

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی مهندسی

رساله برای دریافت درجه دکتری

در رشته: مهندسی صنایع

توسعه مدل پرش از ایستگاه‌ها با رویکرد برنامه‌ریزی پویا در سیستم حمل و نقل عمومی درون شهری (اتوبوسرانی)

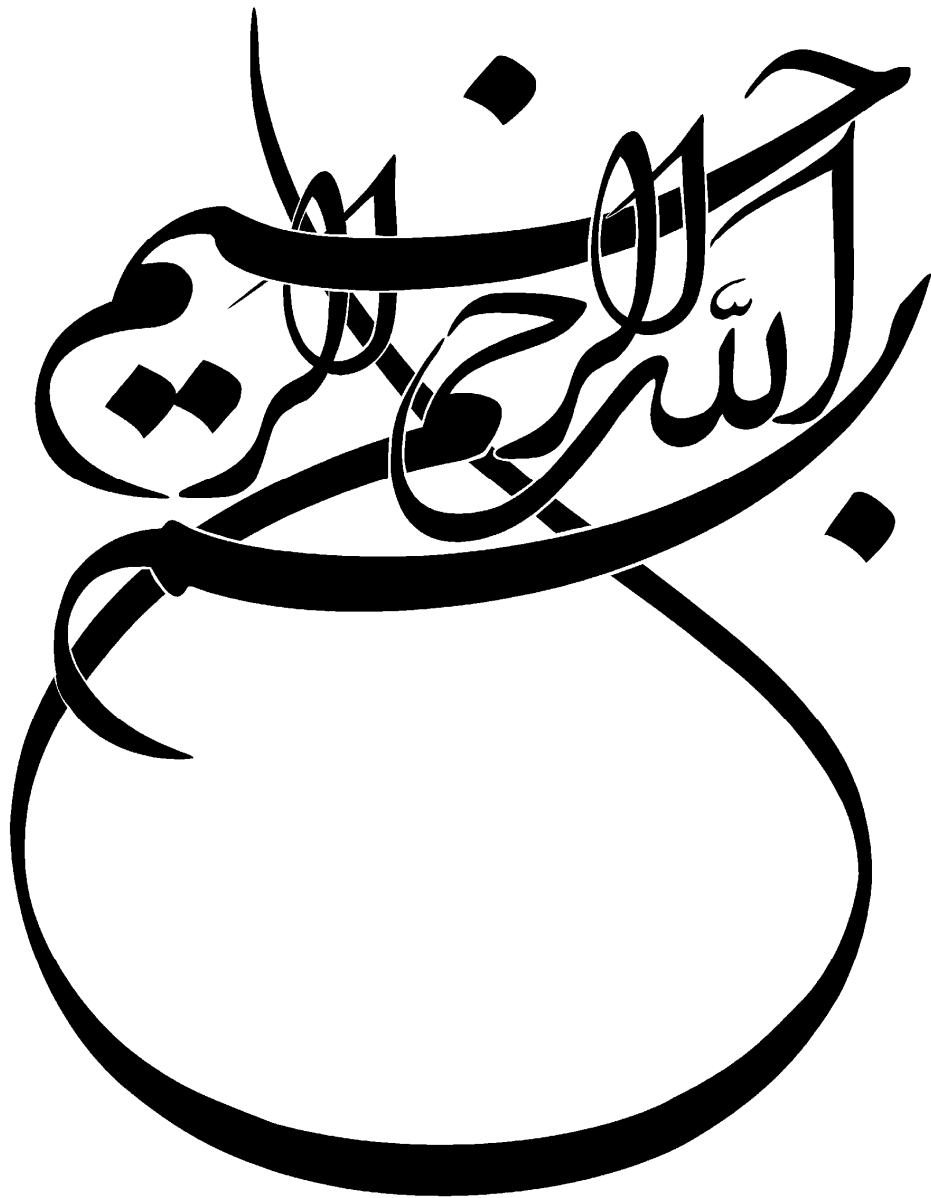
نگارنده:

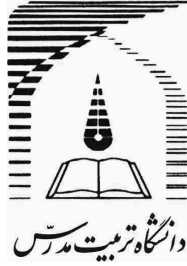
وحید برادران

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا امین‌ناصری

اردیبهشت ماه ۱۳۸۹





دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی مهندسی

رساله برای دریافت درجه دکتری

در رشته: مهندسی صنایع

توسعه مدل پرش از ایستگاه‌ها با رویکرد برنامه‌ریزی پویا در سیستم حمل و نقل عمومی درون شهری (اتوبوسرانی)

نگارنده:

وحید برادران

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا امین‌ناصری

اساتید مشاور:

دکتر حسام‌الدین ذگردی و دکتر عیسی نخعی

اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

رشته تحصیلی : مهندسی صنایع

نام و نام خانوادگی : وحید برادران

زمان ورود به دوره : نیمسال اول سال ۸۳-۸۴

عنوان رساله به فارسی :

توسعه مدل پرش از ایستگاه‌ها با رویکرد برنامه‌ریزی پویا در سیستم حمل و نقل عمومی درون شهری (اتوبوسرانی)

عنوان رساله به زبان انگلیسی :

Development of Stop Skipping Problem for Dynamic Transportation Urban Planning (Bus Transportation)

