

اشتغالات فکری شرکت‌های هوایی

نویسنده: ژان کریستف کولیولی^۱

مترجم: هاشم مهرآذین

ویراستاران: فرج‌الله محمودی، ارسلان شادمان

مسائل سازماندهی و برنامه‌ریزی که در یک شرکت هواپیمایی مطرح است، شبیه همان مسائلی است که زمینه‌های دیگر فعالیت با آن درگیر هستند. پژوهش عملی یا تحقیق در عملیات یعنی قلمرو مورد علاقه ده‌ها هزار ریاضیدان و مهندس در دنیا، تلاش می‌کند این مسائل را به بهترین صورت ممکن حل کند.

ترابری هوایی فعالیت پیچیده‌ای است که سرمایه‌گذاری‌های سنگین (هواپیماها و تأسیسات تعمیر و نگهداری)، کارکنان کارآموده در سطح بالا (مانند کارکنان پرواز) و یک سامانه رایانه‌ای با زمان واقعی پُر هزینه (سیستم‌های ذخیره‌جا و مدیریت) را به کار می‌گیرد. هم‌چنین در این بخش رقابت بسیار فشرده است و نرخ‌های اعلام شده همیشه جوابگوی هزینه‌های لحظه‌ای نیستند. برای این که یک شرکت هواپیمایی در عین حال رقابتی و مطمئن باشد، باید به صحیح‌ترین شکل ممکن اداره شود.

برای این منظور باید در هر یک از مراحل بهره‌وری، روش‌های بهینه‌سازی اختصاصی را به کار گیرد. این روش‌های ریاضیاتی را تحت نام پژوهش عملی یا تحقیق در عملیات

^۱ Culioli, Jean-Christophe: *Les casse-tête des compagnies aériennes*, in: *L'explosion des mathématiques*, SMF et SMAI, Paris, 2002, p. 66-69

دسته‌بندی می‌کنند. این قلمرو تحت تأثیر فشار ناشی از نیازهای نظامی انگلیس و آمریکا در طول دومین جنگ جهانی با شروع به کار رایانه‌ها و روش‌های موسوم به برنامه‌ریزی خطی (شرح ذیل همین عنوان دیده شود) به ظهور رسید. از آن به بعد پژوهش عملی توسعه زیادی یافته و به طور گسترده‌ای در زندگی مؤسسات و صنعت نفوذ پیدا کرده است. با توجه به مبالغ و تجهیزات درگیر، این روش‌ها گاهی محرمانه‌اند.



یک شرکت هواپیمایی برای بهترین استفاده از ناوگان خود باید برنامه‌های تعمیر و نگهداری و برنامه‌های پرواز را به دقت تنظیم کند. کار کارکنان زمینی زائد و تعویض گروه‌های پرواز و غیره را زمان‌بندی کند. این‌ها مسائل مشکل پژوهش عملی هستند که معادلاتی با چند هزار مجهول را دخالت می‌دهند (عکس از فرانسه)

پژوهش عملی بنا به توقعی که از آن می‌رود باید بتواند مسائل مربوط به تنظیم برنامه زمانی، تعیین وظایف اختصاصی هر واحد، تنظیم مراحل ساخت و غیره را حل کند و به انجام برساند. در این مسائل تعداد زیادی متغیر و قیود دخالت می‌کنند و راه‌حل مسأله باید به بهترین صورت ممکن، یعنی بهترین هزینه، حداقل مدت یا شرایط دیگر انجام شود. یک مثال ساده از پژوهش عملی، مسأله تعیین فعالیت‌ها در یک مؤسسه با ۵۰ واحد کاری است، به طوری که به بهترین وجه ممکن یک کار معین به هر نفر از ۵۰ کارمند با توجه به قابلیت‌های هر یک اختصاص یابد. برای به دست آوردن بهترین جواب این مسأله قطعاً می‌توان همه امکانات را از نظر گذراند، هر یک را ارزیابی کرد و بعد سودمندترین آنها را انتخاب کرد. در عمل این راه‌حل کاملاً مردود است، چون باید $1 \times 2 \times 3 \times \dots \times 48 \times 49 \times 50 = 50!$ امکان را بررسی کرد. اما $50!$ عدد بسیار بزرگی است (تقریباً برابر با $10^{64} \times 3$) حتی اگر یک رایانه بتواند یک میلیارد امکان را در ثانیه بررسی کند 10^{48} سال وقت نیاز دارد تمام آنها را به اتمام برساند، یعنی زمانی خیلی

بیش از عمر تخمینی عالم (تقریباً ۱۰^{۱۰} سال).

