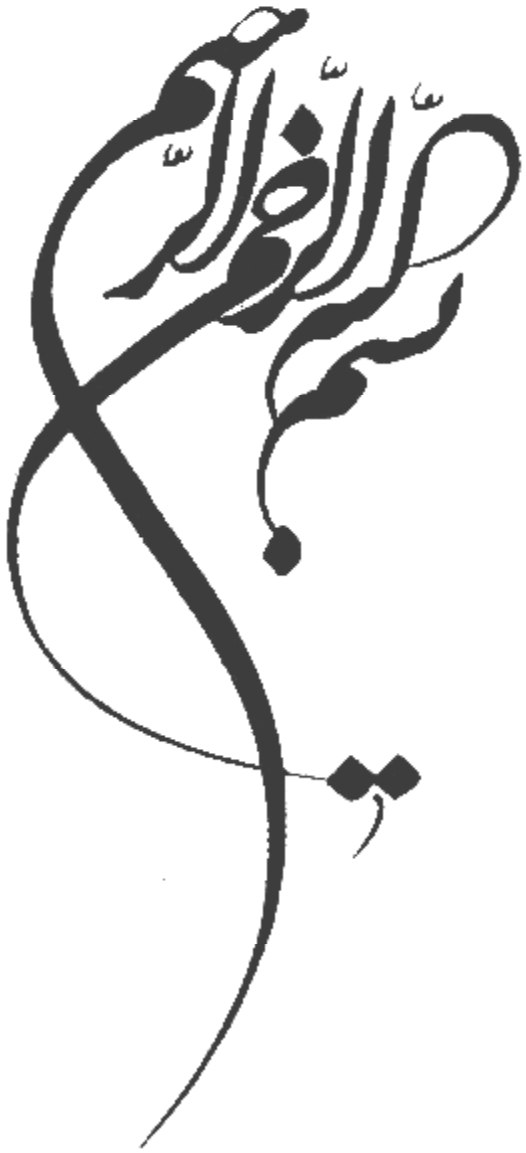

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی عمران

بررسی متغیرهای کلان جریان ترافیک و رفتار رانندگان در مقاطع پایه بزرگراههای درونشهری
(مطالعه موردی: بزرگراه شهید خرازی اصفهان)

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران
گرایش راه و ترابری

محمد تمنائی

استاد راهنما
دکتر سیدمهدی ابطحی

1389

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- راه و ترابری آقای محمد تمنائی

تحت عنوان

بررسی متغیرهای کلان جریان ترافیک و رفتار رانندگان در مقاطع پایه بزرگراههای درونشهری (مطالعه موردی: بزرگراه شهید خرازی اصفهان)

در تاریخ ۲۰ / ۱۱ / ۱۳۸۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید مهدی ابطحی	امضاء
۲- استاد داور	دکتر علی خدایی	امضاء
۳-استاد داور	دکتر سید نادر شتاب بوشهری	امضاء
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عبدالرضا کبیری	امضاء

تقدیم به:

مهربان‌ترین، پدر و مادرم

صبورترین، همسرم

و بهترین، فرزندم

تشکر و قدردانی

الهی! انا الجاهلُ فی عِلمی! فکیف لا اکون جاهِلاً فی جهلی!

تو ای خدای من! ای بی‌نیازهستی‌بخش! مرا لحظه‌ای به خودم وامگذار!

از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر سید مهدی ابطحی که هدایت این پایان نامه را عهده دار بودند، صمیمانه سپاسگزارم و از خداوند منان آرزوی موفقیت و سربلندی روزافزون ایشان را مسئلت دارم.

از جناب آقای دکتر علی خدایی و نیز جناب آقای دکتر نادر شتاب بوشهری که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند کمال قدردانی را دارم.

همچنین از جناب آقای دکتر شهاب‌الدین کرمانشاهی که زحمت مشاوره‌ی این پایان نامه را بر عهده داشتند نهایت سپاس را دارم.

از جناب آقای مهندس قدرت افتخاری مدیر محترم مطالعات معاونت ترافیک شهرداری اصفهان به جهت ارائه نقطه نظرات مفید کارشناسی، صمیمانه سپاسگزارم.

از همکار و دوست صمیمی‌ام جناب آقای دکتر حسین حق‌شناس که سخاوتمندانه در جهت ارتقاء علمی پایان‌نامه، بنده را یاری نمودند کمال تشکر و امتنان را دارم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم نهایت سپاس خود را از زحمات و هدایت‌های عالمانه اساتید معظم: آقایان دکتر منوچهر وزیری، دکتر جلیل شاهی، دکتر حسین پورزاهدی و دکتر رجالی اعلام نمایم.

در پایان، سپاس قلبی‌ام را از دوستان عزیزم، آقایان مهندس حمید امین‌الرعایا و مهندس علیرضا ابریشمکار به خاطر کمک‌ها و همراهی‌شان ابراز می‌دارم.

زمستان 1389

فهرست مطالب

چکیده 1
فصل اول 2
مقدمه 2
1-1- مقدمه 2
1-2- محتوای فصول 3
فصل دوم 4
بررسی مفاهیم و سابقه علمی 4
2-1- تعاریف و مفاهیم 4
2-1-1- بررسی کلان جریان ترافیک 4
2-1-2- بررسی خرد جریان ترافیک 6
2-1-3-ظرفیت 8
2-1-4- رژیمهای جریان ترافیک 9
2-2-مدل های کلان ترافیک 11
2-2-1- مدلهای سرعت- چگالی 11
2-2-2- ارتباط بین مدلهای خرد و کلان ترافیک 14
2-3- سرفاصله زمانی وسایل نقلیه 16
2-3-1- سرفاصله زمانی و رفتار رانندگان 16
2-3-2- توزیع سرفاصله زمانی وسایل نقلیه 18
2-3-3- برازش مدلهای آماری بر سرفاصله زمانی وسایل نقلیه 20
2-4- مطالعات ظرفیت 23
2-4-1- مطالعات ظرفیت در آمریکا 23
2-4-2- مطالعات ظرفیت در آلمان 25
2-4-3- مطالعات ظرفیت درکشورهای آسیایی 26
فصل سوم 29
مطالعات میدانی 29
3-1- انتخاب سایت 29
3-1-1- جایگاه ارتباطی و منطقه ای حلقه سوم ترافیکی شهر اصفهان 29
3-1-2- موقعیت سایت منتخب 30
3-1-3- شرایط هندسی و ترافیکی سایت 32
3-2- جمع آوری داده ها 33
3-2-1- آماربرداری مکانیزه 33
3-2-2- آماربرداری با استفاده از فیلمبرداری 36
3-3- استخراج داده ها 37
3-3-1- پارامترهای کلان جریان 37
3-3-2- سرفاصله زمانی وسایل نقلیه 43