نوع طرح : بنیادی ■ نظری ■ کاربردی ■ توسعه‌ای ■

استاد راهنما : دکتر محمد رضا امین ناصری (دانشیار دانشگاه تربیت مدرس)

استاد مشاور: دکتر حسام الدین ذگردی (دانشیار دانشگاه تربیت مدرس)

استاد مشاور: دکتر عیسی نخعی (استادیار دانشگاه تربیت مدرس)

داور داخلی: دکتر چارسوقی (دانشیار دانشگاه تربیت مدرس)

داور داخلی: دکتر الیپس مسیحی (استادیار دانشگاه تربیت مدرس)

داور خارجی: دکتر محمد معطر حسینی (استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

داور خارجی: دکتر سید محمد سیدحسینی (استاد دانشگاه علم و صنعت ایران)

چکیده

سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی درون شهری یکی از مهمترین اجزای سیستم حمل و نقل عمومی را تشکیل می‌دهد. عدم تحقق برنامه‌های زمان‌بندی از قبل تعیین شده به دلیل اختلال در این سیستم، زمانهای انتظار طولانی مسافران در ایستگاه‌ها، پر بودن اتوبوس هنگام ورود به ایستگاه‌ها، زمانهای غیر مفید صرف‌شده به دلیل توقفهای طولانی در ایستگاه‌ها و هزینه‌های سیستم حمل و نقل از جمله مهمترین مشکلاتی است که این سیستم حمل و نقل با آن روبرو است. ارائه برنامه زمان‌بندی قبل از حرکت هر اتوبوس از ایستگاه ابتدایی مسیر موسوم به برنامه‌ریزی پویا یکی از راهکارهای افزایش رضایت مسافران و مؤسسات ارائه‌دهنده خدمات در سیستم اتوبوسرانی می‌باشد. از جمله مسائل برنامه‌ریزی پویا، تعیین ایستگاه‌های مناسب توقف در طول مسیر در لحظه حرکت اتوبوس از ایستگاه مبدا می‌باشد که به مسئله پرش از ایستگاه‌ها معروف است. در این رساله مدلی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی صفر و یک بر اساس داده‌های لحظه‌ای که از مسیرهای تردد اخذ می‌شود، ارائه شده است که در آن رضایت سه گروه مسافران منتظر در ایستگاه‌ها و درون وسیله نقلیه و مؤسسات حمل و نقل در نظر گرفته شده است. رعایت محدودیتهای سیستم اتوبوسرانی شهر تهران و ظرفیت وسایل نقلیه از ویژگیهای مدل ارائه شده می‌باشد.

در این رساله، چهار پارامتر موثر بر مدل ارائه شده شامل؛ زمان سفر بین دو ایستگاه متوالی، زمان توقف در ایستگاه‌ها، تابع تقاضا و متوسط زمان انتظار در ایستگاه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. شناسایی عوامل موثر بر چهار پارامتر برنامه‌ریزی و توسعه مدلها و روابطی جهت پیش‌بینی آنها بصورت لحظه‌ای قبل از حرکت اتوبوس از ایستگاه ابتدایی مسیر در سیستم اتوبوسرانی شهر تهران بررسی شده است. مقایسه نتایج مدل‌های پیش‌بینی این پارامترها که با استفاده از روابط توسعه داده شده با نتایج پیش‌بینی مدل‌های موجود نشان از دقت بالاتر مدل‌های ارائه شده در سیستم اتوبوسرانی شهر تهران دارد.

ساخت مدل شبیه‌سازی از یکی از خطوط این سیستم و اجرای مدل پرش از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد، اجرای مدل در خطوط می‌تواند منجر به کاهش ۹/۷ درصدی زمان سفر مسافران درون وسیله نقلیه، ۱۴/۴ درصد در تقاضای پاسخ داده نشده مسافران و ۱۱/۵ درصد در متوسط زمان انتظار مسافران نسبت به حالتی که اتوبوس در تمامی ایستگاه توقف می‌کند، شود.

کلید واژه‌ها: حمل و نقل عمومی درون شهری، برنامه‌ریزی پویا، مسئله پرش از ایستگاه‌ها، سیستم اتوبوسرانی شهر تهران، زمان سفر، زمان توقف، تقاضای مسافر، شبیه‌سازی گسسته پیشامد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول.....	ز.....
فهرست نمودارها و شکلها.....	ح.....

فصل اول: کلیات

۱- کلیات.....	۲.....
۱-۱- مقدمه	۲.....
۲-۱- برنامه‌ریزی در سیستم‌های حمل و نقل اتوبوسرانی	۴.....
۳-۱- معرفی سیستم اتوبوسرانی شهر تهران.....	۱۰.....
۴-۱- بیان مسئله	۱۱.....
۵-۱- مفروضات تحقیق.....	۱۴.....
۶-۱- کاربردهای مسئله	۱۵.....
۷-۱- متدولوژی تحقیق	۱۵.....
۸-۱- محدوده پروژه.....	۱۹.....
۹-۱- ساختار رساله.....	۲۰.....

