

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران
گروه مهندسی راه و ترابری

تعیین ضریب همسنگ سواری برای شبکه معابر درون شهری برای حالت‌های جریان زیراشباع،
اشباع و فوق اشباع

دانشجو: عمادالدین خرازیان

اساتید راهنما

دکتر ایمان آقایان
دکتر عبدالاحد چوپانی

استاد مشاور

مهندس عباس محمدی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

خرداد ۱۳۹۸

شماره ۹۸۳۳۴
تاریخ ۰۸/۰۳/۹۸

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورت جلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای عمادالدین خرازیان با شماره دانشجویی ۹۵۰۵۳۸۴ رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری تحت تمهید تشریح همسنگ سواری برای شبکه معابر مرون شهری برای حالت های جریان زیر اشباع- اشباع و فوق اشباع که در تاریخ ۰۸/۳/۹۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> قبول (با درجه تحصیلی) <input type="checkbox"/> مردود <input type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مراتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر ایمان آقایی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر عبدالامدجوایی	استادیار	
۳- استاد مشاور	مهندس عباس محمدی	مدرس	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی عجمی	استادیار	
۵- استاد منتحن اول	دکتر حسین قاسم زاده طهرانی	استادیار	
۶- استاد منتحن دوم	دکتر سیده علی حسینی	استادیار	

نام و نام خانوادگی: رئیس دانشکده و مدیر گروه کارشناسی ارشد
 تاریخ و امضاء و مهر: مدیر گروه تحصیلات تکمیلی

تصویر در صورتی که کس بر روی تصویر ضمیمه شده در این فرم امضاء کرده باشد، اعتبار ندارد و باید مجدداً تهیه شود. (در صورت لزوم)

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

ماصل آموخته ایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مرا آسانی‌شان، آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین نگه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به زیباترین محله‌زندگیم، محله‌پر مهر مادرم

که هر چه آموختم در کتب عشق‌شما آموختم و هر چه بگوختم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را پاس توانم بگویم. امروز، بستیم به امید شماست و

فردا کلید باغ به‌بستم رضای شما.

کران سنگ ترازین ارزان را گذاشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم غبار کوزه‌حسنگیتان را بزداید.

تقدیم به اساتید بزرگوارم

پاس خدای را که سخنران در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گردن نتوانند. سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم‌آنان که وجودمان وام‌دار وجودشان است و نفرین پیوسته بردشمنان ایشان تا روز تسخیر... .

بدون شک جایگاه و منزلت معلم اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبی او، با زبان قاصر و دست ناتوان چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از مقام معلم پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند تضمین، بر حسب وظیفه و به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است. شکر کنم از زحمات اساتید فرزانه خود در این پروژه، دکتر ایمان آقاییان و دکتر عبدالاحد چوپانی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را باران‌هایی‌های کارساز و سازنده خود بارور ساختند.

تهیه‌نامه

این جانب **عمادالدین خرازیان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران (راه و ترابری) دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه «**تعیین ضرایب همسنگ سواری برای جریان‌های زیر اشباع، اشباع و فوق اشباع**» تحت راهنمایی **دکتر ایمان آقاییان و دکتر عبدالاحد چوپانی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

حکیده

افزایش روزافزون نرخ تقاضای سفرهای درون شهری و همچنین افزایش وسایل نقلیه به لحاظ کمی در کلان شهرها، سبب ایجاد ازدحام و ایجاد صف‌های طولانی، بالا رفتن زمان سفر و همچنین بالا رفتن سطح سرویس ترافیکی تقاطعات چراغ‌دار گردیده است. همین مسئله سبب شده تا مدیران شهری در زمینه کنترل ترافیک، ظرفیت تقاطعات چراغ‌دار را تا رسیدن به سطح سرویس مطلوب افزایش دهند. همچنین از آنجا که ظرفیت راه‌ها و تقاطعات برحسب یک نوع خودروی خاص (معمولاً سواری) بیان می‌شود بایستی جریان مختلط (شامل انواع وسایل نقلیه مانند کامیون، مینی‌بوس، تریلی موتورسیکلت و ...) به جریان همگن تبدیل گردد و این کار با استفاده از ضرایب همسنگ سواری امکان‌پذیر هست. در این پژوهش هدف اصلی محاسبه و بررسی تغییرات ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری با تغییر رژیم جریان از زیر اشباع به فوق اشباع در تقاطعات چراغ‌دار شهر مشهد، ایران می‌باشد، همچنین هدف دیگر این پژوهش بررسی اثر سه پارامتر حجم عبوری از تقاطع، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و نسبت سبز موثر (g/C) بر روی مقدار پارامتر ضریب همسنگ سواری می‌باشد. از این رو ضریب همسنگ سواری برای تقاطعات نمونه (۳ تقاطع فوق اشباع و ۴ تقاطع زیر اشباع) بر مبنای پارامتر تأخیر و با استفاده از داده‌های میدانی برداشت شده به صورت محاسبات دستی تعیین شده و مقادیر عددی ضریب همسنگ دو رژیم فوق اشباع و زیر اشباع مقایسه گردیده است. لازم به ذکر است رابطه مورد استفاده جهت تعیین مقدار عددی پارامتر تأخیر عبارت است از رابطه پیشنهادی نصیری و رابطه پیشنهادی HCM2010. همچنین تقاطعات چراغ‌دار نمونه و داده‌های میدانی برداشت شده از آن‌ها در نرم افزار Synchro پیاده‌سازی شده و نتایج نرم افزاری با نتایج محاسبات دستی مورد مقایسه قرار گرفته است. در ادامه با استفاده از نرم افزار سینکرو ضریب همسنگ سواری به ازای مقادیر مختلف حجم اتوبوس (۲٪ و ۵٪ و ۸٪ و ۱۰٪) و زمان سبز موثر (۰٫۳۵، ۰٫۳۰، ۰٫۲۵، ۰٫۲۰ و ۰٫۱۵) محاسبه گردیده و در انتها مدل ریاضی جهت تخمین ضریب همسنگ سواری بر اساس ۳ پارامتر درصد اتوبوس عبوری از تقاطع، حجم ترافیک عبوری از تقاطع و پارامتر g/C ارائه شده است. در انتها پس از تعیین ضریب همسنگ به ازای مقادیر مختلف حجم و درصد اتوبوس، فاکتور کاهش ظرفیت تقاطع با استفاده از مقادیر پیشنهادی ضریب همسنگ در این پژوهش محاسبه گردیده و با فاکتور کاهش مورد استفاده در آیین نامه HCM2010 مقایسه گردیده است.

کلید واژه: ضریب همسنگ سواری، اتوبوس‌های درون شهری، رژیم زیر اشباع و فوق اشباع، مدل ریاضی، تخمین ضریب همسنگ سواری

فهرست مطالب

۱	فصل ۱ : مقدمه	۱
۲	۱-۱ مقدمه	۱-۱
۴	ضرورت انجام تحقیق	۴
۵	۲-۱ فرضیات تحقیق	۵
۵	۳-۱ محدودیت‌های تحقیق	۵
۶	۴-۱ اهداف تحقیق	۶
۹	فصل ۲ : مبانی نظری و پیشینه تحقیق	۹
۱۰	۲-۱ مقدمه	۱۰
۱۰	۱-۱-۲ روش سرفاصله زمانی	۱۰
۱۱	۲-۱-۲ روش مولینا	۱۱
۱۳	۳-۱-۲ روش وبستر	۱۳
۱۳	۴-۱-۲ روش آیین نامه ظرفیت راهها و بزرگراههای آمریکا	۱۳
۱۴	۵-۱-۲ روش رگرسیون	۱۴
۱۵	۶-۱-۲ روش مبتنی بر پارامتر تأخیر (D-PCE)	۱۵
۱۷	۷-۱-۲ روش بهینه سازی (OT):	۱۷
۱۸	۸-۱-۲ روش نرخ تخلیه صف (QCR):	۱۸
۲۰	۹-۱-۲ روش سبقت	۲۰
۲۱	۱۰-۱-۲ روش هابر	۲۱
۲۲	۱۱-۱-۲ روش اختلاف سرعت	۲۲
۲۳	۱۲-۱-۲ روش افندیزاده و همکاران	۲۳
۲۵	۲-۲ جمع بندی و نتیجه گیری	۲۵
۳۱	فصل ۳ : روش تحقیق	۳۱
۳۲	۱-۳ مقدمه	۳۲
۳۲	۲-۳ ملاک‌های انتخاب تقاطع ایده‌آل	۳۲
۳۴	۳-۳ معرفی تقاطعات آماربرداری شده:	۳۴
۳۶	۴-۳ مروری بر مفاهیم تأخیر در تقاطعات چراغدار	۳۶
۳۶	۱-۴-۳ تأخیر در تقاطعات چراغدار	۳۶
۳۷	۲-۴-۳ انواع تأخیر در تقاطعات چراغدار	۳۷
۳۹	۵-۳ مفاهیم اولیه در روش D-PCE	۳۹
۴۰	۱-۵-۳ اساس روش D-PCE	۴۰
۴۱	۲-۵-۳ شرح یک مثال عددی جهت درک بهتر روش تأخیر (D-PCE)	۴۱
۴۳	۳-۵-۳ مروری بر مدل‌های محاسبه پارامتر d_0	۴۳
۴۳	۱-۳-۵-۳ مدل وبستر (پارامتر تأخیر یکنواخت)	۴۳
۴۵	۲-۳-۵-۳ مدل آیین نامه ظرفیت راه کانادا ۱۹۹۵ (تأخیر تصادفی)	۴۵
۴۶	۳-۳-۵-۳ مدل آیین نامه استرالیا (۱۹۸۰)	۴۶

۴۹	۴-۵-۳ مدل برآورد پارامتر تأخیر اضافی (Δd)
۵۱	فصل ۴: تحلیل نتایج
۵۲	۴-۱ محاسبه ضریب همسنگ بر مبنای پارامتر تأخیر
۵۳	۴-۱-۱ محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین پارامتر تأخیر پایه
۵۴	۴-۱-۱-۱ سر فاصله زمانی وسایل نقلیه در جریان پایه
۵۶	۴-۱-۱-۲ محاسبه ظرفیت تقاطعات آماربرداری شده و درجه اشباع
۵۷	۴-۱-۲ محاسبه درجه اشباع تقاطعات آماربرداری شده
۵۷	۴-۲ محاسبه پارامتر تأخیر جریان پایه
۵۸	۴-۳ تعیین پارامتر تأخیر اضافی (ΔD)
۶۰	۴-۴ تعیین مقادیر عددی ضریب همسنگ سواری با استفاده از دو پارامتر ΔD و D_0 (محاسبات دستی)
۶۲	۴-۴-۱ بررسی ارتباط ضریب همسنگ سواری با دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف
۶۳	۴-۵ محاسبه ضریب همسنگ تقاطعات آماربرداری شده با استفاده از خروجی پارامتر تاخیر نرم افزار سینکرو (محاسبات نرم افزاری)
۶۵	۴-۶ مقایسه ضریب همسنگ سواری در محاسبات نرم افزاری و محاسبات غیر نرم افزاری
۶۶	۴-۷ تعیین ضریب همسنگ تقاطعات به ازای درصدهای بالاتر اتوبوس و حجم عبوری
۶۷	۴-۷-۱ بررسی سناریوهای اصلی به کار گرفته شده در شبیهسازی تقاطعات
	۴-۷-۲ تعیین مقادیر عددی ضرایب همسنگ سواری با استفاده از خروجی نرم افزار (پارامتر D_t, D_0) و همچنین تحلیل روند تغییرات آن با تغییر در ۳ عامل حجم عبوری و درصد اتوبوس و پارامتر g/C
۷۰	۴-۸ ارائه مدل ریاضی جهت تعیین ضریب همسنگ سواری بر مبنای خروجیهای نرم افزار
۷۱	۴-۸-۱ ارائه مدل پیشنهادی بر اساس دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع
	۴-۸-۲ ارائه مدل پیشنهادی بر اساس ۳ پارامتر حجم عبوری از تقاطع، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و پارامتر g/C
۷۴	۴-۹ مروری بر مفهوم پارامتر فاکتور کاهش ظرفیت تقاطع (FHV)
۷۵	۴-۹-۱ مقایسه ضریب تعدیل اتوبوسهای درون شهری، محاسبه شده با استفاده از مقادیر ضریب همسنگ HCM2010 و مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی در این پژوهش
۷۶	
۸۱	فصل ۵: نتیجه گیری
۸۲	۵-۱ خلاصه تحقیق
۸۵	۵-۲ پیشنهاد جهت مطالعات آینده
۸۷	پیوست ۱
۱۱۰	مراجع

فهرست جداول

جدول ۱-۲	داده‌های سرفاصله اشباع در جریان پایه و جریان مختلط بر حسب موقعیت هر وسیله در صف.....
جدول ۲-۲	روشهای تعیین ضریب همسنگ سواری
جدول ۱-۳	داده‌های برداشت شده از تقاطعات منتخب
جدول ۱-۴	سرفاصله وسایل نقلیه بر اساس موقعیت آنها در صف (جریان فوق اشباع).....
جدول ۲-۴	سرفاصله وسایل نقلیه بر اساس موقعیت آنها در صف (جریان زیر اشباع).....
جدول ۳-۴	درجه اشباع تقاطعات آماربرداری شده
جدول ۴-۴	محاسبه تأخیر پایه تقاطعات بر اساس دو رابطه HCM2010 و نصیری
جدول ۵-۴	تأخیر اضافی (Δd) ایجاد شده توسط اتوبوس در وسایل نقلیه موجود در صف
جدول ۶-۴	مقادیر ضریب همسنگ سواری با استفاده از دو روش محاسبه تأخیر پایه (d_0)
جدول ۷-۴	مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی با استفاده از خروجیهای نرم افزار
جدول ۸-۴	مقایسه مقادیر ضریب همسنگ در محاسبات نرم افزاری و غیر نرم افزاری
جدول ۹-۴	سناریوهای اصلی پیاده سازی شده در نرم افزار سینکرو
جدول ۱۰-۴	ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجیهای نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c=0.25$).....
جدول ۱۱-۴	ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجیهای نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c=0.3$).....
جدول ۱۲-۴	ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجیهای نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c=0.35$).....
جدول ۱۳-۴	ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجیهای نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c=0.4$).....
جدول ۱۴-۴	مدلهای ریاضی برازش شده جهت تعیین ضریب همسنگ سواری با استفاده دو پارامتر حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع
جدول ۱۵-۴	مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس.....
جدول ۱۶-۴	مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس ($g/C=0.30$).....
جدول ۱۷-۴	مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس ($g/C=0.35$).....
جدول ۱۸-۴	مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس ($g/c=0.4$).....
جدول ۱۹-۴	مدلهای ریاضی برازش شده جهت تعیین ضریب همسنگ سواری با استفاده دو پارامتر حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع
جدول ۲۰-۴	مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس.....
جدول پ ۱	مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع کامیاب عبادی - فوق اشباع- نصیری).....
جدول پ ۲	مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - فوق اشباع- نصیری).....
جدول پ ۳	مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - فوق اشباع- نصیری).....

- جدول پ ۴. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع خیام- سجاد- فوق اشباع - نصیری) ۹۲
- جدول پ ۵. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع شاهد امامیه - زیر اشباع- نصیری) ۹۳
- جدول پ ۶. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع دانشجو-معلم - زیر اشباع- نصیری) ۹۴
- جدول پ ۷. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - زیر اشباع- نصیری) ۹۵
- جدول پ ۹. ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع کامیاب عبادی - رژیم فوق اشباع- HCM) ۹۹
- جدول پ ۱۰. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - رژیم فوق اشباع- HCM) ۱۰۰
- جدول پ ۱۱. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری - کوشش - رژیم فوق اشباع- HCM) ۱۰۱
- جدول پ ۱۲. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع شاهد امامیه - رژیم زیر اشباع- HCM) ۱۰۳
- جدول پ ۱۳. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع خیام سجاد - رژیم زیر اشباع- HCM) ۱۰۴
- جدول پ ۱۴. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - رژیم زیر اشباع- HCM) ۱۰۵
- جدول پ ۱۵. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع دانشجو - معلم رژیم زیر اشباع- HCM) ۱۰۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲. ناحیه تداخلی تقاطع [۱۶]..... ۱۹
- شکل ۲-۲. نمودار فرض برابری سطح سرویس در دو جریان پایه و مختلط [۱۸]..... ۲۱
- شکل ۳-۲. ضریب همسنگ سواری در شرایط هموار و تپه ماهور [۱۷]..... ۲۳
- شکل ۱-۳. تقاطع خیام سجاد..... ۳۵
- شکل ۲-۳. تقاطع عبادی کامیاب..... ۳۵
- شکل ۳-۳. تقاطع جمهوری کوشش..... ۳۵
- شکل ۴-۳. تقاطع دانشجو معلم..... ۳۶
- شکل ۵-۳. تقاطع شاهد امامیه..... ۳۶
- شکل ۶-۳. نمودار تأخیر در تقاطعات چراغدار [۲۴]..... ۳۷
- شکل ۷-۳..... ۳۹
- شکل ۸-۳. نمودار تشکیل و تخلیه صف [۱۰]..... ۴۲
- شکل ۹-۳. نمودار تأخیر وسایل نقلیه در صف..... ۴۳
- شکل ۱-۴. فلوچارت روند انجام محاسبات نرم افزاری و غیر نرم افزاری..... ۵۳
- شکل ۲-۴. نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آنها در صف..... ۵۵
- شکل ۳-۴. نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آنها در صف..... ۵۵
- شکل ۴-۴. نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آنها در صف..... ۵۵
- شکل ۵-۴. نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آنها در صف (کامیاب-عبادی فوق اشباع)..... ۵۶
- شکل ۶-۴. پارامتر ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری به ازای موقعیتهای گوناگون اتوبوس در صف (تقاطع فوق اشباع)..... ۶۳
- شکل ۷-۴. پارامتر ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری به ازای موقعیتهای گوناگون اتوبوس در صف (تقاطع زیر اشباع)..... ۶۳
- شکل ۸-۴. دیاگرام ضریب همسنگ به ازای مقادیر گوناگون حجم عبوری از تقاطع..... ۷۰
- شکل ۹-۴. مقایسه فاکتور کاهش طرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.25$ ۷۸
- شکل ۱۰-۴. مقایسه فاکتور کاهش طرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.3$ ۷۸
- شکل ۱۱-۴. مقایسه فاکتور کاهش طرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.35$ ۷۹
- شکل ۱۲-۴. مقایسه فاکتور کاهش طرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.4$ ۷۹

فصل ۱ : مقدمه

۱-۱ مقدمه

وسایل نقلیه سنگین به وسایلی با بیش از چهار چرخ و با خصوصیات متفاوت از سواری‌ها اطلاق می‌گردد [۱]. نسبت این وسایل در حدود ۲ تا ۲۵ درصد (برحسب موقعیت تقاطع و نوع وسایل نقلیه) متغیر بوده، ولی به دلیل خصوصیات فیزیکی و عملکردی^۱ خاص خود، سبب شده اثری متفاوت از سایر وسایل نقلیه (سبک) داشته باشند و همین سبب شده که علیرغم نسبت کم آن‌ها به حجم کل ترافیک، به‌طور جدی مورد بحث و بررسی قرار گیرند. همچنین این وسایل (وسایل نقلیه سنگین) در هنگام تغییر باند به علت کاهش فاصله دید رانندگان مجاور از نظر روانی نیز اثر نامطلوبی بر عملکرد آن‌ها بر جای می‌گذارند. جریان ترافیک، ترکیبی است از انواع وسایل نقلیه که هر یک دارای مشخصات فیزیکی و عملکردی خاص می‌باشند. حضور درصدی از وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک، باعث ایجاد تأثیراتی متفاوت نسبت به زمانی خواهد بود که جریان تنها از خودروی سواری تشکیل شده باشد.

مفهوم همسنگ سواری عبارت است از تعداد وسایل نقلیه سواری که می‌توان در جریان ترافیک با یک وسیله نقلیه سنگین جایگزین کرد، بدون اینکه تغییری در سایر پارامترهای عملکردی جریان، ایجاد گردد. ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه، این امکان را مهیا می‌نماید تا جریان ترافیک مختلط، به جریان معادل خودروی سواری واحد تبدیل گردد. به عبارتی به دلیل اینکه در مطالعات حمل‌ونقلی امکان در نظرگیری اثرات ترافیکی همه انواع وسایل نقلیه به‌طور هم‌زمان وجود ندارد، جهت سادگی و اجرایی گشتن این امر می‌توان تفاوت اثرات این وسایل را با یک وسیله نقلیه مرجع (معمولاً سواری) شبیه‌سازی نموده و در تحلیل‌ها معادل آن را (PCE) برحسب وسیله نقلیه مرجع به کار گرفت.

در این پژوهش هدف تعیین ضریب همسنگ اتوبوس‌های درون شهری (وسیله نقلیه سنگین) در تقاطعات چراغ‌دار^۲ درون شهری در دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع می‌باشد. هنگامی که حجم رویکردهای یک

^۱ Dimensional and operational properties

^۲ Signalized intersection

تقاطع چراغ‌دار افزایش می‌یابد و از ظرفیت^۱ آن تجاوز می‌کند، در ورودی‌های آن تقاطع به تدریج صف تشکیل می‌شود و این شرایط تا زمانی که تقاضای وسیله نقلیه برای عبور در رویکردهای تقاطع کاهش پیدا نکند، ادامه خواهد داشت. در این صورت به تقاطع در چنین شرایطی فوق اشباع گویند [۲].

به طور کلی تعیین ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در تقاطعات با مقایسه تغییرات یک پارامتر عملکردی در جریان پایه (جریان شامل تنها خودروی سواری) و جریان مختلط (جریان شامل خودروی سواری و وسیله نقلیه سنگین) صورت می‌گیرد. به عنوان مثال در اکثر مطالعات انجام شده با مقایسه تغییرات نرخ جریان اشباع در دو جریان پایه و مختلط ضریب همسنگ سواری را تعیین نموده اند؛ این در حالی است که تغییرات سایر پارامترهای عملکردی (تاخیر به ازای هر وسیله، طول صف) در دو جریان پایه و جریان مختلط کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین در پژوهش‌های انجام شده تاکنون جهت تعیین ضریب همسنگ وسایل نقلیه سنگین به خصوص در جریان‌های فوق اشباع، اثر وسیله نقلیه سنگین روی جریان ترافیک به هنگام خروج از تقاطع مورد بررسی قرار می‌گیرد، این در حالی است که در این پژوهش اثر وسیله نقلیه سنگین (اتوبوس درون شهری) از لحظه ورود به صف تا لحظه خروج از صف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این پژوهش با استفاده از روش ابداعی توسط بن کوهال و همکارانش در سال ۲۰۰۰ (روش تاخیر) بر مبنای تغییرات تاخیر به ازای هر وسیله نقلیه در جریان پایه و جریان مختلط، ضریب همسنگ برای جریان زیر اشباع و فوق اشباع تقاطعات محاسبه گردیده است. لازم به ذکر است روش مذکور تاکنون جهت تعیین ضریب همسنگ در تقاطعات فوق اشباع به کار گرفته نشده است. همچنین پس از تعیین ضریب همسنگ تقاطعات با استفاده از داده‌های میدانی، ضریب همسنگ به ازای حجم‌های ورودی و درصدهای اتوبوس عبوری مختلف محاسبه گردیده، سپس مدل ریاضی جهت تخمین پارامتر ضریب همسنگ سواری بر پایه سه پارامتر حجم ورودی، درصد اتوبوس عبوری و پارامتر g/C ارائه شده است.

^۱ capacity

ضرورت انجام تحقیق

برآورد ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری در تقاطعات چراغ‌دار می‌تواند تأثیر بسزایی در تعیین ظرفیت دقیق تقاطعات و در نتیجه آن طراحی تقاطعات متناسب با حجم ترافیک عبوری داشته باشد. علل مهم جهت انجام این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- ضریب همسنگ وسایل نقلیه سنگین همواره عدد ثابتی نبوده و همواره طی دوره‌های زمانی متفاوت دستخوش تغییراتی هرچند اندک می‌باشد؛ این علل می‌تواند ناشی از فرسوده شدن ناوگان اتوبوس‌رانی و یا بالعکس نوسازی آن، تغییر رفتار رانندگان و ... باشد.

۲- ضریب همسنگ سواری در برخی آیین‌نامه مانند آیین‌نامه (HCM(1985,1994,2000,2010 همواره به صورت یک عدد ثابت بدون وابستگی به پارامترهای اساسی ترافیکی (حجم عبوری، درصد اتوبوس عبوری، نسبت سبز موثر) تقاطعات پیشنهاد گردیده است. همچنین در برخی فصلنامه‌های ترافیکی همانند فصلنامه ترافیکی سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد نیز ضریب همسنگ اتوبوس‌های درون شهری چه در جریان‌های پیوسته (آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها) و چه در جریان‌های منقطع (تقاطعات) همواره یک عدد ثابت بدون وابستگی به پارامترهای اساسی ترافیکی تقاطعات پیشنهاد گردیده است. در صورتی که بر اساس پژوهش‌های انجام شده تاکنون، ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در جریان‌های پیوسته و منقطع یکسان نمی‌باشد.

۳- در آیین‌نامه [۳] HCM1985 ضریب همسنگ سواری انواع وسایل نقلیه سنگین (اتوبوس، کامیون سبک، کامیونت، کامیون سنگین) عدد ثابت ۱,۵ پیشنهاد شده است. همچنین مقدار این پارامتر در آیین‌نامه [۱] HCM2000 و نیز [۴] HCM2010 به عدد ثابت ۲ افزایش یافته است؛ این در حالی است که ضریب همسنگ وسایل نقلیه سنگین چه از لحاظ قدرت شتاب‌گیری و چه به لحاظ رفتار رانندگی هر نوع وسیله نقلیه سنگین یکسان نمی‌باشد.

در پژوهش پیش رو ضریب همسنگ اتوبوس‌های درون شهری به ازای دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع و با توجه به شرایط کنونی ناوگان اتوبوس‌رانی و نیز رفتار کنونی رانندگان محاسبه شده است، همچنین

پارامترهای اثر گذار بر مقدار عددی ضریب همسنگ سواری تقاطعات شناسایی شده و در پایان یک مدل بر اساس این پارامترهای موثر ارائه شده است.

۲-۱ فرضیات تحقیق

در این بخش می‌خواهیم به فرضیات اساسی جهت انجام پژوهش اشاره نماییم. به‌طور کلی وسایل نقلیه درون شهری به سه دسته اساسی وسایل نقلیه سواری سبک (سواری و وانت)، وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی (کامیون دو و سه محور، اتوبوس و مینی‌بوس) و وسایل سنگین دو قسمتی (کامیون شامل تریلر و کشنده) تقسیم بندی می‌شوند. وسیله نقلیه مورد نظر جهت تعیین ضریب همسنگ سواری در این پژوهش عبارت است از اتوبوس‌های درون شهری. همچنین از آنجا که در این پژوهش هدف تعیین ضریب همسنگ سواری برای دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع می‌باشد، ملاک زیر اشباع و فوق اشباع بودن تقاطعات بر مبنای تعریف موجود در آیین نامه HCM2010 می‌باشد. همچنین از آنجا که تقاطعات مورد نظر تقاطعاتی با شیب طولی صفر (نزدیک به صفر) می‌باشند، اثر شیب در مقدار پارامتر ضریب همسنگ ناچیز فرض می‌شود. در تقاطعات آماربرداری شده رویکردها به صورت مستقل و جدا از هم آزاد می‌شوند (Split). در ادامه ذکر این نکته ضروری است که در هر کدام از تقاطعات ضریب همسنگ اتوبوس‌های درون شهری تنها برای یک رویکرد از ۴ رویکرد موجود تعیین می‌گردد.

۳-۱ محدودیت‌های تحقیق

از آنجا که در این پژوهش جهت تعیین ضریب همسنگ سواری نیازمند پارامتر سرفاصله زمانی وسایل نقلیه در پشت تقاطع می‌باشیم، از این رو هنگام برداشت میدانی تقاطعات، به علت عدم دید و ارتفاع مناسب، جمع‌آوری این داده با مشکل مواجه می‌شد، از این رو جهت جمع‌آوری این پارامتر با استفاده از دوربین‌های نصب شده در تقاطعات با همکاری مرکز کنترل ترافیک صورت گرفت. بدین ترتیب دوربین نصب شده در تقاطع به مدت دو ساعت بر روی رویکرد مورد نظر قرار می‌گرفت که البته در تقاطعات

فوق اشباع این موضوع با اختلال مواجه می‌شد، چرا که دوربین‌های نصب شده در اختیار چندین سازمان دیگر نیز قرار گرفته شده‌اند. همچنین فیلم‌های برداشت شده از تقاطعات قابل انتقال به خارج از مرکز کنترل نبوده و برداشت داده‌ها صرفاً درون سازمان صورت می‌گرفت.

۱-۴ اهداف تحقیق

در این بخش اهداف تحقیق در بندهای زیر خلاصه شده است که عبارت‌اند از:

- ۱- آمارگیری از تقاطعات درون شهری (۳ تقاطع زیر اشباع و ۴ تقاطع فوق اشباع) به‌منظور تعیین ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری در تقاطعات چراغ‌دار در دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع
- ۲- تعیین ضریب همسنگ سواری برای تقاطعات انتخاب شده بر اساس روش مبتنی بر پارامتر تأخیر (Delay) به‌صورت محاسبات غیر نرم افزاری
- ۳- برآورد مقدار PCE برای تقاطعات آماربرداری شده با استفاده از خروجی‌های نرم افزار سینکرو (پارامترتاخیر)
- ۴- برآورد ضریب همسنگ سواری به ازای مقادیر مختلف حجم عبوری و همچنین درصد اتوبوس عبوری از تقاطعات و بسط نتایج به سایر شرایط
- ۵- تحلیل روند تغییرات PCE بر اساس پارامترهای مؤثر بر آن (حجم جریان، درصد وسایل نقلیه سنگین، نسبت سبز موثر)
- ۶- ارائه مدل ریاضی جهت برآورد PCE به‌صورت تابعی از متغیرهای فرض شده در هر ورودی هر تقاطع (حجم ورودی به تقاطع، درصد اتوبوس عبوری، نسبت سبز موثر)
- ۷- محاسبه ضریب همسنگ تقاطعات بر اساس مدل‌های پیشنهادی
- ۸- در بخش پایانی جداول مربوطه به ضریب همسنگ سواری متناسب با شرایط شهر مشهد- ایران به‌عنوان خروجی کار عنوان می‌گردد.

۹- مقایسه مقادیر به دست آمده در این پژوهش با نتایج ضریب همسنگ سواری پیشنهادی

اتوبوس در فصل نامه ترافیکی شهر مشهد

فصل ۲ : مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۱-۲ مقدمه

اصطلاح ضریب همسنگ سواری نخستین بار توسط آیین نامه HCM1965 ارائه شد. طبق این تعریف ضریب همسنگ سواری به تعداد وسیله سواری که می‌توان با یک وسیله نقلیه سنگین جایگزین نمود، اطلاق می‌شود. از سال ۱۹۵۰ ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین به یکی از موضوعات مورد علاقه مهندسان ترافیک و حمل‌ونقل تبدیل شده است. از این رو روش‌های متفاوتی جهت تعیین این ضریب ارائه شده است. این روش‌ها به دو دسته تعیین ضرایب همسنگ برای جریان‌های آزاد (آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها) و تعیین ضریب همسنگ برای جریان‌های منقطع همچون تقاطعات تقسیم بندی می‌شوند. در ادامه مروری خواهیم داشت بر روش‌های تعیین ضریب همسنگ سواری تقاطعات و جریان‌های آزاد.