3-3-3- سرعت آزاد جریان 48
فصل چهارم 50
تحلیل سرفاصله زمانی وسایل نقلیه 50
4-1- بررسی مشخصات سرفاصله زمانی در شرایط مختلف 50
4-1-1- سرفاصله های زمانی در دامنه ترددهای مختلف 50
4-1-2- مقایسه میانگین و میانه سرفاصله ها 53
4-1-3- صدک های مختلف سرفاصله ها 54
4-1-4- بررسی ایمنی در فرآیند دنباله روی 55
4-2- مدل آماری مناسب جهت توزیع سرفاصله های زمانی 58
4-2-1- تست کای دو 58
4-2-2- توزیع های آماری استفاده شده 59
4-2-3- متدولوژی انتخاب مدل مناسب 60
4-2-4- انتخاب مدل مناسب 60
4-2-5- پیشبینی توزیع سرفاصله های زمانی به ازای هر نرخ تردد 66
4-3- جمع بندی 72
فصل پنجم 73
تحلیل ظرفیت 73
5-1- تعیین ظرفیت از طریق تحلیل خرد جریان ترافیک 73
5-1-1- متدولوژی 74
5-1-2- نتایج 77
5-2- تعیین ظرفیت از طریق تحلیل کلان جریان ترافیک 77
5-2- 1- روابط سرعت- تردد- چگالی 77
5-2- 2- ظرفیت و مدلهای کلان ترافیک 81
5-3- جمع بندی 82
فصل ششم 83
نتیجه گیری 83
6-1- نتایج حاصل از پژوهش 83
6-2- پیشنهادات جهت ادامه مطالعه 84
پیوست ها 86
پیوست الف- نتایج تست های کای دو 87
پیوست ب- برخی برنامه های نوشته شده در محیط نرم افزار MATLAB 95
پیوست پ- نمودار مدلهای کلان سرعت-چگالی 101
پیوست ت- ضریب همسنگ سواری 105
مراجع 108

فهرست جداول

جدول 2-1: فواصل ایمن دنباله روی وسایل نقلیه در سرعتهای مختلف 18
جدول 2-2- ضابطه سطح سرویس در آزادراه و بزرگراه چندخطه مطابق HCM 1985 24
جدول 2-3- مقایسه ظرفیت و چگالی ظرفیت در آزادراه و بزرگراه چندخطه مطابق HCM 2000 24
جدول 2-4- ظرفیت آزادراههای آلمان تحت شرایط ایده آل 25
جدول 2-5- مقایسه ظرفیت آزادراه 6خطه در آمریکا و آلمان 26
جدول 2-6- ظرفیت پایه آزادراهها و بزرگراههای چندخطه در چین 26
جدول 2-7- عوامل مؤثر در تحلیل ظرفیت یک آزادراه در کشورهای مختلف 27
جدول 2-8- مقادیر ظرفیت مربوط به تسهیلات مختلف راهی در اندونزی 27
جدول 3-1- ساعات مختلف فیلمبرداری از مقطع پایه 37
جدول 3-2- ضرایب معادل سواری استفاده شده در این تحقیق 38
جدول 3-3- کاربرگ شمارش حجم تردد - بزرگراه شهید خرازی اصفهان 39
جدول 3-4- کاربرگ تعیین سرعت متوسط مکانی - بزرگراه شهید خرازی اصفهان 40
جدول 3-5- کاربرگ تعیین سرعت متوسط مکانی - بزرگراه شهید خرازی اصفهان 41
جدول 3-6- خصوصیات آماری جریان فوق اشباع 42
جدول 3-7- خصوصیات آماری جریان زیر اشباع 42
جدول 3-8- کاربرگ تعیین سرفاصله - بزرگراه شهید خرازی اصفهان 44
جدول 3-9: شمایی از بانک اطلاعاتی سرفاصله های زمانی بزرگراه شهید خرازی اصفهان 45
جدول 3-10- نرخ تردد و سرعت متوسط دسته های 5دقیقه ای 46
جدول 3-11- ویژگیهای آماری سرفاصله زمانی وسایل نقلیه 47
جدول 3-12- دامنه های تردد تعریف شده برای خطوط 3 و 2 48
جدول 4-1- مشخصات آماری سرفاصله های زمانی در دامنه ترددهای مختلف 51
جدول 4-2- آمار مربوط به نحوه تصادفات در بزرگراه شهید خرازی (88/6/31 تا 89/6/31) 56
جدول 4-3- آمار علت تصادفات در بزرگراه شهید خرازی (88/6/31 تا 89/6/31) 57
جدول 4-4- مقادیر h مربوط به تستهای کای دو برای توزیع سرفاصله ها در خطوط مختلف مربوط به ساعات روز 62
جدول 4-5- مقادیر p-value مربوط به تست های کای دو برای توزیع سرفاصله ها در خطوط مختلف مربوط به ساعات روز 63
جدول 4-6- نتایج نهایی تست های کای دو پذیرفته شده برای داده های خطوط 3 و 2 64
جدول 4-7- توابع محاسبه پارامترهای مدلهای منتخب در شرایط مختلف 66
جدول 4-8- مقایسه ویژگیهای آماری سرفاصله ها در تردد یکسان در خطوط 3 و 2 70
جدول 5-1- نتایج حاصل از روش های محاسبه ظرفیت با استفاده از سرفاصله های زمانی 77
جدول 5-2- ظرفیت حاصل از مدلهای کلان ترافیک در شرایط مختلف 81
جدول الف-1- مقادیر h مربوط به نتایج تست کای دو - خط 3- تفکیک تردد 100تایی - توزیع لوگ نرمال- روز 87
جدول الف-2- مقادیر p-value مربوط به نتایج تست کای دو - خط 3- تفکیک تردد 100تایی- توزیع لوگ نرمال- روز 88
جدول الف-3- مقادیر h مربوط به نتایج تست کای دو - خط 2- تفکیک تردد 100تایی- توزیع گاما- روز 89
جدول الف-4- مقادیر p-value مربوط به نتایج تست کای دو - خط 2- تفکیک تردد 100تایی- توزیع گاما- روز 90
جدول الف-5- مقادیر h مربوط به نتایج تست کای دو - خط 3- تفکیک تردد 100تایی- توزیع لوگ نرمال- شب 91
جدول الف-6- مقادیر p-value مربوط به نتایج تست کای دو - خط 3- تفکیک تردد 100تایی- توزیع لوگ نرمال- شب 92
جدول الف-7- مقادیر h مربوط به نتایج تست کای دو - خط 2- تفکیک تردد 100تایی- توزیع گاما- شب 93
جدول الف-8- مقادیر p-value مربوط به نتایج تست کای دو - خط 2- تفکیک تردد 100تایی- توزیع گاما- شب 94
جدول ت-1- ضریب معادل سواری در نواحی مختلف ارائه شده توسط HCM 2000 105
جدول ت-2- مقادیر همسنگ سواری در مناطق هموار کشور اندونزی 106

