Archive of SID

# شبیه‌سازی رفتار رانندگان با استفاده از مدل بارهای الکتریکی
## (مطالعه موردی: بزرگراه تهران – کرج)

محمد سعید منجم، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
سید محمد سادات حسینی*، استادیار، دانشکدهٔ راهور، دانشگاه علوم انتظامی، تهران، ایران
امیر جمشیدنژاد توسرامندانی، دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
E-mail:sadathoseini1@yahoo.com
دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۳۰– پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۱۶

## چکیده
*در این مقاله مدل بارهای الکتریکی به عنوان یک مدل خرد ترافیک برای توصیف رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه استفاده شده است. این توصیف با پر و خالی شدن سلول‌های آزادراه مجازی انجام گرفته است. براساس این موقعیت‌های مکانی جابه‌جا شدن وسایل نقلیه نیز، بررسی شده است. در این مدل رفتار وسایل نقلیه مشابه با رفتار بارهای الکتریکی همنامی است که در یک مسیر شیب‌دار حرکت خواهند کرد. در مدل ارایه شده بر هر وسیله نقلیه، در هر گام زمانی نیروهای الکتریکی از وسایل نقلیه دیگر و نیروی ثقل خود آنها وارد شده است. برحسب این نیروها، مکان وسایل نقلیه برای گام زمانی بعدی تعیین شده است. برای بررسی رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران، از داده‌های قبلی برداشت شده از بزرگراه تهران-کرج در تحقیقات گذشته استفاده شده است. از یک نرم‌افزار شبیه‌ساز خرد ترافیک نیز برای شبیه‌سازی مدل پیشنهادی استفاده شده است. با مقایسه موقعیت وسایل نقلیه در شرایط واقعی با مقادیر متناظر آنها در محیط شبیه‌سازی، میزان مطابقت مدل با رفتار حرکتی رانندگان در شرایط واقعی نمایش داده شده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی با داده‌های استفاده شده از شرایط واقعی نشان داده که مدل* EM *برای توصیف رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران مناسب بوده است.*

**واژه‌های کلیدی:** تئوری ترافیک، شبیه‌سازی، رفتار رانندگی، مدل سلولی، بارهای الکتریکی

## ۱- مقدمه
جایگاه این تحقیق در بحث‌های بسیار مهم و پایه‌ای تئوری ترافیک می‌باشد. موضوع این مقاله، ارایه یک مدل رفتار خرد حرکت وسایل نقلیه در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران می‌باشد. در قسمت اصلی آزادراه ورودی و خروجی از رمپ‌ها و تداخل‌ها وجود ندارند و مانورهای راننده، بستگی به مقصد حرکتی راننده ندارد. در این حالت رفتار حرکتی راننده وابسته به تصمیم برای بهبود وضعیت رانندگی است. برای شبیه‌سازی مدل ارایه شده و ارزیابی آن، از نرم‌افزار MTS استفاده شده است.

از بنیادی‌ترین موارد جهت دستیابی به ترافیک روان و ایمن، شناخت خصوصیات واقعی ترافیک می‌باشد. از جمله خصوصیات پایه‌ای ترافیک، تحلیل تردد وسایل نقلیه است. تحلیل تردد وسایل نقلیه، شناخت دقیق رفتار تعقیب و تغییر مکان عرضی (تغییر خط) وسایل نقلیه در شبکه می‌باشد (جمشیدنژاد، ۱۳۸۹). نحوه حرکت وسایل نقلیه در کشورهای مختلف با یکدیگر متفاوت است. همچنین انتظارات رانندگان بستگی به تجربیات قبلی آنها از وضعیت ترافیک دارد. پس واضح

* نویسنده مسئول


www.SID.ir

Archive of SID



است که رفتار رانندگان با گذشت زمان تغییر می‌کند. قوانین رانندگی و قواعد مطرح شده در مهندسی ترافیک، بر مبنای شناخت رفتار حرکتی وسایل نقلیه استوار است. چنان‌چه رفتار حرکتی وسایل نقلیه با آنچه که فرض شده است، تفاوت داشته باشد، راه‌حل‌هایی که در مهندسی ترافیک پیشنهاد می‌شوند، کارآیی لازم را نخواهند داشت (سادات حسینی، ۱۳۸۷). در مباحث بالا، به وضوح جایگاه و اهمیت فراوان موضوع دیده شده است. نداشتن شناخت درست از رفتار حرکتی وسایل نقلیه باعث نادرست شدن تحلیل‌های ترافیکی خواهد شد و این مطلب حیاتی بودن چنین تحقیقاتی را به وضوح نمایان کرده است. در این مقاله سعی شده تا با بررسی رفتار حرکتی وسایل نقلیه، شناخت لازم برای ارایه راه‌حل‌های ترافیکی در قسمت اصلی آزادراه‌ها فراهم شود.

حرکت وسایل نقلیه در دو بخش خرد و کلان بررسی می‌شود. در بخش خرد، به بررسی حرکت تک تک وسایل نقلیه و در بخش کلان، به بررسی تجمعی حرکت وسایل نقلیه پرداخته می‌شود. رفتار کلان جریان ترافیک از برآیند رفتار تک تک وسایل نقلیه قابل محاسبه و بررسی است (Sultan, 2001). در مدل‌های شبیه‌سازی خرد ترافیک، معمولاً رفتار رانندگان در قالب دو مدل اصلی تعقیب و تغییر خط توصیف می‌شود. در مدل‌های تعقیب، جابه‌جایی طولی وسایل نقلیه در طول مسیر حرکت مورد توجه قرار می‌گیرد و در مدل‌های تغییر خط، جابه‌جایی عرضی وسایل نقلیه بین باندهای حرکتی مورد توجه می‌باشد. می‌توان مدل‌های تعقیب و تغییر خط را با یکدیگر ادغام کرد و مدل‌هایی تهیه کرد که تصمیم‌گیری رانندگان برای جابه‌جایی عرضی و طولی در مسیر حرکت آنها را به‌صورت یک مدل توصیف کند. در سال‌های اخیر، با به‌کارگیری وسیع کامپیوترها و کارآمد شدن مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری برای جریان ترافیک، توجه زیادی به مدل‌های رفتار خرد وسایل نقلیه معطوف شده است. در اکثر تحقیقات گذشته که در بند ۲ آمده‌اند، برای هرکدام از این رفتارهای تعقیب و تغییر خط، الگوریتم و فرضیات فراوانی در نظر گرفته شده است. در این مقاله، امکان مدل‌سازی رفتارها بر اساس یک سری روابط مهم و ساده، به‌طور همزمان و بدون در نظر گرفتن فرضیات فراوان، مدنظر قرار گرفته است. مدل پیشنهادی، قابلیت استفاده در شرایط مختلف و رفتارهای گوناگون ترافیکی را خواهد داشت. با تغییر مقادیر پارامترهای مدل رفتارهای مختلف حرکتی، وسایل نقلیه مدل‌سازی خواهند شد. مطالب ذکر شده، مزیت بسیار فراوان این روش مدل‌سازی را نسبت به روش‌های قبلی نمایان کرده است. فرموله کردن، کالیبره کردن، اجرا، ارزیابی و تحلیل خروجی مدل، توالی مراحل روش تحقیق در مقاله حاضر است. در گام اول، با توجه به فرضیات اولیه مدل‌سازی، نحوه فرموله کردن مدل مذکور تشریح شده است. سپس از رفتار حرکتی وسایل نقلیه در شرایط واقعی (بزرگراه تهران-کرج ) تصویربرداری شد. با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصاویر موجود، برای این پژوهش فیلم‌های گرفته شده به موقعیت‌های مکانی- زمانی تبدیل گردید (سادات حسینی، ۱۳۸۷) و (Sadat Hoseini and Vaziri, 2006). مدل ارایه شده در گام اول به‌وسیله موقعیت‌های اولیه واقعی وسایل نقلیه کالیبره شده است. مدل کالیبره شده موجود در محیط نرم‌افزار شبیه‌ساز مورد استفاده در این پژوهش، اجرا شده است (سادات حسینی، ۱۳۸۷). خروجی نرم‌افزار شبیه‌ساز، موقعیت مکانی- زمانی وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی برای گام‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی می‌باشد. این موقعیت‌ها بر اساس الگوریتم برگرفته از مدل ارایه شده، ثبت گردیده‌اند. در نهایت، خروجی نرم‌افزار پردازش تصاویر، به‌عنوان رفتار واقعی، با خروجی نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی، به‌عنوان رفتار مدل‌سازی شده، به وسیله آزمون آماری مشاهدات دوتایی مقایسه شده است. نتایج این مقایسه آماری نشان داده که رفتار شبیه‌سازی شده توسط مدل بارهای الکتریکی، با رفتار حرکتی وسایل نقلیه در شرایط واقعی تطابق معنی‌داری دارد.