فصل دوم: شناسایی عوامل موثر بر زمان سفر و پیش‌بینی آن

۲- شناسایی عوامل موثر بر زمان سفر و پیش‌بینی آن.....	۲۳.....
۱-۱- مقدمه	۲۳.....
۲-۲- مرور ادبیات	۲۵.....
۳-۲- متغیرهای موثر بر اندازه‌گیری زمان سفر	۲۸.....
۳-۲-۱- متغیرهای عمومی موثر بر زمان سفر	۲۸.....
۳-۲-۱-۱- شرایط زمانی و جوی	۲۸.....
۳-۲-۱-۲- شرایط ترافیکی	۲۹.....
۳-۲-۱-۳- شرایط مکانی سفر.....	۳۰.....
۳-۲-۲- متغیرهای بالقوه موثر بر زمان سفر اتوبوسها.....	۳۱.....
۴-۲- جمع‌آوری داده‌ها.....	۳۳.....
۴-۲-۱- نمونه آماری	۳۳.....
۴-۲-۲- روشهای جمع‌آوری داده‌ها.....	۳۴.....
۵-۲- تحلیل آماری داده‌ها.....	۳۵.....

- ۶-۲- پیش‌بینی زمان سفر ۳۷
- ۲-۶-۱- افزایش داده‌ها ۳۷
- ۲-۶-۲- معیارهای ارزیابی مدل ۳۸
- ۲-۶-۳- مدل رگرسیون چندگانه ۳۸
- ۲-۶-۴- مدل شبکه عصبی مصنوعی ۴۲
- ۲-۶-۴-۱- ورودی‌های و خروجی شبکه ۴۳
- ۲-۶-۴-۲- طراحی معماری شبکه ۴۳
- ۲-۶-۴-۳- تعیین معماری مناسب شبکه عصبی ۴۵
- ۲-۶-۵- اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی زمان سفر ۵۱
- ۲-۷- نتیجه‌گیری ۵۲

فصل سوم: شناسایی عوامل موثر بر زمان توقف اتوبوسها در ایستگاهها و پیش‌بینی آن

- ۳- شناسایی عوامل موثر بر زمان توقف اتوبوسها در ایستگاهها و پیش‌بینی آن ۵۵
- ۳-۱- مقدمه ۵۵
- ۳-۲- مرور ادبیات ۵۷
- ۳-۳- جمع‌آوری داده‌ها ۶۱
- ۳-۳-۱- تحلیل میکروسکوپی توقف اتوبوسها ۶۲
- ۳-۳-۲- نمونه آماری ۶۳
- ۳-۳-۳- نحوه جمع‌آوری داده‌ها ۶۴
- ۳-۴- تحلیل داده‌ها ۶۴
- ۳-۴-۱- تحلیل توصیفی ۶۵
- ۳-۴-۲- تحلیل استنباطی داده‌ها ۶۶
- ۳-۴-۲-۱- توزیع آماری زمان توقف ۶۷
- ۳-۴-۲-۲- توزیع آماری زمان سوار و پیاده شدن کل مسافران ۶۷
- ۳-۴-۲-۳- توزیع آماری زمان سوار و پیاده شدن هر مسافر ۶۸
- ۳-۴-۲-۴- توزیع آماری سوار شوندگان در ایستگاه ۷۰
- ۳-۴-۲-۵- توزیع آماری پیاده شوندگان در ایستگاه: ۷۱
- ۳-۴-۲-۶- تابع پیش‌بین زمان توقف ۷۱
- ۳-۴-۲-۷- تحلیل رگرسیونی مکان ایستگاه ۷۵
- ۳-۵- شبیه‌سازی ۷۶
- ۳-۵-۱- تعریف رویدادهای توقف ۷۶
- ۳-۵-۲- ساخت مدل و تعریف پارامترهای آن ۷۷
- ۳-۵-۳- ارزیابی صحت و دقت مدل شبیه‌سازی ۷۹

- ۳-۵-۴- ارزیابی سناریوها ۸۰
- ۳-۵-۴-۱- تغییر نحوه پرداخت ۸۰
- ۳-۵-۴-۲- تغییر الگوی سوار شدن مردان ۸۱
- ۳-۵-۴-۳- اندازه‌گیری تاثیر ازدحام مسافران منتظر ۸۱
- ۳-۶- نتیجه‌گیری ۸۳

فصل چهارم: بررسی تقاضای مسافران و برآورد زمان انتظار آنها در ایستگاه‌ها

- ۴- بررسی تقاضای مسافران و برآورد زمان انتظار آنها در ایستگاه‌ها ۸۶
- ۴-۱- مقدمه ۸۶
- ۴-۲- بررسی تقاضای مسافران در ایستگاه‌ها ۸۷
- ۴-۲-۱- مرور ادبیات پیش‌بینی تقاضا ۸۷
- ۴-۲-۲- بررسی ویژگیهای تقاضا در سیستم اتوبوسرانی تهران ۸۹
- ۴-۲-۲-۱- جمع‌آوری داده‌ها ۸۹
- ۴-۲-۲-۲- تحلیل داده‌ها ۹۰
- ۴-۲-۳- پیش‌بینی تقاضای مسافر در هر ایستگاه‌ها ۹۷
- ۴-۳- محاسبه متوسط زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌ها ۱۰۱
- ۴-۳-۱- مرور ادبیات برآورد متوسط زمان انتظار مسافران ۱۰۲
- ۴-۳-۲- محاسبه متوسط زمان انتظار یک مسافر در ایستگاه ۱۰۸
- ۴-۳-۲-۱- بیان مسئله ۱۰۸
- ۴-۳-۲-۲- مفروضات مسئله ۱۰۹
- ۴-۳-۳- مدلسازی متوسط زمان انتظار ۱۱۰
- ۴-۳-۳-۱- مطالعات شبیه‌سازی ۱۱۸
- ۴-۳-۳-۲- محاسبه متوسط زمان انتظار کل مسافران منتظر در ایستگاه ۱۲۶
- ۴-۴- نتیجه‌گیری ۱۲۹

