

## بررسی اثر عرض خط عبوری بر نرخ جریان اشباع تقاطع‌های چراغ‌دار

نرخ جریان اشباع به‌عنوان یکی از مشخصه‌های مهم جریان ترافیک، در تعیین ظرفیت و تأخیر تقاطع‌های چراغ‌دار نقش اساسی دارد. تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه ارزیابی نرخ جریان اشباع در شاخه ورودی تقاطع‌ها متناسب با مشخصات هندسی، خصوصیات جریان ترافیک و رفتار رانندگان صورت گرفته است. در حالی که با وجود تفاوت در مشخصات فوق، مطالعه‌ای در زمینه میزان نرخ جریان اشباع در شاخه‌ی خروجی صورت نگرفته است و با توجه به تفاوت میزان نرخ جریان اشباع شاخه‌های ورود و خروج، در صورت کاهش تعداد خط، کاهش عرض خط و سایر عوامل مؤثر، لزوم تعیین ظرفیت نرخ جریان اشباع در شاخه خروجی نیز اهمیت می‌یابد. در پژوهش حاضر، به کمک برداشت میدانی داده‌های مرتبط در پنج تقاطع چراغ‌دار شهر رشت، به تعیین و تحلیل مقادیر نرخ جریان اشباع به روش ماکروسکوپی و میکروسکوپی با توجه به عرض خط موجود در شاخه‌های ورودی و خروجی تقاطع‌های موردنظر پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهند که مقادیر نرخ جریان اشباع در شاخه خروجی به روش میکروسکوپی، از مقادیر نظیر در شاخه ورودی بیشتر می‌باشد. همچنین بین عرض خط و نرخ جریان اشباع در شاخه‌های خروجی به روش ماکروسکوپی ارتباط خطی درجه اول با ضریب همبستگی ۰/۹۵۷ وجود دارد. بین عرض خط و نرخ جریان اشباع به روش میکروسکوپی در شاخه‌های خروجی یک رابطه غیرخطی توانی با ضریب همبستگی ۰/۸۵۹ و در شاخه‌های ورودی، یک رابطه غیرخطی لگاریتمی با ضریب همبستگی ۰/۱۰۵ برقرار است. با توجه به ضریب همبستگی شاخه خروج، به نظر می‌رسد که عرض خط، معیار اصلی در تعیین نرخ جریان می‌باشد؛ در حالی که در شاخه ورود، لازم است پارامترهای بیشتری برای تعیین مقادیر نرخ جریان استفاده شود.

**واژگان کلیدی:** تقاطع چراغ‌دار، نرخ جریان اشباع، شاخه خروجی، شاخه ورودی، روش میکروسکوپی و ماکروسکوپی.

ایرج برگ گل

استادیار، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.

پست الکترونیک:

bargegol@guilan.ac.ir

**وحید نجفی مقدم گیلانی**

دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

پست الکترونیک:

Vahid\_najafi@iust.ac.ir

**سجاد رضائی\***

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی پویش قم.

پست الکترونیک:

rezaei@pooyesh.ac.ir

**مهدی آزادی**

گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوانکی، ایوانکی.

پست الکترونیک:

M.azadi@eyc.ac.ir

### ۱- مقدمه

رفتار رانندگان و عابرین پیاده، حجم و نوع حرکات گردشی و شیب مسیر بر نرخ جریان اشباع تأثیرگذار هستند [۱]. به طور کلی، می‌توان از دو دیدگاه ماکروسکوپی و میکروسکوپی به نرخ جریان اشباع نگریست. در روش ماکروسکوپی، کل تعداد وسایل نقلیه عبوری در بازه زمانی اشباع بر فاصله زمانی تقسیم شده و نرخ جریان تعیین می‌شود. اما در روش میکروسکوپی، این کار با تعیین سرفاصله زمانی اشباع انجام می‌گیرد. بدین منظور در مطالعه حاضر، با برداشت ۸ ساعت اطلاعات نرخ جریان وسایل نقلیه به صورت میدانی در

نرخ جریان اشباع یکی از پارامترهای کلیدی در تخمین ظرفیت و تأخیر در تقاطعات چراغ‌دار است. در تقاطع‌ها عوامل زیادی مانند تعداد و عرض خط عبور، مانور پارک و توقف اتوبوس در ایستگاه‌های مجاور تقاطع،

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۰۱/۱۲، بازنگری ۱۳۹۷/۰۴/۰۹، پذیرش ۱۳۹۷/۰۵/۱۳.