## ۲- پیشینه تحقیق

گنگ لن به بررسی رفتار کلان تغییر خط در قسمت اصلی بزرگراه پرداخته است. وی رابطه‌ای بین تعداد تغییر خط با واریانس سرفاصله بین وسایل نقلیه و چگالی و سرعت، به‌دست آورده است. در این تحقیق از ln و exp متغیرهای کلیدی ترافیک استفاده شده است (Hidas, 2004).

داگانزو در تحقیقاتی به بررسی رفتار حرکتی وسایل نقلیه نزدیک رمپ‌های ورودی و خروجی، قسمت‌های اصلی آزادراه و قسمت‌های دور از رمپ‌ها پرداخته است. وی رانندگان را به دو



www.SID.ir

Archive of SID


گروه لاک‌پشتی و خرگوشی با سرعت‌های مطلوب آنها تقسیم‌بندی کرده است. همچنین باندهای حرکتی تندرو و کندرو را تعریف کرده است. در نهایت برای دو نوع رژیم تک لوله‌ای و دو لوله‌ای، روابطی برای نشان دادن رفتار حرکتی رانندگان ارایه نموده است (Daganzo, 2006).

هوگما مدلی برای رانندگی پیشنهاد کرد که شامل رانندگی آزاد، دنباله‌روی وسایل نقلیه و رفتار تغییر خط بود. این مدل رفتار وسایل نقلیه را با جزییات، در حد وضعیت پدال‌ها و چرخ‌ها بررسی کرده است. مدل هوگما یک مدل شبیه‌سازی وابسته به زمان با بازه‌های زمانی ۰/۱ ثانیه می‌باشد. تصمیم به تغییر خط در این مدل، بر اساس مجموعه‌ای از قواعد است که تعیین می‌کنند آیا تغییر خط مطلوب و ممکن می‌باشد یا خیر. وی در احتمال مانورهای راننده بر اساس ایمنی این حرکات، تعیین تکلیف کرده است (Hogema, 2005).

نیول قاعده‌ای برای رفتار تغییر خط وسایل نقلیه عنوان کرده است؛ مبنی بر اینکه اگر وسیله نقلیه n، به دنبال وسیله نقلیه n-1 در یک راه همگن در حال حرکت باشد، مسیر حرکت وسیله n در سیستم زمان- مکان، اساساً مشابه وسیله نقلیه n-1 می‌باشد، مگر از جهت یک جابه‌جایی در زمان و مکان وسایل نقلیه. وی مدعی است که این قاعده حداقل به اندازه هریک از قواعد دیگری که در طی ۵۰ سال گذشته ارایه شده است، دقیق می‌باشد. می‌توان گفت که این تحقیق، فرضیات ساده کننده زیادی دارد که شرایط مسئله را از شرایط واقعی دور می‌کند و به همین دلیل، نتایج به‌دست آمده نیز تنها با فرضیات ساده کننده مذکور قابل استفاده است (Meyer, 2005).

داوری از شش شخص مختلف در سن‌های بین ۶۰-۲۰ سال خواسته بود که هریک به مدت دو ساعت در خیابان‌ها و اتوبان‌های ۲ و ۳ خطه رانندگی کنند. سپس از آنها سؤال‌هایی پرسیده و به‌وسیله پاسخ این سؤال‌ها، پایگاه داده‌ای تهیه شده بود. سپس با استفاده از منطق فازی، دو وضعیت تعقیب وسیله نقلیه جلویی و حالت تغییر خط مورد بررسی قرار گرفته بود (داوری، ۱۳۸۸).

سادات حسینی، مدل‌هایی برای توصیف حرکت وسایل نقلیه پیشنهاد کرده و از آنها برای پیش‌بینی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در شبیه‌سازی‌ها استفاده کرده است (سادات حسینی و همکاران، ۱۳۸۸). وی یک نرم‌افزار شبیه‌ساز خرد مبتنی بر زمان، تهیه کرد که در این مقاله برای ارزیابی مدل پیشنهادی از آن استفاده شده است (Sadat Hoseini and Vaziri, 2006). سادات حسینی بر مبنای فرضیات پژوهش خود، دو نوع مدل تفکیک و ادغام برای توصیف رفتار حرکتی وسایل تهیه کرده است. نتیجه ارزیابی مدل‌های مربوطه، نشان داده مدلی که رفتار حرکتی رانندگان را بر مبنای فرآیند بهینه‌سازی رانندگان برای افزایش سرعت همراه با کاهش خطر تصادف مدل می‌کرده، بهترین تطابق را با شرایط واقعی داشته است (Sadat Hoseini and Vaziri, 2007).

یوشی نوری با استفاده از مدل بی‌نظمی و شارژ الکتریکی، تولید اتوماتیک گروه انسانی متحرک را برای شبیه‌سازی در شهرهای مجازی انجام داده است. این مدل‌سازی یک نمایش رفتار کلان گروه، بدون تعیین رفتار خرد و روابط بین آنها بوده است. مدل، توسط عواملی نظیر عملکردهای خیابان، علامت‌های ترافیک و باجه‌های بلیط که در شهرهای واقعی یافت می‌شوند، ایجاد شده است. وی شارژ الکتریکی را به تمام عوامل اضافه کرده، سپس سیستم، خود تصمیم به تغییر مکان توده‌های انسانی بر مبنای پتانسیل الکتریکی خواهد گرفت. یوشی‌نوری مدعی بود که مدل بار الکتریکی و اثر بی‌نظمی، گروه‌های انسانی را طبیعی‌تر مدل خواهد کرد (Hijikata et al., 2002).

