دانشکده فنی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

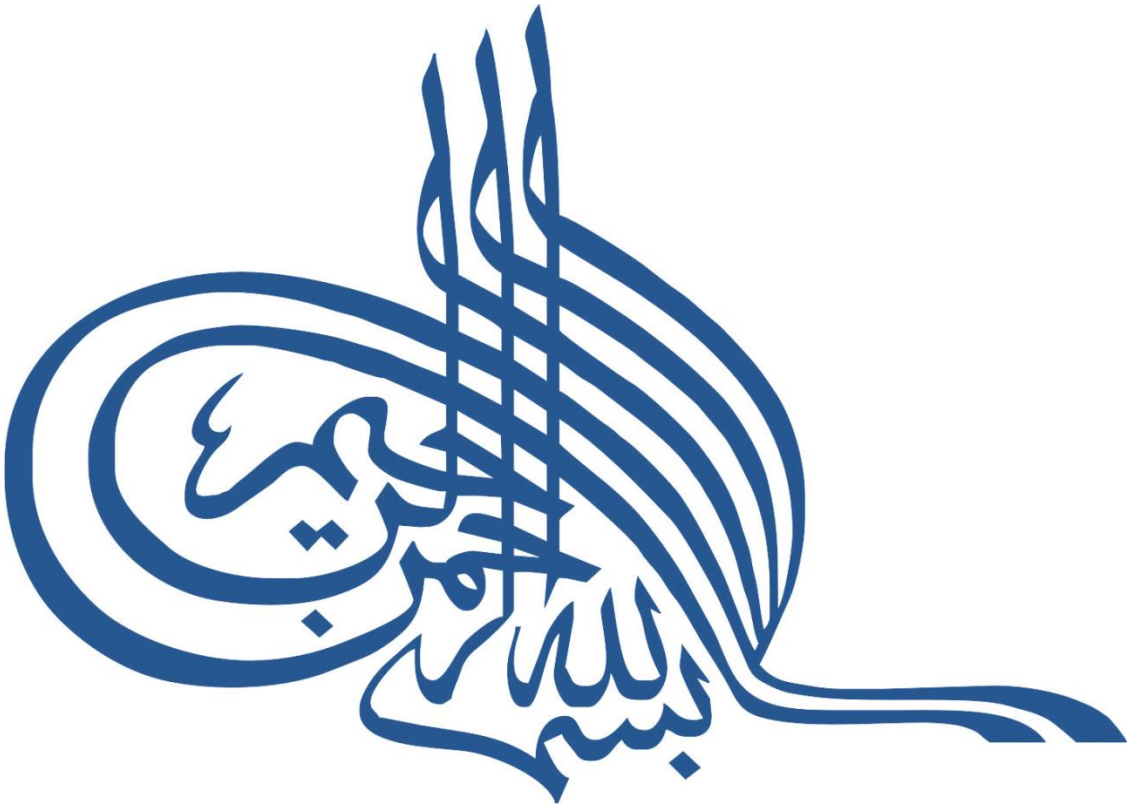
از:

مهدی عالی

استاد راهنما:

دکتر ایرج برگ‌گل

بهمن ۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی

گروه مهندسی عمران

گرایش راه و ترابری

زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

از:

مهدی عالی

استاد راهنما:

دکتر ایرج برگ‌گل

استاد مشاور:

دکتر حسین افراخته

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر و خواهر عزیزم

که فروغ نگاهشان و گرمی کلامشان سرمایه‌های جاودانی زندگی‌ام هست و خواهد بود.

تقدیر و تشکر از

❖ دکتر ایرج برگ گل

استاد راهنمای گران قدرم که انجام این پایان نامه بدون دانش و هدایت های ایشان امکان پذیر نبود. زحمات و راهنمایی های ایشان در تمام مراحل تحصیلات دانشگاهی، روشنگر مسیر حرکت من خواهد بود. استاد دلسوز و ارجمندی که به من اندیشیدن را آموخت.