(DOI): 10.22091/er.2018.3030.1114 شناسه دیجیتال

میزانور<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۲، به بررسی مقایسه نرخ جریان اشباع در ۹ تقاطع چراغ‌دار شهر یوکوهاما (ژاپن) و شهر داکا (پایتخت بنگلادش) پرداختند. به کمک آنالیز واریانس (ANOVA)، ناحیه جریان اشباع در صف وسایل نقلیه برای نواحی مختلف صف تعیین و از متوسط‌گیری سرفاصله‌های زمانی، تخلیه تمام وسایل نقلیه در ناحیه جریان اشباع، سرفاصله اشباع تخمین زده شد که با روش موجود در HCM تفاوت داشت. پس از محاسبه نرخ جریان اشباع، نتایج نشان داد که مقدار سرفاصله زمانی اشباع به‌دست آمده در این مطالعه، از مقدار HCM بیشتر بوده است که منجر به تخمین پایین نرخ جریان اشباع گردید [۴].

در سال ۲۰۰۵، در مطالعه‌ای تحت عنوان کالیبره کردن پارامترهای مؤثر در ظرفیت، به بررسی نرخ جریان اشباع پایه و ضرایب تصحیح مربوطه با انتخاب ۲۱ تقاطع چراغ‌دار با ۳ معیار صفوف طولانی، شرایط پایه و جمعیت بالا در کشور هند (شهر ایندیانا) انجام شد. محققان، پس از بررسی متغیرهای موجود (جمعیت، طبقه‌بندی خیابان موجود، خط منتهای الیه سمت راست، حضور جدول و حجم ساعتی خط) و تحلیل آنها، مدل رگرسیونی توسط آزمون‌های آماری ارائه نمودند. نتایج نشان داد که اندازه جمعیت و موقعیت خط منتهای الیه سمت راست در گروه خط، بسیار مؤثر بر نرخ جریان اشباع خواهد بود [۵].

لی وین<sup>۵</sup> و همکاران، برای تخمین نرخ جریان اشباع ایده‌آل براساس شرایط کشور مالزی، تقاطع‌های چراغ‌دار با شرایط ایده‌آل را انتخاب و سرفاصله زمانی اشباع برای عرض‌های متفاوت خط عبوری در شرایط هوای خشک و جریان ترافیک اشباع را برداشت نمودند. سپس مقادیر متوسط نرخ جریان اشباع برای عرض‌های متفاوت، محاسبه و مدل رگرسیون خطی براساس عرض خط عبوری ارائه شد. در این مطالعه، مقدار نرخ جریان اشباع،

ساعت اوج عصر، متعلق به ۵ تقاطع چراغ‌دار شهر رشت، تأثیر عرض خط عبوری بر نرخ جریان اشباع بررسی شده و با توجه به عرض خط تحلیل و مقایسه گردید. اطلاعات برداشت شده روش میکروسکوپی، در شرایط ایده‌آل و روش ماکروسکوپی، تحت شرایط حاکم بر تقاطع برداشت می‌شوند.

## ۲- مروری بر مطالعات پیشین

نخستین مطالعات مهم در مورد جریان اشباع، توسط بروس گرین شیلدز<sup>۱</sup> در سال ۱۹۴۰ انجام شد و متوسط نرخ جریان اشباع ۱۷۱۴ خودرو در هر ساعت سبز در هر خط و زمان تلف شده اولیه ۳/۷ ثانیه به‌دست آمد [۲]. طی دهه‌های گذشته، محققان بسیاری در این زمینه مطالعه داشته‌اند. ویرایش‌های مختلف کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها (HCM<sup>۲</sup>) نیز به این موضوع پرداخته است. دلایلی چون تغییرات رفتار ترافیکی و تغییرات مشخصات فیزیکی وسایل نقلیه در هر کشور موجب استمرار توجه به این پارامتر مهم ترافیکی در کشورهای مختلف شده است. در این بخش به نمونه‌هایی از مطالعات مشابه اشاره می‌شود.

لوپز<sup>۳</sup> در سال ۱۹۹۸ در مطالعه‌ای که در ۱۹ تقاطع چراغ‌دار شهر مونته‌ری کشور مکزیک انجام داد، بدون در نظر گرفتن برخی از جزئیات مهم مانند طول صف در هر چرخه و حضور وسایل نقلیه غیر سواری، زمان‌های مشاهده شده را برای موقعیت‌های وسایل نقلیه چهارم، دهم و آخر در هر خط ثبت نمود. در این مطالعه، مقدار متوسط نرخ جریان اشباع برابر ۱۸۷۶ vphgp (سرفاصله زمانی اشباع برابر ۱/۹۲ ثانیه) و مقدار هشاد و پنجمین درصد نرخ جریان اشباع، برابر ۲۰۵۶ vphgpl به‌دست آمد [۳].

1- Bruce Greenshields

2- Highway Capacity Manual

3- Lopez

4- Mizanur Rahman

5- Lee Vien

استان گیلان و در شمال ایران قرار دارد و دارای تراکم جمعیت ۴۳۴۰ نفر در هر کیلومتر مربع می‌باشد [۹].