## ۳- فرمولاسیون مدل پیشنهادی

وسایل نقلیه سعی می‌کنند از یکدیگر فاصله بگیرند تا تصادفی رخ ندهد و در عین حال سرعت را زیاد کنند. بارهای الکتریکی همنام از هم فاصله می‌گیرند. به نظر می‌رسد که از این رفتار بارهای الکتریکی، می‌توان جهت ایجاد مدل برای فاصله گرفتن وسایل نقلیه از هم، به منظور جلوگیری از برخورد با یکدیگر استفاده کرد. از طرف دیگر، رانندگان سعی می‌کنند که با حداکثر سرعت مطمئنه در آزادراه‌ها حرکت کنند. به نظر می‌رسد این موضوع، شبیه نحوه حرکت جرم‌هایی است که در سطح شیبدار در اثر وزن خود به سمت پایین می‌غلتند (جمشیدنژاد، ۱۳۸۹). در این مقاله، سعی شده که با ترکیب دو فرض معقول بارهای الکتریکی و جرم‌های متحرک در سطح شیبدار، رفتار رانندگی را در آزادراه‌های تهران مدل کرد. در این مقاله در نهایت آزادراه‌ها به صورت یک سری گوی باردار روی سطح شیبدار مدل شده‌اند


www.SID.ir

Archive of SID



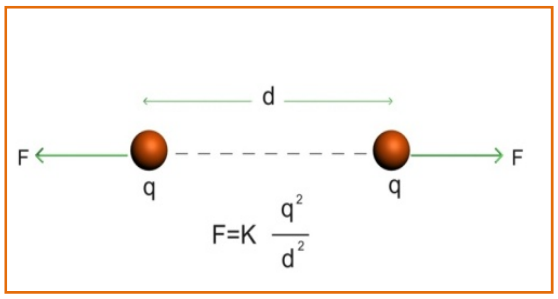
که میل رانندگان به فاصله گرفتن از یکدیگر با نیروی دافعه بارهای همنام و میل آنها برای حرکت به جلو با نیروی وزن روی سطح شیبدار توصیف شده است. در این مقاله، مدلی پیشنهاد می‌شود که به طراحان اجازه می‌دهد رفتار حرکتی وسایل نقلیه را در قسمت اصلی آزادراه با کار بسیار کمتر شبیه‌سازی نمایند. نکته مهم دیگر امکان کالیبراسیون مدل برای داده‌های شرایط مختلف ترافیک در نقاط مختلف جهان می‌باشد. مدل کالیبره شده براساس داده‌های محل‌های مختلف، رفتار حرکتی وسایل نقلیه را در بزرگراهی که داده‌ها جمع‌آوری شده است، شبیه‌سازی می‌کند.

### ۳-۱- نیروی بین بارهای الکتریکی نقطه‌ای (قانون کولن)

اگر دو بار الکتریکی را با $q_1$ و $q_2$ و فاصله بین آنها را با d و نیرو را با F نشان دهیم، قانون کولن به‌صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$F = K\frac{q_1\, q_2}{d^2} \qquad (۱)$$

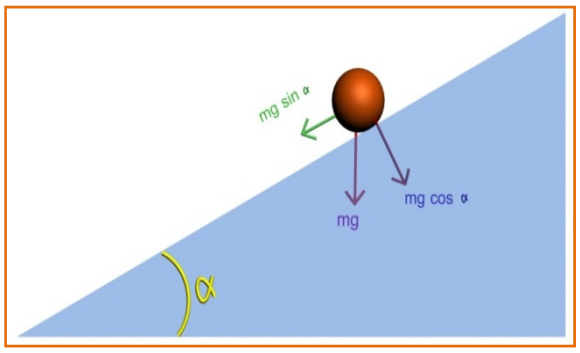
در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI)، که در آن F بر حسب نیوتن و q بر حسب کولن و d برحسب متر است، K تقریباً برابر است با $K=9\times 10^9 \frac{Nm^2}{c^2}$. راستای این نیرو همواره در امتداد خطی است که دو جسم را به هم وصل می‌کند. در این مقاله بارهای همنام وسایل نقلیه برابر با هم و به مقدار q فرض شده است. در نتیجه این فرض ساده‌سازی، نیروی حاصل از بارهای الکتریکی که وسایل نقلیه به‌هم وارد می‌کنند، برابر با $F = K\frac{q^2}{d^2}$ خواهد بود.




**شکل ۱. قانون کولن برای ۲ بار نقطه‌ای همنام برابر**

### ۳-۲- نیروی ثقل وارد بر مهره‌های روی سطوح شیبدار

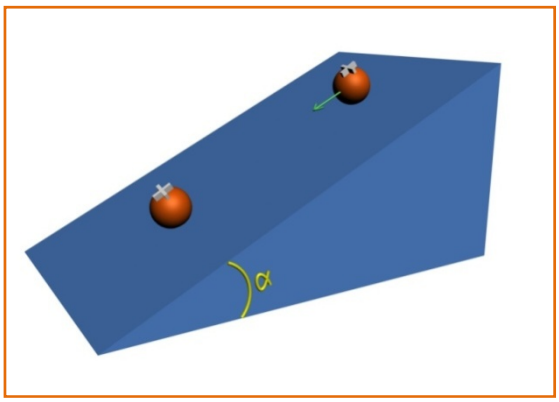
مهره‌ها روی سطح شیبدار، تحت نیروی وزن خود در راستای قائم و افقی می‌باشد. مؤلفه افقی ثقل، در راستای حرکت وسایل نقلیه می‌باشد و در محاسبات مدل به‌کار می‌رود. مقدار این نیرو Wsinα می‌باشد. واضح است که مؤلفه ثقل، در راستای عمود بر سطح شیبدار، تأثیری بر حرکت وسایل نقلیه ندارد. جزییات این نیروها در شکل ۲ نشان داده شده است.




**شکل ۲. نیروی ثقل وارد بر گوی متحرک**

### ۳-۳- حداکثر بار الکتریکی نقطه‌ای

اندازه نیروی الکتریکی ناشی از بارهای همنام، باید با وزن گوی‌های متحرک در روی سطح شیبدار به شکلی متناسب باشد که اگر وسیله نقلیه‌ای با سرعت از سطح شیبدار پایین آمد، قبل از برخورد با وسیله نقلیه‌ای که در پایین سطح شیبدار ایستاده است، متوقف شود. این فرض رابطه‌ای برای حداکثر بار الکتریکی مجازی که می‌توان برای وسایل نقلیه در نظر گرفت، به‌دست خواهد داد. جزییات این فرض در شکل ۳ نشان داده شده است.




**شکل ۳. حداکثر بار الکتریکی نقطه‌ای**

$$W = mg\ \sin\alpha \qquad (۲)$$

$$F = k\frac{q^2}{d^2} \qquad (۳)$$

$$W - F = ma \qquad (٤)$$

$$a = \frac{W-F}{m} \qquad (٥)$$



www.SID.ir

Archive of SID



از فیزیک مکانیک داریم:

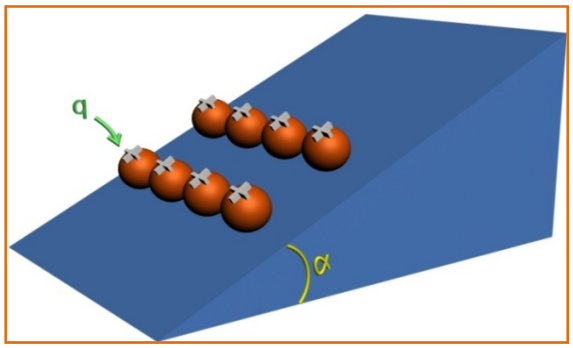
$$v_0^2 = 2ax \quad (٦)$$

$$a = \frac{v_0^2}{2x} \quad (٧)$$

که در روابط بالا، W مؤلفه وزن در راستای حرکت، F نیروی الکتریکی بین بارهای همنام، a شتاب وسیله نقلیه در راستای حرکت، $v_0$ سرعت اولیه وسیله نقلیه بالایی و x مختصات طولی وسیله نقلیه می‌باشند.

