برنامه ریزی اعزام خدمه (رؤسا) در شبکه راه آهن ایران با استفاده از الگوریتم های تولید مأموریت[1] و خطوط کاری[2*]

محسن پورسیدآقایی، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
اسماعیل صلاحی پروین، دانشکدهٔ مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail:aghaee@yahoo.com

چکیده

در این مقاله برنامه ریزی اعزام رؤسای قطارها در شبکه راه آهن با توجه به نیاز دوره ای به این افراد در نتیجه برنامه ریزی دوره ای حرکت قطارها مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس مفاهیم ساخت شبکه ای که مجموعه ای از گره ها و کمان ها است، یک گراف از مجموعه ایستگاه ها و مسیرهای ریلی اتصال دهنده آنها ایجاد شده است.

یکی از مفاهیم اساسی که در این مقاله معرفی شده، مفهوم مأموریت است که با استفاده از آن سعی شده همه سفرهای کاری بین ایستگاه ها پوشش داده شود.

با استفاده از الگوریتم ابتکاری انشعاب[3] مشخصات مأموریت‌های موجود در هر دپو مانند زمان آغاز و پایان هر مأموریت معین شده اند. سپس با اجرای الگوریتم تولید خطوط کاری، جداول نوبت کاری ایجاد شده اند. آن چه که در مقایسه با وضعیت موجود بهبود یافته کاهش زمان سفر با استفاده از ایجاد مأموریت های بهینه برای افراد و نیز کاهش تعداد خدمه مورد نیاز است.

واژه های کلیدی: برنامه ریزی خدمه، راه آهن، مأموریت، خطوط کاری، بسته

۱. معرفی مسأله برنامه ریزی خدمه در راه آهن

با خصوصی شدن شرکت های راه آهن و با توجه به این که هزینه‌های مربوط به خدمه یکی از بزرگ ترین اقلام در هزینه های این شرکت‌ها است، جستجوی روش هایی برای کاهش این هزینه‌ها طبیعی است.

هدف نهایی مسأله برنامه ریزی خدمه، پیدا کردن توزیع (زمان بندی) نیروی کار با کمترین هزینه (در این جا کمینه کردن تعداد افراد) در طول دوره زمانی معین است به گونه ای که همه وظایف مربوط به خدمه انجام شوند[1].

تفاوتهای اصلی بین مسأله برنامه ریزی خدمه در هواپیمایی، حمل و نقل شهری و ... شرکت های راه آهن عبارتند از:

الف: ابعاد مسأله ها بسیار بزرگ تراز خطوط هوایی یا حمل و نقل شهری هستند.

ب: با توجه به این که مسیرهای مربوط به مسافت های کوتاه و بلند باید پوشش داده شوند و نیز هنگام تشکیل خطوط کاری، استراحت‌ها و تعطیلات آخر هفته خدمه باید موردتوجه قرارگیرند، محدودیت‌های واقعی بسیار سخت‌تر پاسخگویی می شوند.

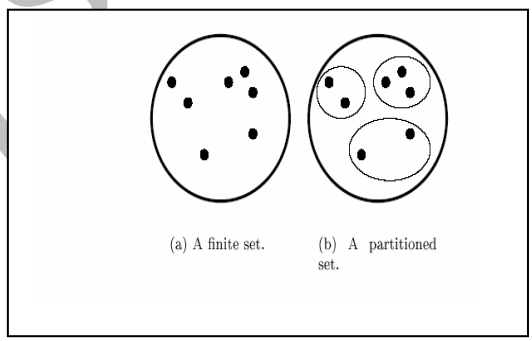
Archive of SID
www.SID.ir

ج : یک محدودیت خاص که مستقیماً مدل سازی مسأله را تحت تأثیر قرار می دهد این است که کارکنان بعد از مدت زمان معین باید به محل های اولیه اعزام که برای هر خدمه متفاوت است، باز گردند.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

تولید خطوط کاری یا جدول نوبت کاری یک زمینه گسترده است که انواع زیادی از مسائل را پوشش می دهد. فنآوری های حل برای این مسائل معمولاً برای حل مسائل ریاضی مفهومی تقسیم بندی مجموعه ای[٤] و پوشش مجموعه‌ای [٥] بکار می‌روند.

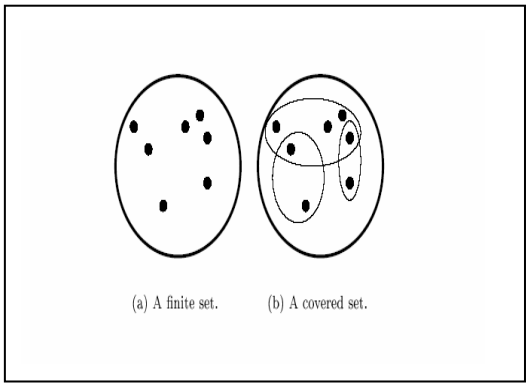
هدف مسأله تقسیم بندی مجموعه ای، تقسیم بندی عناصر یک مجموعه ثابت به چندین مجموعه ناسازگار است. شکل ۱ این موضوع را نشان می دهد.



شکل ۱. مسأله تقسیم بندی مجموعه ای

هدف مسأله پوشش مجموعه ای، پوشش اعضای یک مجموعه محدود با انتخاب تعدادی از زیر مجموعه ها است به گونه ای که هر عضو در حداقل یک زیر مجموعه دیده شود[2,3] .

شکل ۲ این موضوع را نشان می دهد.