جدول ت-3- ضرایب معادل سواری (رتواناسین و همکاران).....106
جدول ت-4- ضرایب همسنگ سواری پیشنهادی سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای 107
جدول ت-5- ضرایب معادل سواری استفاده شده در این تحقیق 107

فهرست اشکال

شکل 2-1- روابط کلی بین تردد، سرعت و چگالی تحت شرایط تردد غیرمنقطع 5
شکل 2-2 : منظره قابل مشاهده از فراز ساختمانی که دوربینها روی آن قرار داشتند 7
شکل 2-3- سرفاصله زمانی و گپ زمانی وسایل نقلیه 8
شکل 2-4- نمودار سرعت- تردد مربوط به رژیمهای مختلف جریان ترافیک 10
شکل 2-5- نمودار سرعت- تردد اکسلیک تحت شرایط تردد غیرمنقطع 11
شکل 2-6- مدلهای کلان گرینبرگ و آندروود 13
شکل 2-7 : دنباله روی وسایل نقلیه 14
شکل 2-8-توزیع سرفاصلههای زمانی در بزرگراه لانگ آیلند امریکا 18
شکل 2-9-توزیع سرفاصلههای زمانی در مطالعات پاولمیشل و همکاران 19
شکل 2-10- توزیع سرفاصله زمانی برای احجام تردد مختلف در مدل صادق حسینی 22
شکل 3-1- موقعیت کلی حلقه سوم ترافیکی شهر اصفهان 30
شکل 3-2- موقعیت جغرافیایی سایت منتخب 31
شکل 3-3- نمایی از مقطع پایه منتخب در بزرگراه شهید خرازی اصفهان 32
شکل 3-4- دستگاه مقطع نگار که در مقطع پایه منتخب بزرگراه شهید خرازی نصب گردید 33
شکل 3-5- گزارش هفتگی حجم ترافیک، خروجی دستگاه مقطع نگار 34
شکل 3-6- گزارش روزانه حجم ترافیک، خروجی دستگاه مقطع نگار 35
شکل 3-7- گزارش هفتگی میانگین سرعت، خروجی دستگاه مقطع نگار 35
شکل 3-8- نصب شاخص بر روی دیوار کناری بزرگراه 36
شکل 4-1- مقایسه میانگین و میانه سرفاصله ها در ساعات روز و شب، خط 3 53
شکل 4-2- مقایسه میانگین و میانه سرفاصله ها در ساعات روز و شب، خط 2 54
شکل 4-3- مقایسه صدک های سرفاصله های مربوط به دامنه های تردد خط 3 در ساعات روز 54
شکل 4-4- مقایسه صدک های سرفاصله های مربوط به دامنه های تردد خط 2 در ساعات روز 55
شکل 4-5- مدلهای انتخاب شده توزیع سرفاصله ها در خطوط 3 و 2 در ساعات روز 65
شکل 4-6- توزیع تجمعی سرفاصله های زمانی با استفاده از مدل لوگ نرمال با انتقال 0/24 ثانیه- خط 3 67
شکل 4-7- توزیع تجمعی سرفاصله های زمانی با استفاده از مدل گاما با انتقال 0/69 ثانیه- خط 2 68
شکل4-8- نمایش سه بعدی توزیع سرفاصله های زمانی مربوط به خط 3 در ساعات روز با استفاده از مدل 69
شکل4-9- نمایش سه بعدی توزیع سرفاصله های زمانی مربوط به خط 2 در ساعات روز با استفاده از مدل 69
شکل 5-1- توزیع سرفاصله های قابل قبول 76
شکل 5-2- نمودار سرعت- نرخ تردد مربوط به خطوط مختلف 79
شکل 5-3- منحنی سرعت- چگالی گرینشیلدز مربوط به داده های خط 3 در ساعات روز 80
شکل 5-4- منحنی سرعت- چگالی گرینشیلدز مربوط به داده های خط 2 در ساعات روز 80
شکل پ-1- نمودار سرعت- چگالی، خط 3- روز 101

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی و ارزیابی متغیرهای کلان جریان ترافیک و رفتار رانندگان در مقاطع پایه بزرگراه‌های درون‌شهری است. مطالعه موردی، بزرگراه شهید خرازی اصفهان می‌باشد که به عنوان بخشی از رینگ سوم شهر اصفهان، در طبقه‌بندی عملکردی معابر نقش شریانی درجه یک را ایفا می نماید. در این تحقیق با استفاده از آمار مربوط به این بزرگراه، برخی از پارامترهای جریان ترافیک را به تفکیک خطوط در ساعات مختلف روز و شب مورد تحلیل قرار گرفتند و ظرفیت مقطع پایه بزرگراهی به روش‌های کلان و خرد بررسی گردید. پارامترهایی که بررسی شدند عبارتند از : نرخ تردد وسایل نقلیه، سرعت متوسط مکانی و سرفاصله زمانی وسایل نقلیه. در تحلیل کلان ظرفیت، مدلهای کلان سرعت- چگالی نظیر مدل خطی گرینشیلدز، مدل لگاریتمی گرینبرگ و مدل نمایی آندروود مورد ارزیابی قرار گرفتند.

