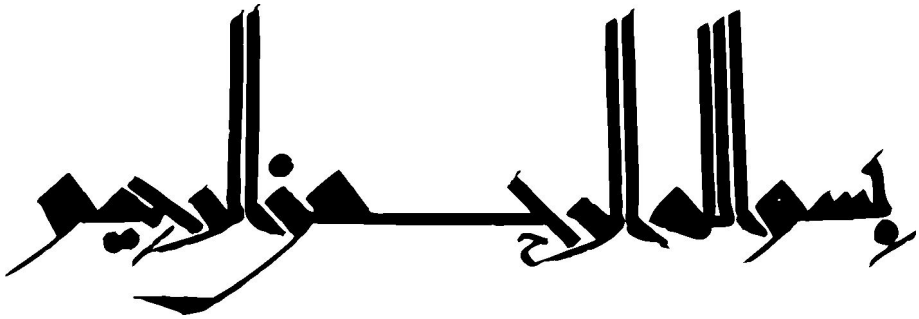

دانشکده فنی

گروه عمران

گرایش راه و ترابری

مدل‌سازی تقاطع چراغ دار با استفاده از تئوری صف

از

سیاوش ابراهیمی

استاد راهنما

جناب دکتر ایرج برگ‌گل

تیر ۹۲

تقدیم:

تقدیم به مادر، پدر و برادر عزیزم؛ که همواره من را مورد حمایت خود قراردادند و در شرایط سخت زندگی به من امید دادند.

تقدیر و تشکر:

با تشکر فراوان از زحمات جناب آقای دکتر ایرج برگ‌گل به خاطر همراهی صمیمانه ایشان در تمام مراحل تکمیل این پایان-نامه، تدریس ارزشمند ایشان در کلاس‌ها و سخت‌گیری‌های از روی دلسوزی.

فهرست مطالب:

فصل یک: تعریف مسئله

۱-۱: مقدمه..... ۲

۱-۲: اهمیت موضوع..... ٤

۱-۳: هدف..... ٤

۱-٤: محدودیت‌ها..... ٤

۱-۵: فرضیات..... ٤

۱-٦: چهارچوب کلی..... ۵

فصل دوم: کاوش در متون

۲-۱: مقدمه..... ۷

۲-۲: تاریخچه..... ۷

۲-۳: مقالات خارجی..... ۹

۲-۳-۱: مقاله‌ی اول..... ۹

۲-۳-۲: مقاله‌ی دوم..... ۱۷

۲-۳-۳: مقاله‌ی سوم..... ۲۲

۲-٤: مقالات داخلی..... ۲٤

۲-٤-۱: مقاله‌ی اول..... ۲٤

۲-٤-۲: مقاله‌ی دوم..... ۲۵

۲-۵: بخش کتاب‌ها..... ۲۹

فصل سوم: مبانی مورد نیاز

۳-۱: مقدمه..... ۳٤

۳-۲: تاریخچه..... ۳٤

۳-۳: معرفی نظریه صف..... ۳۵

۳-٤: مبدأ تئوری صف‌ها..... ۳۵

۳-۵: شناخت یک سیستم صف..... ۳۹
۳-٦: کلاس‌بندی صف‌ها..... ٤۰
۳-۷: کاربردهای تئوری صف..... ٤۹
۳-۸: مدل‌های صف..... ۵۰
۳-۹: تئوری صف در حمل‌ونقل..... ۵۲
۳-۱۰: بهینه‌سازی سیستم‌های صف..... ۵٦
۳-۱۱: اندازه‌گیری عملکرد صف..... ٦۱
۳-۱۲: استفاده از توزیع‌های نظری در الگوی صف..... ٦۱
۳-۱۳: استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی..... ٦٤
۳-۱٤: معرفی مفاهیم پایه‌ی تئوری صف..... ٦٦
۳-۱۵: مدل M/G/1..... ٦۸
۳-۱٦: آمارگیری صف..... ۷۰
۳-۱۷: هدف از ارائه مدل..... ۷۵
۳-۱۸: مدل‌سازی و موارد استفاده آن..... ۷٦
۳-۱۹: مزایا و معایب مدل‌سازی..... ۷٦
۳-۲۰: تعریف سیستم..... ۷٦
۳-۲۱: انواع مدل‌ها..... ۷۷
۳-۲۲: تعاریف, اختصارات و نشانه‌های ریاضی..... ۸۰
۳-۲۳: نرم‌افزارهای تئوری صف..... ۸۷
۳-۲۳-۱: GPSS ۸۷
۳-۲۳-۲: ARENA..... ۸۸
۳-۲۳-۳: نرم‌افزار Win QSB ۸۹