❖ دکتر حسین افراخته

استاد مشاور گران بهایم که طی این مسیر دشوار بدون دانش و محبت های ایشان بسیار سخت می شد.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... ت

فهرست جدول‌ها ..... ح

فهرست شکل‌ها ..... خ

چکیده فارسی ..... ژ

چکیده انگلیسی ..... س

فصل یک – مقدمه ۱

فصل یک – مقدمه ۲

۱-۱) مقدمه ۲

۱-۲) طرح مساله ۲

۱-۳) هدف تحقیق و ضرورت پرداختن به مساله ۴

۱-۴) مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک ۵

۱-۵) نوآوری‌های پایان‌نامه ۶

۱-۶) فرض‌ها و محدودیت‌های مساله ۶

۱-۷) روش‌شناسی ۷

۱-۸) دسته‌بندی مطالب ۷

فصل دو – مروری بر پژوهش‌های پیشین ۹

فصل دو – مروری بر پژوهش‌های پیشین ۱۰

۲-۱) مقدمه ۱۰

۲-۲) مطالعات کمی مرتبط با مساله زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی ۱۰

۲-۳) مروری بر روند توسعه الگوریتم ژنتیک ۱۵

۲-۳-۱) تاریخچه الگوریتم ژنتیک ۱۵

۲-۴) نمونه‌هایی از الگوریتم ژنتیک به کار رفته در شبکه حمل و نقل ۱۶

۲-۵) مروری بر توسعه الگوریتم‌های تکامل تدریجی برای حل مسایل بهینه‌سازی چندهدفی ۱۸

۲-۶) نمونه‌هایی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفی به کار رفته در مسایل مختلف ۱۹

۲-۷) خلاصه مطالب فصل ۲۰

فصل سه – ساخت مدل ۲۲

فصل سه – ساخت مدل ۲۳

۳-۱) مقدمه ۲۳

۳-۲) مقدمه‌ای بر حمل و نقل عمومی ۲۳
۳-۲-۱) تاریخچه توسعه حمل و نقل شهری ۲۳
۳-۲-۲) برنامه‌ریزی شبکه ۲۶
۳-۲-۳) برنامه‌ریزی مسیرها ۲۶
۳-۲-۴) زمان‌بندی ۲۶
۳-۲-۵) تعیین تعرفه خدمات ۲۶
۳-۲-۶) مدیریت تاخیر ۲۷
۳-۲-۷) اصلاح زمان‌بندی وسایل نقلیه ۲۷
۳-۳) طبقه‌بندی حمل و نقل عمومی ۲۸
۳-۳-۱) طبقه‌بندی حریم ۲۸
۳-۳-۲) فن‌آوری ۲۸
۳-۳-۳) خدمت‌رسانی حمل و نقل عمومی ۲۹
۳-۴) روش‌های حمل و نقل عمومی معمول ۲۹
۳-۴-۱) شرح مختصری از روش‌های حمل و نقل عمومی ۲۹
۳-۵) سامانه حمل و نقل عمومی اتوبوس ۳۲
۳-۶) فرضیات به کار گرفته شده در این پژوهش ۳۳
۳-۷) فرآیند ورود ۳۵
۳-۸) توابع هدف مرتبط با زمان ۳۵
۳-۸-۱) زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌های مبدا ۳۵
۳-۸-۲) زمان انتظار مسافران در مرکز جابجایی ۳۶
۳-۸-۳) زمان درون‌خودرویی مسافران ۳۷
۳-۸-۴) زمان توقف اضافی در ایستگاه آخر ۳۸
۳-۹) توابع هدف غیرمرتبط با زمان ۳۹
۳-۹-۱) تعداد اتوبوس‌های مورد نیاز ۳۹
۳-۹-۲) مسافت طی شده توسط اتوبوس‌ها ۳۹
۳-۹-۳) درصد فضای خالی مانده اتوبوس‌ها ۴۰
۳-۹-۴) تعداد مسافران کامل سرویس نگرفته ۴۱
۳-۱۰) تشریح مدل رایانه‌ای ۴۱
۳-۱۰-۱) نحوه ساخت مدل در رایانه ۴۱
۳-۱۰-۲) طرح یک مثال ساده ۴۳
۳-۱۱) خلاصه مطالب فصل ۴۵

