ارزیابی اثر پارامترهای هندسی و ترافیک جاده درکاهش ظرفیت

علی منصور خاکی[1]، مرتضی طلوعی[2]، حسین نظری[3]
۱- دانشیار دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

چکیده

ارزیابی ظرفیت جاده در برنامه ریزی طراحی و بهره برداری از امکانات جاده ضروری است. این مقاله به بررسی تاثیر مشخصات هندسی و ترافیک جاده های دو خطه و جاده مناطق روستایی در ظرفیت خطوط تانژانت و قوس افقی می پردازد. مطالعه برای محلی که شامل عنصرخط تانژانت و دو قوس افقی متوالی، و دارای سرعت و جریان وسیله نقلیه برای هر عنصر است انجام می گیرد. برآورد ظرفیت بر مبنای درون یابی و رابطه بین نمودار اساسی جریان ترافیک و چگالی آن انجام شد و اثر انواع وسایل نقلیه با جایگزینی وسیله نقلیه معادل در نظر گرفته شده است. از تجزیه و تحلیل رگرسیون برای بررسی ارتباط خصوصیات هندسی و ظرفیت استفاده شد و بهترین مدل رگرسیون از هر لحاظ یعنی چه ظرفیت در خطوط تانژانت، چه ظرفیت درقوس و چه در کاهش ظرفیت بین دو عنصر، معرفی گردید. برای خطوط تانژانت، متغیره ای مستقل از جمله عرض خط، عرض شانه وطول تانژانت، و در مورد قوس، متغیرهای شعاع قوس و عرض خط مهم هستند. بهترین مدلی که رابطه بین کاهش ظرفیت و خصوصیات هندسی در شعاع قوس را بیان می کند، یک متغیر مستقل است که مدلی بسیار مفید برای تجزیه و تحلیل ظرفیت و همچنین برای ارزیابی مناطق مورد مطالعه است .

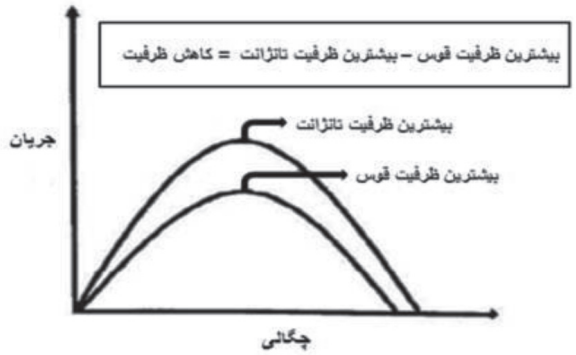
کلید واژه: هندسه جاده، ظرفیت جاده، قوس افقی، چگالی جریان، تجزیه و تحلیل رگرسیون

۱- مقدمه

ظرفیت تا حد زیادی تحت تاثیر شرایط جاده، ترافیک و راننده قرار دارد. در کتاب HCM سال ۲۰۰۰ حجم این گونه تعریف شده است، تعداد وسیله نقلیه ای که در یک مدت زمان از یک نقطه و یا قسمت ای از جاده عبور می کند تحت غالب جاده، ترافیک و شرایط کنترل شده. شرایط جاده ممکن است شامل پارامترهای هندسی مختلفی مانند نوع امکانات و تسهیلات، عرض خط، عرض شانه و ترازهای افقی و عمودی که جاده را توصیف می کنند باشد[۱]. ترازهای افقی و به ویژه خصوصیات قوس افقی می تواند تاثیر قابل توجهی در جریان ترافیک داشته باشد. به عنوان مثال، درقوس های تیز وسایل نقلیه می تواند با کاهش سرعت خود و یا افزایش فاصله طولی باعث، کاهش جریان ترافیک شود. ترازهای افقی متشکل از عناصر مستقیم (تانژانت) و قوس است. هر کدام از این عناصر هندسی خود دارای ویژگی هایی است که تحت تاثیر حداکثر جریان ترافیک قرار دارد و قابل محاسبه است. بنابراین،جریان ظرفیت ممکن است متفاوت از عنصردیگری باشد.

