

تحلیل روابط میان پارامترهای ماکروسکوپیک جریان ترافیک در شرایط مختلف، مطالعه موردی آزادراه قم- تهران

محمد رضا سیف، نوید ندیمی

دانشجو دکتری راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشجو دکتری راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

خصوصیات جریان ترافیک به رفتار رانندگان، مشخصات وسایل نقلیه، خصوصیات فیزیکی مسیر و تعامل این عوامل با یکدیگر بستگی دارد. به گونه ای که حتی در صورت مشابه بودن وسایل نقلیه عبوری و خصوصیات هندسی مسیرها، مشخصات جریان ترافیک به دلیل تفاوت در رفتار رانندگان عبوری، لزوماً یکسان نخواهد بود. با وجود آنکه از سال ۱۹۳۴ میلادی تا کنون، مدل های مختلفی جهت پیش بینی مشخصات جریان ترافیک پیشنهاد شده است، لیکن مناسب ترین مدل بیان کننده ارتباط بین پارامترهای مختلف جریان ترافیک، همچنان بحث انگیز است. این موضوع، عمدتاً به دلیل تفاوت در رفتار رانندگان عبوری با توجه به شرایط موجود در مسیر است. این مقاله به تحلیل رفتار جریان ترافیک بر اساس داده های بومی جریان با تاکید بر مدل جریان- چگالی برای آزادراه قم- تهران می پردازد. برای این منظور پس از جمع آوری داده های مربوط به وسایل نقلیه عبوری از محور قم- تهران، رابطه میان جریان و چگالی در خطوط مختلف آزادراه، در ۳ ماه مختلف سال، در ۲ نوبت شب و روز و در خطوط مختلف آزادراه تعیین شده است. نتایج نشان می دهد که حتی برای یک آزادراه مشخص با تغییر در شرایط موجود روابط میان پارامترهای ماکروسکوپیک ترافیک متفاوت می باشد.

کلید واژه: جریان ترافیک، چگالی، روابط اساسی جریان، پارامترهای ماکروسکوپیک



۱- مقدمه

خصوصیات جریان ترافیک در یک راه (آزادراه، بزرگراه یا حتی یک خیابان اصلی)، از مهمترین عوامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری ترافیک در یک منطقه است. طراحی یک راه مستلزم پیش‌بینی حجم ترافیک در مقاطع مختلف زمانی است و توصیف و بررسی کلان^۱ وضعیت ترافیک در یک راه، با استفاده از متغیرهای چگالی، نرخ جریان و سرعت متوسط جریان (مکانی یا زمانی) انجام می‌گیرد، که البته نحوه رفتار رانندگی نیز در پارامترهای یاد شده تأثیرگذار است.

پیش‌بینی مشخصات جریان ترافیک و ارتباط میان پارامترهای کلان جریان ترافیک، همواره و از گذشته مورد بحث بسیاری بوده است. اهمیت این پیش‌بینی‌ها در مواردی همچون تغییر رده عملکردی یک معبر، مطالعه اثربخشی تغییرات جریان بر زمان سفر، تصادفات، مصرف انرژی و آلودگی هوا بسیار زیاد است. مدل‌های تئوری جریان ترافیک کمک می‌کنند تا ارتباط بین پارامترهای جریان (نرخ تردد، سرعت و چگالی) در شرایط مختلف تعیین شده و با مشخص بودن برخی پارامترها، بتوان سایر پارامترهای مورد نیاز را تعیین نمود. تاکنون تحقیقات متعددی با هدف ارائه مدل‌های ارتباط‌دهنده بین پارامترهای مختلف جریان ترافیک و پیش‌بینی آنها انجام شده و مدل‌های متفاوتی بین پارامترهای ماکروسکوپی جریان ترافیک برقرار شده است [۱].

هدف این مقاله تعیین رابطه میان نرخ تردد (جریان) و چگالی در یکی از آزادراه‌های ایران می‌باشد. برای این منظور آزادراه قم-تهران انتخاب و از داده‌های شناسگرها برای انجام محاسبات استفاده شده است. همچنین با توجه به تغییر در رابطه اساسی جریان بر مبنای وضعیت آب و هوا، خطوط مختلف راه و وضعیت روشنایی، تحلیل‌های جداگانه‌ای جهت تعیین رابطه میان نرخ تردد (جریان) و چگالی در هر یک از این شرایط در آزادراه مورد نظر انجام می‌شود.