۱-۱-۲ روش سرفاصله زمانی

این روش توسط گرین شیلدز^۱ در سال ۱۹۴۷ پیشنهاد شد. روش سرفاصله زمانی به‌عنوان یکی از روش‌های متداول برای محاسبه ضریب همسنگ سواری در تقاطعات چراغ‌دار ابداع گردید [۵]. رابطه ۱-۲ توسط گرین شیلدز جهت محاسبه PCE ارائه شده است:

$$PCE = \frac{h_t}{h_c} \quad (1-2)$$

در رابطه ۱-۲ h_t متوسط سرفاصله زمانی وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک و h_c متوسط سرفاصله زمانی وسایل سواری در جریان ترافیک می‌باشد. این روش علیرغم سادگی در استفاده از رابطه و عدم نیاز به جمع‌آوری داده‌های گوناگون برای تعیین ضریب همسنگ، ایراداتی نیز دارد که از جمله این ایرادات می‌توان عدم تعیین ضریب همسنگ برای دو وسیله نقلیه به‌طور هم‌زمان اشاره کرد. همچنین اثر تغییر موقعیت وسیله نقلیه سنگین در صف در میزان تغییرات پارامتر PCE محسوس نمی‌باشد [۶].

^۱ Greenshields

۲-۱-۲ روش مولینا^۱

پس از مدل ارائه شده توسط گرین شیلدز، مولینا در سال ۱۹۸۷ مدلی مطابق رابطه ۲-۲ بر مبنای روش سرفاصله ارائه داد [۷]:

$$PCE = 1 + \frac{TT_t - TT_c}{h_c} \quad (۲-۲)$$

در رابطه ۲-۲ TT_t زمان تخلیه صف شامل وسیله نقلیه سنگین، TT_c زمان تخلیه صف شامل تنها خودروی سواری و h_c سرفاصله وسیله نقلیه سواری در جریان اشباع می‌باشد. مولینا مقادیر عددی ضریب همسنگ را برای حرکات مستقیم وسایل نقلیه در تقاطعات چراغ‌دار برای دو نوع وسیله نقلیه شامل کامیون سنگین و کامیون سبک به ترتیب ۳٫۷ و ۱٫۷ تعیین نمود. اگر چه در این روش به نظر می‌رسد تغییر در موقعیت وسایل نقلیه سنگین بر روی ضریب همسنگ تأثیر می‌گذارد، با این وجود مولینا به این نتیجه رسید که تغییر در موقعیت کامیون‌های دو و یا سه محور در صف، تأثیر چندانی بر روی مقدار ضریب همسنگ سواری نخواهد داشت. مدل مولینا اگرچه تکمیل شده مدل سرفاصله زمانی می‌باشد و دیگر اینکه این مدل اثر موقعیت وسیله سنگین را بر روی ضریب همسنگ سواری لحاظ می‌کند، اما با این وجود این مدل تنها اثرات سرفاصله اضافی وسایل نقلیه سواری ناشی از حضور کامیون را در صف بررسی می‌کند و اثرات تأخیر اضافی ناشی از حضور وسیله نقلیه سنگین در صف نادیده گرفته می‌شود. در ادامه مثالی از روش مولینا ارائه گردیده است. فرض می‌کنیم دو جریان پایه و مختلط هر کدام شامل ۱۰ وسیله نقلیه در حال عبور از خط توقف و تخلیه تقاطع می‌باشد، سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه در جریان پایه و جریان مختلط به تفکیک موقعیت مطابق با جدول ۱-۲ می‌باشد.

^۱ Molina

جدول ۱-۲. داده‌های سرفاصله اشباع در جریان پایه و جریان مختلط بر حسب موقعیت هر وسیله در

صف

موقعیت وسیله در صف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	مجموع زمان تخلیه صف
سرفاصله جریان اشباع در جریان پایه	۲,۸۳	۲,۶۱	۲,۳۴	۲,۰۱	۱,۹۶	۱,۹۶	۱,۹۶	۱,۹۶	۱,۹۶	۱,۹۶	۲۱,۵۵
سرفاصله جریان اشباع در جریان مختلط	۶,۸۲ (وسيله نقلیه سنگین)	۲,۸۰	۲,۶۸	۲,۳۳	۲,۲۵	۲,۱۵	۱,۹۹	۱,۹۷	۱,۹۶	۱,۹۶	۲۶,۹۱

زمان تلف شده اولین وسیله نسبت به آخرین وسیله در جریان پایه برابر است با:

$$2.83 - 1.96 = 0.87$$

بنابراین زمان تلف شده در مورد اولین وسیله در جریان مختلط نیز صدق می‌کند و بنابراین خواهیم داشت:

$$6.82 - 0.87 = 5.95$$

حال با استفاده رابطه ۱-۲ خواهیم داشت:

$$PCE = \frac{h_t}{h_c} = \frac{5.9}{1.96} = 3.04$$

همچنین با استفاده از مدل مولینا نیز می‌توان به مقدار عددی ضریب همسنگ نیز دست یافت. بر اساس مدل مولینا مطابق جدول ۱-۲ زمان سفر ۱۰ وسیله در جریان پایه و جریان مختلط به ترتیب عبارت است از ۲۱,۵۵ و ۲۶,۹۱. بنابراین بر اساس رابطه شماره ۲-۲ خواهیم داشت:

$$PCE = 1 + \frac{TT_t - TT_c}{h_c} = 1 + \frac{26.91 - 21.55}{1.96} = 1 + \frac{5.36}{1.96} = 3.73$$

۳-۱-۲ روش وبستر^۱

وبستر در سال ۱۹۵۸ با انجام یک سری آمارگیری کنترل شده توانست مقدار PCE را محاسبه نماید [۸]. او وسایل نقلیه را به دو گروه سواری و باری^۲ تقسیم‌بندی نمود و با جمع آوری داده ها در ۱۲ سیکل متوالی چراغ راهنمایی (N=12)، متوسط وسایل باری خروجی $(\bar{n}_g(veh/cycle)) =$ را بر حسب متوسط وسایل سواری $(\bar{n}_l = \frac{\sum n_l}{N})$ از تقاطع در هر سیکل ترسیم نمود. در روابط ذکر شده $\sum n_g$ و $\sum n_l$ به ترتیب عبارت است از تعداد وسایل نقلیه سبک و سنگین در تمام سیکل‌های آماربرداری شده. همچنین وبستر با برازش خطی از میان این دو پارامتر (\bar{n}_l, \bar{n}_g) ، معکوس شیب خط مذکور را به عنوان ضریب همسنگ سواری (PCE) معرفی نمود. وبستر با استفاده از این مدل ضریب همسنگ وسایل نقلیه سنگین و باری متوسط را ۱,۷۵ و همچنین ضریب همسنگ اتوبوس را ۲,۲۵ پیشنهاد داد.

۴-۱-۲ روش آیین نامه ظرفیت راه‌ها و بزرگراه‌های آمریکا

در این روش وسایل نقلیه به دو نوع وسیله نقلیه سبک و سنگین (شامل تمام انواع وسایل نقلیه سنگین) دسته بندی می‌شود. همچنین در این روش جریان به دودسته مختلط (سبک و سنگین) و پایه (سبک) تقسیم‌بندی می‌شود و با داشتن نرخ جریان اشباع برای هر کدام از این دو حالت می‌توانیم به ضریب همسنگ وسیله نقلیه مورد نظر دست‌یافت. HCM1985 با استفاده از روش پیشنهادی مقادیر ضریب همسنگ برای هر سه وسیله اتوبوس، کامیون سبک و کامیون سنگین را ۱,۵ پیشنهاد داد. با استفاده از رابطه زیر می‌توان به مقدار ضریب همسنگ سواری هر تقاطع متناسب با نرخ جریان اشباع و فاکتور f_{hv} دست‌یافت.

^۱ Webster

^۲ Goods vehicles

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_H(PCE - 1)} \rightarrow PCE = 1 + \frac{1 - f_{hv}}{f_{hv} * P_H} \quad (3-2)$$

در رابطه ۳-۲ P_H درصد وسایل نقلیه سنگین، PCE ضریب همسنگ سواری برای وسیله نقلیه غیر سواری (سنگین)، f_{hv} فاکتور کاهش ظرفیت در جریان ترافیک می‌باشد. لازم به ذکر است که در رابطه فوق با در دست داشتن مقادیر P_H و f_{hv} می‌توان به مقدار ضریب همسنگ سواری دست یافت. همچنین مقدار پیشنهادی ضریب همسنگ سواری پیشنهاد شده در آیین نامه HCM1994 به مقدار ۲ افزایش یافته است. لازم به ذکر است مقدار پیشنهادی برای تمام شرایط ترافیکی (زیر اشباع، فوق اشباع و اشباع) ثابت بوده و با تغییر در مشخصات ترافیکی نظیر حجم و درصد وسیله نقلیه سنگین تغییر نمی‌کند.

۲-۱-۵ روش رگرسیون^۱

برانستون^۲ در سال ۱۹۷۸ برای محاسبه ضریب همسنگ سواری در تقاطع‌ها از رگرسیون خطی چندگانه استفاده کرد [۹]. در این روش تعداد و نوع وسایل خروجی در یک بازه زمانی T که در لحظه دلخواهی در زمان سبز شروع و در لحظه دلخواهی در این زمان پایان می‌یافت، ثبت شدند. بر اساس اینکه پایان T با خروج یک وسیله نقلیه مشخص می‌شود یا زمانی بین خروج دو وسیله پشت سر هم باشد، این روش به دو صورت هم‌زمان و غیرهم‌زمان تقسیم‌بندی می‌شود. پس از اتمام آمارگیری تعداد وسایل نقلیه از سایر گروه‌ها، برازش داده شده است و نهایتاً ضرایب B_0 و PCE_j تخمین زده شد.

$$n_1 = B_0 T - \sum n_j \times PCE_j \quad (4-2)$$

که در رابطه ۴-۲، B_0 نرخ جریان اشباع سواری ($Veh / hr / lane$) در واحد زمان و PCE_j معادل سواری وسیله نقلیه از نوع j و n_j تعداد وسایل نقلیه گروه j می‌باشد. در این روش ضریب همسنگ اتوبوس و کامیون به صورت هم‌زمان به ترتیب ۱،۷۹ و ۱،۷۴ و به صورت غیرهم‌زمان به ترتیب ۱،۶۱ و ۱،۵۹ تعیین

^۱ Regression

^۲ Branston

شد.

۲-۱-۶ روش مبتنی بر پارامتر تأخیر (D-PCE)

بن کوهال^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۹ روش را معرفی کردند که در آن تأخیر ایجاد شده توسط وسیله نقلیه سنگین در تمام وسایل نقلیه در پشت خط توقف تقاطع‌های چراغ دار را اساس تعیین ضریب همسنگ سواری در نظر می‌گرفت [۶, ۱۰]. آن‌ها همسنگ سواری حاصل از این روش را D-PCE یعنی ضریب همسنگ سواری بر پایه پارامتر تأخیر نامیدند [۱۰]. در این روش D-PCE به صورت نسبت تأخیر ایجاد شده توسط یک وسیله سنگین به تأخیر وسیله نقلیه سواری در جریان پایه تعریف می‌شود. این روش نخستین بار توسط بن کوهال جهت تعیین ضریب همسنگ سواری کامیون ابداع شد. در این روش ضریب همسنگ سواری توسط بن کوهال و همکارانش برای دو گروه کامیون‌های تک قسمتی^۳ و کامیون‌های دو قسمتی^۴ (کشنده و تریلر) در جریان زیر اشباع محاسبه گردید. مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی توسط بن کوهال و همکاران با استفاده از این روش از ۱,۰۷ شروع و با توجه به حجم ترافیک و نوع و درصد ترافیک کامیون تا مقدار عددی ۲,۱۸ ادامه دارد. رابطه ۲-۵ توسط بن کوهال و همکاران جهت تعیین ضریب همسنگ سواری ارائه شده است.

$$D - PCE = 1 + \frac{\Delta d}{d_0} \quad (۲-۵)$$

که در رابطه ۲-۵، PCE ضریب همسنگ سواری وسیله نقلیه سنگین (کامیون یک قسمتی و دو قسمتی)، Δd تأخیر ایجاد شده بر اثر حضور هر وسیله نقلیه سنگین (کامیون یک قسمتی^۵ و دو

۱ Delay based PCE

۲ Benekohal

۳ Single unit Truck

۴ Combination Truck

5 Single unit truck

قسمتی^۱، d_0 تأخیر متوسط هر خودرو در جریانی که فقط شامل خودروی سواری می‌باشد (جریان پایه^۲). مطابق با این روش ضریب همسنگ یک مقدار ثابت پیشنهادی نبوده و با تغییر موقعیت اتوبوس در صف، تغییر در درصد اتوبوس، تغییر در حجم عبوری وسایل نقلیه از تقاطع و بعضاً تغییر در پارامترهای زمان بندی چراغ راهنمایی این پارامتر دستخوش تغییر خواهد بود. همین حساسیت ضریب همسنگ سواری نسبت به پارامترهای ذکر شده باعث شده تا این روش نسبت به سایر روش‌ها بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

سارا طباطبایی و همکارانش در سال ۱۳۸۳ پارامتر همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین را توسط سناریوهای مختلفی و به ازای تعداد حرکات رویکردهای مختلف در هر تقاطع تخمین زدند. نتایج نشان داد که برای رویکردی با تنها یک حرکت ضرایب همسنگ سواری برای شرایط زیر اشباع از ۱,۱ تا ۱,۶۵ متغیر است [۱۱, ۱۲].

علی منصور خاکی ضریب همسنگ سواری موتورسیکلت‌های عبوری از تقاطعات شهر تهران را محاسبه نمود. همچنین در پژوهش مذکور این نتیجه حاصل شد که تغییرات ضریب همسنگ موتورسیکلت در تقاطعات چراغ‌دار تابع حجم ترافیک نبوده و همبستگی بین ضریب همسنگ سواری موتورسیکلت با حجم عبوری از تقاطع و درصد موتورسیکلت عبوری از تقاطع بسیار ضعیف است. همچنین در این پژوهش بازه تغییرات ضریب همسنگ سواری موتورسیکلت در تقاطع چراغ‌دار شهر تهران در سطح

اطمینان ۹۵٪ بین ۰,۴۲ و ۰,۹ می‌باشد. [۱۳]

1 Combination unit truck

2 Base flow

۷-۱-۲ روش بهینه سازی (OT)^۱:

این روش توسط Radhakrishnan در سال ۲۰۱۱ ابداع شد. این روش تکنیکی بوده که به وسیله بهینه سازی تغییرات بین نرخ جریان اشباع و نرخ جریان موجود که در زمان سبز اشباع رخ می دهد، مقدار عددی ضریب همسنگ سواری را به دست می دهد [۱۴]. این بهینه سازی به صورت رابطه ۶-۲ فرمول بندی شده که در آن ضریب همسنگ وسایل نقلیه مختلف، نرخ جریان اشباع پایه، نرخ جریان اشباع مختلط و ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه مختلف به عنوان متغیرهای اصلی به حساب می آید.

$$z_{min} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_b - S_i)}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_b^2 + \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N S_i^2}} \quad (6-2)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^K n_j PCE_j, \quad p_j \geq p_{j,min}$$

در رابطه ۶-۲، S_b نرخ جریان اشباع در جریان پایه (جریان شامل فقط خودروی سواری)، S_i نرخ جریان اشباع در جریان مختلط (جریان شامل همه نوع وسیله نقلیه سبک و سنگین)، n_j تعداد وسایل نقلیه گروه j و PCE_j ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه گروه j ، K تعداد گروه های وسیله نقلیه سنگین و N برابر تعداد سیکل های آماربرداری شده از تقاطعات می باشد. مطابق با این روش در نهایت یک ضریب همسنگ معادل به دست می آید و ضریب همسنگ به دست آمده نسبت به موقعیت اتوبوس در صف حساس نمی باشد. لازم به ذکر است از مزیت های این روش تعیین ضریب همسنگ چندین نوع وسیله نقلیه غیر سواری به طور همزمان می باشد.

۲-۱-۸ روش نرخ تخلیه صف (QCR):

این روش توسط موهان^۲ در سال ۲۰۱۶ در ابتدا برای تعیین ضرایب همسنگ وسایل نقلیه سنگین در تقاطعات غیر چراغ‌دار در جریان ترافیک پیشنهاد شد، همچنین در سال ۲۰۱۷ این روش جهت تعیین ضریب همسنگ تقاطعات چراغ‌دار بسط داده شد [۱۵, ۱۶]. اساس این روش مبتنی بر مدت زمانی است که یک صف از وسایل نقلیه (صف ایجاد شده از وسایل در یک تقاطع) نیازمند بوده تا بتواند به‌طور کامل ناحیه تداخلی تقاطع را تخلیه نماید. این روش جهت برآورد ارزیابی کیفیت و سرعت تخلیه صف، پارامتری به نام پارامتر نرخ تخلیه صف را تعریف می‌کند. نرخ تخلیه صف مطابق با رابطه ۲-۷ به صورت نسبت تعداد خودروهای خارج شده از ناحیه تداخلی تقاطع تقسیم بر زمان موردنیاز (T) جهت تخلیه کامل ناحیه تداخلی تقاطع^۳ تعریف می‌شود.

$$QCR = \frac{N}{T} \quad (۷-۲)$$

در رابطه ۲-۷، QCR بیانگر نرخ تخلیه صف، N تعداد وسایل خارج شده از ناحیه تداخلی (برحسب تعداد وسیله نقلیه سواری با ضریب همسنگ سواری یک) و T زمان سپری شده توسط صف جهت تخلیه کامل ناحیه تداخلی تقاطع می‌باشد.

1 Queue clearance rate

2 Mohan

3 conflict area



شکل ۱-۲. ناحیه تداخلی تقاطع [۱۶]

در رابطه ۲-۷ زمان سپری شده T را می توان با اختلاف زمانی بین ورود سپر جلوی اولین وسیله موجود در صف تا لحظه خروج سپر عقبی آخرین وسیله نقلیه موجود در صف از ناحیه تداخلی تقاطع محاسبه نمود. همچنین مقدار N را نیز می توان از طریق رابطه زیر محاسبه نمود.

$$N = \sum_{j=1}^k n_j \frac{W_{car}}{W_j} \quad (۸-۲)$$

در رابطه ۲-۸، W_{car} عرض استاندارد خودروی مبنا، W_j : عرض وسیله نقلیه نوع j ، PCE_j ضریب همسنگ وسیله نوع j ، k تعداد گروه های وسایل نقلیه موجود در جریان ترافیک و n_j بیانگر تعداد وسایل نقلیه نوع j می باشند؛ بنابراین پس از نوشتن رابطه ۱ بر حسب رابطه ۲ خواهیم داشت:

$$QCR = \sum_{j=1}^k \frac{n_j \frac{W_{car}}{W_j} PCE_j}{T_i} \quad (۹-۲)$$

که پس از مینیمم سازی coefficient variation برای مقادیر مختلف پارامتر نرخ تخلیه صف (QCR)، مقادیر PCE نیز به دست خواهد آمد. همان طور که مشاهده می گردد این روش نسبت به سایر روش ها محدود به تعداد گروه خاصی از وسایل نبوده و می توان همسنگ را برای چندین وسیله نقلیه به صورت همزمان برای تقاطعات چراغ دار و غیر چراغ دار محاسبه نمود. همچنین یکی دیگر از مزیت های این روش

این بوده که در این روش برخلاف سایر روش‌ها نیازی به داشتن نرخ جریان اشباع نمی‌باشد. موهان با استفاده از این مدل پیشنهادی، تقاطعات مورد نظر را در نرم افزار Vissim شبیه سازی نموده و با استفاده از مدل پیشنهادی خود مقادیر ضریب همسنگ سواری را برای اتوبوس و کامیون به ترتیب ۴,۵۳ و ۴,۱۷ محاسبه نمود. اگر چه این روش برای تقاطعات فوق اشباع نیز کاربرد دارد اما مقادیر همسنگ تعیین شده در این روش برای جریان اشباع ($v/c = 1$) تعیین شده است. البته لازم به ذکر است در این روش نیز موقعیت اتوبوس تأثیر چندانی بر اندازه پارامتر ضریب همسنگ سواری ندارد. همچنین در این روش به علت نبود شرایط مرزی مناسب، بهینه سازی در برخی موارد منجر به تولید مقادیر غیرمنطقی ضریب همسنگ سواری می‌گردد.

۹-۱-۲ روش سبقت

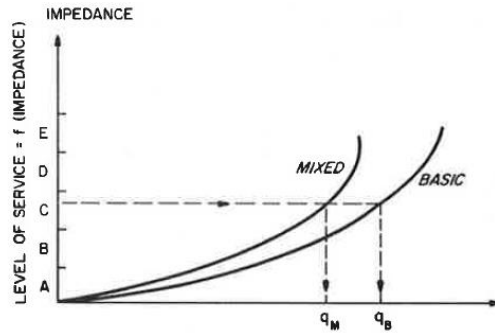
اولین بار واکر در سال ۱۹۸۰ از مفهوم سبقت در تعیین ضریب همسنگ سواری در جاده‌های دوخطه استفاده نمود [۱۷]. در این روش همسنگ معادل سواری از تقسیم تعداد سبقت گیری‌های وسایل نقلیه سواری از وسایل نقلیه سنگین بر تعداد سبقت‌های انجام شده وسایل نقلیه سواری از یکدیگر هست.

$$PCE = \frac{P_t}{P_p} \quad (۱۰-۲)$$

که در این رابطه P_t بیانگر تعداد سبقت‌های انجام شده از یک کامیون در یک کیلومتر (در یک بازه زمانی معین) و P_p نیز بیانگر توسط تعداد سبقت‌های انجام شده از یک وسیله نقلیه سواری در یک کیلومتر (در یک بازه زمانی معین) می‌باشد.

۱۰-۱-۲ روش هابر^۱

هابر در سال ۱۹۸۲ از یک فرض جهت تعیین ضریب همسنگ سواری استفاده کرد. او در این مطابق شکل ۲-۲ اصل را بر این قرار داد که سطح سرویس^۲ جریان در حالت جریان ترافیکی مختلط (وسیله نقلیه سبک و سنگین) بایستی با سطح سرویس در حالتی جریان در حالت پایه (تنها شامل سواری) قرار دارد، برابر باشد [۱۸].



شکل ۲-۲. نمودار فرض برابری سطح سرویس در دو جریان پایه و مختلط [۱۸]

$$q_B = (1 - p)q_M + Pq_M(\text{PCE}) \quad (11-2)$$

که در رابطه ۱۱-۲، P درصد وسایل نقلیه سنگین، q_M حجم وسایل نقلیه عبوری (veh/h)، q_B جریان در حالت پایه (حالتی که فرض می‌کنیم همه وسایل سنگین به سواری تبدیل شده و به تعداد سواری‌های واقع در جریان اصلی اضافه می‌گردند) و PCE ضریب همسنگ سواری می‌باشد که پس از ساده شدن رابطه بالا به صورت رابطه زیر نمایش داده می‌شود.

^۱ Huber

^۲ Level of service

$$PCE = \frac{1}{p} \left(\frac{q_B}{q_M} - 1 \right) + 1$$

یکی از محدودیت‌های رابطه ۱۱-۲ همین بوده که این روش تنها مختص زمانی بوده که تنها یک نوع وسیله نقلیه غیر سواری در جریان موجود باشد که این موضوع با جریانی که شامل بیش از یک نوع وسیله نقلیه سنگین هست در تضاد می‌باشد. لذا بعد از ارائه این مدل توسط هابر، دیمارچی و سامنر [۱۹]، [۲۰]، مدلی ارائه دادند که در این مدل یک ضریب همسنگ معادل برای جریان‌های با بیش از یک نوع وسیله نقلیه سنگین، محاسبه می‌شود.

$$PCE = \frac{1}{\sum_i^n P_i} \left[\frac{q_B}{q_M} - 1 \right] + 1 \quad (۱۲-۲)$$

که در رابطه فوق P_i نسبت وسیله نقلیه غیر سواری نوع i ، q_B نرخ جریان پایه و q_M نرخ جریان مختلط هست.

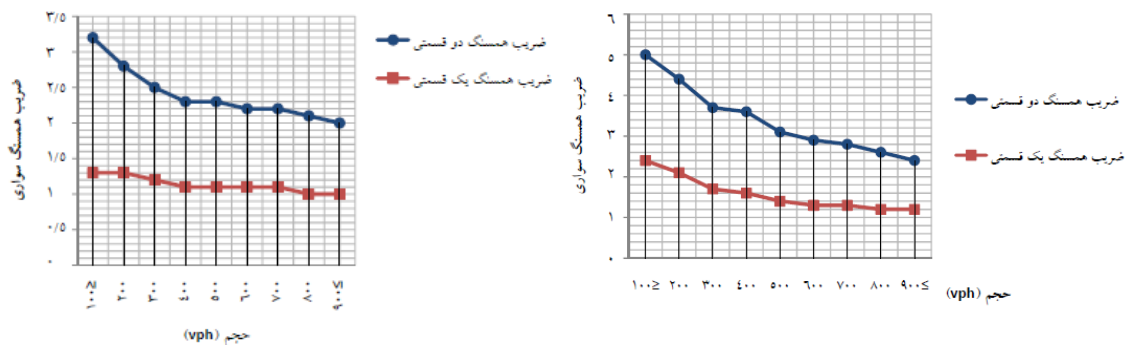
۲-۱-۱۱ روش اختلاف سرعت

این روش برای تعیین همسنگ سواری وسایل نقلیه غیر سواری در جریان‌های پیوسته آزادراه‌ها و بزرگ راه‌ها توسط آیین نامه HCM2010 پیشنهاد گردیده است [۴]. مطابق با این روش ضریب همسنگ بر اساس رابطه ۱۳-۲ تعیین می‌گردد:

$$PCE = \frac{P_T \left(\frac{v}{F_G} \right) + \left(\frac{ATS_{tr} - ATS_{pc}}{-0.0125} \right)}{P_T \left(\frac{v}{F_G} \right)} \quad (۱۳-۲)$$

که در رابطه ۱۳-۲، ATS_{tr} میانگین سرعت سفر در جریان مختلط در ناحیه هموار یا در شیب خاص، ATS_{pc} میانگین سرعت سفر در جریان کاملاً سواری در ناحیه هموار یا در شیب خاص، v حجم ترافیک، F_G ضریب شیب و P_T درصد وسایل نقلیه سنگین می‌باشد. شهرداد در سال ۱۳۹۱ در مقاله تحت عنوان ارزیابی مقایسه‌ای ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در راه‌های دوطرفه ایران بر اساس بر اساس روش سرفاصله و روش اختلاف سرعت، مقادیری را به‌عنوان ضریب همسنگ در راه‌های دوطرفه ایران برای وسایل سنگین یک قسمتی و دو قسمتی ارائه داد [۱۷]. این ضرایب متناسب با حجم عبوری

و شیب مسیر (هموار، تپه ماهور و کوهستانی) متغیر می‌باشند. به‌عنوان نمونه مقدار ضرایب همسنگ سواری در این روش در مسیرهای کوهستانی به ازای حجم عبوری ۱۰۰ وسیله در ساعت تا ۹۰۰ وسیله در ساعت از محدوده ۷,۷ تا ۴,۷ متغیر می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش ضرایب همسنگ سواری در ایران (جریان‌های پیوسته) از ضرایب پیشنهادی آیین نامه HCM کمتر بوده و میزان این تفاوت با شیب بیشتر خواهد شد، به این صورت که ضرایب همسنگ وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی به‌صورت میانگین ۱۵ درصد کمتر از ضرایب HCM2010 است. این اختلاف در مناطق تپه ماهور به ۱۰ درصد می‌رسد. در ادامه در شکل ۲-۳ نمودار تغییرات ضرایب همسنگ سواری را بر اساس تغییرات حجم عبوری از مسیر را مشاهده می‌کنیم:



ب) هموار

الف) تپه ماهور

شکل ۲-۳ ضرایب همسنگ سواری در شرایط هموار و تپه ماهور [۱۷]

۱۲-۱-۲ روش افندی زاده و همکاران

این روش نخستین بار توسط افندی زاده و همکارانش برای محاسبه ضرایب همسنگ وسایل نقلیه غیر سواری در جریان‌های پیوسته پیشنهاد و به کارگرفته شد [۲۱]. در این روش بررسی سه عامل سرعت حجم و چگالی اهمیت خاصی دارند. در این روش منظور از سرعت، پارامتر سرعت متوسط مکانی می‌باشد. همچنین منظور از چگالی تعداد وسایل نقلیه می‌باشد که در طول یک کیلومتر از مسیر در

حال حرکت هستند. حجم نیز بیانگر تعداد وسایل نقلیه‌ای که در واحد زمان از مقطع مشخصی از یک مسیر عبور می‌کنند. توجه شود رابطه بین این سه پارامتر به صورت رابطه ۲-۱۴ برقرار می‌باشد:

$$Q = VD \quad (۱۴-۲)$$

که در رابطه ۲-۱۴، D, V, Q به ترتیب بیانگر سه پارامتر حجم ترافیک، سرعت متوسط مکانی و چگالی می‌باشد. در این مطالعات اساس محاسبه ضریب همسنگ، استفاده هم‌زمان از سه پارامتر حجم، سرعت و چگالی می‌باشد. رابطه زیر رابطه پیشنهادی دکتر افندی‌زاده و همکاران جهت محاسبه ضریب همسنگ سواری می‌باشد:

$$n = \frac{Q_c}{Q_i} = \frac{V_c}{V_i} \times \frac{D_c}{D_i} \quad (۱۵-۲)$$

که در روابط ۲-۱۴ و ۲-۱۵، n ضریب همسنگ وسیله نقلیه نوع i ، Q_c تردد یا حجم ترافیک سواری، Q_i تردد یا حجم ترافیک وسیله نقلیه نوع i ، V_c سرعت متوسط مکانی سواری، V_i سرعت متوسط مکانی وسیله نقلیه نوع i ، D_c چگالی سواری و D_i چگالی وسیله نقلیه نوع i می‌باشد.

همچنین در این روش به جهت محاسبه نسبت D_c/D_i نیازمند محاسبه چگالی وسایل سواری موجود در جریان به چگالی وسایل نقلیه نوع i می‌باشیم. از آنجایی که برآورد چگالی وسایل نقلیه مختلف نیاز به روش‌های خاصی از جمله عکس‌برداری هوایی دارد که عملاً دسترسی به آن امری دشوار است، به همین منظور از یک فرض ساده کننده استفاده شده که در این فرض فاکتور $\frac{A_i}{A_c}$ مساحت وسیله نقلیه نوع i ، A_c مساحت سواری) به جای فاکتور $\frac{D_c}{D_i}$ جایگزین می‌گردد.

$$n = \frac{Q_c}{Q_i} = \frac{V_c}{V_i} \times \frac{A_i}{A_c} \quad (۱۶-۲)$$

در ادامه آن‌ها پس از بررسی‌های فراوان محور فیروزکوه را به عنوان محور نمونه با ویژگی‌های منحصر به فرد زیر انتخاب نموده تا ضرایب تخمینی ضریب همسنگ سواری به مقدار واقعی خود نزدیک‌تر گردند.

الف: محور مورد نظر بایستی در برگیرنده تمام انواع وسایل نقلیه باشد.

ب: محور مورد نظر در برگیرنده رانندگان با فرهنگ‌های مختلف باشند.

ج: رفتار ترافیکی وسایل نقلیه مختلف در ساعات مختلف کمابیش مشابه باشد.

آن‌ها همچنین مقادیر ضرایب همسنگ وسایل نقلیه سنگین را برابر ۴,۱ پیشنهاد دادند که در حدود ۲ برابر مقدار پیشنهادی آیین نامه HCM می‌باشد. همچنین وجود ناوگان فرسوده وسایل نقلیه سنگین و عدم هماهنگی آن‌ها با عملکرد سایر وسایل نقلیه سواری علت این اختلاف ۲ برابری ذکر گردیده است.

۲-۲ جمع بندی و نتیجه گیری

در این فصل روش‌های تعیین ضریب همسنگ سواری در جریان‌های پیوسته و منقطع توضیح داده شد. در بخش اول این فصل درباره روش‌های به‌کاررفته جهت تعیین ضریب همسنگ سواری پرداختیم. روش‌های به کار رفته در این مورد عموماً به دو دسته تقسیم بندی می‌گردند.

