

## بررسی مدل‌های رگرسیون خطی ساده و وزنی در برآورد تصادفات آزادراهها

عباس محمودآبادی

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع - دانشکده فنی - دانشگاه پیام نور و معاون اداره کل ایمنی و ترافیک - سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای

a-mahmoudabadi@rmto.ir

### چکیده

از مدل‌های رگرسیون چند متغیره در مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک به ویژه در برآورد تصادفات استفاده می‌شود. محققان در انتخاب مدل‌های آماری سعی بر آن دارند مدلی انتخاب کنند که در عین سادگی و نیاز به اطلاعات کمتر از دقت مناسب و خطای کمتری برخوردار باشد. در این مقاله مدل‌های رگرسیون ساده و وزنی در برآورد تصادفات رانندگی در آزادراهها مورد بررسی قرار گرفته‌اند و برای بررسی مدل‌ها در مرحله اول عوامل تاثیرگذار در بروز تصادفات رانندگی در آزادراهها شناسایی و حجم تردد عبوری، نسبت ترافیک وسایل نقلیه سنگین و وضعیت روسازی به عنوان پارامترهای اصلی در بروز تصادفات در نظر گرفته شده‌اند. پس از آن مدل‌های رگرسیون خطی در هر دو حالت ساده و وزنی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده‌اند. برای بررسی عملکرد مدل‌های توسعه داده شده اطلاعات مربوط به تصادفات در دو دوره زمانی متفاوت در آزادراههای تهران - قم و قزوین - زنجان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و برای هر کدام از مدل‌های توسعه داده شده میانگین مربعات خطای مدل‌ها محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفته است تا محققان بتوانند با در نظر گرفتن هر کدام از پارامترهای موثر در بروز حوادث رانندگی مدل مورد نظر خود را انتخاب نمایند.

**کلمات کلیدی:** رگرسیون خطی و وزنی - حجم ترافیک - روسازی - تصادفات رانندگی - وسایل نقلیه سنگین

### ۱- مقدمه

از آنجا که پارامترهای ترافیکی کاربرد قابل توجهی در امور برنامه‌ریزی عملیاتی دستگاههای مسئول در ترافیک و ایمنی حمل‌ونقل و همچنین فعالیتهای راهداری و راهسازی در راههای درون شهری و برون شهری دارند و همواره نمی‌توان آنها را اندازه‌گیری نمود، تخمین پارامترها همواره از اهمیت خاصی در مهندسی ترافیک برخوردار بوده است. محققین استفاده از مدل‌های تخمین را برای برنامه‌ریزی ترافیک و همچنین تدوین برنامه‌های ایمنی به کار گرفته‌اند. یکی از مهمترین کاربردهای روشهای تخمین ریاضی در مهندسی ترافیک استفاده از این گونه از مدل‌ها در برآورد تعداد تصادفات در راههای شهری و برون شهری و همچنین تقاطعها می‌باشد. عبدالنافی و همکاران [۱] برای پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطعهای شهری نیز از مدل‌های تخمین استفاده کردند و مدل‌های

شبکه عصبی را با دیگر مدل‌های آماری مورد مقایسه قرار دادند. محمودآبادی و همکاران [۲] در برآورد تعداد روزانه تصادفات جاده‌ای مدل شبکه عصبی را با مدل رگرسیون خطی مورد مقایسه قرار دادند و حجم ترافیک عبوری را یکی از پارامترهای مهم بروز حوادث رانندگی در جاده‌ها معرفی نمودند. فخرالدین و همکاران [۳] از مدل رگرسیون چند متغیره برای ارزیابی نقاط پرحادثه و همچنین مدل‌سازی برآورد تصادفات در کراچی پاکستان استفاده کردند. آنها تعداد دسترسی در واحد طول، سرعت وسایل نقلیه، حجم ترافیک و فاصله بین وسایل نقلیه را به عنوان پارامترهای تاثیرگذار معرفی و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. هارن و همکاران [۴] در بررسی تاثیر پارامترهای متفاوت بر تصادفات موتورسواران در تقاطعهایی که بدون چراغ کنترل می‌شوند از مدل رگرسیون وزنی استفاده و آن را از طریق لگاریتم طبیعی حل نمودند. در مطالعه آنها سرعت مجاز، تعداد و عرض خطوط و کاربری اطراف راه به عنوان پارامترهای اساسی در برآورد تصادفات موتور سیکلت در نظر گرفته شده‌اند.