در تحلیل خرد ظرفیت، از مفهوم سرفاصله قابل قبول رانندگان استفاده شد و بر این اساس، سه روش جهت یافتن متوسط سرفاصله متناظر با ظرفیت ارائه گردید. نتایج حاصل از روش‌های کلان و خرد حاکی است که میزان ظرفیت خطوط بزرگراه مورد مطالعه بیشتر از مقادیر پیشنهادی راهنمای ظرفیت راهها (HCM) است. مهم‌ترین علت این امر، ویژگی‌های متفاوت رفتاری جامعه موردمطالعه رانندگان نسبت به سایر جوامع می‌باشد. تمایل بخش عظیمی از جامعه رانندگان به انتخاب سرفاصله-های غیرایمن و عدم رعایت فاصله ایمن دنباله‌روی مخصوصاً در ترددهای نزدیک به ظرفیت، اگرچه ظرفیت خط را افزایش داده‌است ولی در عین حال سبب کاهش ایمنی و افزایش احتمال خطر تصادف نیز شده‌است. به نحوی که علت اصلی بیش از 70 درصد تصادفات در این بزرگراه، «عدم رعایت فاصله طولی» و «عدم توجه به جلو» تشخیص داده شده‌است.

از آنجایی که ظرفیت راه وابسته به توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه می‌باشد، در بخشی از مطالعه حاضر، توزیع سرفاصله-ها در شرایط مختلف تردد مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از آزمون آماری کای‌دو، مدل‌های مختلف آماری با مقادیر انتقال (از 0 تا 0/75 ثانیه) بر توزیع سرفاصله‌ها برازش داده شدند. نتایج حاصل از 1632 آزمون کای‌دو – که توسط نرم‌افزار MATLAB انجام شد- حاکی است که در خط سبقت، مدل لوگ‌نرمال با مقدار انتقال 0/24 ثانیه بهترین برازش را بر توزیع سرفاصله‌ها نشان می‌دهد. در حالی که در خط میانی، مدل گاما با انتقال 0/69 ثانیه برازش مناسبی داشت. به جهت الگوی دنباله‌روی خاص رانندگان در خط سبقت و تمایل بالای آنان به دمرانی با سرعت بالا در ساعات پیک جریان ترافیک، ظرفیت خط سبقت بیشتر از ظرفیت خط میانی است و به همین جهت، توزیع وشاخصهای آماری سرفاصله‌ها در شرایط نزدیک به ظرفیت هر خط با یکدیگر تفاوت قابل توجهی دارند. تفاوت شاخصهای آماری توزیع سرفاصله‌ها در خطوط سبقت و میانی، حتی در دامنه ترددهای یکسان، نشان می دهد که رفتار رانندگان دراین دو خط متفاوت می باشد. این مطالعه نشان داد که برای تحلیل ظرفیت بزرگراهها در ایران، اعمال تغییرات در مقادیر پیشنهادی توسط آیین‌نامه‌های کشورهای دیگر، رفتار صحیح‌تری از ترافیک را منعکس می‌سازد. تحلیل جریان ترافیک با استفاده از مشاهدات واقعی می‌تواند به شناخت نسبی از رفتار حرکتی وسایل نقلیه منطبق با شرایط محلی منجر شود؛ شناختی که بدون آن، کارآمدی مدل‌های مرسوم جریان ترافیک برای شرایط ایران محل تردید خواهدبود.

کلمات کلیدی: جریان ترافیک، ظرفیت، رفتار رانندگان، تردد، تحلیل کلان، تحلیل خرد، توزیع، سرفاصله زمانی

فصل اول
مقدمه

1-1- مقدمه

در یک دسته‌بندی کلی، تحلیل جریان ترافیک، در دو مقیاس کلان و خرد صورت می‌پذیرد. متغیرهای کلان جریان ترافیک شامل چگالی، سرعت متوسط و تردد هستند و خصوصیات جمعی وسایل نقلیه را می‌نمایانند. مزیت عمده تحلیل کلان این است که شناختی کلی از حرکت وسایل نقلیه در اختیار می‌گذارد که برای تصمیم‌گیری در مورد رفتار تجمعی وسایل نقلیه در راهها می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد[1].

متغیرهای خرد جریان، خصوصیات رفتاری وسایل نقلیه منفرد را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهند. از جمله این پارامترها می‌توان به سرعت وسایل نقلیه منفرد، سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی وسایل نقلیه، فاصله گپ مکانی بین دو وسیله نقلیه متوالی و طول وسیله نقلیه اشاره نمود[2].

تحلیل خرد جریان ترافیک، بر مبنای آنالیز موقعیت وسایل نقلیه منفرد نسبت به یکدیگر بسط داده‌شده‌است. خصوصیات خرد ترافیک مطابق با مدل‌های توصیفی رفتار حرکتی وسایل نقلیه و غالباً در ارتباط با مدل‌های دنباله‌روی و تغییر خط بیان می‌گردند[1]. همچنین مطالعات سرفاصله‌ها (مانند بررسی توزیع سرفاصله‌های زمانی، توابع مختلف چگالی احتمال، بررسی ارتباط با سایر متغیرهای جریان و مقایسه تطبیقی نتایج مربوط به شرایط متفاوت)، در طبقه‌ی تحلیل خرد ترافیک قرار می‌گیرند.

هدف از این تحقیق، بررسی و ارزیابی متغیرهای کلان جریان ترافیک و رفتار رانندگان در مقاطع پایه بزرگراه‌های درون‌شهری است. مطالعه موردی، بزرگراه شهید خرازی اصفهان می‌باشد که به عنوان بخشی از رینگ سوم شهر اصفهان، در طبقه‌بندی عملکردی معابر نقش شریانی درجه یک را ایفا می نماید. این تحقیق در نظر دارد با استفاده از آمار مربوط به این بزرگراه، برخی از پارامترهای جریان ترافیک را به تفکیک خطوط در ساعات مختلف روز و شب بررسی نموده، رفتار رانندگان در مقاطع پایه بزرگراه‌های درون‌شهری ایران را در دو مقیاس کلان و خرد مورد تحلیل قراردهد. پارامترهایی که مورد بررسی قرار خواهندگرفت عبارتند از : نرخ تردد وسایل نقلیه، سرعت متوسط مکانی و سرفاصله زمانی وسایل نقلیه. تحلیل این پارامترها می‌تواند به شناخت نسبی از رفتار حرکتی وسایل نقلیه منطبق با

شرایط محلی منجر شود؛ شناختی که بدون آن، کارآمدی مدل‌های متداول جریان ترافیک برای شرایط ایران محل تردید خواهدبود.