فصل چهارم: مدل‌سازی

٤-۱: مقدمه..... ۹۲

٤-٢: شرح مشخصات هندسی و ترافیکی مورد بررسی..... ٩٤
٤-٣: محاسبه‌ی ورودی‌ها..... ٩٤
٤-٤: مدل‌سازی تقاطع چراغ‌دار با استفاده از مدل صف D/D/1..... ١٠٧
٤-٥: استفاده از مدل D/D/1 در مثال واقعی..... ١١١
٤-٦: مدل‌سازی تقاطع چراغ‌دار با استفاده از مدل صف M/D/1..... ١١٣
٤-٧: استفاده از مدل M/D/1 در مثال واقعی..... ١١٨
٤-٨: مدل‌سازی تقاطع چراغ‌دار با استفاده از مدل صف M/M/1..... ١٢٤
٤-٩: استفاده از مدل M/M/1 در مثال واقعی..... ١٢٩
٤-١٠: مدل‌سازی تقاطع چراغ‌دار با استفاده از مدل صف M/G/1..... ١٣٥
٤-١١: استفاده از مدل M/G/1 برای مثال واقعی..... ١٤١
٤-١٢: نتایج نرم‌افزار Synchro..... ١٤٨
٤-١٣: مقایسه‌ی نتایج..... ١٥١
٤-١٤: بهبود شرایط تقاطع چهارراه میکاییل رشت..... ١٥٢
٤-١٤-١: بهبود تقاطع با اصلاح زمان‌بندی چراغ..... ١٥٤
٤-١٤-٢: بهسازی سیستم با افزایش تعداد خط..... ١٥٩
٤-١٥: نتیجه‌گیری..... ١٦٥

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

٥-١: مقدمه..... ١٦٧
٥-٢: نتایج..... ١٦٧
٥-٣: پیشنهادات برای تحقیقات آتی..... ١٦٧
منابع..... ١٦٨
پیوست..... ١٧١

فهرست جداول:

جدول ۲-۱: نتایج حاصل از تحلیل سیستم سوخت‌رسانی..... ۲۶

جدول ۲-۲: نتایج حاصل از تحلیل سیستم پیشنهادی..... ۲۸

جدول ۳-۱: نتایج حاصل از مدل صف که بر اساس توزیع احتمال به دست آمده است [۱۷] ٦٤

جدول ٤- ۱: نرخ ورود خودروها به چهارراه از مسیر یک در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای..... ۹٦

جدول ٤-۲: نرخ ورود خودروها به چهارراه از مسیر دو در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای..... ۹۷

جدول ٤-۳: تعداد خودروهای عبوری در زمان وجود صف..... ۹۷

جدول ٤- ٤: تعداد خودروی عبوری از مسیر ۲ در زمانی از سبز که صف موجود است..... ۹۸

جدول ٤-۵: نرخ ورود خودروها به چهارراه از مسیر یک در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای..... ۱۰۰

جدول ٤- ٦: نرخ ورود خودروها به چهارراه از مسیر دو در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای..... ۱۰۱

جدول ٤- ۷: تعداد خودروهای عبوری در زمان وجود صف..... ۱۰۱

جدول ٤- ۸: تعداد خودروی عبوری از مسیر ۲ در زمانی از سبز که صف موجود است..... ۱۰۲

جدول ٤-۹: نرخ ورود خودروها به چهارراه از مسیر یک در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای..... ۱۰٤

جدول ٤- ۱۰: نرخ ورود خودروها به چهارراه از مسیر دو در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای..... ۱۰۵

جدول ٤- ۱۱: تعداد خودروهای عبوری در زمان وجود صف در مسیر یک..... ۱۰۵

جدول ٤-۱۲: تعداد خودروی عبوری از مسیر ۲ در زمانی از سبز که صف موجود است..... ۱۰٦

جدول ٤- ۱۳: نتایج نهایی طول سیکل بهینه‌ی به دست آمده از مدل‌ها و نرم‌افزار Synchro..... ۱۵۱

جدول ٤-۱٤: درصداختلاف طول سیکل مدل‌ها با مدل Synchro..... ۱۵۱

جدول ٤-۱۵: میانگین طول زمان سبز برای مسیر ۱..... ۱۵۲

جدول ٤- ۱٦: تعداد خودروهای عبوری بعد از تغییر زمان سبز چراغ..... ۱۵٦

جدول ٤- ۱۷: مقادیر تغییر زمان‌بندی چراغ سبز و تأثیر آن بر روی خدمت دهی و زمان متوسط انتظار..... ۱۵٦