فصل پنجم: سیستم جامع حمل و نقل، برنامه‌ریزی پویا و مدلسازی مسئله

- ۵- سیستم جامع حمل و نقل، برنامه‌ریزی پویا و مدلسازی مسئله ۱۳۲
- ۵-۱- مقدمه ۱۳۲
- ۵-۲- سیستم جامع حمل و نقل عمومی ۱۳۴
- ۵-۲-۱- زیرسیستم مکان‌سنج خودکار ۱۳۶
- ۵-۲-۲- زیرسیستم شمارنده خودکار مسافر ۱۳۹
- ۵-۲-۳- زیرسیستم ارتباطی دوجهته برای انتقال داده و صدا بین اتوبوس و مرکز کنترل ۱۴۱
- ۵-۲-۳-۱- سیستم ارتباطی بی‌سیم ۱۴۱

- ۱۴۱-۲-۳-۲-۵- ترمینالهای ارتباط موبایل (DMT).....
- ۱۴۲-۳-۳-۲-۵- گسیل اینترنتی بی سیم.....
- ۱۴۲-۴-۳-۲-۵- (PDA) Personal Data Assistant.....
- ۱۴۲-۴-۲-۵- زیرسیستم پردازش داده و کنترل عملیات.....
- ۱۴۷-۳-۵- مسائل برنامه ریزی پویای حمل و نقل درون شهری.....
- ۱۵۱-۴-۵- مرور ادبیات استراتژی های بهینه حرکت.....
- ۱۵۲-۱-۴-۵- زمانبندی منطقه ای.....
- ۱۵۳-۲-۴-۵- زمان بندی چرخشی کوتاه.....
- ۱۵۴-۳-۴-۵- استراتژی سفرهای هرز.....
- ۱۵۴-۴-۴-۵- پرش از ایستگاه ها به صورت پویا.....
- ۱۵۹-۵-۵- مدل سازی مسئله.....
- ۱۶۰-۱-۵-۵- تعریف مسئله.....
- ۱۶۱-۲-۵-۵- مفروضات مسئله.....
- ۱۶۲-۳-۵-۵- متغیر و پارامترهای مدل.....
- ۱۶۳-۴-۵-۵- تعاریف.....
- ۱۶۶-۵-۵-۵- تابع هدف مسئله.....
- ۱۶۶-۱-۵-۵-۵- مسافران داخل اتوبوس.....
- ۱۷۱-۲-۵-۵-۵- مسافران منتظر در ایستگاه های سرویس داده نشده به جهت پرش.....
- ۱۷۳-۳-۵-۵-۵- سیستم حمل و نقل عمومی.....
- ۱۷۵-۶-۵- محدودیتهای مسئله.....
- ۱۷۵-۱-۶-۵- محدودیتهای تعادل در شبکه.....
- ۱۷۶-۲-۶-۵- روابط محاسبه متغیرهای مدل.....
- ۱۷۶-۳-۶-۵- محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه.....
- ۱۷۷-۴-۶-۵- محدودیتهای ضمنی مسئله.....
- ۱۷۸-۷-۵- محاسبه پیچیدگی مدل.....
- ۱۸۰-۸-۵- نتیجه گیری.....

فصل ششم: ارزیابی عملکرد مدل

- ۱۸۳-۶- ارزیابی عملکرد مدل.....
- ۱۸۳-۱-۶- مقدمه.....
- ۱۸۳-۲-۶- معماری تحلیل شبیه سازی.....
- ۱۸۶-۳-۶- مدل شبیه سازی.....
- ۱۸۶-۱-۳-۶- معیارهای مقایسه نرم افزارهای شبیه سازی.....

۱۸۷	۲-۳-۶- مقایسه نرم افزارهای بررسی شده
۱۸۸	۳-۳-۶- معرفی نرم افزار Enterprise Dynamics
۱۹۱	۴-۳-۶- اتم‌های مدل‌سازی خطوط اتوبوسرانی
۱۹۲	۱-۴-۳-۶- اتم‌های تسهیلات ثابت
۱۹۳	۲-۴-۳-۶- اتم‌های نهادهای شناور
۱۹۳	۳-۴-۳-۶- اتم‌های قوانین و مقررات
۱۹۴	۴-۴-۳-۶- اتم‌های نمایشگر، گزارش‌گیری و رابط با سایر نرم‌افزارها
۱۹۴	۵-۳-۶- مدل شبیه‌سازی خطوط اتوبوسرانی
۱۹۸	۴-۶- مدل بهینه‌سازی
۱۹۹	۵-۶- برنامه واسط
۲۰۱	۶-۶- اجرای سناریوهای مختلف
۲۰۴	۱-۶-۶- مقایسه معیارهای عملکردی سیستم حمل و نقل
۲۰۴	۱-۱-۶-۶- خدمات ارائه شده به مسافران منتظر
۲۰۷	۲-۱-۶-۶- متوسط زمانهای انتظار
۲۰۸	۳-۱-۶-۶- متوسط زمان سفرهای سفر
۲۱۰	۷-۶- نتیجه‌گیری