کاهش ظرفیت جاده برای دو عنصر پی در پی، تفاوت منفی در ظرفیت جاده بین این عناصر ایجاد می کند. دراین مقاله فرض است که مقدار ظرفیت تحت تاثیر هندسه جاده قرار دارد و چگونگی تغییرات عنصر مماس به قوس به وضوح دیده می شود (شکل ۱).اگر چه تاثیر هندسه جاده در ظرفیت، مورد مطالعه بسیاری از محققان بوده است اما به نظر می رسد که هیچ تحقیقی در رابطه با تاثیر شعاع قوس در کاهش ظرفیت صورت نگرفته است . مقاله حاضر به منظور بررسی تاثیر هندسه جاده با اشاره خاص به ویژگی تراز افقی در ظرفیت و کاهش ظرفیت با استفاده از اطلاعات به دست آمده از ترافیک و هندسه مناطق روستایی و جاده های دو خطه انجام می شود. نتایج حاصل از این مقاله و پژوهش کمک می کند با تجزیه و تحلیل ظرفیت، محاسبات و تصمیم گیری دقیق تری انجام دهند.

1-Mkhaki@iust.ac.ir
2-Morteza.tolouei@gmail.com
3-Hossein.nazari1370@gmail.com



شکل ۱: اثر هندسه جاده و ظرفیت در نمودار جریان- چگالی

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش، مروری بر رسیدگی مطالعات گذشته از تاثیر ویژگی جاده در ظرفیت و کاهش ظرفیت صورت می گیرد. در سال ۱۹۹۱، پلوس و همکاران بررسی کردند تاثیرجریان ترافیک و ویژگی های ظرفیت در بزرگراه های دو خطه و همچنین مطالعه چندمدل توسعه داده شده برای روابط بین پارامترهای جریان را انجام دادند. روابط مختلفی، بسته به ویژگی های محلی در یک جاده با جاده دیگری وجود دارد. آنها نتیجه گرفتند که مقدار ظرفیت به خصوصیات هندسی هر محل بستگی دارد[۲]. در سال ۱۹۹۹، جیبرل و همکارا ن رابطه هماهنگی بین طراحی هندسی و ظرفیت بزرگراه را بر اساس تجزیه و تحلیل سه بعدی، با توجه به ترکیبی از قوس عمودی و افقی مورد مطالعه قرار دادند. آنها، سرعت جریان واقعی که بر اساس مشاهده داده های جریان ترافیک مشخص شده بود را با نرخ جریان تئوری که بر اساس تجزیه و تحلیل ظرفیت بزرگراه محاسبه شده بود را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که سرعت جریان واقعی همیشه در حدود (۰/۹۸-۰/۷۴) کوچکتر از جریان تئوری است . دلیل این تفاوت وجود تناقضاتی در طراحی هندسی بود. بنابراین، یک فاکتور تعدیل جدید برای محاسبه و اثبات این تفاوت تعریف کردند [۳]. در سال ۲۰۰۳، چاندراوکومارتاثیرعرض خط درظرفیت را با استفاده ازداده های به دست آمده در ده بخش از جاده های دو خطه در هندوستان بررسی کردند. آنها متوجه شدند که ظرفیت جاده های دو خطه با افزایش کل عرض سواره رو افزایش می یابد [۴].

در سال ۲۰۰۵، یانگو ژانگ تاثیر تعداد خطوط در ظرفیت جاده را با استفاده از داده های جریان به دست آمده از پکن را بررسی کردند. در مجموع، دریافتند که با افزایش تعداد خطوط جاده متوسط ظرفیت در هر خط کاهش می یابد [۵]. در سال ۲۰۰۵، بن و فرگوسن تاثیرخرابی روسازی جاده، درظرفیت و کاهش ظرفیت در جاده دو طرفه بر اساس مشاهدات از هشت محل در نیجریه را بررسی کردند. روش برآورد ظرفیت بر اساس برون یابی از یک نمودار اساسی که رابطه بین جریان ترافیک و دانسیته را نشان می دهد مورد استفاده قرار گرفت. ظرفیت برای بخشی از جاده که با خرابی و هم بدون خرابی بود برآورد شد و در نهایت مشخص شد که ظرفیت در بخش بدون خرابی با بخش خراب به طور قابل توجهی متفاوت است[۶].