### ۳-٤- حداقل بار الکتریکی نقطه‌ای

در حالت واقعی اگر وسیله نقلیه‌ای به هر دلیل متوقف شود، وسایل نقلیه دیگر به تبع آن در فاصله‌ای ایمن متوقف خواهند شد. این امکان باید در فضای مجازی هم موجود باشد. پس اگر وسیله نقلیه‌ای پشت وسیله نقلیه دیگر بایستد، باید نیروی وزن و نیروی دافعه بارهای همنام برابر باشند تا با هم برخورد نکرده و یک فاصله پنج متری بین آنها حفظ شود. این فرض رابطه‌ای برای حداقل بار الکتریکی مجازی که می‌توان برای وسایل نقلیه در نظر گرفت، به‌دست خواهد داد. جزییات این فرض در شکل ٤ آمده است.




**شکل ٤. حداقل بار الکتریکی نقطه‌ای**

$$F = K\frac{q^2}{d^2} \quad (٨)$$

$$W = mg\ \sin\alpha \quad (٩)$$

$$W = F \quad (١٠)$$

$$mg\ \sin\alpha = K\frac{q^2}{d^2} \quad (١١)$$

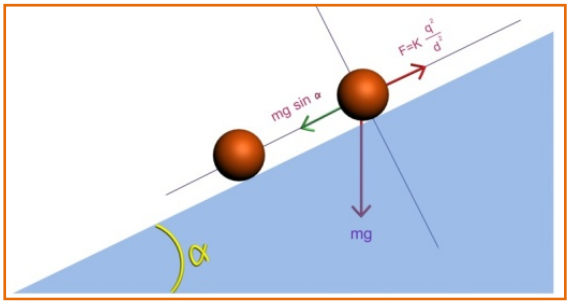
در این مقاله، فاصله بین وسایل نقلیه‌ای که پشت سر هم می‌ایستند، برابر با ۵ متر($d = 5\ (m)$) فرض شده است.

$$q = \sqrt{\frac{250}{k}\ m\ \sin\alpha} \quad (١٢)$$

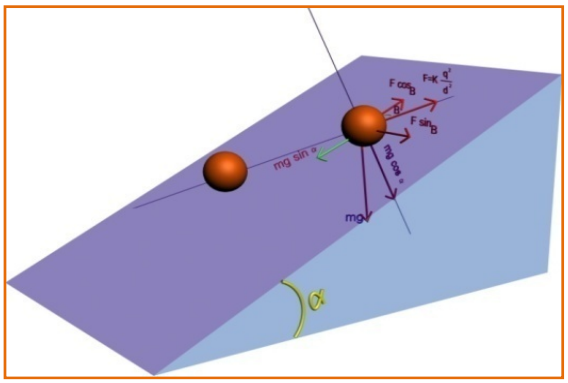
که متغیرهای این قسمت همانند تعریف‌های قبلی می‌باشند. واضح است که مقدار مناسب بار الکتریکی در مدلی که ارایه خواهد شد، باید مقداری بین این حداقل و حداکثر بار باشد. در این مقاله مقدار مناسب بار الکتریکی نقطه‌ای، جرم وسایل نقلیه و زاویه بهینه سطح شیبدار با استفاده از سعی و خطا تعیین خواهد شد. این موارد در قسمت کالیبراسیون مدل‌های پیشنهادی تعیین خواهند گردید.

### ۳-۵- نیروهای وارد بر یک وسیله نقلیه در حالت کلی

در این قسمت نیروهای وارد بر یک وسیله نقلیه در حالت کلی محاسبه خواهد شد. این نیروها به‌طور مستقیم در مدل به‌کار خواهند رفت. نحوه تأثیر این نیروها از نمای اصلی در شکل ۵ و از نمای ۳ بعدی در شکل ٦ نشان داده شده‌اند.




**شکل ۵. نمای روبه‌روی نیروهای اعمالی بر گوی**




**شکل٦. نمای ۳ بعدی نیروهای وارد بر گوی**

با داشتن مقادیر نیروهای وارد بر وسایل نقلیه از توضیحات بالا، باید مقادیر $F_x$ و $F_y$ برای آنها در حالت کلی تعیین گردد. در واقع این نیروها هستند که اساس کار شبیه‌سازی را تعیین خواهد کرد. پس از محاسبه نیروهای ذکر شده و بر مبنای آنها معادلات کاربردی برای y و x به‌دست خواهند آمد. این معادلات که توابعی از نیروهای به‌کار رفته در مدل می‌باشند، به‌طور مستقیم در



www.SID.ir

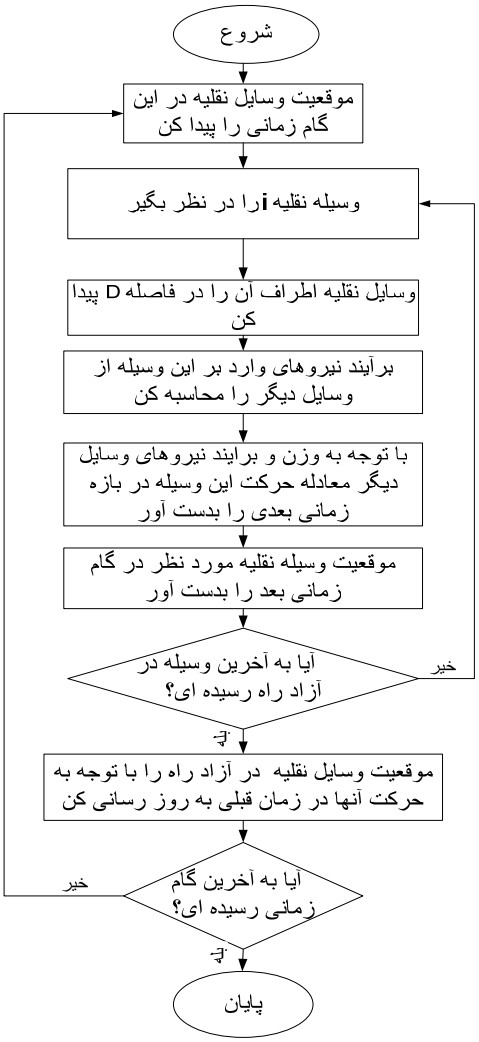
Archive of SID



نرم‌افزار شبیه‌سازی استفاده خواهند شد. تمامی نتایج و ارزیابی‌های نهایی از مدل با توجه به این معادلات به‌دست خواهند آمد.

### ۳-٦- مدل بارهای الکتریکی

در مدل بارهای الکتریکی، EM، آزادراهی با چهار خط حرکتی برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. مدل EM مدلی سلولی است که در آن آزادراه به مجموعه‌ای از سلول‌ها افراز شده است. هر وسیله نقلیه در هر زمان در یکی از این سلول‌ها قرار می‌گیرد. در این مدل به خط‌های حرکتی و موقعیت آنها توجه نمی‌شود. در شکل ۷ الگوریتم تعیین موقعیت برای حرکت هر وسیله نقلیه در مدل ارایه شده، آمده است (جمشیدنژاد، ۱۳۸۹) .




