بررسی میزان اجرای قوانین راهنمایی و رانندگی با مدل بارهای الکتریکی

سید محمد سادات حسینی[۱]، امیر جمشیدنژاد توسرامندانی[۲]، محمد سعید منجم[۳]

از صفحه ۹۹ تا ۱۱۸

تاریخ دریافت:۹۱/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۱۴

چکیده

در این مقاله از مدل خرد بارهای الکتریکی برای توصیف رفتار حرکتی رانندگان با درنظر گرفتن قواعد راهنمایی و رانندگی در قسمت اصلی آزادراه استفاده شده است. توجه یا عدم توجه به قانون رعایت فاصله ایمن با وسیله نقلیهٔ جلویی هدف اصلی این تحقیق است. براساس مدل ذکر شده موقعیت‌های مکانی رفتار تعقیب و تغییر خط وسایل نقلیه تعیین 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 تعیین شده است. در تحقیق مزبور از یک نرم‌افزار شبیه‌ساز خرد ترافیک برای شبیه‌سازی مدل استفاده شده است. مراحل انجام تحقیق به ترتیب فرموله کردن، کالیبره کردن، اجرا در محیط نرم‌افزار، ارزیابی و تحلیل خروجی مدل است. در این پژوهش از داده‌های تحقیقات گذشته، برداشت شده از آزادراه تهران-کرج استفاده شده است. نتایج خروجی مدل بارهای الکتریکی در حالت عدم توجه به قوانین راهنمایی و رانندگی برای همین داده‌ها با شرایط واقعی تطابق دارد. در نهایت از مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی بر اساس رعایت قانون با داده‌های شرایط واقعی اعتبار مدل EM۱ برای محاسبه سرعت متوسط و تعداد تغییر خط وسایل نقلیه رد شده است. ارزیابی این مدل در سطح کلان نشان داد که رفتار رانندگان با قوانین آیین نامه راهنمایی و رانندگی هماهنگ نیست.

کلید واژه ها

تئوری ترافیک/شبیه‌سازی/رفتار رانندگی/بارهای الکتریکی/قواعد رانندگی.

۱. استادیار حمل و نقل، دانشگاه علوم انتظامی (نویسنده مسئول: sadathoseini1@yahoo.com)
۲. کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی amirjam61@yahoo.com
۳. استادیار راه و ترابری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی saeedmonajem@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

موضوع این پژوهش بررسی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در قسمت اصلی آزاد راه‌های تهران بوده است. قسمت اصلی آزادراه مقطعی از مسیر است که در آن بخش ورودی و خروجی از رمپ‌ها و تداخل‌ها موجود نیست. هدف اصلی از انجام این تحقیق پاسخ دادن به این سؤال است که آیا رفتار رانندگی در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران که با استفاده از مدل بارهای الکتریکی (منجم و همکاران، ۲۰۱۲) EM۱، شبیه‌سازی شده است بر اساس قواعد راهنمایی و رانندگی بوده است یا خیر؟ توجه یا عدم توجه به قانون رعایت فاصله ایمن با وسیله نقلیهٔ جلویی هدف اصلی این تحقیق است. میزان توجه به این قانون نشان دهندهٔ میزان ریسک پذیری رانندگان است. در قسمت اصلی آزادراه ورودی و خروجی از رمپ‌ها و تداخل‌ها وجود ندارند و مانورهای راننده بستگی به رفتار ریسکی رانندگان دیگر ندارد. در این حالت رفتار حرکتی راننده وابسته به تصمیم برای بهبود وضعیت رانندگی است. برای شبیه سازی مدل ارائه شده و ارزیابی آن، از نرم‌افزار MTS استفاده شده است.