جدول ٤-۱۸: طول صف و زمان انتظار متوسط برای تعداد خط‌های مختلف..... ۱٦۳

جدول ٤-۱۹: مقایسه‌ی متوسط زمان انتظار به دست آمده برای چهارراه میکاییل از مدل‌سازی و نرم‌افزار Synchro..... ۱٦٤

فهرست شکل‌ها:

شکل ۲-۱: توزیع احتمالی طول صف [۹] ۱۱

شکل۲-۲: سیر تکاملی طول صف و انحراف استاندارد آن [۹] ۱۲

شکل۲-۳: روند رشد صف با مقدار طول صف اولیه‌ی ۰ یا٤ [۹] ۱۳

شکل۲-٤: دینامیک‌های صف برای مقادیر صف اولیه‌ی ۸ و مقدار متعادل‌سازی ۷/۸ برای ٦۰ سیکل ٦۰ ثانیه‌ای [۹]..... ۱۳

شکل۲-۵: دینامیک‌های صف برای مقادیر مختلف طول صف اولیه [۹] ۱٤

شکل۲-٦: سیر تکامل صف با در نظر گرفتن مقادیر اولیه‌ی مختلف [۹] ۱۵

شکل۲-۷: لگاریتم انحراف صف در طول زمان [۹] ۱۵

شکل۲-۸: مثال $\alpha(T)$ برای روند کاهش صف [۹] ۱٦

شکل۲- ۹: نمایش صف در مدل کلیتون..... ۱۹

شکل۲-۱۰: مثالی از فرایند صف معمولی و فشرده..... ۲۰

شکل۲-۱۱: نمایی شماتیک از جایگاه موردی موجود سوخت‌رسانی [۱۲] ۲۵

شکل۲-۱۲: نمایی شماتیک از سیستم پیشنهادی سوخت‌رسانی..... ۲۷

شکل۲- ۱۳: ماتریس الگوهای ورود و خدمت دهی [۷] ۳۰

شکل ۲-۱٤: صف در تقاطع چراغ‌دار [۱۵] ۳۲

شکل۳-۱: تعیین ظرفیت بهینه برای سیستم خدماتی..... ۳۷

شکل۳-۲: تشریح یک سیستم صف..... ۳۸

شکل۳-۳: توزیع پواسون برای واردەها و توزیع نمایی برای فاصله‌ی زمانی بین واردەها..... ٤۳

شکل۳-٤: نمایش توصیفی صف (خط انتظار) ٤٤

شکل۳-۵: نمودار صف برای تقاطع چراغ دار [۷] ۵٤

شکل۳-٦: راه حل بهینه‌ی یک مسئله‌ی صف [۱۷] ۵۸

شکل۳-۷: فلوچارت روش‌های تحلیل صف، منبع: May.A.D [۱۷] ۷۲

شکل۳- ۸: طول چرخه در یک تقاطع چراغ دار..... ۸۱

شکل۳-۹: صف خودروها در تقاطع چراغ‌دار [۱۵] ۸۲

شکل۳-۱۰: سرفاصله ی متوسط خروجی از تقاطع چراغ‌دار [۱۵] ۸۳
شکل۳-۱۱: نمایش شاخص‌های تأخیر [۱۵] ۸۶
شکل۳-۱۲: نرم‌افزار GPSS ۸۷
شکل۳-۱۳: نرم‌افزار ARENA ۸۸
شکل۳-۱٤: نرم‌افزار WinQSB ۹۰
شکل٤-۱: فلوچارت مراحل مدل‌سازی ۹۳
شکل٤-۲: نمای شماتیک مسیر یک و دو در تقاطع ۹٤
شکل٤-۳: تصویر ماهواره‌ای از موقعیت چهارراه میکاییل رشت ۹۵
شکل٤-٤: موقعیت چهارراه میکاییل رشت روی نقشه و ارتباط تقاطع با مسیرهای اطراف ۹۵
شکل٤-۵: تصویر ماهواره‌ای از موقعیت چهارراه ویلانچ رشت و موقعیت مسیرهای یک و دو ۹۹
شکل٤- ٦: موقعیت چهارراه ویلانچ رشت روی نقشه و ارتباط تقاطع با مسیرهای اطراف ۹۹
شکل٤- ۷: تصویر ماهواره‌ای از موقعیت چهارراه ویلانچ رشت و موقعیت مسیرهای یک و دو ۱۰۳
شکل٤- ۸: موقعیت سه‌راه سعدی-معلم رشت روی نقشه و ارتباط تقاطع با مسیرهای اطراف ۱۰۳
شکل٤- ۹: نمودار تغییرات تأخیر متوسط بر حسب تغییرات طول سیکل ۱۱۹
شکل٤- ۱۰: نمودار تغییرات تأخیر متوسط بر حسب تغییرات طول سیکل ۱۲۱
شکل٤- ۱۱: نمودار تغییرات تأخیر متوسط بر حسب تغییرات طول سیکل ۱۲۳
شکل٤- ۱۲: نمودار تغییرات تأخیر متوسط بر حسب تغییرات طول سیکل ۱۳۰
شکل٤- ۱۳: نمودار تغییرات تأخیر متوسط بر حسب تغییرات طول سیکل ۱۳۲
شکل٤- ۱٤: نمودار تغییرات تأخیر متوسط بر حسب تغییرات طول سیکل ۱۳٤
شکل٤- ۱۵: معادله‌ی دوم بر حسب متغیرها (خروجی نرم‌افزار MATLAB) ۱۳۹
شکل٤- ۱٦: فلوچارت فرایند مدل‌سازی ۱٤۰
شکل٤- ۱۷: نمودار تغییرات تأخیر بر حسب تغییرات طول سیکل چراغ ۱٤۲
شکل٤-۱۸: معادله‌ی دوم بر حسب g_1 و g_2 ..... ۱٤۳
شکل٤-۱۹: نمودار تغییرات تأخیر بر حسب تغییرات طول سیکل چراغ ۱٤٤

