فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

تحلیل و ارزیابی مدل‌های کلان نگر جریان ترافیک در آزاد راه‌های برون شهری (مطالعه موردی: آزادراه تهران– کرج)

حسن ذوقی[۱]، ساسان زمانی[۲]، علیرضا رحمانی اصل[۳]

۱– استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲– دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

۳– دانشجوی کاشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

چکیده

اهمیت بررسی روابط بین پارامترهای مختلف جریان ترافیک، مخصوصا سرعت، نرخ جریان و چگالی از دیدگاه برنامه ریزی، طراحی و ارزیابی پروژه‌ها و تسهیلات ترافیکی اجتناب ناپذیر می‌باشند.در این مقاله مدل‌های مختلف مرسوم ماکروسکوپیکی سرعت–چگالی مانند گرین شیلد، گرین برگ، آندروود و چند جمله ای در آزادراه تهران-کرج کالیبره و اعتبارسنجی شده اند. بدلیل برازش قابل توجه (مجذور رگرسیون و جذر میانگین انحراف معیار استاندارد) و تخمین‌های واقع گرای سرعت جریان آزاد، سرعت بهینه و چگالی بهینه مدل چند جمله ای به عنوان بهترین مدل از نظر برازش برای آزادراه مذکور انتخاب گردید.نتایج نشان داد که این مدل کالیبره شده می‌تواند برای پیش بینی سرعت در حجم ترافیک موردنظر و همچنین در کمی سازی راهبندان‌ها در شرایط ناپایدار مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مدل‌های جریان ترافیک، سرعت جریان آزاد، چگالی راهبندان برازش منحنی

۱– مقدمه

جریان ترافیک از تعامل متقابل رانندگان و وسایل نقلیه همراه با عناصر فیزیکی جاده و محیط پیرامون آن ناشی می‌شود. به دلیل تفاوت در رفتار رانندگان و ویژگی‌های وسایل نقلیه، جریان ترافیک رفتار مشابهی از خود نشان نمی دهند. ار این رو، بحث در باره حریان ترافیک، در واقع بحث درباره یک عنصر متغیر است.جریان ترافیک در خیابان‌ها و بزرگراه‌ها با ویژگی‌های مشخص، با عوامل زمان و مکان تغییر می‌کند. بنابراین بزرگترین چالش میان مهندسین ترافیک، برنامه ریزی و طراحی محیطی است که بطور دقیق قابل پیش بینی نمی باشد [۱].

پیش بینی مشخصات جریان ترافیک و ارتباط میان پارامترهای کلان جریان ترافیک، همواره و از گذشته مورد بحث بسیار بوده است.اهمیت این پیش بینی‌ها در مواردی مانند تغییر رده عملکردی یک معبر، مطالعه اثربخشی تغییرات جریان بر زمان سفر، تصادفات، مصرف انرژی و آلودگی هوا بسیار زیاد است.مدل‌های جریان ترافیک کمک می‌کنند تا ارتباط بین پارامترهای جریان(نرخ تردد، سرعت و چگالی) در شرایط مختلف تعیین شده و با مشخص نمودن برخی پارامترها، بتوان سایر پارامترهای موردنیاز را تعیین نمود.تاکنون تحقیقات متعددی با هدف ارائه مدل‌های ارتباط دهنده بین پارامترهای مختلف جریان ترافیک و پیش بینی آنها انجام شده و مدل‌های متفاوتی بین پارامترهای کلان جریان ترافیک برقرار شده است [۲].

رابطه سرعت چگالی از میان این سه رابطه (سرعت- چگالی، نرخ جریان-چگالی و سرعت-نرخ جریان) بیان قابل فهم تری از شرایط جریان ترافیک ارائه می‌دهد.چرا که ارتباط مستقیمی با تجربه روزمره رانندگی دارد.بدین صورت که یک راننده احساس می‌کند که با افزایش حضور دیگر خودردوها در معبر، از سرعتش کاسته می‌شود.این مشاهدات منجر به تلاش برای ارائه یک مدل ریاضی بین سرعت-چگالی شد [۷].

۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

تا به امروز مدل واحدی که منطبق بر خصوصیات جریان ترافیک در تمامی حالات باشد ارائه نگردیده است.این پیچیدگی که ناشی از عملکرد متفاوت رانندگان در طول مسیر، با توجه به شرایط مختلف می‌باشد، لزوم ارائه مدل‌هایی را که نشانگر جریان ترافیک در شرایط مختلف می‌باشد را ضروری می‌سازد. هدف پژوهش مطالعه انطباق مدل‌های جریان ترافیک بر وضعیت ترافیک آزادراه تهران – کرج و یافتن مدلی معتبر و مناسب برای آزادراه مذکور می‌باشد. برای این کار، اطلاعاتی که از آزادراه مذکور بدست آمده است، با چند مدل معتبر مورد مقایسه قرار گرفتند. با استفاده از روش‌های آماری، تطابق و تناسب هر مدل با داده‌های میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت.