۱- روش‌هایی که داده‌های تمام سیکل‌ها (تعداد وسایل عبوری تمام سیکل‌های موجود در دوره آماربرداری، زمان بندی چراغ راهنمایی تمام سیکل‌ها، تعداد گروه‌های وسایل نقلیه تمام سیکل‌ها، تعداد کل سیکل‌ها و ...) را گرفته و در پایان با قرار دادن داده‌های برداشتی در روش مذکور یک ضریب همسنگ معادل به دست می‌آید. روش‌هایی همچون نرخ تخلیه صف (QCR) و همچنین روش بهینه سازی (OT) روش‌هایی از این قبیل می‌باشند.

۲- روش‌هایی که با استفاده از داده‌های برداشت شده در هر سیکل مقدار ضریب همسنگ وسیله نقلیه سنگین در همان سیکل را پیشنهاد می‌دهند. به‌عنوان مثال اگر در مدت زمان ۱ ساعت تعداد ۲۰ وسیله نقلیه سنگین از تقاطع عبور نماید در این صورت ما ۲۰ مقدار ضریب همسنگ سواری خواهیم داشت. همچنین ضریب همسنگ سواری نهایی وسیله نقلیه سنگین از طریق گرفتن میانگین از ۲۰ مقدار موجود حاصل خواهد شد. روش‌هایی مانند روش تأخیر، مولینا و نیز سرفاصله زمانی از این

قبیل می‌باشند.

همچنین با مقایسه روش‌های محاسبه ضریب همسنگ تقاطعات نیز این مهم حاصل می‌شود در روش-های شماره ۲ از آنجا که ضریب همسنگ به ازای هر سیکل جداگانه محاسبه می‌گردد، از این رو هر گونه تغییر در عواملی نظیر موقعیت اتوبوس در صف، طول صف موجود در پشت تقاطع، زمان بندی چراغ راهنمایی در مقدار نهایی ضریب همسنگ راحت‌تر قابل شناسایی می‌باشد، در حالی که در روش-های شماره ۱ تأثیر عوامل ذکر شده روی ضریب همسنگ به مراتب کمتر خواهد بود و یا اینکه تغییرات در عوامل ذکر شده به راحتی قابل شناسایی نمی‌باشد. لازم به ذکر است در برخی روش‌ها نظیر روش نرخ تخلیه صف (QCR)، تعیین ضریب همسنگ سواری با استفاده از روش‌های بهینه سازی نظیر مینیمم کردن نرخ تأخیر در تقاطعات صورت می‌گیرد، اما با این وجود به علت عدم پیشنهاد شرایط مرزی مناسب در مدل گاهی مقادیر ضریب همسنگ سواری اعدادی غیرمنطقی به دست خواهد آمد. همچنین در برخی روش‌های تعیین ضریب همسنگ همانند روش رگرسیون، بهینه سازی، نرخ تخلیه صف، پیشنهادی سامنر و دیمارچی امکان تعیین ضریب همسنگ سواری چندین وسیله نقلیه به صورت هم‌زمان وجود دارد، در صورتی که در برخی روش‌های دیگر همانند روش مولینا، تأخیر، روش وبستر، سرفاصله زمانی، افندی زاده، واکر و هابر، در بار استفاده از روش، تنها تعیین ضریب همسنگ یک نوع وسیله نقلیه قابل تعیین خواهد بود. نکته دیگری که در این بخش می‌توان به آن اشاره نمود نیاز و یا عدم نیاز روش پیشنهادی به پارامتر نرخ جریان اشباع و یا سرفاصله اشباع می‌باشد. از میان روش‌های ذکر شده روش مولینا، وبستر و نرخ تخلیه بدون نیاز به پارامتر نرخ جریان اشباع قادر خواهد بود ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه عبوری از تقاطع را محاسبه نماید؛ در حالی که در روش‌های دیگر همانند روش مبتنی بر پارامتر تأخیر، رگرسیون، بهینه سازی و نیز روش HCM2000 و HCM2010 تعیین ضریب همسنگ سواری نیازمند پارامتر نرخ جریان اشباع می‌باشد.

در این فصل با مروری بر روش‌های موجود در زمینه «تعیین ضریب همسنگ سواری» به سیر تکاملی این روش‌ها اشاره گردید و با مروری کلی بر معایب و مزایای این روش‌ها آشنا شدیم. در فصل‌های بعدی

نیز نوع مدل مورد استفاده و همچنین شرایط استفاده از مدل برگزیده (مدل مبتنی بر پارامتر تأخیر) در تقاطعات، داده‌های موردنیاز در این مدل و سایر ویژگی‌های آن بحث خواهیم کرد.

جدول ۲-۲. روش‌های تعیین ضریب همسنگ سواری

شرح روش	موضوع	نام روش	نویسندگان
تعیین ضریب همسنگ بر اساس مقایسه تعداد سبقت‌های صورت گرفته از کامیون و تعداد سبقت‌های صورت گرفته شده از وسایل سواری	$PCE = \frac{p_t}{p_p}$	روش سبقت (تقاطعات)	واکر 1980
این روش بر مبنای مقایسه سر فاصله زمانی وسایل نقلیه سواری و وسایل نقلیه سنگین ضریب همسنگ وسایل نقلیه سنگین را محاسبه می‌نماید (مورد استفاده: تقاطعات)	$PCE = \frac{h_t}{h_c}$	روش سرفاصله (تقاطعات)	گرین شیلدز 1947
در این روش با محاسبه زمان تخلیه صف در دو جریان پایه و مختلط و همچنین سرفاصله اشباع با استفاده از رابطه مربوطه ضریب همسنگ وسایل نقلیه سنگین قابل محاسبه خواهد بود.	$PCE = 1 + \frac{TT_t - TT_c}{h_0}$	روش مولینا (تقاطعات)	Molina 1987
در این روش بر مبنای فرض برابر بودن سطح سرویس جریان پایه و جریان مختلط ضریب همسنگ قابل محاسبه خواهد بود	$PCE = \frac{1}{p} \left(\frac{qB}{qM} - 1 \right) + 1$	روش موسوم به هابر (تقاطعات)	هابر 1982
	$PCE = \frac{PT \left(\frac{V}{FG} \right) + \left(\frac{ATStr - ATSpC}{-0.0125} \right)}{PT \left(\frac{V}{FG} \right)}$	روش HCM 2010 (جریان‌های پیوسته)	HCM 2010

<p>برانستون برای محاسبه همسنگ سواری در تقاطع‌ها از رگرسیون خطی چندگانه استفاده کرد. در این روش تعداد و نوع وسایل خروجی در یک که در لحظه‌ی T بازه زمانی دلخواهی در زمان سبز شروع و در لحظه دلخواهی در این زمان پایان می‌یافت، ثبت شدند.</p>	$n_l = B.T - \sum B_i + \varepsilon$	<p>روش رگرسیون (تقاطع‌ات)</p>	<p>Branston 1978</p>
<p>وسایل نقلیه را به دو گروه سبک و باری تقسیم‌بندی نمود و با جمع آوری داده‌ها ۱۲ سیکل متوالی، متوسط وسایل باری خروجی $(\bar{n}_g = \frac{\sum n_g}{N})$ را برحسب متوسط وسایل سبک خروجی $(\bar{n}_l = \frac{\sum n_l}{N})$ در هر سیکل ترسیم نمود و با برازش خطی از میان این داده‌ها، معکوس شیب خط مذکور را به‌عنوان ضریب همسنگ سواری (PCE) معرفی نمود.</p>	$\bar{n}_g = \frac{\sum n_g}{N}$ $\bar{n}_l = \frac{\sum n_l}{N}$	<p>ویستر (تقاطع‌ات)</p>	<p>Webster 1958</p>
<p>ارائه یک مدل جهت محاسبه ضریب همسنگ سواری بر مبنای تاخیر اضافه ایجاد شده توسط وسیله نقلیه سنگین (Δd) در تمام وسایل نقلیه موجود در پشت وسیله نقلیه سنگین.</p>	$PCE = \frac{d_M}{d_0} = 1 + \frac{\Delta d}{d_0}$	<p>D-PCE (تقاطع‌ات)</p>	<p>بن کوهال- ژائو 2000</p>
<p>در این مطالعات اساس محاسبه ضریب همسنگ به‌صورت نسبت چگالی در جریان شامل خودروی سواری (QC) به چگالی در جریان شامل وسیله نقلیه سنگین (Qi)</p>	$n = \frac{Qc}{Qi} = \frac{Vc}{Vi} \times \frac{Dc}{Di}$	<p>افندی زاده (جریان‌های پیوسته)</p>	<p>افندی زاده</p>

<p>اساس این روش مبتنی بر مدت زمانی است که یک صف از وسایل نقلیه (صف ایجاد شده از وسایل در یک تقاطع) نیازمند بوده تا بتواند به طور کامل تقاطع را تخلیه نماید.</p>	$QCR = \frac{N}{T}$ $PCE_j N = \sum_{j=1}^k n_j \frac{W_{car}}{W_j}$ $PCE = \text{coefficient variation} \left(\frac{\sigma(QCR_1, QCR_2, \dots, QCR_n)}{\mu(QCR_1, QCR_2, \dots, QCR_n)} \right)$	<p>QCR (تقاطعات)</p>	<p>Mohan 2017</p>
<p>به وسیله بهینه سازی تغییرات بین نرخ جریان اشباع و نرخ جریان موجود که در زمان سبز اشباع رخ می دهد، مقدار عددی ضریب همسنگ سواری را به دست می آید</p>	$Z_{min} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_b - S_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_b^2 + \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N S_i^2}}$	<p>Optimization Technique (تقاطعات)</p>	<p>Radhakrishnan 2011</p>

فصل ۳ : روش تحقیق

۳-۱ مقدمه

در این فصل به شرح روش به کار رفته (D-PCE) جهت تعیین ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری در تقاطعات چراغ‌دار (فوق اشباع و زیر اشباع) در شهر مشهد خواهیم پرداخت. در فصل گذشته مزیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در قسمت ابتدایی این فصل به بیان ملاک‌های انتخاب تقاطعات نمونه جهت آماربرداری و سپس به معرفی تقاطعات آمار برداری شده پرداخته شده است. همچنین از آن جا که مبنای این روش مقایسه پارامتر تأخیر در جریان پایه و جریان مختلط می‌باشد، به بیان مفهوم جریان مختلط و جریان پایه خواهیم پرداخت و در ادامه مروری بر مفاهیم تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار خواهیم داشت. همچنین در قسمت انتهایی فصل به بیان پارامترهای اساسی رابطه (D-PCE) و روابط مورد استفاده جهت تعیین این پارامترها خواهیم پرداخت. اگر چه روش‌های تعیین ضریب همسنگ سواری گوناگون بوده، با این وجود مقادیر به دست آمده با استفاده از هر روش بسته به نوع پارامترهای تعریف شده متفاوت می‌باشد. لازم به ذکر است انواع این روش‌ها به همراه پارامترهای موجود در هر روش در فصل ۱ به تفصیل توضیح داده شده است. در این فصل سعی بر آن است تا روش تعیین ضرایب همسنگ سواری بر مبنای پارامتر تأخیر (D-PCE) را شرح دهیم. در ادامه پیش از هر چیز مروری خواهیم داشت بر معیار گزینش تقاطعات آماربرداری شده.

۳-۲ ملاک‌های انتخاب تقاطع ایده‌آل

۱- این پژوهش باهدف تعیین ضریب همسنگ سواری برای اتوبوس‌های درون شهری می‌باشد، از این رو سعی گردیده تقاطعاتی انتخاب گردند که درصد عبوری اتوبوس‌های درون شهری قابل توجه باشد و از انتخاب تقاطعات فرعی که درصد عبوری اتوبوس نزدیک به صفر و یا کم می‌باشد خودداری گردیده است.

۲- با توجه به این که ضریب همسنگ سواری در جریانی متشکل از وسایل سواری و غیر سواری معنا پیدا می‌کند، بنابراین یکی دیگر از عوامل گزینش تقاطعات عدم وجود خط ویژه در تقاطع مربوطه

می‌باشد، زیرا باوجود خط ویژه عملاً مسیر اتوبوس از وسایل سواری جدا گردیده و تعیین ضریب همسنگ برای اتوبوس‌های درون شهری عملاً امری نامفهوم خواهد بود.

۳- در این تحقیق به جهت بسط نتایج حاصله از تقاطعات مورد نظر به تمامی تقاطعات شهر (فوق اشباع و زیر اشباع) سعی بر آن بوده تا تقاطعات واقع شده در شریان‌های اصلی و پرتردد شهری انتخاب گردند و از انتخاب تقاطعاتی با تردد کم و واقع در مسیرهای فرعی درون شهری خودداری به عمل آمده است.

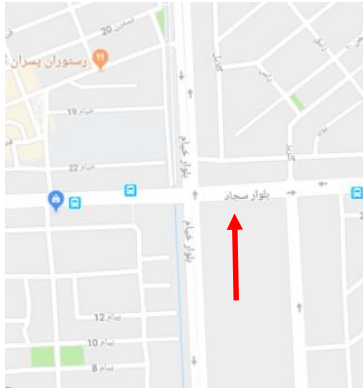
۴- در تقاطعات مربوطه جریان ورودی به تقاطع بایستی از پایین دست تقاطع و از خیابان اصلی به تقاطع وارد گردند و نه از کوچه‌های منتهی به تقاطع؛ بنابراین از انتخاب تقاطعاتی که در فاصله ای کمتر از ۴۰۰ متر از آن‌ها کوچه باشد، خودداری گردیده است. لازم به ذکر است اهمیت این شرط به گونه ای است که سایر شروط بند ۱، ۲ و ۳ در انتخاب تقاطع را تحت تاثیر خود قرار خواهد داد.

۳-۳ معرفی تقاطعات آماربرداری شده:

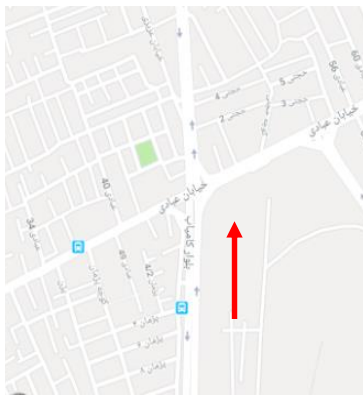
در این پژوهش جهت تعیین ضریب همسنگ تقاطعات در دو حالت زیر اشباع و فوق اشباع از تعداد ۵ تقاطع خیام - سجاد، کامیاب - عبادی، شاهد - امامیه، دانشجو - معلم، جمهوری - کوشش آماربرداری به عمل آمد. حجم عبوری آماربرداری شده وسایل نقلیه از ۲۶۱ وسیله نقلیه بر ساعت بر خط تا ۳۷۵ وسیله نقلیه بر ساعت بر خط متغیر می‌باشد. همچنین درصد اتوبوس عبوری از تقاطع از ۰,۸ درصد تا ۳,۲ درصد متغیر می‌باشد. اطلاعات برداشت شده از تقاطعات عبارت است از سرفاصله زمانی وسایل موجود در صف در جریان پایه و جریان مختلط، حجم عبوری وسایل نقلیه در جریان ترافیکی از تقاطع، درصد اتوبوس‌های عبوری از تقاطع، مقدار عددی پارامترهای چراغ راهنمایی در هر تقاطع (طول سیکل، زمان سبز و قرمز)، نوع وسایل نقلیه عبوری از تقاطع، موقعیت اتوبوس در صف در سیکل خروجی، اطلاعات هندسی تقاطع (تعداد خطوط، وجود و یا عدم وجود جزیره در تقاطع، وجود و یا عدم وجود انباره). نکته دیگر اینکه در اکثر موارد حرکت اتوبوس‌ها در تقاطعات مستقیم بوده و به‌ندرت مسیر حرکت اتوبوس گردش به راست و یا گردش به چپ می‌باشد. در جدول شماره ۱-۳ اطلاعات مربوط به تقاطعات آورده شده است، همچنین شکل‌های ۳-۱ تا ۳-۵ شامل برشی از نقشه هر کدام از تقاطعات به همراه تصویری از تقاطعات آماربرداری شده می‌باشد.

جدول ۱-۳. داده‌های برداشت شده از تقاطعات منتخب

نام تقاطع	رژیم تقاطع	ساعت آماربرداری	حجم عبوری (veh/h)	اتوبوس عبوری بر ساعت
خیام - سجاد	فوق اشباع	۱۱:۰۰ - ۱۳:۰۰	۱۵۰۲	۱۰
چهارراه راه کامیاب عبادی	فوق اشباع	۱۳:۰۰ - ۱۵:۰۰	۱۳۴۱	۱۰
چهارراه جمهوری - کوشش (یک ساعته اول)	فوق اشباع	۱۲:۰۰ - ۱۳:۰۰	۱۰۴۱	۲۵
چهارراه جمهوری - کوشش (یک ساعته دوم)	فوق اشباع	۱۰:۰۰ - ۱۱:۰۰	۹۶۸	۳۱
شاهد امامیه	زیر اشباع	۱۲:۰۰ - ۱۴:۰۰	۱۰۴۶	۱۴
معلم دانشجو	زیر اشباع	۱۵:۰۰ - ۱۷:۰۰	۹۰۰	۱۰
خیام سجاد	زیر اشباع	۱۵:۰۰ - ۱۷:۰۰	۹۱۶	۷
چهارراه جمهوری - کوشش	زیر اشباع	۰۶:۰۰ - ۰۸:۰۰	۸۴۰	۱۲



شکل ۳-۱. تقاطع خیام سجاد



شکل ۳-۲. تقاطع عبادی کامیاب



شکل ۳-۳. تقاطع جمهوری کوشش



شکل ۳-۴. تقاطع دانشجو معلم



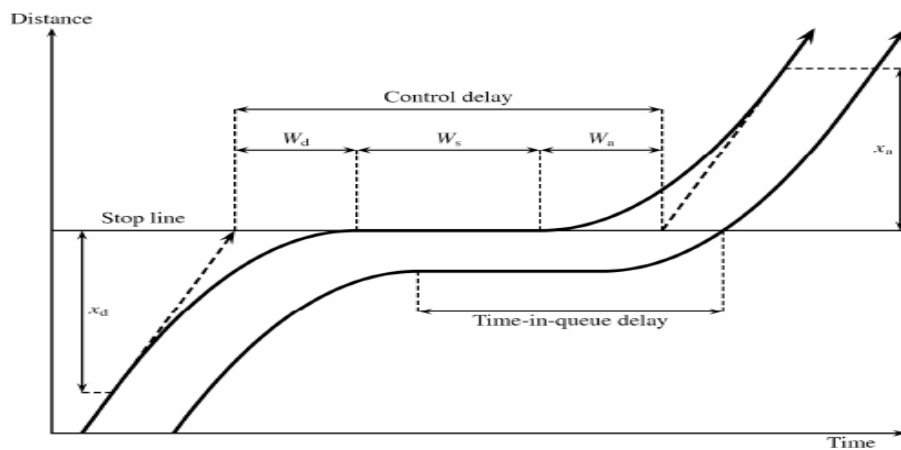
شکل ۳-۵. تقاطع شاهد امامیه

۳-۴. مروری بر مفاهیم تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار

۳-۴-۱. تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار

امروزه با افزایش جمعیت و همچنین بالا رفتن سرانه مالکیت اتومبیل، معضلی به نام ترافیک در بیشتر شهرهای بزرگ دیده می‌شود. یکی از عوامل افزایش زمان سفر در خیابان‌های شهری، وجود تقاطعات درون شهری است. تقاطعات چراغ‌دار نقاط کنترل کننده جریان ترافیک در سطح شبکه هستند که مقدار تأخیر در آن‌ها معیار اندازه‌گیری مناسبی است که برای خصوصیات عملکردی تقاطعات چراغ‌دار به کار می‌رود [۲۲]. تأخیر در حالت کلی عبارت است از زمان اضافی لازم برای گذر از مسافتی که در

آن طول، عاملی از حرکت جریان ممانعت می‌کند؛ از این رو وجود چراغ راهنمایی از مهم‌ترین عوامل در ایجاد تأخیر در تقاطع است [۲۳] که در ادامه می‌توانیم تعریف ذکر شده از تأخیر را در قالب نمودار ۳-۶ مشاهده کنیم. همچنین مطابق این نمودار تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار اختلاف زمان سفر بین دو حالتی است که وسیله نقلیه بدون تأثیر پذیری از وجود چراغ راهنمایی از تقاطع گذر می‌کند و حالتی که چراغ راهنمایی در حرکت وسیله نقلیه مؤثر شده و باعث حرکت و توقف وسیله نقلیه می‌شود شامل زمان‌های کاهش سرعت، حرکت در صف و توقف و افزایش سرعت است [۱].



شکل ۳-۶ نمودار تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار [۲۴]

۳-۴-۲ انواع تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار

همان‌طور که ذکر شد، تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار اختلاف زمان سفر بین دو حالتی است که وسیله بدون تأثیرپذیری از وجود چراغ راهنمایی از تقاطع گذر می‌کند و دیگر حالتی که چراغ راهنمایی در حرکت وسیله نقلیه مؤثر شده و باعث حرکت کند و توقف وسیله نقلیه می‌شود که شامل زمان‌های کاهش سرعت، حرکت در صف، توقف و افزایش سرعت است [۱]. در ادامه به تفصیل به شرح هر یک از عوامل تولید‌کننده تأخیر اشاره شده است:

تاخیر ناشی از توقف وسایل نقلیه^۱: این تأخیر به مدت زمانی اطلاق می‌شود که وسیله نقلیه در پشت تقاطع کاملاً متوقف می‌باشد؛ بنابراین این تأخیر از لحظه‌ای که وسیله نقلیه کاملاً توقف کرده شروع می‌شود و تا لحظه‌ای که وسیله نقلیه شروع به حرکت می‌کند ادامه دارد. پارامتر D_1 در شکل ۳-۷ بیانگر این نوع تاخیر می‌باشد.

تاخیر رویکرد^۲: این تأخیر نیز همانند زمان تأخیر ناشی از توقف وسایل نقلیه است با این تفاوت که در این تأخیر زمان ناشی از کاهش شتاب و افزایش شتاب‌های مکرر در پشت تقاطع نیز منظور می‌شود. پارامتر D_2 در شکل ۳-۷ بیانگر این نوع تاخیر می‌باشد.

تاخیر زمان سفر^۳: این تأخیر عبارت است از اختلاف زمانی بین زمان واقعی عبور وسیله نقلیه از تقاطع با زمان مورد انتظار راننده برای عبور از تقاطع. پارامتر D_3 در شکل ۳-۷ بیانگر این نوع تاخیر می‌باشد.

تاخیر صف^۴: این تأخیر از لحظه پیوستن وسیله نقلیه به صف (صفی که در پشت یک تقاطع شکل گرفته است) آغاز شده و تا لحظه عبور کامل از خط توقف تقاطع (stop line) ادامه دارد. این تأخیر در مطالعات ترافیکی به صورت میانگین برای تمام وسایل نقلیه محاسبه می‌گردد.

تاخیر ناشی از وسایل کنترل ترافیک^۵: این تأخیر ناشی از حضور وسایل کنترل ترافیک نظیر چراغ راهنمایی و رانندگی می‌باشد. مقدار این تأخیر معادل است با مجموع تأخیر صف و تاخیر رویکرد

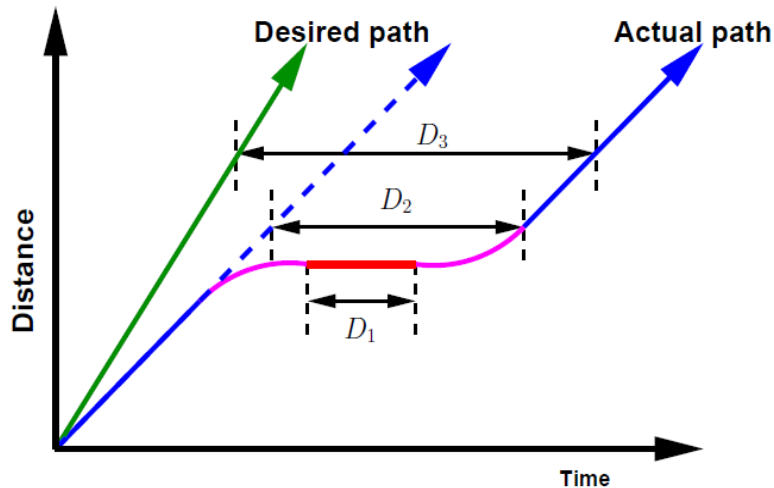
^۱ Stopped time delay

^۲ Approach delay

^۳ Travel time delay

^۴ Time in queue delay

^۵ Control delay



شکل ۳-۷

قابل به ذکر است محاسبه تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار به دلیل وابسته بودن به زمان و پیچیدگی ماهیت پدیده تشکیل صف در تقاطعات فوق اشباع همواره مشکل بوده است. روش‌های متعددی برای ارزیابی و محاسبه زمان تأخیر در تقاطعات فوق اشباع به وجود آمده است که در بیشتر اوقات جواب‌های مناسبی برای شرایط ایران ارائه نمی‌دهد [۲۵].

۳-۵ مفاهیم اولیه در روش D-PCE

در این قسمت قصد داریم تا پس از توضیح درباره مفاهیم تأخیر در قسمت‌های قبلی، به بیان روش (D-PCE) بپردازیم. پایه شکل‌گیری این روش D-PCE را می‌توان با مقایسه زمان تأخیر وسایل نقلیه در جریان پایه و جریان مختلط جستجو کرد. بر این اساس قبل از ادامه توضیحات درباره رویکرد این روش بهتر است تا با اصطلاحات زیر آشنا شویم:

جریان پایه: مطابق با این روش (D-PCE)، جریان پایه به جریانی اطلاق می‌گردد که تنها از خودروی سواری تشکیل شده باشد [10].

تأخیر در جریان پایه ($d_0 = D_0/n$): این پارامتر به متوسط تأخیر به ازای هر وسیله سواری موجود در جریان پایه اطلاق می‌گردد. (s/veh) [10].

جریان مختلط: هر جریانی که علاوه بر خودروی سواری، از حداقل یک نوع وسیله نقلیه دیگر (اتوبوس، وانت، موتور، تریلی و ...) تشکیل شده باشد یک جریان مختلط نامیده می‌شود [۱۰].

تأخیر در جریان مختلط ($d_t = D_t/n$): این پارامتر به متوسط تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه موجود در جریان مختلط، اطلاق می‌شود.

۳-۵-۱ اساس روش D-PCE

اساس این روش بر مبنای اختلاف تأخیر ایجاد شده (Δd) ناشی از حضور یک یا تعداد بیشتری وسیله سنگین در سایر وسایل نقلیه سبک می‌باشد. در روش‌های پیشین اثر حضور وسیله نقلیه در سایر وسایل نقلیه موجود در پشت وسیله نقلیه سنگین بررسی نمی‌شد؛ از این رو موقعیت وسیله نقلیه سنگین در صف در مقدار عددی ضریب همسنگ تأثیری نداشت، این در حالی است که در این روش تأثیر وسیله نقلیه سنگین بر روی تمام وسایل سواری موجود در پشت آن‌ها در صف بررسی شده و همین موضوع سبب شده در این روش موقعیت و جایگاه اتوبوس در صف نسبت به خط توقف، قبل از خروج از تقاطع از اهمیت خاصی برخوردار باشد. به بیان دیگر این موقعیت در ضریب همسنگ نهایی اتوبوس تأثیر گذار خواهد بود. با توجه به توضیحات داده شده جهت تعیین ضریب همسنگ با استفاده از روش D-PCE از رابطه شماره ۳-۱ استفاده می‌کنیم.

$$D - PCE = 1 + \frac{\Delta d}{d_0} \quad (1-3)$$

در رابطه شماره ۱-۳ PCE - D ضریب همسنگ تعیین شده بر مبنای پارامتر تأخیر، Δd تأخیر اضافی ناشی از حضور وسیله نقلیه سنگین در صف و d_0 تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه سواری در جریان پایه بر حسب ثانیه می‌باشد. همچنین بر اساس رابطه شماره ۲-۳ پارامتر Δd بیانگر اختلاف تأخیری است که در جریان پایه و جریان مختلط به ازای هر وسیله نقلیه سنگین وجود دارد.

$$\Delta d = \frac{D_t - D_0}{V_t} \quad (2-3)$$

همچنین می‌توان با جایگذاری رابطه ۲-۳ در داخل رابطه ۱-۳ به رابطه شماره ۳-۳ رسید.

$$D - PCE = 1 + \frac{\left(\frac{D_t - D_0}{V_t}\right)}{d_0} \quad (3-3)$$

که در رابطه (۳-۳) D_t تأخیر کل در جریان مختلط بر حسب ثانیه، D_0 تأخیر کل در جریان پایه بر حسب ثانیه، d_0 متوسط تأخیر هر وسیله در جریان پایه بر حسب ثانیه و V_t تعداد وسایل نقلیه سنگین در دوره تحلیل می‌باشد.

۲-۵-۳ شرح یک مثال عددی جهت درک بهتر روش تأخیر (D-PCE)

جهت درک بهتر این روش می‌توان این مسئله را با یک مثال عددی توضیح دهیم. تصور کنید یک صف به طول ده وسیله نقلیه سواری (جریان پایه) داشته باشیم که تأخیر کل آن برابر ۵۰ ثانیه باشد؛ در این صورت تأخیر متوسط به ازای هر وسیله نقلیه ۵ ثانیه خواهد بود. حال تصور کنید در همان صف از وسایل نقلیه (جریان مختلط)، ۸ وسیله نقلیه سواری و ۲ وسیله نقلیه سنگین داشته باشیم. در این صورت تأخیر کل وسایل نقلیه برابر ۷۰ ثانیه خواهد بود. بنابراین می‌توان اظهار داشت از آن جا که با اضافه شدن دو وسیله نقلیه سنگین تأخیر به اندازه ۲۰ ثانیه افزایش یافته است از این رو با اضافه شدن هر کامیون ۱۰ ثانیه اضافه تأخیر (Δd) بر جریان ترافیک اعمال می‌گردد.

$$50 \div 10 = 5$$

متوسط تأخیر به ازای هر وسیله در جریان پایه (d_0)

$$70 - 50 = 20$$

$$20 \div 2 = 10$$

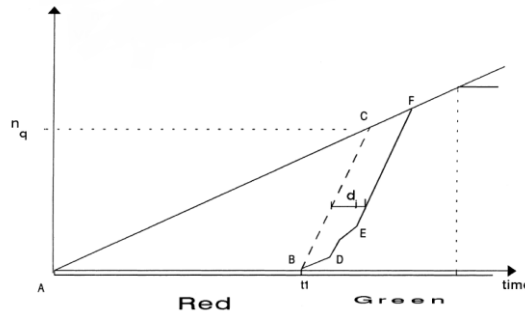
$$D - PCE = 1 + \frac{10}{5} = 3$$

میزان تأخیر اضافی در جریان مختلط

میزان تأخیر اضافی به ازای هر کامیون (Δd)

ضریب همسنگ سواری (PCE)

جهت درک بهتر روابط بالا، می‌توان از دیاگرام صف شکل ۸-۳ استفاده کرد. دیاگرام شکل ۸-۳ دیاگرامی است که تعداد تجمعی وسایل نقلیه ورودی و خروجی مربوط به آن تقاطع را برحسب زمان نشان می‌دهد. در دیاگرام صف شکل ۸-۳ پاره خط AC بیانگر جریان ورودی به تقاطع، پاره خط BC بیانگر جریان خروجی از تقاطع در جریان پایه و پلی گون BDEF بیانگر جریان خروجی از تقاطع در حالت جریان مختلط می‌باشد. همچنین در این دیاگرام، میزان تأخیر وسایل نقلیه در جریان پایه برابر با مساحت مثلث ABC می‌باشد. با حضور وسایل نقلیه سنگین در صف، جهت تعیین میزان پارامتر تأخیر وسایل نقلیه در جریان مختلط بایستی مساحت چندضلعی ABDEF را محاسبه نماییم. همچنین مساحت چندضلعی (BDEFC) بیانگر تأخیر اضافی ناشی از حضور وسایل نقلیه سنگین در صف می‌باشد؛ بنابراین متوسط تأخیر اضافی به ازای هر وسیله نقلیه سنگین برابر با رابطه زیر می‌باشد.