1-2- محتوای فصول

این تحقیق، شامل شش فصل می‌باشد. در فصل اول، مقدمه‌ای پیرامون اهداف تحقیق و اهمیت آن، آورده شده‌است.

در فصل دوم، مفاهیم علمی مرتبط با موضوع، معرفی شده‌اند. همچنین برخی از تحقیقات انجام‌شده در زمینه مدل‌های کلان جریان ترافیک، و نیز تحقیقاتی پیرامون سرفاصله زمانی وسایل نقلیه به عنوان یکی از پارامترهای خرد ترافیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه، مطالعات ظرفیت‌سنجی در چندین کشور از جمله آمریکا، آلمان و کشورهای آسیایی ارائه شده‌است.

در فصل سوم، مطالعات و آماربرداری میدانی مربوط به این تحقیق، تشریح شده‌است. موقعیت و خصوصیات ترافیکی بزرگراه شهید خرازی اصفهان به عنوان سایت منتخب جهت برداشت اطلاعات، مورد بررسی قرار گرفته‌است. سپس عملیات جمع‌آوری داده اعم از آماربرداری اولیه و آماربرداری اصلی به تفصیل تشریح و روند استخراج و آماده-سازی داده‌های کلان و خرد ترافیکی ارائه شده‌است.

در فصل چهارم، تحلیل آماری جامعی پیرامون ویژگی‌های سرفاصله‌های زمانی برداشت‌شده ارائه شده‌است. همچنین، با استفاده از داده‌های سرفاصله وسایل نقلیه، ویژگی‌های رفتاری، ریسک‌پذیری و زمان پاسخ رانندگان مورد بررسی قرار گرفته‌است. در ادامه، به جهت شناسایی دقیق داده‌های مشاهده‌شده، نیکویی برازش توزیع‌های مختلف آماری بر سرفاصله زمانی وسایل نقلیه با استفاده از تست کای‌دو چک شده، مدل متناسب با توزیع سرفاصله‌ها به دست آمده‌است.

فصل پنجم، بر نتایج حاصل از مطالعه ظرفیت متمرکز می‌باشد. در این فصل، ظرفیت مقطع پایه بزرگراهی با استفاده از داده‌های کلان و خرد ترافیکی تخمین زده شده‌است. با استفاده از برخی مدل‌های کلان جریان ترافیک، ظرفیت خطوط مختلف در ساعات روز و شب محاسبه شده‌است. همچنین با تعریف مفهوم سرفاصله قابل قبول رانندگان، متدولوژی تعیین ظرفیت بر مبنای سرفاصله‌های مشاهده‌شده ارائه گردید. ظرفیت حاصل از دو روش تحلیلی کلان و خرد، با مقادیر ارائه‌شده در آیین‌نامه‌های مختلف مقایسه شده‌است.

در فصل ششم، نتایج حاصل از این تحقیق به طور مختصر ذکر شده‌اند.

فصل دوم
بررسی مفاهیم و سابقه علمی

2-1- تعاریف و مفاهیم

بررسی و تحلیل تجربی و نظری روابط بین متغیرهای مختلف جریان ترافیک، در طول سالیان متمادی، زمینه‌ای مناسب جهت مطالعاتی وسیع را برای محققین فراهم نموده‌است. اغلب این مطالعات بر مبنای دو نوع تحلیل جریان ترافیک پایه‌ریزی شده‌اند: تحلیل کلان (ماکروسکوپیک) و تحلیل خرد (میکروسکوپیک). اساس بیشتر مدلهای کلان و خرد ترافیک بر مبنای جریان سیالات، تئوری امواج و روشهای آماری استوار است[3]. مدلهای جدید بر مبنای نظریه رفتار اتومبیل در جریان ترافیک و بر اساس رفتار متقابل وسایل نقلیه‌ای که با هم در یک مسیر در حرکتند استوار می‌باشد.

2-1-1- بررسی کلان جریان ترافیک

به منظور توصیف کلان جریان ترافیک در هر نوع تسهیلات جاده‌ای، متغیرهای تجمعی ترافیک نظیر نرخ تردد ، سرعت متوسط مکانی و چگالی ترافیک مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این بخش متغیرهای مذکور تحت شرایط تردد غیرمنقطع[1] تعریف می‌شوند. تعاریف برگرفته از راهنمای ظرفیت راهها میباشند[4].

نرخ تردد[2]: نرخ معادل ساعتی عبور وسایل نقلیه که در طی یک بازه زمانی کمتر از یک ساعت (معمولاً بازه 15 دقیقه‌ای) از یک نقطه یا مقطع مشخص یک خط یا جاده عبور می‌کنند.

---

[1] Uninterrupted Flow conditions
[2] Flow Rate

سرعت متوسط مکانی[1]: سرعت متوسط سفر که در واحد km/h بیان می‌گردد، مناسب‌ترین نوع سرعت جهت ارتباط با دیگر پارامترهای ترافیکی می‌باشد. این پارامتر از تقسیم کردن طول جاده تحت مطالعه به زمان سفر وسایل نقلیه در آن طول به دست می‌آید:

$$V = \frac{n \cdot L}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad \text{(معادله 2-1)}$$

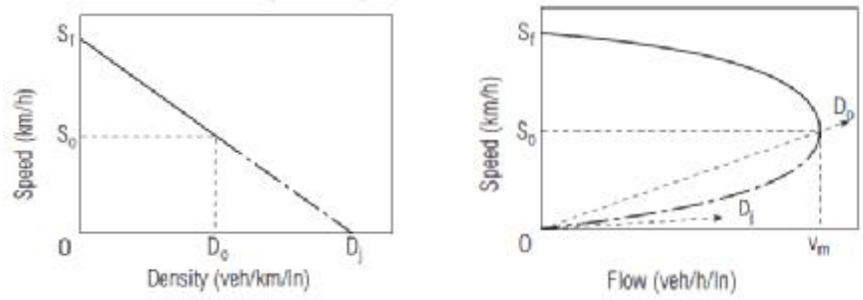
که در آن، V سرعت متوسط سفر (km/h) ، L طول قطعه مورد مطالعه از جاده (km)، t_i زمان سفر iاُمین وسیله (hr) و n تعداد زمانهای سفر مشاهده‌شده می‌باشند.