از جمله معیارهای انتخاب این تقاطع‌ها می‌توان به وجود آن‌ها در نقاط مختلف شهر، وجود شرایط هندسی و عرض خطوط عبوری متفاوت و وجود جریان اشباع در حداقل یکی از شاخه‌های ورودی و خروجی آن‌ها اشاره کرد. اطلاعات مورد نیاز برای برآورد نرخ جریان اشباع به کمک روش فیلمبرداری در ساعت اوج عصر برداشت گردید. به این صورت که با بررسی‌های میدانی ساعت اوج هر کدام از تقاطع‌ها مشخص شد، سپس با کسب اجازه از معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری رشت در نقاط مرتفع ساختمان‌های مجاور اقدام به نصب دوربین گردید و به مدت ۱/۵ ساعت اقدام به فیلمبرداری شد.

برای تعیین تأثیر عرض خط بر نرخ جریان اشباع به روش ماکروسکوپی در شاخه‌های خروجی مورد بررسی، طول فاز به سه بخش فاصله زمانی اول که تأخیر شروع در آن رخ داده است، فاصله زمانی میانی که جریان اشباع رخ می‌دهد و فاصله زمانی آخر که تأخیر انتها در آن رخ داده، تقسیم شده است. با توجه به مشخصات هندسی و ترافیکی تقاطع‌ها، فاصله زمانی اول بین ۶ تا ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. فاصله زمانی میانی، باقیمانده فاز سبز اشباع شده و فاصله زمانی آخر، زمان بعد از انتهای سبز است. احجام وسایل نقلیه در این سه فاصله زمانی به تفکیک نوع وسیله در هر سیکل شمارش گردید. در مطالعه حاضر، ۱۲۳ سیکل اشباع برای داده‌های روش ماکروسکوپی برداشت شد.

نرخ جریان اشباع به روش میکروسکوپی (روش سرفاصله زمانی اشباع) در شاخه‌های خروجی و ورودی، براساس اندازه‌گیری فاصله زمانی حرکت وسایل نقلیه در هنگام عبور از تقاطع به صورت معکوس سرفاصله زمانی میانگین تعیین شد. نرخ جریان اشباع ابتدا براساس تعداد وسایل نقلیه ورودی و سپس با توجه به معادل هم ارز سواری آن‌ها مطابق با کتاب سبز راه‌ها (آشتو) محاسبه

برابر  $1930 \text{ pcu/h}$  به دست آمد، که از مقدار نظیر در HCM ( $1900 \text{ pcu/h}$ ) بیشتر است و دلیل این امر قانون گریزتر بودن رانندگان در کشور مالزی عنوان گردیده است [۶].

شاو<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۱، در جریان مطالعه نرخ جریان اشباع و پارامترهای مؤثر بر آن در ۱۳ تقاطع چراغ‌دار کشور چین، مقدار متوسط نرخ جریان اشباع را برابر با  $1773 \text{ pc/h/Ln}$  (با سرفاصله زمانی متناظر  $2/03$  ثانیه) به دست آوردند. نرخ جریان اشباع پایه، برابر  $1800 \text{ pc/h/Ln}$  در نظر گرفته شد که بسیار کمتر از مقدار نظیر در HCM (یعنی  $1900 \text{ pc/h/Ln}$ ) بود. این مطالعه نشان داد که افزایش عرض خط، افزایش شعاع گردش به چپ و افزایش شیب برای مسیرهایی با شیب بیشتر از ۲ درصد، منجر به افزایش نرخ جریان اشباع خواهد شد [۷]. در همان سال، محققانی دیگر، به محاسبه نرخ جریان اشباع و ضرایب تصحیح مربوطه در ۵ تقاطع چراغ‌دار شهر مکه پرداختند. با تعیین سرفاصله زمانی اشباع به روش HCM، میزان نرخ جریان اشباع ایده‌آل برابر  $2500 \text{ pcu/hr}$  به دست آمد. همچنین رابطه ضریب تصحیح تأثیر تعداد خط براساس بررسی تعداد خطوط مختلف و ضریب تصحیح تأثیر عرض خط براساس مقایسه نرخ جریان اشباع محاسبه شده از طریق سرفاصله زمانی متوسط برای عرض‌های مختلف خطوط عبوری به دست آمدند. این مطالعه نشان داد که کاهش تعداد و عرض خطوط، منجر به کاهش نرخ جریان اشباع به میزان بسیار زیاد می‌گردد [۸].

### ۳- روش‌شناسی

در مطالعه حاضر، ۵ شاخه ورودی و ۵ شاخه خروجی دارای جریان اشباع از پنج تقاطع چراغ‌دار شهر رشت مطابق جدول ۱ انتخاب گردیدند. این شهر مرکز

6- Shao

برداشت شد. در صورت مشاهده هرگونه رفتار قانون‌گريزانه و تداخل وسایل نقلیه دو فاز متوالی، اطلاعات مورد استفاده قرار نگرفتند. همچنین به دلیل حضور عابر پیاده در زمان سبز وسایل نقلیه و پارک حاشیه‌ای تاکسی‌ها در ایستگاه‌های مجاور، عوامل غیرآیدیه‌آل در برداشت داده‌های میکروسکوپیک حذف شدند.

