ارائهٔ مدل ریاضی برای بهینه‌سازی شبکهٔ پرواز بر مبنای معیارهای چندگانه*

نوشتهٔ دکتر منصور مؤمنی

چکیده

این مقاله مبتنی بر مطالعهٔ گسترده‌ای است که برای بهبود شبکهٔ پرواز یکی از شرکتهای هواپیمایی داخلی صورت گرفته است. در بعضی از پروازهای شرکت مزبور ضریب صندلی اشغال شده در سطح پایینی بود. همچنین متوسط پرواز روزانه هواپیماها با توجه به کثرت تقاضا برای خدمات هوایی می‌توانست افزایش یابد. مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی شبکهٔ پرواز شامل سه مرحله بود: اصلاح شبکه، زمانبندی پروازها و اصلاح مجدد شبکه و ارائهٔ مدل ریاضی. اصلاح شبکه به روشی تجربی صورت گرفت. برای زمانبندی پروازها و اصلاح مجدد شبکه روشی ابتکاری طراحی شد. پس از آن مدلی ریاضی برای تخصیص هواپیماها به مسیرها طراحی شد. این مدل، مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک چند هدفه بود (MODM). دو هدف مدل حداکثر کردن مجموع مسافر/ مایل و حداکثر کردن مجموع سود ناشی از تخصیص هواپیماها به مسیرها بود. مدل توانست در هدف اول ۸/۵۶ درصد و در هدف دوم ۹/۱۵ درصد بهبود حاصل کند.

مقدمه

اساس پیشرفت علوم و تکنولوژی بر این عقیده استوار است که همواره می‌توان روشی بهتر برای انجام کار ارائه کرد. براساس این عقیده و با توجه به مرور پژوهشهای قبلی در زمینهٔ طراحی شبکه، زمانبندی پرواز، و تخصیص هواپیماها به مسیرها و جمع‌آوری اطلاعات از یکی از شرکتهای هواپیمایی داخلی [1]، از یک سو سعی در توسعهٔ مدلهای قبلی شد و از سوی دیگر تلاش شد تا مدلی برای بهبود شبکهٔ پروازهای هر شرکت هواپیمایی داخلی با توجه به قابلیتها و محدودیتهای آن ارائه شود.

شرکت مورد نظر یکی از شرکتهای هواپیمایی کشور است و به علت وسعت شبکهٔ پروازی آن، هر نوع بهبودی در عملیاتش می‌توانست واجد اهمیت باشد. اساس کار این تحقیق استفادهٔ بهینه از امکانات فعلی شرکت بود، به عبارت دیگر قصد بر آن بود که طرح و مدلی پیشنهاد شود که شرکت بتواند حداکثر استفاده را از امکانات موجود بکند.

تعریف مسئله

مسئله‌ای را که شرکت مورد نظر در شبکهٔ پرواز و عملیات خود با آن مواجه بود می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

۱ - بعضی از پروازها ضریب صندلی اشغال شده [2] پایینی

داشت؛

۲ ـ بعضی از هواپیماها ـ بجز هواپیمای پشتیبان[۳] و در حال تعمیر ـ در ساعاتی از روز بلااستفاده بود در صورتی که می‌شد برای این ساعات، پروازهایی را برنامه‌ریزی کرد.

چون بنا به نظر مسئولان شرکت، تنها ۶۰ درصد از تقاضای مسافران را شرکتهای هواپیمایی می‌توانند برآورده کنند، وجود پروازهایی با ضریب صندلی اشغال شده پایین[۴] (کمتر از ۸۵ درصد) توجیه‌پذیر نیست. درست است که متوسط ضریب اشغال صندلی پروازهای داخلی نسبت به معیار بین‌المللی بالاست و شرکتهای خارجی معمولاً برای مسیرهایی که این ضریب به بیش از ۷۰ درصد برسد پرواز جدیدی را برنامه‌ریزی می‌کنند، ولی این روش در پروازهای داخلی کشورمان درست نیست، چرا که در کشورهای پیشرفته برای خدمات هوایی کثرت تقاضا به اندازهٔ کشور ما نیست.