چگالی[2]: تعداد وسایل نقلیه‌ای که در یک لحظه، طول مشخصی از یک خط یا جاده را اشغال کرده‌اند. چگالی در واحد وسیله نقلیه بر کیلومتر (veh/km) بیان می‌گردد.

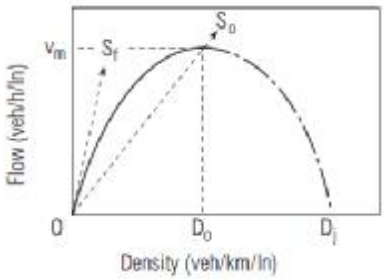
رابطه اصلی کلان ترافیک عبارتست از برابری جریان با حاصلضرب چگالی و سرعت:

$$F = V \times D \qquad \text{(معادله 2-2)}$$

که در آن F نرخ تردد، D چگالی و V سرعت متوسط سفر می‌باشد. معادله 2-2 به «رابطه اساسی ترافیک» مشهور است. مدلهای متعددی برای توصیف ارتباط بین متغیرهای کلان ترافیک مثل سرعت، چگالی و جریان مطرح شده‌اند، ولی همگی آنها باید در یک سری خصوصیات اصلی مشترک باشند. به طور مثال با افزایش چگالی وسایل نقلیه، سرعت کاهش پیدا می‌کند که این موضوع به دلیل کاهش آزادی حرکت وسایل نقلیه می‌باشد[5].



نمودار سرعت- چگالی　　نمودار سرعت- تردد



نمودار تردد- چگالی

شکل 2-1- روابط کلی بین تردد، سرعت و چگالی تحت شرایط تردد غیرمنقطع[4]

[1] Space mean Speed
[2] Density

در شکل 2-1، قسمت نقطه چین مربوط به شرایط ترافیک اشباع است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود با افزایش چگالی سرعت کاهش می یابد. همچنین با افزایش نرخ تردد، سرعت حرکت وسایل نقلیه کاهش می‌یابد. ولی در شرایطی که راه خیلی شلوغ می‌شود، نرخ تردد و سرعت وسایل نقلیه کاهش می‌یابد.

نمودار تردد- چگالی به «دیاگرام اساسی جریان ترافیک[1]» مشهور است. با مشاهده این نمودار مشخص می گردد که افزایش چگالی وسایل نقلیه در راه، با افزایش نرخ تردد همراه است، ولی اگر چگالی از حدی بیشتر شود به دلیل تراکم زیاد وسایل نقلیه و کاهش سرعت حرکت آنها میزان جریان عبوری نیز کاهش می‌یابد[6]. برخی از خصوصیات مهم نمودار تردد- چگالی را میتوان به شرح زیر خلاصه نمود:

1-در صورت عدم وجود چگالی، میبایستی ترددی نیز وجود نداشته‌باشد. بنابراین منحنی بایستی از مبدأ مختصات عبور کند. به علاوه اگر میانگین سرعت مکانی به صورت F/D داده شده‌باشد، شیب خط مماس بر منحنی تردد- چگالی در مبدأ، سرعت تردد آزاد خواهدبود که این شیب حداکثر شیب منحنی است.

2-مشاهده شده‌است که میتوان چگالی بالایی داشت در حالیکه هیچ ترددی وجود نداشته‌باشد، و این در حالتی اتفاق می‌افتد که تمام جریان ایستاده باشند. این حالت در صف‌های ترافیکی در آزادراهها مشاهده میشود. بنابراین منحنی بایستی یک نقطه با چگالی ماکزیمم یا اشباع و تردد صفر داشته‌باشد.

3-از آنجایی که در چگالی‌های متوسط ترددهای مختلفی مشاهده می‌شود، منحنی بایستی شامل یک یا چند نقطه با تردد ماکزیمم بین دو نقطه مبدأ مختصات و چگالی اشباع با تردد صفر باشد.

4-منحنی تردد- چگالی لازم نیست که پیوسته و ممتد باشد[3].

از میان روابط بین سه پارامتر سرعت، تردد و چگالی، به دست آوردن رابطه بین سرعت و تردد بیشتر موردنظر است. زیرا هدف اساسی به دست آوردن مناسبترین سرعت برای بیشترین تردد است[7].

مزیت عمده تحلیل کلان این است که شناختی از جریان ترافیک در اختیار می گذارد که برای تصمیم گیری در مورد رفتار تجمعی وسایل نقلیه در راهها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به این وسیله یک شناخت کلی از حرکت وسایل نقلیه به دست می‌آید[1].

2-1-2- بررسی خرد جریان ترافیک

مدلهایی که در تحلیل خرد ترافیک تهیه می‌شوند، حرکت تک تک وسایل نقلیه را مدل می کنند و متغیرهای کلان ترافیکی از جمع عملکرد این وسایل نقلیه به دست می‌آیند[5]. از جمله متغیرهای خرد ترافیکی که در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار می گیرند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

سرفاصله مکانی (m)، سرفاصله زمانی (sec)، فاصله گپ مکانی بین دو وسیله نقلیه متوالی (m)، سرعت منفرد (km/h)، طول وسیله نقلیه (m) [2]. مزیت عمده مدلهای خرد ترافیک در این است که به توصیف بهتری از واقعیت ارائه می‌دهند. از آن جهت که جریان ترافیک نتیجه تصمیم گیری و حرکت تک تک وسایل نقلیه است، خصوصیات خرد ترافیک غالباً در ارتباط با مدلهای دنباله‌روی و تغییر خط بیان می گردند[1]. در مدلهای دنباله‌روی و تعقیب،

[1] Fundamental diagram of traffic flow

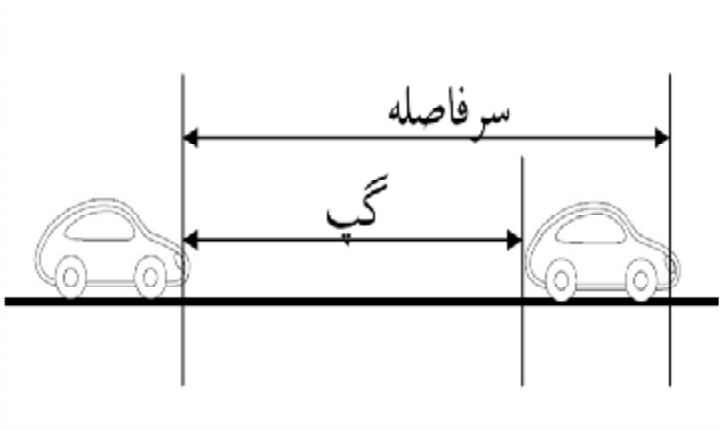
جابجایی طولی وسایل نقلیه در طول مسیر حرکت مورد توجه قرار می‌گیرد و در مدلهای تغییر خط، جابجایی عرضی وسایل نقلیه بین باندهای حرکتی وسایل نقلیه مورد توجه می‌باشد[8].