شکل ۸-۳. نمودار تشکیل و تخلیه صف [۱۰]

$$\Delta d = \frac{\sum \Delta d}{n_t} = \frac{A_{BDEFC}}{n_t} \quad (۴-۳)$$

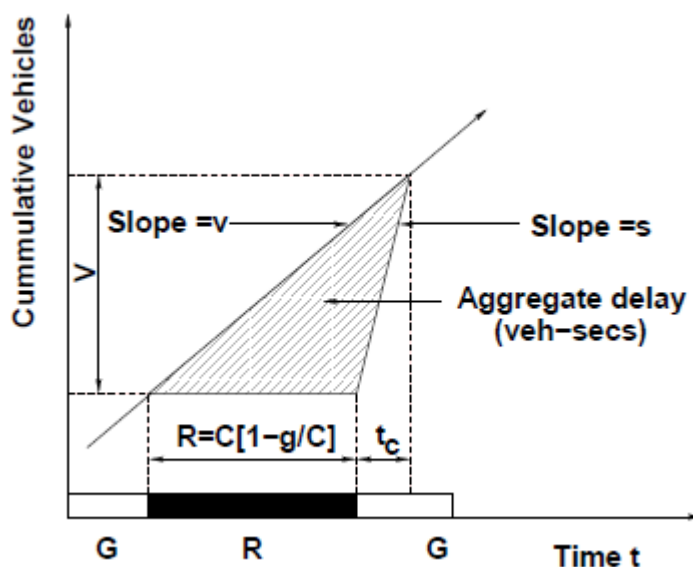
که در رابطه فوق $\sum \Delta d$ مجموع تأخیر اضافی ناشی از حضور وسایل نقلیه سنگین در صف در یک سیکل خاص و n_t تعداد وسایل نقلیه سنگین خروجی در همان سیکل می‌باشد.

۳-۵-۳ مروری بر مدل‌های محاسبه پارامتر d_0

همان طور که پیش‌تر توضیح داده شد یکی از پارامترهای اساسی جهت محاسبه ضریب همسنگ سواری با استفاده از روش D-PCE پارامتر تأخیر جریان پایه می‌باشد. این پارامتر از دو بخش تأخیر یکنواخت (d_1) و تأخیر تصادفی و غیریکنواخت (d_2) تشکیل شده است. رابطه مورد استفاده جهت تعیین پارامتر تأخیر یکنواخت در تمام آیین‌نامه‌ها رابطه اثبات شده توسط وبستر می‌باشد. همچنین رابطه مورد استفاده جهت تعیین پارامتر تأخیر تصادفی در آیین‌نامه‌های ترافیکی معتبر متفاوت می‌باشد. در ادامه به بیان روابط تأخیر یکنواخت و تأخیر تصادفی خواهیم پرداخت.

۳-۵-۳-۱ مدل وبستر (پارامتر تأخیر یکنواخت)

اولین مدل شاخص برآورد تأخیر، مدل وبستر است [۲۶، ۲۷]. نمودار شکل ۳-۹ به دیاگرام تأخیر-زمان شهرت دارد. مطابق با این نمودار وسایل نقلیه با نرخ ورودی v وارد رویکرد مربوطه از تقاطع می‌شوند.



شکل ۳-۹. نمودار تأخیر وسایل نقلیه در صف

همچنین همان طور که از نمودار شکل ۳-۹ پیداست، نرخ خروجی وسایل نقلیه در زمان قرمز صفر بوده و تنها در زمان سبز بودن چراغ نرخ تخلیه از تقاطع معنا پیدا می‌کند. سطح ایجاد شده از خطوط نرخ

^۱ Incremental delay

ورودی و نرخ خروجی بیان گر میزان پارامتر تأخیر^۱ ($D_0=TUD$) می باشد؛ بنابراین مجموع تأخیر تمام وسایل نقلیه برابر است با:

$$TUD = \frac{RV}{2} \quad (5-3)$$

که در رابطه ۵-۳، R زمان قرمز، V تعداد وسایل نقلیه ورودی به تقاطع در مدت زمان قرمز بودن چراغ می باشد. همچنین جهت تعیین این دو پارامتر (R, V) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} R &= C \left(1 - \frac{g}{c}\right) \\ V &= v(R + t_c) = st_c \end{aligned} \quad 6-3$$

از ترکیب دو رابطه فوق خواهیم داشت:

$$v \left(C \left(1 - \frac{g}{c}\right) + t_c \right) = st_c \rightarrow t_c(s - v) = vC \left(1 - \frac{g}{c}\right)$$

$$\begin{aligned} \frac{V}{s}(s - v) &= vC \left(1 - \frac{g}{c}\right) \rightarrow V \\ &= C \left(1 - \frac{g}{c}\right) \left(\frac{vs}{s - v}\right) \end{aligned} \quad 7-3$$

حال با قرار دادن دو رابطه (۶-۳) و (۷-۳) در رابطه (۷-۳) خواهیم داشت:

$$TUD = \frac{RV}{2} = \frac{1}{2} \left[C \left(1 - \frac{g}{c}\right) \right]^2 \left(\frac{vs}{s - v}\right)$$

رابطه فوق برابر مقدار عددی تاخیر به ازای تمام وسایل نقلیه عبوری در هر سیکل می باشد. جهت تعیین تاخیر به ازای هر وسیله نقلیه بایستی رابطه فوق را در عامل $\frac{1}{vC}$ ضرب نماییم:

$$UD = \frac{1}{2} \left[C \left(1 - \frac{g}{c}\right) \right]^2 \left(\frac{vs}{s - v}\right) \left(\frac{1}{vC}\right) = \frac{C \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{v}{s}\right)} = \frac{C \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{g}{c}x\right)}$$

^۱ Total uniform delay

بنابراین رابطه نهایی تأخیر یکنواخت مطابق با رابطه ۸-۳ خواهد بود:

$$\text{Uniform Delay} = \frac{C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{g}{C}x\right)} \quad (8-3)$$

۲-۳-۵-۳ مدل آیین نامه ظرفیت راه کانادا ۱۹۹۵ (تأخیر تصادفی)^۱

در آیین نامه ظرفیت راه کانادا تأخیر میانگین وسایل نقلیه به وسیله مدل های زیر پیشنهاد می شود [۲۸].

$$d = d_1 \times k_f + d_2 \quad (9-3)$$

در رابطه ۹-۳، d تأخیر ناشی از سیستم کنترل به ازای هر وسیله نقلیه (s/veh)، d_1 تأخیر یکنواخت برای هر وسیله نقلیه با فرض تقاضای یکنواخت (ورود یکنواخت)، k_f ضریب تعدیل پیشروی و d_2 تأخیر اضافی و اتفاقی است. جهت تعیین سه پارامتر این سه پارامتر به ترتیب از روابط شماره ۱۰-۳، ۱۱-۳ و ۱۲-۳ استفاده می کنیم.

$$d_1 = \frac{C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{g}{C}x\right)} \quad (10-3)$$

$$d_2 = 15t_e[x - 1] + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{24x}{c \cdot t_e}} \quad (11-3)$$

$$k_f = \frac{\left(1 - \frac{q_{gr}}{q}\right)f_p}{1 - \frac{g}{C}} \quad (12-3)$$

در روابط ۱۰-۳، ۱۱-۳ و ۱۲-۳، g زمان سبز، x درجه اشباع، C زمان دوره چراغ راهنمایی، t_e زمان ارزیابی و تحلیل، c ظرفیت (برحسب معادل سواری در ساعت بر خط)، f_p ضریب تعدیل برای وسایل نقلیه ای که به صورت دوره ای به تقاطع می رسند، q_{gr} درصد وسایل نقلیه ای که در فاز سبز به تقاطع برسند و k_f ضریب تعدیل پیشروی می باشد.

^۱ Incremental delay

۳-۳-۵-۳ مدل آیین نامه استرالیا (۱۹۸۰)

آیین نامه استرالیا که نتیجه فعالیت‌های اکلیک و دیگران بود، جهت محاسبه تأخیر میانگین وسایل نقلیه در حالت فوق اشباع، روابط ۳-۱۳، ۳-۱۴ و ۳-۱۵ را پیشنهاد می‌دهد [24].

$$d = d_1 + d_2 \quad (۱۳-۳)$$

$$d_1 = C \frac{(1 - \frac{sg}{C})}{2} \quad (۱۴-۳)$$

$$d_2 = \frac{T}{4} [(x - 1)] + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{12(x - x_0)}{cT}} \quad (۱۵-۳)$$

$$x_0 = 0.67 + \left(\frac{sg}{600}\right)$$

که در روابط ۳-۱۳، ۳-۱۴ و ۳-۱۵ d تأخیر ناشی از سیستم کنترل به ازای هر وسیله نقلیه (s/veh)، d_1 تأخیر یکنواخت برای هر وسیله نقلیه با فرض تقاضای یکنواخت (ورود یکنواخت) و d_2 تأخیر اضافی، C زمان دوره چراغ راهنمایی، T مدت زمان تحلیل تقاطع، x درجه اشباع، c ظرفیت خط (برحسب معادل سواری بر ساعت بر خط) و s نرخ جریان اشباع می‌باشد.

۳-۳-۵-۴ مدل آیین نامه ظرفیت بزرگراه‌های آمریکا (HCM2000,2010)

پس از انتشار این آیین نامه در سال ۱۹۹۴ تحقیقات زیادی برای ارزیابی تغییرات محاسبه تأخیر انجام شد. دانیل و همکاران در سال ۱۹۹۶ اثرات ورود اتفاقی وسایل نقلیه را جایگزین فرض عدم ورود اتفاقی وسایل نقلیه مورد بررسی قرار دادند. براون و ایوان و دریودروس و کوگا در سال ۱۹۹۶ مدل‌های تأخیر این آیین نامه در سال ۱۹۸۵ و سال ۱۹۹۴ را با برداشت‌های میدانی مقایسه کردند؛ و همچنین در یک تحقیق دیگر اکلیک با بسط ضریب تعدیل پیشروی مدل سال ۱۹۹۴، تخمینی از طول صف ارائه داد. فامبر و رافائل در سال ۱۹۹۷ نهایتاً با پیشنهاد یک مدل عمومی برای محاسبه تأخیر، تصحیحاتی را در مدل سال ۱۹۹۴ اعمال کردند که این اصلاحات اعمال شده است. در این آیین نامه تأخیر میانگین وسایل نقلیه، به وسیله معادلات زیر محاسبه می‌شود. [۱، ۴]

$$d = d_1 + d_2 \quad (۱۶-۳)$$

$$d_1 = 0.5c \frac{(1 - \frac{g}{C})^2}{(1 - \min(1, x) \frac{g}{C})} \quad (۱۷-۳)$$

$$d_2 = 900T[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8kIx}{cT}}] \quad (۱۸-۳)$$

که در روابط ۱۶-۳، ۱۷-۳ و ۱۸-۳، d تأخیر ناشی از سیستم کنترل برای هر وسیله نقلیه (برحسب ثانیه بر وسیله)، d_1 تأخیر یکنواخت برای هر وسیله نقلیه با فرض تقاضای یکنواخت (ورود یکنواخت) و d_2 تأخیر اتفاقی و اضافی ناشی از تغییرات در نرخ جریان ورودی (ورودی‌های اتفاقی) و همچنین تأخیر ناشی از عدم امکان تخلیه تمامی جریان ورودی در دوره مربوطه به علت وجود جریان بیش از ظرفیت (جریان فوق اشباع)، C ظرفیت تقاطع، C زمان دوره چراغ راهنمایی، x درجه اشباع تقاطع (v/c) ، T زمان تحلیل تقاطع، g زمان سبز مؤثر، k ضریب تأخیر اضافی (وابسته به وضعیت کنترل چراغ راهنمایی) که برای چراغ‌های بازمان بندی از پیش تعیین شده عدد ۰٫۵ در نظر گرفته می‌شود و در نهایت I زمان پیمایش نسبت به چراغ راهنمایی بالا دست می‌باشد که برای تقاطعات منفرد برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۵-۳-۵ مدل تأخیر نصیری و همکاران

طی پژوهش انجام شده توسط مرکز مطالعات و تحقیقات حمل‌ونقل دانشگاه صنعتی شریف در سال ۱۳۷۵ (نصیری و همکارانش) با بررسی چند مدل پیشنهادی جهت برآورد تأخیر تقاطعات چراغ‌دار و مقایسه آن با شرایط میدانی، مدل مناسبی برای برآورد تأخیر تقاطعات چراغ‌دار در حالت فوق اشباع پیشنهاد گردید. همچنین در این پژوهش ذکر گردیده است که از میان ۲۰ مدل بررسی شده، تنها سه مدل، برازش معنی دار به آمار جمع آوری شده داشتند که این سه مدل در ادامه آورده شده است [۲۹].

$$d = d_1 + d_2 = \frac{(C - g_e)}{2} + a(x - 1) \quad (19-3)$$

$$d = d_1 + d_2 = \frac{(C - g_e)}{2} + ax^4 \quad (20-3)$$

$$d = d_1 + d_2 = \frac{(C - g_e)}{2} + a[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{4x}{c}}] \quad (21-3)$$

در روابط ۱۹-۳، ۲۰-۳ و ۲۱-۳، d تأخیر ناشی از سیستم کنترل به ازای هر وسیله نقلیه (s/veh)، d_1 تأخیر یکنواخت برای هر وسیله نقلیه با فرض تقاضای یکنواخت (ورود یکنواخت)، d_2 تأخیر اضافی، x درجه اشباع تقاطع، C طول چرخه کامل چراغ راهنمایی بر حسب ثانیه، g_e مدت زمان سبز مؤثر بر حسب ثانیه، c ظرفیت تقاطع ($Veh/h/lane$) و a ضریب ثابت عددی بوده که مقدار آن برابر ۲۲۲٫۶۸ می‌باشد. لازم به ذکر است از میان سه رابطه کالیبره شده بر اساس شرایط ایران، رابطه شماره ۲۱-۳ به جهت داشتن ضریب همبستگی بالاتر، در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همان طور که ذکر شد تأخیر در جریان پایه (d_0) از مجموع دو پارامتر d_1 و d_2 تشکیل شده است. نکته قابل توجه این است که در هر دو رابطه (HCM2010 و نصیری) پارامتر d_1 همان رابطه اثبات شده توسط وبستر می‌باشد و مقادیر عددی پارامتر d_1 با استفاده از هر دو روش در حالت فوق اشباع ($x \geq 1$) برابر می‌باشند. در ادامه اثبات برابری پارامتر d_1 در هر دو روش (نصیری و HCM2010) آورده شده است:

$$d_1 = 0.5c \frac{(1 - \frac{g}{C})^2}{(1 - \min(1, x) \frac{g}{C})} \rightarrow d_1 = .5c \frac{(1 - \frac{g}{C})^2}{(1 - \frac{g}{C})} = 0.5c \left(1 - \frac{g}{C}\right) = 0.5c \left(\frac{C - g}{C}\right) = 0.5c \left(\frac{R}{C}\right) = \frac{R}{2}$$

۳-۵-۴ مدل برآورد پارامتر تأخیر اضافی (Δd)

در این قسمت قصد داریم به بیان روابط و پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین تأخیر اضافی (Δd) را پردازیم. این پارامتر عبارت است از تأخیری که با اضافه شدن هر وسیله نقلیه سنگین به جریان ترافیک، بر حسب ثانیه به جریان ترافیک اضافه می‌شود. همچنین مقدار این پارامتر عبارت است از تفاضل تأخیر در جریان مختلط و جریان پایه تقسیم بر تعداد وسایل نقلیه سنگین عبوری. لازم به ذکر است رابطه شماره ۲-۳ نیز شکل دیگری از رابطه شماره ۲۲-۳ بوده با این تفاوت که رابطه شماره ۲-۳ جهت محاسبه (Δd) با استفاده از خروجی نرم افزار (D_0, D_t) و رابطه شماره ۲۲-۳ جهت محاسبه (Δd) به وسیله محاسبات دستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در رابطه شماره ۲-۳، D_t تأخیر کل در جریان مختلط، D_0 تأخیر کل در جریان پایه، V_t حجم وسایل سنگین موجود در جریان مختلط (وسیله بر ساعت) می‌باشد. همچنین در رابطه شماره ۲۲-۳، h_k^t سرفاصله وسیله نقلیه k ام در جریان مختلط، h_k^o سرفاصله وسیله نقلیه k ام در جریان پایه، p موقعیت اولین وسیله نقلیه در صف و m موقعیت آخرین وسیله نقلیه در صف می‌باشد.

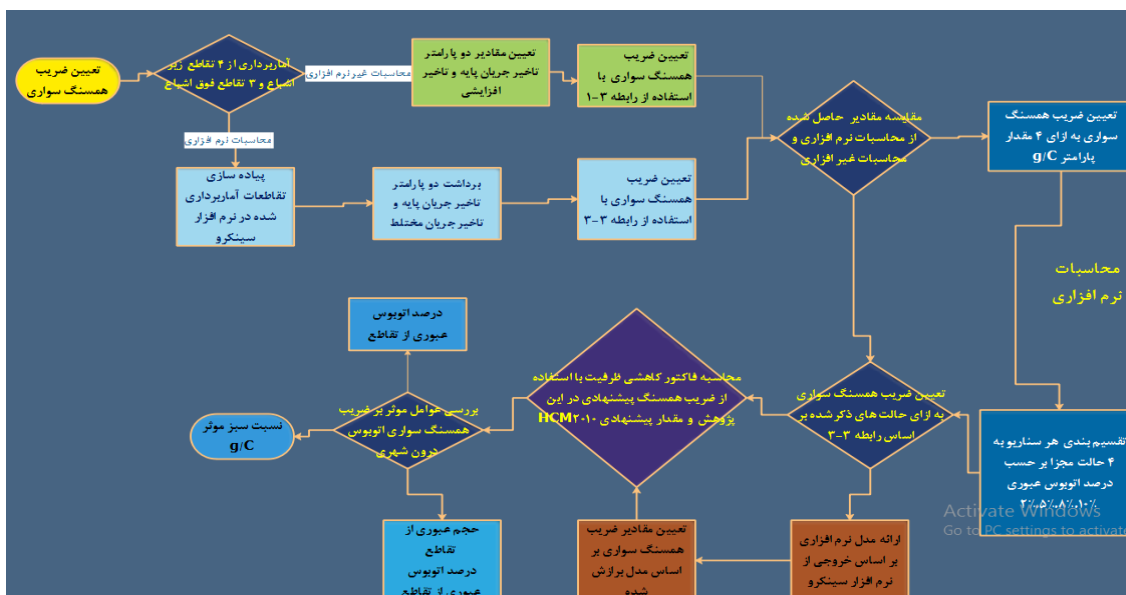
۲۲-۳

$$\Delta d = \sum_{j=p}^m \sum_{k=p}^m (h_k^t - h_k^o)$$

فصل ۴ : تحلیلی نتیج

۴-۱ محاسبه ضریب همسنگ بر مبنای پارامتر تأخیر

همان طور که در فصل گذشته ذکر شد رابطه اصلی جهت محاسبه پارامتر ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری، رابطه مبتنی بر پارامتر تأخیر (رابطه ۳-۱) می‌باشد. بر اساس این رابطه دو پارامتر تأخیر پایه d_0 (تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه در جریان تنها شامل خودروی سواری (جریان پایه)) و اضافه تأخیر ناشی از حضور اتوبوس درون شهری در تقاطعات چراغ‌دار (Δd) بایستی محاسبه گردیده و در نهایت ضریب همسنگ سواری بر اساس دو پارامتر مذکور محاسبه می‌گردد. در فصل ۳ به بررسی روابط مورد استفاده جهت تعیین ضریب همسنگ سواری اشاره کردیم. در این فصل قصد داریم با استفاده از روابط بررسی شده در فصل ۳، مقدار عددی این دو پارامتر را محاسبه نماییم. از این رو در بخش اول این فصل پارامتر تأخیر وسایل نقلیه در جریان پایه (d_0) محاسبه گردیده است. همچنین بخش دوم این فصل به محاسبه پارامتر تأخیر اضافی Δd اختصاص داده شده است. در بخش سوم مقادیر عددی ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری با استفاده از رابطه (۳-۱) پیشنهاد داده شده است (محاسبات غیر نرم افزاری). بخش چهارم به محاسبه ضرایب همسنگ بر اساس خروجی پارامتر تأخیر تقاطعات پیاده‌سازی شده (تقاطع‌های آماربرداری شده) در نرم افزار سینکرو پرداخته شده و در نهایت مقادیر به دست آمده با استفاده از خروجی نرم افزار با مقادیر به دست آمده در محاسبات غیر نرم افزاری مقایسه گردیده است. در بخش پنجم نیز جهت بسط نتایج به سایر شرایط به محاسبه ضرایب همسنگ سواری به ازای درصدهای بیشتری از اتوبوس‌های درون شهری (۰.۲٪، ۰.۵٪، ۰.۸٪ و ۱.۰٪) و همچنین مقادیر مختلفی از پارامتر نسبت سبز مؤثر (۰.۲۵-۰.۳-۰.۳۵-۰.۴) پرداخته شده است. در بخش ششم نیز یک مدل نرم افزاری بر اساس خروجی‌های نرم افزار ارائه خواهد شد. همچنین در ادامه فلوچارت شکل ۴-۱ مراحل محاسبه ضریب همسنگ سواری ارائه شده است:



شکل ۴-۱. فلوجارت روند انجام محاسبات نرم افزاری و غیر نرم افزاری

۴-۱-۱-۱ محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین پارامتر تأخیر پایه:

در فصل قبلی روابط آیین نامه کانادا، استرالیا، HCM2010 و نیز رابطه کالیبره شده نصیری متناسب با شرایط ایران جهت محاسبه تأخیر وسایل نقلیه در جریان پایه ارائه گردید. در این پژوهش روابط به کاررفته جهت تعیین پارامتر d_0 رابطه آیین نامه HCM2010 (۳-۱۶، ۳-۱۷ و ۳-۱۸) و رابطه ارائه شده توسط دکتر نصیری و همکاران (۳-۲۱) می باشد. در این بخش قصد داریم به محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین پارامتر d_0 بر اساس دو رابطه مذکور بپردازیم. این پارامترهای مورد نیاز عبارتند از ظرفیت تقاطعات (C)، نسبت سبز مؤثر (g/C)، درجه اشباع (x)، زمان تحلیل تقاطع مورد نظر (T)، سرفاصله زمانی وسایل نقلیه در جریان پایه.

۴-۱-۱-۱ سر فاصله زمانی وسایل نقلیه در جریان پایه

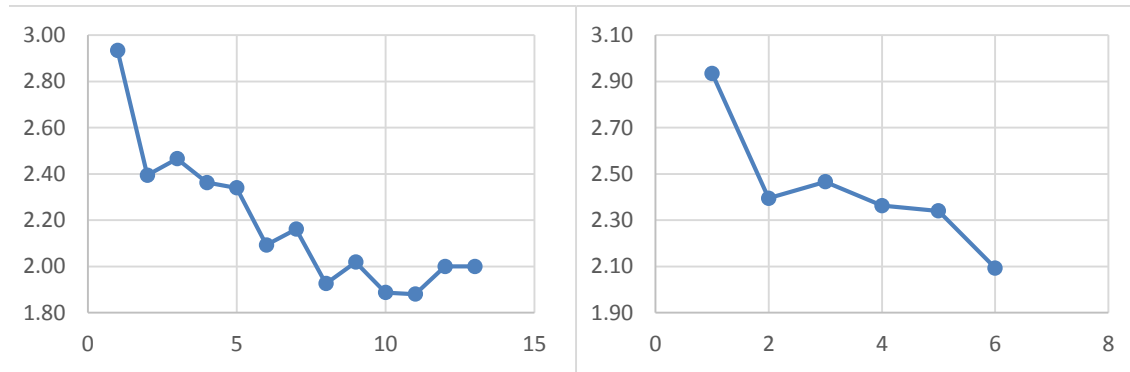
پس از انتخاب تقاطعات جهت آمارگیری و برداشت داده‌ها، اقدام به برداشت پارامترهای ترافیکی تقاطع گردید. سرفاصله زمانی وسایل نقلیه عبوری از خط توقف تقاطع، یکی از پارامترهای ترافیکی برداشت شده می‌باشد. لازم به ذکر است سر فاصله وسایل نقلیه بر اساس موقعیت آن‌ها در صف متغیر می‌باشد؛ به‌عنوان مثال وسایل نقلیه موجود در موقعیت‌های ابتدایی صف (وسایل نزدیک‌تر به خط توقف) نسبت به وسایل نقلیه موجود در موقعیت‌های انتهایی صف سرفاصله زمانی بیشتری خواهند داشت. جداول ۴-۱ و ۴-۲ شامل سر فاصله زمانی وسایل نقلیه بر حسب موقعیت آن‌ها در صف به تفکیک هر تقاطع می‌باشند. در نمودارهای شکل ۴-۲ تا ۴-۵ سر فاصله زمانی وسایل نقلیه سواری بر حسب موقعیت وسیله در صف ترسیم شده است. همچنین با کمی دقت در این نمودارها مشاهده می‌شود تغییرات سر فاصله با حرکت از موقعیت اول در صف به سمت موقعیت آخر در صف با یک روند نزولی همراه می‌باشد. همچنین ذکر این نکته ضروری است که سر فاصله وسیله نقلیه در موقعیت P ام صف (P آمین وسیله از خط توقف) حاصل میانگین سرفاصله وسیله P ام به ازای سیکل‌های متعدد می‌باشد.

جدول ۴-۱ سرفاصله وسایل نقلیه بر اساس موقعیت آن‌ها در صف (جریان فوق اشباع)

تقاطع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
کامیاب	۲,۳۳	۲,۷۶	۲	۱,۹۷	۲,۲۵	۲,۰۳	۱,۶۴	۲,۰۷	۱,۹۷	۱,۷۰	۱,۹۶	۲	
خیام سجاد	۲,۹۳	۲,۳۹	۲,۴۷	۲,۳۶	۲,۳۴	۲,۰۹	۲,۱۶	۱,۹۳	۲,۰۲	۱,۸۹	۱,۸۸	۲,۰۰	۲,۰۰
جمهوری - کوشش	۲,۴۶	۲,۶۵	۲,۶۱	۲,۷۴	۲,۳۵	۱,۹۸	۱,۹۴	۱,۹۹	۱,۹۲	۲,۰۳	۲,۱۱	۱,۸۰	۱,۵۸

جدول ۴-۲ سرفاصله وسایل نقلیه بر اساس موقعیت آن‌ها در صف (جریان زیر اشباع)

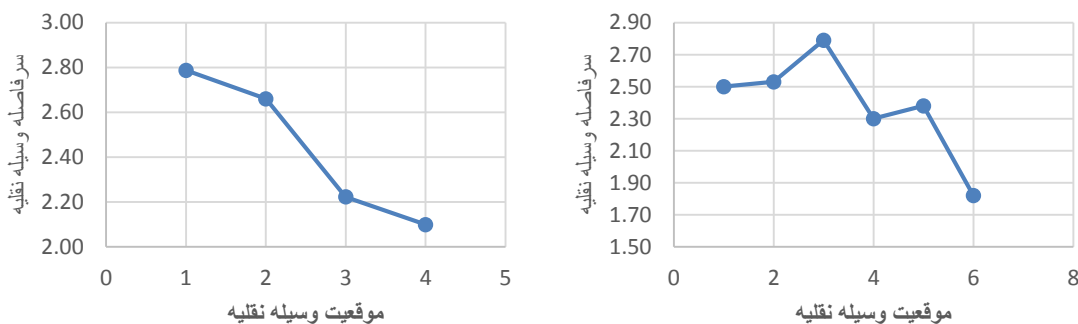
تقاطع	۱	۲	۳	۴	۵	۶
شاهد	۲,۷۹	۲,۶۶	۲,۲۲	۲,۱۰		
دانشجو - معلم	۲,۵۰	۲,۵۳	۲,۷۹	۲,۳۰	۲,۳۸	۱,۸۲
خیام سجاد	۲,۹۳	۲,۳۹	۲,۴۷	۲,۳۶	۲,۳۴	۲,۰۹
جمهوری - کوشش	۲,۴۶	۲,۶۵	۲,۶۱	۲,۷۴	۲,۳۵	۱,۹۸



سرفاصله وسایل نقلیه سواری در جریان پایه بر اساس موقعیت هر وسيله در صف - تقاطع خیام-سجاد (فوق اشباع) a

سرفاصله وسایل نقلیه سواری در جریان پایه بر اساس موقعیت هر وسيله در صف - تقاطع خیام-سجاد (زیر اشباع) b

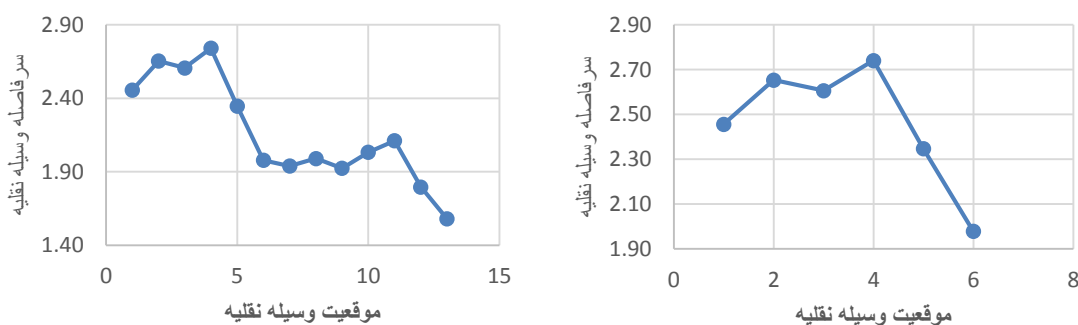
شکل ۲-۴ نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آن‌ها در صف



سرفاصله وسایل نقلیه سواری در جریان پایه بر اساس موقعیت هر وسيله در صف - تقاطع شاهد امامیه - زیر اشباع a)

سرفاصله وسایل نقلیه سواری در جریان پایه بر اساس موقعیت هر وسيله در صف - تقاطع دانشجو - معلم (زیر اشباع) (b)

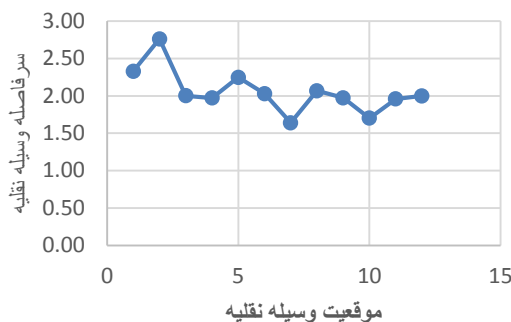
شکل ۳-۴ نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آن‌ها در صف



سرفاصله وسایل نقلیه سواری در جریان پایه بر اساس موقعیت هر وسيله در صف - تقاطع جمهوری - کوشش (فوق اشباع) (a)

سرفاصله وسایل نقلیه سواری در جریان پایه بر اساس موقعیت هر وسيله در صف - تقاطع جمهوری - کوشش (زیر اشباع) (b)

شکل ۴-۴ نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آن‌ها در صف



شکل ۴-۵ نمودار سرفاصله زمانی وسایل نقلیه موجود در صف بر حسب موقعیت آن‌ها در صف (کامیاب -عبادی فوق اشباع)

۴-۱-۱-۲ محاسبه ظرفیت تقاطعات آماربرداری شده و درجه اشباع

پارامتر ظرفیت تقاطع (C) نیز یکی دیگر از پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تأخیر در جریان پایه (d₀) می‌باشد.

$$C = \frac{g}{c} \times S \quad (۱-۴)$$

که در رابطه فوق C ظرفیت هر خط عبوری از تقاطع (Veh/h/lane)، $\frac{g}{c}$ نسبت سبز مؤثر (s) و S پارامتر نرخ جریان اشباع (Veh/h/lane) می‌باشد. از این رو با توجه با رابطه ۴-۱ بایستی جهت تعیین پارامتر ظرفیت تقاطع (C)، دو پارامتر g/c و نرخ جریان اشباع را محاسبه نماییم. مقادیر پارامتر g/c برای هر تقاطع در جدول (۴-۳) ارائه شده است. همچنین جهت محاسبه سرفاصله زمانی اشباع از رابطه زیر استفاده شده است [۱]:

$$H_s = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=5}^{n_i} H_{ij}}{\sum_{i=1}^m n_i - 4} \quad (۲-۴)$$

در رابطه ۴-۲، H_s سرفاصله اشباع، H_{ij} سرفاصله وسیله i ام در سیکل j ام، n_i تعداد وسیله‌های موجود در صف در سیکل i ام و m تعداد کل سیکل‌های موجود در طول دوره آماربرداری می‌باشد. بنابراین جهت محاسبه سرفاصله اشباع (H_s) بایستی از سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه در سیکل‌های گوناگون در هر تقاطع استفاده نماییم. مقادیر این پارامتر به تفکیک هر تقاطع در جدول (۴-۳) آورده شده است که با کمی دقت در مقادیر این پارامتر در می‌یابیم مقدار این پارامتر حول عدد ۲ ثانیه نوسان می‌کند.

