

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی صنایع - سیستم های اقتصادی - اجتماعی

زمانبندی مجدد حرکت قطار

کوثر روشنی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا امین ناصری

خرداد ۱۳۸۹



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم کوثر روشنی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان زمانبندی مجدد حرکت قطار در تاریخ ۱۳۸۹/۳/۲۴ ارائه کردند.
اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - سیستمهای اقتصادی اجتماعی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمد رضا امین ناصری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر عیسی غنمی کمال آبادی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید حسام الدین ذگردی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محسن پورسیدآقایی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر عیسی غنمی کمال آبادی	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی
امضاء

و بعد از مدتها، پس از پیمودن راه‌های فراوان که با

نگاه‌های گرم مادرم،

تشویق‌های پدرم،

زیبایی وجود خواهرم و

حضور همسرم در کنارم

همراه بود - که خستگی‌های این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کرده و امیدوارم بتوانم در آینده‌ی نزدیک جواب‌گوی محبت آنها باشم - اکنون، با احترام فراوان برای تلاش همه این عزیزان برای موفقیت من، این پایان‌نامه را به پدر و مادرم، خواهر مهربانم و همسر عزیزم تقدیم می‌کنم. امیدوارم قادر به درک زیبایی‌های وجودشان باشم.

سپاس‌گزاری

از راهنمایی‌ها و کمک‌های شایان جناب آقای دکتر امین‌ناصری در انجام این پایان‌نامه کمال تشکر و قدرانی را دارم.

همچنین از همکاران اداره کنترل ناحیه تهران بویژه جناب آقایان گروسی و تقی‌خانی و همچنین مدیریت اداره آمار و فناوری اطلاعات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران جناب آقای مهندس فرخ‌منش تشکر و قدرانی می‌گردد.

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تقاضای حمل و نقل ریلی، سعی شده‌است از حداکثر توان شبکه ریلی برای حمل و نقل بار و مسافر استفاده شود، در نتیجه، زمانی که تناوب سفر بالاست، هرگونه مشکل در یک قطار، موجب تغییر در برنامه حرکت سایر قطارها شده و به عبارتی در برنامه آن‌ها اختلال ایجاد می‌کند. در این شرایط یک برنامه جدید عاری از تداخل مورد نیاز است که انحراف از برنامه اصلی را حداقل کند. در چنین شرایطی، زمانبندی مجدد حرکت قطارها مطرح می‌شود که از اهمیت بسیار بالایی در بحث کنترل ترافیک راه‌آهن برخوردار است. در این تحقیق سعی شده است رویکردی برای زمانبندی مجدد در مسیرهای دو خطه با دید واقع‌گرایانه ارائه شود. می‌توان زمانبندی مجدد حرکت قطار را به سه مرحله اصلی تقسیم کرد: الف) تشخیص رخ دادن مشکل؛ ب) اقدام برای حل مشکل و ج) زمانبندی مجدد حرکت سایر قطارها.

در این پایان‌نامه برای انجام مرحله دوم از سیستم خبره استفاده شده است. این سیستم *Rule base* بوده و از ۱۰ شرط اصلی تشکیل شده است. وظیفه این سیستم، رفع مشکل رخ داده و تنظیم برنامه قطاری است که دچار مشکل شده است. مرحله سوم نیز به کمک مدل ریاضی انجام پذیرفته است. مدل ریاضی نوشته شده از نوع *ILP* بوده و از اطلاعات به روز شده توسط سیستم خبره برای تنظیم برنامه حرکت سایر قطارها استفاده می‌کند. تابع هدف این مدل ریاضی، حداقل کردن انحراف حرکت قطارها از برنامه اصلی می‌باشد. این رویکرد، استفاده از سیستم خبره در کنار مدل ریاضی، باعث شده از پیچیدگی‌های مساله چشم‌پوشی نشود و تا جای ممکن محدودیت‌های مساله دیده شوند، به همین دلیل این رویکرد در مقایسه با سایر روش‌ها از انعطاف و دقت بالاتری برخوردار است.

به منظور کاهش زمان حل مساله‌ای با ابعاد واقعی، در مدل ریاضی و سیستم خبره تغییراتی ایجاد کرده و مدل را به *LP* تبدیل کردیم و پس از آن به حل مساله پرداختیم.