فصل چهار – بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک ۴۶

فصل چهار – بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک ۴۷

۴-۱) مقدمه ۴۷
۴-۲) مسایل بهینه‌سازی تک‌هدفی ۴۹
۴-۲-۱) روش‌های مبتنی بر مشتق ۴۹

۴-۲-۱-۱) روش تندترین کاهش ۴۹
۴-۲-۱-۲) روش DFP ۵۰
۴-۲-۱-۳) روش BFGS ۵۰
۴-۲-۲) روش‌های مستقیم غیرهوشمند ۵۱
۴-۲-۲-۱) جستجوی تصادفی ۵۱
۴-۲-۲-۲) جستجوی پخشی ۵۲
۴-۲-۲-۳) سیمپلکس ۵۲
۴-۲-۳) روش‌های مستقیم هوشمند ۵۳
۴-۲-۳-۱) روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات ۵۳
۴-۲-۳-۲) روش ایمنی مصنوعی ۵۵
۴-۲-۳-۳) الگوریتم ژنتیک و اصول کلی آن ۵۵
۴-۳) مسایل بهینه‌سازی چندهدفی ۵۷
۴-۳-۱) پارتو غالب ۵۸
۴-۳-۲) پارتو بهینه ۵۸
۴-۳-۳) تعریف مجموعه بهینه پارتو ۵۸
۴-۳-۴) تعریف تحدب و تقعر ۵۹
۴-۴) الگوریتم‌های حل مسایل بهینه‌سازی چندهدفی ۶۰
۴-۴-۱) روش ضرایب وزنی ۶۰
۴-۴-۲) روش معیار سراسری ۶۰
۴-۴-۳) روش برنامه‌ریزی توافقی ۶۱
۴-۵) بهینه‌سازی چندهدفی با الگوریتم‌های تکاملی ۶۲
۴-۵-۱) الگوریتم ژنتیک چندهدفه ۶۲
۴-۵-۲) الگوریتم‌های انتخاب ۶۵
۴-۵-۲-۱) روش انتخاب قطعی ۶۶
۴-۵-۲-۲) روش انتخاب بر اساس مکانیسم چرخ گردان ۶۶
۴-۵-۲-۳) روش انتخاب مسابقه یا تورنمنت ۶۷
۴-۵-۲-۴) روش انتخاب به صورت رتبه‌بندی ۶۷
۴-۵-۳) عملگر پیوند ۶۸
۴-۵-۴) عملگر جهش ۶۸
۴-۶) الگوریتم‌های تکامل تدریجی برای حل مسایل چندهدفه ۶۹
۴-۶-۱) روش VEGA ۶۹
۴-۶-۲) روش NSGA-II ۷۰
۴-۶-۳) روش SPEA ۷۱
۴-۶-۴) روش PAES ۷۱
۴-۶-۵) روش MUGA ۷۲
۴-۷) مروری مختصر بر تحلیل احتمالاتی ۷۳
۴-۷-۱) نامعینی احتمالاتی ۷۴
۴-۷-۲) توزیع احتمالاتی و تابع چگالی احتمالی ۷۴

۴-۷-۳) تابع توزیع جمعیت ۷۵
۴-۷-۴) روش نمونه‌برداری و شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۷۶
۴-۷-۵) روش نمونه‌برداری همرسلی ۷۸
۴-۸) خلاصه مطالب فصل ۸۰

فصل پنج – اعمال روش پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه ۸۱

فصل پنج – اعمال روش پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه ۸۲

۵-۱) مقدمه ۸۲
۵-۲) مشخصات شبکه نمونه ۸۳
۵-۳) تحلیل شبکه برای یافتن زمان‌بندی بهینه ۸۶
۵-۴) بررسی نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی ۸۸
۵-۴-۱) یافتن زمان‌بندی بهینه در حالت ورود قطعی اتوبوس به ایستگاه‌ها ۸۸
۵-۴-۱-۱) بررسی تابع هدف N_{pass} ۸۸
۵-۴-۱-۲) بررسی تابع هدف N_{bus} ۸۹
۵-۴-۱-۳) بررسی تابع هدف L_{net} ۸۹
۵-۴-۱-۴) بررسی تابع هدف S_{net} ۹۰
۵-۴-۱-۵) بررسی تابع هدف $TT_{in\text{-}v}$ ۹۰
۵-۴-۱-۶) بررسی تابع هدف TT_{ex} ۹۱
۵-۴-۱-۷) بررسی تابع هدف TT_{tc} ۹۱
۵-۴-۱-۸) بررسی تابع هدف TT_{or} ۹۲
۵-۴-۱-۹) بررسی نتایج عددی زمان‌بندی به‌دست آمده در حالت ورود قطعی اتوبوس به ایستگاه‌ها ۹۲
۵-۴-۲) یافتن زمان‌بندی بهینه در حالت ورود غیرقطعی اتوبوس به ایستگاه‌ها ۹۴
۵-۴-۲-۱) بررسی نتایج عددی زمان‌بندی به‌دست آمده در حالت ورود غیرقطعی اتوبوس به ایستگاه‌ها ۱۰۵
۵-۵) خلاصه مطالب فصل ۱۰۶

فصل شش – نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۷

فصل شش – نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۸

۶-۱) نتایج ۱۰۸
۶-۲) پیشنهادات ۱۰۹

مراجع ۱۱۰

پیوست یک ۱۱۴

پیوست دو ۱۲۲

پیوست سه ۱۲۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱ ویژگی‌های فنی، عملیاتی و سامانه‌ای روش‌های حمل و نقل شهری..... ۳۱

