مقایسه نرخ جریان اشباع میدانی با مقادیر آیین‌نامه‌های مختلف در تقاطع‌های چراغدار ایران و شناسایی مناسب‌ترین آیین‌نامه

مریم دهقانی‌زاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
مهدی فلاح تفتی*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Fallah.Tafti@Yazd.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰٤/۰٦– پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه۱۱۸-۱۰۱

چکیده

نرخ جریان اشباع تقاطع‌های چراغدار یکی از پارامترهای اساسی برای تحلیل و طراحی این تقاطع‌ها محسوب می‌شود. مقدار این پارامتر تا حد زیادی به شرایط و رفتار رانندگی در هر کشور بستگی دارد. از این رو، آئین‌نامه های تحلیل ظرفیت ترافیکی در کشورهای مختلف، مقادیر و روشهای مختلفی را برای آن پیشنهاد نموده اند. تاکنون مطالعات معدودی به منظور برآورد این پارامتر در شرایط ترافیکی ایران انجام شده است، بنابراین، نیاز به مطالعات گسترده‌تر در این ضمینه تشخیص داده شد. در این مطالعه، امکان تعیین مناسب‌ترین آئین‌نامه از بین آیین‌نامه های معتبر در دسترس برای برآورد نرخ جریان اشباع در تقاطع‌های چراغدار ایران با مطالعه موردی بر روی تقاطع‌های چراغدار شهر یزد مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، نرخ جریان اشباع هم به‌شکل میدانی و هم با استفاده از آئین‌نامه‌های ظرفیت راه‌های کشور های آمریکا، کانادا، استرالیا، مالزی، اندونزی و ایران برای ١٤ رویکرد تقاطعهای چراغدار این شهر محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. اطلاعات ترافیکی موردنیاز با استفاده از روش فیلم‌برداری و نیز روش دستی برداشت شد. مقایسه نتایج میدانی برداشت‌شده و آئین‌نامه های ذکر شده نشان دادند که در حالت چپگرد حمایت‌شده، روابط ارائه‌شده در آئین‌نامه استرالیا و در فاصله نزدیکی از آن،آئین‌نامه ایران و در حالت چپگرد حمایت‌نشده، آیین‌نامه آمریکا بهترین نتیجه را ارائه دادند. این نتایج، مناسب نبودن روابط فعلی پیشنهادی در آئین‌نامه ایران برای شرایط حمایت نشده و لزوم تحقیقات بیشتر به منظور توسعه مدلهای جدیدتر را نشان داد.

واژه‌های کلیدی:تقاطعات چراغدار، سرفاصله زمانی اشباع، ضریب معادل سواری، ظرفیت تقاطع، نرخ جریان اشباع

۱-مقدمه

از آنجاکه تقاطعهای چراغدار، بخش قابل توجهی از تقاطع‌های اصلی شبکه معابر شهری را به خود اختصاص می‌دهند، طراحی و بهره‌برداری مناسب از این تقاطع‌ها می‌تواند اثرات بسیار مطلوبی روی ظرفیت شبکه‌ی معابر به جای‌گذارد به‌نحوی‌که می‌توان گفت؛ افزایش ظرفیت تقاطعهای چراغدار منجر به افزایش ظرفیت کلی شبکه و به تبع آن، ارتقای کارایی شبکه می‌گردد. به منظور افزایش ظرفیت عبوری این تقاطع‌ها لازم است تا زمان‌بندی دقیقی برای چراغ‌های راهنمایی این تقاطعات تنظیم شود. نرخ جریان اشباع، پارامتری است که به طور مستقیم در زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی، تعیین ظرفیت و ارزیابی کیفیت تردد در این تقاطع‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق تعریف راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا[1] (TRB, 2010)، نرخ جریان اشباع عبارت است از، حداکثر جریانی که می‌تواند از یک راه (یا گروه خط) ورودی به تقاطع چراغدار، تحت شرایط حاکم هندسی، ترافیکی و کنترلی تقاطع در مدت

یک ساعت از آن تقاطع عبورکند با فرض اینکه زمان سبز موثر برای ورودی مزبور در تمام مدت برقرار باشد.

در این مطالعه تلاش شده است تا مناسب‌ترین روش برای برآورد نرخ جریان اشباع تقاطع‌های چراغدار کشورمان با مطالعه موردی شهر یزد پیشنهاد شود. در این راستا، با استفاده از آمار برداشتی از چندین تقاطع شهر یزد در ساعات اوج، نرخ جریان اشباع هم به‌شکل میدانی و هم به روش های آیین‌نامه ای محاسبه و باهم مقایسه شدند. همچنین در این مطالعه، ضرایب معادل سواری[۲] برای موتورسیکلت و وسایل‌نقلیه سنگین به روش آنالیز رگرسیون چند متغیره محاسبه شدند. از بین آیین‌نامه های موجود ظرفیت راه‌های کشورهای آمریکا، کانادا، استرالیا، مالزی، اندونزی و ایران مورد بررسی قرار گرفتند که دلیل انتخاب هریک به طور خلاصه در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱. دلایل انتخاب آیین‌نامه های مورد بررسی

آیین نامه	دلیل انتخاب
ظرفیت راه های آمریکا	۱. کامل و جامع بودن ضرایب اصلاحی ۲. شناخت نسبی کارشناسان ترافیک نسبت به آن در ایران
کانادا	۱. کامل و جامع بودن ضرایب اصلاحی ۲. عدم بررسی قبلی در ایران علیرغم جامعیت
استرالیا	۱. سادگی استفاده از آن در عین جامعیت نسبی آن (ارایه جداولی برای حالت-های مختلف عبوری) ۲. در نظر گرفتن اثر ترکیب ترافیک
اندونزی	۱. تعیین جریان اشباع برمبنای عرض موثر رویکرد ۲. در نظر گرفتن اثر ترکیب ترافیک به طور غیرمستقیم
مالزی	اعمال اثر ترکیب ترافیک خصوصا تاثیر موتورسیکلتها

۲-پیشینه تحقیق

به طور کلی عواملی مانند تعداد خطوط عبوری، عرض خطوط، مانورهای پارک، ترکیب ترافیک، میزان و چگونگی عبور عرضی عابرین پیاده، رفتار رانندگان و غیره در برآورد نرخ جریان اشباع تقاطعهای چراغدار تاثیرگذار می باشند. مطالعات انجام شده به منظور تخمین نرخ جریان اشباع با در نظر گرفتن این عوامل را به دو دسته کلی می توان تقسیم بندی نمود. روش‌های دسته اول مبتنی بر برآورد نرخ جریان اشباع برای یک خط و یا یک گروه خط هر رویکرد ورودی به تقاطع و روش‌های دسته دوم مبتنی بر برآورد نرخ جریان اشباع برای عرض موثر رویکرد مورد نظر می‌باشند. در طول چند دهه گذشته، در کنار روش‌های ارائه شده در آئین نامه های ترافیکی تعدادی از کشورها، موضوع شناسائی مدل‌ها و یا روابط مناسب برای برآورد نرخ جریان اشباع در کشورهای در حال توسعه نیز مورد توجه قرار گرفته است که در ادامه تعدادی از این آیین‌نامه ها معرفی و برخی از این تحقیقات بر شمرده شده اند.

(Zhang and Chen, 2009) در پژوهشی در کشور چین به این نتیجه رسیدند که راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا با کالیبره کردن بر طبق شرایط ترافیکی کشور چین، برای این کشور نیز قابل‌استفاده خواهد بود. (Raval and Subhas, 2014) نیز طی پژوهشی در کشور هند نتیجه گرفتند که آیین‌نامه ظرفیت راه‌های آمریکا برای کشور هند قابل استفاده خواهد بود به شرطی که فاکتورهای اعمالی به طور مکرر کالیبره شوند. (Anusha et al., 2013) نیز در پژوهشی اثر وسایل‌نقلیه دارای دوچرخ را بر نرخ جریان اشباع تقاطع‌های چراغدار شهر بنگالور در کشور هند بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که یک همبستگی قوی بین نرخ جریان اشباع و درصد وسایل‌نقلیه دارای دوچرخ وجود دارد که این بر ظرفیت تقاطع‌های چراغدار تأثیرگذار خواهد بود. با محاسبه ضریب همبستگی بین جریان اشباع و نوع وسیله‌نقلیه نتیجه شد که اثر وسایل‌نقلیه دارای دوچرخ بر نرخ جریان اشباع بین ۰/۴۲ تا ۰/۹۴ متفاوت است. آن‌ها مدل ظرفیت راه‌های آمریکا را برای شرایط تقاطع‌های کشور هند کالیبره کردند. (Savitha et al., 2017) طی پژوهشی در کشور هند به بررسی ضرایب هندسی مؤثر بر