**شکل ۷. الگوریتم تعیین موقعیت مناسب برای حرکت هر وسیله نقلیه در مدل‌ها**

در گام اول برای هر وسیله نقلیه خانه‌های اطرافش در نظر گرفته می‌شود. در گام بعد خانه‌هایی که در آنها وسیله نقلیه وجود دارند، انتخاب می‌گردند. حال برآیند نیروهای وارده از طرف این وسایل نقلیه بر وسیله نقلیه مورد نظر به‌دست می‌آید. سپس با توجه به وزن وسیله نقلیه و برآیند به‌دست آمده، معادله حرکت و سرعت وسیله نقلیه مورد نظر در گام بعدی نوشته خواهد شد. در نهایت با استفاده از این معادلات حرکت، موقعیت وسیله نقلیه مورد نظر در گام زمانی بعدی تعیین می‌گردد. برای محاسبه موارد ذکر شده از روابط ۱۳ تا ۲٤ استفاده خواهد شد. سرعت مجاز ($V_{MAX}$) در این مدل برای آزادراه‌های کشور ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است.

$$F_{ij}(t) = \frac{kq^2}{d_{ij}^2(t)} \quad (۱۳)$$

$$d_{ij}^2(t) = (y_j(t) - y_i(t))^2 + (x_j(t) - x_i(t))^2 \quad (۱٤)$$

$$\cos(B_{ij}(t)) = \frac{-x_j(t)+x_i(t)}{d_{ij}(t)} \quad (۱٥)$$

$$\sin(B_{ij}(t)) = \frac{-y_j(t)+y_i(t)}{d_{ij}(t)} \quad (۱٦)$$

$$F_{xi}(t) = \left(\sum_{j=1}^{N} F_{ij}(t).\cos\left(B_{ij}(t)\right)\right) + mg\sin\alpha \quad (۱۷)$$

$$F_{yi}(t) = \left(\sum_{j=1}^{N} F_{ij}(t).\sin\left(B_{ij}(t)\right)\right) \quad (۱۸)$$

$$a_{xi}(t) = \frac{F_{xi}(t)}{m} \quad (۱۹)$$

$$a_{yi}(t) = \frac{F_{yi}(t)}{m} \quad (۲۰)$$

$$V_{0xi}(t) = \frac{-x_i(t-\Delta t)+x_i(t)}{\Delta t} \quad (۲۱)$$

$$V_{0yi}(t) = \frac{y_i(t)-y_i(t-\Delta t)}{\Delta t} \quad (۲۲)$$

$$x_i(t+\Delta t) = x_i(t) + \frac{1}{2}a_{xi}.(\Delta t)^2 + V_{0xi}(t).\Delta t \quad (۲۳)$$

$$y_i(t+\Delta t) = y_i(t) + \frac{1}{2}a_{yi}.(\Delta t)^2 + V_{0yi}(t).\Delta t \quad (۲٤)$$

که در روابط بالا $F_{ij}(t)$ نیروی الکتریکی بین وسایل نقلیه i و j در زمان t، $d_{ij}(t)$ فاصله بین وسایل نقلیه i و j در زمان t، $y_i(t)$ موقعیت طولی وسیله نقلیه iام در زمان t، $x_i(t)$ موقعیت عرضی وسیله نقلیه iام در زمان t، $B_{ij}(t)$ زاویه بین وسایل نقلیه i و j در زمان t، $F_{xi}(t)$ برآیند نیروهای وارد بر وسیله نقلیه iام در زمان t در جهت عرضی حرکت، $F_{yi}(t)$ برآیند نیروهای وارد بر وسیله نقلیه iام در زمان t در جهت طولی حرکت، $a_{xi}(t)$ شتاب عرضی وسیله نقلیه iام در زمان t، $a_{yi}(t)$ شتاب طولی وسیله نقلیه iام در زمان t،



www.SID.ir

Archive of SID



$V_{0xi}(t)$ سرعت عرضی اولیه وسیله نقلیه iام در زمان t، $V_{0yi}(t)$ سرعت طولی اولیه وسیله نقلیه iام در زمان t، $x_i(t+\Delta t)$ موقعیت عرضی وسیله نقلیه iام در زمان $t+\Delta t$ و $y_i(t+\Delta t)$ موقعیت طولی وسیله نقلیه iام در زمان $t+\Delta t$ می‌باشند.

### ۳-۷- ابعاد سلول‌ها

در مدل EM فرض شده که وسایل نقلیه به خط‌های حرکتی توجه نمی‌کنند. در این مدل عرض و طول هر سلول به اندازه یک وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه طول اکثر وسایل نقلیه رایج در ایران، در حدود ۵ متر می‌باشد، برای هر وسیله نقلیه متداول در ایران حدود ۵ متر طول در نظر گرفته شده و پهنای وسایل نقلیه حدود ۲ متر انتخاب می‌شود (AASHTO, 1994). بنابراین، در مدل EM ابعاد سلول‌هایی که آزادراه را تشکیل می‌دهند، ۵x۲ متر در نظر گرفته شده است.

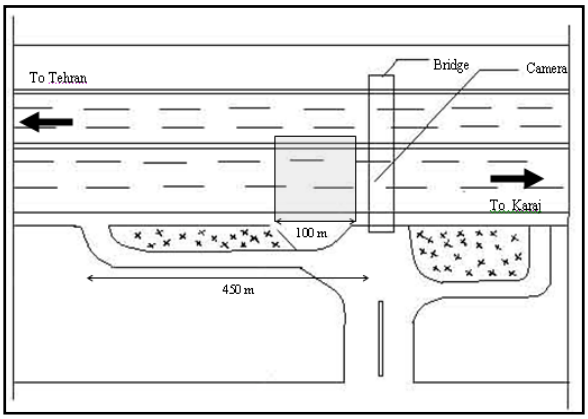
### ۳-۸- آمارگیری از شرایط واقعی ( مطالعه موردی: بزرگراه تهران-کرج )

برای آماربرداری از موقعیت وسایل نقلیه دو مقطع از بزرگراه تهران کرج که نزدیک رمپ‌های ورودی و خروجی نبوده و در آن محل‌ها، پل‌هایی برای استقرار دوربین وجود داشته، مورد توجه قرار گرفته است و با قرار دادن دوربین فیلم‌برداری ویدیویی روی آن پل‌ها، از حرکت وسایل نقلیه فیلمبرداری و فیلم‌های ویدیویی مناسب تهیه شده است. شکل‌های ۸ و ۹ موقعیت دو محل مورد توجه را نشان می‌دهد.