جدول ۳-۲ تفکیک توابع هدف بر اساس ارتباط با زمان..... ۳۴

جدول ۳-۳ ورودی‌های مدل ارایه شده برای حل مساله زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی..... ۴۳

جدول ۳-۴ بخشی از ماتریس پاسخ‌ها برای مثال ذکر شده..... ۴۵

جدول ۴-۱ پنج کروموزوم نمونه و میزان تابع هدف و برازندگی آن‌ها..... ۶۶

جدول ۵-۱ ماتریس تقاضای استفاده از اتوبوس از مبداها به مقصدها..... ۸۴

جدول ۵-۲ مقدار و نوع متغیرهای ژنتیکی برای حل مساله..... ۸۶

جدول ۵-۳ نمایش اطلاعات مسیرها مرتبط با توابع هدف به‌دست آمده در حالت قطعی..... ۸۶

جدول ۵-۴ نمایش پنج سرفاصله زمانی بهینه منطبق بر مسیرهای جدول ۵-۳..... ۹۳

جدول ۵-۵ اعمال تاخیر بر پیوندها، منطبق با مسیرهای موجود در جدول ۵-۳..... ۹۴

جدول ۵-۶ ده نقطه برتر طراحی برای مسیر نارنجی در حالت غیرقطعی..... ۹۴

جدول پ-۲-۱ ده پاسخ برتر برای مسیر قرمز در حالت غیرقطعی..... ۱۲۲

جدول پ-۲-۲ ده پاسخ برتر برای مسیر صورتی در حالت غیرقطعی..... ۱۲۲

جدول پ-۲-۳ ده پاسخ برتر برای مسیر نارنجی در حالت غیرقطعی..... ۱۲۲

جدول پ-۲-۴ ده پاسخ برتر برای مسیر آبی روشن در حالت غیرقطعی..... ۱۲۳

جدول پ-۲-۵ ده پاسخ برتر برای مسیر سبز در حالت غیرقطعی..... ۱۲۳

جدول پ-۲-۶ ده پاسخ برتر برای مسیر خاکستری در حالت غیرقطعی..... ۱۲۳

جدول پ-۲-۷ ده پاسخ برتر برای مسیر آبی در حالت غیرقطعی..... ۱۲۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱ سیر تکاملی سامانه حمل و نقل عمومی شهری ۲۴
شکل ۳-۲ فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی ۲۵
شکل ۳-۳ نمایی از یک مرکز جابجایی متصل به چهار مبدا ۳۷
شکل ۳-۴ روندنمای نحوه حل مساله زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی ۴۲
شکل ۳-۵ نمایی از یک شبکه ساده ۴۳
شکل ۳-۶ مسافت کمان‌ها به کیلومتر ۴۴
شکل ۳-۷ زمان پیمودن کمان‌ها به دقیقه ۴۴
شکل ۳-۸ ماتریس تقاضا مبدا-مقصد ۴۴
شکل ۴-۱ عملگر انعکاس برای تولید سیمپلکس جدید ۵۳
شکل ۴-۲ نمایش مجموعه پارتو ۵۹
شکل ۴-۳ نمایش تحدب و تقعر در مجموعه پارتو ۵۹
شکل ۴-۴ نحوه کارکرد الگوریتم‌های تکاملی ۶۴
شکل ۴-۵ نمایش کد یک الگوریتم تکاملی ساده ۶۴
شکل ۴-۶ چرخ گردان متناظر با جدول ۴-۱ ۶۷
شکل ۴-۷ نحوه عملکرد عملگر پیوند یک‌نقطه‌ای ۶۸
شکل ۴-۸ نحوه عملکرد عملگر جهش بر روی یک کروموزوم ۶۹
شکل ۴-۹ نحوه عملکرد الگوریتم VEGA ۷۰
شکل ۴-۱۰ نحوه محاسبه CDA در الگوریتم NSGA-II ۷۱
شکل ۴-۱۱ معیار شلوغی مورد استفاده در الگوریتم PAES ۷۲
شکل ۴-۱۲ نامعینی کراندار و نامعینی احتمالاتی ۷۴
شکل ۴-۱۳ احتمال به‌دست آمده با استفاده از مساحت سطح زیر منحنی ۷۵
شکل ۴-۱۴ منحنی تابع چگالی احتمالی و تابع توزیع جمعیت ۷۶
شکل ۴-۱۵ اعداد تصادفی تولید شده بین صفر و یک برای ۱۰۰ و ۵۰۰ نمونه ۷۷
شکل ۴-۱۶ نقطه‌ها و نمونه‌های تولید شده توسط دو روش مونت‌کارلو و همرسلی ۷۹