شکل۲. مسأله پوشش مجموعه ای

۲-۱ روش های بهینه سازی

برای بهینه سازی رویکرد های زیادی وجود دارد که انتخاب رویکرد مناسب برای دست یابی به پاسخ بستگی به نوع مسأله دارد. برخی روش های بهینه سازی عبارتند از:

برنامه ریزی خطی [٦]، برنامه ریزی عدد صحیح [٧]، جستجوی منطقه‌ای [٨] و برنامه ریزی محدودیتی [٩] در مقاله ای [٤] که کاپرارا و دیگران از دانشگاه بولونیا ارایه کرده اند، امکان ترکیب فنآوری های هوش مصنوعی و تحقیق درعملیات را برای حل مسأله تولید خطوط کاری بررسی شده است. در این مقاله از پارادایم جدید برنامه ریزی بر پایه برنامه ریزی منطقی که CLP[١٠] نامیده می شود برای حل مسائل سخت ترکیبی به صورت موفقیت آمیزی استفاده شده است. ارایه کنندگان از یک طرف گویایی CLP، سهولت ارایه دانش و قابلیت الگوسازی سریع آن را نگه داشته و از طرف دیگر برخی رویه های کارآمد تحقیق درعملیات که بر پایه یک رویکرد ریاضی به مسأله استوارند بکار برده اند.

در مقاله دیگری [5] کاپرارا و دیگران درباره توسعه یک سیستم جدید برنامه ریزی خدمه به وسیله یک شرکت راه آهن ایتالیایی بحث کرده اند .

فرلینگ و دیگران [6] در مقاله ای با عنوان "یک مطالعه موردی برای راه آهن سوییس" مسأله تولید مأموریت ها را مورد توجه قرار داده اند .

روش بکار رفته یک الگوریتم شاخه و حد ابتکاری است که برای مسائل بزرگ تولید مأموریت ها مناسب است. نتایج محاسباتی نشان می دهند که الگوریتم آنها قادر است راه حل های نزدیک بهینه برای مسائل بزرگ و در زمان حل قابل قبول را فراهم کند.

ارنست و دیگران [7] در سال ۲۰۰۱ یک رویکرد بهینه سازی را برای یک مورد از مسأله تولید خطوط کاری برای قطارها که از یک مثال کاربردی برخواسته است ارایه کرده اند.

مسأله با ایجاد خطوط کاری پیوسته و متناوب برای رانندگان قطار در طول چندین دپو در یک شبکه راه آهن سروکار دارد.

سپهری و دیگران [۸] درسال ۱۳۸۳ زمان بندی خدمه در راه آهن جمهوری اسلامی ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند و در آن برای حل مسأله فوق یک الگوریتم ابر ابتکاری جدید به نام FBMMAS برمبنای بهینه یابی کلنی مورچگان را بکار برده اند. این مقاله بر اساس تولید مأموریت ها با یک الگوریتم ابتکاری، به تولید خطوط کاری باری هر دپو می پردازد. برای نمایش تفاوت

Archive of SID
www.SID.ir

این مطالعه با مطالعات قبلی، می توان به طور مثال از نتیجه مرجع [۹] نام برد که در آن نویسنده با استفاده از چند رویکرد متفاوت به تولید مأموریت ها برای پوشش مسیرهای موجود در شبکه ریلی پرداخته و در نهایت تفاوت های این رویکردها را در تولید مأموریت ها نشان داده است.

ولی در این مقاله فرض شده است که با استفاده از یکی از رویکردها، مأموریت های مورد نیاز تولید شده اند و در فاز ۲ جدول نوبت کاری برای افراد خدمه تولید شده است.

به این ترتیب مرجع [۹] تنها به فاز ۱ پرداخته است و این مقاله با استفاده از خروجی های فاز ۱ برای فاز ۲ پاسخ مناسبی می یابد.

۳. تعریف مسأله

اگر شبکه راه آهن به صورت مجموعه ای از گره ها و کمان ها در نظر گرفته شود، گره ها نمایانگر دپوها یا ایستگاه هایی هستند که خدمه در آن ها مستقرند و کمان ها نمایانگر بخش های مسیرهای ریلی متصل کننده دپو ها به هم هستند. هر دپو تعدادی خدمه دارد که به آن به عنوان دپوی خانه[11] توجه می کنند. مسیر حرکت قطارها بین شهرهای مختلف ممکن است به صورت خط رفت و برگشت باشد یا به صورت مدارهایی طی شوند. در شبکه راه آهن ایران در اغلب موارد مسیر حرکت قطارها مسیرهایی جداگانه اند که به صورت مستقل به تهران متصل می شوند.

یک مفهوم پایه در مسأله برنامه ریزی خدمه مفهوم مأموریت است. برای تعریف مأموریت ها فرض می شود که در یک دوره زمانی معین، برنامه زمانی حرکت قطارها معلوم باشد. در این برنامه سفرهای قطارها از یک محل آغازین در یک تاریخ، روز و ساعت مشخص شروع می شود و در یک محل پایانی در یک روز و ساعت مشخص پایان می یابد. یک سفر قطار ممکن است به بخش (تکه مسیر)هایی تقسیم شود. این تکه مسیرها بین دپوها قرار دارند و قطار، سفر خود را از مبدأ شروع می کند و از چندین دپو عبور می کند و در مقصد به پایان می رساند. در هر قطار تعدادی گروه خدمه، ارایه خدمت می کنند. گروه خدمه، واحد پایه برنامه ریزی برای افراد است که تعداد اعضای آن می تواند یک یا بیشتر باشد. در صورتی که تعداد اعضای یک گروه خدمه بیش از یکی باشد افراد آن گروه خدمه تا پایان یک مأموریت در کنار هم انجام وظیفه می کنند. ارایه خدمت خدمه به عنوان مأموریت آنها از مکانهای خاصی به نام قرارگاه در زمان معین شروع می شود و در یک توالی از تکه مسیرهای معلومی ادامه یافته وسپس به همان قرارگاه ختم می شود. خدمه می توانند در هر یک از ایستگاه ها یا دپوهای خاص مشخص کننده ابتدا و انتهای یک تکه مسیر سوار و پیاده شده و ارایه خدمت خود را به عنوان یک وظیفه در تکه مسیر آغاز کرده و یا پایان دهند [1]. ممکن است خدمه ای به منظور ارایه خدمت و انجام وظیفه در تکه مسیر بعدی از مأموریتی، به وسیله قطار یا هر طریق دیگر بدون ارایه خدمت در طول جابه‌جایی انتقال یابد. این جابه جایی که عموماً با تحمل هزینه هایی همراه است انتقال نام دارد.