در مجموع این مقاله ۵ بخش دارد. در بخش بعدی مرور مختصری بر ادبیات تحقیق در زمینه روابط میان پارامترهای ماکروسکوپی جریان ترافیک می‌آید. سپس در بخش سوم، داده‌های تحقیق و در بخش چهارم نتایج تحلیل‌ها ارائه می‌گردد. در نهایت در بخش پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مقاله ارائه می‌شود.

¹ Macroscopic



۲-مرور ادبیات تحقیق

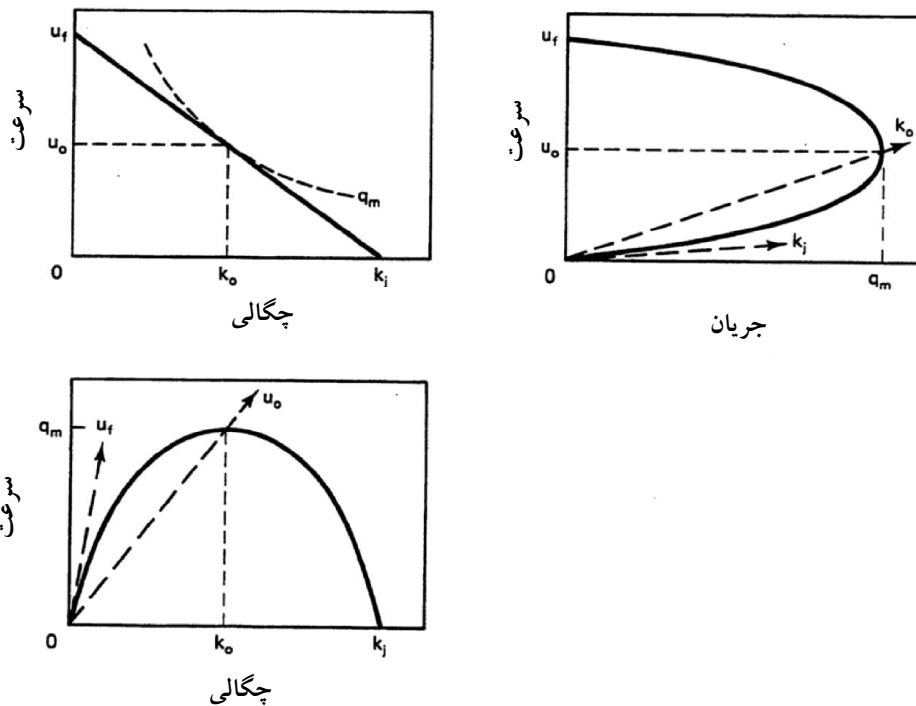
بررسی روابط تجربی و تئوری بین پارامترهای جریان در طی سال‌های متمادی، زمینه عمومی تحقیق بسیاری از محققین بوده است. در یک طبقه‌بندی کلی، پارامترها و مدل‌های جریان را می‌توان به دو گروه خرد^۱ و کلان تقسیم‌بندی نمود. اغلب این مدل‌ها، بر تئوری جریان سیالات، تئوری امواج و روش‌های آماری استوارند [۱].

نخستین بار، مدل‌های کلان جریان بر مبنای معادلات مبتنی بر تئوری‌های هیدرودینامیکی شکل گرفتند. مفهوم رفتار کلان جریان ترافیک به مثابه جریان پیوسته‌ای از یک سیال، نخستین بار توسط Light hill در سال ۱۹۵۵ بیان گردید [۲]. پیش‌بینی چگالی در این مدل با در نظر گرفتن جریان پیوسته‌ای از وسایل نقلیه و با استفاده از معادلات ساده هیدرودینامیکی انجام شد. در ادامه، محققان دیگری همچون Pipes و Philips، ضمن بازبینی و اصلاح این مدل اولیه و نیز بهره‌گیری از معادلات هیدرودینامیکی پیچیده‌تر، رفتار دینامیکی ترافیک را به منظور دستیابی به مدل پیش‌بینی متوسط سرعت مکانی، مدل‌سازی نمودند [۳].