از طریق این مقایسه، مدلی متناسب با شرایط آزادراه تهران – کرج ارائه شده است که از طریق آن می‌توان برای طراحی صحیح تر آزادراه‌های آتی و ارزیابی سطح خدمت آزادراه‌های موجود استفاده کرد.

۳- مروری بر ادبیات تحقیق

بررسی روابط تجربی و تئوری‌های بین پارامترهای جریان در طی سال‌های متمادی، زمینه عمومی تحقیق بسیاری از محققین بوده است.در یک طبقه بندی کلی، پارامترها و مدل‌های جریان را می‌توان به دو گروه خرد و کلان تقسیم نمود. اکثر این مدل‌ها، منطبق بر تئوری‌های جریان سیالات، تئوری امواج و روش‌های آماری می‌باشند [۳].

مدل‌های ماکروسکوپیک، جریان ترافیک را به عنوان یک سیال با استفاده از مجموع متغیرها توصیف می‌کنند. توصیف ماکروسکوپیک ترافیک در امتداد یک شاهراه، نخستین بار در مقالاتی توسط Whitham و Lighthill در سال ۱۹۵۵و Richards در سال ۱۹۵۶معرفی شد. برای پیش بینی چگالی در این مدل، جریان وسایل نقلیه به صورت پیوسته در نظر گرفته شده و معادلات استفاده شده از نوع ساده هیدرودینامیکی می‌باشد[۴,۵].

در ادامه محققین دیگری همچون Pipes و Philips، ضمن بازبینی و اصلاح این مدل اولیه و بهره گیری از معادلات هیدرودینامیکی پیچیده تر، رفتار دینامیکی ترافیک را به منظور دستیابی به مدل پیش بینی سرعت متوسط سرعت مکانی، مدل سازی نمودند [۳].

در سال ۱۹۵۲ واردراپ ارتباط اساسی بین پارامترهای جریان ترافیک را به صورت زیر بیان نمود[۶]:

$$\frac{\partial q}{\partial t}=\frac{\partial k}{\partial X} \qquad (۱)$$

که در آن q نرخ جریان در مدت زمانt و K تراکم در طول x می‌باشند.رابطه (۱) با استفاده از مقادیر متوسط به رابطه (۲) تبدیل می‌شود که در اینصورت بیان کننده ارتباط واقعی بین این سه پارامتر نمی باشد. ولی تاکنون این رابطه مورد توافق کلیه محققین قرار گرفته است [۶].

$$V=S\times D \qquad (۲)$$

که در این رابطه V نرخ جریان، Sسرعت متوسط مکانی و D چگالی می‌باشند.

اولین مطالعات در زمینه مدل‌های کلان جریان ترافیک توسط گرین شیلد (Greensheilds) در سال ۱۹۳۵ انجام گرفت.او ارتباط بین سرعت و چگالی را به صورت خطی بیان نمود و با استناد به این ارتباط، دیاگرام اساسی جریان ترافیک (ارتباط بین سرعت و نرخ جریان) را به صورت سهمی بیان کرد این مدل به شکل زیر ارائه شد [۶].

$$S=S_f\left[۱-\frac{D}{D_j}\right] \qquad (۳)$$

که در آن Sf : متوسط سرعت آزاد (در نقطه تراکم صفر) و Dj : تراکم اشباع می‌باشند. بعدها، گرین برگ (Greenberg) در سال ۱۹۵۹ مدل جریان ترافیک دیگری را معرفی نمود. این رابطه که بر اساس همانندی جریان سیالات استوار است، به شکل رابطه ۴ ارائه گردید[۶] :

$$S=C.\ln\left[\frac{D_j}{D}\right] \qquad (۴)$$

در سال ۱۹۶۱ آندروود (Underwood) رابطه بین سرعت و چگالی در یک جریان ترافیک را به صورت نمایی ارائه نمود[۶] :

$$S=S_f e^{\frac{D}{D_O}} \qquad (۵)$$

در سال ۱۹۶۵ محققی به نام درو (Drew)، رابطه ایی به شکل یک منحنی پارابولیک ارائه نمود. این رابطه که به مدل عمومی پاپیس (Pipes) معروف می‌باشد با معرفی پارامتر جدید n شکل عمومی این رابطه را به صورت زیر ارائه نمود [۶]:

$$S=S_f\left[۱-\left(\frac{D}{D_j}\right)^n\right] \quad (n>۰)$$

(۶) برای مدل درو

ملاحظه می‌گردد زمانی که n=۱ می‌گردد، رابطه فوق به شکل رابطه گرین شیلدز در می‌آید. تحقیقات دیگری که در سال ۱۹۶۷ توسط می(May) انجام گرفت، یک منحنی زنگوله ایی