شکل ۵-۱ نمایی از شبکه نمونه مورد تحلیل قرار گرفته ۸۳
شکل ۵-۲ شماره کمان‌ها در شبکه ۸۴
شکل ۵-۳ زمان سفر اتوبوس بر روی کمان‌ها به همراه انحراف معیار آن‌ها (دقیقه) ۸۵
شکل ۵-۴ مسافت کمان‌های موجود در شبکه (کیلومتر) ۸۵
شکل ۵-۵ مسیرهای زمان‌بندی شده منطبق بر اطلاعات موجود در جدول ۵-۳ ..... ۸۷
شکل ۵-۶ تابع N_{pass} برای مسیر قرمز ۸۹
شکل ۵-۷ تابع N_{bus} برای مسیر قرمز ۸۹
شکل ۵-۸ تابع L_{net} برای مسیر قرمز ۹۰
شکل ۵-۹ تابع S_{net} برای مسیر قرمز ۹۰
شکل ۵-۱۰ تابع $TT_{in\text{-}v}$ برای مسیر قرمز ۹۱
شکل ۵-۱۱ تابع TT_{ex} برای مسیر قرمز ۹۱
شکل ۵-۱۲ تابع TT_{tc} برای مسیر قرمز ۹۲
شکل ۵-۱۳ تابع TT_{or} برای مسیر قرمز ۹۲
شکل ۵-۱۴ فراوانی تابع هدف N_{pass} برای مسیر نارنجی در نقطه A ۹۵
شکل ۵-۱۵ فراوانی تابع هدف TT_{ex} برای مسیر نارنجی در نقطه A ۹۵
شکل ۵-۱۶ فراوانی تابع هدف $TT_{in\text{-}v}$ برای مسیر نارنجی در نقطه A ۹۵
شکل ۵-۱۷ فراوانی تابع هدف TT_{tc} برای مسیر نارنجی در نقطه A ۹۶
شکل ۵-۱۸ فراوانی تابع هدف S_{net} برای مسیر نارنجی در نقطه A ۹۶
شکل ۵-۱۹ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{or} و TT_{tc} ۹۷
شکل ۵-۲۰ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{or} و $TT_{in\text{-}v}$ ۹۷
شکل ۵-۲۱ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{or} و TT_{ex} ۹۸
شکل ۵-۲۲ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{or} و L_{net} ۹۸
شکل ۵-۲۳ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{or} و S_{net} ۹۹
شکل ۵-۲۴ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{or} و N_{bus} ۹۹
شکل ۵-۲۵ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{tc} و $TT_{in\text{-}v}$ ۱۰۰

شکل ۵-۲۶ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{tc} و TT_{ex} ۱۰۰
شکل ۵-۲۷ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{tc} و L_{net} ۱۰۱
شکل ۵-۲۸ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{tc} و S_{net} ۱۰۱
شکل ۵-۲۹ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{tc} و N_{bus} ۱۰۲
شکل ۵-۳۰ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف $TT_{in\text{-}v}$ و TT_{ex} ۱۰۲
شکل ۵-۳۱ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف $TT_{in\text{-}v}$ و L_{net} ۱۰۳
شکل ۵-۳۲ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف TT_{ex} و N_{bus} ۱۰۳
شکل ۵-۳۳ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف L_{net} و S_{net} ۱۰۴
شکل ۵-۳۴ نمودار پارتو زمان‌بندی در حالت غیرقطعی مسیر قرمز برای دو تابع هدف L_{net} و N_{bus} ۱۰۴
شکل پ-۱-۱ تابع N_{pass} برای مسیر صورتی ۱۱۴
شکل پ-۱-۲ تابع N_{bus} برای مسیر صورتی ۱۱۴
شکل پ-۱-۳ تابع L_{net} برای مسیر صورتی ۱۱۴
شکل پ-۱-۴ تابع S_{net} برای مسیر صورتی ۱۱۴
شکل پ-۱-۵ تابع $TT_{in\text{-}v}$ برای مسیر صورتی ۱۱۴
شکل پ-۱-۶ تابع TT_{ex} برای مسیر صورتی ۱۱۴
شکل پ-۱-۷ تابع TT_{tc} برای مسیر صورتی ۱۱۵
شکل پ-۱-۸ تابع TT_{or} برای مسیر صورتی ۱۱۵
شکل پ-۱-۹ تابع N_{pass} برای مسیر نارنجی ۱۱۵
شکل پ-۱-۱۰ تابع N_{bus} برای مسیر نارنجی ۱۱۵
شکل پ-۱-۱۱ تابع L_{net} برای مسیر نارنجی ۱۱۵
شکل پ-۱-۱۲ تابع S_{net} برای مسیر نارنجی ۱۱۵
شکل پ-۱-۱۳ تابع $TT_{in\text{-}v}$ برای مسیر نارنجی ۱۱۶
شکل پ-۱-۱۴ تابع TT_{ex} برای مسیر نارنجی ۱۱۶
شکل پ-۱-۱۵ تابع TT_{tc} برای مسیر نارنجی ۱۱۶
شکل پ-۱-۱۶ تابع TT_{or} برای مسیر نارنجی ۱۱۶