نرخ جریان اشباع تقاطع‌های چراغدار تحت شرایط ترافیک ناهمگن پرداختند. این مطالعه برای ۱۵ تقاطع در مناطق با کاربری تجاری در شهر بنگلور انجام شد. پارامترهای هندسی این تقاطع‌ها از جمله عرض مسیر، شیب مسیر و شعاع گردشی برای وسایل‌نقلیه راستگرد متنوع بود. آن‌ها نرخ جریان اشباع مشاهده‌شده را با نرخ جریان اشباع محاسبه‌شده از مدل های ذکر شده در راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا، اندونزی و راهنمای طرح تقاطع‌های هم‌سطح مناطق شهری و بین‌شهری کشور هند مقایسه کردند. در این پژوهش با توجه به ناهمگن بودن شرایط ترافیکی، شمارش ترافیک عبوری بر مبنای عرض کل هر رویکرد ورودی انجام شد. نهایتاً، مطالعات آنها نشان دادند که نیاز است تا مدلی مستقل و منطبق بر شرایط ترافیکی کشور هند ارایه شود. مدلهای نهایی پیشنهاد شده توسط آنها در روابط (۱) الی (٤) ارایه شده است.

$$S = S_{.} f_g f_{tr} \quad (۱)$$

$$S_{.} = ٦٠٠ W \quad (۲)$$

$$f_g = ۱ - ۰/۰۱۳g\ (\%) \quad (۳)$$

$$f_{tr} = ۱ + \frac{٤r}{۱۰۰۰} \quad (٤)$$

که در این روابط، S نرخ جریان اشباع برحسب وسیله‌نقلیه سواری بر ساعت سبز، $S_{.}$ نرخ جریان اشباع پایه[۳] برحسب وسیله‌نقلیه سواری بر ساعت سبز، W عرض موثر رویکرد برحسب متر، r شعاع گردشی برحسب متر، f_g ضریب تعدیل شیب مسیر[٤] و f_{tr} ضریب تعدیل وسایل‌نقلیه گردشی است.

(ملکان و همکاران، ۱۳۹۳) در پژوهشی تحت عنوان روش‌های برآورد پارامترهای ترافیکی تقاطع‌های چراغدار در تهران، به مقایسه نتایج حاصل از راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا و روش وبستر[۵] پرداختند. در پایان این پژوهش نتیجه شد که راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا نسبت به روش وبستر به واقعیت موجود نزدیک‌تر است.

در ایران، اساسی‌ترین مطالعه ای که در رابطه با تعیین نرخ جریان اشباع تقاطعهای چراغدار انجام شده است مربوط به بررسی ۸ تقاطع شهر تهران می باشد که نتایج حاصله در نشریه شماره ۱٤٥ با عنوان آئین نامه طرح هندسی تقاطع‌ها در قالب سه رابطه برای جریانهای ترافیکی مستقیم، حمایت شده و حمایت نشده ارائه شده است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷٦). این روابط در واقع شکل ساده شده رابطه وبستر می باشند که در گذشته برای برآورد نرخ جریان اشباع در تقاطعهای کشور انگلستان ارائه شده بود و در آنها تنها عرض موثر رویکرد ورودی بطور مستقیم و درصد وسایل نقلیه سنگین بطور غیر مستقیم در نظر گرفته شده است. روابط پیشنهادی دستورالعمل ایران مطابق با جدول ۲ می باشند که در روابط ارائه شده در این جدول، S نرخ جریان اشباع برحسب وسیله‌نقلیه بر ساعت و W عرض موثر رویکرد برحسب متر است.

اخیرا، بابازاده (۱۳۸۸) طی پژوهشی به مقایسه کاربردی دو دستورالعمل راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا و آیین‌نامه ایران در محاسبه نرخ جریان اشباع در شش تقاطع‌های چراغدار تهران پرداخت. نتایج حاصل از این دو دستورالعمل با نرخ جریان اشباع میدانی مقایسه شد. وی با رسم معادله رگرسیونی بین مقادیر جریان اشباع حاصل از آیین نامه‌های مورد بررسی و مقادیر مشاهده شده و مقایسه آن‌ها دریافت که راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا نسبت به آیین‌نامه ایران برتری دارد.

جدول ۲. روابط نشریه شماره ۱٤٥ ایران (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷٦)

انواع حرکات	روابط پیشنهادی
حالت چپگرد حمایت‌شده	$S = ٤٢٨W$ $R^٢ = ٠/٩٩$
حالت چپگرد حمایت‌نشده	$S = ٣٥٤W$ $R^٢ = ٠/٩٩$
تردد اشباع ایده‌آل	$S = ٤٨٨W$

امروزه برخی از کشورها، آیین‌نامه های مستقل و معتبری را برای برآورد نرخ جریان اشباع در تقاطعات خود ارایه داده اند. در کشور امریکا، راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا در سال ۱۹٦٥ میلادی برای نخستین بار، دستورالعملی برای آنالیز و طراحی ظرفیت تقاطع‌های چراغدار ارائه داد.

از گذشته تاکنون از این آیین‌نامه و نسخه‌های تجدید نظر شده آن به عنوان جامع ترین آیین‌نامه پیشنهادی یاد می‌شود. آخرین نسخه در دسترس این آئین نامه، نسخه ۲۰۱۰ بود که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (TRB, 2010). دراین آیین‌نامه که براساس تقاطع های چراغدار کشورهای آمریکای شمالی تدوین شده است، رابطه (٥) برای محاسبه نرخ جریان اشباع یک گروه خط مربوط به یک رویکرد ورودی تقاطع چراغدار ارایه شده است.

$$S=S_{.} Nf_{w}f_{HV}f_{g}f_{P}\ f_{bb}f_{a}\ f_{lu}f_{LT}f_{RT}\ f_{Lpb}f_{Rpb} \qquad (٥)$$

که در این رابطه، S نرخ جریان اشباع برحسب وسیله‌نقلیه بر ساعت، $S_{.}$ نرخ جریان اشباع پایه (برابر با ۱۹۰۰ معادل سواری در هر خط در هر ساعت چراغ سبز)، N تعدادخطوط در هر گروه خط، f_w ضریب تعدیل پهنای خط[٦]، f_{HV} ضریب تعدیل اثر وسایل‌نقلیه سنگین[٧]، f_g ضریب تعدیل شیب طولی مسیر، f_P ضریب تعدیل مانورهای پارک کنار خیابانی[٨]، f_{bb} ضریب تعدیل اثر محدودکنندگی اتوبوس در ایستگاه آن[٩]، f_a ضریب تعدیل نوع ناحیه یا منطقه شهری[١٠]، f_{LU}ضریب تعدیل نحوه توزیع ترافیک بین خطوط[١١]، f_{LT} ضریب تعدیل حرکات گردش‌به‌چپ، f_{RT} ضریب تعدیل حرکات گردش‌به‌راست، f_{Lpb} ضریب تعدیل حرکات چپگرد توأم با عبور عرضی عابرپیاده و دوچرخه و f_{Rpb} حرکات راستگرد توأم با عبور عرضی عابر پیاده و دوچرخه است.

تدوین راهنمای ظرفیت راه‌های کشور اندونزی از سال ۱۹۹۰ میلادی آغاز شد و در سال ۱۹۹۳ میلادی راهنمای تحلیل تقاطع‌های چراغدار اندونزی براساس مطالعه ٥۲ تقاطع چراغدار در ۱٥ شهر از این کشور منتشر گردید (Indonesian Directorate General of Highways, 1993). مدل پیشنهادی این آیین‌نامه برای محاسبه نرخ جریان اشباع در حالت چپگرد حمایت‌شده در رابطه (٦) و روند محاسبه برای حالت چپگرد حمایت‌نشده در جدول ۳ ارایه شده است.

$$S=S_{.}\times f_{CS}\times f_{RF}\times f_{RT}\times f_{LT} \qquad (٦)$$

که در این رابطه، $S_{.}$ مقدار تردد اشباع ایده‌آل در ساعت سبز در هر متر عرض مؤثر رویکرد ورودی بوده و برابر با ٦۰۰ وسیله‌نقلیه سواری معادل است، f_{CS} ضریب تأثیر بزرگی شهر، f_{RF} ضریب تأثیر شرایط محیطی تقاطع، f_{RT} ضریب تعدیل نسبت وسایل‌نقلیه راستگرد و f_{LT} ضریب تعدیل نسبت وسایل‌نقلیه چپگرد است.