۳- جمع آوری اطلاعات

۳-۱- انتخاب محل

در این مقاله، بررسی صورت گرفته برای دوازده محل از جاده های دو خطه بین شهری و روستایی با شرایط هندسی مختلف و با حداکثر سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت است. هر محل شامل یک تانژانت (بخش مستقیم جاده) و قوس های افقی متوالی است. محل های فرض شده دارای زمین های مسطح برای به حداقل رساندن و یا اجتناب از شیب طولی می باشند.

۳-۲- برآورد هندسه جاده

همه داده های هندسی بر اساس آیین نامه طرح هندسی راه های ایران نشریه شماره ۵۱۴ جمع آوری و بررسی گردید و ویژگی های هندسی جاده از قبیل: عرض خط، عرض شانه، طول تانژانت مماسی و شعاع قوس برآورد شد (جداول ۱و۲) [۷].

خصوصیات تانژانت	بیشترین	کمترین	میانگین
عرض خط (متر)	۳/۵	۲/۸۰	۳/۲۳
عرض شانه، متوسط برای دوجهت (متر)	۱/۹	۱/۲	۱/۴۴
طول تانژانت (متر)	۹۰۴	۱۸۰	۵۸۶/۸۳

جدول۱: آماری از ویژگی های هندسی برای عنصر تانژانت

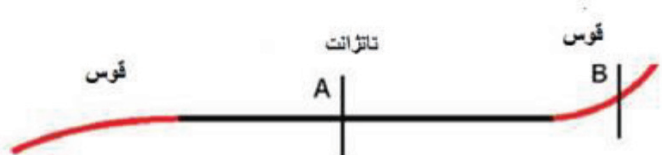
خصوصیات تانژانت	بیشترین	کمترین	میانگین
عرض خط (متر)	۳/۶۵	۳	۳/۳۳
عرض شانه، متوسط برای دوجهت (متر)	۱/۹۵	۱/۳۰	۱/۵۸
طول تانژانت (متر)	۵۸۶	۱۰۰	۲۳۷/۲۵

جدول۲: آماریاز ویژگی های هندسی برای عنصر قوس

۳-۳- بررسی ترافیک جاده

اطلاعات ترافیکی در طول روز و طی ساعات کاری با آب و هوای شفاف و روسازی خشک به دست آمد. از شمارنده خودکار ترافیک کنار جاده ای برای انجام بررسی دقیق تر استفاده گردید. جمع آوری داده های ترافیک از نقطه میانی خط تانژانت (نقطه A) قبل از قوس تا نقطه میانی قوس (نقطه B) صورت گرفت. اطلاعات ترافیک شامل زمان ورود خودرو، کلاس خودرو و سرعت وسایل نقلیه می شود (شکل۲).

از آنجایی که مطالعه جریان ترافیک از جهت تانژانت به قوس، یعنی از A به B صورت می گیرد،در این جهت سفر برای هر محل به فاصله ۵ دقیقه بود. داده ها در این جاده ها نشان می دهد که جریان ترافیک معمولا حجم کمی دارد (جدول۳) [۸].



شکل ۲: موقعیت شمارنده خودکار ترافیک برای جمع آوری محل های مورد مطالعه

شماره محل	مدت زمان (ساعت)	حداکثر . سرعت جریان ۵ دقیقه (وسیله نقلیه در ساعت)	
		تانژانت	قوس
۱	۸/۲۵	۴۲۰	۳۳۶
۲	۸/۲۵	۲۴۰	۲۱۶
۳	۸/۱۰	۳۰۰	۲۵۲
۴	۸/۱۰	۵۷۶	۳۲۴
۵	۸/۱۰	۳۸۴	۳۲۴
۶	۸/۰۰	۴۲۰	۳۲۴
۷	۸/۰۰	۸۰۴	۶۰۰
۸	۷/۳۳	۲۱۶	۲۰۴
۹	۷/۳۵	۱۳۲	۱۲۰
۱۰	۸/۲۵	۱۶۸	۱۵۶
۱۱	۹/۴۵	۱۶۸	۱۵۶
۱۲	۸/۰۰	۳۰۰	۲۵۲