Wardrop (1952) نشان داد که رابطه‌ای بین پارامترهای ماکروسکوپیک مذکور، وجود دارد. او نشان داد که سرعت متوسط و چگالی، جریان ترافیک را تولید می‌کند. این رابطه در جامعه مهندسی ترافیک به رابطه پایه‌ای جریان ترافیک معروف است. یعنی اگر دو پارامتر معلوم باشند، سومی به راحتی به دست می‌آید. این رابطه از لحاظ گرافیکی در نمودارهای اساسی قابل ارائه هستند [۵]. نمودارهای اساسی، منحنی‌های جریان ترافیک اصلی هستند که روابط بین سرعت و چگالی، سرعت و جریان، و جریان و چگالی را ارائه می‌کنند. نمودارهای جریان اساسی، برای خصوصیات جریان ترافیک مشاهده شده بر روی جریان ترافیک غیرمنقطع، یک رابطه خطی بین سرعت و چگالی و یک رابطه سهمی شکل بین جریان و چگالی را فرض می‌کند. مثالی از این روابط تهیه شده توسط (May 1990)، در شکل ۱ آورده شده است. روابط در شکل ۱ رابطه نظری بین پارامترهای ماکروسکوپیک که اولین بار توسط Greenshields (1953) پیشنهاد شد را نشان می‌دهد [۶ و ۷].

¹ Microscopic





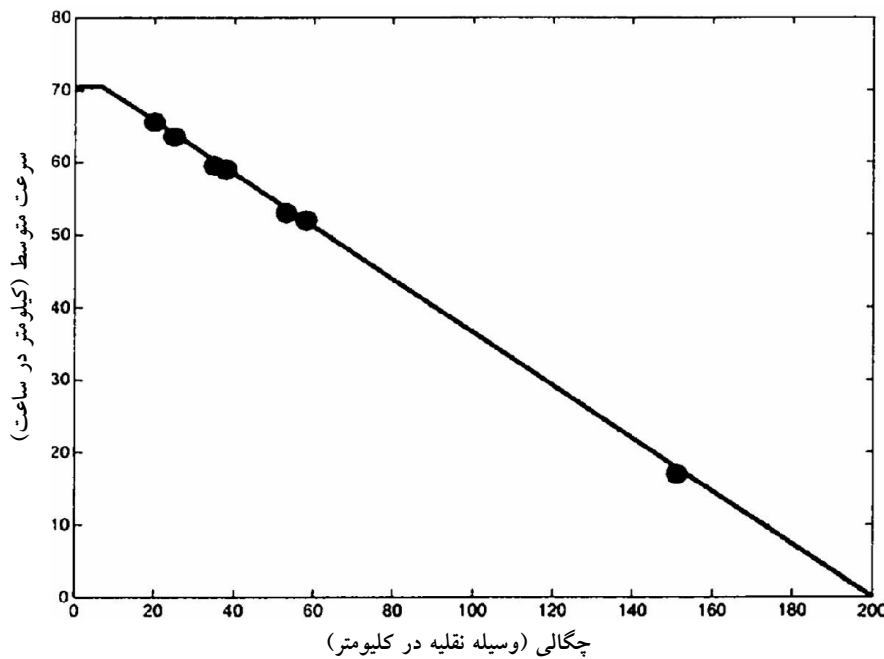
شکل ۱- روابط اساسی بین سرعت- چگالی- تردد [۷]