شکل پ-۱-۱۷ تابع N_{pass} برای مسیر آبی روشن ۱۱۶
شکل پ-۱-۱۸ تابع N_{bus} برای مسیر آبی روشن ۱۱۶
شکل پ-۱-۱۹ تابع L_{net} برای مسیر آبی روشن ۱۱۷
شکل پ-۱-۲۰ تابع S_{net} برای مسیر آبی روشن ۱۱۷
شکل پ-۱-۲۱ تابع TT_{in-v} برای مسیر آبی روشن ۱۱۷
شکل پ-۱-۲۲ تابع TT_{ex} برای مسیر آبی روشن ۱۱۷
شکل پ-۱-۲۳ تابع TT_{tc} برای مسیر آبی روشن ۱۱۷
شکل پ-۱-۲۴ تابع TT_{or} برای مسیر آبی روشن ۱۱۷
شکل پ-۱-۲۵ تابع N_{pass} برای مسیر سبز ۱۱۸
شکل پ-۱-۲۶ تابع N_{bus} برای مسیر سبز ۱۱۸
شکل پ-۱-۲۷ تابع L_{net} برای مسیر سبز ۱۱۸
شکل پ-۱-۲۸ تابع S_{net} برای مسیر سبز ۱۱۸
شکل پ-۱-۲۹ تابع TT_{in-v} برای مسیر سبز ۱۱۸
شکل پ-۱-۳۰ تابع TT_{ex} برای مسیر سبز ۱۱۸
شکل پ-۱-۳۱ تابع TT_{tc} برای مسیر سبز ۱۱۹
شکل پ-۱-۳۲ تابع TT_{or} برای مسیر سبز ۱۱۹
شکل پ-۱-۳۳ تابع N_{pass} برای مسیر خاکستری ۱۱۹
شکل پ-۱-۳۴ تابع N_{bus} برای مسیر خاکستری ۱۱۹
شکل پ-۱-۳۵ تابع L_{net} برای مسیر خاکستری ۱۱۹
شکل پ-۱-۳۶ تابع S_{net} برای مسیر خاکستری ۱۱۹
شکل پ-۱-۳۷ تابع TT_{in-v} برای مسیر خاکستری ۱۲۰
شکل پ-۱-۳۸ تابع TT_{ex} برای مسیر خاکستری ۱۲۰
شکل پ-۱-۳۹ تابع TT_{tc} برای مسیر خاکستری ۱۲۰
شکل پ-۱-۴۰ تابع TT_{or} برای مسیر خاکستری ۱۲۰
شکل پ-۱-۴۱ تابع N_{pass} برای مسیر آبی ۱۲۰

شکل پ-۱-۴۲ تابع N_{bus} برای مسیر آبی ۱۲۰

شکل پ-۱-۴۳ تابع L_{net} برای مسیر آبی ۱۲۱

شکل پ-۱-۴۴ تابع S_{net} برای مسیر آبی ۱۲۱

شکل پ-۱-۴۵ تابع TT_{in-v} برای مسیر آبی ۱۲۱

شکل پ-۱-۴۶ تابع TT_{ex} برای مسیر آبی ۱۲۱

شکل پ-۱-۴۷ تابع TT_{tc} برای مسیر آبی ۱۲۱

شکل پ-۱-۴۸ تابع TT_{or} برای مسیر آبی ۱۲۱

چکیده

زمان‌بندی شبکه اتوبوسرانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مهدی عالی

در نواحی شهری، تقاضا برای اتوبوس به صورت غیریکنواخت در مکان و زمان توزیع شده است. معمولا به دلیل، محدودیت‌های اقتصادی و محدودیت در منابع اجتماعی، اتصال همه جفت مبدا-مقصدها به یکدیگر توسط مسیرهای اتوبوس‌رانی کاری غیرعملی، می‌باشد. در چنین مواردی، استفاده از یک شبکه اتوبوس‌رانی با قابلیت دسترسی و تحرک محدود، که متشکل از چند مسیر و تعدادی مرکزجابجایی است، در خدمت‌دهی به تقاضاها مفید می‌باشد. در پژوهش‌های پیشین، روش‌های متعددی برای حل مساله زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی، پیشنهاد شده‌اند. هدف اصلی در روش‌های قبلی را می‌توان، در یافتن مقدار بهینه سرفاصله‌زمانی و زمان توقف و در نتیجه کمینه شدن هزینه کل سامانه، خلاصه کرد.