در این پایان‌نامه سعی شده الگوریتم توسعه داده شده برای مسیر تهران-مشهد به کار گرفته شده و از این طریق توضیح داده شود. همچنین کارایی الگوریتم نیز از این طریق بررسی شده است. نتایج حاصل نشان داد این مدل در مقایسه با کار کارشناسان خبره از کارایی بهتری برخوردار بوده و در زمان کوتاهی به جواب مساله می‌رسد.

کلمات کلیدی:

زمانبندی مجدد حرکت قطار، مدل ریاضی، سیستم خبره.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه
فصل ۱: کلیات	۱.....
۱-۱- مقدمه	۲.....
۲-۱- مزایای حمل و نقل ریلی در مقابل سایر صنایع حمل و نقل	۴.....
۳-۱- مسائل برنامه ریزی در شبکه های راه آهن.....	۵.....
۴-۱- انواع مسائل زمانبندی قطار	۶.....
۱-۴-۱- مساله طراحی جداول زمانبندی.....	۶.....
۲-۴-۱- مسأله زمانبندی مجدد.....	۷.....
۵-۱- تعریف موضوع و بیان مسأله.....	۹.....
۶-۱- اهمیت موضوع.....	۱۱.....
۷-۱- جنبه جدید بودن و نوآوری	۱۴.....
۸-۱- ساختار پایان نامه.....	۱۴.....
فصل ۲: مروری بر ادبیات موضوع زمانبندی مجدد حرکت قطار و روش های حل آن.....	۱۶.....
۱-۲- تعاریف و اصطلاحات	۱۷.....
۲-۲- محدودیت های مسأله ی زمانبندی مجدد حرکت قطار.....	۱۹.....
۳-۲- اهداف مسأله زمانبندی مجدد حرکت قطار.....	۲۱.....
۴-۲- جایگاه زمانبندی مجدد در ایران.....	۲۲.....
۵-۲- الگوریتم های حل مساله زمانبندی مجدد حرکت قطار.....	۲۳.....
۶-۲- روش های حل مساله زمانبندی مجدد.....	۲۳.....
۱-۶-۲- روش های حل دقیق	۲۴.....
۲-۶-۲- روش های حل غیر دقیق.....	۲۷.....
فصل ۳: توسعه مدل زمانبندی مجدد.....	۴۲.....
۱-۳- توضیح مساله	۴۳.....
۲-۳- رویکرد حل مساله.....	۴۴.....
۳-۳- سیستم خبره	۴۶.....
۱-۳-۳- اکتساب دانایی.....	۴۷.....
۲-۳-۳- پایگاه دانایی.....	۵۲.....
۳-۳-۳- پایگاه قواعد.....	۵۳.....
۴-۳- مدل ریاضی.....	۵۵.....
۱-۴-۳- تابع هدف.....	۵۵.....

۵۶	.....مجموعه ها. ۲-۴-۳
۵۶	.....متغیرها. ۳-۴-۳
۵۶	.....پارامترها. ۴-۴-۳
۵۷	.....محدودیت ها. ۵-۴-۳
۶۰	.....مدل زمانبندی مجدد. ۶-۴-۳
۶۳	.....فصل ۴ : حل مدل ارائه شده برای زمانبندی مجدد
۶۴	.....۱-۴ - مساله نمونه
۷۰	.....۲-۴ - تاثیر تعداد متغیرها و محدودیت ها بر زمان حل مساله
۷۰	.....۳-۴ - حل مدل
۷۱	.....۴-۴ - نتایج حل و مقایسه
۸۰	.....فصل ۵ : نتیجه گیری
۸۱	.....۱-۵ - خلاصه کارهای انجام شده
۸۲	.....۲-۵ - دستاوردها و نوآوری های تحقیق
۸۲	.....۳-۵ - پیشنهادات آتی
۸۶	.....مراجع
۹۰	.....پیوست الف
۹۲	.....پیوست ب