شکل٤- ٢٠: نمودار تغییرات تأخیر بر حسب تغییرات طول سیکل چراغ..... ١٤٦
شکل٤- ٢١: احجام ورودی چهارراه میکاییل در نرم‌افزار Synchro..... ١٤٨
شکل٤- ٢٢: صف مسیر یک بعد از سبز شدن چراغ در چهارراه میکائیل (شبیه‌سازی نرم‌افزار Synchro)..... ١٤٨
شکل٤-٢٣: احجام ورودی برای چهارراه ویلانچ در نرم‌افزار Synchro..... ١٤٩
شکل٤- ٢٤: صف مسیر یک بعد از سبز شدن چراغ در چهارراه ویلانچ (شبیه‌سازی نرم‌افزار Synchro) ١٤٩
شکل٤- ٢٥: احجام ورودی برای چهارراه ویلانچ در نرم‌افزار Synchro..... ١٥٠
شکل٤- ٢٦: مدل در تقاطع سه‌راه سعدی- معلم (شبیه‌سازی نرم‌افزار Synchro) ١٥٠
شکل٤-٢٧: تعداد خودروهای خدمت دهی شده‌ی مسیر یک و دو بعد از تنظیم زمان سبز..... ١٥٥
شکل٤-٢٨: نمودار تغییرات زمان انتظار مسیرهای ١ و ٢ با تغیر زمان سبز..... ١٥٧
شکل٤-٢٩: معادله‌ی دوم بر حسب g_1 و g_2..... ١٥٨
شکل٤-٣٠: تغییرات زمان متوسط انتظار بر اساس تغیر تعداد خط..... ١٦٤

چکیده

عنوان: مدل‌سازی تقاطع چراغ‌دار با استفاده از تئوری صف

نام دانشجو: سیاوش ابراهیمی

امروزه یکی از مهم‌ترین ملاک‌های کارایی شبکه‌های حمل‌ونقل پویایی و صرفه‌جویی در وقت کاربران است. در ترافیک صف‌ها محل‌هایی هستند که کاربران را ناخواسته مجبور به کاهش سرعت و توقف می‌کند . در تقاطع‌های مهم شهری به دلیل حضور وسایل نقلیه بسیار شاهد صف‌های طولانی هستیم. عوامل بسیاری در ایجاد صف‌ها موثرند که از میان آن‌ها می‌توان حجم وسایل نقلیه و عابرین پیاده، شکل هندسی تقاطع، زمان‌بندی چراغ، حرکات گردشی خودروها و رفتار رانندگان و عابران را نام برد. در این پژوهش با مدل‌سازی و شبیه‌سازی تقاطع چراغ دار با توجه به پارامترها و عوامل مطرح در تئوری صف نظیر توزیع‌های ورود، سرویس‌دهی و دیسیپلین‌های خدمت‌دهی و ...، تقاطع را به مثابه صف مدل‌سازی و با استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های تئوری صف، امکان‌پذیری حل و حل بهینه کنترل می‌شود. در مطالعات حاضر از مدل‌های صف D/D/1، M/D/1، M/M/1 و M/G/1 و نرم‌افزار Matlab جهت مدل‌سازی صف و تحلیل نتایج استفاده شد. جهت بررسی امکان‌پذیری و ارزیابی مدل ارائه‌شده، داده‌های سه تقاطع در شهر رشت به عنوان ورودی‌های مدل استفاده شد و با مقایسه‌ی خروجی‌ها با نتایج حاصل از نرم‌افزار معمول زمان‌بندی چراغ در تقاطع (Synchro) مشخص گردید که مدل صف M/G/1 با میانگین درصد اختلاف سیکل چراغ برابر با ١٤/٥٨، در پژوهش حاضر نزدیک‌ترین نتایج را به نرم افزار داشت و پس از آن مدل‌های M/D/1، M/M/1، و D/D/1 با درصدهای اختلاف زمان سیکل به ترتیب ٢٠/٨٣، ٣٣/٣٣ و ٣٧/٥ قرار داشتند.

