

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

وزارتخانه های علوم و فناوری  
توسعه و نوآوری



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی عمران

۱۳۸۰ / ۸ / ۳۰

## بهینه سازی بهره برداری راه آهن با استفاده از مدل های ریاضی

سیدفرهاد افتخارزاده

پایان نامه برای دریافت درجه دکترا  
در رشته

مهندسی عمران گرایش راه و ترابری

013168

استاد راهنما: دکتر جلیل شاهی

استاد مشاور: دکتر هاشم مهر آذین

آذرماه ۱۳۷۹

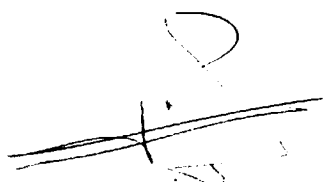
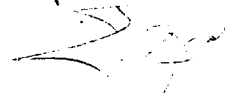
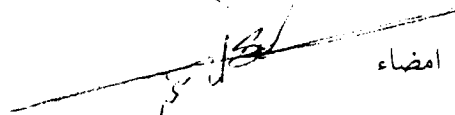



۳۹۹۹۷

در حضور هیأت داوران به شرح زیر جلسه دفاع از رساله دکترای مهندسی عمران آقای سدفرهاد افتخارزاده به شماره دانشجویی ۷۳۶۲۹۲۰۹ در ساعت ۱۰ مورخ ۷۹/۱۰/۵ برگزار شد.

هیأت داوران با توجه به ارزشیابی رساله و دفاع از آن، نمره ۸۵/۵ (او درجه ..... اعطا می نمایند.  
عنوان رساله: بهینه سازی بهره برداری راه آهن با استفاده از مدل های ریاضی

تعداد واحد: ۲۴ واحد

هیأت داوران:

- |   |       |   |
|---|-------|---|
|   | امضاء | ۱- استاد راهنما: آقای دکتر شاهی             |
|  | امضاء | ۲- استاد مشاور: آقای دکتر مهرآذین           |
|  | امضاء | ۳- داور خارج از دانشگاه: آقای دکتر سعیدمنجم |
|  | امضاء | ۴- داور خارج از دانشگاه: آقای دکتر قهرمانی  |
|  | امضاء | ۵- داور داخلی: آقای دکتر بهبهانی            |
|  | امضاء | ۶- داور داخلی: آقای دکتر عامری              |

تقدیم می شود

به

**Gerhart Potthoff**

استاد و پژوهشگر پرتلاش آلمانی در سده بیستم و پیشگام دانش بهره برداری راه آهن

به پدر بزرگوارم

آقای سید محمد افتخارزاده

به مادر دلسوز و مهربانم

بانو شریعه افقهی سبزواری

به همسر گرامی

بانو مریم معظمی گودرزی

## چکیده

برای اینکه یک سیستم ریلی کارآیی اقتصادی داشته و از این نظر توجیه پذیر باشد راههای مختلفی وجود دارد. از جمله این راهها، مدیریت بهینه منابع با استفاده از بهینه سازی عملیات است که تحقق آن با استفاده از ابزارهای تحلیلی رایانه ای امکان پذیر است. در این پروژه تحقیقاتی، که رساله موجود یکی از نتایج آن است، سعی شده است با استفاده از روش های ریاضی و ساخت مدلی جامع، مساله بهینه سازی تشکیل قطارهای باری در ایستگاههای راه آهن در سطح برنامه ریزی کاربردی ( میان مدت) مورد توجه قرار گیرد. در این راستا کلیه مراحل ساخت مدل، به کمک یک شبکه فرضی و با استفاده از پارامترهای واقعی، ارائه و نتایج حاصله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. در نهایت یک شبکه فرضی مبتنی بر شبکه راه آهن ایران با استفاده از مدل، مورد مطالعه قرار گرفته و خطوط کلی برای پیاده سازی آن در محیط واقعی ترسیم گردیده اند.

## تقدیر و تشکر

در این فرصت مغتنم، وظیفه خود می دانم از کلیه معلمین خود از آموزگاران ابتدایی تا اساتید دانشگاههای مختلف که هر کدام سهم شایسته ای در تکامل علمی اینجانب ایفا کرده اند قدردانی نمایم. در همین رابطه از جناب آقای دکتر **جلیل شاهی** استاد محترم راهنما که علاوه بر هدایت این پروژه از پیشگامان آموزش عالی و مهندسی عمران کشور به شمار می روند و نیز جناب آقای دکتر **هاشم مهر آذین** استاد محترم مشاور که همواره از راهنمایی ها و نظرات مشورتی هر دو بهره کافی برده ام، تقدیر و تشکر نمایم. در همین رابطه از هیئت محترم داوران که با ارائه نظرات اصلاحی خود تأثیر بسزایی در شکل گیری متن نهایی مصوب داشته اند به خصوص جناب آقای دکتر **بهبهانی**، همچنین جنابان آقایان دکتر **عامری**، دکتر **سعید منجم** و دکتر **قهرمانی** تشکر و قدردانی می شود.