جدول ۳. روابط حالت گردش به چپ حمایت‌نشده کشور اندونزی(Indonesian Directorate General of Highways, 1993)

ورودی‌های بدون خط گردش‌به‌چپ مجزا	ورودی‌های با خط گردش‌به‌چپ مجزا
$S1_{ST} = 400(W - 2/5)$ متر $W > 4/6$	$S1_{ST} = 375(W - 3)$
$S2_{ST} = 550\left(W - 2/5\right) - Q_{LTO}$ متر $W > 4/6$	$S2_{ST} = 550\left(W - 3\right) - Q_{LTO}$
$S1_{ST} = 400W \times 0/5$ متر $W < 4/6$	$S3_{ST} = S2_{ST}$
$S2_{ST} = 550W \times 0/5 - Q_{LTO}$ متر $W < 4/6$	$S4_{ST} = S1_{ST}$
$S3_{ST} = 550W \times 0/5 - Q_{LTO} - 2Q_{LT}$	$S1_{LT} = 750$
$S4_{ST} = S1_{ST}$	$S2_{LT} = Q_{LT} \times 0/5$
$S1_{LT} = 750$	$S4_{LT} = S1_{ST}$
$S2_{LT} = Q_{LT} \times 0/5$	
زمان سبز موردنیاز برای پاک‌سازی صف	
$g1_{LTO} = Q_{LTO} \times (C - g)/(S1_{LTO} - Q_{LTO})$	$g1_{LT} = Q_{LT} \times (C - g)/(S1_{LT} - Q_{LT})$
اگر $g1_{LT} > g1_{LTO}$	$S_{ST} = [S1_{ST} \times g1_{LTO} + S2_{ST} \times \left(g1_{LT} - g1_{LTO}\right) + S3_{ST} \times (g\text{-}g1_{LTO}) + S4_{ST} \times IG]/g$
اگر $g1_{LT} < g1_{LTO}$	$S_{ST} = [S1_{ST} \times g1_{LTO} + S3_{ST} \times (g\text{-}g1_{LTO}) + S4_{ST} \times IG]/g$
$S_{LT} = [S1_{LT} \times g1_{LT} + S2_{LT} \times (g\text{-}g1_{LT}) + S4_{RT} \times IG]/g$	

که در روابط بالا $S1_{ST}$، $S2_{ST}$، $S3_{ST}$ و $S4_{ST}$ جریان اشباع برای حرکات مستقیم و راستگرد در مرحله یک، دو، سه و چهار، $S1_{LT}$، $S2_{LT}$، $S3_{LT}$ و $S4_{LT}$ جریان اشباع برای حرکات چپگرد در مرحله یک، دو، سه و چهار، W عرض ورودی برحسب متر، Q_{LTO} جریان ترافیک چپگرد مخالف، Q_{LT} جریان ترافیک چپگرد موردنظر، ST شاخص حرکت مستقیم و راستگرد در جهت موردنظر، LT شاخص حرکت چپگرد در جهت موردنظر، LTO شاخص حرکت چپگرد در جهت مخالف، C زمان سیکل برحسب ثانیه، g زمان سبز برحسب ثانیه، $g1_{LT}$ و $g1_{LTO}$ به ترتیب زمان سبز موردنیاز برای پاک‌سازی صف جریان موردنظر و مخالف و IG زمان بین دو سبز[۱۲]است.

در راهنمای ظرفیت راه های کشور مالزی (Malaysian Ministry of Works, 2006)، دستورالعملی برای محاسبه نرخ جریان اشباع ارائه شده است.

این دستورالعمل شباهت زیادی به راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا دارد با این تفاوت که راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا تنها اثر وسایل‌نقلیه سنگین را با تجمیع انواع مختلف آنها در یک گروه لحاظ می‌کند در حالیکه در ظرفیت راه های مالزی اثر ترکیب ترافیک با در نظر گرفتن ۵ نوع وسایل نقلیه مختلف شامل موتورسیکلت، سواری، کامیون،

جدول ٤ .ضرایب تعدیل آیین‌نامه مالزی (Malaysian Ministry of Works, 2006)

ضرایب آیین‌نامه	روابط
تردد اشباع ایده‌آل	$S_{.} = ۱۹۳۰$
ضریب تعدیل برای عرض خطوط، f_w	$f_w = ۱ + \frac{w - ۳/٦٦}{۳/٦٦۳}$
ضریب تعدیل برای شیب، f_g	$f_g = ۱ - \frac{\%G}{۱٤/۳۹}$ $f_g = ۱ - \frac{\%G}{۲٦/۳٤}$
ضریب تعدیل برای نوع منطقه	مناطق تجاری: ۰/۸٤٥٤ و مناطق غیرتجاری: ۱
ضریب تعدیل برای وسایل‌نقلیه گردش‌به‌راست کننده، f_{RT}	$f_{RT} = \frac{۱}{۱ + ۰/۱۹٥ \times P_{RT}}$
ضریب تعدیل برای وسایل‌نقلیه گردش‌به‌چپ کننده، f_{LT}	$f_{LT} = ۱ - ۰/۲٤۳ \times P_{LT}$
ضریب تعدیل برای ترکیب وسایل‌نقلیه، f_c	$f_c = f_{car} + f_{HV} + f_m$ $f_{car} = e_{car} \frac{q_{car}}{Q}$ $f_{HV} = e_{trailer} \frac{q_{trailer}}{Q} + e_{lorry} \frac{q_{lorry}}{Q} + e_{bus} \frac{q_{bus}}{Q}$ $f_m = e_{motor} \frac{M_T}{Q}$ $Q = q_{car} + q_{HV} + M_T$

اتوبوس و تریلر با جزئیات بیشتری مورد توجه قرار گرفته است. رابطه پیشنهادی کشور مالزی در رابطه (۷) و مقادیر و روابط مربوط به هر ضریب تعدیل آن نیز در جدول ٤ ارایه‌شده است:

$$S = \frac{S_{.} N f_w f_g f_a f_{LT} f_{RT}}{f_c} \quad (۷)$$

که در این روابط، w عرض خط موردنظر برحسب متر، G مقدار شیب خط مسیر، P_{RT} درصد وسایل‌نقلیه گردش به‌راست کننده، P_{LT} درصد وسایل‌نقلیه گردش‌به‌چپ‌کننده، q_{car}، $q_{trailer}$، q_{lorry} و q_{bus} به ترتیب نرخ جریان وسیله سواری، تریلر، کامیون و اتوبوس برحسب وسیله‌نقلیه بر ساعت، M_T نرخ جریان کل موتورسیکلت‌ها برحسب وسیله‌نقلیه بر ساعت و Q مقدار جریان کل ترافیک برحسب وسیله نقلیه بر ساعت است. e_{car}، $e_{trailer}$، e_{lorry}، e_{bus} و e_{motor} به ترتیب مقادیر معادل سواری برای وسایل‌نقلیه سبک، تریلر، کامیون، اتوبوس و موتورسیکلت هستند.

دستورالعمل مورد استفاده در کشور استرالیا (Austroads, 2009) نیز شباهت زیادی به راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا دارد.

برای تهیه این دستورالعمل، ۱۸ تقاطع چراغ‌دار از دو شهر ملبورن و سیدنی موردبررسی قرار گرفت و بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده از این تقاطع‌ها و تحلیل آنها، مدلی برای تخمین نرخ جریان اشباع برای هر خط رویکرد ورودی تقاطعهای چراغدار ارائه شده است. شاکله کلی مدل پیشنهادی این دستورالعمل مطابق با رابطه(۸) بوده است.

$$S = S_b f_w f_g / f_c \quad (۸)$$

جدول ۵. ضرایب تعدیل آیین‌نامه استرالیا (Austroads, 2009)

ضرایب تعدیل	روابط
محاسبه جریان اشباع پایه، S_b	از جدول ٦
محاسبه ضریب تعدیل عرض خط، f_w	$f_w = ۰/۵۵ + ۰/۱٤w \quad ۲/٤ < w < ۳$ $f_w = ۱۳ < w < ۳/۷$ $f_w = ۰/۸۳ + ۰/۰۵w \quad ۳/۷ < w < ٤/٦$
محاسبه ضریب تعدیل برای شیب، f_g	$f_g = ۱ \pm ۰/۵$(درصد شیب)$/۱۰۰$
محاسبه ضریب تعدیل اثر ترکیب وسایل‌نقلیه، f_c	$f_c = \sum e_i Q_i / Q$

جدول ٦. جریان اشباع پایه بر حسب وسیله‌نقلیه سواری بر ساعت براساس شرایط محیطی و نوع خط عبوری (Austroads, 2009)

طبقه‌بندی محیطی	نوع خط عبوری		
	مستقیم	گردشی	گردشی محدودشده (حمایت نشده)
ایده‌آل	۱۸۵۰	۱۸۱۰	۱۷۰۰
متوسط	۱۷۰۰	۱٦۷۰	۱۵۷۰
ضعیف	۱۵۸۰	۱۵۵۰	۱۲۷۰

که در این روابط، S نرخ جریان اشباع تخمینی برحسب وسیله‌نقلیه بر ساعت، S_b نرخ جریان اشباع پایه مربوطه برحسب وسیله‌نقلیه سواری با حرکت مستقیم بر ساعت، f_w ضریب تعدیل عرض خط، f_g ضریب تعدیل اثر شیب و f_c ضریب تعدیل اثر ترکیب ترافیک، w عرض خط عبور برحسب متر، Q_i شدت جریان وسیله‌نقلیه در ساعت در نوع وسیله و نوع حرکت i، Q کل جریان برحسب وسیله‌نقلیه بر ساعت و e_i معادل سواری برای حرکت مستقیم هستند.