فصل هفتم: خلاصه، نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

۲۱۲	۷- خلاصه، نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی
۲۱۲	۱-۷- مقدمه
۲۱۲	۲-۷- بیان مسئله و مرور فعالیتهای تحقیق
۲۱۳	۳-۷- نتایج تحقیق
۲۱۴	۱-۳-۷- پیش‌بینی کوتاه مدت زمان سفر
۲۱۴	۲-۳-۷- پیش‌بینی زمان توقف در ایستگاه‌ها
۲۱۵	۳-۳-۷- بررسی تابع تقاضا و برآورد متوسط زمان انتظار
۲۱۶	۴-۳-۷- مدل‌سازی مسئله و نتایج اجرای آن
۲۱۶	۴-۷- تحقیقات آتی
۲۱۸	۸- منابع و مراجع
۲۲۵	واژه نامه

پیوستها

- پیوست الف- کدهای شبکه عصبی مصنوعی (کدهای برنامه Matlab).....۲۲۷
- پیوست ب- کدهای برنامه محاسبه متوسط زمان انتظار (کدهای برنامه Matlab).....۲۲۸
- پیوست ج- کدهای برنامه محاسبه متوسط کل زمان انتظار (کدهای برنامه Matlab).....۲۲۹
- پیوست د- معیارهای انتخاب نرم افزار شبیه سازی.....۲۳۰
- پیوست ه- کدهای مسئله بهینه سازی (کدهای برنامه Lingo).....۲۳۴
- پیوست و- کدهای برنامه واسط (برنامه Visual Basic).....۲۳۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ معیارها و حالت‌های آنها در دسته‌بندی تکنیک‌های پیش‌بینی زمان سفر.....	۲۶
جدول ۲-۲ متغیرهای بالقوه موثر بر زمان سفر وسایل نقلیه عمومی.....	۳۳
جدول ۳-۲ نتایج آنالیز واریانس اثر مسیر بر زمان سفر.....	۳۶
جدول ۴-۲ ماتریس ضرایب همبستگی و P-Value آزمون معنی دار بودن آنها.....	۳۶
جدول ۵-۲ جدول آنالیز واریانس رگرسیون خطی کامل.....	۳۹
جدول ۶-۲ ضرایب رگرسیونی و نتایج آزمون معنی دار بودن ضرایب.....	۴۰
جدول ۷-۲ نتایج برازش مدل رگرسیونی برای هر مسیر.....	۴۱
جدول ۸-۲ اجراء و سطوح هر جزء شبکه عصبی پیش‌خوراند.....	۴۳
جدول ۹-۲ عاملها و سطوح هر عامل در طراحی آزمایشات.....	۴۶
جدول ۱۰-۲ نتایج آنالیز واریانس تاثیر عاملها بر عملکرد شبکه.....	۴۹
جدول ۱۱-۲ نتایج اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی.....	۵۲
جدول ۱-۳ خلاصه آماری داده‌های جمع آوری شده برای ۴۵۹ نمونه.....	۶۶
جدول ۲-۳ ضرایب تحلیل رگرسیونی.....	۷۲
جدول ۳-۳ ضرایب برآورد شده مدلها و معیار ارزیابی آنها.....	۷۴
جدول ۴-۳ مقایسه معیارهای ارزیابی دقت مدل شبیه‌سازی.....	۷۹
جدول ۱-۴ خلاصه آماری نمونه‌های اخذ شده.....	۹۰
جدول ۱-۵ لیست تکنولوژی‌های زیرسیستم موقعیت یاب خودکار.....	۱۳۷
جدول ۱-۶ بررسی ویژگی‌های نرم‌افزارهای بررسی شده.....	۱۸۷
جدول ۲-۶ نتایج ارزیابی نرم‌افزارها.....	۱۸۸
جدول ۳-۶ فاصله هر ایستگاه تا ایستگاه بعدی.....	۲۰۲
جدول ۴-۶ پارامترهای فرایند پواسون ورود مسافران به ۱۲ ایستگاه مسیر.....	۲۰۲