در این پژوهش، یک مدل و توابع هزینه جدید، مرتبط با مساله زمان‌بندی اتوبوس در شبکه حمل و نقل شهری، برای هر دو حالت فرآیند ورود قطعی و غیرقطعی، پیشنهاد شده‌اند و برای هر کدام از آن‌ها یک مدل رایانه‌ای طراحی گشته است. مدل جدید بر روی یک شبکه اتوبوس‌رانی مصنوعی، اعمال شده است تا کارایی آن امتحان گردد. نتیجه نشان می‌دهد که مدل الگوریتم ژنتیک چندهدفه، وقتی که از عملگرهای مخصوص مساله، مانند؛ تولیدکننده سرفاصله‌زمانی، پیوند سرفاصله‌زمانی و جهش سرفاصله‌زمانی استفاده می‌کند، می‌تواند به سرعت حل بهینه را بیابد. همچنین نشان داده می‌شود که حتی اگر مدل الگوریتم ژنتیک چندهدفه با عملگرهای رایج خودش نیز بکار گرفته شود، می‌تواند پاسخ خوبی را بیابد.

کلمات کلیدی: شبکه اتوبوس‌رانی، حمل و نقل عمومی، الگوریتم ژنتیک چندهدفه، زمان‌بندی، بهینه‌سازی

Abstract

Bus network scheduling using genetic algorithm

Mahdi Aali

In urban areas the demand for buses is unevenly distributed over space and time. It is usually impractical to directly connect all origin-destination pairs with bus routes due to limited economic and social resources. In such cases a bus transit network with limited accessibility and mobility is effective in serving the demand and consists of several bus routes and transfer centers. Several methods in previous research have been proposed to solve bus network scheduling problem. The main objective of previous methods can be summarized as finding optimized headways and slack times, and thus minimizing the total system cost.

In this research, investigate a new model and cost functions associated with a bus scheduling problem in an urban transit network for both deterministic and stochastic arrival processes and proposes computerized models for each are investigated. The new models are applied to an artificial bus network to test their efficiency. The results show that the multi-objective genetic algorithm model can find the optimized solution very quickly when it uses problem-specific operators such as the headway generator, headway crossover and headway mutation. They also show that the multi-objective genetic algorithm model can find a good solution even though it uses general genetic operators.

Key-words: Bus network, Public Transportation, Multi-Objective Genetic Algorithm, Scheduling, Optimization

فصل یک

مقدمه

فصل یک

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در این فصل کلیاتی از مساله زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا مساله زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی مطرح می‌شود. پس از آن اهداف پژوهش، مقدمه‌ای از الگوریتم ژنتیک و محدودیت‌های مساله ذکر می‌گردند و در انتها روش‌شناسی پژوهش بیان می‌شود.

۱-۲ طرح مساله

با گسترش شهرها و افزایش جمعیت آن‌ها، تقاضا برای حمل و نقل درون شهری افزایش می‌یابد. برای خدمت‌دهی به این تقاضا، سامانه‌های جابجایی متفاوتی در شهرها به وجود آمده‌اند. از جمله‌ی این سامانه‌ها برای جابجایی مسافر، سامانه حمل و نقل عمومی[1] است که شبکه اتوبوس‌رانی به عنوان یکی از مهم‌ترین زیرمجموعه‌های این سامانه به شمار می‌آید. با توجه به این مطلب، چگونگی ارایه یک عرضه[2] مناسب در این سامانه برای پاسخ‌گویی به تقاضا[3] موجود، همیشه یکی از مسایلی بوده است که برنامه‌ریزان حمل و نقل با آن مواجه بوده‌اند. با مروری بر کارهای قبلی، مشخص می‌شود که برای به‌دست آوردن بیشینه بهره‌وری توسط سامانه حمل و نقل عمومی می‌بایست هندسه و زمان‌بندی شبکه به صورت بهینه طراحی شوند. در حالت کلی مساله تعیین زمان‌بندی، یک زیر مجموعه‌ای از بهینه‌سازی هندسه شبکه است. البته به دلیل پیچیدگی بالا در حل این بهینه‌سازی، طراحان این دو مساله را جداگانه حل می‌نمودند، به صورتی که ابتدا هندسه شبکه با توجه به تقاضای سفر تعیین می‌گردید و پس از آن مساله زمان‌بندی مطرح می‌گشت. با توجه به پیشرفت‌های کنونی در حل مسایل پیچیده توسط رایانه، می‌توان بسیاری از مسایلی را که تا پیش از این، برای حل به چندین مساله ساده‌تر تبدیل می‌شدند، به صورت یکجا حل نمود. به صورت کلی مساله یافتن زمان‌بندی بهینه در شبکه اتوبوس‌رانی، مستقل از هندسه شبکه نبوده و برای به‌دست آوردن زمان‌بندی بهینه لازم است به هندسه شبکه و مسیرهای مورد استفاده از آن نیز توجه داشت.