جدول۳: اطلاعات جمع آوری شده از ۱۲ محل مطالعه شده

برای به دست آوردن نرخ جریان، هر بازه در تعداد ۱۲ خودرو ضرب گردید. سپس با داشتن این معلومات می توان چگالی را محاسبه نمود (رابطه ۱).

(۱) متوسط سرعت حرکت / نرخ جریان = چگالی

که در آن،

متوسط سرعت حرکت (S) = (کیلومتر در ساعت)

نرخ جریان (q) = (وسیله نقلیه در ساعت)

چگالی (k) = (وسیله نقلیه در کیلومتر)

۳-۴- گنجایش طرح و واحد معادل سواری

بیشترین میزان وسیله نقلیه ای که یک راه با سطح سرویس[1] معین می تواند ظرف مدت یک ساعت از یک مقطع معین خود عبور دهد. در حالت حرکت پشت سر هم وسایل نقلیه. گنجایش (یا ظرفیت) راه های دو خطه برای هر خط عبور در حالت ایده آل برابر ۲۰۰ وسیله نقلیه در ساعت می باشد. باید توجه داشت که میزان گنجایش هر خط عبور در حالت ایده آل، در سال های ایده آل، در سال های ۲۰۰۴ و بعد از آن، در استاندارد آشتو، تا ۲۲۰۰ وسیله ی نقلیه در ساعت افزایش یافته است. گنجایش،همیشه بر اساس تعداد وسایل نقلیه سبک بیان می شود بنابراین لازم است وسایل نقلیه سنگین نیز به تعداد معادل از وسیله نقلیه سبک تبدیل شوند [۹]. مساحتی به شکل مستطیل برای تعیین واحد معادل سواری در نظر گرفته شد. اندازه فیزیکی وسیله نقلیه ای که، روسازی را در عملیات ترافیک اشغال می کند مهم است. در نتیجه واحد معادل سواری محاسبه می گردد (رابطه ۲).

1-Level of Service (LOS)

$$PCU_i = (V_c / V_i) / (A_c / A_i) \quad (۲)$$

که در آن،

PCU_i = واحد معادل سواری

V_c و V_i= متوسط سرعت برای خودروها و نوع وسایل نقلیه هستند.

A_c و A_i= مناطق مستطیل شکل درج نظر گرفته شده که از (طول × عرض) جاده محاسبه می شوند.

مقدار PCU برای هر محل و برای چهار دسته موتور سیکلت (MC)، وسایل نقلیه سبک (LGV)، وسایل نقلیه سنگین (HGV)، و اتوبوس(BUS) متفاوت به دست آمد که برای هر دسته به ترتیب (۰/۲۲-۰/۳۰)،(۱/۷۹-۴/۱) ، (۶/۰۰-۳/۹)و (۴/۰-۳/۰) است.

۴- تجزیه و تحلیل

۴-۱- برآورد ظرفیت و کاهش ظرفیت

برآورد ظرفیت می تواند به دو دسته تقسیم شود: روش مستقیم تجربی، بر اساس مشاهده مشخصات جریان ترافیک و روش غیرمستقیم تجربی، بر اساس دستورالعمل ها و مدل شبیه سازی. در این مقاله، از روش مستقیم تجربی که بر اساس مشاهده حجم، سرعت، و چگالی بود استفاده می شود. در این روش، ظرفیت به طور مستقیم از اندازه گیری اطلاعات ترافیک به دست می آید زیرا تعداد بسیار کمی از بزرگراه های دو خطه دو طرفه کارکرد بیش از ظرفیت دارند. از آنجا که چگالی بحرانی را می توان با تعمیم ریاضی و رابطه حداکثر چگالی جریان به دست آورد. با استفاده از مدل رگرسیون خطی، معادله درجه دومی تعریف شد (رابطه ۳).

$$q = -\beta_0 + K\beta_1 - \beta_2 K^2 \quad (۳)$$

که در آن،

چگالی (K) به عنوان یک پارامتر کنترل شده و نرخ جریان (q) به عنوان تابع هدف استفاده می شود.