گردید. خط مبنا در برداشت داده‌های سرفاصله زمانی در تقاطع‌های مورد بررسی در شاخه‌های خروجی، از انتهای خط عابر پیاده و در شاخه‌های ورودی به دلیل آنکه وسایل نقلیه جلوتر از خط ایست توقف داشتند، با توجه به محل سپر جلوی وسایل نقلیه در نظر در نظر گرفته شد. در هر شاخه خروجی، ۱۸ سیکل اشباع و در هر شاخه ورودی، ۱۵ سیکل اشباع برای داده‌های سرفاصله زمانی

جدول ۱- مشخصات هندسی و اطلاعات زمانبندی چراغ تقاطع‌های مورد مطالعه

شماره تقاطع	تعداد خط عبوری خروجی	تعداد خط عبوری ورودی	عرض عبوری خروجی (متر)	عرض عبوری ورودی (متر)	طول سیکل (ثانیه)	زمان سبز (ثانیه)	تعداد سیکل برداشت شده	
							ماکروسکوپیک	
							ورودی	خروجی
۱	۲	۳	۵/۶	۸/۶	۱۶۷	۷۲	۲۱	۱۸
۲	۲	۳	۸/۹	۱۰	۱۲۲	۳۱	۲۴	۱۸
۳	۲	۴	۸/۵	۱۰/۵۰	۸۶	۴۷	۲۶	۱۸
۴	۲	۳	۷/۲	۹/۶۰	۱۳۴	۳۸	۲۶	۱۸
۵	۲	۲	۶/۰	۷/۶۰	۶۵	۲۶	۲۶	۱۸

سرفاصله زمانی اشباع در شاخه‌های ورودی و خروجی از هر تقاطع، بعد از اطمینان حاصل شدن از توزیع نرمال داده‌ها به وسیله آزمون کلموگروف-اسیمرنوف، از آزمون آماری Independent Sample T-Test استفاده شد تا مشخص شود آیا اختلاف زمان آن‌ها به لحاظ آماری معنادار است یا خیر.

#### ۴- بحث و بررسی نتایج

در جدول ۲ نتایج به دست آمده از مقادیر سرفاصله زمانی اشباع در تقاطع‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. در شاخه خروجی، میانگین مقادیر سرفاصله زمانی خودروهای دوم تا آخر و در شاخه ورودی، میانگین مقادیر سرفاصله زمانی خودروهای پنجم تا آخر به عنوان سرفاصله زمانی اشباع تعیین شده است. برای مقایسه

جدول ۲- مقادیر متوسط سرفاصله زمانی اشباع در تقاطع‌های مورد مطالعه

شماره تقاطع	نوع معبر	سرفاصله زمانی اشباع (ثانیه)	P-Value T	نتیجه آزمون آماری Independent Sample T-Test با ۹۵ درصد اطمینان
۱	ورودی	۲/۳۸	$P < 0.0001$ $T = 4.00$	اختلاف معنادار است.
	خروجی	۲/۲۲		
۲	ورودی	۲/۱۲	$P = 0.052$ $T = 1.993$	اختلاف معنادار است.
	خروجی	۱/۸۲		
۳	ورودی	۲/۰۳	$P = 0.003$ $T = 1.326$	اختلاف معنادار است.
	خروجی	۱/۶۵		
۴	ورودی	۲/۱۶	$P = 0.027$ $T = 2.30$	اختلاف معنادار است.
	خروجی	۱/۸۷		
۵	ورودی	۲/۲۹	$P = 0.028$ $T = 3.419$	اختلاف معنادار است.
	خروجی	۲/۱۸		

خط در نظر گرفته شد. روش ماکروسکوپیک برای هر فاز اشباع در شاخه مورد نظر تکرار شد و نرخ جریان اشباع مربوطه برحسب وسیله نقلیه در ساعت در هر خط (veh/h/ln) محاسبه گردیده است. جدول ۳، نتایج محاسبات نرخ جریان اشباع متوسط را باتوجه به عرض خط موجود در شاخه خروجی تقاطع‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج آزمون آماری Independent Sample T-Test ذکر شده در جدول ۲، اختلاف سرفاصله زمانی اشباع بین شاخه‌های ورودی و خروجی در هر پنج تقاطع مورد مطالعه، با ۹۵ درصد اطمینان معنادار است. در تقاطع‌های مورد بررسی به دلیل عدم وجود خط اختصاصی برای گردش به چپ و یا راست، فقط یک گروه