تاکنون تحقیقات فراوانی پیرامون پارامترهای خرد ترافیک و رفتار رانندگان انجام شده‌است. در این بخش، به معرفی پروژه NGSIM به عنوان یکی از برنامه تحقیقاتی رفتار خرد رانندگان بسنده می‌شود. این برنامه برای به کارگیری در الگوریتمهای رفتار خرد رانندگان تهیه شد. این برنامه – که در سال 2005 اجراشد- داده‌هایی با کیفیت بالا و جزئیات کافی از نحوه حرکت وسایل نقلیه تهیه کرده‌است[9]. اطلاعات جمع‌آوری شده در NGSIM جزئیاتی از رفتار حرکتی وسایل نقلیه را مشخص نمود که استفاده از آنها در مدلهای شبیه‌ساز خرد ترافیک را ممکن می‌نماید. به این ترتیب امکان تصمیم‌گیریهای معتبر و قابل اعتماد برای متخصصان حمل و نقل فراهم گردید. سایت مورد بررسی در پروژه، 500 متر از آزادراه I-80 آمریکا بود که از 6 باند آزادراهی تشکیل شده‌است. یک رمپ ورودی نیز در منطقه آمارگیری قرار داشت. هفت دوربین هماهنگ شده که بر فراز یک ساختمان 30 طبقه در مجاورت آزادراه قرار داده شده بودند از حرکت وسایل نقلیه فیلمبرداری کردند. شکل 2-2 منظره قابل مشاهده از فراز ساختمانی که دوربینها روی آن قرار داشتند را نمایش می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار NG-VIDEO مسیر حرکت وسایل نقلیه از فیلم برداشت شده استخراج شده است. در هر یک دهم ثانیه موقعیت تک تک وسایل نقلیه در منطقه مورد مطالعه تعیین شده و به این ترتیب موقعیت وسایل نقلیه در باندهای حرکتی و موقعیت وسایل نقلیه نسبت به یکدیگر قابل تشخیص است.

شکل 2-2 : منظره قابل مشاهده از فراز ساختمانی که دوربینها روی آن قرار داشتند**[9]**

در مطالعه حاضر، متغیر خرد «سرفاصله زمانی» مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. طبق تعریف راهنمای ظرفیت راهها، سرفاصله زمانی، فاصله زمانی میان عبور دو وسیله نقلیه متوالی از یک شاخص معین در جاده می‌باشد که معمولاً با واحد ثانیه بیان می‌گردد[4]. لازم به ذکر است که سرفاصله زمانی دو وسیله نقلیه متوالی، متفاوت از گپ

زمانی[1] آن‌ها می‌باشد. سرفاصله زمانی نشاندهنده مدت زمان سپری‌شده بین لحظات عبور نقطه‌ای مشخص از دو وسیله نقلیه متوالی می‌باشد (این نقطه مشخص می‌تواند سپرهای جلو و یا سپرهای عقب دو وسیله باشد). در حالی‌که گپ زمانی، مدت زمان سپری‌شده بین لحظه خروج وسیله جلویی با لحظه ورود وسیله عقبی می‌باشد. به عبارت دیگر، سرفاصله زمانی برابر با مجموع گپ زمانی و زمان اشغال[2] وسیله نقلیه است. تفاوت این دو مفهوم در شکل 1-1 نمایش داده شده‌است.



شکل 2-3- سرفاصله زمانی و گپ زمانی وسایل نقلیه

2-1-3-ظرفیت

در راهنمای ظرفیت راهها، ظرفیت تسهیلات بدین صورت تعریف شده‌است: «حداکثر نرخ جریان ساعتی که بتوان انتظار داشت افراد یا وسایل نقلیه، به نحوی معقول از یک نقطه یا قطعه یکنواختی از یک خط یا جاده، طی مدت زمان معین، تحت شرایط حاکم ترافیک، جاده و کنترل عبور داده شوند»[4].

ظرفیت تسهیلات وابسته به شرایط حاکم است. شرایط حاکم به سه دسته ترافیکی، جاده‌ای و کنترلی قابل تفکیک است. شرایط ترافیکی غالباً به ترکیب جریان ترافیک استفاده‌کننده از تسهیلات اطلاق می‌گردد. شرایط جاده به مشخصات هندسی جاده مانند سرعت طرح، هندسه افقی و قائم، تعداد و عرض خطوط، فاصله پارک جانبی و شکل-بندی خطوط مربوط می‌شود. شرایط کنترلی به وجود و حضور کنترلهایی اشاره دارد که بر نحوه استفاده از تسهیلات تأثیر می‌گذارند، مانند چراغهای راهنمایی، علائم ایست یا توقف، کنترلهای مربوط به استفاده از خطوط، محدودیت سرعت، حضور پلیس راهنمایی و رانندگی، علائم سبقت ممنوع و غیره. هر تغییری در شرایط حاکم باعث ایجاد تغییر در ظرفیت خواهدشد[10]. در صورتی که شرایط حاکم ترافیکی، هندسی و کنترلی تسهیلات، شرایط ایده‌آل باشند، بیشترین مقدار ظرفیت تسهیلات قابل دستیابی می‌باشد. شرایط ایده‌آل، نمایانگر بهترین سطح عملکردی تسهیلات هستند. برای یک بزرگراه چندخطه، شرایط ایده‌آل عبارتند از:

-عرض خط حداقل 3.6 متر باشد.

- فاصله کنار مسیر حداقل 1.8 متر باشد.

[1] Time Gap
[2] occupancy time

- همه وسایل نقلیه موجود در مسیر، سواری باشند.
-دسترسی مستقیم در طول مسیر وجود نداشته‌باشد.
-مسیر، جداشده باشد.
-سرعت آزاد جریان بیشتر از 100 کیلومتربرساعت باشد[4].