شاهی و همکاران [۵] روش رگرسیون خطی و رگرسیون لجستیک را برای توسعه مدل پیش‌بینی تصادفات موتور سیکلت در ۲۴۱ تقاطع در شهر تهران مورد استفاده قرار دادند. وجود خط ویژه اتوبوس، تعداد شاخه‌های ورودی و خروجی به تقاطع، حجم ترافیک، سرعت سفر در معابر، محدوده طرح و وضعیت چراغ راهنمایی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در احتمال رخداد تصادفات موتورسواران تشخیص داده شده و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

محمودآبادی و همکاران [۱] از شاخص ترکیب ترافیکی که میزان تردد وسایل نقلیه سنگین را مشخص می‌نمود در برآورد تعداد روزانه تصادفات جاده‌ای استفاده کردند. چاترجی و همکاران [۶] برای توسعه مدل پیش‌بینی تصادفات در مقاطعی از آزادراهها که دارای تقاطع هستند و همچنین مقاطع بدون تقاطع از مدل رگرسیون استفاده کردند. مطالعات در کارولینای شمالی و تنسی انجام شده است و نشان داده است که مدل‌های رگرسیون وزنی می‌توانند تقریب مناسبی را برای تصادفات در آزادراهها ارائه نمایند. احمد و همکاران [۷] مدل‌های رگرسیون ساده، پله‌ای و چند متغیره را برای تجزیه و تحلیل اطلاعات تصادفات ترافیکی در مصر و تعیین پارامترهای موثر در بروز حوادث رانندگی مورد استفاده قرار دادند. در مطالعات نشان دادند که مدل‌های رگرسیون توانی بهترین

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (2)$$

که در این صورت نیز با استفاده از فرمولهای ریاضی ضرایب  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$  به نحوی محاسبه می‌گردند که حداقل مجموع مربعات خطا بین مشاهدات و خروجی مدل حاصل گردد.

## ۲-۲- رگرسیون وزنی

فرض اساسی در رگرسیون خطی وزنی آن است که متغیر مستقل به صورت توانی در تغییرات متغیر وابسته نقش دارد. در این نوع از مدل نیز در صورتی که فقط یک متغیر مستقل وجود داشته باشد، مدل را یک متغیره و در صورتی که بیش از یک متغیر مستقل در نظر گرفته شود، مدل را چند متغیره می‌نامند. با فرض پارامترهای توضیح داده شده در بند قبل و با در نظر گرفتن توان متغیر مستقل به صورت  $p$  مدل خطی رگرسیون وزنی یک متغیره به صورت فرمول شماره ۳ نمایش داده خواهد شد.

$$Y = \alpha + \beta X^p \quad (3)$$

که در این فرمول  $\alpha$  و  $\beta$  و  $p$  به نحوی محاسبه می‌گردند که حداقل مجموع مربعات خطا بین مشاهدات و خروجی مدل حاصل گردد.

در مورد رگرسیون چند متغیره نیز رابطه بین متغیرهای مستقل  $X_1, X_2, \dots, X_n$  را با متغیر وابسته  $Y$  به صورت فرمول شماره ۴ نمایش داده می‌شود.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1^{p_1} + \beta_2 X_2^{p_2} + \beta_3 X_3^{p_3} + \dots + \beta_n X_n^{p_n} \quad (4)$$

که در این صورت نیز با استفاده از فرمولهای ریاضی ضرایب  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$  و همچنین  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  به نحوی محاسبه می‌گردند که حداقل مجموع مربعات خطا بین مشاهدات و خروجی مدل حاصل گردد.

