Archive of SID

ارائه یک مدل چند منظوره برای افزایش سطح خدمت قطارها

فرید خالقیان، کارشناس ارشد، وزارت راه و ترابری، تهران، ایران
هاشم مهرآذین،استاد، دانشکده فنی ، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نمابر: ۶۴۰۳۸۰۸

چکیده

برنامه ریزی حرکت قطارها به صورت دوره ای و تناوبی انجام می شود و ازمهم ترین مسائل مربوط به بهره برداری بهینه از راه آهن است . دراین نوع برنامه ریزی معمولا به یکی از پارامترهای مربوط از قبیل ، زمان ، فاصله ، هزینه ، ظرفیت و... پرداخته می شود، اما این مسئله تابع پارامترهای متعددی است و باید با توجه به روابط بین آنها بررسی شود . لذا در این مقاله ارائه یک مدل چند منظوره به عنوان راه حل اصلی برای این نوع برنامه ریزی انتخاب شده است . در این مدل با هدف کمینه کردن هزینه بهره برداری و زمان اتلاف وقت مسافر و بار به محاسبه پارامترهای مربوط به برنامه ریزی از جمله بسامد سرویس ، برنامه توقف قطارها و حداقل تعداد قطارهای مورد نیاز پرداخته شده است . سپس کاربرد مدل در خط تهران-قم-اراک-دورود منجر به این نتیجه شده است که در سال ۱۴۰۰ حداقل به ۹ زوج قطارهای مسافری و ۱۸ زوج قطار باری برای سرویس دهی در این خط نیاز است تا سطح خدمات بهینه را از لحاظ هزینه و زمان درآن داشته باشیم .

واژه‌های کلیدی : مدل چند منظوره، بسامد سرویس، برنامهٔ توقف قطارها، تعداد قطارهای مورد نیاز

۱. مقدمه

بهره برداری بهینه از راه آهن از جمله مسائلی است که در چند سال اخیر با توجه به افزایش تقاضای بار و مسافر مورد توجه جدی قرار گرفته و در این مورد، مطالعات مختلفی انجام شده اند. از جمله یقینی در مقاله خودشناسایی گلوگاههای خطوط راه آهن را با استفاده از یک برنامهٔ نرم افزاری بررسی کرده و راه حل های مختلفی مانند احداث ایستگاه های پیش بینی شده، استفاده از علائم خودکار [چراغهای راهنمائی که فاصلهٔ بین دو ایستگاه را به فواصل کوچک تری تقسیم می‌کنند که به هر یک ازآنها بلاک اتوماتیک می گویند] و نیز دو خطه کردن بعضی از بلاکها را(فواصل بین ایستگاهها) مورد بررسی قرار داده است[۵].

تیناب نیز راه‌حل هائی برای بهبود ظرفیت خطوط راه آهن ارائه کرده و با استفاده از نرم افزار Access و وارد کردن مشخصات خط از جمله نشیب و فراز خط، تعداد و مشخصات قوس ها، فاصلهٔ ایستگاه ها و تعداد آنها و مشخصات لوکوموتیوها و قطارها، تأثیر هر یک از راه حل هارا بر ظرفیت خط مورد بررسی قرار داده است[۲].

مهرآذین و معظمی در مورد استفادهٔ بهینه از خطوط یک خطه به این نتیجه رسیده اند که در صورت کم بودن تقاضا می توان تعدادی از ایستگاه های کم اهمیت را موقتاً بست که این امر موجب افزایش سرعت متوسط قطار و در نتیجه کاهش زمان سیر آن می شود. البته این کار باید طوری صورت گیرد که بلاکهای جدید زمان سیر نسبتاً مساوی داشته باشند تا کاهش ظرفیت کمتری حاصل شود [۳]. پورسید آقائی به بررسی زمانبندی حرکت قطارها در شبکه های یک خطه راه آهن پرداخته است . فرضیات در نظر گرفته شده توسط او شامل متغیر بودن زمان شروع حرکتها، سرعت متفاوت قطارها در بلاکهای مختلف، امکان پذیرنبودن سبقت، محدود بودن ظرفیت ایستگاه های بین راه و در نظر گرفتن توقف های برنامه ریزی شده در ایستگاه های بین راهی بوده اند.

www.SID.ir

Archive of SID

این مدل علاوه بر یافتن برنامهٔ بهینه می‌تواند به عنوان ابزاری برای بررسی اثرات تغییر جدول زمانی حرکت قطارها و افزایش و کاهش تعداد قطارها مورد استفاده قرار گیرد[۱].

مهرآذین ظرفیت حمل و نقل در راه آهن و خطوط متروی شهری و قطارهای حومه را مورد مطالعه قرار داده و یادآور شده است که در خطوط راه آهن حومه می توان بر حسب مورد ۶۰۰۰۰ تا یک صد هزار مسافر را در هر جهت جابه جا کرد[٤].