شکل را برای مشخص نمودن ارتباط میان سرعت و چگالی ارائه نمود که مشابه رابطه آندروود می‌باشد[۶].

$$S = S_f e^{\frac{D}{DO}} \quad (۷)$$

محقق دیگری به نام ادی (Edie) در همان سال ترکیبی از روابط لگاریتمی و نمایی را برای ترافیک پرتراکم و کم تراکم به کار برد. بررسی‌های دقیق تر او بر روی اطلاعات حاصل از مطالعه گرین برگ نشان داد که منحنی‌های سرعت – نرخ جریان دارای یک عدم پیوستگی بوده و دارای دو رژیم متفاوت می‌باشند که یکی برای جریان آزاد و دیگری برای جریان متراکم قابل استفاده می‌باشد. او فرض نمود که استفاده از مدل نمایی آندروود برای جریان آزاد و مدل لگاریتمی گرین برگ در شرایط متراکم قابل استفاده می‌باشد[۶].

۴– روش تحقیق

مطابق توصیه HCM جهت کالیبراسیون کامل، باید ظرفیت مسیر مشاهده شود و انتقال از وضعیت پایدار به ناپایدار به خوبی توسط مدل و نمودار مربوطه مشخص گردد. بهترین مکان برای این امر محل اتصال رمپ ورودی به بزرگراه می‌باشد. که در آن یک جریان ترافیک به بزرگراه اضافه می‌گردد. در این نقطه هست که انتقال جریان ترافیک از حالت پایدار به ناپایدار مشاهده می‌گردد [۶]. در این مقاله مطابق توصیه کتاب HCM، رمپ خروجی بزرگراه شهید همت که در نقطه ۲۵ کیلومتری آزادراه تهران-کرج قرار دارد مورد استفاده قرار گرفت. برداشت اطلاعات شامل اندازه گیری سرعت وسایل نقلیه عبوری در هر لحظه و شمارش آنها در مقاطع مختلف بزرگراه بود.مشاهدات نرخ جریان در مقاطع به صورت ۲۴ ساعته و خودکار انجام گرفت.

با توجه به خطای سیستم تردد شماری خودکار لازم بود تا اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه به صورت دستی کالیبره شوند. و همچنین با توجه خطاهای احتمالی دوربین‌های ثبت سرعت لازم است میزان خطایی حداکثر برابر با e=۱km/h در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه در کلیه تحلیل‌ها نیاز به محاسبه سرعت متوسط وسایل نقلیه عبوری می‌باشد، لذا می‌بایست تعداد برداشت‌ها در هر بار میانگین گیری به حدی باشد که مشخص کننده مقدار واقعی سرعت میانگین باشد. با توجه به خطای سیستم ثبت سرعت و سطح اطمینان ۹۵ درصد نیاز بود تا تعداد نمونه‌ها در هر بار میانگین گیری تعیین گردد. با توجه به توزیع نرمال سرعت در مطالعات و براساس رابطه زیر تعداد نمونه‌ها مشخص شوند[۶].

$$N > \frac{۱.۹۶s^۲}{e^۲} \quad (۸)$$

که در این رابطه s انحراف معیار توزیع سرعت و e میزان خطای احتمالی دوربین‌های ثبت سرعت می‌باشد.

با توجه به اینکه سرعت‌های ثبت شده از نوع سرعت زمانی هستند لازم است از طریق رابطه زیر به سرعت مکانی تبدیل شوند:

$$SMS = TMS - \frac{s^۲}{TMS} \quad (۹)$$

همچنین برای بدست آوردن چگالی از رابطه اصلی بین پارامترهای کلان جریان ترافیک استفاده می‌کنیم:

$$D = \frac{V}{S} \quad (۱۰)$$

برای مدل سازی، اطلاعات تردد شماری ماه‌های فروردین، مرداد، دی سال ۱۳۹۳ از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای انتخاب گردید و دلیل انتخاب ماه فروردین حجم تردد زیاد نسبت به سایر ماه‌ها از لحاظ سفرهای نوروزی و دلیل انتخاب ماه‌های مرداد و دی به دلیل تغییر دمای هوا است که منجر به تغییرات اساسی در الگوی تقاضای سفرها می‌شود.