جدول ۳- مقادیر متوسط نرخ جریان اشباع در خروجی‌های مورد مطالعه به روش ماکروسکوپیک براساس عرض خط

شماره تقاطع	عرض عبوری (متر)	تعداد خط	عرض خط (متر)	نرخ جریان اشباع (veh/hr/l)	نرخ جریان اشباع (pcu/hr/l)
۱	۵/۶۰	۲	۲/۸۰	۹۰۵	۹۰۵
۲	۶/۰۰	۲	۳/۰۰	۱۱۱۹	۱۱۳۹
۳	۷/۲۰	۲	۳/۶۰	۱۲۳۲	۱۲۴۱
۴	۸/۵۰	۲	۴/۲۵	۱۶۸۲	۱۷۰۳
۵	۸/۹۰	۲	۴/۴۵	۱۷۱۲	۱۷۳۳

جریان اشباع با نرخ بیشتری در شاخه مورد نظر کاهش یافته است.

نتایج حاصل از محاسبه نرخ جریان اشباع در خروجی‌های مورد مطالعه به روش میکروسکوپیک در جدول ۴ درج شده است. همچنین نرخ جریان اشباع به روش میکروسکوپیک در شاخه‌های خروجی باتوجه به عرض خط موجود در تقاطعات مورد مطالعه نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۳، ملاحظه می‌شود که با افزایش عرض خط عبوری، میزان نرخ جریان اشباع خروجی در روش ماکروسکوپیک افزایش می‌یابد به طوری که برای محدوده عرض خط خروجی ۲/۸ تا ۴/۴۵ متر، بین ۹۰۵ تا ۱۷۳۳ pcu/hr/ln قرار دارد. همچنین در تقاطع شماره (۱) به دلیل عرض کم خیابان، انجام توقف‌های دوبل و کوتاه‌مدت در پارک حاشیه‌ای، دفعات و میزان اصطکاک‌های که ماشین‌ها در ورود به پارک حاشیه‌ای و خروج از آن با ترافیک عبوری دارند، کارائی ترافیکی و نرخ

جدول ۴- نرخ جریان اشباع در خروجی‌های مورد مطالعه به روش سرفاصله زمانی اشباع

شماره تقاطع	عرض عبوری (متر)	تعداد خط	عرض خط (متر)	سرفاصله زمانی اشباع (ثانیه)	نرخ جریان اشباع (vphgpl)
۱	۵/۶۰	۲	۲/۸۰	۲/۲۲	۱۶۲۱
۲	۶/۰۰	۲	۳/۰۰	۲/۱۸	۱۶۵۱
۳	۷/۲۰	۲	۳/۶۰	۱/۸۷	۱۹۲۵
۴	۸/۵۰	۲	۴/۲۵	۱/۶۵	۲۱۸۱
۵	۸/۹۰	۲	۴/۴۵	۱/۸۲	۱۹۷۸

اشباع شاخه خروج تأثیرگذار می‌باشد. همچنین میزان نرخ جریان اشباع به روش میکروسکوپییک برای محدوده عرض خط خروجی ۲/۸ تا ۴/۴۵ متر، بین ۱۶۲۱ تا ۲۱۸۱ وسیله نقلیه در ساعت در هر خط قرار دارد.

نتایج حاصل از محاسبه نرخ جریان اشباع در ورودی‌های مورد مطالعه به روش میکروسکوپییک در جدول ۵ درج شده است. نرخ جریان اشباع به روش میکروسکوپییک در شاخه‌های ورودی باتوجه به عرض خط موجود در تقاطعات مورد مطالعه نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، تقاطع شماره (۱) با عرض خط ۲/۸ متر، کمترین میزان نرخ جریان اشباع را دارا می‌باشد که از دلایل آن کم بودن عرض مؤثر شاخه خروجی تقاطع شماره (۱) می‌باشد. همچنین تقاطع شماره ۳ با عرض ۴/۲۵ متر، دارای بیشترین میزان نرخ جریان اشباع می‌باشد. در تقاطع شماره (۲) با وجود عرض ۴/۴۵ متری، مقادیر نرخ جریان کمتری نسبت به تقاطع شماره (۳) به دست آمد.