با توجه به آن چه گفته شد برنامه ریزی خدمه شامل دو فاز اصلی در مدیریت خدمه است:

۱- زمان بندی کار خدمه (تعیین مأموریت های مسیر)

۲- تشکیل خط کاری برای هر یک از خدمه

تعیین مأموریت های مسیر[12]عبارت است از زمان بندی عملیاتی خدمه (به مدت یک روز یا یک هفته) با هدف ایجاد مأموریت های بهینه که توسط هر گروه خدمه انجام خواهند شد تا جدول زمان بندی حرکت قطارها پوشش داده شود.

تشکیل خط کاری[13] یک مسأله میان مدت است که با یک افق زمانی بلند تر (معمولاً چند روز یا چند هفته) سرو کار دارد و در آن یک سلسله مأموریت به خدمه موجود در هر دپو به صورت متوالی اختصاص داده می‌شود تا یک خط کاری که با اهداف شرکت، قوانین کاری و ترجیحات فردی انطباق دارد تشکیل شود.

محدودیت های تولید مأموریت ها در مسأله تعیین مأموریت ها عبارتند از:

۱- هر نوبت کاری یک مدت زمان معین و ثابت دارد.

۲- پس از هر مأموریت باید زمان استراحت معینی وجود داشته باشد.

۳- هر مأموریت نباید تعداد زیادی نوبت کاری داشته باشد.

٤- هر خدمه بین دو نوبت کاری در یک مأموریت، یک کمینه زمان استراحت دارد.

۵- بین دو مأموریت متوالی باید کمینه زمان استراحت در خانه در نظر گرفته شود.

٦- هر سفر در افق زمانی برنامه ریزی باید پوشش داده شود.

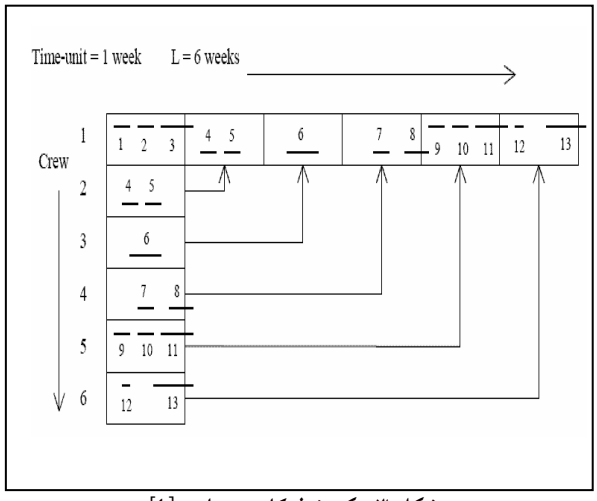
۷- مقدار کار متوسط هفتگی در یک خط کاری برای هر خدمه باید در یک محدوده مشخص قرار داشته باشد [7].

Archive of SID
www.SID.ir

این محدودیت ها به صورت ضمنی در الگوریتم ابتکاری انشعاب در نظرگرفته شده اند و ساختار الگوریتم به گونه ای است که هنگام حل مسأله تولید مأموریت‌ها، این محدودیت‌ها را برای یافتن جواب نهایی ارضاء می کند. نکته دیگر این که برگشت ماموربن به قرارگاه در فاز ۱ مورد توجه قرار می گیرد و در فاز ۲ زمان شروع و پایان مأموریت به عنوان ورودی مدل منظور می شود.

٤. یافتن خطوط کاری متناوب

برای یافتن خطوط کاری باید به روشی خاص، مأموریت های ایجاد شده در فاز ۱ را در کنار هم قرار داد و به این نکته توجه کرد که درحالتی که قصد بر این است، که یک خط کاری متناوب ایجاد شود، این خط کاری برای همه افراد یکسان باشد و افراد به ترتیب یک نوبت کاری را تکرار کنند. پس به نوعی عدالت کاری در بین افراد ایجاد می شود زیرا همه افراد بار کاری یکسانی را در روزهای مختلف تجربه می کنند و تنها تفاوتی که بین آنان وجود دارد متفاوت بودن عملیات اجرایی هر فرد با فرد دیگر در یک روز خاص است. در شکل ۳ نمونه ای از یک خط کاری متناوب مشاهده می شود.



شکل ۳. یک خط کاری متناوب[٤]

همان گونه که در شکل ۳ مشخص است برنامه کاری که برای خدمه ۱ در نظر گرفته شده است شامل انجام یک یا چند مأموریت در هر واحد زمانی (در این جا هفته) است، مأموریت هایی که در هر واحد زمانی در کنار هم قرار گرفته اند هیچ گونه تداخل زمانی ندارند و یک گروه خدمه می تواند همه آنها را در یک واحد زمانی انجام دهد. مجموعه مأموریت هایی که به صورت گروهی در یک واحد زمانی قرار گرفته اند، به صورت چرخشی بین افراد تغییر می کنند، به این صورت که گروه مأموریت هایی را که گروه خدمه ۱ در واحد زمانی ۲ انجام می دهد ،گروه خدمه ۲ در واحد زمانی ۱، گروه خدمه ۳ در واحد زمانی ٦، گروه خدمه ٤ در واحد زمانی۵، گروه خدمه ۵ در واحد زمانی ٤ و گروه خدمه ٦ در واحد زمانی ۳ انجام می دهند. به همین ترتیب این روال برای سایر گروه مأموریت ها تکرار می شود.