کلیدواژه: تقاطع چراغ دار – تئوری صف – M/G/1– مدل‌سازی

Abstract

Modeling Signalized Intersection Using Queuing Theory

Siavash Ebrahimi

Nowadays of the most important measurements of traffic networks efficiency are dynamics and user time saving. In traffic networks queues can make users reduce speed of vehicles or even stop the vehicle undesirably. In important city intersections, existence of vehicles can cause long queues. Of the most important and common queues in every city are those caused by controlling at grade intersections with signals. Many factors influence queues; among those are volume of vehicles and pedestrian, geometric design of intersection, signal timing, vehicle movement and driver and pedestrian behaviors. In this research with modeling and simulation of signalized intersection in regard with queue parameters and factors like as different arrival and service distributions, service disciplines and …, signalized intersection is modeled as a queue; besides, dissolving possibility and optimization is controlled. In this study, D/D/1, M/D/1, M/M/1 and M/G/1 queue models and Matlab software were used in order to model and analyze the results. In order to check the feasibility of model and evaluate it the data from three real intersection in Rasht city were used as inputs and after comparing the outputs with results from the common intersection signal timing software named Synchro, it was determined that M/G1 queue model has the closest results to the software in this research with the average difference percent of 14/58. Subsequently M/D/1, M/M/1 and D/D/1 queue models were presented with average difference percents of 20/83, 33/33 and 37/5.

Key Words: Modeling - Signalized Intersection - Queuing Theory - M/G/1

فصل یک

تعریف مسئله

۱-۱: مقدمه

پیچیده‌ترین قسمت‌های هر سیستم راه‌های شهری، تقاطع‌های هم‌سطح هستند. در یک تقاطع معمولی با دو مسیر دو خطه دوازده حرکت مقدور است (گردش به چپ، مستقیم و گردش به راست از چهار مسیر) و چهار حرکت برای عابرین پیاده وجود دارد. این جابجایی‌ها در محل‌هایی که مسیر خودروها یا عابرین فضای فیزیکی یکسانی در زمان یکسان طلب می‌کنند برخوردهای بسیاری ایجاد می‌کنند. مطابق شکل شانزده برخورد وجود دارد که وظیفه‌ی بحرانی مهندس ترافیک کنترل و مدیریت این تلاقی‌ها در چهارچوبی است که ایمنی و جابجایی مناسب برای خودروها و عابرین پیاده تضمین شود.

بنابراین کنترل تقاطع‌ها اهمیت فراوانی دارد و این کنترل در سه سطح پایه صورت می‌گیرد: در سطح اول قواعد اولیه‌ی راه‌ها حاکم است و تدابیر خاصی صورت نمی‌گیرد. در سطح دوم علائمی چون توقف و رعایت حق تقدم استفاده می‌شود. سطح سوم نیز استفاده از چراغ راهنمایی است که بیش‌ترین کنترل را بر تقاطع دارد، چرا که ذاتاً بخشی از برخوردها را حذف می‌کند و هیچ یک از روش‌های دیگر کنترل قادر به انجام آن نیستند.

کنترل تقاطع‌ها با چراغ راهنمایی علاوه بر مزایای بسیاری که دارد از قبیل کاهش نقاط احتمالی برخورد وسایل نقلیه، کاهش تصادفات، جلوگیری از توقف‌های اضافی و صرفه‌جویی در وقت کاربران، لازم به ذکر است که طراحی و زمان‌بندی نامناسب چراغ نه‌تنها مزایای مثبت ذکرشده را به همراه نخواهد داشت می‌تواند موجب مشکلاتی چون افزایش تصادفات، قانون‌شکنی کاربران و همچنین تأخیر مفرط شود.