تعیین کاهش ظرفیت بین تانژانت و قوس افقی درمطالعه یکی از محل ها به صورت زیر ارائه شده است :

مرحله۱ : معادلات درجه دوم بین جریان و چگالی، کالیبره شد و مدل ضرایب برای هر دو تانژانت و قوس به شرح زیر مشخص شدند:

$$q_{\text{تانژانت}} = -\beta_0 + K\beta_1 - \beta_2 K^2 = 16.90 + 75.02K - 1.18k^2$$

$$q_{\text{قوس}} = -\beta_0 + K\beta_1 - \beta_2 K^2 = 11.34 + 79.83K - 1.66k^2$$

مرحله۲ : ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا ۱- است و در عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. مربع ضریب همبستگی یعنی R^2ضریب تعیین نامیده می شود و نقش مهمی در کنترل برازندگی مدل دارد این ضریب بین صفر تا ۱ است. برای به دست آوردن سطح اطمینان ۹۵٪، ضرایب تعیین R^2 برای تانژانت و قوس به ترتیب برابر۰/۹۴ و ۰/۹۰ است [۱۰].

مرحله۳ : با در نظر گرفتن مشتق (q) و (k) برای حداکثر مقدار جریان (q) $\frac{\partial q}{\partial k}=0$، چگالی بحرانی برای هر دو تانژانت و قوس به این شرح مشخص شد:

$$K_{critical(\text{تانژانت})} = \frac{75.02}{2*1.18} = 30.70 \frac{pcu}{km}$$

$$K_{critical(\text{قوس})} = \frac{79.83}{2*1.66} = 24.05 \frac{pcu}{km}$$

مرحله۴ : برای تعیین حداکثر عنصر جریان جاده، چگالی بحرانی محاسبه شده در معادلات درجه دوم در مرحله ۱ جایگزین شد که به شرح زیر است :

$$q_{max(\text{تانژانت})} = 1172 \frac{pcu}{h} \text{ , } q_{max(\text{قوس})} = 948 \frac{pcu}{h}$$

بنابراین، کاهش ظرفیت در این محل: $1172-948 = 224 \frac{pcu}{h}$

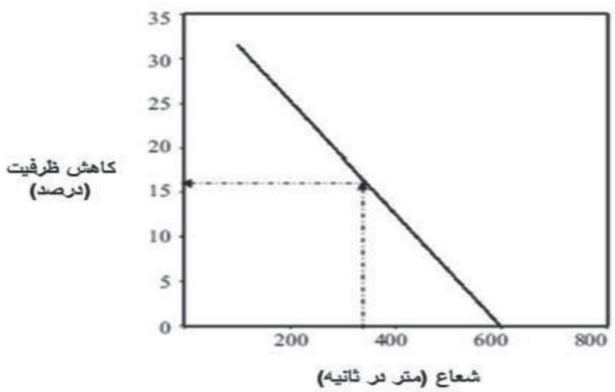
و در نتیجه درصد کاهش برابر: $\frac{224}{1172}*100 = 19.1\%$ این مراحل را برای همه محل ها و هر دو تانژانت و قوس به کار گرفته شد. در اکثر موارد، بررسی و تعیین ضرایب R^2 بیشتر از ۰/۸۵ بود. مقدار ظرفیت برای هر دو عنصر قوس و خط تانژانت و درصد کاهش ظرفیت در هر یک از محل ها محاسبه گردید و مقدار ظرفیت در تمام محل های مطالعه به مقدار کتاب HCM (۱۷۰۰ $\frac{pcu}{h}$) برای یک جهت تحت شرایط ایده آل) نرسید (جدول۳). این خطا ممکن است به دلایل، تفاوت طبقه بندی جاده ها با هم– اختلاف در سرعت طرح جاده ها – محل انتخاب شده با شرایط ایده آل فاصله داشته باشد – وجود درختان در دو جهت جاده باعث کاهش دید شده باشد و شرایط جاده نظیر ترافیک رخ دهد [۱].