در فاز تولید خطوط کاری، هدف این است که گروه‌های مأموریت به گونه ای در کنار هم در واحدهای زمانی قرار گیرند که تعداد واحدهای زمانی برای پوشش همه این مأموریت‌ها کمینه شود.

با توجه به شکل ۳، چون تعداد واحدهای زمانی و تعداد خدمه مورد نیاز برای انجام وظایف با هم برابرند، پس تلاش برای کاهش تعداد روزهای خط کاری، معادل تلاش برای کمینه سازی تعداد خدمه است. به این ترتیب تابع هدفی که برای مسأله تولید خطوط کاری تعریف می شود، باید در جهت کمینه کردن تعداد روزهای کاری تلاش کند.

۵. معرفی الگوریتم ابتکاری انشعاب برای تولید مأموریت ها[7]

این الگوریتم برای حل مسأله تولید مأموریتهای موجه در شبکه راه آهن بکار می رود. (حل مسأله فاز ۱ با این هدف که همه تکه های مسیرهای تولید شده به وسیله جدول زمان بندی حرکت قطارها پوشش داده شوند). الگوریتم با استفاده از شبکه تعریف شده برای زمان بندی خدمه از یک گره قرارگاه شروع شده و با انشعاب های ممکن، هزینه و جریمه هایی را برای هر سویه (جهت) کاندیدا در نظر می‌گیرد. هزینه ها برای بهبود تابع هدف و جریمه ها نیز برای تضمین امکان پذیری جواب منظور می شوند.

خروجی این الگوریتم مأموریت‌های موجّه و بهینه هستند. این الگوریتم در نهایت طول زمانی مأموریت، زمان شروع و پایان آن و گره‌هایی از گراف را که در مسیر هر مأموریت قرار دارند معین می کند. از میان این گره ها، گره های آغازی و پایانی برای استفاده در فاز ۲ برنامه ریزی اهمیت دارند.

در فاز بعد به تعیین خطوط کاری برای هر یک از خدمه پرداخته می شود.

Archive of SID

www.SID.ir

٦. الگوریتم های تولید بسته[14] و تولید خطوط کاری برای جداول نوبت کاری

از مهم ترین مشخصات مأموریت ها زمان شروع و پایان آنها و در واقع زمان هایی هستند که یک مرز بحرانی را برای همپوشانی با مأموریت های دیگر ایجاد می کنند. می‌توان نشان داد که مأموریت‌های زیادی در مجموعه مأموریت‌های مربوط به هردپو [15] (Rd) وجود دارد که نمی توانند به وسیله گروه خدمه یکسان انجام شوند. به این معنی که تعدادی از مأموریت ها به صورت دو به دو تداخل زمانی دارند.

می توان مفهوم کلیدی بسته ر ا به صورت زیر تعریف کرد:

زیر مجموعه Ωd شامل مأموریت هایی از مجموعه Rd یک بسته است، اگر هر دو عضو Ωd تداخل زمانی داشته باشند. یعنی هر دو مأموریت در مجموعه Ωd از نظر زمانی تداخل می یابند، در نتیجه نمی‌توانند به وسیله یک گروه خدمه انجام شوند. تعریف بسته از این جهت اهمیت دارد که در هنگام تولید خطوط کاری با استفاده از این مفهوم می توان تعداد خدمه مورد نیاز در هر دپو و زمان بندی کاری آنان را تعیین کرد و با توجه به تداخل زمانی هر دو عضو این مجموعه می توان به تولید خطوط کاری متناسب پرداخت.

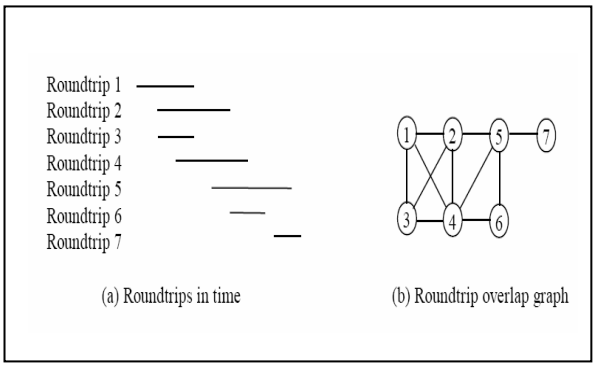
یک بسته، بسته نهایی است اگر تنها با اضافه کردن یک مأموریت از مجموعه مأموریت های دپوی مربوطه Rd به آن بسته، دیگر یک بسته نباشد. به این معنی که مأموریتی از مجموعه Rd به بسته اضافه شود که با مأموریت های موجود در بسته تداخل زمانی نداشته باشد. به این ترتیب یک بسته نهایی در مرز خارج شدن از حالت بسته قرار دارد. باید توجه کرد که از خصوصیات یک بسته این است که اگر یک عضو آن در حالت بسته بودن از آن خارج شود، بر حالت بسته بودن آن تاثیری ندارد. ولی افزایش عضوها می تواند یک مجموعه Ωd را از حالت بسته بودن خارج کند.

ψd مجموعه همه بسته های نهایی در یک دپوی d است. هنگامی که مأموریت ها به صورت روزانه تکرار می شوند، برخی مأموریت ها که در پایان روز جاری آغاز می شوند و در روز بعد پایان می یابند ممکن است با مأموریت هایی که در آغاز روز بعد شروع می شوند همپوشانی داشته باشند. بسته هایی که از چنین همپوشانی هایی نتیجه می شوند، بسته های گذرا نامیده می شوند. بسته های گذرای نهایی نیز در مجموعه ψd قرار می گیرند.