برنامه‌ریزی خطی

برنامه‌ریزی خطی آن مسألهٔ ریاضی است که می‌خواهد مقادیر مثبت x_1, x_2, \dots, x_N را چنان بیابد که یک «هزینه» بنابر فرض به شکل $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_Nx_N$ را به حداقل برساند مشروط بر آن که c_i ها اعداد معلومی باشند و اعداد مجهول x_i مقید به قیودی باشند که به شکل معادلات خطی (به صورت $A_1x_1 + \dots + A_Nx_N = B$ با اعداد مفروض A_i ها و B که بستگی به مسألهٔ مورد بحث دارند) بیان می‌شوند.^۱ بسیاری از مسائل پژوهش عملی می‌توانند به این ترتیب بیان شوند. هرچند صورت مسألهٔ برنامه‌ریزی خطی آسان به نظر می‌رسد، اما حل آن ابداً این طور نیست، چون N یعنی تعداد مجهول‌هایی را که باید پیدا کرد، در عمل به چندین هزار می‌رسد. این مسألهٔ به ظاهر ناچیز اما با اهمیت زیاد در کاربرد طی سی سال اخیر نقطه شروع پرثمرترین تحقیقات، در بهینه‌سازی شده است. در ۱۹۴۷ ریاضیدان آمریکایی جرج دانتزیگ^۲ روش (الگوریتم) عالی سیمپلکس را پیشنهاد کرد که هنوز هم به وفور مورد استفاده است. در سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ الگوریتم‌های رقیب دیگری به وجود آمدند. سال ۱۹۸۴ در این زمینه نقطهٔ عطفی است: یک ریاضیدان جوان به نام، نارندراکارمارکار^۳ که در آمریکا کار می‌کرد روش (الگوریتم) برنامه‌ریزی خطی بسیار مؤثری به نام، (همگرایی موصوف به چندجمله‌ای) ابداع کرد. افکار زیربنای روش این ریاضیدان، جریان پژوهشی بسیار فعالی (مشهور به روش‌های نقاط داخلی) را به وجود آورد که هزاران ریاضیدان را همزمان در دنیا به تحرک درآورده است. به کمک این تلاش‌ها، در حال حاضر، تعدادی الگوریتم‌های برنامه‌ریزی خطی خیلی مؤثر در اختیار صنایع قرار دارد.

^۱ معمولاً قیود به صورت نامعادلات خطی بیان می‌شوند یعنی $(\leq B)$ را به جای $(= B)$ در نظر می‌گیرند. (و.)

^۲ George Dantzig

^۳ Narendra Karmarkar

این مثال به مهارتی از پژوهش‌های عملی نیاز دارد که بتواند چنین مسأله‌ای را به صورتی واقع‌بینانه و با محاسبه در زمانی قابل قبول حل کند. علاوه بر ابزارهای رایانه‌ای، روش‌های مختلف و متفاوت ریاضی (جبری، احتمالاتی، عددی و غیره) در طراحی این روش‌ها دخالت می‌کنند. با وجودی که بیش از پنجاه سال از پیدایش آن می‌گذرد، پژوهش عملی هنوز هم یک دانش ریاضی جوان است: از لحظه‌ای که یک روش در یک آزمایشگاه تحقیقاتی ابداع می‌شود و زمانی که، پس از گذراندن مرحلهٔ مراکز بررسی، به مراکز تولیدی می‌رسد، زمانی بیش از سه سال طول نمی‌کشد. در بخش هوایی منابع و تجهیزات درگیر چنانند که باعث ایجاد تعداد زیادی شرکت‌های مشاور و خدماتی ریاضیاتی و رایانه‌ای شده‌اند مانند گروه سابر^۱ که منشعب از تشکیلات پژوهش‌های عملی شرکت آمریکن ایرلاینز است، شرکت آدویت^۲ منشعب از آزمایشگاه ژراد^۳ (گروه مطالعات و تحقیقات در تجزیه و تحلیل تصمیم‌ها) از دانشگاه مونرآل یا شرکت‌های فرانسوی مانند اورودسیزیون^۴، ایلوگ^۵ یا کوسیتک^۶ شده‌اند.