از نمودارهای ارائه شده در شکل ۱، می توان نشان داد که به محض اینکه چگالی از صفر افزایش یابد تا چگالی بیشینه، k_j ، متوسط سرعت از سرعت جریان آزاد، u_f ، تا صفر، کاهش می یابد. به چگالی بیشینه، چگالی راهبندان^۱ نیز گفته می شود، یعنی چگالی که در آن خودروها نسبت به یکدیگر چسبیده به هم قرار دارند و ابدأ نمی توانند حرکت کنند [۷]. Greenshields، این منحنی ها را در چگالی کم و با فرض عدم تأثیر متقابل سرعت خودروها در چگالی های کم، توسعه داد. رابطه سرعت- چگالی مطالعات Greenshields در شکل ۲ ارائه می شود. با توجه به رابطه سرعت- جریان در شکل ۱، به محض اینکه جریان در شرایط جریان کم (جریان آزاد)، افزایش یابد تا نقطه بیشترین جریان، q_m ، سرعت کاهش می یابد. پس از آن، سرعت با کاهش جریان به دلیل افزایش چگالی ترافیک (آن طرف بیشترین جریان)، کاهش خواهد یافت. علت این امر این است که بیشترین جریان در شرایط ترافیکی متراکم رخ می دهد؛ در این شرایط جریان ترافیک پایدار نیست و با کاهش سرعت، آشفتگی در جریان ترافیک به-

¹ - Jam density



وجود می آید [۶ و ۷]. با توجه به نمودار جریان-چگالی، با افزایش چگالی، جریان تا جریان بیشینه افزایش می یابد. جریان بیشینه مطابق با چگالی بهینه، k_0 ، است. بعد از چگالی بهینه، جریان با افزایش چگالی کاهش می یابد. چگالی بهینه نقطه حدفاصل بین جریان آزاد و شرایط ترافیک متراکم می باشد [۱۰].



شکل ۲- رابطه سرعت - چگالی کلاسیک [۶]

یکی از جنبه های مفید نمودار اساسی، فهم فرمولاسیون تئوری تعقیب خودرو^۱ می باشد. برای مثال رابطه سرعت- چگالی مشابه سرعت به عنوان تابعی از سرفاصله مکانی در منطق تعقیب خودرو است. رابطه سرعت- تردد در مراحل برنامه ریزی و طراحی تسهیلات حمل و نقلی، جهت بررسی ظرفیت و کیفیت عملیات (سطح سرویس) مورد انتظار، به کار می رود. رابطه بین جریان و چگالی از لحاظ نظری می تواند جهت کنترل نرسیدن چگالی به چگالی بهینه (به منظور اینکه تسهیلات جاده ای اکثر اوقات با یک سطح سرویس بالا عمل بکند) به کار رود [۷].

با مطالعات بیشتر و بعد از بررسی های میدانی دقیق اطلاعات ترافیکی و در واقع، پس از توسعه قابل- توجه تئوری جریان ترافیک در دهه ۱۹۵۰، معلوم شد که سرعت و چگالی با یکدیگر رابطه نمایی دارند. بعد از آن، اطلاعات به دست آمده از مطالعات منجر به تولید دو سری رژیم مدل های مجزا برای

¹ - Car-following theory



روابط جریان ترافیک به عنوان: رژیم‌های جریان آزاد و جریان متراکم، مدل Greenshields یک مدل تک رژیمی است. سومین رژیم نیز جهت پوشش انتقال از جریان آزاد تا جریان متراکم معرفی شد. به علاوه May فرمولاسیون مدل‌های چند رژیمی را ارائه کرد [۶ و ۷].

۳- داده‌های تحقیق

مورد پژوهی مطالعه جاری، آزادراه قم- تهران است که برای آن حجم خودروهای عبوری با استفاده از دستگاه تردد شمار الکترونیکی حلقه القایی در هر دو مسیر رفت و برگشت و به تفکیک خط عبوری موجود است. شناسگرهای تردد شمار در جهت تهران به قم در موقعیت ۶۳ کیلومتری از تهران و در جهت قم به تهران در موقعیت ۵۷ کیلومتری از قم نصب شده‌اند. شناسگرها قادر به ثبت سرعت و شناسایی رده هر خودروی عبوری به تفکیک تاریخ و زمان عبور است. با توجه به اینکه متوسط سرعت برداشت شده از نوع زمانی است، از رابطه ۱ و ۲ برای تبدیل آن به سرعت متوسط مکانی استفاده شده است. همچنین برای به دست آوردن چگالی، حجم جریان بر سرعت متوسط مکانی تقسیم شده است. (در مجموع داده‌های مورد نظر در حدود ۴ میلیون مورد بوده است).

$$\overline{s_T} = \overline{s_S} + \frac{\sigma_S^2}{s_S} \quad (1)$$

که در آن:

$\overline{s_T}$: سرعت متوسط زمانی،

$\overline{s_S}$: سرعت متوسط مکانی و

σ_S^2 : واریانس سرعت متوسط مکانی می‌باشد.