Assad اکثر کارهای صورت گرفته تا سال ۱۹۸۰ را گرد آوری کرده و با توجه به نقش آنها در برنامه ریزی شبکه های راه آهن، آنها را به ٦ دسته کلی تقسیم بندی کرده است. یکی از مهم ترین این گروهها مسئله برنامه‌ریزی حرکت قطارها و تهیه جداول زمانی برای آنها بوده است [٦].

Mehrazine فاصلهٔ بهینه بین ایستگاه ها در یک خط راه آهن را به صورت تابعی از توزیع جمعیت محاسبه نموده و ثابت کرده است که تعداد ایستگاه ها باید متناسب با جذر طول خط تغییر کند [۱۱].

Oyama مسئله برنامه ریزی حرکت قطارها را به این صورت مورد بررسی قرار داده که با توجه به تقاضای مسافران در ایستگاه های مختلف در طول شبانه روز، قطارها به دو دسته سریع و عادی تقسیم شده و هدف تعیین تواتر حرکت آنها و تعیین ایستگاه هایی است که باید برای پیاده و سوار کردن مسافران مورد استفاده قرار گیرند: به طوری که زمان مسافرت حداقل گردد. مسئله مورد نظر در قالب یک مدل شبکه و به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح مدل سازی شده است [۱۲]. Mees بلاک های راه آهن را به عنوان منابع در نظر گرفته و آنها را در زمانهای مورد نظر به قطارها تخصیص می دهد. در این مدل فرض شده است که برنامه ریزی بر روی یک شبکه تک خطه برای یک فاصله زمانی معین صورت می گیرد و زمان شروع حرکت قطارها نیز ثابت است. مدل ریاضی مربوط، به صورت یک مسئله بهینه سازی شبکه با متغیرهای صفر و یک تعریف شده و برای حل آن یک الگوریتم تخمینی با استفاده از مسئله جریان چند کالائی پیشنهاد شده است [۱۰].

Higgins و همکاران مسئله زمان بندی حرکت قطارها را در یک شبکه یک خطه به صورت برنامه ریزی خطی مدل سازی کرده اند: به این صورت که تابع هدف با کمینه کردن مجموع تاخیرهای وزنی قطارها به همراه هزینه های عملیاتی آنها به صورت یک تابع غیرخطی مطرح شده و محدودیت های مربوط به تلاقی، سبقت، توالی و سرعت با روابط خطی عنوان شده‌اند [۸,۷].

از مهم ترین مشکلات در بهینه سازی برنامه ریزی خطی حرکت قطارها این است که معمولاً به یکی از پارامترهای طرح که عبارتند از زمان، فاصله، هزینه، ظرفیت و ... پرداخته شده است. با توجه به این موضوع در این مقاله بررسی و کاربرد یک مدل چند منظوره [۱۱] به عنوان راه حل اصلی برنامه ریزی حرکت قطارها انتخاب شده است و با هدف کمینه کردن هزینه بهره برداری و زمان اتلاف وقت مسافران یازمان تلف شده درحمل بارها به محاسبهٔ فرکانس سرویس (تعداد و نوع قطارها)، برنامهٔ توقف قطارها و حداقل تعداد قطارهای مورد نیاز پرداخته شده است. به عنوان مثال ، خط تهران ـ قم ـ اراک ـ دورود با این مدل بررسی شده است و نتایج آن به صورت جداگانه برای قطارهای مسافری و باری با توجه به وضعیت این خط به دست آمده اند.

۲. اصول کلّی در طرح سرویس‌دهی قطارها براساس مدل چند منظوره

در سیستم بهره برداری از شبکه ریلی، طرح اساسی طرحی است که بتواند تعداد بهینه قطارهائی که در زمان مشخصی بین دو ایستگاه حرکت می کنند را محاسبه کند. برای یک خط بایک انشعاب، برنامه ریزی قطارها به طور کلی وابسته به طرح توقف قطارهاست. طرح توقف قطارها روی خطوط راه آهن، در واقع مسئله تعیین مجموعهٔ ایستگاه هائی است که قطارها در آنجا توقف می کنند و مشکل برنامه ریزی، در واقع رسیدن به بهترین راه حل برنامه توقف قطارها با توجه به معیارها و قیود اجرائی است.

انواع برنامه ریزی های مربوط به توقف عبارتند از: توقف در تمام ایستگاه ها [۲]، توقف در بعضی ایستگاه ها[۳] و توقف در ایستگاه های منطقه‌ای[٤]. در سفرهائی که تعداد زیادی مسافر یا مقدار زیادی بار از ایستگاه های زیادی از خط وارد و خارج می شوند ترکیبی از انواع مختلف برنامه توقف ها به عنوان مناسب ترین طرح انتخاب می شود.در نمودار (۱) مهم ترین تصمیماتی که می توانند در رابطه با برنامه سرویس دهی قطارها طبق این مدل

1- Multi objective linear programming
2- All stop
3- Skip stop
4- Zone stop

www.SID.ir

Archive of SID

مطرح شوند نشان داده شده اند. همان طور که در نمودار مشخص می شود در بین طرح های مختلف طرحی مؤثر واقع می‌شود که بتواند بین عرضه و تقاضا تعادل ایجاد کند.