بهینه کردن برنامهٔ پروازها، تخصیص یک وسیله به هر پرواز و کمینه کردن زمان‌های عدم تحرک (توقف روی زمین):

برای بهترین استفاده از وسایل ناوگان، یعنی مهم‌ترین ثروت یک شرکت هواپیمایی، باید از تنظیم یک برنامهٔ بهینه به منظور تعمیر و نگهداری با تعیین زمان بازدیدهای فنی کوچک و بزرگ هر هواپیما شروع کرد. یک هواپیما در زمین هیچ درآمدی ندارد، پس باید عدم تحرک هر هواپیما را با توجه به ساعات، مهارت‌های کارکنان، در دسترس بودن آشیانه‌ها به حداقل رسانید. معادلاتی که مسأله را مطرح می‌کنند، خطی نیستند و مشکلاتی به وجود می‌آورند، اما اخیراً روش‌های نسبتاً مؤثری برای حل آنها در اختیار داریم.

Sabre^۱Adopt^۲Gerad^۳Eurodecision^۴Ilog^۵Cosytech^۶



شرکت‌های هواپیمایی نا آنجا که ممکن است در جستجوی کاهش زمان توقف هواپیماهای خود در روی زمین هستند. چون یک هواپیما در زمان‌های توقف در روی زمین هیچ درآمدی عاید نمی‌کند.
(کلشه Air France)

پس از تشکیل یک شبکه، لیستی از مسیرها همراه با ساعات مربوط، به صورت تابعی از پیش‌بینی‌های مربوط به تقاضای بازار و سهم اختصاص یافته توسط یاتا (شرکت ترابری هوایی بین‌المللی)^۱ به هر شرکت، مشخص می‌کنند که چه نوع هواپیمایی (مثلاً ارباس ۳۴۰) از نظر فنی و اقتصادی برای انجام هر یک از پروازها مناسب‌ترین است. داده‌هایی که وارد برنامه بهینه‌سازی می‌شوند شامل مشخصات هواپیما (ظرفیت، کارایی) پیش‌بینی‌های مربوط به تعداد مسافریین و غیره هستند. تهیه برنامه پروازها به فنونی از بهینه‌سازی نیاز دارد که در این زمینه آمار و احتمالات و روش‌های برنامه‌ریزی خطی موسوم به برنامه‌ریزی با اعداد صحیح (که در آن مجهول‌ها اعداد صحیح‌اند) را به کار می‌گیرند.

پس از آن باید پروازها و عملیات تعمیر و نگهداری هر یک از هواپیماها را طوری به دنبال هم قرار داد که تمام شرایط عملیاتی (توالی مجاز یا غیرمجاز، مقررات تعمیر و نگهداری و غیره) با توجه به کمینه کردن نتایج احتمالی خرابی‌های فنی و تأخیرهای پیش‌بینی نشده به صورتی رضایت‌بخش انجام شوند. این مسأله بهینه‌سازی که به نام طرح چرخش هواپیماها شناخته شده به صورت یک برنامه خطی با عدد صحیح و با ابعاد بزرگ مدل‌سازی می‌شود. برای این که این مسأله به طور دقیق حل شود به کاربرد یک روش تجزیه نیاز دارد (تکوین ستون‌ها، رهاسازی لاگرانژی^۲)