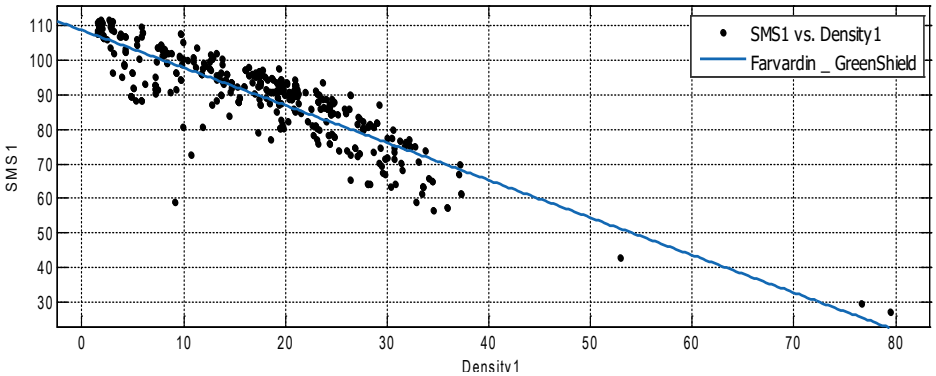
۵– تحلیل نتایج تحقیق

در شکل‌های ۱ الی ۱۲ نتایج تحقیق که شامل کالیبراسیون مدل‌های گرین شیلد، گرینبرگ، آندروود و چند جمله ای با درجه ۲ برای آزاد راه تهران-کرج در ماه‌های فروردین- مرداد - دی ارائه می‌گردند.

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال هفدهم / تابستان ۱۳۹۶ / شماره ۶۹

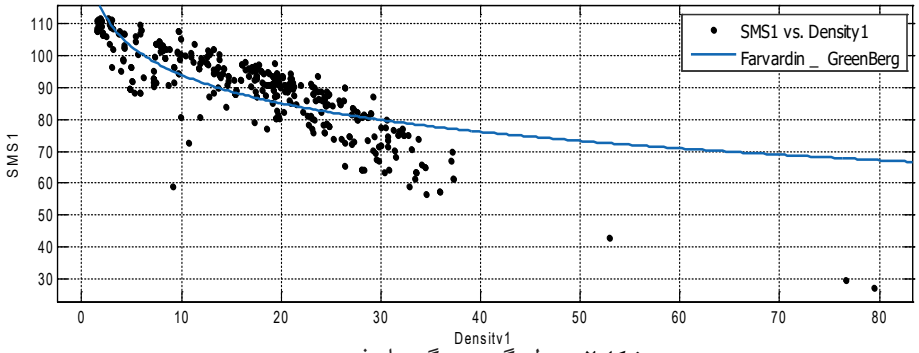
نتایج ماه فروردین

مدل گرین شیلد:



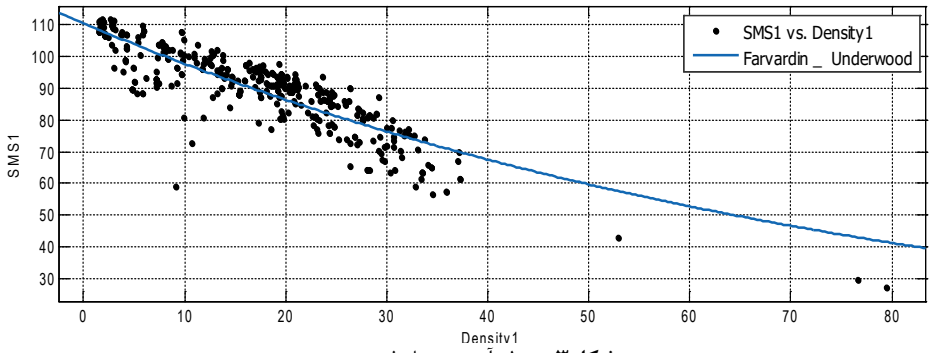
شکل۱- مدل گرین شیلد ماه فروردین

مدل گرین برگ:



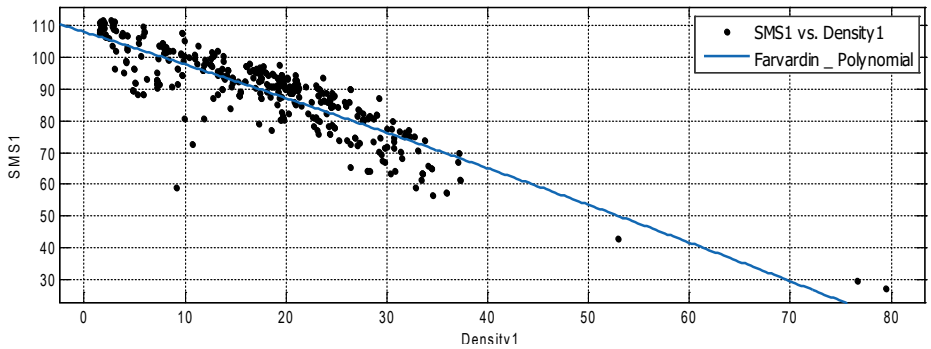
شکل۲- مدل گرین برگ ماه فروردین

مدل آندروود :



شکل۳- مدل آندروود ماه فروردین

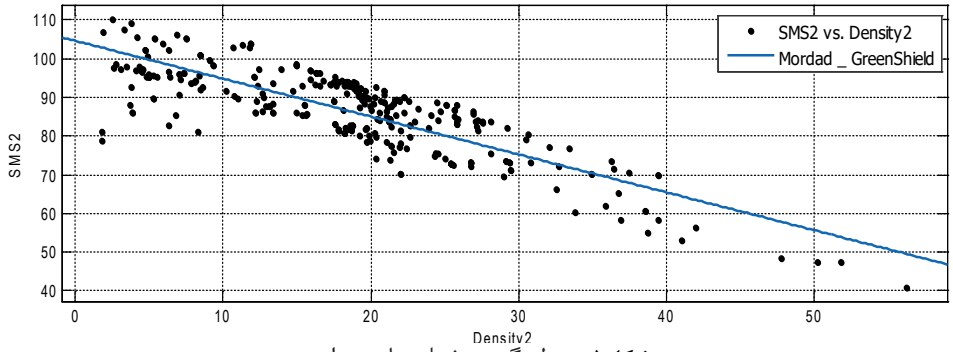
مدل چند جمله ای:



شکل۴- مدل چند جمله ای ماه فروردین

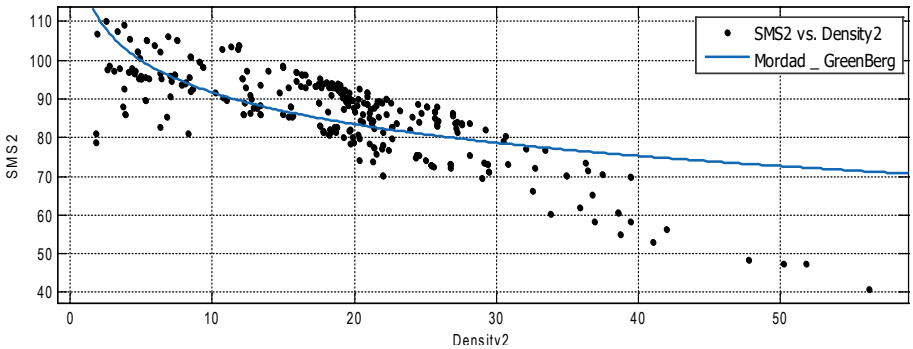
نتایج ماه مرداد

مدل گرین شیلد:



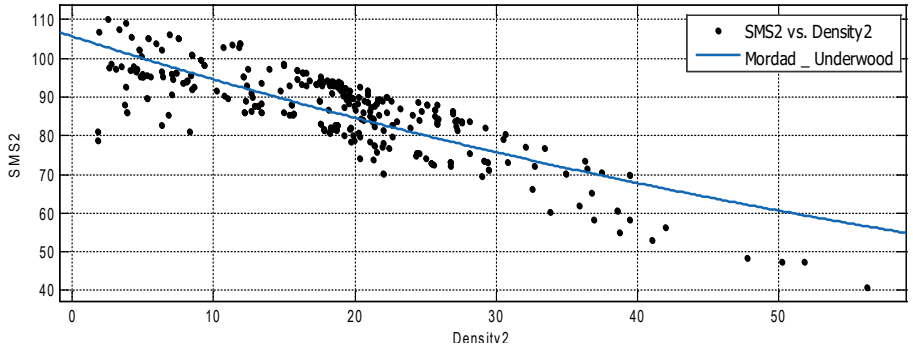
شکل۵- مدل گرین شیلد ماه مرداد

مدل گرین برگ:



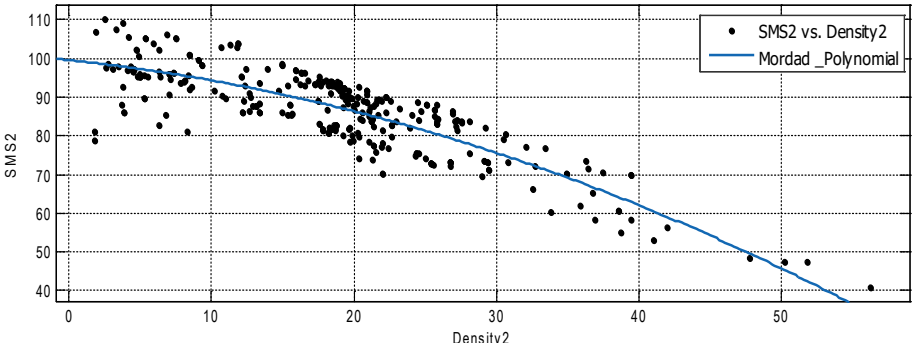
شکل ۶- مدل گرین برگ ماه مرداد

مدل آندروود:



شکل ۷- مدل اندروود ماه مرداد

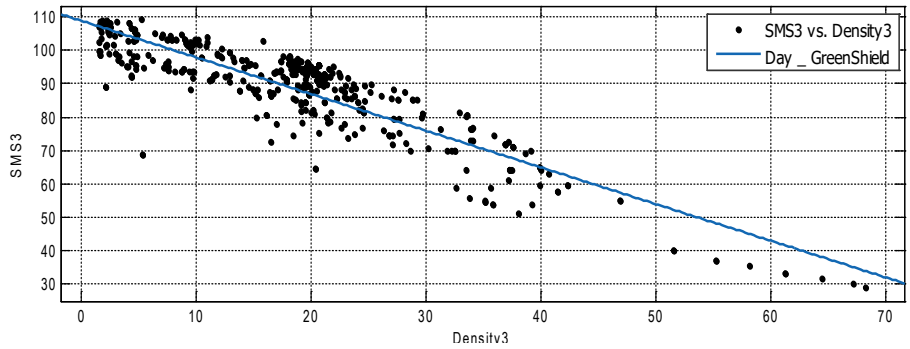
مدل چند جمله ای :



شکل ۸- مدل چند جمله ای ماه مرداد

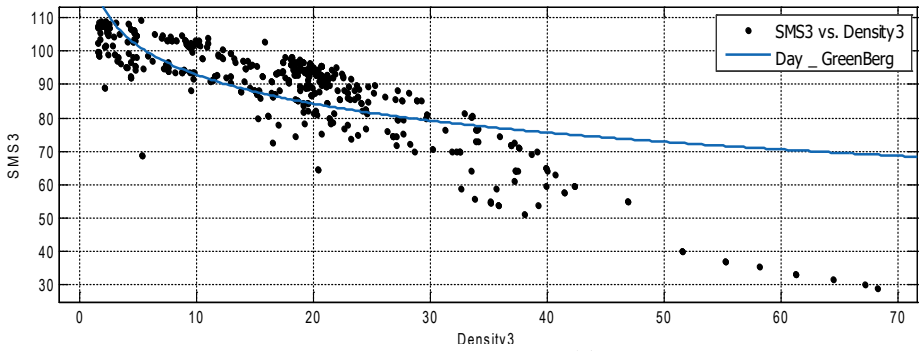
نتایج ماه دی:

مدل گرین شیلد:



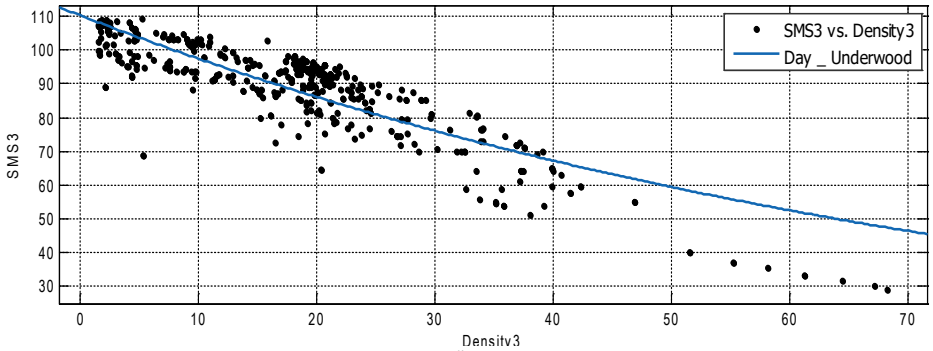
شکل۹- مدل گرین شیلد ماه دی

مدل گرین برگ $f(x) = -۰.۰۰۹۸۷۵x^{۲} - ۰.۶۱۲۸\,x + ۱۰۴.۷$:



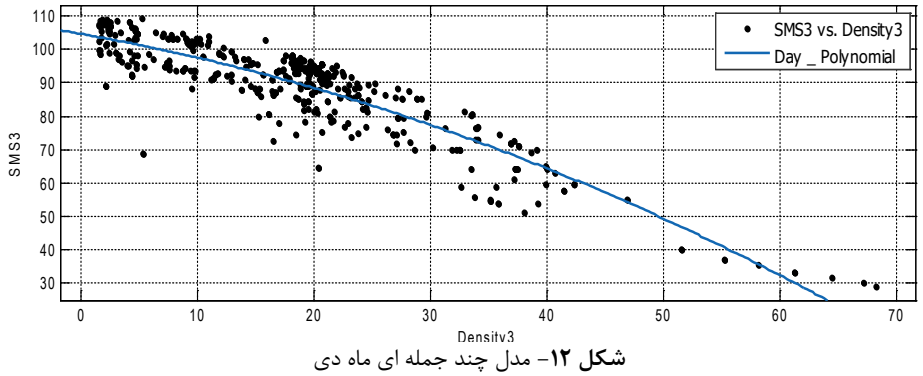
شکل۱۰- مدل گرین برگ ماه دی

مدل آندروود:



شکل ۱۱- مدل آندروود ماه دی

مدل چند جمله ای



شکل ۱۲- مدل چند جمله ای ماه دی

جدول۱- بهترین مدل‌های سرعت-چگالی در ماه‌های مختلف برای آزادراه تهران-کرج

نام منحنی	معادله	$R^{۲}$	$R^{۲}$ اصلاح شده
مدل چند جمله ای ماه فروردین	$f(x) = -۰.۰۰۱۶۱۵x^{۲} - ۱.۰۰۸\,x + ۱۰۸$	۰/۷۵۶۶	۰/۷۵۶۹
مدل چند جمله ای ماه مرداد	$f(x) = -۰.۰۱۳۸۸x^{۲} - ۰.۳۷۹۷\,x + ۹۹.۴۹$	۰/۷۲۵۸	۰/۷۳۵۸
مدل چند جمله ای ماه دی	$f(x) = -۰.۰۰۹۸۷۵x^{۲} - ۰.۶۱۲۸x + ۱۰۴.۷$	۰/۸۱۷۷	۰/۸۱۶۹

جدول ۲- مدل‌های سرعت-چگالی(گرینشیلد-گرینبرگ-آندروود-چندجمله ای) در ماه‌های مختلف برای آزادراه تهران-کرج

نام منحنی	نوع مدل ریاضی	حجم نمونه گیری	R^2	R^2 اصلاح شده	RMSE
گرین شیلد فروردین	خطی	۳۷۴	۰/۷۵۷۲	۰/۷۵۶۶	۶/۲۶۹۰
گرین برگ فروردین	لگاریتمی	۳۷۴	۰/۵۷۸۰	۰/۵۷۶۹	۸/۲۶۵۲
آندروود فروردین	نمایی	۳۷۴	۰/۷۳۳۹	۰/۷۳۳۲	۶/۵۶۲۸
چند جمله ای فروریدن	درجه ۲	۳۷۳	۰/۷۵۸۲	۰/۷۵۶۹	۶/۲۶۴۰
گرین شیلد مرداد	خطی	۲۹۹	۰/۶۹۴۳	۰/۶۹۳۳	۶/۲۰۰۹
گرین برگ مرداد	لگاریتمی	۲۹۹	۰/۴۷۵۹	۰/۴۷۴۱	۸/۱۱۹۴
آندروود مرداد	نمایی	۲۹۹	۰/۶۶۴۱	۰/۶۶۲۹	۶/۵۰۰۱
چند جمله ای مرداد	درجه ۲	۲۹۸	۰/۷۲۷۶	۰/۷۲۵۸	۵/۸۶۳۱
گرین شیلد دی	خطی	۴۵۲	۰/۷۹۱۹	۰/۷۹۱۴	۶/۶۷۰۱
گرین برگ دی	لگاریتمی	۴۵۲	۰/۵۱۳۸	۰/۵۱۲۷	۱۰/۱۹۵۳
آندروود دی	نمایی	۴۵۲	۰/۷۴۶۰	۰/۷۴۵۴	۷/۳۶۸۶
جند جمله ای دی	درجه ۲	۴۵۱	۰/۸۱۷۷	۰/۸۱۶۹	۶/۲۴۸۳