وجود هواپیماهای بلااستفاده نیز می‌تواند مسئله تلقی شود. شرکتهای هواپیمایی برای اطمینان از انجام پروازهای خود، برای هر نوع هواپیما، یک هواپیمای پشتیبان (بجز هواپیماهای در حال تعمیر) در نظر می‌گیرند و از بقیهٔ هواپیماهای آن نوع استفاده می‌کنند. استفاده یا عدم استفاده از هواپیماهای موجود، استهلاک هواپیما ـ هزینهٔ ثابت ـ را به دنبال خواهد داشت. وجود مقاطع متعددی از زمان که بتوان پروازی را برای آن هواپیما برنامه‌ریزی کرد حکایت از آن دارد که می‌توان ساعت بهره‌برداری از هواپیماهای موجود را بالا برد. گفتنی است که متوسط ساعت استفادهٔ انواع هواپیماهای کوچک بدنه ـ که در پروازهای داخلی عمدتاً از آنها استفاده می‌شود ـ در حد معیارهای بین‌المللی است. ولی باید به این نکته توجه کرد که ساعت پروازهای داخلی شرکت مورد مطالعه در بعضی موارد از ۴:۳۰ بامداد شروع می‌شود و تا ساعت ۱:۳۰ بامداد ادامه دارد. در نتیجه وسعت دامنهٔ پرواز به افزایش و همسطح شدن متوسط ساعت استفاده از انواع هواپیماها با معیارهای بین‌المللی منجر شده است. حتی اگر میزان ساعت پرواز هواپیماهای شرکت از معیارهای بین‌المللی بالاتر باشد، به دلیل کثرت تقاضا و هزینهٔ ثابت استهلاک، باز هم وجود هواپیماهای بلااستفاده نمی‌تواند موجه تلقی شود.

در این تحقیق، برای تمرکز بیشتر، تنها شبکهٔ پروازهای داخلی شرکت مورد بررسی قرار گرفت. البته هواپیماهای کوچک بدنه ـ که در شبکهٔ داخلی پرواز می‌کنند ـ در بعضی از پروازهای خارجی به کشورهای همسایه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند که در مدل ارائه شده تغییر نیافته‌اند.

ارائهٔ مدل

در این قسمت به تشریح مدل ارائه شده می‌پردازیم.

کار بهبود شبکه به سه مرحله تقسیم شد:

مرحلهٔ اول ـ اصلاح شبکه

مرحلهٔ دوم ـ زمانبندی پروازها و اصلاح مجدد شبکه

مرحلهٔ سوم ـ ارائهٔ مدل ریاضی

۱. اصلاح شبکه

قبلاً گفته شد که ضریب اشغال صندلی بعضی از پروازها پایین است. مثلاً متوسط ضریب اشغال صندلی در مسیرهایی ۵۲ درصد بود. طی جلسه‌های متعددی که با کارشناسان و مسئولان قسمتهای مختلف برنامه‌ریزی پرواز، برنامه‌ریزی ناوگان، واحد ارزیابی فنّی ـ اقتصادی و... به عمل آمد، اتّفاق نظر حاصل شد که پروازهایی با ضریب صندلی اشغال شدهٔ کمتر از ۸۵ درصد قابل بررسی و تجدید نظر است. بنابراین، جهت اصلاح شبکه، ضریب ۸۵ درصد اساس کار قرار گرفت و بنا شد که در مورد بعضی پروازها

یکی از راههای زیر انتخاب شود:

الف) حذف پرواز

ب) کاهش تعداد پرواز هفتگی

ج) تبدیل پرواز مستقیم به غیرمستقیم

اصلاح شبکه با توجّه به مورد (الف) تقریباً غیرممکن بود، زیرا مسائل مختلفی به دنبال داشت. اصلاح شبکه با توجّه به مورد (ب) در صورتی ممکن بود که برای یک شهر چندین پرواز مختلف وجود داشت. کاهش پرواز مسیرها با توجه به نظر کارشناسان صورت گرفت. همچنین، برای بعضی از مسیرها که به دلیل محدود بودن تعداد پروازها، امکان کاهش تعداد پرواز هفتگی وجود نداشت، پروازهای مستقیم به غیرمستقیم تبدیل یافت. بعضی از مسیرها، که امکان هیچ یک از تغییرات (الف)، (ب)، و (ج) در آنها میسر نبود، دست نخورده ماندند.