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ نموداری از یک فرایند زمانبندی مجدد.....	۸.....
شکل ۲-۱ فرایند کلی زمانبندی مجدد.....	۱۰.....
شکل ۱-۲ معماری کلی سیستم زمانبند قطار.....	۲۷.....
شکل ۲-۲ نحوه استفاده از الگوریتم ژنتیک در زمانبندی.....	۳۶.....
شکل ۱-۳ رویکرد در نظر گرفته شده برای حل مساله زمانبندی مجدد.....	۴۵.....
شکل ۱-۴ گراف نشان دهنده زمانبندی اولیه و زمانبندی مجدد برای سناریو ۱.....	۶۳.....
شکل ۲-۴ گراف نشان دهنده زمانبندی اولیه و زمانبندی مجدد برای سناریو ۲.....	۶۴.....
شکل ۳-۴ گراف نشان دهنده زمانبندی اولیه و زمانبندی مجدد برای سناریو ۳.....	۶۵.....
شکل ۴-۴ گراف نشان دهنده زمانبندی اولیه و زمانبندی مجدد برای سناریو ۴.....	۶۷.....

فهرست جدول‌ها

عنوان.....	صفحه.....
جدول ۱-۱ اجزاء اصلی یک مساله زمانبندی.....	۳.....
جدول ۱-۲ انواع استراتژی حل مساله زمانبندی مجدد.....	۲۵.....
جدول ۱-۳ انواع خرابی های معمول در راه آهن.....	۴۶.....
جدول ۱-۴ مقایسه زمان حل مسائل مختلف.....	۶۸.....
جدول ۲-۴ مقایسه زمان حل مسائل مختلف با دو رویکرد.....	۷۰.....
جدول ۳-۴ لیست خرابی های عمده رخ داده در روز ۸۸/۴/۱۲.....	۷۱.....
جدول ۴-۴ لیست خرابی های عمده رخ داده در روز ۸۸/۵/۴.....	۷۲.....
جدول ۵-۴ لیست خرابی های عمده رخ داده در روز ۸۸/۵/۱۳.....	۷۲.....
جدول ۶-۴ مقایسه نتایج حاصل از حل مدل و کار کارشناسان خبره برای روز ۸۸/۴/۱۲.....	۷۳.....
جدول ۷-۴ مقایسه نتایج حاصل از حل مدل و کار کارشناسان خبره برای روز ۸۸/۵/۴.....	۷۵.....
جدول ۸-۴ مقایسه نتایج حاصل از حل مدل و کار کارشناسان خبره برای روز ۸۸/۵/۱۳.....	۷۶.....

فصل ۱: کلیات

۱-۱- مقدمه

رویه برنامه‌ریزی ترافیک ریلی عمومی به چندین گام تقسیم می‌شود:

گام اول- تحلیل تقاضا: نتایج تحلیل تقاضا مشخص کننده حجم و تعداد سفر از هر مبدأ مشخص به هر مقصد مشخص است.

گام دوم- برنامه‌ریزی خط: شامل تصمیماتی درباره مسیرها، خطها و تناوب سفر است.

گام سوم- زمانبندی قطار: زمان رسیدن هر قطار به هر ایستگاه و زمان ترک قطار از ایستگاه مذکور در این مرحله مشخص می‌شود.

گام چهارم- برنامه‌ریزی و تخصیص منابع: لکوموتیو و واگن برای تشکیل قطار باید مونتاز شده و به خط تخصیص داده شوند.

گام پنجم- مدیریت خدمه: شامل تعیین توزیع کارکنان است طوری که برای هر قطار به تعداد کافی پرسنل تخصیص داده شود.

همانطور که مشخص است، زمانبندی قطار در مرحله سوم قرار دارد که لازمه‌ی اجرای آن، برنامه‌ریزی ریزی دو گام قبلی است و خود نیز پیش‌نیاز دو گام بعدی می‌باشد. گام‌های ۳ و ۴ و ۵ علاوه بر کارکردهای بسیارشان، از طریق بهینه‌شدنشان می‌توانند روی هزینه‌های عملیاتی به شدت تأثیرگذار باشند که البته مبنای همه این سه مرحله نیز جدول زمانبندی قطار می‌باشد.