مشابه روش ماکروسکوپییک، در روش میکروسکوپییک نیز عرض خط عبوری بر میزان نرخ جریان

جدول ۵- نرخ جریان اشباع در ورودی‌های مورد مطالعه به روش سرفاصله زمانی اشباع

شماره تقاطع	عرض عبوری (متر)	تعداد خط	عرض خط (متر)	سرفاصله زمانی اشباع (ثانیه)	نرخ جریان اشباع (vphgpl)
۱	۸/۶۰	۳	۲/۸۰	۲/۳۸	۱۵۱۲
۲	۷/۶۰	۲	۳/۸۰	۲/۲۹	۱۵۷۲
۳	۹/۶۰	۳	۳/۲۰	۲/۱۶	۱۶۶۶
۴	۱۰/۵۰	۴	۲/۶۰	۲/۰۳	۱۷۷۳
۵	۱۰/۰۰	۳	۳/۳۰	۲/۱۲	۱۶۹۸

## ۵- مقایسه نتایج نرخ جریان اشباع در

### شاخه‌های ورودی و خروجی

مقادیر نرخ جریان اشباع شاخه‌های خروجی به روش ماکروسکوپییک، کمتر از مقادیر نظیر میکروسکوپییک می‌باشند. دلیل این تفاوت، حذف عوامل اختلال (ورود عابر، پارک حاشیه‌ای و غیره) بر نرخ جریان اشباع در برداشت اطلاعات به روش میکروسکوپییک می‌باشد، حال اینکه روش ماکروسکوپییک بیانگر نرخ جریان اشباع در شرایط ایده‌آل می‌باشد. همچنین مقادیر سرفاصله زمانی اشباع به روش میکروسکوپییک در شاخه‌های خروجی، کمتر از مقادیر نظیر در شاخه‌های ورودی مورد بررسی می‌باشند، این موضوع منجر به مقادیر نرخ جریان اشباع بیشتر در شاخه‌های خروجی، نسبت به شاخه‌های ورودی می‌شود. بنابراین مقادیر نرخ جریان اشباع در شاخه‌های خروجی به دلیل خصوصیات جریان ترافیک و رفتارهای

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، تقاطع شماره (۱) با عرض خط ۲/۸ متر، کمترین میزان نرخ جریان اشباع و تقاطع شماره ۴ با عرض خط ۲/۶ متر، دارای بیشترین میزان نرخ جریان اشباع می‌باشد. این درحالی است که در تقاطع‌های شماره‌های (۲، ۳ و ۵) با وجود عرض بیشتر، مقادیر نرخ جریان کمتری نسبت به تقاطع شماره (۴) مشاهده می‌شود و رفتاری متفاوت با نرخ جریان اشباع در شاخه‌های خروجی را نتیجه داده‌اند. این بی‌نظمی و عدم ارتباط بین عرض خط و نرخ جریان اشباع می‌تواند تأکیدی بر لزوم در نظر گرفتن سایر پارامترهای مؤثر (مشخصات هندسی و ترافیکی) بر نرخ جریان اشباع شاخه‌های ورودی باشد.

میزان نرخ جریان اشباع به روش میکروسکوپییک برای محدوده عرض خط ورودی ۲/۶ تا ۳/۸۰ متر، بین ۱۵۱۲ تا ۱۷۷۳ وسیله نقلیه در ساعت در هر خط قرار دارد.

با توجه به تأثیر عرض خط بر مقادیر نرخ جریان اشباع، نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی و غیرخطی داده‌های فوق برای شاخه‌های ورودی و خروجی تقاطع‌های مورد مطالعه، در جدول ۷ آمده است. همچنین در ستون هفت این جدول، بهترین رابطه ریاضی به‌دست آمده با توجه به پارامترهای آماری ضریب همبستگی اسپیرمن ( $R^2$ )، آماره F و معنی‌داری (significance) نشان داده شده است.

در جدول ۷، برای هر یک از شاخه‌های خروجی و ورودی، دو رابطه پیشنهادی (ستون ۲) با مقادیر  $R^2$  و P-Value به‌دست آمده ذکر گردیده است. از آنجاکه همه این روابط دارای P-Value کوچکتر از ۵ درصد می‌باشند، روابط پیشنهادی به‌دست آمده با ۹۵ درصد اطمینان قابل استفاده هستند. در این بین، رابطه‌ای که دارای آماره F بالاتر بوده است، به عنوان بهترین رابطه معرفی شده است (ستون ۷).

با توجه به بهترین روابط ذکر شده در جدول ۷، برای شهر رشت بین عرض خط و نرخ جریان اشباع در شاخه‌های خروجی به روش ماکروسکوپیکی ارتباط خطی درجه اول ( $R^2=0/957$ ) وجود دارد. بین عرض خط و نرخ جریان اشباع به روش ماکروسکوپیکی در شاخه‌های خروجی یک رابطه غیرخطی توانی ( $R^2=0/859$ ) و در شاخه‌های ورودی، یک رابطه غیرخطی لگاریتمی ( $R^2=0/105$ ) برقرار است. بنابراین رفتار جریان ترافیک در شاخه‌های خروجی نسبت به شاخه‌های ورودی با توجه به عرض خط، خوش‌رفتارتر است که مقادیر ضریب همبستگی در جدول ۷ نیز این موضوع را تأیید می‌کنند. می‌توان بیان نمود مقادیر نرخ جریان اشباع در شاخه‌های خروجی به هر دو روش ماکروسکوپیکی و ماکروسکوپیکی، تابع عرض خط عبوری است، به طوری که افزایش عرض خط عبوری، منجر به افزایش نرخ جریان اشباع می‌شود. با این وجود، رفتار جریان ترافیک در شاخه‌های ورودی تقاطع‌های شهر رشت، تحت تأثیر عوامل دیگری غیر از

ترافیکی متفاوت، با مقادیر شاخه‌های ورودی یکسان نمی‌باشد.