۲. زمانبندی پروازها و اصلاح مجدد شبکه

در این مرحله توالی پرواز برای هر هواپیما در هر روز مشخص شد. شرکت جدولهایی (Time Table) داشت که تمام پروازهای روزانهٔ هر هواپیما در آن مشخص می‌شد. جدولهای مذکور ـ برحسب آنکه به نیمسال اول یا دوم سال مربوط باشد ـ به جدول تابستانی یا زمستانی معروف است. اِشکال کار این جدولها، که به صورت دستی تهیه شد، آن بود که زمانهای بلااستفاده هر نوع هواپیما در هر روز مشخص نبود. برای مشخص کردن زمانهای بلااستفاده و توالی مناسبت پرواز هر هواپیما از نرم‌افزار SCHEDULING[5] استفاده شد. در صورتی که زمان بلااستفاده از زمان لازم برای یک پرواز ـ زمان رفت، زمان برگشت، و زمان زمینی[6] ـ بیشتر بود برنامه‌ریزی برای آن زمان امکان‌پذیر بود. برای استفاده از زمانهای خالی، ابتدا ضریب‌اشغال صندلی مسیرهای شلوغ(مسیرهایی‌باباالاترین ضریب اشغال صندلی) مشخص و مقّرر گردید زمانهای بلااستفاده به این مسیرها تخصیص یابد. برای زمانبندی پروازها برای زمانهای بلااستفاده روشی ابتکاری طراحی شد که در جدول شمارهٔ یک آورده شده است.

جدول ۱. گامهای روش ابتکاری زمانبندی پروازها برای زمانهای بلااستفاده

گام ۱. زمانهای بلااستفاده هر هواپیما را در هر روز (Id‌ها) با نرم‌افزار SCHEDULING مشخص کن.

گام ۲. مسیر پروازهای موجود (R_{ij}) را به ترتیب نزولی ضریب اشغال صندلی مرتب کن.

گام ۳. تعداد پروازهای پیشنهادی هر مسیر (N_{ij}) را همراه با زمان لازم (T_{ij}) ـ زمان رفت، زمان برگشت، ۲ برابر زمان زمینی ـ دریافت کن.

گام ۴. اوّلین مسیر ij (مسیر با بزرگترین ضریب اشغال صندلی را در نظر بگیر.

گام ۵. کمترین زمان بلااستفاده (Min Id) را در نظر بگیر. اگر زمان بلااستفاده وجود ندارد توقف کن.