اساس محاسبات برای تعیین ضرایب در این نوع از مدلها نیز مانند رگرسیون خطی ساده به حداقل رساندن مجموع مربعات خطاست ولی روش محاسبات با توجه به ضریب توانی متغیرهای مستقل متفاوت است.

به طور کلی دو روش برای تعیین ضرایب در این مدلها وجود دارد. روش اول آن است که با استفاده از روش لگاریتم طبیعی توان متغیر مستقل را به صورت ضریب در محاسبات وارد نموده و ضرایب را مانند روش رگرسیون خطی ساده محاسبه می‌نمایند [۸]. در این صورت مدل مورد نظر به صورت فرمول شماره ۵ مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

$$L_n Y = L_n \beta + p L_n X \quad (5)$$

پس از آن تعیین ضرایب مانند رگرسیون خطی ساده محاسبه می‌شوند. روش دیگری نیز برای تعیین ضرایب وجود دارد که تمام پارامترهای مجهول  $\beta$  و  $p$  با استفاده از روشهای محاسباتی معادلات غیرخطی محاسبه می‌شوند. این روشها عموماً بر مبنای تکرار محاسبات و با در نظر گرفتن خطای قابل قبول در نتیجه محاسبات کار می‌کنند که بسیاری از نرم‌افزارهای موجود از چنین روشهایی برای تعیین ضرایب بهره‌گیری می‌کنند. در این مقاله برای تعیین

همبستگی بین پارامترهای تصادفات را در مورد مناطق مستقیم و قوسها در مناطق مسکونی ارایه می‌نمایند ولی مدل‌های خطی بهترین همبستگی را در مناطق عاری از جمعیت نشان می‌دهند. مطالعات آنها نشان داد که نرخ تصادفات با عرض شانه راه رابطه معکوس و با تعداد دسترسپها و درصد وسایل نقلیه باربری رابطه مستقیم دارد.

## ۲- رگرسیون خطی ساده و وزنی

رگرسیون خطی را می‌توان از پر سابقه‌ترین مدل‌های تخمین در مطالعات مهندسی به شمار آورد. دلایل این موضوع را نیز می‌توان قدمت بکارگیری مدل‌های رگرسیون، سادگی مفهوم و همچنین عدم نیاز به محاسبات پیچیده نسبت به دیگر مدل‌های تخمین نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی نام برد. مدل‌های رگرسیون شامل موارد متعددی است ولی از آن جا که در این مقاله مدل رگرسیون خطی ساده و وزنی مورد مقایسه قرار گرفته است، در این بخش صرفاً در مورد این دو نوع از مدل رگرسیون توضیحات مختصری ارایه شده است.

### ۲-۱- رگرسیون خطی ساده

اساس مدل رگرسیون خطی ساده بر حداقل نمودن مجموع مربعات خطا بین مشاهدات و خروجی مدل پایه‌گذاری شده است. در یک تقسیم بندی کلی مدل‌های رگرسیون خطی ساده به دو گروه یک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند [۸]. در مدل رگرسیون یک متغیره دو متغیر اصلی یکی تحت عنوان متغیر وابسته و دیگری تحت عنوان متغیر مستقل در مدل خطی وارد می‌شوند. پس از با توجه به مشاهدات و اطلاعات قابل دسترس از وضعیت تغییرات متغیرهای مستقل و وابسته پارامترهای مدل رگرسیون محاسبه می‌گردند. مبنای محاسبه پارامترها به حداقل رساندن مجموع مربعات خطا از طریق محاسبه مشتق تابع معادل با صفر است. در مدل رگرسیون یک متغیره اگر متغیر مستقل با نماد  $X$  و متغیر وابسته را با نماد  $Y$  نشان داده شود، در این صورت باید رابطه بین  $X$  و  $Y$  با استفاده از پارامترهای مدل رگرسیون که از آنها تحت عنوان ضرایب نیز نام برده می‌شود، تعیین گردد. اگر  $\alpha$  و  $\beta$  را ضرایب رگرسیون خطی ساده بین  $X$  و  $Y$  در نظر گرفته شوند در این صورت مدل خطی رگرسیون به صورت فرمول شماره ۱ نمایش داده خواهد شد.