۷. تولید بسته[7]

برای فهم ساده مفهوم بسته، یک گراف تداخل زمانی G={N,A} را که N نماینده گره ها و A نماینده کمان ها است، برای معین کردن همه بسته مأموریت ها در یک دپو تعریف می کنیم. هرگره گراف یک مأموریت را در دپو در افق برنامه ریزی نشان می دهد. اگر دو مأموریت از نظر زمانی تداخل داشته باشند، یک کمان (i, j) دو مأموریت را به هم وصل می کند.

یک مثال ساده در شکل ٤ آورده شده است.



شکل٤[4]- الف مأموریت های یک دپو و وضعیت تداخل زمانی آن ها ٤- ب گراف تداخل زمانی مأموریت ها

۷-۱ الگوریتم تولید بسته [7]

گام۰ : همه مأموریت ها در هر دپو را در یک ترتیب فزاینده بر حسب زمان شروع آنها مرتب کنید. مجموعه مأموریت های Rd به عنوان مجموعه همه مأموریت ها که به دپوی d تعلق دارند تعریف می شود.

گام۱: مجموعه c به عنوان استخر بسته[16] و در ابتدای کار تعریف می شود. زمان پایان c بی نهایت در نظر گرفته می شود.

گام۲ : اگر هیچ مأموریت ای در Rd باقی نمانده باشد، خارج شوید.

گام۳ : مأموریتr بعدی با زودترین زمان شروع را از مجموعه مأموریت های Rd برداشته و مأموریت r را از مجموعه مأموریت های Rd حذف کنید .

اگر زمان شروع مأموریت r کوچکتر یا مساوی زمان پایان مجموعه c باشد. به گام ٥ بروید.

گام٤ : مجموعه c یک بسته نهایی می سازد. هرمأموریت از c را اگر قبل از یا در زمان شروع مأموریت r تمام می شود حذف کنید.

Archive of SID
www.SID.ir

گام ۵ : مأموریت r را به c بیافزایید. زمان پایان مجموعه بسته c را حداقل زمان پایان همه مأموریت ها در مجموعه c قرار دهید، به گام ۲ بروید.

۸. تولید خطوط کاری متناوب[7]

یافتن یک خط کاری متناوب با استفاده از نتیجه حل یک مسأله عدد صحیح امکان پذیر است. یک متغیر صفر و یک Zrc تعریف می کنیم که اگر مأموریت r که متعلق به دپوی d است در واحد زمانی c تخصیص داده شود، مقدار Zrc را برابر ۱ و در غیر این صورت مقدار Zrc را برابر ۰ قرارمی دهیم.
برنامه عدد صحیح به صورت زیر است:

$$\min \quad f(z) \tag{۱}$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{c=1}^{N_d} z_{rc} = 1 \quad \forall r \in R_d \tag{۲}$$

$$\sum_{r \in R_d \cap \Omega_d} z_{rc} \le 1 \quad \forall \Omega_d \in \Psi_d, c = 1,...,N_d \tag{۳}$$

$$\sum_{r_1, r_2 \in R_d \cap \Omega_d, \text{ConditionA}} (z_{r_1 c} + z_{r_2 (c+1)}) \le 1 \quad \forall \Omega_d \in \Psi_d, c = 1,...,N_d \tag{۴}$$

$$z_{rc} \in \{0,1\} \quad \forall r \in R_d, c = 1,...,N_d$$

در این مدل Nd برابر تعداد واحدهای زمانی است که خط کاری در آن ها به طول می انجامد و متغیر C بیانگر شماره واحد زمانی است که در آن قرار داریم.
از این رو C+1 یک واحد زمانی بعد از C است.
محدودیت (۱) نشان می دهد که هرمأموریت منتخب در مرحله تولید مأموریت باید دقیقاً در Nd واحد دوره زمانی ۱ بار پوشش داده شود.
محدودیت(۲) نشان می دهد که در هر واحد زمانی از بین مأموریت های موجود در یک بسته تنها یک مأموریت می تواند انجام شود.
تعریف: مأموریت گذرا مأموریتی است که بخشی از آن در یک واحد زمانی و بخشی دیگر در واحد زمانی بعدی انجام می شود.
دو مأموریت r1 و r2 در یک بسته قرار دارند، یعنی از نظر زمانی تداخل دارند. مأموریت r1 یک مأموریت گذرا در پایان یک واحد زمانی است و مأموریت r2 در اوایل همان واحد زمانی آغاز می شود. شرط A در محدودیت (۳) بیان می کند که از دو مأموریت متعلق به یک بسته با شرایط r1 و r2، r2 در واحد زمانی بعد از اجرای r1 نمی تواند انجام شود. به این ترتیب این محدودیت نشان می دهد که باید از بین اجرای مأموریت r1 در واحد زمانی جاری و مأموریت r2 در واحد زمانی بعدی، یکی از دو مأموریت انتخاب شود.
محدودیت (٤) بیان می کند که مقدار متغیر zrc صفر و یک است.
تابع هدف f(z) برای کنترل کیفیت خطوط کاری به کار می رود. آشکار است که اگر f(z)~0، هر نتیجه حلی از مدل، یک مجموعه از مأموریت های موجه را می دهد. هدف استفاده از f(z) متقارن کردن بار کاری بین واحدهای زمانی است.
برای شرح این که بار کاری چگونه محاسبه می شود، می توان از پارامتر زمان استفاده کرد. به این معنی که مأموریت هایی که مدت زمان بیشتری طول می کشند، بار کاری آن ها بیشتر است.
به عنوان مثال در شکل ۳ مأموریت، ٦ مدت زمان بیشتری نسبت به مأموریت های ٤ یا ۵ به خود اختصاص می دهد، بنابراین بار کاری این مأموریت بیشتر است. به این ترتیب بار کاری واحد زمانی ۱ برابر مجموع مدتزمان های مأموریت های ۱ و ۲ و بخشی از ۳ است و بار کاری واحد زمانی ۳ برابر مدت زمان مأموریت ٦ است.