در کشور کانادا نیز برطبق شرایط ترافیکی و هندسی تقاطع‌های این کشور دستورالعملی تنظیم شده است که در عین نزدیکی به راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا تفاوت‌های قابل توجهی نیز دارد (Teply et al., 2008). شاکله کلی این دستورالعمل مطابق با رابطه(۹) بوده و هریک از ضرایب تعدیل مربوطه آن در که در روابط ارائه شده در جدول ۷، W_{lane} عرض خط (متر)، G میانگین شیب، HV نسبت وسایل‌نقلیه سنگین، R شعاع گردش (متر)، r نسبت وسایل‌نقلیه استفاده کننده از خط لبه پیاده‌رو، k ضریبی برای اعمال اثر وسایل‌نقلیه عمومی در طول زمان سبز، B تعداد وسیله‌نقلیه عمومی رسیده در هر ساعت، T متوسط زمان سوار و پیاده‌کردن یک وسیله-نقلیه عمومی (ثانیه)، c زمان سیکل (ثانیه) و g_e زمان سبز مؤثر (ثانیه)، N_m تعداد مانورهای پارک در ساعت، g زمان $'$ نرخ جریان مخالف در طول زمان سبز (معادل سواری بر ساعت)، f ضریبی منعکس‌کننده اثر تعداد خطوط جریان مخالفqL ، جریان چپگرد در خط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت)qT ، جریان عبوری مستقیم در خط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت)qT' ، جریان مستقیم معادل برای خطوط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت)qRو جریان راستگرد در خط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت) هستند.

جدول ۷ ارایه شده است.

$$S_{adj}=S_{basic}f(F_{adj}) \quad (۹)$$

که در روابط ارائه شده در جدول ۷، W_{lane} عرض خط (متر)، G میانگین شیب، HV نسبت وسایل‌نقلیه سنگین، R شعاع گردش (متر)، r نسبت وسایل‌نقلیه استفاده کننده از خط لبه پیاده‌رو، k ضریبی برای اعمال اثر وسایل‌نقلیه عمومی در طول زمان سبز، B تعداد وسیله‌نقلیه عمومی رسیده در هر ساعت، T متوسط زمان سوار و پیاده‌کردن یک وسیله‌نقلیه عمومی (ثانیه)، c زمان سیکل (ثانیه) و g_e زمان سبز مؤثر (ثانیه)، N_m تعداد مانورهای پارک در ساعت، g زمان سبز کل (ثانیه)، q_0' نرخ جریان مخالف در طول زمان سبز (معادل سواری بر ساعت)، f ضریبی منعکس‌کننده اثر تعداد خطوط جریان مخالف، q_L جریان چپگرد در خط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت)، q_T جریان عبوری مستقیم در خط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت)، q_T' جریان مستقیم معادل برای خطوط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت) و q_R جریان راستگرد در خط اشتراکی (معادل سواری بر ساعت) هستند.

جدول ۷. ضرایب تعدیل آیین‌نامه کانادا(Teply et al., 2008)

ضرایب	روابط
تردد اشباع پایه (معادل سواری در هر خط در هر ساعت سبز چراغ)	$S_{basic} = ۱۸۳۰$
ضریب تعدیل برای عرض خطوط، F_{lane}	$۰/۵W_{lane} - ۰/۵$ ، $W_{lane} \le ۳/۰$ متر $۱/۰$ ، $۳/۰ \le W_{lane} \le ٤/٤$
ضریب تعدیل برای شیب، F_{grade}	$F_{grade} = ۱ - (G + HV)$
ضریب تعدیل برای شعاع گردش، F_{radius}	$۰/۵ + R/۳۰$ ، $R \le ۱۵/۰$ $۱/۰$ ، $R \ge ۱۵/۰$
ضریب تعدیل فضای انباره یا تخلیه، F_{queue}	خط لبه پیاده‌رو $F_{۱queue} = [u_L + r(۱ - u_L)]$ خط دوم $F_{۲queue} = [u_L + (۱ - r)(۱ - u_L)]$
ضریب تعدیل ایستگاه‌های اتوبوس و توقف تراموا (رویکرد ورودی)	$F_{transit} = ۱ - \frac{kBT}{۳۶۰۰}$
ضریب تعدیل ایستگاه‌های اتوبوس و توقف تراموا (رویکرد خروجی)، F_{bus}	$F_{bus} = ۱ - [\frac{t_d - t_{rs}}{۳۶۰۰}]$
ضریب تعدیل تداخل پارکینگ، F_p	$F_p = ۰/۹۰ - ۰/۰۰۵N_m$
ضریب تعدیل طول بازه زمانی سبز، F_{green}	$۰/۸۳۳ + \frac{g}{۱۲۰}$ ، $g \le ۲۰$ $۱/۰$ ، $۲۰ < g \le ۵۰$
ضریب تعدیل حرکات گردشی	$F_L = ۱/۰۵e^{(-۰/۰۰۱۲۱fq_0')} - ۰/۰۵$ $F_{TL} = (q_L + q_T)/q_T'$ $F_{TR} = (q_R + q_T)/q_T'$

روابط پیشنهادی در هر یک از آیین‌نامه‌های ذکر شده نشان دادند که پارامترهای زیادی می‌توانند بر نرخ جریان اشباع تاثیرگذار باشند. در این مقاله میزان انطباق نتایج روابط آئین نامه فعلی ایران و نیز روابط ارائه شده توسط آئین‌نامه‌های معتبر مورد اشاره با مقادیر واقعی مشاهده شده میدانی مورد بررسی قرار گرفت و مناسب‌ترین آیین‌نامه از بین آیین‌نامه‌های موردبررسی برای محاسبه نرخ جریان اشباع تقاطع‌های چراغدار ایران پیشنهاد شده است.

۳-روش تحقیق

در این مطالعه، اطلاعات ترافیکی و هندسی و پارامترهای موثر شش آیین‌نامه منتخب در محدوده ۱٤ رویکرد از ۷ تقاطع چراغدار شهر یزد به صورت ترکیبی از فیلم‌برداری و دستی برداشت شد. برای برداشت عرض موثر رویکرد، مقادیر عرض پارکینگ و عرضی از مسیر که وسایل‌نقلیه از آن قسمت گذر نمی‌کردند کسر گردید. به دلیل عدم تبعیت حرکت وسایل‌نقلیه از خطوط عبوری موجود در رویکردها، عرض هر خط با تقسیم عرض موثر رویکرد بر تعداد ردیف مشاهده‌شده در هر رویکرد محاسبه شد.

در این مطالعه وسایل‌نقلیه به تفکیک سواری، سنگین و موتورسیکلت برداشت شدند و وسایل‌نقلیه‌ای که قبل از شروع فاز سبز اقدام به حرکت کرده بودند حذف گردیدند. برخی از مهمترین مشخصات هندسی و ترافیکی رویکردهای مورد بررسی درجدول ۸ و جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۸. برخی مشخصات تقاطعات مورد بررسی

نام تقاطع	عرض موثر کل (متر)	عرض موثر هر خط (متر)	تعداد خطوط عبوری	زمان سبز (ثانیه)
تقاطع پژوهش–از سمت میدان عالم	۱۲	۳	٤	۱۵–۲٦
تقاطع پژوهش–از سمت فلکه اطلسی	۱۱	۲/۸	٤	۱۱–۳۲
تقاطع پژوهش–از سمت خیابان پژوهش	۷/۳	۳/۷	۲	۱٦–۳٦
تقاطع امیرالمومنین–از سمت صدا و سیما	۱۲/۵	۲/۵	۵	۲۰-۲۸
تقاطع امیرالمومنین–ازسمت میدان ابوذر	۱۳/۲	۳/۳	٤	۲۱-۲۸
تقاطع شحنه–از سمت بلوار ۲۲ بهمن	۱۲/۲	۳/۰۵	۴	۲۳
تقاطع شحنه–از سمت خیابان مطهری	۶/۶	۳/۳	۲	۳۳
تقاطع دولت آباد–از سمت چهارراه شحنه	۱۱	۳/۷	۴	۲۲
تقاطع دولت آباد–از سمت بلوار نواب	۱۰/۵	۳/۵	۳	۲۱
تقاطع ایرانشهر–از سمت بلوار پاکنژاد	۹/۲	۳/۰۶	۳	۲۸
تقاطع ایرانشهر– از سمت بلوار امامزاده جعفر	۱۰	۳/۳	۳	۲۸
تقاطع فرهنگیان–از سمت بلوار پاکنژاد	۹/۷	۳/۲	۳	۱۹
تقاطع مهدی–از سمت بلوار دهه فجر	۸/۶	۲/۹	۳	۲۹-۳۱
تقاطع مهدی–از سمت بلوار منتظر قائم	۹/۴	۳/۱	۳	۲۹-۳۱