البته نکته قابل توجه این است که همه این مراحل به شدت به یکدیگر وابسته هستند و بهینه کردن یک مرحله ممکن است تصمیم‌گیری‌های موجه سایر مراحل را به شدت محدود کند. بنابراین برای دستیابی به یک جواب بهینه سراسری، محاسبات هر مرحله باید مراحل بعد و همچنین اهداف را

در نظر داشته باشد تا از مغایرات و تناقضات احتمالی و محاسبات مجدد به طور کامل اجتناب شود.

(Ghoseiri et al., 2004)

جدول (۱-۱) نشان می‌دهد به طور خلاصه هر مسأله زمانبندی راه‌آهن از سه جزء اصلی تشکیل شده است.

جدول (۱-۱): اجزاء اصلی یک مسأله زمانبندی

<p>برای قطارها:</p> <p>زمان رسیدن به هر ایستگاه</p> <p>زمان ترک هر ایستگاه</p> <p>تعداد سکوهایی هر ایستگاه</p>	<p>جداول زمانی</p>
<p>برای برنامه‌ریزی:</p> <p>بهینه‌سازی خدمات مسافری</p> <p>حداقل کردن هزینه‌های عملیاتی</p>	<p>معیارها</p>
<p>برای برنامه‌ریزی مجدد:</p> <p>حداقل کردن اثرات ناشی از بروز یک مشکل</p> <p>حداقل کردن هزینه‌های اضافی عملیاتی</p> <p>حداقل کردن دردسر و ناراحتی برای مسافری</p>	
<p>برای قطارها:</p> <p>حداقل کردن زمان سفر بین دو ایستگاه</p> <p>حداقل کردن زمان توقف در هر ایستگاه.</p>	<p>محدودیت‌های فیزیکی</p>
<p>برای ایستگاه‌ها:</p> <p>حداقل فاصله زمانی بین دو رسیدن</p> <p>حداقل فاصله زمانی بین دو ترک.</p>	

(Komaya and Fukuda, 1991)

برنامه‌ریزی زمانبندی حرکت قطارها را شاید بتوان از مهمترین و حساسترین فعالیت‌های راه‌آهن برشمرد که نقش مهمی در استفاده از امکانات موجود، تعیین ظرفیت خطوط و خدمات ارائه شده دارد. به طوری که برنامه زمانبندی بهتر باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها و حمل بار و مسافر بیشتر با امکانات موجود خواهد شد. اما از طرف دیگر، زمانبندی حرکت قطارها از لحاظ ریاضی بسیار دشوار است و دارای متغیرها و محدودیت‌های بسیار زیاد می‌باشد. این در حالیست که ترافیک بسیاری از خطوط

راه آهن به حد اشباع رسیده و احداث خطوط جدید هزینه های بسیار هنگفتی را می طلبد. از این رو پژوهشگران متعددی در سراسر دنیا در این مقوله به تحقیق و مطالعه پرداخته اند.

۱-۲- مزایای حمل و نقل ریلی در مقابل سایر صنایع حمل و نقل

عمده ترین صنایع حمل و نقل یک کشور شامل صنایع راه آهن، هوایی و جاده ای می باشد که هر کدام از آن ها دارای ویژگی های خاصی بوده که استفاده از آن ها را اجتناب ناپذیر نموده و از طرف دیگر باعث ایجاد رقابت بین آن ها می گردد.

در صنایع راه آهن فشار این رقابت باعث گردیده است که این صنعت متحول شده و به سمت تکامل و تطابق با وضعیت فعلی جوامع حرکت کند که از آن جمله می توان به افزایش سرعت قطارها، کاهش هزینه های حمل و نقل، سازماندهی و بهبود در ارائه سرویس به متقاضیان و کاهش سوانح اشاره کرد. از طرفی وجود عوامل متعددی در این صنعت باعث شده است که در بسیاری از موارد استفاده از راه آهن برای حمل و نقل مناسب تر از سایر وسایل باشد که از جمله این عوامل می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- امکان جابجایی های بزرگ در راه آهن
- مصرف پایین سوخت
- آلودگی کمتر محیط زیست
- ایمنی بیشتر
- اشغال کمتر زمین
- صرفه اقتصادی

مطالب فوق بیانگر ویژگی های خاص صنعت حمل و نقل ریلی در مقایسه با سایر صنایع می باشد بطوریکه اگر هزینه های سرسام آور سرمایه گذاری زیربنایی در صنعت راه آهن نبود، در مقام رقابت، این صنعت از سایر صنایع پیشی می گرفت.