معمولا تقاطع‌ها در شبکه‌ی شهری گلوگاه‌های ترافیکی محسوب می‌شوند. ورود وسایل نقلیه از سه یا چهار ورودی و موضوع تفکیک و تنظیم زمان عبور برای آنها یکی از اصلی‌ترین مسایل در تقاطع‌های پرترافیک شهری است. با افزایش ترافیک در تقاطع‌ها، ضرورت استفاده از چراغ راهنمایی و زمان‌بندی آنها مطرح می‌شود. در دهه‌های گذشته یکی از اصلی ترین مباحث ترافیکی یافتن روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی زمانبندی چراغ‌ها بوده است. روند تغییرات فنی و علم موضوع بیانگر گوشش بسیار محققین در دهه‌های گذشته می‌باشد. در طی این دوره شاهد تغییرات بسیاری در نگرش محققین و شرایط ترافیکی بوده ایم. از طرفی ایجاد صف در محل تقاطع مشابهتی با بیان نظری تئوری صف ایجاد می‌کند. در تئوری صف کوشش می‌شود با توجه به نرخ ورود، توزیع ورود، نرخ خدمت، توزیع خدمت و دیسیپلین خدمت، بهترین الگو که کمترین تاخیر را برای استفاده‌کننده‌گان فراهم می‌کند، تعیین شود. استفاده از تئوری صف در حوضه‌های مختلف علوم و به‌ویژه در مهندسی حمل‌ونقل در سال‌های گذشته بسیار رایج بوده است و کوشش‌هایی در بکارگیری این روش در تقاطع‌های چراغ‌دار نیز صورت گرفته است. در پژوهش حاضر در نظر است با استفاده از مبانی نظری تئوری صف و مبانی نظری بهینه سازی چراغ‌ها و بکارگیری الگوهای مختلف، مدل ترافیکی مناسبی جهت بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغها بر مبنای تئوری صف صورت گیرد.

رانندگان اگر مدت زیادی در صف منتظر بمانند تمایل دارند تصور کنند که چراغ به درستی کار نمی‌کند به ویژه زمانی که از مسیر مقابل تعداد کمی خودرو عبور کند یا اصلاً خودرویی عبور نکند. تأخیر مفرط نیز می‌تواند به علت زمان‌بندی نامناسب چراغ راهنمایی باشد.

به طور کلی تأخیر مهم‌ترین معیار کارایی تقاطع‌های چراغ دار است و علاوه بر هدر دادن زمان باارزش رانندگان که با پیشرفته شدن روزافزون کشورها ارزش بیشتری نیز می‌یابد، تأثیرات منفی قابل‌توجهی بر روحیه و در نتیجه رفتار رانندگان خواهد داشت [۱].

در طی سال‌ها چراغ‌های راهنمایی با اهداف و روش‌های مختلفی بهینه‌سازی شده‌اند. در پژوهش حاضر در نظر است با استفاده از تئوری صف امکان مدل‌سازی تقاطع چراغ‌دار بررسی گردد و جهت بررسی کیفیت نتایج، نتایج به دست آمده برای یک نمونه‌ی واقعی با نتایج نرم‌افزار مقایسه می‌شود. در این میان تئوری صف ابزاری است که در زمینه‌های مشابه بسیار به‌کاررفته رفته است و شامل گستره‌ی عظیمی از توابع ریاضی است. مدل‌های صف در حوزه‌ی مهندسی حمل‌ونقل در زمینه‌های مدیریت فرودگاه‌ها و بندرها، گیت عوارضی‌ها و ... بکار رفته است.

از طرفی مدل‌های جریان ترافیک طیف گسترده‌ای از امکانات لازم برای تست کردن موقعیت‌های پیچیده‌ی ترافیک ازجمله پویایی سیستم‌های حمل‌ونقل ارائه می‌دهند. مدل‌های کامپیوتری جریان ترافیک اجازه می‌دهند نتایج را در زمان بسیار کوتاهی دریافت کنیم و فرایند واقعی ترافیک را نشان می‌دهند. از این گذشته روش‌های تجربی بسیار زمان‌بر و اغلب غیرقابل اجرا هستند. در این میان تئوری صف گستره‌ی عظیمی از توابع است و مدل‌های صف معمولاً در صنعت و کارخانه‌ها، طراحی تسهیلات، مدیریت استخدام‌ها در اداره‌ها و همچنین در ترافیک به کار می‌رود [۲].