جدول ۹. مشخصات زمان سیکل و تعداد فازهای هر تقاطع

نام تقاطع	زمان سیکل (ثانیه)	تعداد فاز
تقاطع پژوهش	۹۵–۱٤۲	۴
تقاطع امیرالمومنین	۸۰-۹۲	۳
تقاطع شحنه	۸۹	۳
تقاطع دولت آباد	۹۸	۴
تقاطع ایرانشهر	۶۳	۲
تقاطع فرهنگیان	۵۱	۲
تقاطع مهدی	۵۹-۷۱	۲

۳-۱-محاسبه ضریب معادل سواری

ترافیک عبوری از تقاطعهای چراغدار شهری معمولا علاوه بر خودروهای سواری شامل موتورسیکلت و وسایل نقلیه سنگین مانند کامیون و اتوبوس می‌باشد. در این پژوهش، از روش رگرسیون که توسط محققین دیگری چون (Minh and Sano, 2003) برای محاسبه تردد اشباع در شرایط ترافیکی ناهمگن و انضباط ترافیکی ضعیف پیشنهاد شده، استفاده شده است.

در روش رگرسیون، ابتدا بازه‌های زمانی ۵ ثانیه از زمان سبز هر سیکل که در هر یک بیش از ۳ وسیله‌نقلیه معادل سواری از خط ایست یک رویکرد عبور کرده‌اند، به عنوان بازه‌های زمانی با جریان ترافیک اشباع در نظر گرفته می‌شوند. در این مرحله، با توجه به مشخص نبودن ضرایب معادل سواری، از مقادیر پیشنهادی برای کشور هند توسط (Indian Road Congress, 1994) که در جدول۱۰ ارائه شده است، استفاده شد. سپس مجموع بازه‌های زمانی اشباع در هر سیکل، و تعداد انواع وسایل نقلیه عبوری از رویکرد در طی این مدت به تفکیک شمارش شدند. اطلاعات برای تعدادی سیکل چراغ در رویکرد مورد نظر در یک آنالیز رگرسیون چند متغیر خطی با معادله کلی نشان داده شده در رابطه(۱۰) استفاده شد. سپس با استفاده از ضرایب پرداخت شده برای مدل، ضرایب معادل سواری برای وسایل نقلیه سنگین و موتورسیکلت از رابطه (۱۱)محاسبه شدند.

$$t=n_1a_1+n_2a_2+n_3a_3 \qquad (۱۰)$$

$$p_i = {a_i}/{a_1} \qquad (۱۱)$$

که در روابط فوق، n_i تعداد وسایل‌نقلیه عبوری از گروه i ام در هر سیکل، a_1، a_2 و a_3ها به‌ترتیب ضرایب وسایل‌نقلیه سواری، وسیله‌نقلیه سنگین و موتورسیکلت در معادله رگرسیون، t زمان سبز اشباع کل در هر سیکل (ثانیه) و p_i ضرایب معادل سواری برای گروهiام وسایل نقلیه می باشند.

در این تحقیق، این محاسبات برای چهار رویکرد ورودی تقاطعهای مورد بررسی انجام گرفت. ضرایب رگرسیونی بدست آمده برای هر رویکرد در روابط(۱۲) تا (۱۵) ارائه شده‌اند.

جدول۱۰. واحدمعادل سواری پیشنهادی توسط (Indian Road Congress, 1994)

نوع وسیله‌نقلیه	واحد سواری
موتورسیکلت	۰/۵
سه‌چرخه	۰/۷
اتوبوس	۲

$$t=۰/٤٨٢n_1+۰/٩٤٣n_2+۰/٢٦٨n_3+٣/٦٣٢ \qquad (۱۲)$$

$$t=۰/٥٦٩n_1+۱/٢٢٦n_2+۰/٢٧٨n_3+۱/٩٥٩ \qquad (۱۳)$$

$$t=۰/٨۰٧n_1+۱/٨٩n_2+۰/٤١٥n_3+٣/٤٦٧ \qquad (۱٤)$$

$$t=۰/٩٢n_1+۱/٧٩٩n_2+۰/٤٣٧n_3+٦/٣٤٧ \qquad (۱٥)$$

نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون چندمتغیره در نرم-افزار SPSS برای این ٤ مدل در جدول ۱۱ الی جدول ۱٤ ارایه شده است.

جدول ۱۱. نتایج آنالیز مدل رگرسیونی ۱

مدل ۱ (R^2=۰/۹۰٦)	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
مقدار ثابت	۳/٦۳۲	۱/۰٤۷		۳/٤۷۰	۰/۰۰۲
سواری	۰/٤۸۲	۰/۰۳۳	۰/۹۰۲	۱٤/۷٦۲	۰/۰۰۰
سنگین	۰/۹٤۳	۰/٤۲۱	۰/۱٤٦	۲/۲٤۰	۰/۰۳۳
موتورسیکلت	۰/۲٦۸	۰/۲۰۷	۰/۰۸۰	۱/۲۹۹	۰/۲۰۵

جدول ۱۲. نتایج آنالیز مدل رگرسیونی ۲

مدل ۲ (R^2=۰/۹۰۸)	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
مقدار ثابت	۱/۹۵۹	۱/٤٦٤		۱/۳۳۸	۰/۱۹۲
سواری	۰/٥٦۹	۰/۰٤٤	۰/۸۲٤	۱۲/۸٥۹	۰/۰۰۰
سنگین	۱/۲۲٦	۰/۳۳٦	۰/۲۳۲	۳/٦٤۸	۰/۰۰۱
موتورسیکلت	۰/۲۷۸	۰/۲۲۲	۰/۰۷٤	۱/۲٥۳	۰/۲۲۱

جدول ۱۳. نتایج آنالیز مدل رگرسیونی ۳

مدل ۳ (R^2=۰/۸٦)	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
مقدار ثابت	۳/٤٦۷	۰/۹٤٦		۳/٦٦۷	۰/۰۰۱
سواری	۰/۸۰۷	۰/۰۸۰	۰/۷۲۸	۱۰/۰۹٤	۰/۰۰۰
سنگین	۱/۸۹	۰/٤٦۲	۰/۲۸۹	٤/۱۱٥	۰/۰۰۰
موتورسیکلت	۰/٤۱٥	۰/۰۸۱	۰/۳۷٥	٥/۱٤٦	۰/۰۰۰

جدول ۱٤. نتایج آنالیز مدل رگرسیونی ٤

مدل ٤ (R^2=۰/۹۱۸)	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
مقدار ثابت	٦/۳٤۷	۱/۲۹۹		٤/۸۸٦	۰/۰۰۰
سواری	۰/۹۲۰	۰/۰٦۰	۰/۸۱۷	۱٥/٤۰۱	۰/۰۰۰
سنگین	۱/۷۹۹	۰/٦۹۱	۰/۱۳۹	۲/٦۰۱	۰/۰۱٤
موتورسیکلت	۰/٤۳۷	۰/۰۷۳	۰/۳۲۷	٦/۰۱۹	۰/۰۰۰

جدول ۱٥. ضرایب معادل سواری حاصله از آنالیز رگرسیون

مد حمل‌ونقلی	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ٤	میانگین
اتوبوس و کامیون و مینی‌بوس	۱/۹٥	۲/۱٥	۲/۳۳	۱/۹٦	۲/۰۹
موتورسیکلت	۰/٥٥	۰/٤۸	۰/٥۱	۰/٤۸	۰/٥۱

همانگونه که از نتایج حاصل مشاهده می‌شود، ضرایب مربوط به وسایل‌نقلیه سنگین در تمام مدل‌های موردبررسی با سطح اطمینان ۹٥٪ بدست آمده‌اند. نتایج حاصل در رابطه با موتورسیکلت‌ها نیز تقریبا با سطح اطمینان ۸۰٪ به دست آمده اند که این سطح اطمینان در محاسبات مربوط به تعیین نرخ جریان اشباع می‌تواند قابل‌قبول باشد. ضرایب همبستگی مدل های برازش شده نیز حاکی از همبستگی قوی بین وسایل‌نقلیه عبوری و بازه‌های زمانی سبز موثر در سیکل‌های هر رویکرد موردبررسی است. سپس مقادیر معادل سواری حاصل از این بررسی‌ها، میانگین‌گیری شده و در ادامه پژوهش استفاده شد. این ضرایب معادل سواری در جدول ۱٥ارائه شده است. همانگونه که از نتایج ارائه شده در این جدول ملاحظه می‌شود، میانگین ضرایب معادل سواری برای موتورسیکلت و

وسایل نقلیه سنگین به ترتیب برابر با ۰/۵۱ و ۲/۰۹ به دست آمده است.