بر اساس تحقیقات گسترده صورت گرفته، برای پیش‌بینی سرعت متوسط مکانی بر اساس سرعت متوسط زمانی، رابطه ۲ پیشنهاد شده است [۸].

$$\overline{s_S} \approx \overline{s_T} - \frac{\sigma_T^2}{s_T} \quad (2)$$

در این رابطه σ_T^2 ، واریانس سرعت متوسط زمانی و سایر پارامترها مطابق رابطه ۱ می‌باشد. بررسی‌ها نشان دهنده آن است که رابطه ۲ سرعت متوسط مکانی را با ۰ تا ۱ درصد خطا پیش‌بینی می‌نماید [۹].

برای مدل‌سازی، اطلاعات تردد شماری ماه‌های دی ۸۷ و فروردین و مرداد ۸۸ انتخاب شدند. علت انتخاب ماه فروردین، حجم زیاد تردد نسبت به سایر ماه‌های سال (به دلیل سفرهای نوروزی) و علت

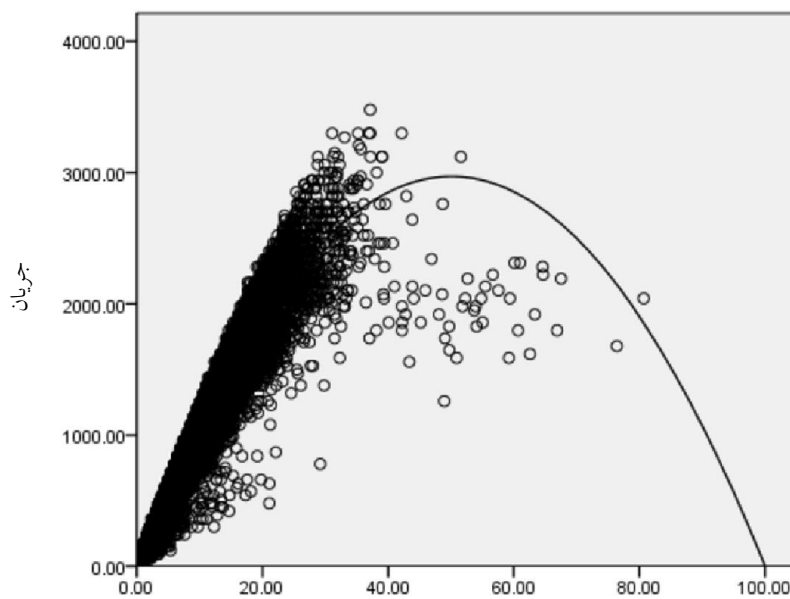


انتخاب ماه‌های دی و مرداد، تغییرات الگوی سفرها به دلیل دمای هوا می‌باشد (کمترین و بیشترین دمای متوسط ماهیانه به ترتیب در دی و مرداد ثبت شده است).