$$Y = \alpha + \beta X \quad (1)$$

که در این فرمول  $\alpha$  و  $\beta$  به نحوی محاسبه می‌گردند که حداقل مجموع مربعات خطا بین مشاهدات و خروجی مدل حاصل گردد.

در صورتی که بیش از یک متغیر به عنوان متغیر مستقل در مدل وارد شود در آن حالت رگرسیون خطی را رگرسیون خطی چند متغیره می‌نامند. بنابراین مدل مورد نظر رابطه بین متغیرهای مستقل  $X_1, X_2, \dots, X_n$  را با متغیر وابسته  $Y$  با فرمول شماره

۲ نشان می‌دهد.

پارامترهای مورد نظر فوق از نرم افزار MATLAB استفاده شده است که روش حل غیر خطی را مورد استفاده قرار می دهد.

### ۳- جمع آوری اطلاعات و مطالعات میدانی

برای انجام این تحقیق مطالعات میدانی در مورد تصادفات دو آزادراه در کشور شامل تهران - قم و کرج - قزوین - زنجان در حوزه استحفاظی استان قزوین صورت گرفته است. اطلاعات در دوره های زمانی متفاوت جمع آوری شده است که می تواند با توجه به تغییرات پارامترها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین دوره زمانی اطلاعات جمع آوری شده به صورت ماهانه در نظر گرفته شده است که متغیر مستقل رفتاری تصادفی را در شرایط ماههای مختلف سال از خود نشان دهد. همچنین به منظور ارتقای دقت مدل های رگرسیون نوع راه در تحقیقات در نظر گرفته نشده است و سعی بر آن بوده که محورهای انتخابی دارای پارامترهای یکسان باشند و راههای دوخطه که دارای مسیرهای رفت و برگشت کنار یکدیگر باشند و همچنین بزرگراهها که دارای دو خط عبوری در دو طرف باشند در مدلها وارد نشده است. بنابراین می توان اظهار داشت که مسایل مهندسی راه به جز وضعیت روسازی که در تصادفات تاثیر گذار است، در مدل وارد نشده اند.

در جمع آوری اطلاعات با وجود آن که پارامترهای زیادی در بروز تصادفات نقش داشته اند مهمترین پارامترها که بیشترین تاثیر را در تغییرات متغیر مستقل داشته اند، انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفته است. بر این اساس جدول شماره ۱ پارامترهای ورودی و خروجی مدل های رگرسیون را در دو آزادراه مورد مطالعه نشان می دهد.

جدول ۱ پارامترهای ورودی و خروجی مدل های رگرسیون

نام محور ارتباطی	آزادراه قم - تهران و کرج - قزوین - زنجان	نماد متغیر
متغیرهای ورودی (مستقل)	حجم ترافیک عبوری	TV
	وضعیت روسازی	SF
	سهم ترافیک سنگین	HV
متغیر خروجی (وابسته)	تعداد تصادفات ماهانه	AN

### ۴- مدلسازی

برای مدلسازی با فرضیات مربوط به تعیین پارامترهای مورد نظر از نرم افزار MATLAB نسخه R2008a استفاده شده است. نرم افزار یاد شده امکان تعیین پارامترها را توأمأ در اختیار تحلیلگر قرار می دهد به این نحو که هم می توان مدل را به صورت رگرسیون خطی ساده در نظر گرفت و هم می توان آن را به صورت رگرسیون وزنی تعیین نمود. در صورتی که متغیرهای ورودی و خروجی با نمادهای جدول شماره ۱ نشان داده شوند، مدل های مورد نظر در دو آزادراه به صورت زیر خواهد بود.