در قسمت تقاضا، رضایت مسافران و صاحبان کالا، مطمئن ترین کلید موفقیت عملکرد سیستم و در کنار آن ضرایب راحتی و ایمنی از مهم ترین عوامل در انتخاب سفر با قطار است. پس در قسمت برنامه ریزی حرکت قطارها، کمینه کردن زمان سفر مسافران و بار از عوامل مؤثر در بهره برداری بهینه از راه آهن و افزایش سطح خدمت قطارهاست.

در قسمت عرضه نیز، تشکیلات راه آهن باید در جهت بهینه کردن هزینه بهره برداری گام بردارد و این امر ممکن نخواهد شد مگر با کمینه کردن زمان سفر قطارها به حدی که پاسخگوی تقاضاهای سفر باشد.

در ایجاد تعادل میان عرضه و تقاضا دو مطلب باید مورد توجه قرار گیرند:

۱- کمینه کردن هزینه کل بهره برداری

۲- کمینه کردن زمان اتلاف وقت در سفر

هزینهٔ بهره برداری در سفر شامل یک هزینهٔ ثابت و یک هزینه متغیر است که هزینهٔ متغیر وابستهٔ به فاصلهٔ سفر است.

در این مدل، زمان اتلاف وقت در سفر مجموعه زمانهائی در نظر گرفته شده است که به منظور توقف قطار در ایستگاه های میانی صرف می شود.

در این مدل فرضیات ساده کنندهٔ زیر نیز در نظر گرفته شده اند:

۱- حرکت قطارها طبق جدول زمان بندی صورت می‌گیرد و فرض می شود که مسافران و بارها بدون زمان انتظار در ایستگاه سوار قطار می شوند.

۲- زمان حرکت قطار بین دو ایستگاه ثابت است و به برنامهٔ توقف قطارها ارتباطی ندارد.

۳- موقعیت مکانی ایستگاه ها نیز ثابت است.

۳. فرمول نویسی مدل

پارامترهائی که از آنها در مدل استفاده شده است عبارتند از:

N: تعداد کل ایستگاه ها

R: مجموعهٔ حالت های مختلف توقف قطارها

T: دورهٔ زمانی برنامه حرکت قطارها

n: تعداد قطارهای در حال سرویس طبق R حالت توقف و دورهٔ برنامه T

C_1: هزینهٔ ثابت (قطار در روز)

C_2: هزینهٔ متغیر (قطار درهر کیلومتر)

Dijt: تقاضای سفر از ایستگاه i به ایستگاه j در طول مدت t

E: ظرفیت خط (تعداد قطار قابل عبور در مدت t)

L_{tr}: فاصلهٔ پیموده شده توسط قطار از نوع توقف r و در مدت t

r: شمارهٔ مربوط به هر حالت توقف $r\varepsilon\{1,2,.....R\}$

Q_{tr}: ظرفیت یک قطار با حالت توقف r در مدت t

S : ایستگاه شروع

U_r: زمان حرکت بین مبدأ و مقصد برای قطار از نوع توقف r (بدون در نظر گرفتن زمانهای توقف)

W_i: زمان توقف در ایستگاه i

P_{itr}: تعداد مسافرانی که در مدت t در لحظات توقف قطارهای با حالت توقف r در ایستگاه i درون قطار هستند.

V_{ijtr}: تعداد مسافرانی که از ایستگاه i به ایستگاه j در طول زمان t و در قطار از نوع r منتقل می شوند.

G_r: زمان لازم برای تغییر جهت حرکت و نظافت قطار از نوع توقف r در پایانه

K_{tr}: مسافت طی شده به وسیلهٔ قطار از نوع توقف r در مدت زمان t

f_{tr}: بسامد سرویس برای هر حالت r در مدت زمان t

برای ساده کردن روش، این مدل به صورت یک مدل برنامه ریزی خطی چند منظوره فرمول نویسی شده است.

برنامه توقف قطارها نیز با متغیر صحیح X_{itr} که مقدار آن ۰ یا ۱ است مشخص شده است، به این صورت که در مدت t اگر قطار طبق برنامهٔ r در ایستگاه i توقف کند $X_{itr}=1$ و در غیر این صورت $X_{itr}=0$ در نظر گرفته می شود

۴. توابع هدف

$$\min \quad Z_1=\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\left(C_1 n+C_2 k_{tr}\right) \qquad (1)$$

این قید کمینه کردن هزینهٔ کل بهره برداری در دورهٔزمانی T را تعریف می کند که شامل دو بخش زیر است:

الف: هزینهٔ ثابت برای n قطار

ب: هزینهٔ متغیر که بستگی به فاصلهٔ سفر k_{tr} برای هر حالت r دارد.