فهرست نمودارها و شکلها

صفحه	عنوان
۶.....	شکل ۱-۱ چارچوب برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی شهری.....
۱۷.....	شکل ۲-۱ نمودار متدولوژی تحقیق.....
۱۹.....	شکل ۳-۱ الگوریتم حل مسئله پرش از ایستگاه‌ها.....
۴۱.....	شکل ۱-۲ نمودار برقراری شرایط استفاده از مدل رگرسیون.....
۴۲.....	شکل ۲-۲ اجزاء یک شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خوراند.....
۴۵.....	شکل ۳-۲ توابع تبدیل استفاده شده در طراحی شبکه.....
۴۷.....	شکل ۴-۲ نمودار اثر عوامل طراحی بر عملکرد شبکه.....
۵۰.....	شکل ۵-۲ نمودار اثرات متقابل دوتایی عاملها بر عملکرد شبکه.....
۵۱.....	شکل ۶-۲ نمودارهای کفایت داده‌ها جهت آزمونهای آنالیز واریانس.....
۶۳.....	شکل ۱-۳ رویدادهای توقف وسیله در ایستگاه‌ها.....
۶۵.....	شکل ۲-۳ توزیع تعداد نمونه‌های آماری در ایستگاه‌ها.....
۶۷.....	شکل ۳-۳ هیستوگرام داده‌های زمان توقف.....
.....	شکل ۴-۳ هیستوگرام و توزیع نمایی برازش داده شده بر زمان سوار و پیاده شدن یک مسافر از هر در.....
۶۹.....
۷۰.....	شکل ۵-۳ نمودار فراوانی تعداد مسافران سوار شده.....
۷۶.....	شکل ۶-۳ مراحل مدل‌سازی و اجرای مدل شبیه‌سازی.....
۷۸.....	شکل ۷-۳ نمایی از خروجی شبیه‌سازی در محیط Excel.....
۸۲.....	شکل ۸-۳ میزان تاثیر شلوغی مراجعه مردان به ایستگاه.....
۸۲.....	شکل ۹-۳ میزان تاثیر شلوغی مراجعه زن به ایستگاه.....
۹۱.....	شکل ۱-۴ نمودار دامنه تغییرات میانگین زمان بین دو ورود متوالی در هر ایستگاه.....
۹۲.....	شکل ۲-۴ مقایسه نرخ ورود مسافران به هر ایستگاه در صبح و بعد از ظهر.....
۹۳.....	شکل ۳-۴ نمودار مقادیر P-Value آزمون من-ویتنی برای مقایسه جوامع صبح و بعد از ظهر.....
۹۴.....	شکل ۴-۴ مقادیر P-Value آزمون برازندگی توزیع نمایی بین دو ورود متوالی مسافر.....
۹۴.....	شکل ۵-۴ پارامتر توزیع نمایی در هر ایستگاه بر حسب زمان روز.....
۹۵.....	شکل ۶-۴ اختلاف درصد ورودهای گروهی به هر ایستگاه.....
۹۶.....	شکل ۷-۴ اختلاف درصد ورودها به تفکیک جنسیت به هر ایستگاه.....
۹۹.....	شکل ۸-۴ متوسط انحراف مطلق از مقدار واقعی تقاضا در هر ایستگاه.....
۱۰۰.....	شکل ۹-۴ میانگین انحراف مطلق تقاضا در ایستگاه‌ها.....
۱۰۱.....	شکل ۱۰-۴ تغییر میانگین انحراف مطلق به ازای افزایش بازه برآورد.....

شکل ۴-۱۱ مقایسه زمانهای انتظار واقعی و تخمینی از رابطه ۴-۲ در مطالعه بوومین و ترنکوئیست	۱۰۶
شکل ۴-۱۲ نمایش تقسیم فواصل زمانی فعالیت ایستگاه	۱۰۸
شکل ۴-۱۳ الگوریتم مدل شبیه‌سازی	۱۱۹
شکل ۴-۱۴ نمودار مقادیر شبیه‌سازی و پیش‌بینی متوسط زمان انتظار به ازای اجرای سناریوی ۱-۱۲۰	۱۲۰
شکل ۴-۱۵ نمودار انحراف مطلق از مقادیر شبیه‌سازی شده به ازای اجرای سناریوی ۱	۱۲۱
شکل ۴-۱۶ نمودار مقادیر پیش‌بینی و شبیه‌سازی شده برای اجرای سناریوی ۲	۱۲۲
شکل ۴-۱۷ نمودار خطای دو روش محاسبه زمان انتظار برای اجرای سناریوی ۲	۱۲۲
شکل ۴-۱۸ نمودار خطای روشهای محاسباتی برای اجرای سناریوی ۳	۱۲۴
شکل ۴-۱۹ مقدار جملات دوم تا دهم رابطه ۴-۳۴	۱۲۵
شکل ۴-۲۰ نمودار انحراف مطلق اجرای سناریوی ۴	۱۲۶
شکل ۴-۲۱ نمودار دقت برآورد زمان انتظار کل مسافران مطابق رابطه ۴-۴۲	۱۲۸
شکل ۵-۱ نمایشی از عملکرد سیستم جامع حمل و نقل عمومی	۱۳۵
شکل ۵-۲ سیستم جامع پیشنهادی پلمونته و همکاران (۲۰۰۸)	۱۴۵
شکل ۵-۳ مسائل تعریف شده در زیرسیستم کنترل	۱۴۹
شکل ۵-۴ ساختار عملیاتی استراتژی زمانبندی منطقیهای	۱۵۳
شکل ۵-۵ ساختار حل مسئله در مدل شیو (۲۰۰۵)	۱۵۸
شکل ۵-۶ نمونه‌ای از مسئله با ۳ ایستگاه در قالب یک شبکه	۱۶۳
شکل ۵-۷ نمایش مسئله با ۶ ایستگاه در قالب مدل شبکه‌ای	۱۶۶
شکل ۵-۸-نمایش مسئله با ۴ ایستگاه در قالب مدل شبکه‌ای	۱۷۲
شکل ۵-۹ نمودار تغییرات متوسط زمان حل مسئله بر حسب تعداد ایستگاه مسیر	۱۸۰
شکل ۶-۱ نمودار معماری تحلیل شبیه‌سازی	۱۸۵
شکل ۶-۲ نمودار رویدادهای معماری تحلیل شبیه‌سازی	۱۸۶
شکل ۶-۳ نمایشی از قابلیت نمایش سه بعدی نرم‌افزار ED	۱۸۹
شکل ۶-۴ نمایشی از نقشه مسیر شبیه‌سازی شده	۱۹۵
شکل ۶-۵ نمایشی از صفحه طراحی نرم‌افزار ED	۱۹۶
شکل ۶-۶ نمایشی از مدل طراحی شده در پنجره طراحی نرم‌افزار ED	۱۹۷
شکل ۶-۷ نمایشی از صفحه Input برنامه واسط	۱۹۹
شکل ۶-۸ نمایشی از صفحه Output برنامه واسط	۲۰۰
شکل ۶-۹ متوسط تعداد مسافری منتظر در ایستگاه‌ها به ازای دو سناریو	۲۰۵
شکل ۶-۱۰ متوسط تعداد مسافری سوار نشده‌ها در هر ایستگاه	۲۰۶
شکل ۶-۱۱ درصد مسافری سوار نشده در هر دو سناریو	۲۰۶
شکل ۶-۱۲ متوسط زمان انتظار یک مسافر تا رسیدن اتوبوس	۲۰۷