۴- نتایج تحقیق

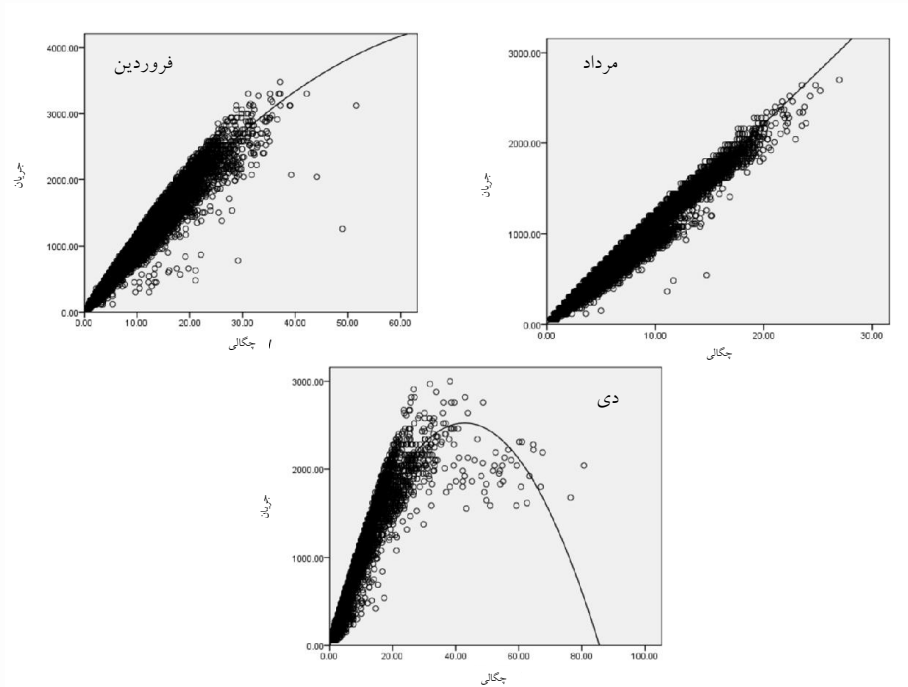
در شکل‌های ۳ تا ۶ در زیر نتایج تحقیق شامل روابط میان جریان و چگالی برای موارد زیر بترتیب آمده است، جهت بررسی تحلیل‌ها در فصول مختلف سال، ماه‌های فروردین، مرداد و دی بعنوان نمونه انتخاب و تحلیل‌ها براساس آنها انجام شده است.

- ✓ کل آزادراه (مسیر قم- تهران) در طول ماه‌های فروردین، مرداد و دی،
- ✓ کل آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه فروردین،
- ✓ کل آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه مرداد،
- ✓ کل آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه دی،
- ✓ کل آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه‌های فروردین، مرداد و دی در نوبت روز،
- ✓ کل آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه‌های فروردین، مرداد و دی در نوبت شب،
- ✓ خط ۱ آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه‌های فروردین، مرداد و دی،
- ✓ خط ۲ آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه‌های فروردین، مرداد و دی،
- ✓ خط ۳ آزادراه (مسیر قم- تهران) در ماه‌های فروردین، مرداد و دی.