مدل‌های تئوری صف امروزه به طور عمده به عنوان کمکی پر استفاده در جهت درک و کنترل شلوغی در بسیاری از سیستم‌ها، خدمات و تولید محصولات شناخته شده است. این سیستم‌ها شامل سیستم‌های کامپیوتری، ارتباطات صوت و داده، جریان وسایل نقلیه، خدمات اورژانس عمومی، فروشگاه‌های صنعتی، خطوط تولید و کارخانه‌ها است. در پژوهش حاضر از تئوری صف برای توصیف رفتار ترافیک در تقاطع چراغ دار و بهینه‌سازی زمان‌بندی آن استفاده خواهیم کرد. به طور کلی صف‌ها هر زمانی که تقاضای آنی از ظرفیت بیشتر شود شکل می‌گیرند و تئوری صف شامل مطالعات ریاضی این خطوط انتظار است. تئوری صف با استفاده از بسیاری از مدل‌های ریاضی، مشخصات مختلف خطوط انتظار که از جمله مهم‌ترین آن‌ها زمان انتظار و طول صف است را ارزیابی می‌کند. این مشخصات معیارهایی برای کارایی صف هستند.

در قرن اخیر تحقیقات قابل‌توجهی روی سیستم‌های صف انجام شد اما برای سیستم‌های واقعی‌تر، تمرکز روی دقت مدل‌سازی و محاسبات پیچیده لازم است. دقت مدل‌های صف مستقیماً به میزان ساده‌سازی‌های سیستم واقعی بستگی دارد. مدل‌سازی جریان ترافیک با استفاده از تحلیل صف‌ها مسئله‌ی جدیدی نیست و حدود ۱۰ سال است که مورد بحث قرار دارد و افراد مختلف در این مبحث برداشت‌های متفاوت و مدل‌های مختلف برای جریان ترافیک ارائه می‌کنند [۳].

۱-۲: اهمیت موضوع

با افزایش خودروها و ثابت ماندن ظرفیت راه‌ها هر روزه با ایجاد صف‌های طویل در مواجه هستیم. از مهم‌ترین خسارت‌های این صف‌ها از بین رفتن وقت کاربران است. در مطالعات گوناگون در کشورهای مختلف و با توجه به اقشار مختلف جامعه این اتلاف وقت قیمت‌گذاری و تأثیرات منفی اتلاف وقت در اقتصاد کشور اثبات شده است. از سوی دیگر صف‌ها باعث ناراحتی و بی‌حوصلگی و حتی ناهنجاری‌های رفتاری رانندگان می‌شوند. از دیگر اثرات نامطلوب صف‌ها آلودگی هوا خواهد بود که امروزه عامل بسیاری از بیماری‌ها و مرگ‌ومیر شناخته شده است. همچنین صف‌ها باعث افزایش مصرف سوخت خواهند بود که از لحاظ اقتصادی اهمیت بسیار دارد. بهینه‌سازی چراغ‌های راهنمایی می‌تواند به هرچه کاراتر عمل کردن سیستم ترافیک شهری کمک کرده و بخشی عمده‌ای از مشکلات فوق را برطرف کند.

۱-۳: هدف

اهداف پژوهش حاضر عبارت‌اند از:

۱- بررسی امکان‌پذیری مدل‌سازی چراغ راهنمایی با استفاده از تئوری صف
۲- مدل‌سازی رفتار ترافیکی تقاطع چراغ‌دار با استفاده از مدل‌های متفاوت تئوری صف
۳- بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ راهنمایی با هدف کاهش زمان‌های انتظار و حضور در صف و افزایش کارایی تقاطع چراغ‌دار
٤- یافتن بهترین مدل تئوری صف که بتواند با شرایط ترافیکی هماهنگی داشته باشد.

۱-٤: محدودیت‌ها

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به مشکلات متعدد برای آمارگیری‌ها، نبودن آمار و یا عدم دسترسی به آمارهای مربوط به احجام و ظرفیت تقاطع‌های شهر رشت اشاره کرد. از آنجا که متأسفانه تاکنون تحقیق کاملی دراین‌باره صورت نگرفته و همچنین به علت عدم همکاری سازمان‌های مربوطه بنابراین در این پژوهش زمان زیادی صرف آمارگیری گردید. به علت این کمبود آمار بررسی تأثیر تقاطع‌های اطراف و بررسی شبکه به طور هماهنگ از دیگر محدودیت‌های این پژوهش است.

۱-۵: فرضیات

فرضیات پژوهش حاضر عبارتند از:

۱- رفتار ترافیکی وسایل نقلیه در تقاطع چراغ‌دار را می‌توان با تئوری صف مدل کرد.
۲- الگوریتم‌های محاسباتی تئوری صف امکان بهینه‌سازی چراغ‌های راهنمایی را فراهم می‌کند.
۳- مدل صف $M/G/1$ در مقایسه با سایر مدل‌ها نتایج بهتری خواهد داشت.