جدول ۶، مقایسه مقادیر نرخ جریان اشباع شاخه‌های ورودی برداشت شده در این مطالعه و دیگر تحقیقات انجام شده را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۶ با مقایسه نرخ جریان اشباع شاخه‌های ورودی در این مطالعه و دیگر مطالعاتی که در جهان صورت پذیرفته است، مشاهده می‌شود که مقادیر نرخ جریان اشباع به روش ماکروسکوپیکی در تمامی شاخه‌های ورودی مورد مطالعه شهر رشت، نسبت به نتایج مطالعات سایر محققان (به استثنای مطالعات انجام شده در هند)، کمتر می‌باشد. شاید دلیل این امر، خصوصیات جریان ترافیک و رفتارهای ترافیکی متفاوت رانندگان شهر رشت باشد.

جدول ۶- مقادیر نرخ جریان اشباع در مطالعات جهانی [۱۰]

مقادیر نرخ جریان	محل مطالعه
۱۸۰۰	کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها (۲۰۰۰)
۱۹۰۰	کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها (۲۰۰۰)
۱۹۷۲	یونان
۱۸۷۶	مکزیک
۱۷۷۳	چین
۱۲۳۲	هند
۲۰۰۰	ژاپن
۱۸۵۰	سوئد
۱۹۴۰	فنلاند
۲۰۸۰	انگلستان
۲۱۹۶	اندوزی
۱۹۳۰	مالزی
۱۶۵۰	ایران (رشت)

مختلف از جمله متغیرهای فرهنگی، رفتار رانندگان، هندسه و شعاع‌های گردش مختلف می‌باشد، اعتبارسنجی مدل‌های پیشنهادی جدول ۷ نیازمند برداشتهای ترافیکی بسیاری از تقاطعات با ویژگی‌های مختلف و همچنین شبیه‌سازی موارد فوق می‌باشد که این موضوع می‌تواند در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

عرض خط قرار گرفته است که نمی‌توان رفتار مشابه با شاخه‌های خروجی را برای آن‌ها متصور شد و به همین سبب لازم است که پارامترهای بیشتری برای تعیین مقادیر نرخ جریان اشباع در شاخه ورود استفاده شود. با توجه به اینکه مطالعات ترافیکی مستلزم اطلاعات ترافیکی بسیار و همچنین در نظر گرفتن پارامترهای

جدول ۷- روابط بین نرخ جریان اشباع و عرض خطوط عبور

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شاخه	روش	مدل ریاضی	R <sup>2</sup> value	F Statistic	P value	Significant source “*”	بهترین رابطه “***”
خروجی	میکروسکوپی	$S = 902.78W^{0.569}$	R <sup>2</sup> = 0.859	18.25	0.000	*	**
		$S = 1052.44\ln(W) + 534.81$	R <sup>2</sup> = 0.842	15.979	0.000	*	---
	ماکروسکوپی	$S = 484.45W - 409.52$	R <sup>2</sup> = 0.957	66.73	0.000	*	**
		$S = 62.32W^2 + 10.52W + 422.07$	R <sup>2</sup> = 0.96	23.70	0.000	*	---
ورودی	میکروسکوپی	$S = -226.55\ln(W) + 1901.44$	R <sup>2</sup> = 0.105	0.352	0.000	*	**
		$S = -71.49 W + 1868.68$	R <sup>2</sup> = 0.104	0.35	0.000	*	---

Units: S [pcu/hr/l], W [m], \* Significant at 95 percent confidence level, \*\* Best relation

## ۶- نتیجه‌گیری

- بین عرض خط و نرخ جریان اشباع در شاخه‌های

خروجی به روش ماکروسکوپی ارتباط خطی درجه اول ( $R^2=0/957$ ) وجود دارد. بین عرض خط و نرخ جریان اشباع به روش میکروسکوپی در شاخه‌های خروجی یک رابطه غیرخطی توانی ( $R^2=0/859$ ) و در شاخه‌های ورودی، یک رابطه غیرخطی لگاریتمی ( $R^2=0/105$ ) برقرار است.

به سبب همین پایین بودن ضریب همبستگی شاخه‌های ورودی، نیاز به لحاظ کردن پارامترهای بیشتری علاوه بر عرض خط برای تعیین مقادیر نرخ جریان اشباع شاخه‌های ورودی شهر رشت می‌باشد.

اختلاف سرفاصله زمانی اشباع شاخه‌های ورودی و خروجی تقاطع‌های چراغ‌دار، با سطح اطمینان ۹۵ درصد به لحاظ آماری معنادار است.