شماره محل	ظرفیت در تانژانت (PCU/h)	ظرفیت در قوس (PCU/h)	کاهش ظرفیت
۱	۱۱۷۲	۹۴۸	۱۹/۱
۲	۱۱۱۹	۱۰۰۱	۱۰/۵
۳	۱۱۹۹	۱۱۵۰	۴/۱
۴	۱۱۳۰	۱۰۰۷	۱۰/۹
۵	۱۰۴۴	۹۱۹	۱۲/۰
۶	۹۴۰	۶۱۱	۳۵/۰
۷	۹۸۳	۷۳۶	۲۵/۱
۸	۹۲۳	۷۰۵	۲۳/۶
۹	۸۹۳	۶۲۲	۳۰/۳
۱۰	۹۹۴	۶۳۲	۲۶/۴
۱۱	۹۷۱	۶۹۲	۲۸/۳۳
۱۲	۹۵۳	۶۳۴	۳۳/۵

جدول۴: مقدار ظرفیت و درصد کاهش ظرفیت در هر محل

۴-۲- تاثیر هندسه جاده در ظرفیت و کاهش ظرفیت

در بررسی رابطه بین ویژگی هندسه جاده و مقدار ظرفیت برای دو عنصر تانژانت/ قوس و همچنین برای تولید مدل های مختلف که رابطه بین ویژگی تانژانت/ قوس (متغیرهای مستقل) و ظرفیت (متغیر وابسته) را توضیح دهد از دو نوع تجزیه و تحلیل رگرسیون استفاده شد. اولی برای پیش بینی متغیر مستقل و دومی برای تجزیه و تحلیل چند متغیره. معیارهای ارزیابی دقیق برای پیش بینی به این شرح است: (۱) برای تعیین ضریب R^2 بالا و سطح اطمینان ۹۵ درصدی است (۲) برای هر یک از متغییرهای مستقل رگرسیون این ضرایب غیر از صفر هستند که نشان دهنده رابطه منطقی متغییر در سرعت ظرفیت است.در مدل متغیرهای مستقل عناصر تانژانت و قوس ضریب حاصل از بررسی R^2 که بیشتر از ۰/۹۰ بوده و این نشانه خوبی بالای مدل است. نشانه مثبت ضرایب متغیر مستقل نظیر عرض خط، عرض شانه، طول مماسی تانژانت و شعاع قوس بدین معناست که با افزایش این متغیرها ظرفیت نیز افزایش می یابد. مدل رگرسیون به خوبی رابطه بین کاهش ظرفیت و خصوصیات هندسی را بیان می کند، که خصوصیات هندسی شامل بررسی تفاوت در عرض خط بین تانژانت و قوس در همان محل انتخابی است. در کاهش ظرفیت علامت منفی بدان معناست که هر چه قدر شعاع قوس کمتر شود، در نتیجه ظرفیت کاهش می یابد. در برآورد درصد کاهش ظرفیت بین دو عنصر پی در پی بر اساس شعاع قوس معلوم گردید که هر چه قدر شعاع کاهش یابد کاهش ظرفیت با افزایش همراه است (شکل۳). برای مثال، اگر شعاع منحنی برابر ۳۵۰ متر، پس درصد کاهش ظرفیت برابر ۱۵/۷% است.