$$\min \quad Z_2=\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{i=s+1}^{N-1}W_i\,P_{itr} \qquad (2)$$

قید بالا کل زمان اتلاف وقت سفر را در دورهٔ T کمینه می کند. برای هر حالت r زمان اتلاف وقت در هر دورهٔ t برابر با حاصل

www.SID.ir

Archive of SID

$$\min \quad Z_r = \sum_{t=1}^{T} \sum_{r=1}^{R} \sum_{i=s+1}^{N-1} W_i \; P_{itr} \qquad (۲)$$

قید بالا کل زمان اتلاف وقت سفر را در دورهٔ T کمینه می کند. برای هر حالت r زمان اتلاف وقت در هر دورهٔ t برابر با حاصل ضرب زمان لازم برای توقف در ایستگاه i (W_i) در تعداد مسافران در قطار در ایستگاه i (P_{itr}) است.

۵. شرایط :

$$k_{tr} \geq L_{tr} \times f_{tr} \qquad (۳)$$

رابطهٔ بالا مقدار k_{tr} را تعریف می کند که برای هر حالت r و دورهٔ زمانی t محاسبه می شود. حداقل مقدار k_{tr} در حالتی که t از کل زمان سفر بیشتر باشد برابر با دو برابر (به علت رفت و برگشت) فاصلهٔ بین ایستگاه شروع (s) و آخرین ایستگاه r ضربدر f_{tr} است.

$$Pitr \geq \left[\sum_{p=s}^{i-1} \sum_{q=i+1}^{N} V_{pqtr} + \sum_{q=i+1}^{N} \sum_{p=s}^{i-1} V_{qptr} \right] \times x_{itr} \qquad (۴)$$

$$i = (s+1, \ldots\ldots N-1)$$

رابطهٔ بالا مقدار Pitr را تعریف می کند. Pitr مجموع تعداد مسافرانی است که به هنگام توقف قطار نوع r در ایستگاه میانی i درون قطار هستند: که درآن عبارت اول بیانگر حالت رفت و عبارت دوم نشانگر حالت برگشت است . حالت رفت تعداد مسافرانی را نشان می دهد که از ایستگاه s تا i-۱ سوار شده اند و در ایستگاه های i+۱ تا N پیاده می شوند و حالت برگشت نشان دهنده تعداد مسافرانی است که از ایستگاه های i+۱ تا N سوار شده اند و در ایستگاه های s تا i-۱ پیاده می شوند.

P : به ایستگاه هائی می گویند که قبل از ایستگاه i قرار دارند و مسافران وارد قطار می شوند $p\varepsilon\{s, s+1, \ldots\ldots i-1\}$

Q : به ایستگاه هائی می گویند که بعد از ایستگاه i قرار دارند و مسافرانی که در ایستگاه های p سوار شده‌اند در این ایستگاه ها پیاده می شوند.

$$q\varepsilon\{i+1 \ldots\ldots\ldots N\}$$

همان گونه که ملاحظه می شود در ایستگاه هائی که توقف وجود ندارد اتلاف وقت نیز وجود ندارد زیرا $x_{itr} = 0$

$$\sum_{r=1}^{R} V_{ijtr} = D_{ijt} \qquad (۵)$$

$$i = 1,2,\ldots\ldots N; \; j = 1,2,\ldots\ldots N$$

رابطهٔ بالا نیز تقاضای D_{ijt} بین i و j در دورهٔ زمانی t را نشان می دهد که در آن V_{ijtr} تعداد مسافرین جابه جا شده بین ایستگاه های i،j در زمان t و طبق برنامهٔ توقف r رانمایش می دهد.

$$\sum_{r=1}^{R} f_{tr} \leq E \qquad (۶)$$

رابطهٔ بالا نشان دهندهٔ این است که مجموع فرکانسهای سرویس در کل حالت های توقف باید از ظرفیت خط کمتر باشد.

$$\sum_{p=s}^{j-1} \sum_{q=j}^{N} V_{pqtr} \leq Q_{tr} \; f_{tr} \qquad j = s+1, \ldots\ldots N \qquad (۷)$$

$$\sum_{p=s}^{j-1} \sum_{q=j}^{N} V_{qptr} \leq Q_{tr} \; f_{tr} \qquad j = s+1, \ldots\ldots N \qquad (۸)$$

روابط بالا نشان می دهند که مجموع مسافرانی که طبق برنامهٔ r در یک جهت به آنها سرویس داده می شود باید از حداکثر ظرفیت سرویس کمتر باشند که رابطهٔ (۷) حالت رفت و رابطه (۸) حالت برگشت را نشان می دهد. به بیان ساده‌تر مثلا مجموع مسافرانی که از ایستگاه های مبدأ s تا j-۱ سوار می شوند و در ایستگاه های j تا N پیاده می شوند باید از ظرفیت قطار ضربدر تعداد بسامد سرویس در آن حالت کمتر باشند.