۱-۳- مسائل برنامه ریزی در شبکه های راه آهن

امروزه مدیریت را می‌توان مترادف با تصمیم‌گیری در نظر گرفت. فرد یا گروهی که هدایت مجموعه‌ای را بر عهده دارند، در هر لحظه از زمان با مسائل مختلف تصمیم‌گیری روبرو می‌باشند. حال برخی از این مسائل به صورت روزمره، موقتی و ساده است که اثرات کوتاه مدت و ناچیزی در مجموعه دارند و برخی دیگر از مسائل، پیچیده و غامض بوده که در راستای افزایش کارایی و بهره‌برداری مجموعه مطرح شده و تأثیرات درازمدت و برجسته‌ای را به جای خواهند گذاشت، این نوع مسائل نیازمند برنامه‌ریزی جهت نظم بخشیدن و هماهنگ نمودن مجموعه تحت نظر می‌باشند.

در مجموعه راه‌آهن نیز همانند سایر سازمان‌ها مسائل متعددی جهت برنامه‌ریزی و افزایش کارایی مطرح می‌شوند که از آن جمله می‌توان به مسائلی از قبیل برنامه‌ریزی نیروی انسانی، برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری، سیستم‌های خرید و فروش، برنامه‌ریزی مالی و ... اشاره نمود. در رابطه با سیستم سیر و حرکت قطارها، با توجه به اینکه مجموعه‌ای از اجزاء دست به دست هم داده تا یک هدف واحد را متجلی سازند، مسائل متفاوتی جهت برنامه‌ریزی مطرح می‌باشند که مکمل یکدیگر بوده و مدیریت را مطمئن خواهد ساخت تا حرکت قطارها و واگن‌ها را در شبکه بر اساس یک شالوده محکم، دقیق و علمی تحت کنترل داشته و با اطمینان کامل آن‌ها را هدایت نماید و همچنین این امکان را فراهم می‌سازد که تمامی اطلاعات از وضعیت جاری عملیات راه‌آهن در اختیار مدیران قرار گرفته و انجام برنامه‌ریزی‌های کلی‌تر را برای آن‌ها تسهیل نماید.

از طرفی با توجه به گستردگی و پیچیدگی مسائل، امروزه سعی بر این است که آن‌ها را از دیدگاه سیستمی و از منظر برنامه‌ریزی و مدیریت مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند و یکی از مناسب‌ترین روش‌هایی که می‌توان توسط آن به رفتار سیستم و عکس‌العمل‌های مربوط به آن پی برد، مدل‌سازی مسائل می‌باشد که جهت تعریف مسأله، تحلیل اجزای آن، ارزیابی پیشنهادات موجود برای حل مسأله و پیش‌بینی و کمک به برنامه‌ریزی‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسائل مهمی را که در زیر مجموعه سیر و حرکت قطارها قرار داشته و از دیدگاه سیستمی مورد بررسی قرار می‌گیرند، بدین شرح است که در اینجا به ذکر نام آن‌ها بسنده می‌شود:

- تخصیص واگن به قطار

- تخصیص لکوموتیو به قطارها
- تعیین مسیر حرکت قطارها
- تعیین محل ایستگاه‌ها در یک مسیر
- تعیین نقاط دو خطه در شبکه
- زمانبندی حرکت قطارها

همانطور که مشاهده می‌شود نه تنها زمانبندی حرکت قطارها یکی از سیستم‌های مطرح در راه‌آهن است، بلکه به دلایل زیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است:

- بر روی سایر مسائل برنامه‌ریزی تأثیر مستقیم دارد؛
- نتایج حاصل از آن، کل برنامه‌های موجود در مجموعه راه‌آهن را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد؛
- حلقه تکمیلی مسائل مربوط به سیر و حرکت قطارها می‌باشد.