آشنایی با جناب آقای مهندس **نوروزی** در دوره کوتاه همکاری با دانشکده مهندسی راه آهن موجب مسرت خاطر و حمایت های ایشان از پژوهش های ریلی و تشویق اینجانب به انجام پروژه حاضر شایسته یادآوری و قدردانی است. از کارشناسان محترم شرکت راه آهن نیز بخاطر ارائه نظرات کارشناسانه و در اختیار گذاردن اطلاعات و آمار مربوط به سیر و حرکت قطارها تشکر می شود. در این رابطه باید از آقایان **مهندس افضل** از معاونت

بهره برداری، مهندس **ملک محمد** از کنترل مرکزی، مهندس **رحمانی** از اداره کنترل و توزیع واگن ها و مهندس **احمدی** از شرکت رجا نام ببریم.

بی تردید در طول انجام این پروژه افراد بسیاری در تهیه مطالب و آماده کردن متن نهایی رساله همکاری صمیمانه داشته اند که در این فرصت بدلیل کمبود جا به نمایندگی از همه از افراد زیر تشکر و قدردانی می شود.

خانم **عفیفی** (از آرشیو مرکز تحقیقات راه آهن) بخاطر همکاری در تهیه مراجع تخصصی راه آهن، خانم **خادم** بخاطر تایپ مطالب، آقای **غیاثوند** بخاطر تکثیر مطالب، آقای **کیبیریاتی** بخاطر انعکاس عمومی رویداد.

در این فرصت یاد مرحوم دکتر **عبدالمهدی ذاکر** مدیر اسبق تحصیلات تکمیلی دانشگاه و تلاش های دلسوزانه ایشان را در ارتقاء تحصیلات تکمیلی ارج می نهیم.

در پایان برسم قدرشناسی و نزاکت ایرانی جا دارد از اعلام همکاری جناب آقای **پروفسور توماس زیفر Prof. Thomas Siefer** استاد محترم انستیتوی راه آهن دانشگاه هانور آلمان (IVE) و استاد سابق اینجانب که حمایت رسمی خود را از انجام پروژه بطور مشترک اعلام نموده نیز تشکر شود.

س.ف.ا.

فروردین ماه یکهزار و سیصد و هشتاد و خورشیدی

(ب)

# فهرست مطالب

صفحه	عنوان
------	-------

## فصل اول: کلیات

۱	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ موضوع وهدف پژوهش
۵	۳-۱ روش پژوهش
۶	۴-۱ چارچوب پایان نامه

## - فصل دوم: مطالعات پیش نیاز

۸	۱-۲ تاریخچه
	۲-۲ ویژگی های صنعت راه آهن
۱۱	۱-۲-۲ ویژگی های اقتصادی
۱۵	۲-۲-۲ فعالیت ها و سیاست های عملیاتی
۱۹	۳-۲-۲ فرآیند برنامه ریزی و طبقه بندی مسائل راه آهن
	۳-۲ بررسی وضعیت راه آهن ایران



۲۵	۱-۳-۲ امکانات و فعالیت ها
۲۶	۲-۳-۲ هزینه ها و درآمدها
۳۲	۳-۳-۲ مشکلات ساختاری
۳۳	۴-۳-۲ بررسی شاخص های عملکردی

### فصل سوم: مروری بر مطالعات و تحقیقات پیشین

۳۶	۱-۳ مقدمه
	۲-۳ انواع مطالعات برنامه ریزی راه آهن
۳۸	۱-۲-۳ مطالعات اقتصادی
۴۰	۲-۲-۳ مطالعات برنامه ریزی ساخت و نگهداری
۴۱	۳-۲-۳ مطالعات برنامه ریزی عملیات
۴۲	۳-۳ مدل های بلوک بندی و تشکیل قطارها

### فصل چهارم: فرآیند مدلسازی برای بهینه سازی عملیات راه آهن

۵۲	۱-۴ مقدمه
	۲-۴ کلیات مدل های بهینه سازی
۵۵	۱-۲-۴ اجزاء و ساختار مدل
۶۴	۲-۲-۴ روش های حل
۶۸	۳-۴ مدل ریاضی برنامه ریزی تشکیل قطارهای باری