### ۴-۱- آزادراه تهران - قم

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در آزادراه تهران - قم مدل توسعه داده شده برای حالات خطی و وزنی از فرمولهای شماره های ۶ و ۷ تعیین شده است.

$$AN = -5.352 + 0.00023TV + 0.049SF - 58.47HV \quad (6)$$

$$AN = -11.41 + 0.0103TV^{0.6769} + 25.57SF^{2.38} - 44.4HV^{2.034} \quad (7)$$

### ۴-۲- آزادراه کرج - قزوین - زنجان (محدوده قزوین)

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در آزادراه کرج - قزوین - زنجان مدل توسعه داده شده برای حالات خطی و وزنی از فرمولهای شماره های ۸ و ۹ تعیین شده است.

$$AN = -0.185 + 0.00005TV + .653SF - 4.524HV \quad (8)$$

$$AN = -25.35 + 18.134TV^{0.0352} + 0.726SF^{0.991} - 22.721HV^{2.84} \quad (9)$$

### ۵- داده های استاندارد

عموماً متغیرهایی که برای مدلسازی به کار می روند دارای ابعاد و ماهیت متفاوت می باشند. به عنوان مثال میزان تردد عبوری در یک مسیر با اعدادی در حدود ۴۰۰۰ تردد روزانه مقایسه می شود و این در حالی است که شاخص روسازی راه در دامنه ای محدود و با میانگین عدد ۴۰ مورد استفاده قرار می گیرد. این موضوع سبب می شود تاثیر پارامترهایی که در مقایسه با بقیه پارامترها از ابعاد بزرگتری برخوردارند در مدلها بیشتر نشان داده شود. از این رو روش استانداردسازی داده ها در این زمینه مورد استفاده قرار می گیرد. روشهای متعددی برای استانداردسازی داده ها وجود دارد که در این مقاله از روش تبدیل داده ها در بازه صفر تا یک استفاده شده است. فرمول شماره ۱۰ تبدیل متغیرها در دامنه بین صفر و یک را انجام می دهد.

$$x_i(\text{new}) = \frac{x_i(\text{old}) - x_i(\text{min})}{x_i(\text{max}) - x_i(\text{min})} \quad (10)$$

پس از استانداردسازی داده ها مدل های مورد نظر مجدداً محاسبه شده و به شرح زیر ارائه شده اند.

### ۵-۱- آزادراه تهران - قم

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در آزادراه تهران - قم مدل توسعه داده شده برای حالات خطی و وزنی از فرمولهای شماره های ۱۱ و ۱۲ تعیین شده است.

$$AN = 0.055 + 0.1006TV + 0.0012SF - 0.031HV \quad (11)$$

$$AN = -0.021 + 0.0875TV^{1.619} + 0.1017SF^{0.04} - 0.032HV^{2.62} \quad (12)$$

### ۵-۲- آزادراه کرج - قزوین - زنجان (محدوده قزوین)

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در آزادراه کرج - قزوین - زنجان مدل توسعه داده شده برای حالات خطی و وزنی از فرمولهای شماره های ۱۳ و ۱۴ تعیین شده است.

$$AN = 0.0195 + 0.172TV + .134SF - 0.027HV \quad (13)$$

$$AN = -0.0651 + 0.228TV^{0.314} + 0.138SF^{1.106} + 0.005HV^{-1.55} \quad (14)$$