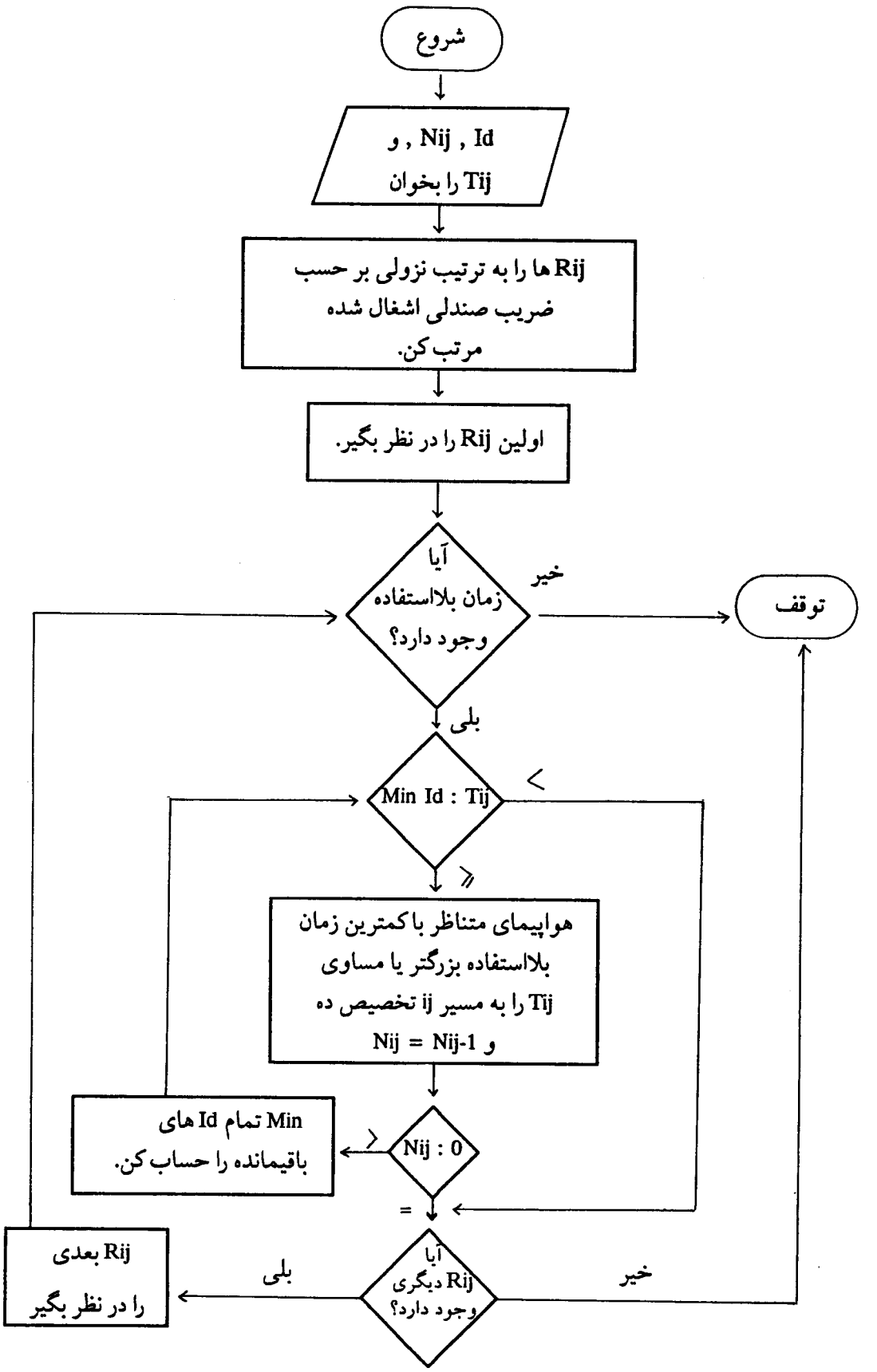
گام ۶. کمترین زمان بلااستفاده بزرگتر یا مساوی T_{ij} را در نظر بگیر. (اگر دو یا چند کمترین زمان بلااستفاده بزرگتر یا مساوی T_{ij} وجود داشت یکی را در نظر بگیر) اگر چنین زمانی وجود نداشت به گام ۹ برو، در غیر این صورت به گام ۷ برو.

گام ۷. هواپیمای متناظر با کمترین زمان بلااستفاده بزرگتر یا مساوی T_{ij} را به مسیر ij تخصیص ده و یک واحد از N_{ij} کم کن.

گام ۸. اگر $N_{ij} = O$ است به گام ۹ برو در غیر این صورت به گام ۶ برو.

گام ۹. مسیر ij بعدی را در نظر بگیر و به گام ۵ برو. در صورتی که مسیری وجود ندارد توقف کن.

با توجه به گامهای ذکر شده، فلوچارت روش ابتکاری به صورت نمودار شمارهٔ ۱ خواهد بود.



نمودار ۱. فلوچارت روش ابتکاری زمانبندی پروازها برای زمانهای بلااستفاده

۳. ارائهٔ مدل ریاضی

پس از اصلاح شبکه و استفاده از زمانهای بلااستفاده هواپیماها، زمان آن فرا رسید که مدل تخصیصی برای تخصیص هواپیماها به مسیرها ارائه شود. مدل تخصیصی باید به نحوی توسعه داده می‌شد که ضمن رعایت محدودیتهای موجود، دو معیار مجموع مسافر/ مایل جا به جا شده و مجموع سود هواپیماها را حداکثر کند.

از آنجا که متغیرهای تصمیم می‌توانستند یکی از دو مقدار صفر یا یک را اختیار کنند، بنابراین، مدل پیشنهادی مدل صفر و یک خطی چند هدفه بود[۷]. دو تابع هدف مدل، حداکثر کردن مجموع مسافر/ مایل جا به جا شده و مجموع سود هواپیماها بودند. متغیرهای تصمیم در مدل، تخصیص هواپیمای نوع i در روز j در مسیر k بود. پس از تعریف متغیرهای تصمیم و تعیین توابع هدف، محدودیتهای مدل مشخص شدند. این محدودیتها عبارت بودند از: محدودیتهای نیاز هر مسیر به یک نوع هواپیما، محدودیتهای تعداد موجود از هر نوع هواپیما، و محدودیتهای حداکثر ساعت پرواز انواع هواپیماها. مدل پیشنهادی به صورت زیر بود.