۴-۱-۲ محاسبه درجه اشباع تقاطعات آماربرداری شده:

درجه اشباع تقاطعات نیز یکی دیگر از پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تأخیر در جریان پایه d_0 می‌باشد. این پارامتر از تقسیم پارامتر حجم عبوری از تقاطع (V) بر پارامتر ظرفیت تقاطع (C) به دست می‌آید. همچنین پارامتر درجه اشباع برای هر تقاطع به تفکیک در جدول ۴-۳ ارائه شده است. همان طور که از جدول ۴-۳ قابل مشاهده است، تقاطعاتی با درجه اشباع بیشتر از یک ($v/c > 1$) فوق اشباع و تقاطعاتی با درجه اشباع کمتر از یک ($v/c < 1$) زیر اشباع محسوب می‌شوند.

جدول ۴-۳: درجه اشباع تقاطعات آماربرداری شده

درجه اشباع $X = \frac{V}{C}$	حجم عبوری (Veh /h/lane)	ظرفیت تقاطع (Veh /h/lane) $C = S \times \frac{g}{c}$	نسبت سبز مؤثر (s) g/c	نرخ جریان اشباع هر خط S	سرفاصله اشباع H_s	رژیم تقاطع (زیراشباع / فوق اشباع)	تقاطع
۱,۲۰	۳۷۵	۳۱۰	۰,۱۸	۱۷۲۲	۲,۰۹	فوق اشباع	خیام - سجاد
۱,۱۷	۳۳۵	۲۸۶	۰,۱۶	۱۷۹۱	۲,۰۱	فوق اشباع	چهارراه راه کامیاب-عبادی
۱,۱۴	۳۴۷	۳۰۲	۰,۱۸	۱۶۸۱	۲,۱۴	فوق اشباع	چهارراه جمهوری - کوشش (یک ساعته اول)
۱,۱۳	۳۲۳	۲۸۵	۰,۱۷	۱۶۸۱	۲,۱۴	فوق اشباع	چهارراه جمهوری - کوشش (یک ساعته دوم)
۰,۵۶	۲۸۰	۵۰۴	۰,۲۸	۱۸۰۰	۲	زیر اشباع	شاهد امامیه
۰,۹۷	۳۰۰	۳۰۶	۰,۱۷	۱۸۰۰	۲	زیر اشباع	معلم دانشجو
۰,۹۳	۲۶۲	۲۷۶	۰,۱۶	۱۷۲۲	۲,۰۹	زیر اشباع	خیام سجاد
۰,۸۲	۳۰۵	۳۷۰	۰,۲۲	۱۶۸۱	۲,۱۴	زیر اشباع	چهارراه جمهوری - کوشش

۴-۲ محاسبه پارامتر تأخیر جریان پایه:

در این بخش قصد داریم به محاسبه پارامتر تأخیر جریان پایه بپردازیم. همان طور که در گذشته ذکر شد در این پژوهش دو رابطه جهت محاسبه این پارامتر مورد استفاده قرار گرفته است.

الف) رابطه HCM2010 (ب) رابطه دکتر نصیری و همکاران

در جدول شماره ۴-۴ پارامتر تأخیر یکنواخت d_1 و تأخیر تصادفی d_2 برای هر تقاطع به تفکیک محاسبه گردیده و در نهایت تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه در جریان پایه (d_0) با جمع عددی دو پارامتر d_1 و d_2

حاصل خواهد شد. همچنین با دقت در مقادیر پارامتر d_{1HCM} (به دست آمده توسط رابطه HCM) و $d_{1nasiri}$ (به دست آمده توسط رابطه نصیری) در می‌یابیم مقدار این دو پارامتر (d_{1HCM} و $d_{1nasiri}$) در جریان‌های فوق اشباع با هم برابر می‌باشند. در فصل گذشته اثبات این برابری آورده شده است. همچنین مقدار پارامتر تأخیر تصادفی (d_2) به دست آمده در جریان‌های زیر اشباع نزدیک به صفر بوده چرا که در جریان‌های زیر اشباع عموماً تقاطع پس از اتمام زمان سبز به‌طور کامل تخلیه می‌گردد و اختلاف این پارامتر در هر دو روش نصیری و HCM2010 ناچیز و نزدیک به صفر می‌باشد. اگر چه در جریان‌های فوق اشباع اختلاف این پارامتر مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌باشد.

جدول ۴-۴ محاسبه تأخیر پایه تقاطعات بر اساس دو رابطه HCM2010 و نصیری

$d_0=d_1+d_2$ HCM	$d_0=d_1+d_2$ nasiri	d_2 HCM	d_2 nasiri	d_{1HCM}	$d_{1nasiri}$	تقاطع
۹۹	۱۶۱	۳۵	۹۷	۶۴	۶۴	خیام - سجاد
۹۴	۱۵۱	۲۸	۸۵	۶۶	۶۶	چهارراه راه کامیاب-عبادی
۸۱	۱۲۳	۱۶	۵۸	۶۵	۶۵	چهارراه جمهوری - کوشش (یک ساعته اول)
۶۶	۱۱۹	۱۳	۶۶	۵۳	۵۳	چهارراه جمهوری - کوشش (یک ساعته دوم)
۳۴	۳۸	۳	۱	۳۱	۳۷	شاهد امامیه
۶۸	۷۹	۸	۱۹	۶۰	۶۰	معلم دانشجو
۵۵	۶۴	۷	۱۵	۴۸	۴۹.۵	خیام سجاد
۴۵	۴۶	۶	۵	۳۹	۴۱	چهارراه جمهوری - کوشش

۳-۴ تعیین پارامتر تأخیر اضافی (Δd)

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد پارامتر (Δd) یکی از دو پارامتر اساسی جهت محاسبه ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری (D-PCE) می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد طبق این روش (D-PCE)، ضریب همسنگ اتوبوس در یک تقاطع حاصل میانگین وزنی تمام ضرایب همسنگ اتوبوس‌هایی است

که در دوره آماربرداری از تقاطع عبور می‌کنند. ما در این بخش به شیوه محاسبه تأخیر اضافی تنها یکی از اتوبوس‌های خروجی از تقاطع می‌پردازیم. همان طور که در بخش ۳-۵-۴ ذکر گردید جهت محاسبه پارامتر (Δd) بایستی از رابطه شماره ۳-۲۲ استفاده کنیم. در جدول ۴-۵ در ردیف ۱ و ۲، سر فاصله زمانی ۱۰ وسیله نقلیه در دو جریان پایه و مختلط ارائه شده است. همچنین در ردیف ۳ جدول، مقادیر سر فاصله زمانی در هر موقعیت از جریان پایه از مقادیر سر فاصله زمانی در همان موقعیت از جریان مختلط کسر می‌گردد. در ردیف ۴ جدول نیز تأخیری که هر وسیله نقلیه ناشی از حضور اتوبوس تجربه می‌کند، محاسبه گردیده است. همچنین این مقدار برای وسایل نقلیه موجود در موقعیت ۱ و ۲ صفر می‌باشد؛ به این علت که اتوبوس وسیله نقلیه سوم بوده و پشت سر این دو وسیله (وسيله نقلیه موقعیت ۱ و ۲) حرکت کرده و در نتیجه تأخیر ناشی از حضور اتوبوس بر روی این دو وسیله اعمال نشده است. در نهایت در ردیف ۵ جدول مقادیر تأخیر اعمال شده ناشی از حضور اتوبوس بر روی تمام وسایل با هم جمع می‌شود که در این جا عدد ۱۴ ثانیه به دست آمده است. عدد مذکور بدین معناست که مقدار پارامتر (Δd) ناشی از حضور یک اتوبوس در صف در سیکل خروجی از تقاطع مقدار ۱۴ ثانیه می‌باشد. از آنجا که اتوبوس مورد نظر در حدود ۵ سیکل دیگر در تقاطع حضور دارد، تأخیر اضافی ایجاد شده در سایر ۵ سیکل دیگر برابر با ۱۱۸ ثانیه می‌باشد. از این رو مجموع تأخیر اضافی اتوبوس از لحظه ورود به تقاطع تا لحظه خروج از تقاطع برابر ۱۳۲ ثانیه می‌باشد. شایان ذکر است از آنجا که مبنای محاسبه پارامتر تأخیر اضافی (Δd) محاسبه اختلاف سرفاصله وسایل نقلیه در دو جریان پایه و جریان مختلط می‌باشد؛ از این رو در این پژوهش سرفاصله وسایل نقلیه (اولین وسیله نقلیه در صف تا آخرین وسیله نقلیه در صف) در تمام سیکل‌هایی که اتوبوس از تقاطع عبور می‌نماید اندازه‌گیری شده است.

جدول ۴-۵ تأخیر اضافی (Δd) ایجاد شده توسط اتوبوس در وسایل نقلیه موجود در صف

	Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
۱	h_k^0	2.93	2.39	3.99	2.73	2.06	2.32	2.05	1.98	2.15	1.88
۲	h_k^t	2.93	2.39	2.47	2.36	2.34	2.09	2.16	1.93	2.02	1.89
۳	$t_i = h_k^t - h_k^0$	0.00	0.00	1.52	0.36	-0.28	0.22	-0.11	0.05	0.13	-0.01
۴	$\sum_{k=1}^{10} (h_k^t - h_k^0)$	0.00	0.00	1.52	1.88	1.60	1.82	1.71	1.76	1.89	1.88
۵	$\Delta d = \sum_{j=p}^m \sum_{k=p}^m (h_k^t - h_k^0)$	0.00+0.00+1.52+1.88+1.60+1.82+1.71+1.76+1.89+1.88=14S									

۴-۴ تعیین مقادیر عددی ضریب همسنگ سواری با استفاده از دو پارامتر Δd و d_0 (محاسبات دستی)

در این بخش قصد داریم تا با استفاده از پارامترهای (Δd) و (d_0) محاسبه شده در قسمت قبل، اقدام به محاسبه ضریب همسنگ سواری بر مبنای پارامتر تأخیر نماییم. برای این منظور از رابطه (۳-۱) می‌باشد. لازم به ذکر است مقدار پیشنهادی ضریب همسنگ نهایی اتوبوس در هر تقاطع در روش D-PCE با میانگین‌گیری از ضریب همسنگ تمام اتوبوس‌های عبوری در دوره آماربرداری (بازه ۲ ساعته) می‌باشد. در این قسمت به محاسبه ضریب همسنگ سواری تنها یکی از اتوبوس‌های عبوری از تقاطع خیام - سجاد پرداخته و ضریب همسنگ سایر اتوبوس‌ها در سایر موقعیت‌های (P_1, P_2, \dots) در جدول‌های قسمت ضمیمه آورده شده است.

حال با توجه به مقدار پارامتر تأخیر اضافی به دست آمده در قسمت ۴-۳ $(\Delta d = 132s)$ و همچنین پارامتر تأخیر در جریان پایه (d_0) مطابق جدول ۴-۴ مقدار ضریب همسنگ برای اتوبوس عبوری عبارت است از :

$$D - PCE = 1 + \frac{132}{161} = 1.81$$

ضریب همسنگ با استفاده از رابطه تأخیر پایه نصیری

$$D - PCE = 1 + \frac{132}{99} = 2.33$$

ضریب همسنگ با استفاده از رابطه تأخیر پایه

HCM2010

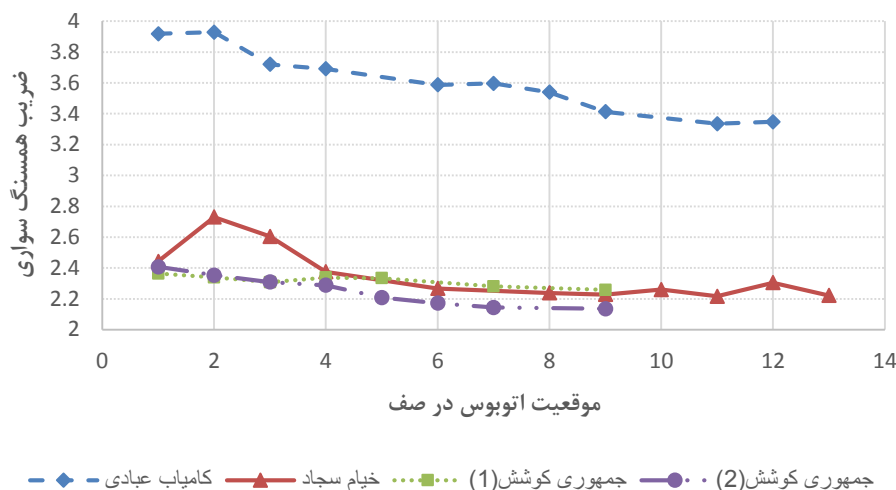
در جدول ۴-۶ مقادیر ضریب همسنگ سواری پیشنهادی با استفاده از دو روش گوناگون (استفاده از دو رابطه نصیری و HCM ۲۰۱۰) ارائه شده است. از آنجا که جهت محاسبه پارامترتأخیر در جریان پایه (d₀) از دو رابطه نصیری (۳-۲۱) و HCM2010 (۳-۱۶، ۳-۱۷، ۳-۱۸) استفاده شده است از این رو دو مقدار مجزا برای ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری در هر تقاطع پیشنهاد گردیده است. همان طور که از جدول ۴-۶ قابل مشاهده است ضریب همسنگ تقاطعات زیر اشباع با اختلاف قابل توجهی نسبت به ضریب همسنگ تقاطعات فوق اشباع کمتر می‌باشد. علت این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در تقاطعات زیر اشباع اتوبوس تنها در یک سیکل در تقاطع حضور دارد و در تقاطعات فوق اشباع اتوبوس در بیش از یک سیکل در تقاطع حضور دارد. همچنین با دقت در مقادیر عددی ضرایب همسنگ سواری تقاطع خیام - سجاد و تقاطع کامیاب - عبادی متوجه این موضوع می‌شویم که تقاطع خیام - سجاد با درجه اشباع ۱,۲۰ دارای ضریب همسنگ ۲,۳۵ و تقاطع کامیاب - عبادی با درجه اشباع ۱,۱۷ دارای ضریب همسنگ ۳,۶۶ می‌باشد. علت این اختلاف را علیرغم بیشتر بودن درجه اشباع تقاطع خیام سجاد می‌توان با دقت در تعداد اتوبوس‌های موجود در موقعیت‌های ابتدایی صف توجیه نمود. به‌عنوان نمونه تعداد اتوبوس‌های موجود در موقعیت اول در تقاطع خیام - سجاد (طول صف ۱۰) در بازه آماربرداری ۲ ساعته یک بوده؛ این در حالی است که این مقدار برای تقاطع کامیاب - عبادی (طول صف ۱۰,۲) عدد ۵ می‌باشد.

جدول ۴-۶. مقادیر ضریب همسنگ سواری با استفاده از دو روش محاسبه تأخیر پایه (d₀)

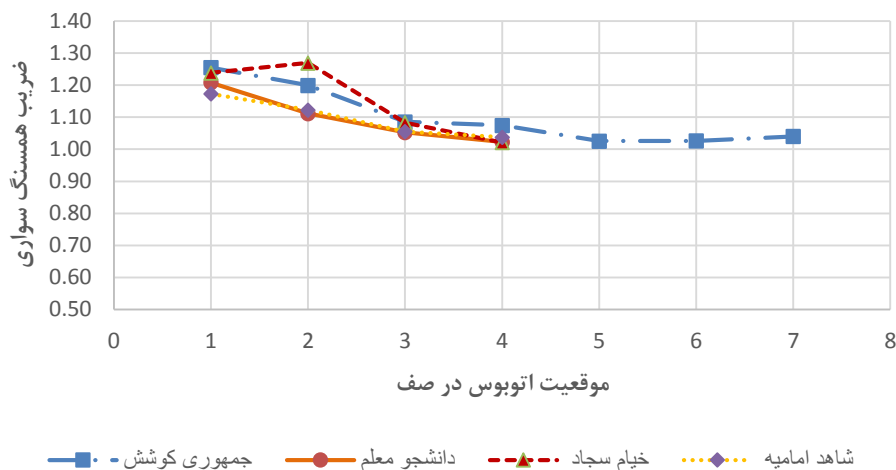
تقاطع منتخب	خیام سجاد	کامیاب - عبادی	جمهوری - کوشش یک ساعت اول	جمهوری - کوشش یک ساعت دوم	خیام سجاد	دانشجو- معلم	جمهوری - کوشش	شاهد امامیه
نوع رژیم تقاطع	فوق اشباع	فوق اشباع	فوق اشباع	فوق اشباع	زیر اشباع	زیر اشباع	زیر اشباع	زیر اشباع
HCM	۲,۳۵	۳,۶۶	۲,۴۱	۲,۳۳	۱,۱۴	۱,۱۲	۱,۱۴	۱,۱۴
نصیری	۱,۸۸	۲,۷۰	۱,۸۷	۱,۷۸	۱,۱۳	۱,۱۲	۱,۱۴	۱,۰۵

۴-۴-۱ بررسی ارتباط ضریب همسنگ سواری با دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف

در بخش قبل به شیوه محاسبه و تعیین مقادیر عددی ضریب همسنگ اتوبوس درون‌شهری (D-PCE) بر اساس موقعیت اتوبوس در صف با استفاده از محاسبات دستی پرداختیم. در این قسمت قصد داریم تا دیگرام ضریب همسنگ را بر حسب موقعیت اتوبوس در صف ترسیم نماییم. نمودارهای شکل ۴-۶ و ۴-۷ به ترتیب بیانگر ضریب همسنگ سواری اتوبوس در تقاطعات فوق‌اشباع و زیر‌اشباع بر حسب موقعیت اتوبوس در صف می‌باشد. لازم به ذکر است که در نمودارهای شکل زیر (شکل ۴-۶ و ۴-۷) منظور از موقعیت اتوبوس در صف عبارت است از فاصله اتوبوس از خط توقف بر حسب تعداد وسیله نقلیه. به‌عنوان مثال حضور اتوبوس در موقعیت پنجم به این معنی است که در سیکلی که اتوبوس از خط توقف عبور می‌نماید ۴ وسیله نقلیه در جلوی اتوبوس حضور دارد و اتوبوس تا خط توقف به‌اندازه ۴ وسیله فاصله سواری فاصله دارد. همچنین با دقت در دو نمودار ۴-۶ و ۴-۷ در می‌بایم با افزایش فاصله اتوبوس از خط توقف ضریب همسنگ سواری با یک روند کاهشی همراه است، علت این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد: به‌طور کلی در یک تقاطع چراغ‌دار هنگامی که صف وسایل نقلیه در حال تخلیه رویکرد مورد نظر می‌باشد، بر اساس رابطه ۳-۲۲ هر چه تعداد وسیله نقلیه سواری خروجی از رویکرد، در پشت اتوبوس بیشتر باشد، در نتیجه تاخیر ناشی از حضور اتوبوس بر روی تعداد بیشتری خودرو اعمال شده و در نهایت ضریب همسنگ عدد بزرگ‌تری خواهد شد و بالعکس در یک تقاطع هر چه تعداد وسایل نقلیه خروجی از رویکرد، در پشت اتوبوس کمتر باشد، تاخیر ناشی از حضور اتوبوس بر روی تعداد کمتری خودرو اعمال شده و در نتیجه ضریب همسنگ عدد کوچک‌تری به دست خواهد آمد. حال با توجه به توضیحات ذکر شده می‌توان روند کاهشی ضریب همسنگ در نمودارهای ۴-۶ و ۴-۷ را افزایش شماره موقعیت (موقعیت اول، دوم و ...) در صف این‌گونه توجیه کرد که هر چه اتوبوس به موقعیت‌های ابتدایی صف (به خط توقف نزدیک‌تر) نزدیک‌تر باشد، تعداد وسیله نقلیه بیشتری در پشت اتوبوس وجود دارد و ضریب همسنگ عدد بزرگ‌تری می‌باشد و بالعکس هر چه اتوبوس به موقعیت‌های انتهایی صف نزدیک‌تر باشد، تعداد وسیله نقلیه کمتری در پشت اتوبوس بوده و ضریب همسنگ عدد کوچک‌تری می‌باشد.



شکل ۴-۶. پارامتر ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری به ازای موقعیت‌های گوناگون اتوبوس در صف (تقاطع‌ات فوق اشباع)



شکل ۴-۷. پارامتر ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری به ازای موقعیت‌های گوناگون اتوبوس در صف (تقاطع‌ات زیر اشباع)

۴-۵ محاسبه ضریب همسنگ تقاطعات آماربرداری شده با استفاده از خروجی پارامتر تاخیر نرم افزار سینکرو (محاسبات نرم افزاری)

تا به این جا مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری با استفاده از رابطه (۳-۱) در دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع به ازای دو مقدار عددی پارامتر تأخیر پایه (d_0) ، به وسیله محاسبات دستی محاسبه گردید. در این بخش قصد داریم ضرایب همسنگ سواری را با استفاده از خروجی‌های نرم افزار

سینکرو و همچنین با استفاده از رابطه ۳-۳ محاسبه نماییم. لازم به ذکر است رابطه ۳-۳ شکل دیگری از رابطه (۱-۳) بوده با این تفاوت که در نرم افزار ترافیکی سینکرو پارامتر Δd به طور مستقیم قابل محاسبه نمی باشد، از این رو بایستی از روابط ۲-۳ و ۳-۳ استفاده نماییم.

پس از پیاده سازی تقاطعات آماربرداری شده در نرم افزار سینکرو و برداشت خروجی پارامتر تأخیر جریان پایه (d_0) و تأخیر جریان مختلط (d_t)، در نهایت با استفاده از رابطه شماره (۳-۳) ضرایب همسنگ سواری محاسبه گردیدند. در جدول ۴-۷ ضریب همسنگ سواری اتوبوس در هر تقاطع به همراه مقادیر تأخیر خروجی از نرم افزار سینکرو در جریان پایه (d_0) و جریان مختلط (d_t) ارائه گردیده است:

جدول ۴-۷: مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی با استفاده از خروجی های نرم افزار

ضریب همسنگ سواری (PCE)	اتوبوس	حجم (veh/h) کل		تأخیر جریان مختلط (d_t) Mix flow	تأخیر جریان پایه (d_0) Base flow	نام تقاطع
	تعداد	مختلط	پایه	Synchro		
۳,۴۷	۱۰	۱۳۴۱	۱۳۴۱	۱۶۵,۶	۱۶۲,۵	کامیاب-عبادی
۳,۵۳	۱۰	۱۵۰۲	۱۵۰۲	۲۰۴,۹	۲۰۱,۵	خیام سجاد فوق اشباع
۲,۸۱	۲۵	۱۰۴۱	۱۰۴۱	۱۶۳,۳	۱۵۶,۵	جمهوری - کوشش قدیم
۳,۱۴	۳۱	۹۶۸	۹۶۸	۱۷۳,۳	۱۶۲,۲	جمهوری - کوشش جدید
۱,۵۴	۱۰	۹۰۰	۹۰۰	۸۳,۵	۸۳	دانشجو- معلم
۱,۳۴	۱۴	۸۴۰	۸۴۰	۳۸,۱	۳۷,۹	شاهد امامیه
۱,۳۷	۱۲	۹۱۶	۹۱۶	۴۱,۸	۴۱,۶	جمهوری - کوشش زیر اشباع
۱,۴۳	۷	۱۰۴۶	۶۲۱	۶۲,۲	۶۱,۹	خیام سجاد زیر اشباع

۴-۶ مقایسه ضریب همسنگ سواری در محاسبات نرم افزاری و

محاسبات غیر نرم افزاری

در این بخش قصد داریم تا ضریب همسنگ پیشنهادی با استفاده از محاسبات دستی (بخش ۴-۴) و نیز محاسبات نرم افزاری (بخش ۴-۵) را مقایسه نماییم. در بخش های قبل مقدار پیشنهادی ضریب همسنگ سواری در روش محاسبات دستی با استفاده از دو رابطه تأخیر پایه HCM2010 (۳-۱۶، ۳-۱۷، ۳-۱۸) و رابطه تاخیر پایه نصیری (۳-۲۱) محاسبه شده است. همچنین پس از آن مقادیر ضریب همسنگ سواری با استفاده از خروجی های نرم افزار سینکرو بر اساس رابطه ۳-۳ محاسبه گردید. در جدول شماره ۴-۸ مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی به وسیله محاسبات دستی و محاسبات نرم افزاری مقایسه گردیده اند. از آنجا که مقادیر خروجی پارامتر تأخیر در نرم افزار سینکرو بر اساس آیین نامه HCM2010 می باشد، مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی با استفاده از روش تأخیر پایه HCM2010 در محاسبات نرم افزاری و غیر نرم افزاری با همدیگر مقایسه گردیدند که اختلاف آن ها در ستون آخر جدول محاسبه گردیده است. همچنین با مروری بر اختلاف مقادیر به دست آمده به بیان چند نکته می پردازیم:

۱- ضریب همسنگ به دست آمده با استفاده از خروجی های نرم افزار سینکرو در تقاطع جمهوری- کوشش یک ساعته اول و یک ساعته دوم به ترتیب به اندازه ۰,۵۲ و ۰,۶۶ از ضریب همسنگ سواری با استفاده از محاسبات دستی بیشتر می باشد، یکی از علل این اختلاف را می توان توجه به این نکته دانست که در واقعیت (برداشت میدانی ۲ ساعته) تعداد زیادی از اتوبوس های خروجی از تقاطع پشت سر هم و یا بافاصله چند وسیله نقلیه از تقاطع خارج می شوند و به عبارت دیگر در یک سیکل از تقاطع، بیش از یک اتوبوس از گروه خط با فاصله چند وسیله نقلیه از گروه خط مورد نظر عبور می کنند، این در حالی است که اگر بازه آماربرداری از دو ساعت به مدت زمانی بیشتر و یا کمتر تقلیل پیدا می کرد ممکن بود این اختلاف (۰,۵۲ و ۰,۶۶) با مقدار به دست آمده از نرم افزار تفاوت پیدا می کرد. به عبارت دیگر چیدمان اتوبوس ها در صف به هنگام خروج از تقاطع به حالت های متفاوتی می تواند وجود داشته باشد و بنابراین ضریب همسنگ به دست آمده با روش میدانی در یک بازه خاص دارای بیشینه و کمینه بوده و بین این دو مقدار دارای نوسان می باشد.

۲- همچنین در تقاطع - سجاد خیام مقدار ضریب همسنگ سواری به دست آمده در محاسبات نرم افزاری به اندازه ۱,۱۸ از مقدار عددی ضریب همسنگ محاسبه شده با استفاده از محاسبات دستی بیشتر می باشد. یکی از علل مهم در این اختلاف را می توان حضور تنها یک اتوبوس در موقعیت ابتدایی صف در برداشت میدانی دانست. بنابر این اگر تعداد بیشتری از اتوبوس های عبوری در سیکل خروجی به موقعیت های ابتدایی صف نزدیک می بودند، مقدار به دست آمده در محاسبات میدانی به مقدار به دست آمده در محاسبات نرم افزاری نزدیک تر میگردید.

جدول ۴-۸ مقایسه مقادیر ضریب همسنگ در محاسبات نرم افزاری و غیر نرم افزاری

اختلاف محاسبات نرم افزاری و غیر نرم افزاری	مقدار PCE تعیین شده توسط نرم افزار ترافیکی سینکرو	PCE سواری (HCM) $d - pce$	PCE سواری (نصیری) $d - pce$	تعداد اتوبوس عبوری در ساعت	درجه اشباع v/c	نوع رژیم	نوع تقاطع
۱,۱۸	۳,۵۳	۲,۳۵	۱,۸۸	۱۰	۱,۲۰	فوق اشباع	خیام سجاد
۰,۲	۳,۴۷	۳,۶۶	۲,۷۰	۱۰	۱,۱۷	فوق اشباع	کامیاب - عبادی
۰,۵۲	۲,۸۱	۲,۴۱	۱,۸۷	۲۵	۱,۱۴	فوق اشباع	جمهوری - کوشش یک ساعت اول
۰,۶۶	۳,۱۴	۲,۳۳	۱,۷۸	۳۱	۱,۱۳	فوق اشباع	جمهوری - کوشش یک ساعت دوم
۰,۲۹	۱,۴۳	۱,۱۴	۱,۱۳	۷	۰,۹۳	زیر اشباع	خیام سجاد
۰,۴۲	۱,۵۴	۱,۱۲	۱,۱۲	۱۰	۰,۹۷	زیر اشباع	دانشجو- معلم
۰,۲۲	۱,۳۷	۱,۱۴	۱,۱۴	۱۲	۰,۸	زیر اشباع	جمهوری-کوشش
۰,۲۹	۱,۳۴	۱,۱۴	۱,۰۵	۱۴	۰,۵۵	زیر اشباع	شاهد امامیه

۴-۷ تعیین ضریب همسنگ تقاطعات به ازای درصدهای بالاتر

اتوبوس و حجم عبوری

در بخش قبل تقاطعات آماربرداری شده شامل ۳ تقاطع فوق اشباع و ۴ تقاطع زیر اشباع در نرم افزار سینکرو پیاده سازی شده و در نهایت ضرایب همسنگ با استفاده از خروجی های نرم افزار محاسبه گردیدند. از آن جا که در این پژوهش هدف تعیین ضریب همسنگ سواری اتوبوس های درون شهری است، با این وجود ضریب همسنگ سواری تقاطعات آماربرداری شده به علت پراکندگی پارامترهای

ترافیکی تقاطعات (درصد اتوبوس عبوری و حجم عبوری از تقاطع) نمی‌تواند نماینده ضریب همسنگ تمامی تقاطعات موجود در شهر باشد. به عبارت دیگر با توجه به این که پارامترهای حجم عبوری وسایل نقلیه، درصد عبوری اتوبوس و نیز پارامتر g/C در هر تقاطع متفاوت هست و نیز این سه پارامتر به‌طور هم‌زمان تغییر می‌کنند؛ از این رو نمی‌توانیم روند تغییرات ضریب همسنگ سواری را نسبت به تغییرات این سه پارامتر بیابیم. همچنین نمی‌توان در مورد به تغییرات ضریب همسنگ نسبت به تغییرات یک پارامتر خاص (حجم، درصد اتوبوس عبوری، g/C) اظهار نظر کرد، زیرا در شرایط میدانی با تغییر نوع تقاطع، تمام پارامترهای ممکن (حجم، درصد اتوبوس عبوری، g/C) هم‌زمان با هم تغییر می‌کنند. در ادامه قصد داریم با تغییر دادن یکی از پارامترهای ۳ گانه و ثابت نگاه داشتن سایر پارامترها، تغییرات ضریب همسنگ سواری را بررسی نماییم. این روند برای کلیه پارامترهای مذکور در قالب ۴ سناریو ارائه می‌گردد.