## ۶- پارمترهای آماری مدلها

از آنجا که پارامترها و مقادیر آماری مدل‌های رگرسیون برای بررسی نتایج از اهمیت خاصی برخوردار هستند، در این بخش مقادیر آماری مورد محاسبه قرار گرفته و ارایه شده است. جداول ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر آماری هر دو نوع از رگرسیون مورد مطالعه در این مقاله شامل ضریب متغیرها، مقدار تابع  $t$  و توان متغیر در رگرسیون وزنی را برای دو حالت داده‌های واقعی و داده‌های استاندارد نشان

می‌دهند. در رگرسیونهای خطی و وزنی مهمترین پارامتر میانگین مربعات خطا می‌باشد که فاصله بین مقادیر خروجیهای مدل و مشاهدات را نشان می‌دهد [۹]. بنابراین علاوه بر موارد فوق میانگین مربعات خطای رگرسیونها و میزان تابع  $F$  در رگرسیون خطی ساده نیز نشان داده شده است. این مقادیر کلی رگرسیون شامل میانگین مربعات خطا و همچنین میزان تابع  $F$  نیز در جداول آماری نشان داده شده است.

جدول ۲- مقادیر آماری رگرسیون خطی و وزنی (داده‌های اصلی)

آزادراه کرج - قزوین - زنجان				آزادراه قم - تهران				نام محور
رگرسیون وزنی		رگرسیون خطی		رگرسیون وزنی		رگرسیون خطی		متغیر
توان	ضریب	مقدار $t$	ضریب	توان	ضریب	مقدار $t$	ضریب	
۰	-۲۵/۳۵	-۰/۳۵۹	-۰/۱۸۵	۰	-۱۱/۴۱	-۱/۶۸۳	-۵/۳۵۲	ضریب ثابت
۰/۰۳۵۲	۱۸/۱۳۴	۷/۶۸۴	۰/۰۰۰۰۴۶	۰/۶۷۶۹	۰/۰۱۰۳	۴/۹۹	۰/۰۰۰۲۳	حجم ترافیک عبوری
۰/۹۹۱	۰/۷۲۶	-۱/۴۵۷	-۴/۵۲۴	۲/۳۸	۲۵/۵۷	-۱/۸۴۱	-۵۸/۴۷	سهم ترافیک سنگین
۲/۸۴	-۲۲/۷۲	۵/۱۲۶	۰/۶۵۳	۲/۰۳۴	-۴۴/۴	۰/۰۷۵۹	۰/۰۴۹	شاخص روسازی
۶۷۱		۶۷۱		۵۰۶		۵۰۶		تعداد نمونه
۳/۱۰۹		۳/۲۱۱		۷۲/۵۷		۷۴/۴۵		میانگین مربعات خطا
-		۲۶/۲۸۸		-		۸/۴۰۹		مقدار تابع $F$

جدول ۳- مقادیر آماری رگرسیون خطی و وزنی (داده‌های استاندارد)

آزادراه کرج - قزوین - زنجان				آزادراه قم - تهران				نام محور
رگرسیون وزنی		رگرسیون خطی		رگرسیون وزنی		رگرسیون خطی		متغیر
توان	ضریب	مقدار $t$	ضریب	توان	ضریب	مقدار $t$	ضریب	
۰	-۰/۰۶۵۱	۱/۲۴۴	۰/۰۱۹۵	۰	-۰/۰۲۱	۳/۷۹۹	۰/۰۵۴۷	ضریب ثابت
۰/۳۱۴	۰/۲۲۸	۷/۶۸۴	۰/۱۷۲	۱/۶۱۹	۰/۰۸۷۵	۴/۹۹۴	۰/۱۰۰۶	حجم ترافیک عبوری
۰/۱۰۶	۰/۱۳۸	-۱/۴۵۷	-۰/۰۲۷	۰/۰۴۰	۰/۱۰۱	-۱/۸۴	-۰/۰۳۰۹	سهم ترافیک سنگین
-۱/۵۵	۰/۰۰۵	۵/۱۲۶	۰/۱۳۴	۲/۶۲	-۰/۰۳۲	۰/۰۷۵۹	۰/۰۰۱۲	شاخص روسازی
۶۷۱		۶۷۱		۵۰۶		۵۰۶		تعداد نمونه
۰/۰۱۳۱		۰/۰۱۴۳		۰/۰۱۰۸		۰/۰۱۱		میانگین مربعات خطا
-		۲۶/۲۸۸		-		۸/۴۰۹		مقدار تابع $F$