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

استفاده از داده‌های آماری و میدانی یکی از بهترین روش‌ها برای ارزیابی جریان ترافیک و مدل سازی رفتار آن است که با استفاده از این مدل‌ها می‌توان پارامترهای اساسی جریان ترافیک را محاسبه کرد.در این پژوهش به منظور ارزیابی مدل‌های جریان ترافیک و کاربرد آنها برای آزادراه‌های برون شهری، از ۴ مدل گرینشیلدز، گرینبرگ، آندروود و چند جمله ای برای بررسی رفتار ترافیکی آزادراه تهران-کرج استفاده شده است. نتایج نشان داد الگوی ترافیکی این بزرگراه از یک مدل یکسان پیروی نمی کند.در نهایت جهت نتیجه گیری از تحلیل‌های انجام گرفته موارد زیر قابل بیان می‌باشد:

۱-از مقایسه روابط بدست آمده از رابطه سرعت- چگالی در ساعات مختلف شبانه روز، می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر نرخ جریان در ساعات روز ۲۰٪ بیشتر از ساعات نوبت شب می‌باشد.که این مسئله ناشی از تفاوت رفتار ترافیکی بدلیل روشنایی می‌باشد.و می‌توان در راهنمای ظرفیت راه‌ها جهت ارائه روابط متفاوت در ساعات مختلف شبانه روز جهت تحلیل ظرفیت راه‌ها استفاده کرد.

۲-مدل گرینبرگ ضریب رگرسیون پایینی برای هر ۳ ماه و در خطوط مختلف جریان از خود نشان داد و مدل چند جمله ای ضریب رگرسیون قابل قبولی را برای ۳ ماه و در خطوط مختلف جریان از خود نشان داد.

۳-در مقایسه روابط سرعت-چگالی در ماه‌های مختلف سال می‌توان به این نتیجه رسید که در ماه فروردین جریان آزادراه به مراتب بالاتر از دی ماه و در نتیجه ظرفیت راه در فروردین ماه بیشتر از دی می‌باشد.این موضوع ناشی از تاثیر شرایط جوی در تقاضای سفرها می‌باشد.

۷- مراجع

۱-مهندسی ترافیک،۱۳۹۴،حسن ذوقی،انتشارات دانشگاهی کیان

۲- مهندسی ترافیک پیشرفته، ۱۳۸۵، جلیل شاهی، دانشگاه علم و صنعت

۳- سیف، م. و ندیمی، ن. تحلیل روابط میان پارامترهای ماکروسکوپیک جریان ترافیک در شرایط مختلف، سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک

4- Mohan,R. Ramadurai,G. , 2013, Heterogeneous Traffic Flow Modeling Using Macroscopic Continuum Model, 2en Conference of Transportation Research Group of India

5- Applied Soft Computing Journal, 2015, Swarm Intelligence Algorithms For Macroscopic Traffic Flow Model Validation whith Automatic Assignment of Fundamental Diagrams, Vol.38, Published by Elsevier

۶- منصور خاکی، ع. و سرکار، ع. تعیین رابطه سرعت و چگالی در بزرگراه‌های تحت سیستم مدیریت سرعت، ۱۳۹۰، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان

۷- حامدی، غ. آذرنوش، ع. و عربانی، م. بررسی جریان ترافیک در آزادراه‌های کشور و مقایسه با مدل‌های معتبر جریان ترافیک، ۱۳۹۰، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار

Analysis and Evaluation of Macroscopic Traffic Flow Models in Suburban freeways (case study:Tehran-Karaj)

Hassan Zoghi[1], Sasan Zamani[2], Alireza Rahmaniasl[3]

1-Assitant professor,Karaj Islamic Azad university
2-Ms.c student of science and research Islamic Azad university
3- Ms.c student of science and research Islamic Azad university

Abstract

The importance of understanding the relationship between various traffic flow parameters, especially speed, flow and density is unquestionable from the perspective of planning , design, traffic conditions and improvement of facilities. Various conventional macroscopic speed-density models namely Greenshields, Greenberg, Underwood and polynomial with two degrees in Tehran-karaj were calibrated and validated. Due to significant of goodness of fit (R^2 value and rmse) and realistic estimates of free flow speed, optimum speed and optimum density. Polynomial with 2 degrees model was recommended as the best fit model for considered freeway. this calibrated model can be used in predicting speed for the anticipated traffic volume, and even helps in quantifying congestion for oversaturated condition.

Keywords: Macroscopic traffic flow,free flow speed, jam density,goodness of fit