$Q_{tr} \times f_{tr}$: حداکثر ظرفیت سرویس

$$n \geq \sum_{r=1}^{R} \left[(2U_r + 2 \sum_{i=s+1}^{N-1} w_i \times X_{itr} + 2G_r) f_{tr} \right] / t \qquad (۹)$$

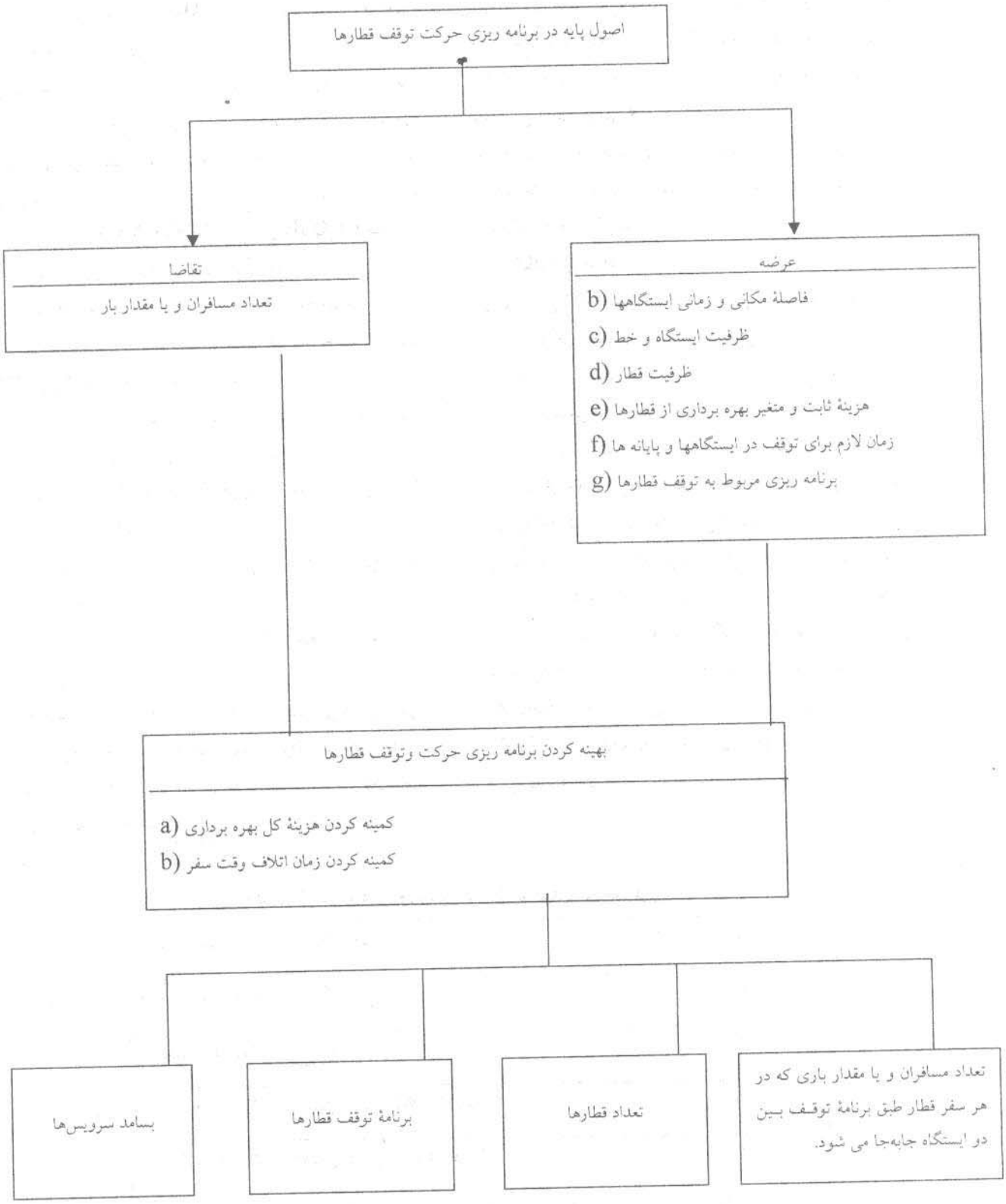
مقدار داخل پرانتز زمان کل سفر را نشان می دهد.

کل زمان سفر عبارتست از :

۱) زمان حرکت بین ایستگاه شروع (s) و ایستگاه نهائی
۲) زمان لازم برای توقف در ایستگاههای میانی
۳) زمان لازم برای توقف در پایانه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. اصول پایه در برنامه ریزی حرکت وتوقف قطارها

www.SID.ir

Archive of SID

۶. حل کامپیوتری مدل MOLP و ارائه نتایج برای مثال موردی خط راه آهن تهران ـ دورود:

در این بخش مدل مذکوررابااستفاده ازبرنامه کامپیوتری ، یک بار برای قطارهای مسافری و بار دیگر برای قطارهای باری حل می کنیم. برای این منظور ابتدا داده های لازم را وارد مدل کرده و سپس با محاسبهٔ توابع و قیود مربوط، با استفاده از برنامه کامپیوتری به زبان MATLAB ونرم‌افزار winQSB مدل را حل کرده و خروجی مدل را به دست آورده ایم.