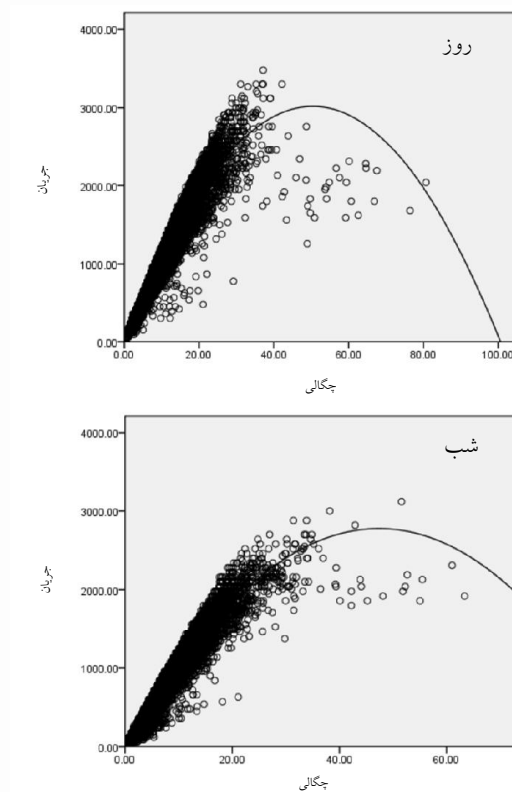


شکل ۳- رابطه جریان- چگالی برای کل آزادراه در ماه‌های فروردین، مرداد و دی



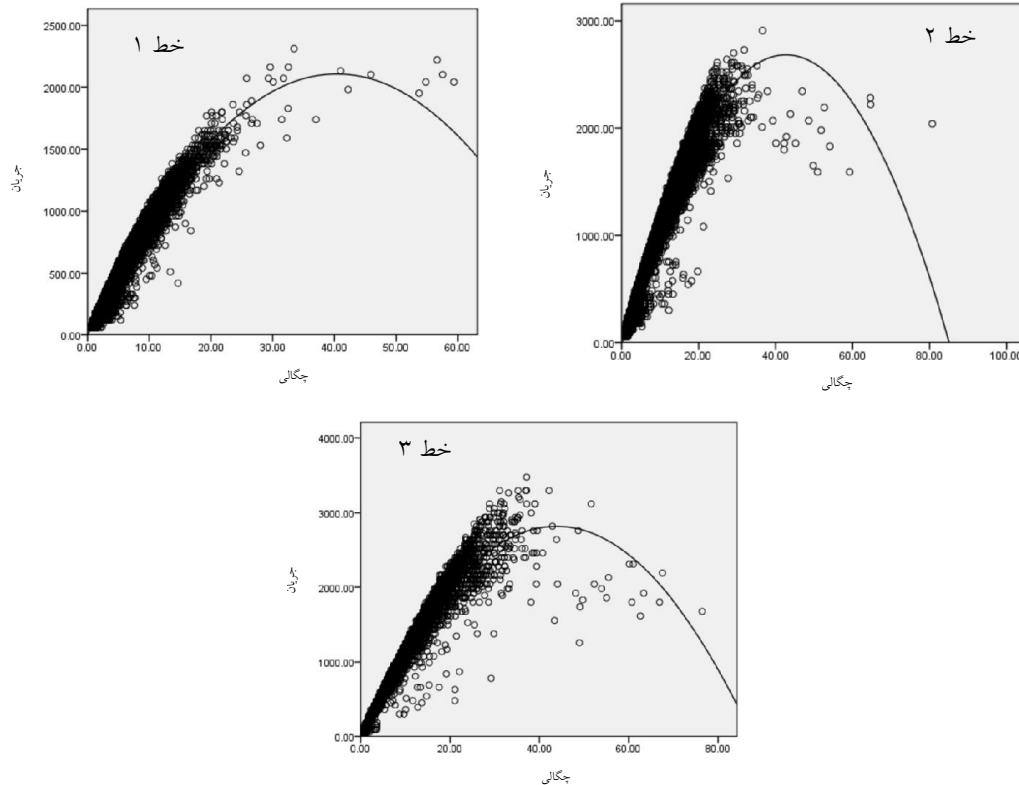


شکل ۴- رابطه جریان- چگالی برای ۳ ماه مختلف سال



شکل ۵- رابطه جریان- چگالی برای دو نوبت روز و شب





شکل ۶- رابطه جریان-چگالی در خطوط مختلف آزادراه

در جدول ۱ زیر رابطه میان نرخ تردد و چگالی به همراه سایر پارامترهای آماری مورد نظر آمده است.

جدول ۱- رابطه میان نرخ تردد و چگالی در شرایط مختلف برای آزادراه قم-تهران

تعداد وسایل نقلیه شمارش شده (n)	ضریب تعیین (R^2)	معادله	مورد مطالعه
۳۲۱۵۷۳	۰.۹۷	$V = -1.19D^2 + 119.44D - 20.86$	کل آزادراه در طی ۳ ماه فروردین، مرداد و دی
۱۱۶۹۸۶	0.۹۸	$V = -0.69D^2 + 111.35D - 8.18$	فروردین
۹۵۷۰۲	0.98	$V = 0.23D^2 + 105.48D + 10.06$	مرداد
۱۰۸۸۸۵	۰.97	$V = -1.39D^2 + 118.67D - 16.48$	دی
۱۶۸۰۶۹	۰.۹۸	$V = -1.20D^2 + 120.73D - 24.31$	نوبت روز
۱۵۳۵۰۴	۰.۹۷	$V = -1.25D^2 + 117.94D - 16.97$	نوبت شب
۱۱۶۴۱۶	۰.۹۸	$V = -1.29D^2 + 104.31D - 2.47$	خط ۱ آزادراه
۱۱۷۲۴۳	0.99	$V = -1.49D^2 + 127.27D - 31.50$	خط ۲ آزادراه
۸۷۹۱۴	0.99	$V = -1.47D^2 + 129D - 10.41$	خط ۳ آزادراه