۴-۷-۱ بررسی سناریوهای اصلی به کار گرفته شده در شبیه‌سازی تقاطعات

در این بخش قصد داریم به معرفی ۴ سناریوی اصلی پیاده سازی شده در نرم افزار سینکرو مطابق با جدول ۴-۹ بپردازیم. هر کدام از سناریوها بر اساس پارامتر نسبت سبز مؤثر (g/C) از هم تفکیک می‌گردند. به عبارتی هر کدام از مقادیر g/C بیان کننده یک سناریوی منحصر به فرد می‌باشد. همچنین در هر کدام از سناریوهای ذکر شده ۴ حالت (۴ درصد متمایز اتوبوس درون شهری) وجود دارد. در ادامه مقادیر مختلف حجم عبوری و درصدهای گوناگون اتوبوس عبوری از تقاطع در قالب ۴ سناریوی زیر نشان داده شده است، همچنین ذکر این نکته ضروری است که سناریوهای زیر برای تقاطع ۴ خطه با طول چرخه چراغ راهنمایی ۱۲۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۹-۴ سناریوهای اصلی پیاده سازی شده در نرم افزار سینکرو

تعداد حالت‌های پیاده سازی شده	$\frac{v}{c} > 1$ رژیم فوق اشباع	$\frac{v}{c} = 1$ رژیم اشباع	$\frac{v}{c} < 1$ رژیم زیر اشباع	بازه حجم عبوری از تقاطع	درصد اتوبوس عبوری (از رویکرد مستقیم)	نسبت سبز مؤثر ($\frac{g}{c}$)	شماره سناریو
28	1800-2400	1800	1200-1800	1200-2400	2%,5%,8% 10%	$\frac{g}{c} = 0.25$	۱
28	2160-2400	2160	1200-2160	1200-2400	2%,5%,8% 10%	$\frac{g}{c} = 0.30$	۲
36	2520-3000	2520	1400-2520	1400-3000	2%,5%,8% 10%	$\frac{g}{c} = 0.35$	۳
40	2880-3400	2880	1600-2880	1600-3400	2%,5%,8% 10%	$\frac{g}{c} = 0.40$	۴

۴-۷-۲ تعیین مقادیر عددی ضرایب همسنگ سواری با استفاده از خروجی نرم افزار (پارامتر D_t, D_0) و همچنین تحلیل روند تغییرات آن با تغییر در ۳ عامل حجم عبوری و درصد اتوبوس و پارامتر g/C

در این قسمت ضرایب همسنگ سواری مطابق جداول ۴-۱۰ الی ۴-۱۳ بر اساس سناریوهای جدول

۹-۴ محاسبه گردید. همان طور که در فصل مقدمه ذکر شد، ضرایب همسنگ سواری پیشنهادی وسایل نقلیه سنگین اعم از کامیون و اتوبوس در تقاطعات چراغ‌دار در برخی آیین‌نامه‌ها نظیر آیین نامه HCM2010 و نیز آیین‌نامه‌های داخلی و فصلنامه‌های ترافیکی برای تمام رژیم‌های ترافیک تقاطع (زیر اشباع و فوق اشباع) و همچنین حجم‌های عبوری متفاوت از تقاطع، یک عدد ثابت پیشنهاد داده شده است. به عبارتی این ضریب برای تمام شرایط ترافیکی ثابت بوده و به ویژگی‌های ترافیکی نظیر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس عبوری و ... بستگی ندارد؛ این در حالی است که در جداول ۴-۱۰، ۴-۱۱، ۴-۱۲ و ۴-۱۳ ضریب همسنگ به ازای هر مقدار مجزای پارامتر g/C ، حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع متفاوت می‌باشد.

جدول ۴-۱۰. ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجی‌های نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c = 0.25$)

درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)						
	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	۲۴۰۰
٪۲	۱,۳۵	۱,۴۴	۲,۰۰	۴,۰۱	۴,۳۸	۳,۷۱	۳,۱۹
٪۵	۱,۲۸	۱,۴۴	۲,۱۲	۴,۲۴	۴,۳۷	۳,۶۸	۳,۲۴
٪۸	۱,۲۹	۱,۵۰	۲,۲۸	۴,۵۱	۴,۴۲	۳,۷۰	۳,۲۴
٪۱۰	۱,۳۱	۱,۵۱	۲,۳۸	۴,۶۶	۴,۴۲	۳,۶۹	۳,۲۴

جدول ۴-۱۱. ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجی‌های نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c=0.3$)

درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)						
	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	۲۴۰۰
٪۲	۱,۱۴	۱,۲۶	۱,۳۷	۱,۷۰	۲,۴۵	۴,۵۰	۴,۴۴
٪۵	۱,۱۶	۱,۲۶	۱,۴۰	۱,۷۰	۲,۷۰	۴,۷۶	۴,۵۴
٪۸	۱,۲۱	۱,۳۰	۱,۴۴	۱,۷۶	۲,۹۹	۵,۰۰	۴,۵۸
٪۱۰	۱,۱۹	۱,۲۹	۱,۴۲	۱,۷۹	۳,۲۲	۵,۱۴	۴,۶۲

جدول ۴-۱۲. ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجی‌های نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c=0.35$)

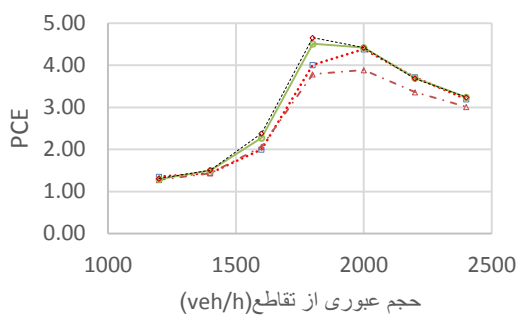
درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)								
	۱۴۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	۲۴۰۰	۲۶۰۰	۲۸۰۰	۳۰۰۰
٪۲	۱,۱۵	۱,۲۹	۱,۴۲	۱,۵۳	۱,۸۶	۳,۱۴	۴,۹۳	۴,۷۱	۴,۰۴
٪۵	۱,۲۵	۱,۲۹	۱,۳۹	۱,۵۳	۱,۹۸	۳,۵۲	۵,۲۵	۴,۷۹	۴,۱۰
٪۸	۱,۲۳	۱,۳۳	۱,۳۹	۱,۶۰	۲,۱۱	۳,۹۴	۵,۴۲	۴,۸۱	۴,۰۹
٪۱۰	۱,۲۵	۱,۳۲	۱,۴۲	۱,۶۱	۲,۲۳	۴,۱۶	۵,۵۱	۴,۸۲	۴,۱۰

جدول ۴-۱۳. ضرایب همسنگ محاسبه شده توسط خروجی‌های نرم افزار ترافیکی سینکرو ($g/c=0.4$)

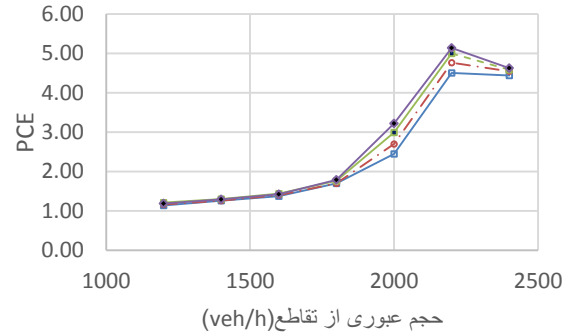
درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)									
	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	۲۴۰۰	۲۶۰۰	۲۸۰۰	۳۰۰۰	۳۲۰۰	۳۴۰۰
٪۲	۱,۱۷	۱,۳۳	۱,۳۲	۱,۶۱	۱,۷۱	۲,۳۰	۳,۹۸	۵,۳۳	۴,۸۹	۴,۲۶
٪۵	۱,۲۸	۱,۳۳	۱,۳۸	۱,۵۵	۱,۸۰	۲,۴۰	۴,۴۴	۵,۵۹	۴,۸۷	۴,۲۷
٪۸	۱,۲۶	۱,۳۳	۱,۴۰	۱,۵۷	۱,۸۵	۲,۶۶	۴,۸۴	۵,۷۶	۴,۹۸	۴,۲۸
٪۱۰	۱,۲۸	۱,۳۳	۱,۴۱	۱,۵۸	۱,۸۸	۲,۸۲	۵,۰۸	۵,۸۳	۵,۰۰	۴,۲۷

در این روش (D-PCE) تعیین ضریب همسنگ بر مبنای پارامتر تأخیر صورت می‌گیرد، از این رو هر عاملی (حجم عبوری، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و g/c) که بر روی پارامتر تأخیر وسایل نقلیه در تقاطعات چراغ‌دار اثر گذار باشد، بر روی ضریب همسنگ سواری به دست آمده از این روش نیز اثر گذار است. با دقت در مقادیر ضریب همسنگ به دست آمده با استفاده از خروجی پارامتر تأخیر نرم افزار سینکرو در جداول ۴-۱۰ الی ۴-۱۳ در می‌یابیم که در هر کدام از حالت‌های مختلف g/c ، با افزایش تعداد وسیله نقلیه عبوری از تقاطع و همچنین با افزایش درصد اتوبوس‌های عبوری از تقاطع، مقدار عددی پارامتر تأخیر افزایش یافته و به دنبال آن ضریب همسنگ نیز افزایش خواهد یافت. در ادامه جهت درک بهتر توضیحات داده شده مقادیر ضریب همسنگ جداول ۴-۱۰ تا ۴-۱۳ بر اساس حجم عبوری از تقاطع در قالب نمودارهای شکل ۴-۸ ترسیم شده‌اند. همچنین هر کدام از شکل‌های ۴-۸(a)، ۴-

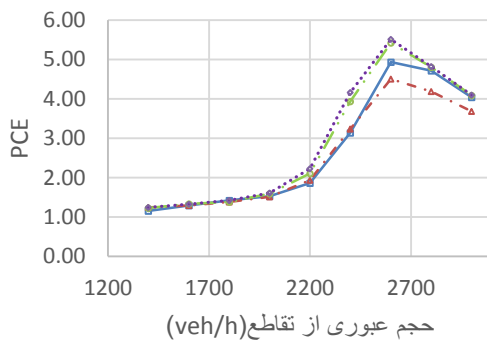
۸(b)، ۸-۴(c) و ۸-۴(d) خود نیز شامل ۴ دیاگرام هستند که این دیاگرام‌ها از بالا به پایین مربوط به ۱۰، ۸، ۵ و ۲ درصد اتوبوس عبوری از تقاطع هستند.



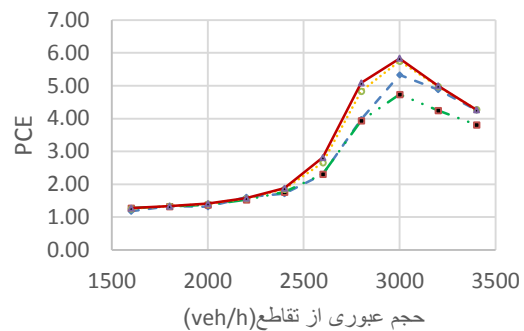
$g/c = 0.25(b)$



$g/c = 0.3(a)$



$g/c = 0.35(b)$



$g/c = 0.4(a)$

شکل ۸-۴. دیاگرام ضریب همسنگ به ازای مقادیر گوناگون حجم عبوری از تقاطع

۸-۴ ارائه مدل ریاضی جهت تعیین ضریب همسنگ سواری بر مبنای خروجی‌های نرم افزار

در این بخش می‌خواهیم یک مدل ریاضی جهت تعیین دقیق ضریب همسنگ سواری ارائه دهیم. اگر چه تاکنون مدل‌های زیادی جهت تعیین ضریب همسنگ سواری ارائه گردیده است، اما این مدل‌ها تنها منحصر به یک نوع رژیم خاص جریان (زیر اشباع و یا فوق اشباع) بوده و تاکنون مدلی جهت تعیین ضریب همسنگ برای هر دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع ارائه نگردیده است. لازم به ذکر است تحلیل مورد نظر جهت ارائه مدل، تحلیل رگرسیون می‌باشد. آنچه که در ارائه یک مدل ریاضی نقش اساسی دارد، تعیین دقیق پارامترهای اثرگذار بر روی مدل مذکور می‌باشد؛ بنابراین در مدل مربوطه، به دنبال

یافتن پارامترهای اثرگذار بر روی مقدار پیشنهادی ضریب همسنگ سواری می‌باشیم. در ادامه دو نوع مدل جهت تعیین ضریب همسنگ سواری ارائه شده است:

- ۱- مدل پیشنهادی بر اساس ۲ پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع
- ۲- مدل پیشنهادی بر اساس ۳ پارامتر حجم عبوری از تقاطع، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و پارامتر g/C

۴-۸-۱ ارائه مدل پیشنهادی بر اساس دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع

در این بخش با استفاده از داده‌های ضریب همسنگ خروجی نرم افزار (جدول ۴-۱۰ الی ۴-۱۳) به ازای ۴ مقدار مجزای g/C ، مدل ریاضی در جدول ۴-۱۴ ارائه شده است. همان طور که از جدول ۴-۱۴ قابل مشاهده می‌باشد، مدل‌های ارائه شده برای هر کدام از نسبت‌های g/c متفاوت می‌باشد. همچنین متغیرهای تمام مدل‌های برازش شده یکسان بوده که عبارت‌اند از حجم ورودی به تقاطع (veh/h) و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع. همچنین با استفاده از مدل‌های ارائه شده، ضرایب همسنگ سواری به ازای مقادیر مختلف حجم ورودی و درصد اتوبوس محاسبه گردیده است که این مقادیر، به ازای $g/C=0.25$ ، $g/C=0.3$ ، $g/C=0.35$ و $g/C=0.40$ به ترتیب در جداول ۴-۱۵، ۴-۱۶، ۴-۱۷ و ۴-۱۸ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۴. مدل‌های ریاضی برازش شده جهت تعیین ضریب همسنگ سواری با استفاده دو پارامتر حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع

<i>PCE Model</i>	F	R ²	g/c
$PCE = -1.132 + 0.028 \text{ PERCENT OF truck} + 0.003 \text{ Volume}$	14	0.74	0.25
$PCE = -3.496 + 0.038 \text{ PERCENT OF truck} + 0.004 \text{ Volume}$	46.81	0.912	0.30
$PCE = -3.072 + 0.04 \text{ PERCENT OF truck} + 0.003 \text{ Volume}$	53.25	0.87	0.35
$PCE = -3.443 + 0.041 \text{ PERCENT OF truck} + 0.003 \text{ Volume}$	63.00	0.88	0.40

جدول ۴-۱۵. مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس

درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)												
	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
1	1.60	1.82	2.05	2.27	2.50	2.72	2.95	3.17	3.40	3.62	3.85	4.07	4.30
2	1.62	1.85	2.07	2.30	2.52	2.75	2.97	3.20	3.42	3.65	3.87	4.10	4.32
3	1.65	1.88	2.10	2.33	2.55	2.78	3.00	3.23	3.45	3.68	3.90	4.13	4.35
4	1.68	1.91	2.13	2.36	2.58	2.81	3.03	3.26	3.48	3.71	3.93	4.16	4.38
5	1.71	1.93	2.16	2.38	2.61	2.83	3.06	3.28	3.51	3.73	3.96	4.18	4.41
6	1.74	1.96	2.19	2.41	2.64	2.86	3.09	3.31	3.54	3.76	3.99	4.21	4.44
7	1.76	1.99	2.21	2.44	2.66	2.89	3.11	3.34	3.56	3.79	4.01	4.24	4.46
8	1.79	2.02	2.24	2.47	2.69	2.92	3.14	3.37	3.59	3.82	4.04	4.27	4.49
9	1.82	2.05	2.27	2.50	2.72	2.95	3.17	3.40	3.62	3.85	4.07	4.30	4.52
10	1.85	2.07	2.30	2.52	2.75	2.97	3.20	3.42	3.65	3.87	4.10	4.32	4.55

جدول ۴-۱۶. مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد

اتوبوس (g/C=0.30)

درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)												
	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
1	1.00	1.00	1.00	1.04	1.34	1.64	1.94	2.24	2.54	2.84	3.14	3.44	3.74
2	1.00	1.00	1.00	1.08	1.38	1.68	1.98	2.28	2.58	2.88	3.18	3.48	3.78
3	1.00	1.00	1.00	1.12	1.42	1.72	2.02	2.32	2.62	2.92	3.22	3.52	3.82
4	1.00	1.00	1.00	1.16	1.46	1.76	2.06	2.36	2.66	2.96	3.26	3.56	3.86
5	1.00	1.00	1.00	1.19	1.49	1.79	2.09	2.39	2.69	2.99	3.29	3.59	3.89
6	1.00	1.00	1.00	1.23	1.53	1.83	2.13	2.43	2.73	3.03	3.33	3.63	3.93
7	1.00	1.00	1.00	1.27	1.57	1.87	2.17	2.47	2.77	3.07	3.37	3.67	3.97
8	1.00	1.00	1.01	1.31	1.61	1.91	2.21	2.51	2.81	3.11	3.41	3.71	4.01
9	1.00	1.00	1.05	1.35	1.65	1.95	2.25	2.55	2.85	3.15	3.45	3.75	4.05
10	1.00	1.00	1.08	1.38	1.68	1.98	2.28	2.58	2.88	3.18	3.48	3.78	4.08

جدول ۴-۱۷. مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس ($g/C=0.35$)

درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)													
	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2300	2500	2700	2800	2900	3000
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.24	1.47	1.69	2.14	2.59	3.04	3.27	3.49	3.72
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.28	1.50	1.73	2.18	2.63	3.08	3.30	3.53	3.75
3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.09	1.31	1.54	1.76	2.21	2.66	3.11	3.34	3.56	3.79
4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.13	1.35	1.58	1.80	2.25	2.70	3.15	3.38	3.60	3.83
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16	1.39	1.61	1.84	2.29	2.74	3.19	3.41	3.64	3.86
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.43	1.65	1.88	2.33	2.78	3.23	3.45	3.68	3.90
7	1.00	1.00	1.00	1.01	1.24	1.46	1.69	1.91	2.36	2.81	3.26	3.49	3.71	3.94
8	1.00	1.00	1.00	1.05	1.27	1.50	1.72	1.95	2.40	2.85	3.30	3.52	3.75	3.97
9	1.00	1.00	1.00	1.09	1.31	1.54	1.76	1.99	2.44	2.89	3.34	3.56	3.79	4.01
10	1.00	1.00	1.00	1.12	1.35	1.57	1.80	2.02	2.47	2.92	3.37	3.60	3.82	4.05

جدول ۴-۱۸. مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس ($g/c=0.4$)

درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)													
	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2300	2500	2700	2800	2900	3000	3100	3400
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.32	1.77	2.22	2.67	2.90	3.12	3.35	3.57	4.25
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.14	1.36	1.81	2.26	2.71	2.94	3.16	3.39	3.61	4.29
3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.18	1.41	1.86	2.31	2.76	2.98	3.21	3.43	3.66	4.33
4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.22	1.45	1.90	2.35	2.80	3.02	3.25	3.47	3.70	4.37
5	1.00	1.00	1.00	1.04	1.26	1.49	1.94	2.39	2.84	3.06	3.29	3.51	3.74	4.41
6	1.00	1.00	1.00	1.08	1.30	1.53	1.98	2.43	2.88	3.10	3.33	3.55	3.78	4.45
7	1.00	1.00	1.00	1.12	1.34	1.57	2.02	2.47	2.92	3.14	3.37	3.59	3.82	4.49
8	1.00	1.00	1.00	1.16	1.39	1.61	2.06	2.51	2.96	3.19	3.41	3.64	3.86	4.54
9	1.00	1.00	1.00	1.20	1.43	1.65	2.10	2.55	3.00	3.23	3.45	3.68	3.90	4.58
10	1.00	1.00	1.02	1.24	1.47	1.69	2.14	2.59	3.04	3.27	3.49	3.72	3.94	4.62

۴-۸-۲ ارائه مدل پیشنهادی بر اساس ۳ پارامتر حجم عبوری از تقاطع، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و پارامتر g/C

در این بخش با استفاده از داده های ضریب همسنگ خروجی نرم افزار (جداول ۴-۱۰ الی ۴-۱۳) یک مدل ریاضی از میان ۳ پارامتر حجم عبوری از تقاطع، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و پارامتر g/C برآزش شده است. در ادامه مدل مذکور در جدول ۴-۱۹ ارائه شده است. همچنین با استفاده از مدل های ارائه شده، ضرایب همسنگ سواری به ازای مقادیر مختلف حجم ورودی و درصد اتوبوس محاسبه گردیده است که این مقادیر در جدول ۴-۲۰ و ۴-۲۱ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۹ مدل های ریاضی برآزش شده جهت تعیین ضریب همسنگ سواری با استفاده دو پارامتر حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع

<i>PCE Model</i>	R
$PCE = 1.3 + 0.037 \text{ Truck percent} + 0.003 \text{ Traffic volume} - 12.244g/c$	0.86

g/C	درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)												
		1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
0.25	1.00	1.00	1.20	1.43	1.65	1.88	2.10	2.33	2.55	2.78	3.00	3.23	3.45	3.68
	2.00	1.01	1.24	1.46	1.69	1.91	2.14	2.36	2.59	2.81	3.04	3.26	3.49	3.71
	3.00	1.05	1.28	1.50	1.73	1.95	2.18	2.40	2.63	2.85	3.08	3.30	3.53	3.75
	4.00	1.09	1.31	1.54	1.76	1.99	2.21	2.44	2.66	2.89	3.11	3.34	3.56	3.79
	5.00	1.12	1.35	1.57	1.80	2.02	2.25	2.47	2.70	2.92	3.15	3.37	3.60	3.82
	6.00	1.16	1.39	1.61	1.84	2.06	2.29	2.51	2.74	2.96	3.19	3.41	3.64	3.86
	7.00	1.20	1.42	1.65	1.87	2.10	2.32	2.55	2.77	3.00	3.22	3.45	3.67	3.90
	8.00	1.24	1.46	1.69	1.91	2.14	2.36	2.59	2.81	3.04	3.26	3.49	3.71	3.94
	9.00	1.27	1.50	1.72	1.95	2.17	2.40	2.62	2.85	3.07	3.30	3.52	3.75	3.97
	10.00	1.31	1.53	1.76	1.98	2.21	2.43	2.66	2.88	3.11	3.33	3.56	3.78	4.01
0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.26	1.49	1.71	1.94	2.16	2.39	2.61	2.84	3.06
	2.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.30	1.53	1.75	1.98	2.20	2.43	2.65	2.88	3.10
	3.00	1.00	1.00	1.00	1.11	1.34	1.56	1.79	2.01	2.24	2.46	2.69	2.91	3.14
	4.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.37	1.60	1.82	2.05	2.27	2.50	2.72	2.95	3.17
	5.00	1.00	1.00	1.00	1.19	1.41	1.64	1.86	2.09	2.31	2.54	2.76	2.99	3.21
	6.00	1.00	1.00	1.00	1.22	1.45	1.67	1.90	2.12	2.35	2.57	2.80	3.02	3.25
	7.00	1.00	1.00	1.04	1.26	1.49	1.71	1.94	2.16	2.39	2.61	2.84	3.06	3.29
	8.00	1.00	1.00	1.07	1.30	1.52	1.75	1.97	2.20	2.42	2.65	2.87	3.10	3.32
	9.00	1.00	1.00	1.11	1.33	1.56	1.78	2.01	2.23	2.46	2.68	2.91	3.13	3.36
	10.00	1.00	1.00	1.15	1.37	1.60	1.82	2.05	2.27	2.50	2.72	2.95	3.17	3.40

جدول ۴-۲۰ مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری به ازای دو پارامتر حجم عبوری از تقاطع و درصد اتوبوس

g/C	درصد اتوبوس	حجم عبوری از تقاطع (veh/h)												
		1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2600	2800	3000
0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.33	1.55	1.78	2.00	2.23	2.90	3.35	3.80
	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.36	1.59	1.81	2.04	2.26	2.94	3.39	3.84
	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.40	1.63	1.85	2.08	2.30	2.98	3.43	3.88
	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.44	1.66	1.89	2.11	2.34	3.01	3.46	3.91
	5.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.47	1.70	1.92	2.15	2.37	3.05	3.50	3.95
	6.00	1.00	1.00	1.00	1.06	1.06	1.51	1.74	1.96	2.19	2.41	3.09	3.54	3.99
	7.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.55	1.77	2.00	2.22	2.45	3.12	3.57	4.02
	8.00	1.00	1.00	1.00	1.14	1.14	1.59	1.81	2.04	2.26	2.49	3.16	3.61	4.06
	9.00	1.00	1.00	1.00	1.17	1.17	1.62	1.85	2.07	2.30	2.52	3.20	3.65	4.10
	10.00	1.00	1.00	1.00	1.21	1.21	1.66	1.88	2.11	2.33	2.56	3.23	3.68	4.13
0.40	درصد اتوبوس	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2400	2600	2800	3000	3100	3400
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16	1.39	2.06	2.51	2.96	3.41	3.64	4.09
	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.43	2.10	2.55	3.00	3.45	3.68	4.13
	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.24	1.46	2.14	2.59	3.04	3.49	3.71	4.16
	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.28	1.50	2.18	2.63	3.08	3.53	3.75	4.20
	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.09	1.31	1.54	2.21	2.66	3.11	3.56	3.79	4.24
	6.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.12	1.35	1.57	2.25	2.70	3.15	3.60	3.82	4.27
	7.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16	1.39	1.61	2.29	2.74	3.19	3.64	3.86	4.31
	8.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.42	1.65	2.32	2.77	3.22	3.67	3.90	4.35
	9.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.24	1.46	1.69	2.36	2.81	3.26	3.71	3.94	4.39
10.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.27	1.50	1.72	2.40	2.85	3.30	3.75	3.97	4.42	

۹-۴ مروری بر مفهوم پارامتر فاکتور کاهش ظرفیت تقاطع

$$(f_{hv})$$

در فصل‌های گذشته درباره اهمیت محاسبه دقیق ضریب همسنگ سواری در هنگام محاسبه ظرفیت تقاطعات و در نتیجه آن کاهش بار ترافیکی تقاطعات بحث کردیم؛ اما سؤالی که ممکن است مطرح شود این است این ضریب از چه طریقی در روابط محاسبه ظرفیت تقاطعات وارد می‌گردد. در پاسخ باید گفت ضریب همسنگ سواری از طریق پارامتر فاکتور کاهش ظرفیت (f_{hv}) مطابق با زیر وارد محاسبات می‌گردد.

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_H(PCE - 1)} \quad (3-4)$$

که در رابطه فوق f_{hv} فاکتور کاهش ظرفیت تقاطع و P_H درصد اتوبوس می‌باشد. در ادامه با ذکر مثالی به نحوه محاسبه این ضریب f_{hv} می‌پردازیم.

فرض کنید در یک تقاطع چراغ‌دار جریانی شامل ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت، تعداد ۲۰ اتوبوس در مدت زمان یک ساعت از تقاطع عبور می‌کند. در این صورت اگر ضریب همسنگ اتوبوس برابر با ۲ باشد فاکتور کاهش ظرفیت مطابق با رابطه (۳-۴) برابر است با:

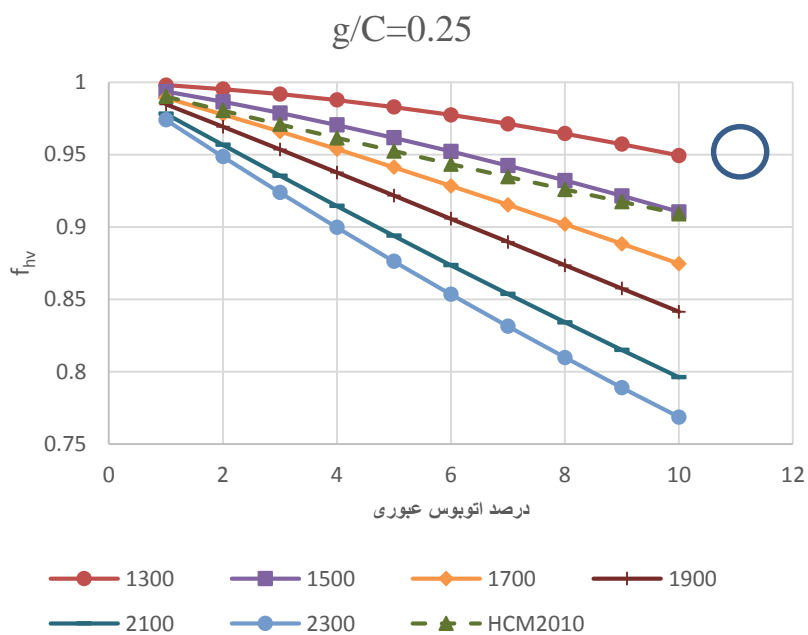
$$f_{hv} = \frac{1}{1 + 0.01(2 - 1)} = 0.99$$

عدد ۰,۹۹ به این معناست که در اثر حضور این ۲۰ وسیله نقلیه ظرفیت تقاطع از ۱۰۰ درصد به ۹۹ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

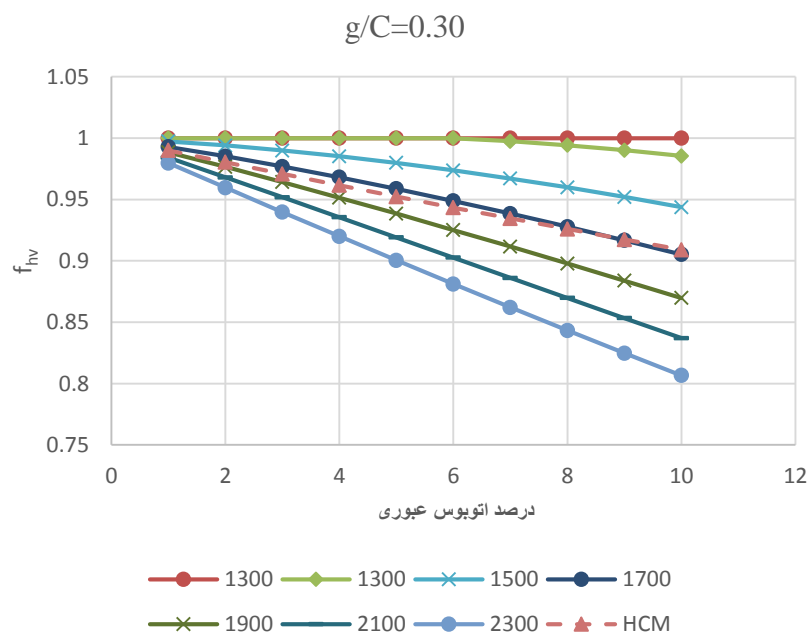
۴-۹-۱ مقایسه ضریب تعدیل اتوبوس‌های درون شهری، محاسبه شده با استفاده از مقادیر ضریب همسنگ HCM2010 و مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی در این پژوهش

در این قسمت می‌خواهیم به مقایسه فاکتور کاهش ظرفیت، محاسبه شده با استفاده از مقادیر پیشنهادی ضریب همسنگ در HCM2010 و مقادیر پیشنهادی ضریب همسنگ در این پژوهش بپردازیم. همان طور که در فصل ۱ اشاره شد ضریب همسنگ سواری در آیین نامه HCM2010 همواره عدد ثابت ۲ بوده که با تغییر در حجم عبوری از تقاطع و نیز با تغییر در درصد اتوبوس عبوری از تقاطع عبور نخواهد کرد. از این رو فاکتور کاهش ظرفیت تقاطع (f_{hv}) نیز با تغییر در حجم عبوری از تقاطع تغییر نخواهد کرد. این در حالی است در صورت محاسبه این فاکتور به ازای مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی به ازای هر حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری یک مقدار مجزا برای این فاکتور خواهیم داشت. از این رو مقدار عددی این فاکتور محاسبه شده با استفاده از مقدار ضریب همسنگ آیین نامه HCM2010 و مقادیر ضریب همسنگ پیشنهادی در این پژوهش یکسان نخواهد بود. در نمودارهای شکل ۴-۹، ۴-۱۰، ۴-۱۱

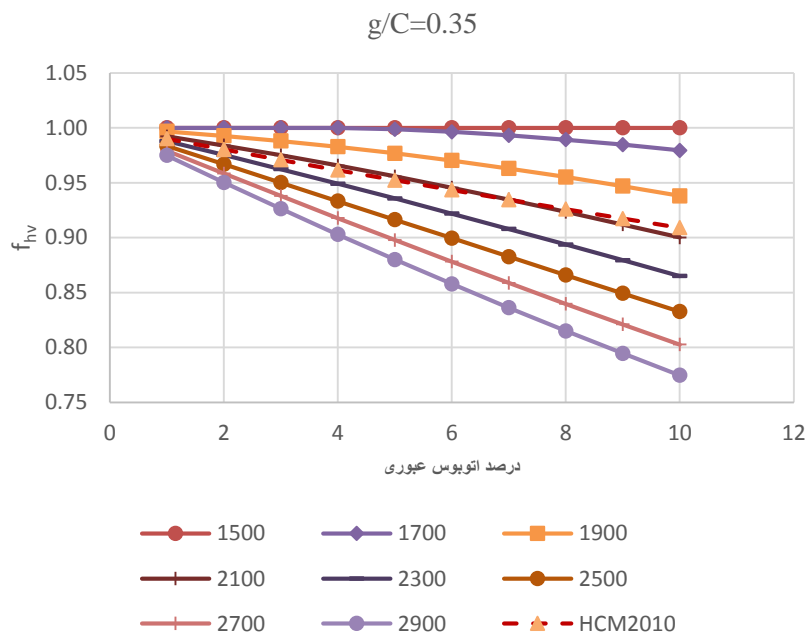
و ۴-۱۲ فاکتور تعدیل ظرفیت بر اساس درصد اتوبوس عبوری از تقاطع ترسیم شده است. همچنین در هر کدام از شکل‌های مذکور هر یک از خطوط نشانگر یک حجم ورودی خاص می‌باشد. به عنوان مثال در شکل ۴-۹ بالاترین خط، مربوط به حجم عبوری ۱۳۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت و پایین‌ترین خط مربوط به حجم عبوری ۲۳۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت می‌باشد. همچنین نمودار مشخص شده با خط چین مربوط به فاکتور کاهش ظرفیت با استفاده از مقادیر آیین‌نامه HCM2010 به ازای درصد‌های مختلف اتوبوس می‌باشد. نقاط موجود روی هر یک از خطوط دارای دو مختصات f_{hv} و درصد اتوبوس می‌باشد. به عنوان مثال نقطه‌ای که دور آن دایره کشیده شده است به این معناست که در حجم ۱۳۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت با ۱۰ درصد اتوبوس عبوری از تقاطع فاکتور کاهش ظرفیت (f_{hv}) برابر ۰,۹۵ می‌باشد. نکته اول که از نمودار زیر قابل برداشت است این است که با استفاده از روش D-PCE به ازای مقادیر مختلف حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع، مقدار عددی پارامتر f_{hv} متغیر خواهد بود، در حالی که بر اساس ضریب همسنگ ثابت پیشنهادی آیین‌نامه HCM2010 فاکتور کاهش ظرفیت (در شکل با خط چین مشخص شده است) به ازای تمام حجم‌های ورودی یک عدد ثابت بوده و تغییر نمی‌کند. نکته دوم که از نمودار زیر قابل برداشت می‌باشد، این است که اثر کاهش ظرفیت (f_{hv}) مطابق با آیین‌نامه HCM به ازای حجم‌های کوچکتر یا مساوی ۱۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت، کمتر از مقدار واقعی و به ازای حجم‌های ۱۶۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت و بیشتر، بیشتر از مقدار واقعی بر جریان ترافیکی اعمال می‌گردد. نکته سوم که از نمودار زیر قابل برداشت می‌باشد این بوده که با به ازای درصد‌های پایین اتوبوس عبوری از تقاطع، مقدار عددی فاکتور f_{hv} محاسبه شده در دو روش مذکور، به هم نزدیک بوده، این در حالی است که هر چه درصد اتوبوس عبوری از تقاطع افزایش یابد مقادیر فاکتور کاهش ظرفیت (f_{hv}) در دو روش نیز دارای اختلاف بیشتری خواهند بود.