- شکل ۶-۱۳ متوسط زمانهای توقف اتوبوس در هر ایستگاه..... ۲۰۸
- شکل ۶-۱۴ متوسط زمان سفر تا از ایستگاه قبلی تا رسیدن به ایستگاه..... ۲۰۹
- شکل ۶-۱۵ متوسط زمان سفر مسافرین درون وسیله نقلیه بین هر دو ایستگاه متوالی..... ۲۱۰

فصل اول:

کلیات

۱ کلیات

۱-۱ مقدمه

بی‌شک حمل و نقل از همان آغاز زندگی انسان در پهنه این کره خاکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. سفر برای جستجوی غذا، اکتشاف معادن، تجارت و داد و ستد، جنگها و لشکرکشی‌ها و موارد مختلف دیگر همگی نمودهایی از گستردگی و مهم بودن موضوع حمل و نقل می‌باشد. با توسعه زندگی شهرنشینی و اختراع چرخ بر اهمیت این موضوع نیز افزوده شده است. اهمیت حمل و نقل را در زندگی شهری می‌توان در این جمله یافت که «شبکه حمل و نقل در شهرهای توسعه یافته بزرگ، درصد بالایی از مساحت شهر حتی تا ۵۰ درصد از آن را به خود اختصاص داده‌اند» [۱]. هر چه بشر در عرصه زندگی گروهی به پیشرفتهای بیشتری دست می‌یابد پیچیدگی‌هایی که به مسئله حمل و نقل و نحوه ارتباط با دیگر نقاط این کره خاکی مربوط می‌شود، افزایش می‌یابد. بطوری که در برخی شهرها حمل و نقل به صورت یک مشکل لاینحل باقی مانده است. به همین دلیل برنامه‌ریزان شهری توجه ویژه‌ای به برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و کوتاه مدت در توسعه حمل و نقل شهری و امکانات و تسهیلات مربوط به آن داشته‌اند.

توسعه حمل و نقل در شهرهای بزرگ مسائلی مانند ازدحام، شلوغی، آلودگی هوا، مصرف زیاد فرآورده‌های نفتی و مشکلات روحی و روانی برای ساکنین شهرها به همراه دارد. توسعه بزرگراه‌های موجود و ساخت راه‌های جدید با توجه به محدودیتهای منابع، تنها و مناسبترین راهکار برای حل مشکلات حمل و نقل درون شهری نیست. در بسیاری از شهرهای جهان، توسعه حمل و نقل عمومی به عنوان مناسبترین راهکار برای حل مشکلات درون شهری پیشنهاد و استفاده شده است. به همین جهت حمل و نقل عمومی یکی از بخشهای حیاتی و مهم محسوب می‌شود که نقش مهمی در کاهش مشکلات حمل و نقل در درون شهرها دارد که مورد توجه مسافران و مدیران شهری قرار گرفته است. اهمیت اینگونه سیستم‌ها به نحوی است که به عنوان مثال در کشور آمریکا حدود ۲۵ درصد مردم کشور حداقل از یکی از سیستم‌های حمل و نقل عمومی درون شهری استفاده می‌کنند [۲]. هزینه‌های