---

[1] Public Transportation
[2] Supply
[3] Demand

تقاضای حمل و نقل در نواحی شهری به صورت غیریکنواخت در زمان و مکان توزیع شده است. به دلیل محدودیت‌های منابع اقتصادی و اجتماعی، توجه به مسایل زیست محیطی، اتصال همه مبدا-مقصدها[۱] به یکدیگر، کار غیرمنطقی و غیرعملی است. در بیشتر حالت‌ها، شبکه حمل و نقل اتوبوس با دسترسی[۲] و قابلیت حرکت[۳] محدود به تقاضای مسافران، خدمت‌دهی می‌نماید. در این حالت شبکه اتوبوس‌رانی از چندین مسیر با تعداد مشخصی وسیله نقلیه تشکیل شده است. سرفاصله‌زمانی[۴]، عاملی کلیدی در زمان‌بندی شبکه اتوبوس‌رانی[۵] است، که به صورت مستقیم بر روی زمان انتظار مسافران[۶] در ایستگاه اتوبوس تاثیر می‌گذارد. مطالعات پیشین نشان می‌دهند که هماهنگ بودن سرفاصله‌های‌زمانی مسیرهای متفاوت در مراکز جابجایی، می‌تواند هزینه کل سامانه اتوبوس‌رانی را کاهش دهد. در پژوهش‌های صورت گرفته برای حل مساله زمان‌بندی اتوبوس، چندین روش پیشنهاد شده است. هدف اصلی پژوهش‌های قبلی در پیدا کردن سرفاصله‌زمانی بهینه خلاصه می‌شد به طوری که منجر به کمینه شدن تابع هزینه کل[۷] گردد. با توجه به این که روش‌های پیشین نقاط قوت خوبی داشتند، اما دارای محدودیت‌های فراوانی نیز بودند. این محدودیت‌ها برای ساده‌سازی پیچیدگی‌هایی مانند غیرخطی بودن تابع هزینه، پیچیدگی محاسبات تابع هدف که به اندازه شبکه وابسته است و فرآیندهای متفاوت ورود وسایل نقلیه، به کار گرفته می‌شدند. در این پژوهش، هدف بر آن است تا با رفع برخی از محدودیت‌های به کار گرفته شده پیشین، مدل‌های جدید برای حل مساله زمان‌بندی اتوبوس ارایه شوند [۱].

برای حل توابع هدف پیچیده در این مدل‌های جدید، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و با استفاده از عملگرهای آن، سرفاصله‌زمانی و زمان سکون اضافی بهینه تعیین گردیده و با توجه به آن‌ها، توابع هزینه کل مورد بررسی قرار می‌گیرند. تا پیش از این، با استفاده از الگوریتم ژنتیک ساده سعی بر حل مساله زمان‌بندی اتوبوس شده بود. با توجه به ویژگی الگوریتم ژنتیک ساده که منجر به حل فقط یک تابع هدف می‌شود، نویسندگان پیشین برای حل توابع هدف مختلف، آن‌ها را با ضرایب خاص خودشان با یکدیگر جمع می‌نموده و در نهایت یک تابع هزینه که مجموعی از سایر توابع هزینه بود، ارایه می‌دادند و یا از سایر روش‌ها که در فصل‌های آینده به تفصیل به آن‌ها خواهیم پرداخت استفاده می‌نمودند. بدین ترتیب با به کار بردن ضرایب مختلف، جواب‌های متفاوتی به‌دست می‌آمد و برای به‌دست آوردن جواب‌های متفاوت می‌بایست از ابتدا ضرایب جدیدی به کار گرفته می‌شد. این کار مستلزم اجرای دوباره برنامه با الگوریتم به کار رفته در آن می‌بود. با توجه به این که در روش الگوریتم

[1] Origin-Destination
[2] Accessibility
[3] Mobility
[4] Headway
[5] Bus Network Scheduling
[6] Waiting Time of Passengers
[7] Total System Cost