از هر یک از دو محل، حدود نیم ساعت فیلم در حدود ساعت ۳/۵ بعد از ظهر آذر ماه سال ۱۳۸٦ برداشت شد. زمان فیلم‌برداری بارندگی نبوده و شرایط محیط از لحاظ روشنایی در حد مطلوبی برای رانندگی قرار داشته است. حدود ۱۰۰ متر از بزرگراه که در آن وسایل نقلیه در تصویر برداشتی به خوبی قابل تشخیص بوده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند که موقعیت این ۱۰۰ متر در هر دو شکل با مستطیل خاکستری رنگ مشخص شده است. با توجه به این که هر سلول در برنامه شبیه‌سازی، معادل حدود ۵ متر در نظر گرفته می‌شود، بنابراین، این فاصله ۱۰۰ متری معادل ۲۰ سلول می‌باشد فایل‌های دیجیتالی فیلم با استفاده از نرم‌افزار decoder blaster تبدیل به تعدادی فایل عکس از نوع bitmap شده و این فایل‌ها به عنوان ورودی برنامه پردازش تصاویر مورد استفاده قرار گرفته است. هر ثانیه از یک فیلم دیجیتال از ۲۵ تصویر دیجیتال تشکیل شده است. بنابراین، هنگام تبدیل نیم ساعت فیلم دیجیتال به فایل‌های bitmap، 45000 فایل از نوع bitmap خواهیم داشت. مشخص شده که اگر به ازای هر ثانیه، ۵ فایل انتخاب شود، برای کارکرد نرم‌افزار پردازش تصاویر مشکلی به‌وجود نمی‌آید.

با توجه به حجم زیاد این فایل‌ها، از هر ۵ فایل، یکی انتخاب شده تا حجم فایل بدون کاهش دقت نرم‌افزار به یک پنجم کاهش یابد و به این ترتیب به‌ازای هر نیم ساعت فیلم، ۹۰۰۰ فایل عکس مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به این که دو محل مورد بررسی قرار گرفته است، حدود ۱۸۰۰۰ فایل عکس مورد پردازش قرار گرفته است. سپس زمان آمارگیری از وسایل نقلیه در شرایط واقعی به تعدادی بازه آماری ۵ دقیقه‌ای تقسیم شده است. برای هر یک از این بازه‌های آماری، یک شماره اختصاص داده شده، که با اندیس i نمایش داده شده‌اند. کل زمان آمارگیری، یک ساعت در این دو موقعیت بوده است. طول بازه تصویربرداری در هر یک از این دو موقعیت، نیم ساعت بوده‌است. بنابراین، تعداد بازه‌های آماری i از ۱ تا ۱۲ تغییر خواهد کرد.

در نهایت، در هر زمان موقعیت وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی (خروجی نرم‌افزار شبیه‌ساز (MTS (dsc.txt)) با موقعیت وسایل نقلیه در شرایط واقعی (خروجی نرم‌افزار پردازش تصاویر (d0.txt)) مقایسه خواهند شد.