۷۰	۱-۳-۴ فرضیات
۷۳	۲-۳-۴ اجزاء مدل
۷۷	۳-۳-۴ فرمولبندی مدل
۸۷	۴-۳-۴ ساختار مدل

### فصل پنجم : ارزیابی مدل

۸۸	۱-۵ مقدمه
	۲-۵ آزمایش مدل
۹۱	۱-۲-۵ تأیید صحت مدل
۹۴	۲-۲-۵ تعیین اعتبار مدل
۹۶	۳-۲-۵ تعیین حساسیت پارامترها
	۳-۵ کاربردهای مدل
۱۰۱	۱-۳-۵ رتبه بندی تقاضا
۱۰۲	۲-۳-۵ تحلیل هزینه ها
۱۰۳	۳-۳-۵ مقایسه سیاست ها
۱۰۴	۴-۳-۵ برنامه ریزی سرویس ها
۱۰۴	۴-۵ مطالعه موردی
۱۰۵	۱-۴-۵ بررسی وضعیت موجود
۱۰۶	۲-۴-۵ انتخاب ورودی ها و فرضیات

۱۰۹ ۳-۴-۵ بکارگیری مدل و ارائه نتایج

### فصل ششم: نتیجه گیری

- ۱۱۲ ۱-۶ مقدمه
- ۱۱۸ ۲-۶ خلاصه نتایج
- ۱۲۰ ۳-۶ مقایسه با سایر مدل ها
- ۱۲۲ ۴-۶ شرایط پیاده سازی
- ۱۲۴ ۵-۶ موضوع های پیشنهادی برای تحقیقات بیشتر

### پیوست ها

- ۱۲۷ ۱-پ مشخصات رایانه ای
- ۱۲۸ ۲-پ فهرست علائم بکار رفته در برنامه های کامپیوتری
- ۱۲۹-۱۳۷ ۳-پ کدبندی مدل های پیشنهادی
- ۱۳۸-۱۴۰ ۴-پ داده های مربوط به مثال شبکه فرضی
- ۱۴۱ ۵-پ روش تعیین میزان تولید و جذب سفر نواحی راه آهن (روش طرح جامع حمل و نقل کشور)
- ۱۴۲-۱۴۵ ۶-پ خلاصه داده های راه آهن ایران
- ۱۴۶-۱۵۱ ۷-پ داده های مربوط به مثال شبکه مطالعه موردی
- ۱۵۲ ۸-پ جریان های خروجی مدل MTF5

### فهرست مراجع

۱۵۳-۱۶۲

### ABSTRACT

۱۶۳

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۷	شکل (۲-۱) نمودار گردش کار برای مراحل پژوهش
۱۲	شکل (۱-۲) روند تغییرات هزینه واحد کل نسبت به حجم ترافیک
۱۶	شکل (۲-۲) فرآیند عملیاتی در یک ایستگاه مانور
۲۰	شکل (۳-۲) چرخه برنامه ریزی برای راه آهن باری
۳۸	شکل (۱-۳) روابط بین عوامل دخیل در سیستم حمل و نقل بار
۳۹	شکل (۲-۳) عوامل لحاظ شده در رویکردهای اقتصادی
۵۹	شکل (۱-۴) نمایش ناحیه ممکن در یک مساله دو متغیره
۷۰	شکل (۲-۴) نمونه شبکه فیزیکی فرضی برای مقاصد مدل سازی
۷۲	شکل (۳-۴) زیر شبکه سرویس برای زوج تقاضای (۳/۲)
۷۲	شکل (۴-۴) نحوه نمایش مسیرهای فیزیکی و خط سیرها برای زوج تقاضای (۳/۲)
۱۰۶	شکل (۱-۵) شبکه ریلی مبتنی بر شبکه راه آهن ایران

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۲۲	جدول (۱-۲) سلسله مراتب برنامه ریزی در راه آهن
۲۶	جدول (۲-۲) حساب سود و زیان برای راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶
۲۸	جدول (۳-۲) طبقه بندی درآمدهای بهره برداری برای راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶
۲۹	جدول (۴-۲) طبقه بندی هزینه های نگهداری برای راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶
۳۰	جدول (۵-۲) طبقه بندی سایر هزینه ها برای راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶
۳۱	جدول (۶-۲) طبقه بندی هزینه های بهره برداری برای راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶
۳۱	جدول (۷-۲) طبقه بندی هزینه های متغیر برای راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶
۳۴	جدول (۸-۲) مقایسه برخی شاخص های عملکردی راه آهن ایران با سایر کشورها در سال ۱۹۹۸م (۱۳۷۷ش)
۵۱	جدول (۱-۳) خلاصه ویژگی های برخی مدل های مسیریابی مورد بررسی نگارنده
۷۱	جدول (۱-۴) ماتریس تقاضا برای مثال شبکه فرضی
۸۶	جدول (۱-۴) ترکیب مدول ها برای گونه های مختلف مدل
۹۰	جدول (۱-۵) پیش بینی آرایش سرویس ها بوسیله مدل پیشنهادی (مطالعه موردی)
۹۳	جدول (۲-۵) مقایسه نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج نظیر مدل های دیگر
۹۵	جدول (۳-۵) بررسی عملکرد مدل پیشنهادی