$$f(z) = \sum_{c=1}^{Nd} (\sum_{i=1}^{k} Zri.C)\text{^}2 \tag{۵}$$

در عبارت بالا k برابر تعداد مأموریت ها در دپوی مربوطه است. به این ترتیب در واحد زمانیC بر حسب این که $Zri.C$ برابر ۰ یا ۱ شود، به بار کاری آن واحد زمانی افزوده می شود یا نمی شود و مدل با در نظر گرفتن این نتیجه، سعی می کند مقدار $\sum_{i=1}^{k} Zri.C$ را در هر واحد زمانی با مقدار سایر واحدهای زمانی برابر کند یا کمینه این مقدارها را نزدیک به هم قرار دهد.
تابع هدف مدل با این ساختار به صورت غیر خطی در می آید. این مسأله یک مسأله فروشنده دوره گرد یا TSP[۱۷] است و از ویژگی های آن NP-HARD[۱۸] بودن آن است، بنابراین از بیان دقیق عبارت تابع هدف خودداری شده است. در زمان مدل کردن مسأله، فرض بر این است که ورودی های مسأله، یعنی شبکه و مأموریت های ساخته شده در آن، ثابت اند و تغییرنمی کنند. هر کدام از مأموریت ها یک بار کاری معین دارند، به این ترتیب مجموع بارهای کاری متعلق به کلیه مأموریت ها و در نتیجه مجموع بارهای کاری موجود در واحدهای زمانی ثابت است. با توجه به این که حاصل جمع جبری چند مربع کامل چند عدد زمانی کمینه است که همه این اعداد با هم برابر باشند، بنابراین

Archive of SID
www.SID.ir

مجموع مربعات جمع بارهای کاری در هر واحد زمانی هنگامی کمینه است که جمع بارهای کاری در هر واحد زمانی با جمع بارهای کاری در واحدهای زمانی دیگر برابر باشد. با کمینه شدن مجموع مربعات متغیرها یعنی زمانی که این متغیرها با هم برابر باشند بارکاری بین واحدهای زمانی برنامه ریزی یکسان توزیع شده است و هدف از مطرح شدن عبارت تابع هدف که تقارن بارکاری است، به دست می آید. برای شرح بیشتر با توجه به شکل ۳ می توان گفت که در این خط کاری، مجموع بار کاری مأموریت های ۱ و ۲ و بخشی از ۳ تقریباً برابر مجموع بار کاری مأموریت های ٤ و ٥ و بخش دیگر مأموریت ۳ است که هر دوی آن ها با بار کاری مأموریت ٦ برابرند. به همین ترتیب بار کاری در هر واحد زمانی که حاصل جمع بارهای کاری مربوط به آن واحد زمانی است با بار کاری سایر واحد های زمانی برابر است.

توضیح این که همان گونه که گفته شد، هدف نهایی تابع هدف f(z) متوازن کردن بار کاری بین واحدهای زمانی است و شکل ۳ خروجی نهایی مسأله مورد بررسی در این مقاله است. با توجه به این که خروجی نهایی باید شرایط تابع هدف و محدودیت ها را ارضاء کند، در آن بار کاری هر واحد زمانی نزدیک بار کاری سایر واحدهای زمانی است . به عنوان مثال اگر مجموع مقدار بار کاری در یک واحد زمانیn ساعت در نظر گرفته شود (در این جا از پارامتر زمان استفاده شده است) مقدار بار کاری در واحدهای زمانی دیگر عددی نزدیک به n مانندn+1 خواهد بود.

۸-۱ الگوریتم تولید خطوط کاری متناوب

در این جا برای حل مسأله، یک الگوریتم ابتکاری که سعی می کند یک خط کاری متناوب در هر دیو تولید کند، ارایه می شود:

گام۰: همه بسته های نهایی مجموعه Rd را تولید کنید (که شامل بسته های گذرا نیز باشند) سپس i=1

گام۱: مأموریت ها را در واحد زمانی i تخصیص دهید.

$$i = 1,2,...,Nd$$

گام۱- الف : اگر یک بسته نهایی با تعداد عضو $Nd-i+1$ داریم به قدم ۱- ب بروید در غیر این صورت به گام ۲ بروید.

گام ۱- ب : اولین بسته نهایی رخ دهنده با تعداد عضو $Nd-i+1$ را از مجموعه Rd که در واحد زمانی i کنترل نشده است انتخاب کنید. ماموید r از این بسته را که اول از همه در این بسته در واحد زمانی i تمام می شود تخصیص دهید. سپس r را از مجموعه Rd حذف کنید و به گام ا- الف بروید.

گام ۲: همه بسته های نهایی مجموعه Rd را دوباره انتخاب کنید. سپس i را به i+1 تبدیل کنید و به گام ۱ بروید. برای هر دیو از یک تا چند بسته نهایی تولید خواهد شد، بسته ای که بیشترین تعداد مأموریت را دارد، یعنی بیشترین تعداد مأموریت متداخل از نظر زمانی در آن حضور دارند، می تواند به عنوان مبنایی برای تعیین تعداد خدمه مورد نیاز در آن دپو قرار گیرد، به این علت که بحرانی ترین حالت را نشان می دهد. پیش از این گفته شد که طول خط کاری در هر دپو برابر تعداد خدمه مورد نیاز در آن دپو است.

اگر Nd برابر تعداد واحدهای زمانی خط کاری در نظر گرفته شود، با توجه به این که شیوه عمل الگوریتم به گونه ای است که به تدریج مأموریت های موجود در هر بسته با گذر از هر واحد زمانی حذف می شوند و تعداد اعضای بسته ها کاهش می یابد، پس در شروع الگوریتم یعنی زمانی که i=1، بزرگترین بسته نهایی حداکثر $Nd-i+1$ عضو دارد که همان Nd است.