برای قطارهای مسافری و با توجه به آمار موجود مسافر جابه جا شده از هر دستگاه به مقصدهای مختلف در این خط در سال ۱۳۷۹ برنامهٔ توقف زیر پیشنهاد می شود:

۱- تهران ـ قم ـ اراک ـ ازنا ـ دورود (دورود پایانه فرضی برای خط تهران ـ اهواز)

۲- تهران ـ قم ـ اراک ـ دورود (دورود پایانه فرضی برای خط تهران ـ خرمشهر)

۳- تهران ـ قم ـ اراک (اراک پایانه فرضی برای خط کرمانشاه ـ خسروی)

٤- تهران ـ قم ـ اراک ـ شازند ـ نورآباد ـ مؤمن آباد ـ ازنا ـ دورود (دورود پایانه واقعی)

این چهارنوع حالت رابه ترتیب با f_1تاf_4 نمایش می دهیم. منظور از پایانه فرضی این است که قطار بعد از توقف در پایانهٔ مذکور به حرکت خود ادامه می دهد، در حالی که در پایانهٔ واقعی قطار بعد از توقف و آماده شدن برای سفر بعدی تغییر جهت داده و باز می گردد.

لازم به ذکر است که توابع و قیود این مدل برای سال ۱۴۰۰ محاسبه شده اند و چون این خط تا سال مذکور جوابگوی بار ترافیکی نخواهد بود به همین دلیل این مدل را با فرض دو خطه شدن این مسیر بررسی کرده ایم.

هم اکنون خط جدید تهران ـ قم به صورت دو خطه در حال بهره برداری است و دو خطه شدن قم ـ اراک نیز مراحل مطالعاتی خود را طی می کند.

۶-۱ قطارهای مسافری

در مورد این قطارها مشخصات زیر با توجه به اطلاعات بدست آمده از راه آهن جمهوری اسلامی در نظر گرفته شده اند:

با توجه به آمار مسافر جابه جا شده در سال ۱۳۷۹ که به تفکیک مبدأ ـ مقصد موجود است و با ضریب رشد ترافیک ٤٪ ، آمار مسافر پیش بینی شده برای سال ۱٤۰۰ به دست آمد. پس از آن با استفاده از جدول برنامهٔ توقف قطارها به محاسبه توابع و قیود مدل پرداخته شد و سپس مدل حل گردید.

لازم به یادآوری است که چون نرم افزار مربوط تنها یک تابع را قبول می کند تابع زمان (Z_2) را با یک ضریب α به جنس هزینه تبدیل کرده و سپس با تابع هزینه Z_1 جمع کرده و $Z_1+\alpha Z_2$ را کمینه کرده ایم. در جدول زیر بسامدهای سرویس یک بار برای $\min(Z_1)$ و یک بار برای $\min(Z_2)$ و در نهایت برای $\min(Z_1+\alpha Z_2)$ آورده شده اند و مقدار بهینه هزینه هر کدام در زیر آن نوشته شده است.

جدول ۱. داده های ورودی مربوط به قطارهای مسافری

زمان توقف در پایانه (G_2) (دقیقه)	٤٥
ظرفیت حداکثر قطار (Q_{tr}) (نفر)	٦۰۰
ظرفیت خط (E) (زوج قطار در روز)	٢٦
زمان توقف در ایستگاههای اصلی (w_i) (دقیقه)	١٥
زمان توقف در ایستگاههای فرعی (w_i) (دقیقه)	٢
هزینهٔ ثابت بهره برداری (C_1) (تومان برای هر قطار در روز)	١٥٦٤۰۰ تومان
هزینهٔ متغیر بهره برداری (C_2) (تومان برای هر قطار در یک کیلومتر)	٨٥۰ تومان

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. خلاصه نتایج خروجی مدل برای قطارهای مسافری

فرکانس سرویس	min (Z_1)	min(Z_2)	min$(Z_1+\alpha Z_2)$
f_1	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱٤
f_2	٦/۲۲	٦/۳٥	٦/۲۱
f_3	۲/۱۳	۲/۱۳	۲/۱۳
f_4	۱/٦۹	۱/٦۹	۱/٦۹
	(تومان در روز)۱۰٤٤۲۹۰۰	(ساعت) ٤٥۸٤	(تومان در روز)۱۱۳۷۷۰۰
		(تومان در روز ۹۱٦۸۰۰)	