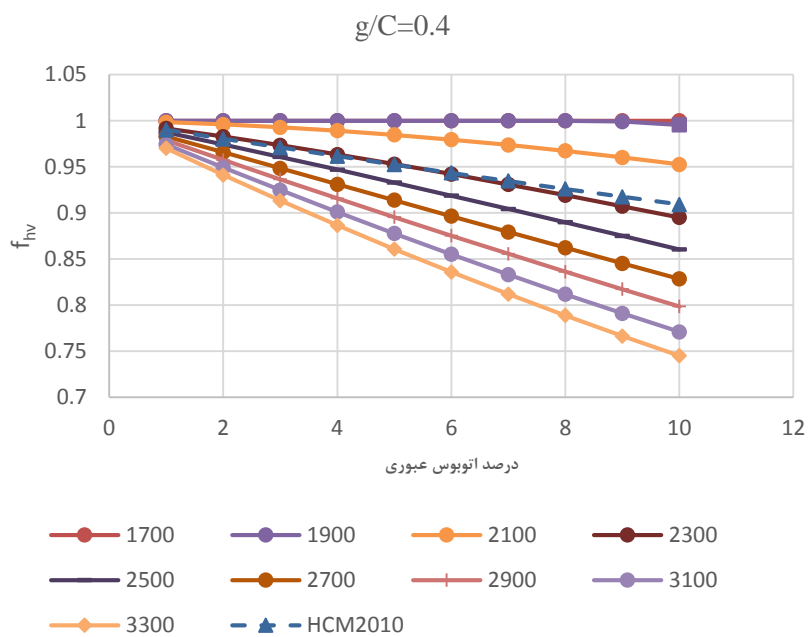
شکل ۴-۹. مقایسه فاکتور کاهش ظرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.25$



شکل ۴-۱۰. مقایسه فاکتور کاهش ظرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.3$



شکل ۴-۱۱. مقایسه فاکتور کاهش ظرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.35$



شکل ۴-۱۲. مقایسه فاکتور کاهش ظرفیت بر اساس ضریب همسنگ پیشنهادی HCM2010 و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش به ازای $g/C=0.4$

فصل ۵ نتیجه گیری

۵-۱ خلاصه تحقیق

تقاطعات چراغ‌دار یکی از مسائل پیچیده در سیستم حمل‌ونقل درون شهری است. تاکنون در این حوزه مطالعات فراوانی صورت گرفته که بخش قابل توجهی از این تلاش‌ها نتایج رضایت بخشی به همراه داشته است. در این پژوهش به بررسی و تعیین مقادیر عددی ضرایب همسنگ سواری برای تقاطعات چراغ‌دار شهر مشهد در دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع پرداختیم. اگر چه تاکنون پژوهش‌های گوناگونی در زمینه تعیین ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین صورت پذیرفته است؛ با این وجود پژوهش‌های موجود غالباً در زمینه تعیین ضریب همسنگ سواری در جریان‌های پیوسته می‌باشد. همچنین در تحقیقاتی که با موضوع تعیین ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین صورت گرفته است؛ رژیم جریان غالباً زیر اشباع در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است در اکثر آیین‌نامه‌های حمل و نقل درون شهری ضریب همسنگ به صورت یک عدد ثابت پیشنهاد شده است که این مقدار ثابت با تغییر در پارامترهای ترافیکی تقاطع اعم از حجم عبوری از تقاطع، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و پارامتر g/C تغییر نمی‌کند. در این پژوهش نشان داده شد که ضرایب همسنگ سواری اتوبوس در تقاطعات چراغ‌دار وابسته به سه پارامتر زمان سبز موثر، حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری می‌باشد، بنابر این نسبت دادن یک عدد خاص به ضریب همسنگ به ازای تمام حجم‌های ورودی و درصد‌های مختلف اتوبوس (همانند آیین‌نامه HCM و آیین‌نامه‌های داخلی) می‌تواند امری ناصحیح و یا با دقت پایین تلقی گردد. البته لازم به ذکر است از میان ۳ پارامتر مذکور، اثر پارامتر حجم عبوری نسبت به دو پارامتر دیگر ملموس تر می‌باشد. همچنین مقادیر پیشنهادی توسط آیین‌نامه‌ها مختص به تمام وسایل نقلیه سنگین بوده و تمایزی بین وسایل نقلیه سنگین وجود ندارد. این در حالی است که در این پژوهش با استفاده از مدل تخمین ضریب همسنگ بر پایه سه پارامتر حجم عبوری از تقاطع، درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و پارامتر g/C ، ضریب همسنگ پیشنهاد می‌گردد.

در این پژوهش مراحل انجام تحقیق به ۵ دسته تقسیم می‌گردند:

۱- تعیین ضریب همسنگ سواری برای ۳ تقاطع فوق اشباع و ۴ تقاطع زیر اشباع با استفاده از رابطه مبتنی بر پارامتر تأخیر بوسیله محاسبات دستی

۲- پیاده‌سازی تقاطعات آماربرداری شده در نرم افزار ترافیکی سینکرو و تعیین ضریب همسنگ تقاطعات مذکور با استفاده از خروجی‌های نرم افزار (محاسبات نرم افزاری)

۳- مقایسه ضریب همسنگ محاسبه شده در هر تقاطع در روش محاسبات دستی و محاسبات نرم افزاری

۴- تعیین ضریب همسنگ تقاطعات چراغ‌دار ۴ خطه (جهت بسط به تمامی شرایط) به ازای شرایط متفاوت حجم و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع با استفاده از نرم افزار ترافیکی سینکرو (بررسی ۱۳۲ حالت مختلف در نرم افزار ترافیکی سینکرو)

۵- ارائه مدل ریاضی جهت تعیین ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری بر اساس پارامترهای حجم عبوری و درصد اتوبوس عبوری از تقاطع و پارامتر نسبت سبز موثر (g/C)

۶- تعیین مقادیر نهایی ضریب همسنگ سواری اتوبوس‌های درون شهری با استفاده از مدل‌های برازش شده

در این پژوهش ضریب همسنگ سواری با استفاده از داده‌های میدانی و بر مبنای رابطه مبتنی بر پارامتر تأخیر برای تقاطعات چراغ‌دار شهر مشهد در دو رژیم زیر اشباع و فوق اشباع محاسبه گردید. با بررسی مطالعات میدانی صورت گرفته این مهم حاصل شد که سرفاصله وسایل نقلیه با حرکت از ابتدای صف به سمت انتهای صف با یک روند نزولی در نهایت به سمت یک عدد ثابت میل می‌کند که این عدد ثابت بسته به نوع تقاطع و رفتار رانندگان هر تقاطع متفاوت می‌باشد.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد ضریب همسنگ تقاطعات زیر اشباع به مقدار قابل توجهی از ضریب همسنگ تقاطعات فوق اشباع کوچکتر می‌باشد. یکی از علل این اختلاف را می‌توان به این صورت ذکر کرد که در تقاطعات زیر اشباع وسایل نقلیه غالباً تمایل دارند حتی المقدور از قرار گرفتن در پشت اتوبوس در تقاطع خودداری نمایند. همچنین علت دوم این که در تقاطعات زیر اشباع اتوبوس تنها در

یک سیکل از تقاطع حضور دارد و اثر تاخیر اتوبوس روی وسایل نقلیه تنها در همان سیکل روی وسایل نقلیه اعمال می‌شود؛ این در حالی است در تقاطعات فوق اشباع اتوبوس در بیش از یک سیکل در تقاطع حضور دارد و در نتیجه اثر تاخیر اتوبوس از لحظه ورود به صف تا لحظه خروج از تقاطع ادامه دارد. علت آخر اینکه طول صف در تقاطعات زیر اشباع به طور کلی از طول صف در تقاطعات فوق اشباع کمتر بوده و همین مساله سبب می‌شود در تقاطعات زیر اشباع تاخیر بر روی تعداد کمتری خودرو اعمال شود و در نتیجه ضریب همسنگ عدد کوچتری به دست می‌آید. همچنین مقدار ضریب همسنگ پیشنهادی توسط فصل‌نامه ترافیکی شهر مشهد ۵ می‌باشد که این عدد به مقدار پیشنهادی ضریب همسنگ در جریان های فوق اشباع در این پژوهش نزدیک تر می‌باشد. یکی دیگر از نتایجی که در این پژوهش می‌توان به آن اشاره نمود تفاوت در مقدار عددی فاکتور کاهش تقاطعات (f_{hv}) حاصل شده در این پژوهش با مقدار آن در آیین نامه HCM2016 می‌باشد. به عبارت دیگر در آیین نامه HCM2016 مقدار عددی پارامتر f_{hv} به ازای درصدهای مختلف اتوبوس عددی ثابت بوده، این در حالی است که در این پژوهش نشان داده شده که مقدار عددی پارامتر f_{hv} به ازای درصدهای مختلف اتوبوس متفاوت خواهد بود.

۲-۵ پیشنهاد جهت مطالعات آینده:

- ۱- تعیین ضریب همسنگ سواری با استفاده از روش مبتنی بر پارامتر تأخیر (D-PCE) برای رویکردهای دیر آزاد شونده
- ۲- تعیین ضریب همسنگ سواری برای سایر وسایل نقلیه غیر سواری (مانند مینی‌بوس، وانت، موتور سیکلت، کامیون تک قسمتی و دو قسمتی و ...)
- ۳- تعیین ضریب همسنگ سواری برای حرکات گردشی وسایل نقلیه سنگین
- ۴- تعیین ضریب همسنگ سواری برای تقاطعاتی که ایستگاه اتوبوس در فاصله کمتر از ۱۰۰ متری تقاطع می‌باشد.
- ۵- تعیین ضریب همسنگ برای تقاطعات سه راهی و میادین با استفاده از روش مبتنی بر پارامتر تأخیر
- ۶- تأثیر عوامل هندسی تقاطع نظیر شیب زمین، زاویه حرکات گردشی و ...

پوستا

جدول پ ۱. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع کامیاب عبادی - فوق اشباع - نصیری)

	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p1	1.00	12.00	11.00	1.00	127	235.34	2.85
	2.00	11.00	10.00	2.00	127	245.24	2.93
	3.00	10.00	9.00	1.00	127	225.32	2.77
	4.00	7.00	6.00	1.00	127	230.59	2.82
	total	10.20	9.20	5	127	236.35	2.86
p2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	10.00	1.00	127	237.26	2.87
p3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	8.00	2.00	127	220.35	2.74
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	7.00	2.00	127	217.95	2.72
p6	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	6.00	0.00	1.00	127	209.60	2.65
p7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	4.00	1.00	127	210.35	2.66
p8	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	4.00	1.00	127	205.73	2.62
p9	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	0.00	2.00	127	192.84	2.52
	2.00	12.00	3.00	1.00	127	200.54	2.58
	total	10.00	1.00	3	127	195.41	2.54
p11	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	0.00	1.00	127	189.12	2.49
p12	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	0.00	1.00	127	190.19	2.50

جدول پ ۲. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - فوق اشباع - نصیری)

	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p1	1.00	10.00	9.00	2.00	123	138.14	2.12
	2.00	8.00	7.00	1.00	123	96.46	1.78
	3.00	5.00	4.00	1.00	123	130.52	2.06
	total	8.25	7.25	4.00	123		2.02
p2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	2.00	9.00	7.00	1.00	123	122.22	1.99
	3.00	11.00	9.00	2.00	123	113.89	1.93
	4.00	9.00	7.00	1.00	123	105.94	1.86
	total	9.67	7.67	4.00	123		1.93
p3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	9.00	1.00	123	95.55	1.78
	2.00	13.00	10.00	1.00	123	123.62	2.01
	total	12.50	9.50	2.00	123		1.89
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	7.00	2.00	123	97.17	1.79
	2.00	9.00	5.00	1.00	123	110.55	1.90
	3.00	13.00	9.00	1.00	123	119.06	1.97
	total	11.00	7.00	4.00	123		1.86
p5	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	4.00	1.00	123	101.78	1.83
	2.00	12.00	7.00	1.00	123	106.95	1.87
	total	10.50	5.50	2.00	123		1.85
p6	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	5.00	1.00	123	97.83	1.80
p7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	2.00	1.00	123	94.99	1.77
	2.00	11.00	4.00	2.00	123	94.78	1.77
	total	10.00	3.00	3.00	123		1.77
p9	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	3.00	1.00	123	92.66	1.75
p11	1.00	13.00	2.00	1.00	123	91.95	1.75

جدول پ ۳. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - فوق اشباع - نصیری)

	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p@1.8	1.00	8.00	6.00	2.00	119	92.70	1.78
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p@2.8	1.00	8.00	5.00	1.00	119	99.58	1.84
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p@3.5.7	1.00	9.00	4.00	1.00	119	103.29	1.87
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p@1.2	1.00	8.00	6.00	1.00	119	111.32	1.94
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
P@3.5	1.00	9.00	5.00	1.00	119	88.92	1.75
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
P@2.5.7	1.00	10.00	6.00	1.00	119	113.01	1.95
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
P@1.2.3	1.00	7.00	4.00	1.00	119	129.31	2.09
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
P@1.8	1.00	9.00	7.00	1.00	119	82.06	1.69
P1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	8.00	7.00	1.00	119	89.99	1.76
P2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	8.00	6.00	1.00	119	87.41	1.73
	2.00	9.00	7.00	1.00	119	89.36	1.75
	total	8.50	6.50	2	119	88.38	1.74
P3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	6.00	2.00	119	86.31	1.73
P4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	5.00	2.00	119	88.32	1.74
P5	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	7.00	2.00	1.00	119	84.73	1.71

	2.00	9.00	4.00	1.00	119	91.35	1.77
	total	8.00	3.00	2.00	119	88.04	1.74
P7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	2.00	1.00	119	84.55	1.71
P9	Case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	10.00	1.00	1.00	119	83.00	1.70

جدول پ ۴. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع خیام - سجاد - فوق اشباع - نصیری)

p1	Case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	1	10.0	9	1	150	141.40	1.94
p2	Case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	1	10.0	8.00	2	150	187.00	2.25
	2	9.0	7.00	2	150	145.46	1.97
	Total	9.5	7.50	4	150	166.23	2.11
p3	Case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	9.0	6.00	1	150	182.64	2.22
	2	10.0	7.00	1	150	131.90	1.88
	Total	9.5	6.50	2	150	157.27	2.05
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	11.0	7.00	1	150	132.46	1.88
	2	10.0	6.00	1	150	137.09	1.91
	total	10.5	6.50	2	150	134.77	1.90
p6	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	9.0	3.00	1	150	122.34	1.82
	2	10.0	4.00	1	150	126.09	1.84
	total	9.5	3.50	2	150	124.22	1.83
p8	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	9.0	1.00	1	150	121.38	1.81
p9	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	13.0	4.00	1	150	122.78	1.82
	2	11.0	3.00	1	150	121.42	1.81
	3	9.0	0.00	1	150	119.12	1.79
	total	11.0	2.33	3	150	120.27	1.80
p10	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	13.0	3.00	1	150	121.29	1.81
	2	10.0	0.00	1	150	125.55	1.84
	total	11.5	1.50	2	150	123.42	1.82
p11	1	11.0	0.00	1	150	119.25	1.80

p12	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	12.0	0.00	1	150	127.81	1.85
p13	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	13.0	0.00	1	150	119.67	1.80

جدول پ 5. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع شاهد

امامیه - زیر اشباع - نصیری)

p1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	1	3	2	5	38	5.14	1.14
	2	4	3	3	38	8.38	1.23
	3	2	1	1	38	7.53	1.20
	4	1	0	1	38	0.49	1.01
	Total	3	2	10	38	5.25	1.16
P2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	4	2	3	38	5.71	1.15
	2	2	0	2	38	1.25	1.03
	3	3	1	2	38	4.77	1.13
Total	3.14	1.14	7	38	4.09	1.11	
P3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	3	0	5	38	1.12	1.03
	2	3	1	2	38	3.78	1.10
Total	3	0.29	7	38	1.79	1.05	
P4	1	4	0	4	38	1.23	1.03

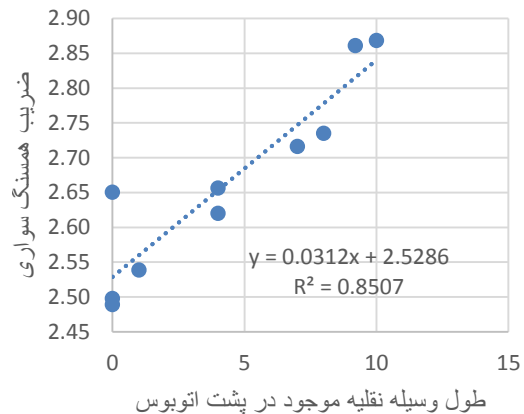
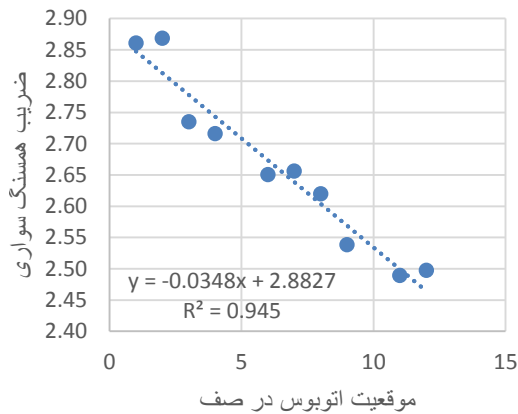
جدول پ ۶. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع

دانشجو-معلم - زیر اشباع - نصیری)

P1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	1.00	6.00	5.00	5.00	62	15.50	1.25
	2.00	5.00	4.00	1.00	62	10.49	1.17
	3.00	4.00	3.00	1.00	62	9.62	1.15
	Total	5.57	4.57	7.00	62	13.95	1.22
P2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	1.00	6.00	4.00	2.00	62	8.97	1.14
	2.00	5.00	3.00	1.00	62	4.47	1.07
	Total	5.66	3.67	3.00	62	7.47	1.12
p3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	6.00	3.00	5.00	62	3.83	1.06
	2.00	5.00	2.00	1.00	62	2.00	1.03
	Total	5.83	2.83	6.00	62	3.52	1.06
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	2.00	5.00	1.00	1.00	62	1.53	1.02

جدول پ ۷. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - زیر اشباع - نصیری)								
P1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	avg additional delay	d-pce	
	2	6	5	3	43	11	1.20	
	3	5	2	1	43	9	1.11	
	4	4	3	3	43	6	1.16	
	5	3	2	2	43	13	1.35	
	Total	5	3	9	43	10	1.25	
P2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce	
	1	8	6	2	43	6	1.16	
	2	7	5	1	43	10	1.27	
	3	4	2	2	43	8	1.21	
	Total	6	4	5	43	8	1.20	
P3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce	
	1	7	4	1	43	3	1.09	
	p4	1	6	2	1	43	3	1.07
	p5	1	5	0	3	43	1	1.03
	p6	1	6	0	1	43	1	1.03
p7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce	
	1	8	1	1	43	6	1.17	
	2	7	0	1	43	1	1.03	
Total	7.5	1	2	43	4	1.10		

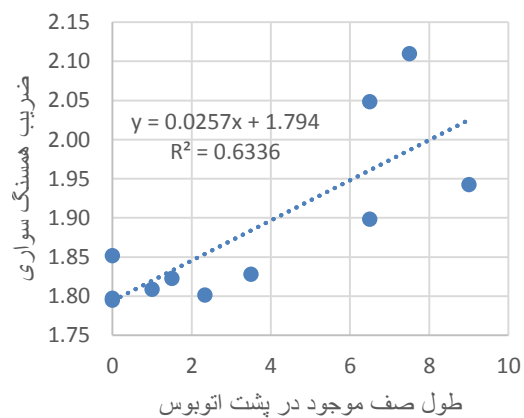
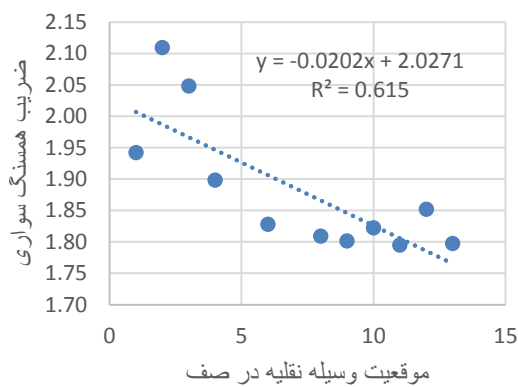
نمودارهای مقدار ضریب همسنگ سواری بر حسب طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (رابطه تاخیر نصیری)



b

a

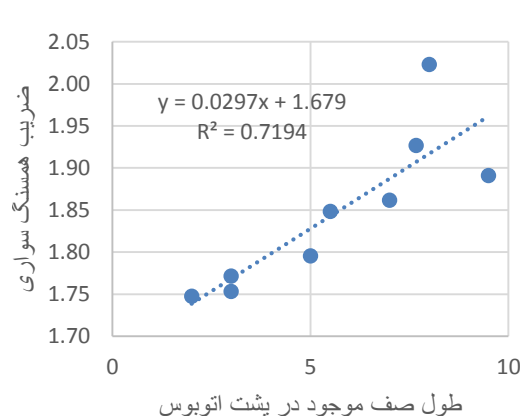
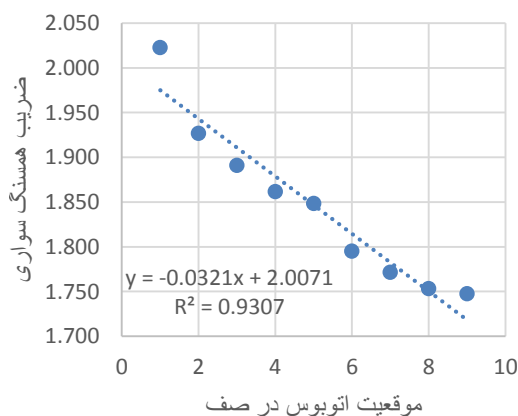
شکل پ ۱. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع کامیاب عبادی - رژیم فوق اشباع - نصیری)



b

a

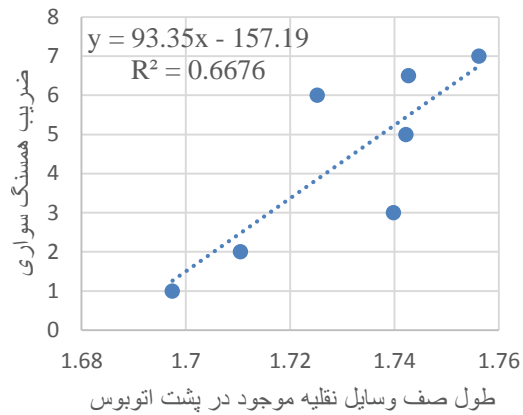
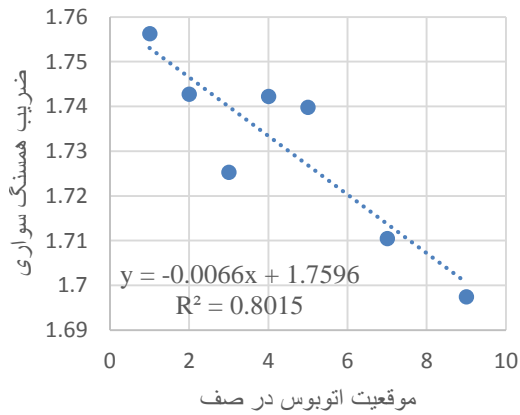
شکل پ ۲. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع خیام سجاد - رژیم فوق اشباع - نصیری)



b

a

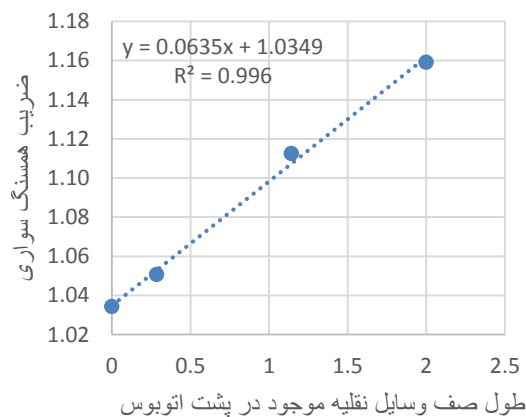
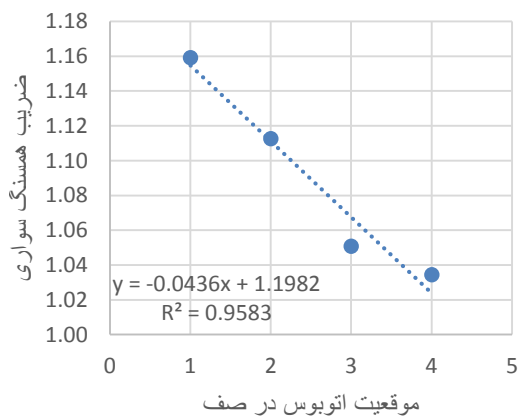
شکل پ ۳. تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع جمهوری کوشش - رژیم فوق اشباع - نصیری)



b

a

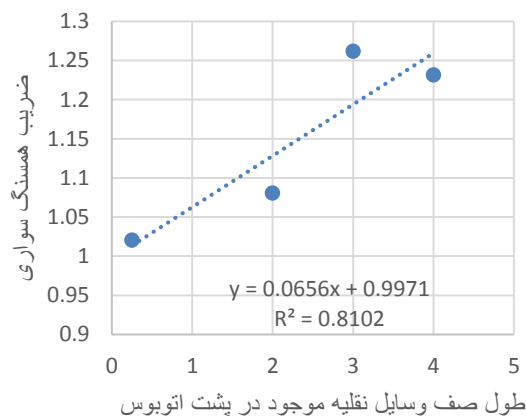
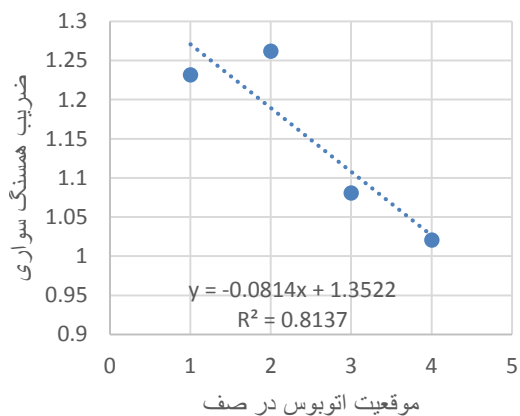
شکل پ ۴. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع جمهوری کوشش - رژیم فوق اشباع - نصیری)



b

a

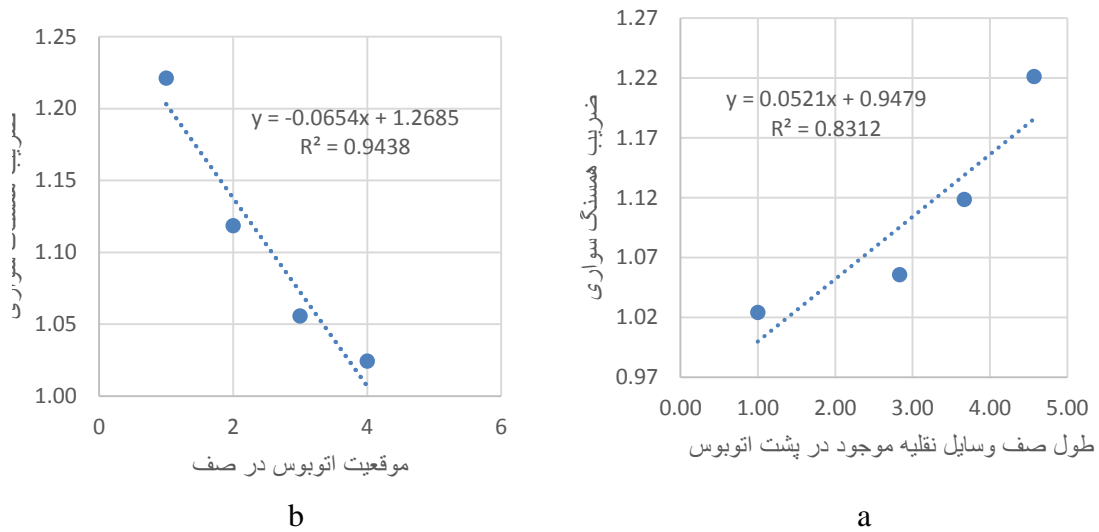
شکل پ ۵. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع شاهد امامیه - رژیم زیر اشباع - نصیری)