## ۷- تحلیل نتایج

تحلیل نتایج در این مقاله در دو قسمت انجام شده است. بخش اول تحلیل متغیرهای مورد نظر در مطالعه و نقش آنها در بروز تصادفات آزادراهها می‌باشد و بخش دوم نیز مربوط به تحلیل و مقایسه توان دو رگرسیون مورد نظر در برآورد تصادفات در آزادراهها می‌باشد.

### ۷-۱- تحلیل اثر متغیرها

از مندرجات جداول ۲ و ۳ می‌توان چنین استنباط نمود که با ضریب اطمینان ۹۵ درصد در آزادراه تهران - قم حجم ترافیک عبوری و سهم ترافیک وسایل نقلیه سنگین در رخداد حوادث تاثیرگذار هستند و حجم ترافیک عبوری به صورت مستقیم و درصد وسایل نقلیه سنگین رابطه‌ای معکوس را نشان می‌دهند. (مقادیر

تابع  $t$  با میزان  $t_{0.975}$  مقایسه شده است.) شاخص روسازی در آزادراه تهران - قم تاثیرگذار نبوده است و دلیل آن نیز یکنواخت بودن شرایط روسازی در طول مسیر آزادراه است. بررسی مقادیر ارایه شده برای آزادراه کرج - قزوین - زنجان نیز نشان می‌دهد با سطح اطمینان ۹۵ درصد حجم ترافیک عبوری و وضعیت روسازی در بروز حوادث رانندگی نقش داشته‌اند. سهم ترافیک وسایل نقلیه سنگین با در نظر گرفتن سطح اطمینان پایین‌تر در بروز حوادث نقش دارد ولی آنچه که اهمیت دارد آن است که سهم ترافیک سنگین در آزادراه کرج - قزوین - کرج نیز مانند آزادراه تهران - قم با حوادث رابطه معکوس دارد و حجم ترافیک عبوری وضعیت روسازی اثری مستقیم در بروز حوادث رانندگی در آزادراههای مورد مطالعه دارند.

## ۷-۲- مقایسه دو نوع رگرسیون

به منظور تحلیل نتایج مربوط به مدل‌های رگرسیون مهمترین فاکتورهای مورد بررسی مجموع مربعات خطا بین مشاهدات و خروجی مدل رگرسیون در نظر گرفته شده است. از آنجا که تعداد مشاهدات در هر دو آزادراه متفاوت بوده است، به منظور مقایسه بهتر میانگین مربعات خطا برای مقایسه به کار گرفته شده است. جدول شماره ۵ وضعیت معیار فوق را در حالات مختلف مدل‌ها و همچنین در آزادراه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان گونه که از مندرجات جدول شماره ۵ مشخص است میزان خطای مدل‌های رگرسیون که با پارامتر میانگین مربعات مقایسه شده است در حالت رگرسیون وزنی بهتر از رگرسیون خطی است و از این روست که توصیه می‌گردد تحلیلگران از مدل‌های توسعه یافته تری نسبت به رگرسیون خطی ساده در برآورد تصادفات استفاده نمایند.