پس در شروع هر واحد زمانی، حداکثر اندازه بسته های نهایی در مجموعه Rd کوچک تر یا مساوی $Nd-i+1$ است. اگر حداکثر اندازه بسته های نهایی از تعداد گروه های خدمه در طول Nd هفته در دپو ایجاد می کند، به طوری که حداکثر یک مأموریت در مجموعه مأموریت های دپوی مربوطه تخصیص نخواهد یافت. به همین دلیل معمولاً این الگوریتم زمانی نتایج بهتری می دهد که تعداد خدمه مورد نیاز در هر دپو نامعلوم باشد و اگر تعداد خدمه مشخص باشد نمی تواند به عنوان ورودی آن را قبول کند. اگرحداکثر اندازه بسته های نهایی در شروع واحد زمانی ۱ کمتر از Nd باشد (Nd تعداد واحد زمانی مورد نظر ما برای برنامه ریزی است) و با فرض این که این اختلاف برابر K باشد، در K واحد زمانی اول برنامه ریزی، هیچ برنامه ای وجود ندارد. بنابراین در عمل اگر تعداد واحد های مورد برنامه ریزی از اندازه بزرگ ترین بسته نهایی بیشتر باشد نمی توان برای کل واحد های مورد نظر برنامه ریزی کرد و برنامه تا حد ممکن فشرده شده و در طول $Nd-k$ واحد زمانی پخش می شود. واحد پایه برنامه ریزی اول هیچ مأموریتی تخصیص نخواهد یافت.

Archive of SID
www.SID.ir

۹. مثالی برای شرح چگونگی حل مسأله برای قسمتی از شبکه راه آهن ایران

با استفاده از جدول زمانی حرکت قطارها که متعلق به برنامه بهاری سال ۸٤ است، مسأله برنامه ریزی خدمه برای قسمتی از شبکه راه آهن ایران را مورد بررسی قرار می دهیم.

در این مقاله فرض می شود که خروجی های فاز ۱ را در اختیار داریم و سعی می کنیم با استفاده از الگوریتم های تولید بسته و تولید خطوط کاری، برنامه ریزی در کل شبکه را انجام دهیم. با در اختیار داشتن جدول زمان بندی حرکت قطارها، مأموریت‌های تولید شده در هر دپو و زمان های بحرانی آغاز و پایان آنها در دپوهای نمونه یزد و اصفهان مشخص شده اند (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات مأموریت ها در ۲ دپو

	دپو : یزد		
شماره مأموریت	زمان شروع	زمان پایان	مقصد
۱	۱۰:۰۲	۰۷:٤۰	مشهد
۲	۲۰:۰۲	۰٥:۲٥	تهران
۳	۰٦:۰۲	۱۹:۳٥	بندرعباس

۱- الف

	دپو : اصفهان		
شماره مأموریت	زمان شروع	زمان پایان	مقصد
۱	۰۷:۰۲	۱۸:۱۰	مشهد
۲	۱۱:۳۰	۰۲:۱٥	تهران
۳	۱۳:۳۰	۰۳:۱٥	بندر عباس
٤	۱٤:٤٥	۰۳:٤۰	تهران

۱- ب

با استفاده از الگوریتم تولید خطوط کاری به ایجاد خطوط کاری در هر دپو پرداخته ایم. نتایج تولید در جدول (۲) نشان داده شده‌اند. تمامی مأموریت هایی که متعلق به یک روز خاص هستند در خانه مقابل آن روز قرار می گیرند و تمام آن ها باید در آن روز به وسیله یک گروه خدمه انجام شوند.

جدول ۲. هر دپو در طول بازه زمانی برنامه ریزی

نام دپو	یزد
روز	مأموریت ها
۱	r(1)
۲	r(3) و r(2)

۲- الف

نام دپو :	اصفهان
روز	مأموریت ها
۱	r(4)
۲	r(1)
۳	r(2)
٤	r(3)

۲- ب

۱۰. نتایج حل برای کل شبکه راه آهن ایران

در این قسمت با این فرض که مأموریت ها به صورت نزدیک به بهینه ایجاد شده اند تعداد ۹۳ مأموریت تولید شده‌اند. با استفاده از قرار دادن دپوهای واسط در مسیرهای طولانی مأموریت هایی که حداقل دو شب به طول می انجامیدند به زمانی حدود یک شب کاهش داده شدند. همچنین مأموریت‌هایی که حدود چهار شب طول می کشیدند تا انجام شوند به مقداری کمتر از ۲٤ ساعت تقلیل یافته اند.

جدول(۳) وضعیت موجود اعزام ها را نشان می دهد:

جدول ۳. وضعیت موجود اعزام ها

	سرویس های ٤شبه و۳ شبه	سرویس های دو شبه	سرویس های ۱ شبه
تعداد افراد اعزامی	٥٦	٥۷	۷

ملاحظه می شود که ٤٥/٥٪ افراد اعزام هایی با طول بیش از ۲ شب، ٤۷/٥ ٪ افراد اعزام هایی با طول ۲ شب و ٦٪ افراد اعزام هایی با طول حدود یک شب دارند. در شیوه جدید تولید مأموریت ها طول اعزام ها به حداکثر ۲٤ ساعت کاهش یافته است که ۳۸٪ افراد، اعزام هایی نزدیک ۲٤ ساعت و بقیه افراد اعزام هایی با طول کمتر از ۲٤ ساعت خواهند داشت.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤. تعداد افراد در هر دپو و تعداد افراد مورد نیاز در دپوهای مختلف

دپو:	بندر عباس	گرگان	خرمشهر	مراغه	زنجان	میانه	اصفهان	یزد
تعداد روزهای خطکاری	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۴	۲
تعداد خدمه مورد نیاز	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۴	۲
تعداد خدمه موجود	۰	۴	۰	۱	۲	۱	۲	۱