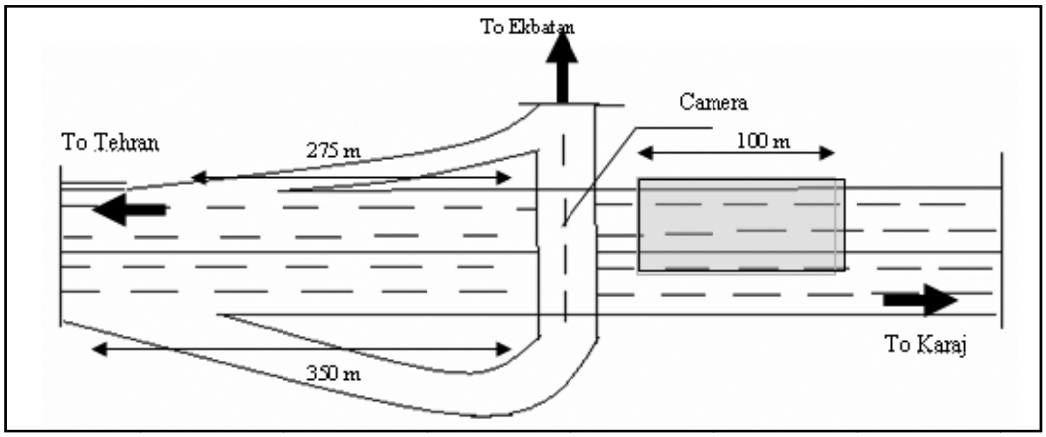

**شکل ۸. موقعیت محل اول**



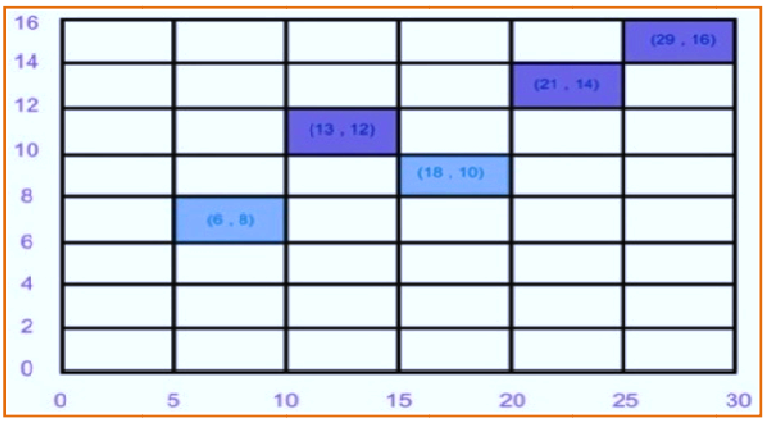
www.SID.ir

Archive of SID

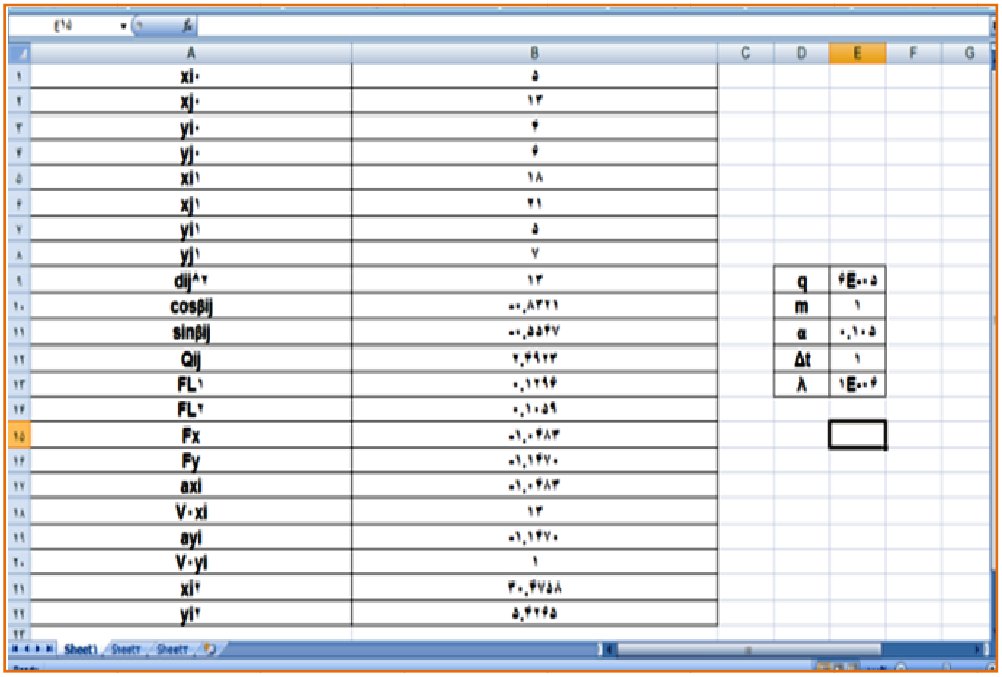





شکل ۹. موقعیت محل دوم




شکل ۱۰. موقعیت واقعی وسایل نقلیه برای کالیبراسیون مدل EM




شکل ۱۱. فایل Excel برای کالیبراسیون مدل EM



www.SID.ir

Archive of SID



## ٤- کالیبراسیون مدل

برای کالیبراسیون مدل از داده‌های واقعی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در ۳ گام زمانی اول استفاده شده است (Brockfeld et al., 2005). به این ترتیب که داده‌های مکانی واقعی در ۲ گام زمانی اول که در شکل ۸ نشان داده شده، به عنوان ورودی به یک فایل اکسل داده شده است. همچنین مقادیر اولیه‌ای برای m، q و α فرض گردیده است. سپس با استفاده از فرمول‌های مربوط به مدل و مقادیر فرض شده برای متغیرها، موقعیت مکانی وسایل نقلیه در گام سوم تعیین شده است. باید سعی شود این موقعیت مکانی تا حد امکان به موقعیت مکانی به‌دست آمده از پردازش تصاویر واقعی در گام زمانی سوم نزدیک باشند. با سعی و خطا روی متغیرهای مربوطه، مقادیر q، m و α کالیبره خواهد شد. در شکل ۹ جدولی که در محیط excel برای کالیبراسیون مقادیر ثابت مدل به‌کار رفته، آمده است (جمشیدنژاد، ۱۳۸۹). بعد از مراحل سعی و خطا، مقادیر $q = 6 \times 10^{-5}\mathrm{c}$ ،$m = 1kg$ و $\propto = 6^{\circ}$ برای کالیبراسیون مدل به‌دست خواهند آمد.

## ٥- ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل، برنامه شبیه‌ساز با مقادیر اولیه متناظر هر یک از ٦ بازه آمارگیری با گام‌های زمانی شبیه‌سازی ۰/۲ ثانیه، اجرا شد. سرعت متوسط و تعداد تغییر خط‌های وسایل نقلیه در اجراهای مختلف به عنوان دو شاخص مهم محاسبه گردید تا با شرایط واقعی که از طریق آمارگیری محاسبه شده است (خروجی نرم‌افزار پردازش تصاویر فیلم‌برداری‌های انجام شده)، مقایسه گردد. برای محاسبه تعداد تغییر خط‌ها در شرایط واقعی از اطلاعات مربوط به موقعیت وسایل نقلیه در فایل d0.txt، استفاده شد. در مدل ارایه شده یک جابه‌جایی عرضی به اندازه عرض یک سلول یا همان ۲ متر است. به همین ترتیب اگر وسیله نقلیه‌ای به اندازه دو خط حرکتی جابه‌جایی عرضی داشت، دو تغییر خط برای آن وسیله در نظر گرفته می‌شود. این کار در محیط شبیه‌سازی با استفاده از محتویات فایل dsc.txt (خروجی نرم‌افزار پردازش تصاویر) صورت می‌گیرد تا نتایج شبیه‌سازی با شرایط واقعی مقایسه گردد (سادات حسینی، ۱۳۸۷) و (Sadat Hosseini and Vaziri, 2007). شبیه‌سازی با استفاده از موقعیت اولیه وسایل نقلیه در هر بازه آماری انجام می‌گیرد و پارامترهای مورد نظر در محیط شبیه‌سازی به‌دست می‌آید. با این کار، اولین موقعیت وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی و واقعی یکسان شده و نتایج با هم قابل مقایسه می‌گردند. از میان روش‌های مختلفی که برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی وجود دارد، آزمون مربوط به مشاهدات دوتایی برای این پژوهش انتخاب شده است (Wang an Lehmann, 2007). آماره این آزمون از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$t_{\mathrm{po}} = \frac{\bar{\mathrm{d}}}{\mathrm{s_d}/\sqrt{\mathrm{n}}} \qquad (۲۵)$$

در این آزمون درجه آزادی برابر با n-1 می‌باشد. که در آن:

$t_{po}$: آماره آزمون مشاهدات دوتایی؛

$\bar{d}$: میانگین تفاضل‌های پارامتر مورد نظر در دوتایی‌های محیط شبیه‌سازی و شرایط واقعی؛

$S_d$: انحراف معیار تفاضل‌های پارامتر مورد نظر در دوتایی‌های محیط شبیه‌سازی و شرایط واقعی؛

n: تعداد نمونه مورد بررسی در محیط شبیه‌سازی و واقعی.

اگر $|t_{po}|>t_{\alpha/2,n-1}$ باشد، یعنی مقدار قدر مطلق آماره آزمون از مقدار توزیع آماری t_student برای دقت α/2 و درجه آزادی n-1 بیشتر باشد، اعتبار مدل در سطح اطمینان %(1-α) رد می‌شود و در غیر این‌صورت دلیلی برای بی‌اعتبار بودن مدل در آن سطح اطمینان وجود ندارد (NIST/SEMATECH, 2008).

سرعت وسایل نقلیه در شرایط واقعی در هر یک از ٦ بازه آمارگیری محاسبه و از سرعت متوسط وسایل نقلیه در شرایط شبیه‌سازی در بازه‌های متناظر کسر شده است. سپس میانگین و واریانس مقادیر تفاضل، محاسبه شده و با استفاده از رابطه ۲۵ آماره آزمون مشاهدات دوتایی، $t_{po}$، هر یک از مدل‌ها با شرایط واقعی مقایسه شده است.

میانگین تفاضل سرعت متوسط وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی و واقعی در ٦ بازه آمارگیری دارای میانگین ۱/۳۸ و واریانس ۲/۲۲ می‌باشد. به این ترتیب آماره $t_{po}$ برای سرعت متوسط وسایل نقلیه با استفاده از رابطه $t_{po} = \frac{1.38}{2.22/\sqrt{6}} = 1/52$ به‌دست آمده است. با توجه به اینکه $|1/52| < 2/7$ دلیلی برای بی‌اعتبار بودن مدل، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، برای محاسبه سرعت متوسط وجود ندارد.



www.SID.ir

Archive of SID



میانگین تفاضل تعداد تغییر خط وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی و واقعی در ٦ بازه آمارگیری دارای میانگین ٤/٧ و واریانس ٥/٣ می‌باشد. به این ترتیب آماره $t_{po}$ برای سرعت متوسط وسایل نقلیه با استفاده از رابطه $t_{po} = \frac{4.7}{5.3/\sqrt{6}} = 2/17$ به‌دست آمده است. با توجه به این که $|2/17| < 2/7$ دلیلی برای بی‌اعتبار بودن مدل در سطح اطمینان ٩٥ درصد برای محاسبه سرعت متوسط وجود ندارد.

همان‌گونه که مشاهده شد، اعتبار مدل EM برای محاسبه سرعت متوسط و تعداد تغییر خط وسایل نقلیه تأیید می‌شود، بنابراین، مدل EM توانسته رفتار رانندگان را برای قسمت اصلی آزادراه‌های تهران مدل‌سازی کند.