از آنجایی که مساله اصلی این پایان‌نامه، یکی از انواع زمانبندی می‌باشد، پس از آشنایی مختصری که با جایگاه و اهمیت زمانبندی در مجموعه راه‌آهن صورت گرفت، به توضیح بیشتر این مهم می‌پردازیم:

۱-۴- انواع مسائل زمانبندی قطار

همانطور که در بخش‌های قبل گفته شد، یکی از اصلی‌ترین مسائل راه‌آهن، مسأله زمانبندی حرکت قطارهاست که یک مسأله مرکزی است و روی سایر مسائل و برنامه‌ریزی سایر موارد مطرح در راه‌آهن، مؤثر است. این مسأله که به علت محدودیت‌ها و تعاملات بسیار زیاد بین عوامل متعدد آن، بسیار پیچیده است، خود به دو نوع مسأله تقسیم می‌شود که هر یک به نوبه خود از اهمیت بالایی برخوردارند.

۱-۴-۱- مساله طراحی جداول زمانبندی^۱

اولین مسأله، بحث طراحی جداول زمانبندی است که به طور کلی طی دو فاز صورت می‌گیرد: در فاز اول برنامه‌ریزی خط صورت می‌گیرد. این فعالیت هر ۲ تا ۳ سال یک بار انجام می‌شود (Ghoseiri

¹ Timetable

(*et al.*, 2004). طی این مرحله مسیرها، تناوبات و زمان‌های توقف قطارها در ایستگاه‌ها تعیین و مشخص می‌شود. نکته قابل توجه در این مرحله لزوم توجه به ایمنی، ظرفیت، تقاضای مسافری و بسیاری موارد دیگر در زمان تعیین مسیر است. (*Zwanveled et al.*, 2001)

در مرحله بعد، زمانبندی حرکت در دو سطح انجام می‌شود، این مرحله در ایران برای فصل‌های مختلف پیش از شروع آن صورت می‌گیرد.

سطح اول: زمانبندی کلی^۲ حرکت

این سطح با توجه به برنامه اصلی انجام می‌شود و در این مرحله تداخلات مورد توجه قرار نمی‌گیرند.

سطح دوم: زمانبندی محلی^۳ حرکت

در این مرحله تداخلات و اشکالات سیستم مورد توجه قرار گرفته و در راستای حل آن‌ها اقداماتی انجام می‌شود. (*Zhou and Zhong*, 2005)

منظور از طراحی جداول زمانبندی، تعیین کلیه موارد مربوط به سیر و حرکت قطارهاست از جمله: مسیر حرکت، تناوب سفر، ایستگاه‌های عبوری و ایستگاه‌های توقفی، زمان توقف در ایستگاه‌ها، زمان رسیدن به هر ایستگاه، زمان ترک هر ایستگاه و ...

۱-۴-۲ - مسأله زمانبندی مجدد

با وجود تمام تلاش‌ها و دقت‌هایی که در طراحی جداول زمانبندی صرف می‌شود، اغلب در زمان اجرا و در زمان واقعی، مشکلات پیش‌بینی نشده‌ی بسیاری رخ می‌دهد که نه همه‌ی آن‌ها ولی اکثر قریب به اتفاقشان، باعث رخ دادن اغتشاش و نتیجتاً تداخل در عملیات مربوط به قطارها و انحراف از جداول زمانی می‌شود. در چنین مواقعی نیاز به تنظیم مجدد برنامه زمانی حرکت قطارها بوجود می‌آید تا از تداخلات بیشتر و احیاناً تصادمات ناشی از آن‌ها جلوگیری کند. این موضوع در ادبیات با عنوان

^۲ Global Scheduling

^۳ Local scheduling

مسأله زمانبندی مجدد حرکت قطارها شناخته می‌شود که در ادامه بیشتر توضیح داده می‌شود:
(Tornquist and Persson, 2005)

برنامه‌های زمانبندی جزئی قطار اغلب برای بازه زمانی چند ماهه تنظیم می‌شوند. یک برنامه خوب با حداقل تأخیرات روبرو خواهد بود و البته این تأخیرات اولیه خود مسبب یک سری تأخیرات ثانویه خواهند شد و به سایر قطارهای شبکه نیز سرایت خواهند کرد. در چنین شرایطی اصلاح جزئی برنامه زمانبندی مورد نیاز خواهد بود. بنابراین مدیریت ترافیک راه‌آهن در زمان واقعی^۴ نیازمند زمانبندی مجدد قطارهای درون شبکه، حداقل کردن تأخیرات ثانویه و اطمینان از موجه بودن برنامه نهایی است. این فرایند نیازمند یک راه حل مؤثر و کارا در کمترین زمان ممکن است. (D'Ariano et al., 2007a)