۱-٦: چهارچوب کلی

در فصل یک مقدمه، شامل شرح مسئله، اهمیت، اهداف، فرضیات و محدودیت‌ها بیان گردید. در فصل دوم به بررسی تحقیقات انجام‌شده و نقاط ضعف و قوت آن‌ها خواهیم پرداخت. در فصل سوم مبانی و کلیات لازم در این پژوهش و معرفی تئوری صف ارائه خواهد شد. در فصل چهارم با بررسی پارامترهای موثر و الگوهای ورود و الگوهای خدمت دهی، صورت-بندی ریاضی تئوری صف در تقاطع دارای چراغ راهنمایی تهیه شده و به مدل‌سازی تقاطع و ارائه‌ی روش‌های بهینه‌سازی سیستم (کاهش زمان انتظار و طول صف) خواهیم پرداخت. در فصل پنجم نتایج را با مدل‌سازی نرم‌افزار مقایسه می‌کنیم. سپس نتیجه‌گیری و پیرامون نتایج بحث خواهیم کرد.

فصل دوم

کاوش در متون

۲-۱: مقدمه

در این فصل تحقیقات و یافته‌های دیگر محققین در ایران و جهان معرفی و طبقه‌بندی خواهد شد. در جمع‌آوری مطالب این فصل به بررسی کتاب‌ها، مجلات فنی، مقالات و پایان‌نامه‌های داخلی و خارجی پرداختیم. در ابتدا تاریخچه‌ای مختصر از تحقیقات انجام‌گرفته در زمینه‌ی تئوری صف بیان می‌کنیم. سپس به بررسی مقالاتی در ارتباط با مدل‌سازی صف در تقاطع چراغ‌دار می‌پردازیم. در آخر در نظر است با کمک گرفتن از مطالعات گذشتگان به اهداف این پژوهش دست یابیم.

۲-۲: تاریخچه

نظریه‌ی صف به منظور تهیه‌ی مدل‌هایی برای پیش‌بینی رفتار سیستم‌هایی که سعی دارند به درخواست‌های تصادفی سرویس دهند، تکامل یافته است، اما نه به طور غیرطبیعی، از این رو مسائل اولیه که مطالعه شده‌اند مربوط به تراکم درخواست مکالمات تلفنی بوده است.

موارد استفاده تئوری صف‌ها در اوایل قرن بیستم شروع شد و دانشمندان اهمیت آن را احساس نمودند، مخصوصاً در طراحی سیستم‌هایی در علوم که برای انجام عملیات در آن به سرعت زیاد و قدرت توانایی بیشتری نیاز داشتند. تئوریسین‌ها موارد استفاده صف‌هایی که دارای ورودهایی به طور تصادفی و سرویس محدود باشند پیدا نمودند؛ اما در حل آن‌ها با مشکل ریاضی روبرو بودند و هر چه این تئوری وسیع تر می‌گردید حل ریاضی آن‌ها نیز پیچیده‌تر می‌شد. به این دلیل روش شبیه‌سازی به علت ساده بودن حل ریاضی آن‌ها امروز در بسیاری از موارد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سال ۱۹۰۹:

محقق پیشگام این نظریه ریاضیدان دانمارکی ارلانگ بوده است که در سال ۱۹۰۹، نظریه‌ی احتمال‌ها و مکالمات تلفنی را منتشر کرد. ارلانگ در کارهای بعدی‌اش مشاهده کرد که یک سیستم تلفن عموماً به یکی از دو صورت زیر مشخص می‌شود:

۱- ورودی پواسون، زمانه‌ای اشغال (سرویس) نمایی و باجه‌های چندگانه (سرویس‌دهنده‌ها)، یا

۲- ورودی پواسون، زمانه‌ای اشغال ثابت و یک باجه.

ارلانگ بانی اندیشه‌ی تعادل مانا، به منظور معرفی آنچه اصطلاحاً تعادل معادلات حالت نامیده می‌شود و نیز اولین بررسی‌کننده‌ی اپتیمم سازی سیستم صف بندی بوده است. تحقیقات مربوط به کاربرد این نظریه در مورد تلفن بعد از ارلانگ ادامه یافت. نخستین کاربرد نظریه صف مکالمات تلفنی بود به طور کلی تا سال ۱۹۵۰ تنها کاربرد اصلی نظریه صف تلفن بود. دومین کاربرد جالب فرود هواپیماست.

سال ۱۹۲۷:

در سال ۱۹۲۷ مولینا کاربرد نظریه‌ی احتمال در مسائل اساسی تلفن را منتشر کرد که به دنبال آن یک سال بعد تورنتون فری احتمال و استفاده‌های آن در مهندسی را انتشار داد که در آن بیشتر کارهای پیشین ارلانگ تعمیم داده شده است.