۳-۲- محاسبه نرخ جریان اشباع میدانی

عموما اندازه‌گیری نرخ جریان اشباع مشاهده شده میدانی، به سه روش انجام می‌شود. بر حسب اینکه ترافیک موجود همگن باشد و یا ناهمگن و اینکه وسایل‌نقلیه عبوری از قاعده

آزمایشگاه تحقیقات جاده‌ای و حمل ونقل انگلستان(TRRL, 1963).

۳- محاسبه نرخ جریان اشباع از روش رگرسیون (Minh and Sano, 2003).

روش اول برای تقاطع‌هایی با ترافیک همگن و منظم که وسایل‌نقلیه عبوری از قاعده حرکت بین خط‌کشی های طولی تبعیت می‌کنند استفاده می‌شود. دو روش بعدی برای ترافیک عبوری ناهمگن و نامنظم نیز قابل استفاده می‌باشند. در این مطالعه به علت حضور موتورسیکلت‌ها و وسایل‌نقلیه سنگین در ترکیب ترافیک و بی نظمی حاکم بر جریان‌های ترافیکی ایران به ویژه در محدوده تقاطعها، از سومین روش استفاده شد.

حرکت بین خطوط تبعیت می‌کنند یا خیر، یکی از این سه روش مناسب‌تر خواهد بود. این سه روش به شرح ذیل می‌باشد:

۱- محاسبه نرخ جریان اشباع از طریق میانگین سرفاصله تخلیه اشباع (Greenshields et al., 1947).

۲- محاسبه نرخ جریان اشباع از طریق شمارش تعداد وسیله‌نقلیه در دامنه‌های زمانی اشباع با استفاده از روش

برای این منظور، ابتدا سرفاصله زمانی اشباع از رابطه(۱۶) برای هر سیکل از رویکردهای ورودی محاسبه شده است.

$$h = t \Big/ (n_1 p_1 + n_2 p_2 + n_3 p_3) \qquad (۱۶)$$

که در آن h متوسط سرفاصله زمانی اشباع بر حسب ثانیه می‌باشد و بقیه پارامترها قبلا تعریف شده‌اند. سپس با رابطه(۱۷) نرخ جریان اشباع میدانی محاسبه شده است. در رابطه s نرخ جریان اشبع بر حسب معادل وسیله نقلیه سواری بر ساعت است. که در جدول ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است.

$$S = ۳۶۰۰/h \qquad (۱۷)$$

جدول ۱۶. نرخ جریان اشباع اندازه‌گیری شده(حالت حمایت‌شده)

نام تقاطع (حمایت‌شده)	نرخ جریان اشباع اندازه‌گیری شده (معادل سواری بر ساعت)	عرض موثر کل (متر)
تقاطع پژوهش- از سمت میدان عالم	۶۰۰۰	۱۲
تقاطع پژوهش- از سمت فلکه اطلسی	۵۸۱۲	۱۱
تقاطع پژوهش- از سمت خیابان پژوهش	۳۷۸۸	۷/۳
تقاطع امیرالمومنین- از سمت صدا و سیما	۷۰۲۰	۱۲/۵
تقاطع امیرالمومنین- از سمت میدان ابوذر	۶۵۵۹	۱۳/۲
تقاطع شحنه-از سمت بلوار ۲۲ بهمن	۶۱۵۳	۱۲/۲
تقاطع شحنه-از سمت خیابان مطهری	۳۵۱۰	۶/۶
تقاطع دولت آباد- از سمت چهارراه شحنه	۵۰۸۱	۱۱
تقاطع دولت آباد- از سمت بلوار نواب	۴۹۹۶	۱۰/۵

جدول ۱۷. نرخ جریان اشباع اندازه‌گیری شده(حالت حمایت‌نشده)

نام تقاطع (حمایت‌نشده)	نرخ جریان اشباع اندازه‌گیری شده (معادل سواری بر ساعت)	عرض موثر کل (متر)
تقاطع ایرانشهر– از سمت بلوار پاکنژاد	۳٤۷۱	۹/۲
تقاطع ایرانشهر– از سمت بلوار امامزاده جعفر	۲۷٥٤	۱۰
تقاطع فرهنگیان– از سمت بلوارپاکنژاد	۳۲۹۰	۹/۷
تقاطع مهدی– از سمت بلوار دهه فجر	۳۰٤۳	۸/٦
تقاطع مهدی– از سمت بلوار منتظر قائم	۲۳۷۲	۹/٤

۳-۳-محاسبه و کنترل تعداد نمونه لازم

در این مطالعه برای کنترل تعداد حداقل سیکل‌های برداشت آمار مورد نیاز از رابطه آماری(۱۸) استفاده شد.

$$N \geq \frac{s^2 \sigma^2}{e^2 \mu^2} \qquad (۱۸)$$

σ انحراف معیار، s تعداد نمونه لازم، Nدر این رابطه، قابلیت اطمینان که برای فاصله اطمینان ۹۵٪ برابر با ۱/۹٦ است، میانگین داده‌ها هستند. میزان μمیزان خطای قابل‌قبول و e خطای قابل‌قبول عموماً برابر با ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود اما برای نرخ جریان اشباع تقاطع‌های چراغدار، خطای ۸ تا ۱۰). در این تحقیق، TRB, 2010درصد نیز قابل‌قبول خواهد بود (میزان خطای قابل‌قبول برابر با ۵٪ در نظر گرفته‌شده است. نتایج کنترل حداقل تعداد سیکل برداشتی لازم در

جدول ۱۸ ارایه شده است. نتایج این دو جدول نیز برحسب عرض مؤثر کل رویکرد و مقادیر معادل سواری محاسبه‌شده به روش رگرسیون ارائه شده‌اند. به جهت مقایسه، بار دیگر مقادیر آیین‌نامه‌ای با مقادیر معادل سواری همان آیین‌نامه محاسبه شدند.

۳-٤- محاسبه نرخ جریان اشباع به روش آیین‌نامه‌ای

در این بخش، نتایج حاصل از محاسبه مقادیر جریان اشباع برای ۱٤ رویکرد مورد بررسی بر مبنای متدولوژی ارائه شده در ٦ آئین‌نامه کشورهای مختلف و مقایسه آن‌ها با مقادیر واقعی مشاهده شده ارائه شده است. این مقادیر نیز به شکل سیکل به سیکل محاسبه شده و سپس برای هر رویکرد میانگین‌گیری در

جدول ۱۸. کنترل تعداد سیکل‌های برداشت داده موردنیاز

نام تقاطع	میانگین (μ)	انحراف معیار (s)	تعداد نمونه لازم (N)	تعداد نمونه برداشت‌شده
تقاطع امیرالمؤمنین– از سمت صدا و سیما	۷۰۱۹/٤	۹۷/۸۲	۱۲	٤۰
تقاطع امیرالمؤمنین– از سمت میدان ابوذر	۶۵۵۸/٦	۷۷/۱۵	۹	۳۸
تقاطع پژوهش– از سمت خیابان پژوهش	۳۷۸۷/۱	۱۰۲/۰۷	۳٤	۳۴
تقاطع پژوهش– از سمت فلکه اطلسی	۵۸۱۲/۳	۸۸/۱۹	۱۲	۳۲
تقاطع پژوهش– از سمت میدان عالم	۵۹۹۹/۸	۸۸/۸۱	۱۱	۳۲
تقاطع دولت‌آباد– از سمت چهارراه شحنه	۵۰۸۰/۶	۵۱/۴۱	٦	۳۵
تقاطع دولت‌آباد– از سمت بلوار نواب	۴۹۹۵/۷	۴۱/۸۸	٤	۳۵
تقاطع شحنه– از سمت بلوار ۲۲ بهمن	۶۱۵۲/۷	۸۸/۰۲	۱۲	۳۷
تقاطع شحنه– از سمت خیابان مطهری	۳۵۰۹/۸	۵۹/۱۹	۱۸	٤۰

تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار پاکنژاد	۳۴۷۰/۶	۴۰/۸۹	۸	۳۳
تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار امامزاده جعفر	۲۷۵۳/۸	۲۹/۱۰	٦	۳۳
تقاطع مهدی- از سمت بلوار منتظر قائم	۲۳۷۱/۴	۳۸/۹۲	۱۵	۳٤
تقاطع مهدی- از سمت بلوار دهه فجر	۳۰۴۲/۵	۳۰/۱۸	٦	۳٤
تقاطع فرهنگیان- از سمت بلوار پاکنژاد	۳۲۸۹/۴	۵۵/۵۴	۲۱	٤٦