اندک جابجایی به همراه همپیمایی گروهی مسافران با اینگونه سیستم‌ها از یک طرف و از طرفی ایمن‌سازی محیط‌های شهری از شلوغی، ترافیک و آلودگی هوا، کاهش مصرف سوخت با توسعه حمل و نقل عمومی از جمله دلایل توسعه و رشد روز افزون آن در محیط‌های شهری است. از جمله سیستم‌های حمل و نقل عمومی که با هزینه اندکی در شهرها راه‌اندازی می‌شود و می‌تواند نقش به‌سزایی در افزایش رضایت ساکنین شهرها با کاهش شلوغی‌ها داشته باشد، سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی است. با اینکه اتوبوسها توانایی جابجایی ایمن مسافران را با کمترین هزینه، آلودگی و شلوغی دارند اما در اکثر موارد عملکرد آنها قابل اطمینان نیستند و موجب نارضایتی مسافران و متقاضیان استفاده از اینگونه سیستم‌ها شده است [۳]. بارزترین عامل نارضایتی و عدم اطمینان سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی زمانهای زیاد انتظار مسافران و تحقق نیافتن برنامه‌های زمان‌بندی از پیش تعیین شده به خاطر تاخیرات می‌باشد [۲]. همچنین شرکتها و مؤسساتی که در شهرها به امر جابجایی مسافر با اتوبوس مشغولند جهت ارائه خدمت مناسبتر (کاهش زمان انتظار مسافر) با مسئله هزینه‌ها و رشد آن مواجه هستند. هزینه‌هایی که اغلب بر این شرکتها تحمیل می‌شود ناشی از برنامه‌ریزی نامناسب استفاده از منابع و عدم کنترل اجرای برنامه‌ها می‌باشد. هزینه‌های دیگری مثل تعمیرات و نگهداری، هزینه سرمایه‌ای ارزش وسایل نقلیه و هزینه‌های جاری و عملیاتی این سیستم‌ها نیز از جمله هزینه‌های این شرکتها می‌باشد. کاهش زمانهای انتظار مسافران همیشه با افزایش تعداد ناوگان حمل و نقل (اتوبوسها) در سیستم‌های حمل و نقل عمومی درون شهری قابل جبران نمی‌باشد. در صورتی که افزایش توان سرویس‌دهی با برنامه‌ریزی دقیق‌تر و افزایش کارایی وسایل حمل و نقل می‌تواند باعث بهبود کیفیت خدمات ارائه شده و کاهش هزینه‌های متحمل شده به سیستم‌های حمل و نقل باشد.

با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی در ناوگان حمل و نقل اتوبوسرانی بسیاری از محققین و شرکتهای حمل و نقل به فکر توسعه روشها و ابزارهایی جهت برنامه‌ریزی صحیح‌تر این مجموعه شده‌اند. در این پژوهش از زوایای مختلف به تعریف مسئله برنامه‌ریزی حمل و نقل

اتوبوسرانی و زمان‌بندی استفاده از وسایل نقلیه پرداخته شده و با مطالعه سیستم اتوبوسرانی شهر تهران، مدلی جهت بهبود عملکرد وسایل نقلیه در خطوط سرویس‌دهی این سیستم ارائه شده است. افزایش رضایت استفاده‌کنندگان از اتوبوس‌ها از طریق کاهش زمانهای انتظار در ایستگاه‌ها در شهر تهران و کاهش هزینه‌های شرکتهای بهره‌بردار از جمله اهداف اصلی مدل ارائه شده در این پژوهش می‌باشد.

۲-۱ برنامه‌ریزی در سیستم‌های حمل و نقل اتوبوسرانی

برنامه‌ریزی حمل و نقل عبارت است از مجموعه اقدامات موثری که برای یک سیستم حمل و نقل اندیشیده می‌شود تا دسترسی به یک سیستم حمل و نقل ایده‌آل با کمترین هزینه و بالاترین سطح ایمنی و رضایتمندی فراهم شود. از جمله اهداف برنامه‌ریزی حمل و نقل، می‌توان به بهبود خدمات فعلی و استفاده بهینه از امکانات موجود و توسعه امکانات متناسب با توسعه جمعیت متقاضی سیستم‌های حمل و نقل اشاره کرد.

بر اساس افق برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی به سه بخش بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت تقسیم بندی می‌شود. در ادبیات حمل و نقل، برنامه‌ریزی در افق میان مدت و کوتاه مدت را مدیریت سیستم‌های حمل و نقل (TSM)^۱ می‌نامند [۱]. مدیریت سیستم‌های حمل و نقل در یک جمله تدابیر لازم در یک سیستم جهت بهره‌برداری مناسبتر از تجهیزات موجود آن سیستم تعریف می‌شود. در حوزه سیستم اتوبوسرانی، در بسیاری از موارد امکان توسعه ناوگان به دلایلی نظیر؛ کمی بودجه جهت خرید اتوبوس جدید، فقدان فضای کافی در پایانه‌ها جهت پارکینگ، عدم امکان بکارگیری و استخدام نیروی انسانی شامل راننده و خدمات پشتیبانی و بسیاری از عوامل دیگر وجود ندارد. بدین جهت این نوع برنامه‌ریزی (مدیریت سیستم‌های حمل و نقل) در سیستم اتوبوسرانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

محققان بسیاری در گذشته در حوزه مدیریت سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی تلاش نموده‌اند. مطالعاتی که در این حوزه از دهه ۱۹۴۰ میلادی تاکنون انجام شده است را می‌توان در دو بخش قبل و بعد از سال ۲۰۰۰ تقسیم کرد.

در اولین بخش از این تحقیقات تلاش شده است تا برنامه‌ریزی خطوط اتوبوسرانی در قالب مسئله زمان‌بندی فرموله و حل شود تا با امکانات موجود به حداکثر بهره‌وری، کارایی، اثربخشی و رضایت عمومی دست یابند.

فرآیند مرسوم برنامه‌ریزی حمل و نقل اتوبوسرانی که آن را برنامه‌ریزی استاتیک نیز می‌نامند از چهار مرحله زیر تشکیل شده است:

الف- طراحی مسیر شبکه‌ای (Network Route Design)

ب- تنظیم جدول زمانی سفرها (Setting Timetable)

ج- زمان‌بندی وسایل نقلیه (اتوبوسها) (Scheduling Vehicles to Trips)

د- تخصیص راننده به وسایل نقلیه (Assignment of Drivers or Crew)

چارچوب و ویژگیهای این مراحل در شکل ۱-۱ نشان داده شده است [۴].