تحلیل ظرفیت، در حقیقت، مطالعه بخش عرضه حمل و نقل است که قابلیت تسهیلات مختلف را در عبور دادن ترافیک، مورد بررسی قرار می‌دهد. علاوه بر این، تحلیل ظرفیت، مطالعه و تحلیل ویژگی‌های عملکردی است که از استفاده سطوح مختلف تقاضا از تسهیلات ناشی می‌گردد. نکته مهم در تحلیل ظرفیت آن است که در این زمینه تنها تعیین حداکثر ترافیک قابل عبور از یک قطعه جاده دارای اهمیت نیست، بلکه حداکثر جریان ترافیک قابل عبور در سطوح مختلف کیفیت عملکردی نیز بسیار مهم است. همچنین باید توجه داشت که شرایط عملکردی در ظرفیت عموماً شرایط بد و ضعیفی برای جریان ترافیک محسوب می‌شوند. به ندرت می‌توان جاده‌ای را یافت که برای عملکرد در ظرفیت یا حتی نزدیک به آن طراحی شده‌باشد. زیرا در اینصورت شرایط عملکردی جاده به حدی ضعیف خواهدبود که حفظ آن بدون شکست و قطع جریان عملاً کاری غیرممکن است[10].

2-1-4- رژیم‌های جریان ترافیک

بر اساس راهنمای ظرفیت راهها[4]، جریان‌های ترافیکی در سه رژیم دسته‌بندی می‌شوند:

1- رژیم زیراشباع[1]: جریان ترافیکی را بیان می‌کند که تحت تأثیر شرایط بالادستی و پایین‌دستی قرار ندارد. در این رژیم، نرخ تردد کمتر از ظرفیت و سرعت بیشتر از سرعت متناظر با ظرفیت است.

2-رژیم تخلیه صف[2]: جریان ترافیکی را بیان می‌کند که از یک گره ترافیکی[3] عبور کرده و سرعت در حال افزایش به سرعت آزاد جریان است. نرخ تردد در این رژیم معمولا کمتر از بیشینه نرخ ترددی است که قبل از ایجاد گره ترافیکی مشاهده می‌شود. همچنین، سرعت کمتر از سرعت متناظر با ظرفیت است.

3-رژیم فوق اشباع[4]: جریان ترافیکی را بیان می‌کند که تحت تأثیر گره ترافیکی پایین‌دست قرار دارد. در این رژیم، صفی از وسایل نقلیه تشکیل می‌شود که با سرعت کم حرکت می‌کنند. نرخ‌های تردد جریان‌های ترافیکی مربوط به این رژیم در بازه وسیعی تغییر می‌کنند.

در شکل 2-4، نمودار سرعت- تردد رژیم‌های سه‌گانه مذکور نشان داده‌شده‌است. در ارتباط با این شکل نکات زیر قابل طرح هستند:

1-برای دامنه وسیعی از تردد، تغییرات سرعت بسیار کم است. به گونه‌ای که با افزایش میزان تردد، سرعت ثابت باقی می‌ماند.

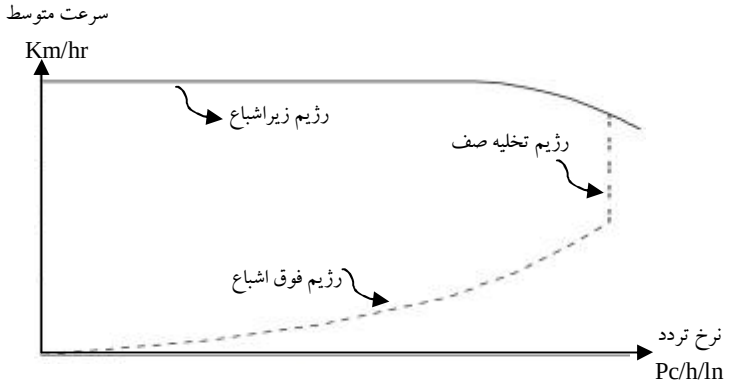
2-نقطه شکست منحنی که در آن سرعت شروع به کاهش می‌نماید، نقطه‌ای در حدود دو سوم یا سه‌چهارم تردد ماکزیمم می‌باشد.

---

[1] Under-saturated Regime
[2] Queue discharge Regime
[3] Bottleneck
[4] Over-saturated Regime

3-در حالتی که صف وجود ندارد، سرعت در تردد ماکزیمم تنها در حدود 10 تا 15 کیلومتربرساعت کمتر از سرعت در شرایط تردد آزاد میباشد.

4-رفتار جریان ترافیک در رژیم تخلیه صف، به صورت خطی نمایش داده می‌شود[3].



شکل 2-4- نمودار سرعت- تردد مربوط به رژیم‌های مختلف جریان ترافیک

در ارتباط با رژیم تخلیه صف، نکته قابل توجه این است که در یک مقدار از نرخ تردد، مقادیر متفاوتی از سرعت در زمان‌های مختلف مشاهده می‌شود. به همین دلیل در این مواقع، تصمیم‌گیری و اعمال سیاست برای تصمیم‌گیرندگان شبکه معمولاً مشکل است[10].

برخی محققین، رژیمهای جریان ترافیک را به گونه‌ای متفاوت از آنچه ذکر شد، بیان نموده‌اند. به عنوان مثال، اکسلیک (2003)، جریان‌های ترافیکی تحت شرایط غیرمنقطع را در سه رژیم تقسیم‌بندی می‌کند[11]:

1-رژیم زیراشباع : که در آن، نرخ تردد کمتر از ظرفیت و سرعت بیشتر از سرعت متناظر با ظرفیت است.

2-رژیم اشباع : که در آن نرخ تردد کمتر از ظرفیت و سرعت کمتر از سرعت متناظر با ظرفیت است.

3-رژیم فوق اشباع : که در آن نرخ تردد بیشتر از ظرفیت و سرعت کمتر از سرعت متناظر با ظرفیت است.

در شکل 2-5، نمودار سرعت- تردد اکسلیک، تحت شرایط تردد غیرمنقطع نشان داده‌شده‌است. ملاحظه می‌گردد که رژیم فوق اشباع در نمودار اکسلیک، دارای ترددی بیش از مقدار ظرفیت می‌باشد. در حالیکه هیچیک از رژیم‌های ترافیکی ارائه‌شده توسط راهنمای ظرفیت راهها واجد چنین خصوصیتی نمی‌باشند.