جدول ۱۹. مقادیر نرخ جریان اشباع آیین‌نامه ای در حالت حمایت‌شده (معادل سواری در هر ساعت چراغ سبز)

نام تقاطع	آمریکا	کانادا	اندونزی	مالزی	ایران	استرالیا
تقاطع پژوهش- از سمت میدان عالم	٦١٠٩	٧١٣٧	٦٩٦٣	٦٠٥٥	٥١٣٦	٧٠٥٩
تقاطع پژوهش- از سمت فلکه اطلسی	٦٠٢٠	٥٧٦١	٦١٥٣	٥٤٤٣	٤٧٠٨	٧٢٨٦
تقاطع پژوهش- از سمت خیابان پژوهش	٣٧٢٤	٣٥٥٨	٤٥٠٥	٣٤٩٠	٣١٢٥	٣٦٣٠
تقاطع امیرالمؤمنین- از سمت صدا و سیما	٦١٧٧	٥٤٦٥	٧٣١٩	٥٦٨١	٥٣٥٠	٨١٧٨
تقاطع امیرالمؤمنین- از سمت میدان ابوذر	٥٣٤٩	٥٣٤٤	٧٩٠٢	٥٧٩٤	٥٦٥٠	٧٠٩٧
تقاطع شحنه-از سمت بلوار ۲۲ بهمن	٤٠٩٧	٥٥٩٦	٥٦١٥	٥٦١٥	٥٢٢٢	٧١٤٧
تقاطع شحنه- از سمت خیابان مطهری	٣٣٤٩	٣٥٦٦	٣٨٧٦	٤٢٣٨	٢٨٢٥	٣٤٨٦
تقاطع دولت‌آباد- از سمت چهارراه شحنه	٥١٩٠	٤٩١٧	٦٥٢٤	٥٦٣٠	٤٧٠٨	٥٢٩١
تقاطع دولت‌آباد- از سمت بلوار نواب	٥١٢٩	٤٣٦٩	٥٨١٥	٥٦٥٠	٤٤٩٤	٥٦٦٢

جدول ۲۰. مقادیر نرخ جریان اشباع آیین‌نامه ای در حالت گردش به چپ حمایت‌نشده (معادل سواری در هر ساعت چراغ سبز)

نام تقاطع	آمریکا	کانادا	اندونزی	مالزی	ایران	استرالیا
تقاطع ایرانشهر-از سمت بلوار پاکنژاد	٣٥٧٧	٢٧٧٣	٣٥٧٢	٣٨٠١	٣٢٥٧	٣٧٣٣
تقاطع ایرانشهر-از سمت بلوار امامزاده جعفر	٣٠٩٧	٢٢٢٢	٤٧٩٥	٤١٦٧	٣٥٤٠	٣٣١٨
تقاطع فرهنگیان- از سمت بلوار پاکنژاد	٣٠٣٦	٢٦٠١	٣٣٢٧	٤١٤٧	٣٤٣٤	٤٢٤٤
تقاطع مهدی-از سمت بلوار دهه فجر	٣٣١٨	٣٠٢٨	*	٤٧١٧	٣٠٤٥	٤٧٩٨
تقاطع مهدی-از سمت بلوار منتظر قائم	٢٢٠٩	١٨٩٤	*	٤٦٥٥	٣٣٢٨	٣٧٨٠

* لازم به ذکر است در تقاطع مهدی به علت بالا بودن حجم جریان گردش‌به‌چپ، روابط آیین‌نامه اندونزی مقادیر معتبری را برای نرخ جریان اشباع این تقاطع ارائه نداد. این موضوع می‌تواند ناشی از محدودیت این آیین‌نامه برای تخمین نرخ جریان اشباع در شرایط حجم جریان چپگرد بالا باشد.

جدول ۲۱. مقادیر نرخ جریان اشباع در حالت گردش به چپ حمایت‌شده بر مبنای معادل سواری هر آیین‌نامه در هر ساعت سبز چراغ

نام تقاطع	آمریکا	کانادا	اندونزی	مالزی	ایران	استرالیا
تقاطع پژوهش- از سمت میدان عالم	٦١١٣	٧١٣٩	٦٩٦٠	٦٣٩٩	٥١٣٦	٧٢٥٩
تقاطع پژوهش- از سمت فلکه اطلسی	٦٠٢٦	٥٧٦٣	٦١٦١	٥٦٧٢	٤٧٠٨	٦٩٣٨
تقاطع پژوهش- از سمت خیابان پژوهش	٣٧٢٦	٣٥٥٨	٤٥٠٠	٣٥٧٦	٣١٢٥	٣٦٣١
تقاطع امیرالمؤمنین- از سمت صدا و سیما	٦١٧٩	٥٤٦٧	٧٣١٨	٦٠٦٩	٥٣٥٠	٧٨٩١

تقاطع امیرالمؤمنین- از سمت میدان ابوذر	۵۳۵۰	۵۳٤۷	۷۸۹۱	٦۰٦۲	٥٦٥۰	۷۰۹۹
تقاطع شحنه- از سمت بلوار ۲۲ بهمن	٤۱۱۷	٥٥۹۹	٦٤۷۱	٥۹٤۹	٥۲۲۲	۷۱٥۰
تقاطع شحنه- از سمت خیابان مطهری	۳۳٥٤	۳٥٦٦	۳۸٦٥	٤۳۷۹	۲۸۲٥	۳٤۸۹
تقاطع دولت‌آباد- از سمت چهارراه شحنه	٥۱۹۳	٤۹۲۰	٦٥۲۲	٥۹۳٤	٤۷۰۸	٥۲۹۲
تقاطع دولت‌آباد- از سمت بلوار نواب	٥۱۳۱	۷۱۳۹	٥۷۹۹	٦۰٥۸	٤٤۹٤	٥٦٦٤

٤-تحلیل اطلاعات برداشت شده (انتخاب مناسب‌ترین آیین‌نامه و پیشنهاد ضریب اصلاحی)

پس از محاسبه مقادیر آیین‌نامه‌ای، برای شناسایی مناسب‌ترین آیین‌نامه، خطوط رگرسیونی بین مقادیر نرخ جریان اشباع مشاهده شده و مقادیر آیین‌نامه ای برازش شد.

جدول ۲۲. مقادیر نرخ جریان اشباع در حالت گردش به چپ حمایت‌نشده بر اساس معادل سواری هر آیین‌نامه در هر ساعت سبز چراغ

نام تقاطع	راهنمای ظرفیت راه آمریکا	کانادا	اندونزی	مالزی	ایران	استرالیا
تقاطع ایرانشهر-از سمت بلوار پاکنژاد	۳٥۷۷	۲۷۷٤	۳٦۳۱	۳۸۸۳	۳۲٥۷	۳۷۳۳
تقاطع ایرانشهر-از سمت بلوار امامزاده جعفر	۳۰۹۸	۲۲۲٦	٤۸۱۸	٤۲۰۸	۳٥٤۰	۳۳۱٤
تقاطع فرهنگیان- از سمت بلوار پاکنژاد	۳۰۳٦	۲٦۰۲	۳۳۹٤	٤۲۹۲	۳٤۳٤	٤۲٤٤
تقاطع مهدی-از سمت بلوار دهه فجر	۳۳۲۱	۳۰۳۳	*	٤۹۹٦	۳۰٤٥	٤۷۹۹
تقاطع مهدی-از سمت بلوار منتظر قائم	۲۲۱۱	۱۸۹٤	*	٤۹٤۲	۳۳۲۸	۳۷۸۱

* لازم به ذکر است در تقاطع مهدی به علت بالا بودن حجم جریان گردش‌به‌چپ، روابط آیین‌نامه اندونزی مقادیر معتبری را برای نرخ جریان اشباع این تقاطع ارائه نداد. این موضوع می‌تواند ناشی از محدودیت این آیین‌نامه برای تخمین نرخ جریان اشباع در شرایط حجم جریان چپگرد بالا باشد.

در این معادلات متغیر y نرخ جریان اشباع اندازه‌گیری شده و متغیر x مقادیر متناظر آیین‌نامه‌ای هستند. برای حالت حمایت نشده، نتایج میدانی با نتایج حاصل از آئین‌نامه اندونزی مقایسه نشدند چرا که فقط داده‌های مربوط به سه رویکرد ورودی تقاطع‌ها برای این آئین‌نامه قابل استفاده بودند (لطفاً توضیحات ذیل جدول ۲۲ را ملاحظه فرمایید).