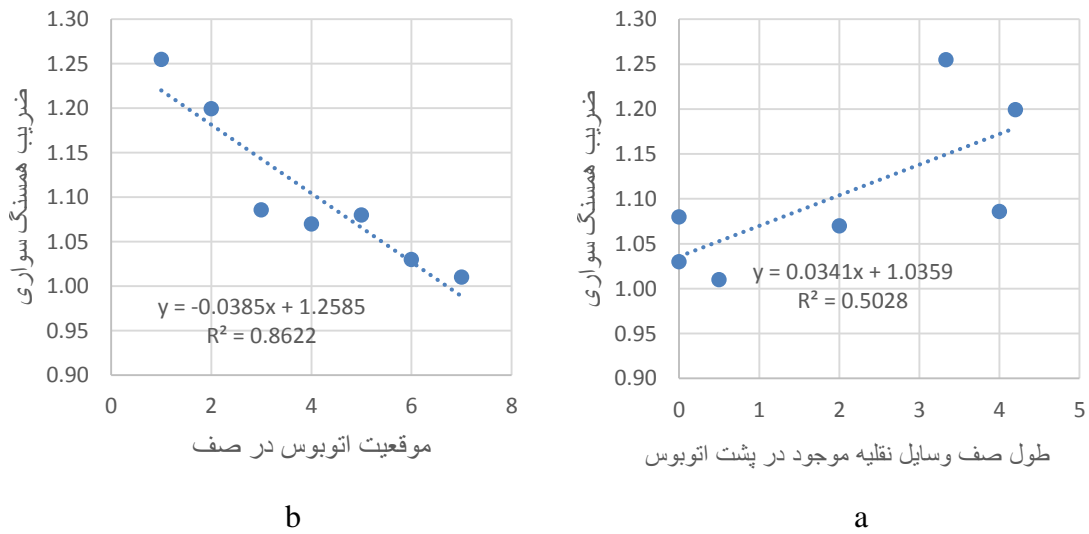
b

a

شکل پ ۶. تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع خیام سجاد - رژیم زیر اشباع - نصیری)



شکل پ ۷. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع دانشجو معلم - رژیم زیر اشباع - نصیری)



شکل پ ۸. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع جمهوری کوشش - رژیم زیر اشباع - نصیری)

جدول پ ۸. ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع کامیاب عبادی
 - رژیم فوق اشباع - HCM)

	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p1	1.00	12.00	11.00	1.00	81	235.34	3.91
	2.00	11.00	10.00	2.00	81	245.24	4.03
	3.00	10.00	9.00	1.00	81	225.32	3.78
	4.00	7.00	6.00	1.00	81	230.59	3.85
	Total	10.20	9.20	5.00	81	236.35	3.92
p2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	10.00	1.00	81	237.26	3.93
p3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	8.00	2.00	81	220.35	3.72
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	7.00	2.00	81	217.95	3.69
p6	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	6.00	0.00	1.00	81	209.60	3.59
p7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	4.00	1.00	81	210.35	3.60
p8	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	4.00	1.00	81	205.73	3.54
p9	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	0.00	2.00	81	192.84	3.38
	2.00	12.00	3.00	1.00	81	200.54	3.48
	Total	10.00	1.00	3.00	81	195.41	3.41
p11	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	0.00	1.00	81	189.12	3.33

p12	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	0.00	1.00	81	190.19	3.35

جدول پ ۹. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری کوشش - رژیم فوق اشباع - HCM)

p@1,8	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	8.00	6.00	2.00	66	92.70	2.40
p@2,8	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	8.00	5.00	1.00	66	99.58	2.51
p@3,5,7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	4.00	1.00	66	103.29	2.56
p@1,2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	8.00	6.00	1.00	66	111.32	2.69
P@3,5	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	5.00	1.00	66	88.92	2.35
P@2,5,7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
		10.00	6.00	1.00	66	113.01	2.71
P@1,2,3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	7.00	4.00	1.00	66	129.31	2.96
P@1,8	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	7.00	1.00	66	82.06	2.24
P1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	8.00	7.00	1.00	66	89.99	2.36
P2	case	queue length	no of vehicle behind the	no of observation	delay	additional delay	d-pce

			truck				
	1.00	8.00	6.00	1.00	66	87.41	2.32
	2.00	9.00	7.00	1.00	66	89.36	2.35
	Total	8.50	6.50	2.00	66	88.38	2.34
P3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	6.00	2.00	66	86.31	2.31
P4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	5.00	2.00	66	88.32	2.34
P5	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	7.00	2.00	1.00	66	84.73	2.28
	2.00	9.00	4.00	1.00	66	91.35	2.38
	Total	8.00	3.00	2.00	66	88.04	2.33
P7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	2.00	1.00	66	84.55	2.28
P9	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	10.00	1.00	1.00	66	83.00	2.26

جدول پ ۱۰. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری - کوشش - رژیم فوق اشباع - HCM)

p1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	1.00	10.00	9.00	2.00	81	138.14	2.71
	2.00	8.00	7.00	1.00	81	96.46	2.19
	3.00	5.00	4.00	1.00	81	130.52	2.61
	Total	8.25	7.25	4.00	81		2.55
p2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	2.00	9.00	7.00	1.00	81	122.22	2.51
	3.00	11.00	9.00	2.00	81	113.89	2.41
	4.00	9.00	7.00	1.00	81	105.94	2.31
	Total	9.67	7.67	4.00	81		2.41
p3	case	queue	no of	no of	Delay	additional	d-pce

		length	vehicle behind the truck	observation		delay	
	1.00	12.00	9.00	1.00	81	95.55	2.18
	2.00	13.00	10.00	1.00	81	123.62	2.53
	Total	12.50	9.50	2.00	81		2.35
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	7.00	2.00	81	97.17	2.20
	2.00	9.00	5.00	1.00	81	110.55	2.36
	3.00	13.00	9.00	1.00	81	119.06	2.47
	Total	11.00	7.00	4.00	81		2.31
p5	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	4.00	1.00	81	101.78	2.26
	2.00	12.00	7.00	1.00	81	106.95	2.32
	Total	10.50	5.50	2.00	81		2.29
p6	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	11.00	5.00	1.00	81	97.83	2.21
p7	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	9.00	2.00	1.00	81	94.99	2.17
	2.00	11.00	4.00	2.00	81	94.78	2.17
	Total	10.00	3.00	3.00	81		2.17
p9	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	12.00	3.00	1.00	81	92.66	2.14
p11	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional	d-pce
	1.00	13.00	2.00	1.00	81	91.95	2.14

جدول پ ۱۱. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع شاهد امامیه
- رژیم زیر اشباع - HCM)

p1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
	1	3	2	5	34	5.14	1.15
2	4	3	3	34	8.38	1.25	
3	2	1	1	34	7.53	1.22	
4	1	0	1	34	0.49	1.01	
Total	3	2	10	34	5.25	1.17	
P2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	4	2	3	34	5.71	1.17
	2	2	0	2	34	1.25	1.04
	3	3	1	2	34	4.77	1.14
	Total	3.14	1.14	7	34	4.09	1.12
P3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	3	0	5	34	1.12	1.03
	2	3	1	2	34	3.78	1.11
	Total	3	0.29	7	34	1.79	1.06
P4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1	4	0	4	34	1.23	1.04

جدول پ ۱۲. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع خیام سجاد
 - رژیم زیر اشباع-HCM)

p1	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	avg additional delay	d-pce
	1	5	4	4	51	12.15	1.24
p2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	avg additional delay	d-pce
	1	5	3	2	51	13.75	1.27
p3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	avg additional delay	d-pce
	1	5	2	2	51	4.24	1.08
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	avg additional delay	d-pce
	1	5	0	3	51	0.82	1.02
	2	6	1	1	51	1.89	1.04
	Total	5.25	0.25	4	51	1.08	1.02

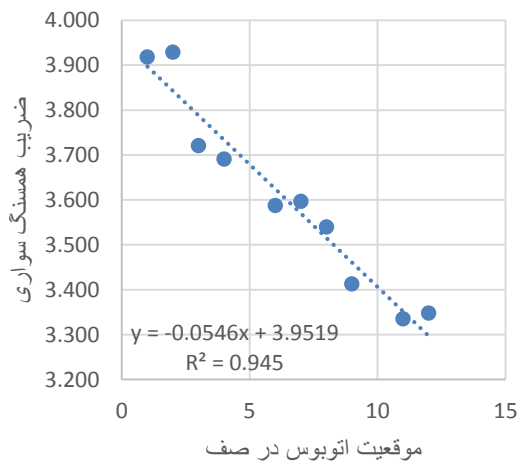
جدول پ ۱۳. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع جمهوری
کوشش - رژیم زیر اشباع - HCM)

	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	avg additional delay	d-pce
P1	2	6	5	3	44	11	1.19
	3	5	2	1	44	9	1.11
	4	4	3	3	44	6	1.16
	5	3	2	2	44	13	1.35
	Total	5	3	9	44	10	1.25
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
P2	1	8	6	2	44	6	1.16
	2	7	5	1	44	10	1.27
	3	4	2	2	44	8	1.21
	Total	6	4	5	44	8	1.20
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
P3	1	7	4	1	44	3	1.09
p4	1	6	2	1	44	3	1.07
p5	1	5	0	3	44	1	1.03
p6	1	6	0	1	44	1	1.03
	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	Delay	additional delay	d-pce
p7	1	8	1	1	44	6	1.17
	2	7	0	1	44	1	1.03
	Total	7.5	1	2	44	4	1.10

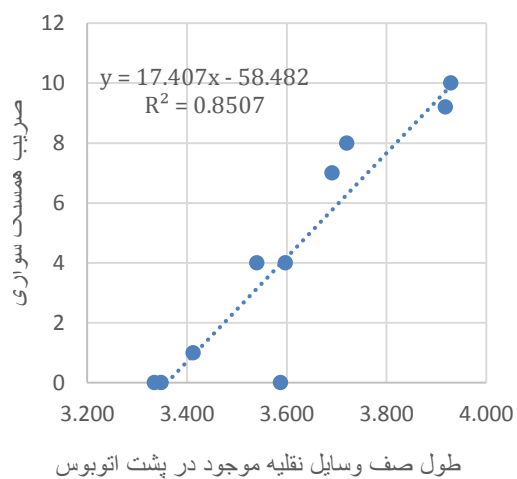
جدول پ ۱۴. مقادیر ضریب همسنگ سواری اتوبوس به تفکیک موقعیت در صف (تقاطع دانشجو - معلم
 رژیم زیر اشباع - HCM)

	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
p1	1.00	6.00	5.00	5.00	67	15.50	1.23
	2.00	5.00	4.00	1.00	67	10.49	1.16
	3.00	4.00	3.00	1.00	67	9.62	1.14
	Total	5.57	4.57	7.00	67	13.95	1.21
p2	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	6.00	4.00	2.00	67	8.97	1.13
	2.00	5.00	3.00	1.00	67	4.47	1.07
	Total	5.66	3.67	3	67	7.47	1.11
p3	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	1.00	6.00	3.00	5.00	67	3.83	1.06
	2.00	5.00	2.00	1.00	67	2.00	1.03
	Total	5.83	2.83	6	67	3.52	1.05
p4	case	queue length	no of vehicle behind the truck	no of observation	delay	additional delay	d-pce
	2.00	5.00	1.00	1.00	67	1.53	1.02

نمودارهای مقدار ضریب همسنگ سواری بر حسب طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (رابطه تاخیر HCM)

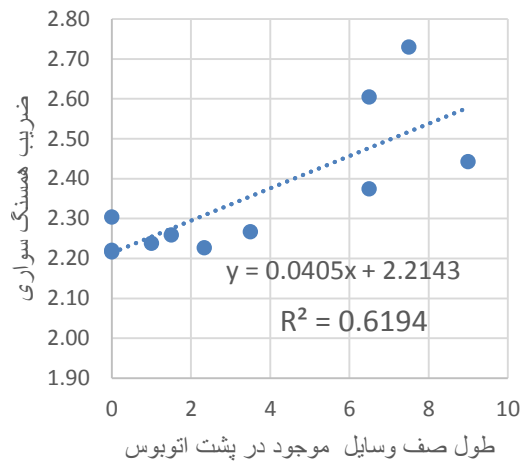
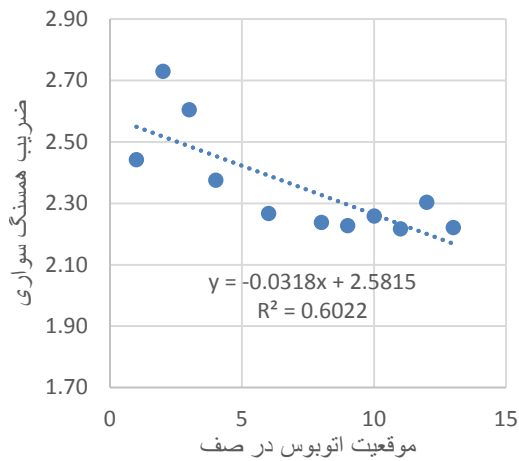


b



a

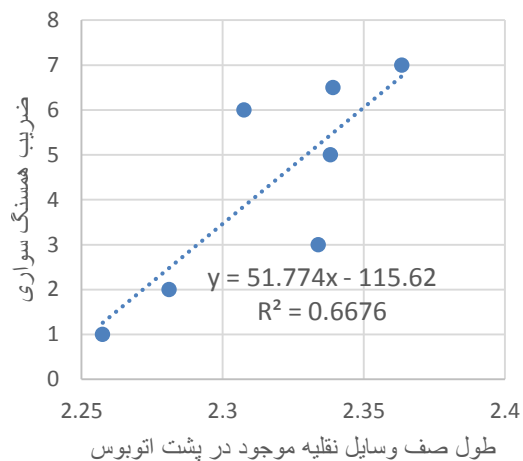
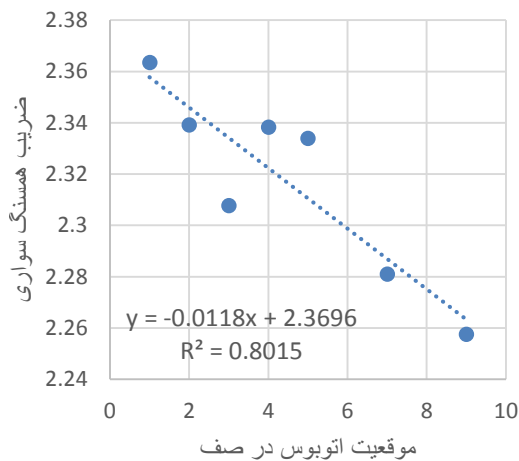
شکل پ ۹. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع کامیاب عبادی - فوق اشباع-HCM)



b

a

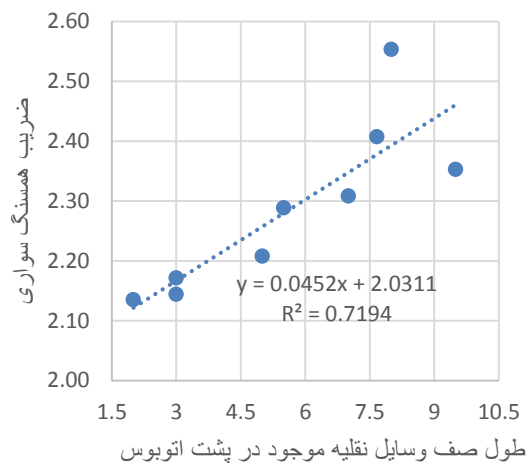
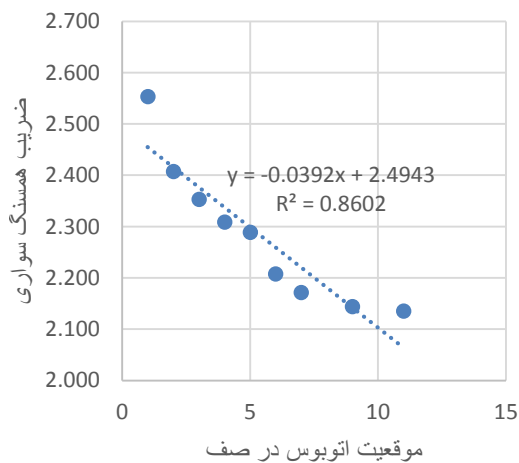
شکل پ ۱۰. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع خیام سجاد - رژیم فوق اشباع-HCM)



b

a

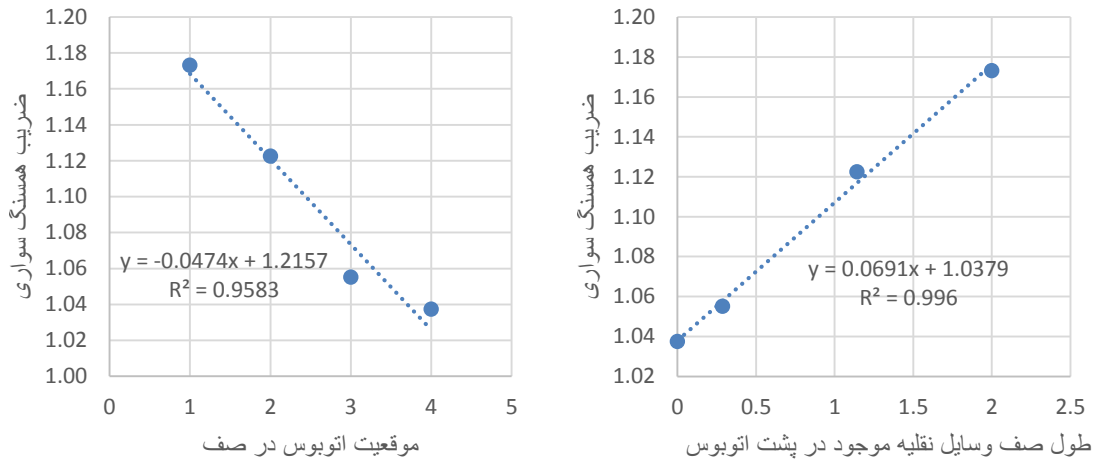
شکل پ ۱۱. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (جمهوری کوشش - رژیم فوق اشباع-HCM)



b

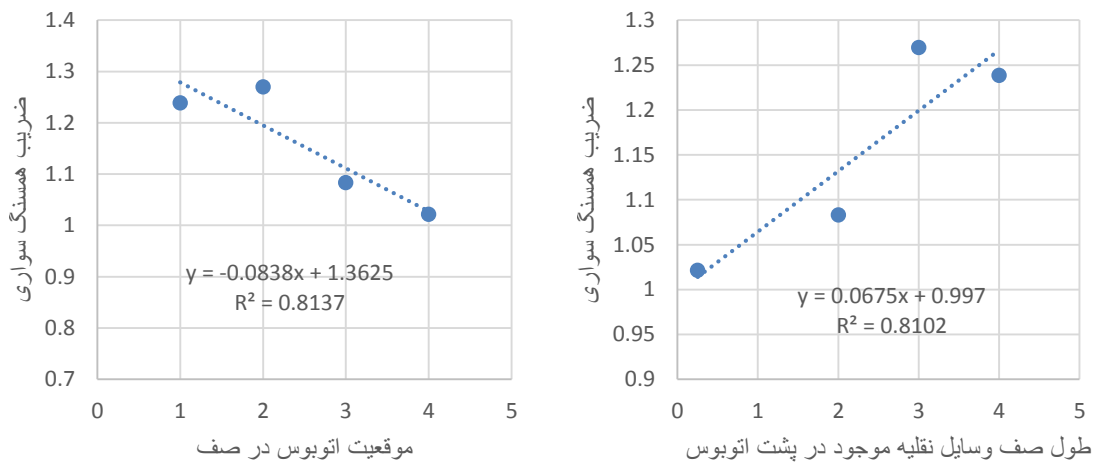
a

شکل پ ۱۲. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (جمهوری کوشش - رژیم فوق اشباع - HCM)



b

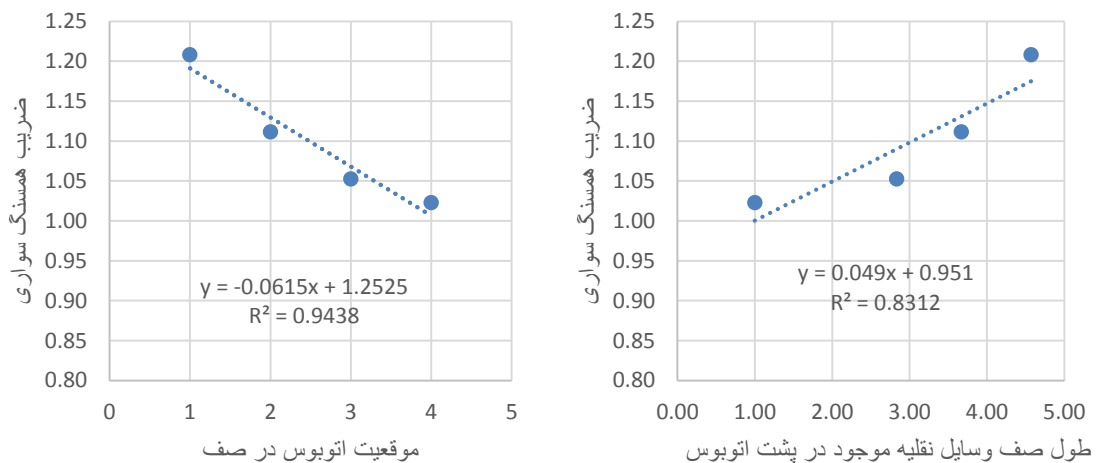
شکل پ ۱۳. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع شاهد امامیه - رژیم زیر اشباع - HCM)



b

a

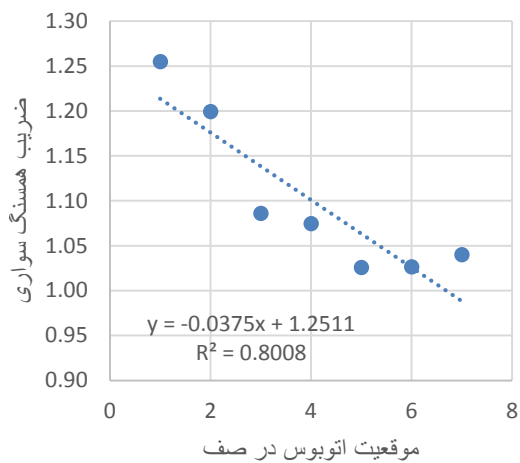
شکل پ ۱۴. تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع خیام سجاد - رژیم زیر اشباع - HCM)



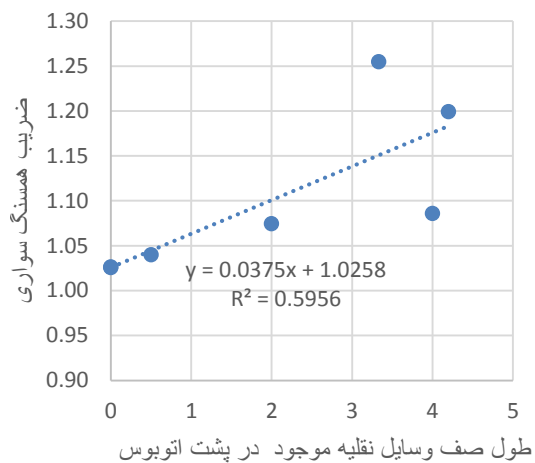
b

a

شکل پ ۱۵. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع دانشجو معلم - رژیم زیر اشباع-HCM)



b



a

شکل پ ۱۶. دیاگرام تغییرات ضریب همسنگ با تغییر در دو پارامتر طول صف و موقعیت اتوبوس در صف (تقاطع جمهوری کوشش - رژیم فوق اشباع-HCM)

مراجع

- ١ Transportation Research Board, N.R.C., Highway Capacity Manual, Special report 209, Third Edition, Washington D .C. 2000.
- ٢ Kamarajugadda.A , a.B.B., '*Stochstic Traffic Signal Timing Optimization*' center for Transportation Studies university of virginia
- ٣ Transportation Research Board, N.R.C., Highway Capacity Manual, and T.E. Special report 209, Washington D .C. 1985.
- ٤ Transportation Research Board, N.R.C., Highway Capacity Manual, and T.E. Special report 209, Washington D .C. 2010., *Transportation Research Board, National Research Council, Highway Capacity Manual, Special report 209, Third Edition, Washington D .C. 2010.*
- .
- ٥ greenshields, B., shapiro, D , and Erickson ,E.I., *Traffic Performance at Urban Intersection, Bureau of Highway Traffic, Technical Report No. 1.* Yale University, New Haven, Conn. 1947., 1947.
- ٦ Zhao, W., *Development of a methodology for measuring delay-based passenger car equivalent for heavy vehicles at signalized intersections.* PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, the University of Illinois, Urbana IL., 1996.
- ٧ Molina, C.J., *Development of Passenger Car Equivalencies for Large Trucks at Signalized Intersections.* ITE Journal., Nov 1987.
- ٨ Webster, F., *Controlled Experiment on the Capacity o f Junctions with Traffic Signals.,* in *Road Research Lab.* 1958.
- ٩ Branston, D.a.v.Z., Henk., *The Estimation of Saturation Flow, Effective Green Time and Passenger Car Equivalents at Traffic Signals by Multiple Linear Regression.* Transportation Research Part A: General, 1٩٧٨,
- ١٠ Benekohal, R.F. and W. Zhao, *Delay-based passenger car equivalents for trucks at signalized intersections.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2000. **34**(6): p. 437-457.
- ١١ Nassiri, H., S. Tabatabaie, and S. Sahebi, *Delay-based passenger car equivalent at signalized intersections in Iran.* Promet-Traffic&Transportation, 2017. **29**(2): p. 135-142.
- ١٤ Radhakrishnan, P., Mathew, T.V, *Passenger car units and saturation flow models for highly heterogeneous traffic at urban signalised intersections.* Transportmetrica 7 (2),

141e162., 2011.

.۱۵ Mohan, M. and S. Chandra, *Concept of queue clearance rate for estimation of equivalency factors at priority junctions*. Canadian Journal of Civil Engineering, 2016. **43**(7): p. 593-598.

.۱۶ Mohan, M. and S. Chandra, *Queue clearance rate method for estimating passenger car equivalents at signalized intersections*. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2017. **4**(5): p. 487-495.

.۱۸ Huber, M.J., *Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream (discussion and closure)*. 1982.

.۱۹ Demarchi, S.H.-J.R.S.L.o.P.d.f.t.s.w.m.t.o.t.t., TRB Annual Meeting.

.۲۰ Sumner, R., D. Hill and S. Shapiro and "", *Segment passenger car equivalent values for cost allocation*. Transportation Research A, 1984.

.۲۲ Y, K., *Delay, Stop and Queue Estimation for Uniform and Random Traffic Arrivals at Fixed - Time Signalized intersection, Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy , Virginia Polytechnic Institute and state University, Blacksburg, Virginia , USA, 2000*

۲۰۰۰,

.۲۳ T Martin, P.a.P., j, *Real time Measure of Effectiveness*, . Department of Civil and Environmental Engineering of University of Utah Traffic Lab , salt Lake city , Utah, USA 2003, 2003.

.۲۴ AKcelik, R., *time Dependent Expression for Delay, Stop Rate and Queue Length at Traffic Signals, Internal Report air367, Australian Road Research Board , Vemont South, victoria,1980*. 1980.

.۲۶ Webster, F., *Traffic signal setting*. Road research technical paper, 1958.

.۲۷ Webster, F., *Traffic signals*. Road research technical paper, 1966.

.۲۸ ITE, Institute of Transportation engineers, canada, 1995.

.۲۹ Masoud Nader NeJAd, a.H.N., *Modeling of ver saturation delay at signalized intersection*. International road federation Conference, , may 2010, portugal.

۱۲. نصیری، ح.ا. س. طباطبایی، برآورد همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در تقاطع های چراغدار اساس پارامتر تأخیر، اولین کنگره ملی مهندسی عمران. ۱۳۸۳، دانشگاه شریف.
۱۳. منصورخاکی، ع. ح. ناصری فرد، محاسبه ضریب همسنگ سواری موتورسیکلت در تقاطع های چراغ دار براساس تحلیل تأخیر، in دهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران. ۱۳۹۰، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران.
- ۱۷، بهنام، ا. ش. شروین، ارزیابی مقایسه ای ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در راه های دو خطه دو طرفه ایران بر اساس روش های اختلاف سرعت و سرفاصله وسایل نقلیه.
۲۱. افندی زاده، ش. م. ر. نصراله نژاد، م. پور تیموری، آرایه یک روش برای محاسبه ضریب همسنگ در محورهای برون شهری، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران. ۱۳۹۱، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران.
۲۵. علی، ا. ش. ح. م. خ.، مقایسه طراحی چراغهای راهنمایی به روش آیین نامه های آمریکا، استرالیا و انگلستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۴.

Abstract

Nowadays by increasing the demand inter urban trips as well as increasing The number of vehicles in urban areas, will increase Traffic congestion, increase the Time for inter urban Trips and increasing the Level of service. Therefore, the intersections capacity Parameter and the Intersection volume parameter are most Important Parameter for designing the Intersection without congestion . One of the most Important Parameter for calculation of intersection capacity is Passenger car equivalent of heavy vehicles. In This Study we aim to calculate passenger car equivalent of inter urban bus for undersaturated and oversaturated signalized intersections of Iran,Mashhad. an other purpose of This study is finding the effect of the variation of volume, capacity and g/C on the passenger car equivalent of bus. Therefor the passenger car equivalent of buses for four under saturated intersection and three over saturated intersection based on delay parameter was calculated using the field data and finally the passenger car equivalent of buses in over saturated regim and undersaturated regim were compared. The field data also were implemented in the traffic software,SYNCHRO and the passenger car of the inter urban buses were calculated with software outputs(delay). Also after determining the PCE by use of field data, in order to generalize PCE into the other intersections in Mashhad, different traffic conditions ($g/C=0.25, 0.3, 0.35, 0.4$) were implemented in the software and then by use of software outputs(delay in Base flow and Mix flow) the passenger car equivalent were calculated. In the end two types of mathematical models were presented to determine the passenger car equivalent. The parameters of models are the volume of passing through the intersection, percentage of the bus passing through the intersection and the parameter g/C . finally the capacity reduction factors calculated by passenger car equivalent of buses in this study were compared with the capacity reduction factor calculated by passenger car equivalent of heavy vehicles in HCM2016.

Key words: PCE, undersaturated, oversaturated, mathematical model



Shahrood university of technology

Faculty of Civil Engineering
M.sc.Thesis in Road and Transport Engineering

Estimating the passenger car equivalent (PCEs) in
urban networks for undersaturated, saturated and
over saturated flows

Emadoddin kharrazian

Supervisor
Dr. Iman Aghayan
Dr. Abdolahad Choupani

Advisor
Eng. Abbas Mohammadi

Date: June 2019