شکل ۳: تعیین درصد کاهش ظرفیت

۵- نتیجه‌گیری

هدف اصلی ازاین مقاله بررسی تاثیر مشخصات هندسی و ترافیک جاده های دو خطه و جاده مناطق روستایی در ظرفیت خطوط تانژانت و قوس افقی بود. به منظور برآورد ظرفیت تانژانت و قوس، یکی از روش های مستقیم تجربی براساس مشاهده حجم، سرعت، و چگالی و با تکیه بر روابط بین پارامترهای برونی جریان آزاد مورد استفاده قرار گرفت. چند ارزیابی کلی مربوط به نتایج حاصل از این مقاله به صورت خلاصه به شرح زیر است :

۱- مقدار ظرفیت در تمام محل های مطالعه به مقدار مندرج درکتابHCM (۱۷۰۰ $\frac{pcu}{h}$) برای یک جهت تحت شرایط ایده آل (نرسید.

۲- مشخصات هندسی جاده های نسبتا دور از ویژگی های ایده آل مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این، ظرفیت بستگی به شرایط ترافیک و رفتار راننده در جاده دارد. بنابراین، مقدار به دست آمده می تواند بازتابی از شرایط ترافیک و رانندگان در جاده های منطقه مورد مطالعه باشد.

۳- مدل های رگرسیون مختلف به مطالعه روابط بین مقدار ظرفیت و ویژگی هندسی برای تانژانت و قوس توسعه داده شد. این مدل بسیارمفید است و می تواند مورد استفاده برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل ظرفیت جاده های دو خطه وجاده های روستایی قرار گیرد.

۴- بهترین رابطه چند متغیره بین ظرفیت وویژگی تانژانت و قوس، متغیرهای مستقل معنی دار هستند نظیر عرض خط، عرض شانه، عرض شعاع و طول تانژانت و علائم مثبت که با افزایش آنها ظرفیت افزایش می یابد.

۵- علامت منفی بدان معنی است که با کاهش شعاع قوس ظرفیت کاهش می یابد و بین تانژانت و قوس افزایش می یابد. به عبارت دیگر، رانندگان تمایل به افزایش سرعت خود در شعاع قوس دارند که بنابراین، کاهش ظرفیت باعث کاهش سرعت می شود. روابط در این جاده ها نشان می دهد که جریان ترافیک معمولا حجم نسبتا کمی دارد.

۶- در نهایت نتایج ظرفیت و کاهش ظرفیت مربوط به ترافیک و خصوصیات هندسی اولیه جاده هستند که صرفا داده ها و اطلاعات منطقه ای معتبر نیست و به گسترش و پژوهش بیشتر با اطلاعات و داده های جامع به دست آمده از مناطق دیگر و استان های مختلف توصیه می گردد.

۶- مراجع

1- Transportation Research Board (TRB). Highway Capacity Manual (HCM), 4th Edition, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.

2- Polus A, Craus J, Livneh M. Flow and capacity characteristics on two-lane rural highways. Transportation Research Record, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1991, 1320, 128–134.

3- Gibreel G, El-Dimeery I A, Hassan Y, et al. Impact of highway consistency on capacity utilization of two-lane rural highways. Canadian Journal of Civil Engineering, 1999, 26(6): 789–798.

4- Chandra S, Kumar U. Effect of lane width on capacity under mixed traffic conditions in India. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 2003, 129(2): 155–160.

5- Yang X, Zhang N. The marginal decrease of lane capacity with the number of lanes on highway. In: Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 5,739–749.

6- Ben-Edigbe J, Ferguson N. Extent of capacity loss resulting from pavement distress. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport, 2005, 158: 27–32.

۷- آیین نامه طرح هندسی راههای ایران نشریه شماره ۴۱۵، ۱۳۹۲، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، مرکز اسناد و مدارک و انتشارات، ۱۱۵-۲۱۲.

۸- آماردفتر فناوری و ارتباطات، ۱۳۹۲، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای، امور ایمنی و ترافیک، فصل۵.

۹- طرح هندسی راه، ۱۳۹۱، گرشاسب نریمانی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۵-۵۰.

۱۰- برنامه ریزی حمل و نقل و مهندسی ترافیک، ۱۳۹۱، میلاد حقانی و زهرا شاهمرادی، انتشارات کتاب آوا، ۱۲۹-۱۵۱.