همانطور که از مطالب بالا بر می‌آید، دو نوع تأخیر در راه‌آهن و برنامه‌های زمانبندی، شناخته و تعریف شده‌است:

تأخیر اولیه^۵: به دلیل رخ دادن یک شکست در فرایند یا رویه (نوسانات زمانی به دلیل شرایط محیطی یا فنی) رخ می‌دهد. این نوع تأخیرات به جداول زمانی مربوط نیستند.

تأخیر ثانویه^۶: با توجه به ارتباطات قطارها (مثل سکو یا خط مشترک، ارتباطات مسافری و ...)، به دلیل تأخیرات دسته اول به وجود می‌آیند. این نوع تأخیرات در برخی اوقات از طریق تهیه جداول زمانی خاصی قابل اجتناب یا کاهش هستند. (Delorme et al., 2008)

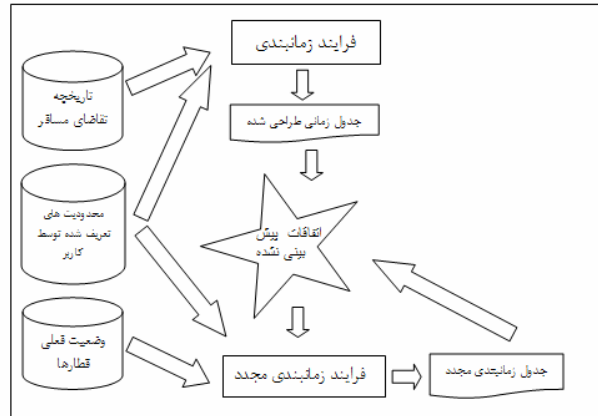
زمان بندی مجدد سعی دارد با فراهم کردن اطلاعاتی از موقعیت‌های قطارها در زمان واقعی به تصمیم‌گیران در تنظیم برنامه‌ای عاری از هرگونه تداخل، کمک کند.

به طور شماتیک می‌توان فرایند زمانبندی مجدد را در قالب شکل (۱-۱) نشان داد:

⁴ Real Time

⁵ Primary Delay

⁶ Secondary Delay



Chang & chung, 2005

شکل (۱-۱): نموداری از یک فرایند زمانبندی مجدد

۱-۵- تعریف موضوع و بیان مسأله

یک سفر قطار با مجموعه‌ای از نقاط عبوری مشخص می‌شود که قطار باید از تمامی این نقاط عبور کند. بدین رو می‌توان گفت سفر قطار با چهار ویژگی شناخته می‌شود:

- مبدأ و مقصد؛
- زمان اعزام (خروج)؛
- ایستگاه‌هایی که قطار در آن توقف می‌کند؛ و
- حداقل زمان توقف در ایستگاه‌ها.

کلیه این موارد در جداول زمانبندی که پیش از این توضیح داده شدند، مشخص می‌شود. بنابراین می‌توان گفت جداول زمانبندی کلیه مواردی که نیاز به تصمیم‌گیری دارند را در بر گرفته و جداولی کامل هستند.

اما زمانبندی اولیه هرچقدر هم کارا باشد، به دلیل حوادث غیر مترقبه و غیر قابل پیش‌بینی از جمله حوادث طبیعی، سهل انگاری، فرسودگی ناوگان حمل و نقل ریلی در بخش زیر ساختها در بسیاری از مسیرها و کارآمدی ناکافی سیستم هشداردهی و علائم، که به گفته کارشناسان خبره ۹۰٪ قطارها را دچار می‌کند، قطارها از برنامه اصلی خود منحرف شده و نیاز به تصمیم‌گیری مجدد دارند. با توجه به فاکتورهای بسیار زیاد مطرح در حرکت قطارها در کنار شبکه پیچیده و محدودیت زمان، در