## ٦- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مقاله رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران مدل شده است. این مدل‌سازی با استفاده از ایده بارهای الکتریکی متحرک همنام که روی سطح شیبدار در اثر وزن خود حرکت می‌کنند، انجام گرفته است. نتایج حاصل از پژوهش در زمینه تئوری ترافیک قابل بررسی هستند. در این پژوهش موقعیت واقعی وسایل نقلیه، از داده‌های موجود در تحقیقات گذشته مربوط به رفتار رانندگان در آزادراه تهران - کرج بوده است. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز خرد ترافیک MTS انجام گرفته است. مراحل انجام این پژوهش به دو مرحله اصلی تقسیم شده است که عبارتند از: فرمولاسیون و کالیبراسیون مدل‌های پیشنهادی و شبیه‌سازی و ارزیابی مدل‌های پیشنهادی. ابتدا موقعیت وسایل نقلیه با استفاده از داده‌های واقعی تعیین شده است. موقعیت وسایل نقلیه برای کالیبراسیون مدل که در بخش فرمولاسیون معرفی شد، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سپس مدل ارایه شده کالیبره و ضرایب آن تعیین گردیده است. پس از کالیبراسیون مدل، شبیه‌سازی انجام گرفته و پارامترهای مورد نظر در محیط شبیه‌سازی محاسبه گردیده است. در نهایت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های واقعی مقایسه و مدل مربوطه ارزیابی شده است. نتیجه ارزیابی مدل، نشان داده که EM، که در آن رفتار حرکتی وسایل نقلیه از قوانین راهنمایی و رانندگی در ایران تبعیت نمی‌کند، با شرایط واقعی تطابق دارد. اعتبارسنجی مدل برای داده جمع‌آوری شده ثابت شده است.

مدل پیشنهادی قابلیت استفاده در شرایط مختلف و رفتارهای متفاوت ترافیکی را خواهد داشت. با تغییر بارهای الکتریکی، وزن بارها و زاویه سطح شیبدار رفتارهای حرکتی مختلف، مدل‌سازی خواهند شد. همچنین با استفاده از این مدل، می‌توان نحوه اجرای قوانین راهنمایی و رانندگی در جوامع مختلف را مورد ارزیابی قرار داد. برای تحقیقات آتی، می‌توان شبیه‌سازی رفتار حرکتی وسایل نقلیه را به قسمت‌های دیگر آزادراه مانند رمپ‌های ورودی و خروجی و تقاطع‌های هم‌سطح تعمیم داد. همچنین می‌توان رفتار حرکتی وسایل نقلیه در دیگر نواحی کشور و جهان را مورد بررسی قرار داد و نیز خصوصیات پایه‌ای برای ترافیک‌های منظم و نامنظم را با هم مقایسه کرد. با استفاده از مدل ارایه شده در این مقاله، مقدار بار الکتریکی واقعی برای ترافیک‌های با ایمنی بالا و پایین به‌دست آورده می‌شود. مقدار این بار، می‌تواند میزان ریسک‌پذیری رانندگان را نشان دهد. با توجه به ارتباط مشخص شده بین رفتار رانندگان و رفتار بارهای الکتریکی، احتمال دارد که بتوان از دیگر خواص بارهای الکتریکی نیز برای شبیه‌سازی رفتار حرکتی رانندگان کمک گرفت.

## ٧- منابع


- جمشیدنژاد توسرامندانی، امیر (١٣٨٩) "بررسی رفتار حرکتی رانندگان با استفاده از مدل بارهای الکتریکی"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ١٣٨٩.
- داوری، امیرحسین (١٣٨٨) "مدل‌سازی و شبیه‌سازی ترافیک با استفاده از منطق فازی"، مجله علمی پژوهشی دانشگاه مازندران، شماره ٢٣، ص٢١-١٤.
- سادات حسینی، سیدمحمد (١٣٨٧) "بررسی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در قسمت اصلی آزادراه با استفاده از پردازش تصاویر"، رساله دکترا، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ١٣٨٧.
- سادات حسینی، سید محمد، وزیری، منوچهر و جوادیان، رسول (١٣٨٨) " شبیه‌سازی رفتار حرکتی رانندگان با استفاده




www.SID.ir

Archive of SID


از مدل بهینه‌سازی رانندگان"، پژوهشنامه حمل و نقـل، سـال ششم، شماره اول، بهار ۱۳۸۸، ص ۲۹-۳۹.

- AASHTO. (1994) "Geometric Design of Highways and Streets", FWA, pp. 40.
- Brockfeld, E., Kuhne, R. and Wagner, P. (2005) "Calibration and Validation of Microscopic Models of Traffic Flow", Transportation Research Board, TRB.
- Daganzo, C. (2006) "In traffic flow, cellular automata cinematic waves", Transportation Research Part B: Methodological, No. 5, pp. 396-403.
- Hidas, P. (2004) "A car-following model for urban traffic simulation", Traffic Engineering and Control, No.7 , pp. 300-305.
- Hijikata, Y., Komatsu, T., Saiwaki, N. and Nishida, S. (2002) "Automatic Generation of Moving Crowd using Chaos and Electric Charge Model", IEEE, SMC MP1R4.
- Hogema, J .(2005) "Modeling Motorway Driving Behavior", Transportation Research Record, n16.
- Meyer, E. (2005) "A cellular automaton models for freeway traffic", J. Physique I 5, pp. 123-131.
- NIST/SEMATECH e-Handbook Statistical Methods (2008), pp. 423-438.
- Sadat Hoseini, S.M. and Vaziri, M. (2006) "Using Image Processing for Micro simulation of Freeways in Developing Countries", TRB, Annual Meeting.
- Sadat Hoseini, S.M. and Vaziri, M. (2007) "Modeling Drivers' Behavior as an Optimization Process", TRB, Annual Meeting.
- Sultan, B. (2001) "The Lane Changing Process: Data Analysis & Modeling behavior", Transportation Engineering and Control, pp. 202-207.
- Wang, Z. and Lehmann, A. (2007) "Verification and Validation of Simulation Models and Applications: A Methodological Approach", Springer US, pp. 212-245.



www.SID.ir

Archive of SID

# Simulation of Driver's Behavior Using an Electrical Charges Model

*M. S. Monajjem, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*

*S. M. Sadat Hoseini, Assistant Professor, Department of Rahvar, Police University, Tehran, Iran.*

*A. Jamshidnejad Tosaramandani, M.Sc. Grad., Department of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: sadathoseini1@yahoo.com*

## ABSTRACT

In this paper, an electrical charge model was developed as a microscopic traffic model for describing a driver's behavior in a basic section of the freeway. This model has been simulated with a cellular automata simulator and compared with real data. In this model, the behavior of a car is represented as similar to electrical charge behaviors, where it is considered to move in a sloping path.

In this model, for any car in a time phase, the electrical power from the other cars and the car itself was considered. On the basis of this power, the location of the car in the next time phase was then determined. In this study, two models designated EM1 and EM2 were proposed for drivers in Tehran. For investigating drivers' movement behaviors in a basic section of the highways in Tehran, some previous research and recorded data was applied from the Tehran–Karaj freeway. In addition, the study employed the use of micro-simulator software in order to simulate the proposed models. This software has shown that there is no reason to consider the last model invalid for drivers' behaviors in a basic section of freeways in Tehran, during not-congested conditions.

By comparing the location of the vehicles under real conditions with parallel quantities of them in the simulated medium, the correspondence level has been determined between each of the models and the drivers' behaviors in the real data. Comparison of the obtained results derived from simulation with the real data has demonstrated the EM2 model corresponds well with the behavior of real drivers in a basic section of Tehran's freeways.

**Keywords**: Traffic Theory, Simulation, Driver's Behavior, Cellular Model, Electrical Charge



www.SID.ir