^۱ IATA

^۲ relaxation lagrangienne

بالاخره برای هر چرخش هواپیما، باید مشخص کرد که دقیقاً کدام هواپیما با توجه به قیود مربوط به نگهداری هر وسیله (تعداد ساعات پرواز، تعداد دفعات نشست و برخاست قبل از بازدید و غیره) به کار گرفته خواهد شد. تنظیم جدول معمولاً به کمک تحقیقی از نوع «برنامه‌ریزی دینامیکی» حاصل می‌شود. برنامه‌ریزی دینامیکی که در سال‌های ۱۹۵۰ توسط ریچارد بلمن^۱ آمریکایی مطرح شد، مبتنی بر تجزیه مسئله تصمیم‌گیری اولیه به چند مسئله ساده‌تر است که می‌توانند یکی بعد از دیگری حل شوند (برنامه‌ریزی دینامیکی هم می‌تواند برای یافتن مسیرهای بهینه هواپیماها و هم برای تعیین سیاست‌های مالی سرمایه‌گذاری به کار رود)

مسائل طرح و برنامه‌ریزی صور متفاوتی دارند و ریاضیات زیربنای آن نیز چنین است

چون هر هواپیما یک برنامه کاملاً پیش‌بینی شده از قبل دارد، پس می‌توان کوشید تا با باز کردن یا بستن کلاس‌های رزرو بر حسب تقاضای مؤثر مشتری، عایدی مورد انتظار به حداکثر برسد. این مسئله در هواپیمایی و ترابری مسافری با راه آهن، هم چنین نزد اجاره دهندگان خودروها و زنجیره مهمانسراها خیلی کلاسیک است. طرح این عمل به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی تصادفی است که در آن باید یک درآمد F را به مفهوم احتمالی به حداکثر رسانید، یعنی با این اطلاع که F به متغیرهای تصادفی X_i بستگی دارد، امید ریاضی عایدی F را به حداکثر برسانیم (مثلاً X_i ها می‌توانند تعداد هر یک از درجات ذخیره جا با قیودی به صورت $A_1x_1 + A_2x_2 + \dots + A_Mx_M = B$ باشند که در آن B نمایشگر ظرفیت آن است).

به تمام موارد قبلی باید برنامه‌ریزی کار کارکنان زمینی (تعداد افراد و تجهیزات، همزمان‌سازی برنامه پروازها، برنامه‌ریزی پذیرش مسافری که هواپیماهایشان را در فرودگاه‌های بین راه عوض می‌کنند، هم چنین بار آنها و غیره ...) و کارکنان پرواز را با در نظر گرفتن قواعد مربوط به کار و مقررات ایمنی آنها، افزود. می‌بینیم که فعالیت یک شرکت هواپیمایی مسائل متنوع زیادی را در ارتباط با بهینه‌سازی ایجاد می‌کند که غالباً شبیه مسائل مربوط به ترابری با راه آهن یا ناوگان دریایی هستند. این مسائل مشکلند و از نقطه نظر ریاضی به کمینه یا بیشینه کردن مقادیری که تابع تعداد زیادی متغیرند (اغلب چند هزار، حتی بیشتر) مربوط می‌شوند. با وجود این، تلاش‌های پژوهش عملی ثمرات

^۱ Richard Bellman

خود را بیمار آورده‌اند، و امروز الگوریتم‌های خوبی برای اغلب وضعیت‌ها درست است. اما در این زمینه هیچ‌کس به نتایج حاصله اکتفا نمی‌کند و آرام نمی‌گیرد: چون کارایی مؤسسات تابع آن است، تحقیقات باید ادامه یابند.

ژان - کریستف کولیولی
مدیر پژوهش عملی
ارفرانس

چند مرجع

- Y. Nobert, R. Ouellet et R. Parent, *La recherche opérationnelle* (3^eéd., Gaëtan Morin, 2001).
- R. Faure, B. Lemaire et C. Picouleau, *Précis de recherche opérationnelle* (5^e éd., Dunod, 2000).
- “Air Worthy OR” dans *Operational Research and Management Science Today*, numéro de décembre 1999.
- Bulletins de la ROADEF (Association pour la Recherche Opérationnelle et l’Aide à la Décision en France, issue de la refondation de l’AFCET).

Jean-Christopher Culioli
Directeur de la recherche opérationnelle
Air France