- جدول (۴-۵) کران های پایینی برای پارامترهای حدی ۹۷
- جدول (۵-۵) تعداد زوج های سرریز بازاء مقادیر مختلف زمان سفر مجاز ۹۸
- جدول (۶-۵) اختلاف هزینه برای زوج های مختلف با محدودیت زمان سفر و بدون آن ۹۸
- جدول (۷-۵) روند افزایش هزینه کل و تعداد قطارهای لازم در حالت های مختلف طول قطار مجاز ۹۹
- جدول (۸-۵) روش تعیین طول قطار اقتصادی بعنوان مقدار بهینه برای حد طول قطار مجاز برای سرویس (۳) ۱۰۰
- جدول (۹-۵) رتبه بندی زوج های تقاضا بر اساس سهم آنها در هزینه کل ۱۰۱
- جدول (۱۰-۵) سهم هزینه های ثابت از هزینه کل و هزینه ثابت بازاء هر قطار ۱۰۲
- جدول (۱۱-۵) سهم اجزاء هزینه های ثابت ۱۰۲
- جدول (۱۲-۵) مقایسه سیاست «صرفه جویی مقیاس» و سیاست «صرفه جویی تراکم» ۱۰۳
- جدول (۱۳-۵) ماتریس نهایی تقاضا برای شبکه مطالعه موردی (تجمع درگروه ها) ۱۰۸
- جدول (۱۴-۵) کران های پائینی برای پارامترهای حدی ۱۱۰
- جدول (۱-۶) نمونه ای از ویژگی های محاسباتی برخی مدل های بهینه سازی ۱۱۷
- جدول (پ-۱) فهرست پارامترها برای مثال شبکه فرضی ۱۳۸
- جدول (پ-۲) متغیرهای تصمیم گیری برای مثال شبکه فرضی ۱۳۹
- جدول (پ-۳) روش برآورد سرویس ها برای مثال شبکه فرضی ۱۴۰
- جدول (پ-۴) روش تعیین میزان تولید و جذب سفر نواحی راه آهن ۱۴۱
- جدول (پ-۵) خلاصه آمار فعالیت ها در راه آهن جمهوری اسلامی ایران ۱۳۷۶ ۱۴۲
- جدول (پ-۶) خلاصه پارامترهای هزینه ای راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶ ۱۴۲
- جدول (پ-۷) آمار عملکرد قطارها در راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۶ ۱۴۲
- جدول (پ-۸) خلاصه پارامترهای ایستگاهی راه آهن جمهوری اسلامی ایران ۱۴۳
- جدول (پ-۹) روش برآورد زمان فعالیت های اصلی در ایستگاهها ۱۴۳
- جدول (پ-۱۰) زمان فعالیت های ایستگاهی در راه آهن ایران ۱۴۴

- ۱۴۵ جدول (پ-۱۱) پارامترهای قطار
- ۱۴۵ جدول (پ-۱۲) روش انتخاب ترکیب قطارها از واگن های باردار و خالی
- ۱۴۶ جدول (پ-۱۳) ماتریس تقاضای شبکه مطالعه موردی (برحسب تناژ روزانه)
- ۱۴۷ جدول (پ-۱۴) ماتریس تقاضای مجتمع شده برای شبکه مطالعه موردی (تجمع در مراکز نواحی)
- ۱۴۸ جدول (پ-۱۵) ماتریس تقاضای تفکیک واگن های باردار و خالی
- ۱۴۹ جدول (پ-۱۶) ماتریس تقاضای مجتمع شده کل
- ۱۵۰ جدول (پ-۱۷) فهرست پارامترها برای مثال مطالعه موردی
- ۱۵۰ جدول (پ-۱۸) زمان سفر مجاز برای زوج های مبدا/کمقصد (مطالعه موردی)
- ۱۵۱ جدول (پ-۱۹) روش برآورد سرویس ها برای مثال مطالعه موردی
- ۱۵۲ جدول (پ-۲۰) جریان های خروجی مدل MTF5 بازاء داده های ورودی از مثال M&T