جدول ۳. داده‌های ورودی مربوط به قطارهای باری

زمان توقف در پایانه (G_2) (دقیقه)	٤٥
ظرفیت حداکثر قطار (Q_{tr}) (تن)	۱٥۰۰
ظرفیت خط (E) (زوج قطار در روز)	۲۳
زمان توقف در ایستگاههای اصلی (w_i) (دقیقه)	۳۰
زمان توقف در ایستگاههای فرعی (w_i) (دقیقه)	٥-۱۰
هزینهٔ ثابت بهره برداری (C_1) (تومان برای هر قطار در روز)	۱٥٦٤۰۰
هزینهٔ متغیر بهره برداری (C_2) (تومان برای هر قطار در یک کیلومتر)	۲۰۲۰

ارزش متوسط یک ساعت کار در ایران ٤۰۰ تومان در نظر گرفته شده است و مقدار α (ارزش یک ساعت) را معمولا در حمل و نقل نصف می‌گیریم، بنابراین α=۲۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.در ضمن تعداد مسافرانی که از ایستگاه های i به ایستگاههای j طبق حالت توقف r منتقل می شوند را نیز می‌توان حساب کرد

با توجه به نتایج بالا: f_1=۰ و f_3=٦ و f_2=۲ و f_4=۲ گرفته می شود و حداقل تعداد قطارهای مورد نیاز به صورت زیر حساب می گردد:

با توجه به رابطهٔ (۹) اگر بگذاریم:

$$\left(2u_r + 2\sum_{i=s+1}^{N-1} w_i x_{itr} + 2G_r\right)/t = F_r \quad (۱۰)$$

آنگاه رابطهٔ (۹) به شکل زیر در می آید:

$$n = \sum_{r=1}^{R} F_r \times f_{tr} \quad (۱۱)$$

قطار $n=٦\times۲+۲\times۲+۲\times۱=۱۸$

در محاسبه فوق F_1 تا F_3 برابر ۲ در نظر گرفته اند، چون قطار نمی تواند در همان روز بازگردد ولی F_4 برابر ۱ در نظر گرفته شده چون قطار می تواند در همان روز بازگردد.

۶-۲ قطارهای باری

برای قطارهای باری نیز شبیه قطارهای مسافری داده های ورودی به شرح زیر وارد مدل شدند.

برای قطارهای باری با توجه به آمار موجود بار جابجا شده به تفکیک مبدأ ـ مقصد در سال ۱۳۸۰ و با توجه به نکاتی که درمورد طرح توقف قطارها اشاره شد برنامهٔ زیر برای توقف قطارها به صورت زیر پیشنهاد شد:

۱- تهران ـ قم ـ اراک (اراک پایانه فرضی برای خط کرمانشاه ـ خسروی)

www.SID.ir

Archive of SID

۲- تهران ـ قم ـ اراک ـ دورود (دورود پایانه فرضی برای خط تهران ـ اهواز ـ خرمشهر)

۳- تهران ـ قم ـ راهگرد ـ نانگرد ـ مشک آباد ـ اراک ـ سمنگان ـ شازند ـ ازنا ـ دورود (دورود پایانه واقعی)

٤- تهران ـ نودژ ـ قم ـ باغیک ـ اراک (اراک پایانه واقعی)

لازم به ذکر است که به دلیل این که خط جدید تهران ـ قم دوخطه شده است. در برنامهٔ طرح توقف ها در حالت های ۱ تا ۳ از این خط برای قطارهای باری هم استفاده شده است، اما در حالت ٤ چون نودژ یکی از مراکز مهم تهیهٔ بالاست است و از این مبدأ به سمت بعضی از ایستگاه های این خط بار زیادی حمل می شود به همین دلیل یک حالت هم با خط قدیم تهران ـ قم در نظر گرفته شده است.

با توجه به آمار بار جابه‌جا شده در سال ۸۰ که به تفکیک مبدأ ـ مقصد موجود است و با ضریب رشد ترافیک ٦ درصدی، بار پیش بینی شده به تفکیک مبدأ ـ مقصد برای سال ۱٤۰۰ به دست آمد و با در نظر گرفتن جدول (۳) و برنامهٔ توقف پیشنهادی برای توقف قطارها به محاسبهٔ توابع و قیود مدل پرداخته شد. سپس با استفاده از نرم افزار win QSB مدل حل شده و قیود و مقدار بهینهٔ تابع محاسبه شدند.

همان طور که اشاره شد این محاسبات یکبار برای Z_1 و یکبار برای Z_2 و یکبار هم برای $Z_1+\alpha Z_2$ با فرض $\alpha=200$ انجام شده اند.

با توجه به نتایج $f_1=7$ و $f_2=10$ و $f_3=1$ و $f_4=1$ برآورد شده و حداقل تعداد قطارهای مورد نیاز به صورت زیر محاسبه گردید.