در این مقاله با بررسی نرخ جریان اشباع در شاخه‌های ورودی و خروجی پنج تقاطع چراغ‌دار شهر رشت به روش ماکروسکوپی و میکروسکوپی مشخص شد:

- مقادیر نرخ جریان اشباع شاخه‌های خروجی به روش ماکروسکوپی، کمتر از مقادیر نظیر میکروسکوپی می‌باشند.
- مقادیر نرخ جریان اشباع در شاخه‌های خروجی در هر دو روش میکروسکوپی و ماکروسکوپی، تابع عرض خط عبوری است، به طوری که افزایش عرض خط عبوری شاخه‌های خروجی تقاطع‌های چراغ‌دار، منجر به افزایش نرخ جریان اشباع می‌شود.



## مراجع

- [1] Transportation Research Board. (2016). "Highway Capacity Manual", *National Research Council, Washington D.C.*
- [2] Transportation Research Board. (2011). "75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory", *Greenshields Symposium, Woods Hole, Massachusetts.*
- [3] Lopez-Vazquez, J. F. (1998). "Determination of Maximum Value Flow Saturation Signalized Intersections", Master's thesis, Faculty of Civil Engineering, Autonomous University of Nuevo Leon, Monterrey, Mexico.
- [4] Rahman, M. M., Ahmed, S. N., & Hassan, T. (2005). "Comparison of saturation flow rate at signalized intersections in Yokohama and Dhaka", In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 959-966.
- [5] Perez-Cartagena, R. I., & Tarko, A. P. (2005). "Calibration of capacity parameters for signalized intersections in Indiana", *Journal of transportation engineering*, 131(12), 904-911.
- [6] Vien, L. L., Ibrahim, W. H. W., & Mohd, A. F. (2005). "Determination of Ideal Saturation Flow at Signalized Intersections Under Malaysian Road Conditions", *Journal of Transportation Science Society of Malaysia*, 1(2005), 26-37.
- [7] Shao, C. Q., Rong, J., & Liu, X. M. (2011). "Study on the saturation flow rate and its influence factors at signalized intersections in China", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 16, 504-514.
- [8] Alam, M. J. B., Osra, K. A., Al-Bar, H. O., & Zahran, S. Z. (2010). "Signalized intersection capacity adjustment factors for Makkah, Saudi Arabia", *Canadian Journal of Transportation*, 4(1).
- [9] Iran Statistical Center, (2011). "Official Results of Census of Populations and Houses of Iran".
- [10] Bargegol, I., Amlashi, A. T., & Gilani, V. N. M. (2016). "Estimation the Saturation Flow Rate at Far-side and Nearside Legs of Signalized Intersections—Case Study: Rasht City", *Procedia engineering*, 161, 226-234.

**I. Bargegol**

Assistant Professor, Faculty of  
Engineering, Guilan  
University.

**e-mail:** bargegol@guilan.ac.ir

**V. Najafi Moghadam  
Guilani**

Ph.D Student, Faculty of Civil  
Engineering, Iran University of  
Science and Technology.

**e-mail:** Vahid\_najafi@iust.ac.ir

**S. Rezaei\***

Civil Engineering and  
Management, Civil  
Engineering, Pooyesh Institute  
of Higher Education.

**e-mail:** rezaei@pooyesh.ac.ir

**M. Azadi**

Department of Civil  
Engineering, University of  
Eyvanekey.

**e-mail:** M.azadi@eyc.ac.ir

**Investigating the Effect of Lane Width on  
the Saturated Flow Rate of the Signalized  
Intersections**

*So far, many studies have been carried out to evaluate the saturation flow rate at the entrance of the intersection, in accordance with geometric characteristics, traffic flow characteristics, and driver behavior. While, despite the difference in the above specifications, there is no study on saturation flow rate at intersection exit and due to the difference in saturation flow rates between entrance and exit, in the case of decreasing lane numbers, decreasing lane widths and other effective factors, the importance of determining the capacity of the saturation flow rate in the exit is also important. In the present study, with the help of field data acquisition at five signalized intersections pilot in the city of Rasht, the determination and analysis of saturation flow rates using macroscopic and microscopic methods are considered, considering the width of the lane in the entrance and exit branches of the intersections. The results show that saturation flow rates in the exit branch are microscopically higher than those in the entrance branch. There is also a linear correlation between lane width and saturation flow rate in the exit branches by macroscopic method with a correlation coefficient of 0.957. Regarding the correlation coefficient of the exit branch, the lane width seems to be the main criterion in determining the flow rate, while in the entrance branch; more parameters are needed to determine the flow rates.*

**Keywords:** Signalized intersection; Saturation flow rate; Exit branch; Entrance branch, Microscopic and Macroscopic method.

---

\* Corresponding author