جدول شماره ۵ مقایسه پارامترهای ارزیابی مدل‌های رگرسیون

نام محور	نوع داده‌ها	میانگین مربعات خطا	
		رگرسیون ساده	رگرسیون وزنی
آزادراه تهران - قم	واقعی	۷۴/۴۵	۷۲/۵۷
	استاندارد	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰۸
آزادراه کرج - قزوین - زنجان	واقعی	۳/۲۱۱	۳/۱۰۹
	استاندارد	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۳۱

نکته قابل توجه دیگر آن است که در پردازش محاسبات برای تدوین مقاله حاضر تعداد تکرار برای محاسبات مدل رگرسیون وزنی ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است و می‌توان با افزایش تعداد تکرار به جوابهای مناسبتری نیز دست یافت.

## ۸- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مقاله دو روش متفاوت رگرسیون برای برآورد تعداد تصادفات در آزادراهها مورد بررسی قرار گرفته است. دو روش رگرسیون خطی ساده و وزنی پس از ارایه توضیحات مختصر در مورد هر یک برای برآورد تصادفات آزادراههای قم - تهران و کرج - قزوین - زنجان با متغیرهای ورودی یکسان شامل حجم ترافیک، وضعیت روسازی و سهم تردد وسایل نقلیه سنگین مدل‌های مورد نظر توسعه داده شده‌اند. در این تحقیق ۵۰۶ داده در آزادراه قم - تهران و ۶۷۱ داده در آزادراه کرج - قزوین - زنجان (در محدوده استان قزوین) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل با معیار یکسان میانگین مربعات خطا مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داده است که در شرایط داده‌های واقعی و داده‌های استاندارد مدل‌های مبتنی بر

رگرسیون وزنی که ساختاری غیر خطی دارند، از مدل‌های خطی رگرسیون عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند و از این رو توصیه شده است که تحلیلگران از مدل‌های رگرسیون وزنی برای برآورد پارامتر مهم ایمنی که تعداد تصادفات می‌باشد استفاده نمایند.

## منابع و مراجع

[۱]- عبدالنافی سید ابراهیم، احمدی‌نژاد محمود، افسندی‌زاده شهریار، طراحی مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطعات بر اساس مدل‌های آماری و شبکه عصبی، پایان‌نامه، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۶

[۲]- محمودآبادی عباس، صفی صمغ‌آبادی اعظم دخت، "برآورد تعداد روزانه تصادفات جاده‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی با تکیه بر وضعیت تردد"، دومین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و هوشمند، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، آبان ۱۳۸۷

[3]- Mustakim, F., Yusof, I., Rahman, I., Abdul Samad, A.Z., Salleh, N.E.B.M., "Blackspot Study and Accident Prediction Model Using Multiple Liner Regression", First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I), "Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice", Karachi., Pakistan, pp. 121-136, August 4-5, 2008

[4]- Harnen, S., Radin Umar, R.S., Wong, S.V., Wan Hashim, W.I., "Motorcycle accident prediction model for junctions on urban roads in Malaysia", Advances in Transportation Studies an international Journal Section A8, pp. 31-40, (2006)

[۵]- شاهی جلیل، احمدی‌نژاد محمود، شیخ‌الاسلامی عبدالرضا، "مدل پیش‌بینی تصادفات موتورسیکلت در تقاطعهای شهر تهران"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال دوم، شماره چهار، زمستان ۱۳۸۴، صفحات ۲۴۵ الی ۲۵۶

[6]- Chatterjee, A., Hummer, J.E., Kiattikomol, V., Younger, M.S., "Planning Level Regression Models for Crash Prediction on Interchange and Non-Interchange Segments of Urban Freeways", Center for Transportation Research, The University of Tennessee, pp. 1-29, August, 2005

[7]- Hassan Y.A., Ayman M.O., Wahaballa, A.M., "Traffic Accident Analysis & Modelling for Upper Egypt Rural Roads", Civil Eng. Dept. Assuit Univ., March 2006.

[8]- Hoel, P. G., "Elementary Statistics", Fourth Edition, Published by John Wiley, Sons, Inc., New York, 1976.

[9]- Seber, G. A. F., and C. J. Wild, "Nonlinear Regression", John Wiley & Sons Inc., 1989.