جدول ۲۳. خطوط رگرسیونی برازش شده بین مقادیر نرخ جریان اشباع مشاهده شده و مقادیر متناظر آیین‌نامه‌ای (حالت گردش‌به‌چپ حمایت‌شده)

نام آیین‌نامه	ضریب اصلاحی	R^2
استرالیا	$y = ۰/٦۹۸x + ۱۱۷۷$	۰/۹٥۷
ایران	$y = ۱/۱۷۱x + ۷۲/۳۳$	۰/۹۱۸
اندونزی	$y = ۰/۸۱۷x + ٤۷۱$	۰/۷۹
مالزی	$y = ۱/۱٥۹x - ٦۹٤$	۰/٦٦۷
کانادا	$y = ۰/۸۲۲x + ۱۲٥٦$	۰/٦۰۷
راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا	$y = ۰/۸٦٤x + ۱۰۹۹$	۰/٥۸٥

جدول ٢٤. خطوط رگرسیونی برازش شده بین مقادیر نرخ جریان اشباع مشاهده شده و مقادیر متناظر آیین‌نامه‌ای (حالت گردش‌به‌چپ حمایت‌نشده)

نام آیین‌نامه	ضریب اصلاحی	R^2
راهنمای ظرفیت راه‌های آمریکا	$y = ۰/۷۲۸x + ۷٦٤/۷$	۰/۷۳۸
کانادا	$y = ۰/۷۷۹x + ۱۰۳۵$	۰/٦٤۳
مالزی	$y = -۰/۷٦۵x + ٦۲۷۵$	۰/٤۵٤
استرالیا	$y = ۰/۲۲۱x + ۲۱۰۵$	۰/۰۸۲
ایران	$y = -۰/٤۷۷x + ٤۵۷۱$	۰/۰٤۲

نتایج حاصل از خطوط برازش شده نشان می‌دهند که برای حالت جریان اشباع چپگرد حمایت‌شده، آیین‌نامه استرالیا با ضریب همبستگی ۰/۹۵۷ بهترین عملکرد را نشان داده است. آئین‌نامه ایران علی‌رغم سادگی روابط و تعداد پارامترهای موردنیاز کمتر آن با ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۱۸در فاصله کمی از آن و در رتبه دوم قرار گرفته است.

برای حالت چپگرد حمایت‌نشده، آئین‌نامه آمریکا با ضریب همبستگی ۰/۷۳۸ بهترین عملکرد را برای شرایط تقاطع‌های ایران نشان داده است.

آئین‌نامه ایران در این حالت، ضعیف‌ترین عملکرد را در بین آئین‌نامه های موردبررسی نشان داده است. ازجمله دلایل عملکرد ضعیف آئین‌نامه ایران و آئین‌نامه کشورهای استرالیا و مالزی می‌تواند در نظر گرفته نشدن تأثیر ترافیک عبوری مسیر مقابل توسط این آئین‌نامه‌ها باشد.

۵-نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی نرخ جریان اشباع در تقاطع‌های چراغدار شهر یزد پرداخته شد. هدف اصلی این تحقیق این بود تا از بین آیین‌نامه‌های معتبر موجود، آئین‌نامه یا آئین‌نامه هایی که مدل‌های تخمین نرخ جریان اشباع آن‌ها برآوردهایی قابل‌قبول برای تقاطع‌های چراغدار ایران می‌توانند ارائه دهند شناسایی شوند. نتایج حاصل از این مطالعه به شرح ذیل می‌باشند:

- با استفاده از روش تحلیل رگرسیون معرفی‌شده، می‌توان ضرایب معادل سواری را برای انواع وسایل نقلیه را برای جریان‌های ترافیکی نامنظم و ناهمگن در شرایط جریان اشباع تعیین و نرخ جریان اشباع را برحسب معادل سواری محاسبه نمود. برای ٤ رویکرد نمونه‌ای بررسی شده در این مطالعه، مقادیر ضرایب معادل سواری برای وسایل نقلیه سواری و موتورسیکلت به ترتیب برابر با ۲/۰۹ و ۰/۵۱ برآورد گردیدند.
- از بین ٦ آئین‌نامه معتبر بین‌المللی بررسی شده در این مطالعه شامل آئین‌نامه های تحلیل ظرفیت راه‌های کشورهای آمریکا، کانادا، اندونزی، مالزی، استرالیا و ایران، برای جریان اشباع چپگرد حمایت‌شده، آئین‌نامه استرالیا با ضرایب همبستگی ۰/۹۵۷ بهترین عملکرد را نشان داد. البته آئین‌نامه ایران علی‌رغم سادگی روابط و تعداد پارامترهای موردنیاز کمتر، با ضرایب همبستگی برابر با ۰/۹۱۸ عملکرد نزدیکی با آئین‌نامه استرالیا در این حالت نشان داد. در حالت چپگرد حمایت‌نشده، آیین‌نامه ظرفیت راه‌های کشور آمریکا با ضریب همبستگی ۰/۷۳۸ بهترین عملکرد را نشان داد.
- با استفاده از روابط به‌دست‌آمده از آنالیز خطی رگرسیون برای آئین‌نامه های برتر در هر حالت، می‌توان برآورد دقیق‌تری از نرخ جریان اشباع برای شرایط ترافیکی تقاطع‌های چراغدار در ایران به دست آورد.
- پیشنهاد می‌شود تحقیقات مشابه بر روی تقاطع‌های چراغدار بیشتری در سطح کشور انجام گیرد تا بتوان از نتایج آن در آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ملی استفاده کرد و حتی

مدل‌های جدیدی منطبق با شرایط ترافیکی کشور ایران ارائه نمود.

٦-پی‌نوشت‌ها

1- Highway Capacity Manual
2- Passenger Car Unit
3- Base Saturation Flow Rate
4- Adjustment for Grade
5- Webster Method
6- Adjustment for Lane Width
7- Adjustment for Heavy Vehicles
8- Adjustment for Parking
9- Adjustment for Bus Blockage
10- Adjustment for Area Type
11- Adjustment for Lane Utilization
12- IG = Inter-Green

۷-مراجع

-بابازاده، ع.، (۱۳۸۸)، "مقایسه کاربردی دستورالعمل‌های رایج در محاسبه نرخ جریان اشباع در تقاطع‌های چراغدار ایران"، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساختها.

-سازمان برنامه‌وبودجه (۱۳۷٦)، "تقاطع‌های هم‌سطح شهری: سوابق مطالعات"، نشریه شماره ۱٤٥-۳، معاونت امور فنی و تدوین معیارها.

-ملکان، خ. اسدی، م.م. و حداد، د.،(۱۳۹۳)،"روش‌های برآورد پارامترهای ترافیکی تقاطعات چراغدار-مطالعه موردی شهر تهران"، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، ایران.

-Akcelik, R. (1981), "Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis", Australian Road Research Board (ARRB), Research Report No. 123 and Appendix, Australian Road Research Board, Melbourne.

-Anusha, C. S., Verma, A. and Kavitha, G. (2013), "Effects of Two-Wheelers on Saturation Flow at Signalized Intersections in Developing Countries", Journal of Transportation Engineering(ASCE) .

-Austroads. (2009), "Guide to Traffic Management", Part 3: Traffic Studies and Analysis, AGTM03/09, Sydney .

-Greenshields, B.D., Shapiro, D. and Ericksen, E.L. (1947), "Traffic Performance at Urban Intersections", Technical Report No. 1, Bureau of Highway Traffic, Yale University .

-Indian Road Congress, (1994), "Guidelines for the Design of At-Grade Intersection in Rural & Urban Areas", IRC-SP-41.

-Indonesian Directorate General of Highways. (1993), "Indonesian Highway Capacity Manual, Urban and Semi-urban Traffic Facilities", Ministry of Public Work.

-Malaysian Ministry of Works. (2006), "Malaysian Highway Capacity Manual 2006", Chapter 3 .

-Minh, C. C. and Sano, K. (2003), "Analysis of Motorcycle Effects to Saturation Flow Rate at Signalized Intersection in Developing Countries", J. East. Asia Society of Transport Studies.

-Raval, N.G. and Subhas K. C. S. (2014),"Development of Saturation Flow Model for Mixed Traffic on Urban Arterial Roads, Intersections", International Journal for Scientific Research&Development, Vols. 2(3),. ISSN (online): pp.321-0613 .

-Savitha, B. G., Murthy, R. S., Jagadeesh, H. S., Sathish, H. S. and Sundararajan, T. (2017), "Study on Geometric Factors Influencing Saturation Flow Rate at Signalized Intersections under Heterogeneous Traffic Conditions", Transportation Technologies .

-Teply, S., Allingham, D. I., Richardson. D.B. and Stephenson, B.W. (2008), "Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections",

Committee on the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, Third Edition, February .

-Transport and Road Research Laboratory. (1963), "A Method of Measuring Saturation Flow at Traffic Signal", Road Note No. 34, London .

-Transportation Research Board. (2010), "Highway Capacity Manual", Transportation Research Board-National Research Council, Washangton D.C .

-Zhang, G. and Chen, J. (2009), "Study on saturation flow rates for signalized intersections", Proc., Int. Conf. on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE, New York, pp.598-601.