۵- جمع بندی و نتیجه گیری

این مقاله به بررسی رابطه جریان- چگالی در آزادراه قم- تهران با استفاده از داده های شناسگرها می- پردازد. برای این منظور پس از جمع آوری اطلاعات مربوط به ۳ ماه فروردین، مرداد و دی در خطوط مختلف آزادراه تحلیل های گوناگونی انجام گرفته است. در نهایت جهت نتیجه گیری از تحلیل های انجام گرفته موارد زیر قابل بیان می باشد:

- رفتار رانندگان در شرایط مختلف اعم از روز- شب، خطوط مختلف آزادراه و ماه های مختلف سال متفاوت می باشد. در نتیجه روابط جریان-چگالی متفاوتی نیز برای هر یک از این شرایط قابل ارائه خواهد بود.
- در مقایسه روابط بدست آمده از رابطه جریان- چگالی نوبت شب و روز، می توان به این نتیجه رسید که حداکثر جریان شب و روز با یکدیگر تفاوت دارند. در نتیجه می توان گفت، ظرفیت در نوبت روز بیشتر از نوبت شب می باشد. که یکی از علل آن ممکن است تفاوت رفتار رانندگان در نوبت شب و روز بدلیل تغییر در روشنایی باشد. بنابراین رفتاری که رانندگان در روز و شب از خود نشان می دهند، دارای تفاوت بوده و می توان در راهنمای ظرفیت راهها جهت ارائه روابط متفاوت در نوبت شب و روز جهت تحلیل ظرفیت راهها از آن استفاده کرد.
- در مقایسه روابط جریان- چگالی خطوط مختلف آزادراه می توان گفت، ماکزیمم جریان بترتیب از خط ۳ (خط سبقت) تا ۱ (خط کندرو)، کاهش می یابد. بدین مفهوم که ظرفیت خطوط مختلف آزادراه متفاوت است. دلیل اصلی این مسأله تفاوت در میانگین سرعت جریان عبوری از خطوط مختلف آزادراه بوده که بترتیب از خط ۳ تا خط ۱ کاهش می یابد.
- در مقایسه روابط جریان- چگالی در ماه های مختلف سال می توان گفت، در ماه فروردین ماکزیمم جریان آزادراه به مراتب بالاتر از دی ماه و در نتیجه ظرفیت آزادراه در فروردین ماه، بیشتر از دی می باشد. این موضوع می تواند ناشی از تأثیر شرایط آب و هوایی در رفتار رانندگان در هنگام رانندگی باشد. (در رابطه با مرداد ماه رابطه خاصی نسبت به ماه های قبلی وجود ندارد).



مراجع

- ۱- جلیل شاهی. مهندسی ترافیک پیشرفته، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۵.
- 2- Gerlough, D, and Huber, M, Traffic Flow Theory, Monograph, Special Report 165 Transportation Research Board National Research Council Washington, D.C., 1975, PP.49-96.
- 3- Hall, F, Traffic Stream Characteristics, Hall, Professor McMaster University, Department Of Civil Engineering and Department Of Geography, 1280 Main Street West Hamilton, Ontario, Canada, 1975.
- 4- Rakha, H, and Zhang., W “Estimating Traffic Stream Space-Mean Speed and Reliability from dual and Single Loop Detectors”. 2005, TRB Paper: 05-0850.
- 5- Wardrop, J. Some theoretical aspects of road traffic research. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 1. 1952.
- 6- Greenshields, B.D., A Study of Traffic Capacity, Highway Research Board-National Research Council, Washington D.C. pp. 448-477, 1935.
- 7- May, A. Advanced Traffic Flow Theory. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1990.
- 8- Toledo T. (2003), Integrated Driving Behavior Modeling, PhD Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT.
- 9- Highway Capacity Manual, 4th Edition, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000.