$$\text{Max} \quad \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} PM_{ijk}X_{ijk} \ ,$$

$$\text{Max} \quad \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (R_{ijk} - C_{ijk})\, X_{ijk}$$

$$\sum_{i=1}^{I} X_{ijk} = 1, \quad j=1, 2, \ldots, J \quad , k = 1, 2 \ \ldots, K$$

محدودیتهای تعداد موجود از هر نوع هواپیما:

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ijk} = N_i, \quad i=1, 2, \ldots, I \quad , k = 1, 2 \ \ldots, K$$

محدودیتهای حداکثر ساعت پرواز انواع هواپیما:

$$\sum_{j=1}^{J} t_j X_{ijk} \leq T_i, \quad i=1, 2, \ldots, I \quad , k = 1, 2 \ \ldots, K$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ یا } 1, \quad i=1, 2, \ldots, I, \ j = 1,2,\ldots J, \ k = 1, 2 \ \ldots, K$$

که در مدل فوق چنین خواهد بود:

X_{ijk}: تخصیص هواپیماهای نوع i به مسیر j در روز k،

O: عدم تخصیص هواپیمای نوع i به مسیر j در روز k،

PM_{ijk}: مسافر/ مایل ناشی از تخصیص هواپیمای نوع i به مسیر j در روز k،

R_{ijk}: درآمد ناشی از تخصیص هواپیمای نوع i به مسیر j در روز k،

C_{ijk}: هزینهٔ ناشی از تخصیص هواپیمای نوع i به مسیر j در روز k،

I: انواع هواپیماهای موجود،

J: تعداد مسیرهای موجود،

k: روزها،

N_i: تعداد موجود از هواپیماهای نوع i،

t_i: ساعت پرواز روزانهٔ مسیر j،

T_i: حداکثر ساعت پرواز روزانه هواپیماهای نوع i.

حل مدل و تحلیل نتایج

برای حل مدل ریاضی، ابتدا دو تابع هدف مدل به

تابع واحدی تبدیل شد. این کار با تخصیص وزن[8] به هر معیار و جمع ضرایب متناظر متغیرها عملی شد. به دلیل زیاد بودن تعداد متغیرها (۲۳۱ متغیر)، مدل به هفت مدل کوچکتر (بر مبنای روزهای هفته) تقسیم و با استفاده از نرم‌افزار LINDO حل شد.

با استفاده از مدل پیشنهادی (اصلاح شبکه، زمانبندی پروازها، و مدل ریاضی) شرکت می‌توانست در معیار اول خود ـ مسافر/ مایل جا به جا شده ـ ۸/۵۶ درصد و در معیار دوم خود ـ سود ـ ۹/۱۵ درصد بهبود بخشد. همچنین به طور متوسط ساعت پرواز هواپیماها ۷/۰۴ درصد بهبود یافت.

* این مقاله بر مبنای رسالهٔ نگارنده برای اخذ درجهٔ دکتری مدیریت از دانشگاه تهران تهیه شده است.

پی‌نوشتها:

۱. از ذکر نام شرکت خودداری شده است.

2. Load Factor

3. Back -up Aircraft

۴. مسئولان و کارشناسان شرکت اتفاق نظر داشتند که ضریب صندلی اشغال شدهٔ کمتر از ۸۵ درصد، ضریب پایینی است.

۵. این نرم‌افزار در سال ۱۹۹۵ توسط شرکت فوکر تهیه شده است.

۶. منظور از زمان زمینی (Ground Time) فاصلهٔ زمانی بین نشستن هواپیما برای خروج مسافران و ورود مسافران جدید و آماده‌سازی تا پرواز هواپیماست.

7. Multi - Objective Zero-One Linear Programming

8. Weight

منابع:

1. Ceha,R., & Ohta.H., "The Evaluation of Air Transportation Network Based on Multiple ,Criterea", ***Computers Industrial Engineering***, Vol. 27, 1994.

2. Etschmaier, M.M. &. Mathaisel, D., "Airline Scheduling: An Overview", ***Transportaion Science***, Vol. 19, No.2, 1985.

3. Phillip, D.T. ,& Garcia-Dias A., ***Fundamental of Network Analysis***, Prentice- Hall, Inc. , 1981.