٤- الف

دپو:	تهران	مشهد	کرمان	تبریز	کارون	اهواز	اندیمشک	اراک	سرندر
تعداد روزهای خط کاری	۳۸	۱۹	۲	۵	۲	۲	۲	۱	۱
تعداد خدمه موردنیاز	۳۸	۱۹	۲	۵	۲	۲	۲	۱	۱

٤- ب

تعداد افراد در هر دپو و تعداد افراد مورد نیاز در دپوهای مختلف که با استفاده از اجرای الگوریتم این تحقیق به دست آمده به شرح جدول (٤) هستند. برای شرح اعداد ذکر شده در جدول (٤) توضیح زیر ضروری است:

سطر ۱ جدول، بیانگر تعداد روزهای خط کاری در هر دپو است. بنابراین همان گونه که قبلاً توضیح داده شد، به ازای هر روز کاری (واحد زمانی کاری) در هر دپو، به یک گروه خدمه نیاز است. به عنوان مثال در دپوی اصفهان که تعداد واحدهای زمانی خط کاری ایجاد شده ٤ است، به تعداد ٤ گروه خدمه نیاز وجود دارد. در سطر ۳ تعداد خدمه موجود در این دپوها در وضعیت فعلی نشان داده شده است.

به عنوان مثال در دپوی تهران تعداد خدمه موجود ۵۷ نفر ذکر شده است، در حالی که برای پوشش همه مأموریت های موجود در این دپو به ۳۸ گروه خدمه نیاز است.

این نتیجه بهبود در تعداد نیروی انسانی مورد نیاز در دپوی تهران و به دنبال آن کاهش هزینه ها را نشان می دهد.

همچنین در دپوی کرمان دیده می شود که در حال حاضر هیچ خدمه ای وجود ندارد، ولی برای پوشش مأموریت های موجود در این دپو، به ۲ گروه خدمه نیاز است.

۱۱. نتیجه گیری

این مقاله بر اساس در نظر گرفتن جدول زمانی حرکت قطارها و نیز خصوصیات شبکه راه آهن کشور یعنی ایستگاه هاو مسیرهای ریلی اتصال دهنده آنها اقدام به برنامه ریزی اعزام رؤسای قطار کرده است. همچنین تعداد خدمه ای را که در هر ایستگاه مورد بررسی لازم است تا همه مأموریت هایی که شروع آن ها از آن ایستگاه است پوشش داده شوند، تعیین می کند. در روش تولید با الگوریتم انشعاب استاندارد های کاری تا حد زیادی رعایت می شوند. مسیرهای طولانی که در نتیجه آنها مدت زمان سیر خدمه قطار بیش از حد استاندارد بوده است، نصف شده اند. استراحت های شبانه در دپوهای غیر از دپوی خانه حذف شده و در نتیجه هزینه خوابگاهی از بین رفته است. در این روش دیگر نیازی نیست که برای هر گروه خدمه به طور جداگانه برنامه ریزی شود، بلکه تنها کافی است یک خط کاری برای هر دپو ایجاد شود. این خط کاری در هر دپو برای همه افراد یکسان است و افراد به صورت چرخشی در واحدهای زمانی مختلف اجزای مختلفی از یک خط کاری را به عهده گرفته و انجام می دهند. مزیت این نوع روش حل برتری یعنی تقسیم شبکه راه آهن به دپوهای مختلف در فاز ۲ این است که تعداد مأموریت هایی که به هر دپو تعلق می گیرد نمی تواند بسیار بزرگ شود، یعنی نسبت به ابعاد شبکه بسیار کوچک تر شده و همین امر باعث کاهش زمان حل توسط نرم افزارهای رایانه ای می شود.

Archive of SID
www.SID.ir

۱۲. مراجع

1. Moller, Jasper (2002) "Seminar on Algorithms and Models for Railway Optimization Crew Scheduling" , University of Konstanz.

2. Owens, Bowie, Ernst, A., Garcia, Maria and Marriot, Kim (2001) "Personnel scheduling using constraint logic programming", Thesis, Monash University.

3. Kroon, Leo and Fischetti, Matteo" Crew scheduling for Netherlands railways "Destination : customer", Erim Report Series Research in Management.

4. Caprara, A., Focacci, Lamma, F.E. Mello,P. Milano, M., P., Toth, P. and Vigo, D. "Integrating constraint logic programming and operations research techniques for the crew rostering problem", DIES, University Di Bologna.

5. Caprara, A.,Toth, P., Vigo, D., Fischetti, M. (2001) "Solution of large scale railway crew planning problems : Italin Experience", Dies-University of Bologna, DMI-University of Udine.

6. Freling, Richard, Roman Lentink, Roman, Odjik, Michael A. "Scheduling train crews : a case study for the Dutch railways", Economic Institute, Erasmus University Rotterdom.

7. Ernst, A. Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Nott, H. and Sier, D. "Rail crew scheduling and rostering : optimisation algorithms", CSIRO Mathematical and Information Sciences .

۸. سپهری، محمد مهدی، نجمی، محمد رضا، خوش الحان، فرید (۱۳۸۳) "حل مسأله زمان بندی خدمه راه آهن به کمک روش بهینه یابی کلنی مورچگان"، مجله فنی – مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

۹. حاجی فتحعلی ها، عباس "زمانبندی خدمه در راه آهن"، پایان نامه دکتری ، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۰.

پانویس‌ها

1. Roundtrip
2. Roster
۳. این الگوریتم از مرجع ۸ گرفته شده است .
4. Set partitioning problem
5. Set covering problem
6. Linear programming
7. Integer programming
8. Local search
9. Constraint programming
10. Constraint logic programming
11. Home depot
12. Crew scheduling
13. Crew rostering
14. Clique
15. Roundtrips belong to each depot
16. Clique pool
17. Traveling sales person problem
18. Non predetermined

Archive of SID

www.SID.ir