Taxiway	تاکسی‌وی
Time Window	پنجره زمانی
Time Table	جدول زمانی

Thesis Content Index

Surname: Khatibi	Name: Sanaz
Title of Thesis: Optimizing airport gates scheduling	
Supervisor(s): Dr. S.A. MirHassani Examiner(s): Dr. J. Mehri Tekmeh	Advisor(s): Dr. D. Behbudi
Degree: Master Major: Systems & Industrial Engineering	Field: Operation Research
Higher Education Institution: Alghadir - Tabriz Pages: 117	Graduation date: 2010/02/18
Keywords: Air transportation, Airport gate scheduling, Gate assignment problem, Gate reassignment problem, Mix-integer-programming	
JEL Codes: C61, L93, R40	
<p>Abstract (in English):</p> <p>Gate assignment is a key activity in airport operations that is proposed as an optimization problem. The main purpose of this problem is to find an assignment for the flights arriving and departing while satisfying a set of constraints. Studies shows that the gate assignment tables has been used to minimize the gate flights delay, the passengers walking distance, or maximize the gate efficiency and productivity. But the occurrence of unwanted events such as delay, bad weather conditions and equipment failures can cause potential interference to this program. Minimizing the consequences has led the researchers to develop the reassignment models.</p> <p>In this thesis, we consider the Gate Scheduling Problem where the number of flights exceeds the number of gates available. The related literature has been reviewed. Two new Mixed-Integer-Programming (MIP) formulations of the gate assignment problem and gate reassignment problem are presented. In the first model (GAP) the aim is minimizing the total passengers overcrowding on gates, and the motivation for the second model (GRP) is minimizing the absolute deviation of the new gate assignment from a so-called reference schedule. To test the models performance in actual operations, a case study related to Mehrabad International Airport was performed. The data and numerical result has been reported.</p>	



Ministry of Science, Research and Technology

ALGHADIR

Non-Governmental and Private Higher Education Institution

Thesis for receiving MSc. degree in:

Major: Systems & Industrial Engineering

Field: Operation Research

Title:

Optimizing airport gates scheduling

Supervisor: Dr. S. A. MirHassani

Adviser: Dr. D. Behbudi

Researcher:

Sanaz Khatibi

Tabriz

Feb 2010