چون زمان کل سفر برای حالت اول و دوم از ۲٤ ساعت بیشتر و از ٤۸ ساعت کمتر است، بنابراین قطار نمی تواند در همان روز برگشت کند اما در حالت سوم و چهارم به دلیل واقعی بودن پایانه ها و کمتر بودن زمان سفر از ۲۴ ساعت قطار می تواند در همان روز برگشت کند.پس :

$$n=\sum_{r=1}^{R} F_r \times f_{tr} \qquad \text{و} \qquad \begin{cases} F_1, F_2 = 2 \\ F_3, F_4 = 1 \end{cases}$$

$n=7\times2+10\times2+1\times1+1\times1=36$ قطار

جدول ٤. خلاصه نتایج خروجی مدل برای قطارهای باری

فرکانس سرویس	min (Z_1)	min(Z_2)	min$(Z_1+\alpha Z_2)$
f_1	٦/٥٦	٦/٥٦	٦/٥٦
f_2	۱۰/۰۹	۱۰/۰۹	۱۰/۰۹
f_3	۰/٥۲	۰/٥۲	۰/٥۲
f_4	۰/٦٥	۰/٦٥	۰/٦٥
	(تومان در روز) ۳٤٦۲٦۱۰۰	(ساعت) ٤۰۳۷۰	(تومان در روز) ٤۲۷۰۰۷۰۰
		(تومان در روز) ۸۰۷٤۰۰۰	

www.SID.ir

Archive of SID

۷. بحث و نتیجه‌گیری

در کمینه کردن هزینه بهره برداری راه حلی ترجیح داده می شود که حداقل تعداد قطارهای مورد نیاز و حداقل تعداد برنامهٔ توقف قطارها را به همراه داشته باشد. برای کمینه کردن زمان اتلاف وقت، افزایش سفرهای قطارها با توقف های کمتر در خط مورد نظر است که برای همین منظور باید تعداد قطارها و برنامهٔ توقف ها را طوری تنظیم کرد که هر دو تابع هدف کمینه شوند.

با مقایسه نتایج در هر یک از جداول ۲ و ٤ در سه حالت مربوط به کمینه کردن تابع زمان، تابع هزینه و تابع ترکیبی زمان و هزینه می بینیم که فرکانس های سرویس در این سه حالت یا تفاوت چندانی ندارند یا برابر هستند. این امر ناشی از تقاضای زیاد مبدأو مقصد بخصوص در حالت پایانهٔ فرضی در نظر گرفته شده برای حالت های مسافری و باری است.

بعد از محاسبهٔ بسامدهای سرویس تعداد قطارهای مورد نیاز برای حالت مسافری ۹ زوج و برای حالت باری ۱۸ زوج برای سال ۱٤۰۰ پیش بینی می شود تا با برنامهٔ توقف پیشنهادی بتوانیم مطلوب ترین سطح سرویس را در این خط داشته باشیم.

۸. مراجع

۱- پورسید آقائی، محسن، «زمانبندی حرکت قطارها در شبکه‌های یک خطه راه آهن» رسالهٔ دکتری، دانشگاه تربیت مدرس،۱۳۷۷

۲- تیناب، هادی، «بررسی راهکارهایی برای بهبود ظرفیت خطوط راه آهن ایران»، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۸۰

۳- مهرآذین، هاشم و معظمی، داریوش، «استفاده بهینه از خطوط راه آهن یک خطه»، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان،۱۳۸۲، ص. ۴۰۵-۴۱۲

٤- مهرآذین، هاشم،" ظرفیت حمل و نقل در راه آهن"، کنفرانس حمل و نقل زمینی، مرکز آموزش و تحقیقات وزارت راه و ترابری، ۱۳۷۵، ص. ۱۹۷- ۲۰۹ مجموعه مقالات

۵- یقینی، مسعود، «شناسائی گلوگاههای خطوط راه آهن (بلاکهای بحرانی) و ارزیابی آلترناتیوهای مختلف برای رفع آنها»، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی راه آهن، ۱۳۷۳

6- Assad A.A. (1980) "Models for rail transportation", Transportation Research -A, V. 4, p. 205-220.

7- Higgins A., Ferreira L., Kozan E. (1995) "Modeling single-line train operations", Transportation Res. Record, No. 1489, p. 9-16.

8- Higgins A., Kozan E., Ferreira L. (1996) "Optimal scheduling of trains on a single line Track", Transportation Res-B, V.30, No.2, p. 147-161.

9- International Union of Railway (UIC) "Measures to increase the capacity of heavy traffic lines",UIC Leaflet 405-2, 1st edition, 1983.

10- Mees, A.I. (1991) "Railway scheduling by network optimization", Mathematical Computer Modelling, V.15, No.1, p 33-42.

11- Mehrazine H. (1977) " Inter station optimale sur une ligne de chemin de fer, Revue Generale des Chemins de Fer, p 107-110

12- Oyama T., Han,I.S. (1987) "Application of discrete optimization techniques to train scheduling problems", Asia-Pacific Journal of Operational Res., V.4, p. 158-186.

www.SID.ir