از 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 است (جمشیدنژاد، ۲۰۱۰). نحوهٔ حرکت وسایل نقلیه نشان خواهد داد که آیا قواعد راهنمایی و رانندگی اجرا می‌شود یا خیر؟ 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 کند، راه حل‌هایی که در مهندسی ترافیک پیشنهاد می‌شوند، کارآیی لازم را نخواهند داشت و قواعد رانندگی درست تدوین نخواهند شد (سادات حسینی، ۲۰۰۷). در مباحث بالا به وضوح جایگاه و اهمیت فراوان موضوع دیده شده است.

حرکت وسایل نقلیه در دو بخش خرد و کلان بررسی می‌شوند. در بخش خرد به بررسی حرکت تک تک وسایل نقلیه پرداخته شده 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

Archive of SID
www.SID.ir

و بررسی است (سلطان[1]، ۲۰۰۱). در مدل‌های شبیه سازی 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 است. می‌توان مدل‌های تعقیب و تغییر خط را با یکدیگر ادغام کرد و مدل‌هایی تهیه کرد که تصمیم گیری رانندگان برای جابه‌جایی عرضی و طولی در مسیر حرکت آنها را به صورت یک مدل توصیف کند.

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 (هیداس[2]، ۲۰۰۴).

داگانزو[3] (۲۰۰۶) 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 گروه لاک پشتی و خرگوشی با سرعت‌های مطلوبشان 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 ارائه کرده است.

هوگما[4] (۲۰۰۵) مدلی برای رانندگی پیشنهاد کرد که شامل رانندگی آزاد، دنباله‌روی وسایل نقلیه و رفتار تغییر خط بود. این مدل رفتار وسایل نقلیه را با جزئیات، در حد وضعیت پدال‌ها و چرخ‌ها بررسی کرده است. مدل هوگما یک مدل شبیه‌سازی وابسته به زمان با بازه‌های زمانی ۰/۱ ثانیه است. 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.

1. Sultan
2. Hidas
3. Daganzo
4. Hogema

Archive of SID
www.SID.ir

نیول قاعده‌ای برای رفتار تغییر خط وسایل نقلیه عنوان کرده است مبنی بر اینکه اگر وسیله نقلیه n به دنبال وسیله نقلیه n–۱ در یک راه همگن در حال حرکت باشد، مسیر حرکت وسیله n در سیستم زمان– مکان اساساً مشابه وسیله نقلیه n–۱ می‌باشد، مگر ازجهت 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 ارائه شده است، دقیق می‌باشد. می‌توان گفت که این تحقیق فرضیه‌های ساده کننده زیادی دارد که شرایط مسئله را از شرایط واقعی دور می‌کند و به همین جهت نتایج بدست آمده نیز تنها با فرضیه‌های ساده کننده مذکور قابل استفاده است (می یر[1]، ۲۰۰۵).

جمشیدنژاد (۱۳۸۹) مدل بارهای الکتریکی را برای توصیف حرکت وسایل نقلیه برای اولین بار در سال ۱۳۸۹ پیشنهاد کرده و از آن برای پیش‌بینی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در شبیه‌سازی‌ها استفاده کرده است. نتیجه ارزیابی مدل بارهای الکتریکی نشان داده که رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران با استفاده از این مدل بر شرایط واقعی منطبق است (منجم و همکاران، ۱۳۹۰). در این مقاله برای بررسی رفتار حرکتی وسایل نقلیه از مدل بارهای الکتریکی استفاده شده است.

داوری (۱۳۸۹) از شش شخص مختلف در سن‌های بین ۶۰–۲۰ سال خواسته بود که هر کدام به مدت دو ساعت در خیابان‌ها و اتوبان‌های ۲ و ۳ خطه رانندگی کنند. سپس از آنها سؤال‌هائی پرسیده و توسط پاسخ این سؤال‌ها پایگاه داده‌ای تهیه کرده بود. سپس با استفاده از منطق فازی تعقیب و تغییر خط وسایل نقلیه را مورد بررسی قرار داده بود.

سادات حسینی و همکاران (۱۳۸۸) مدل‌هایی برای توصیف حرکت وسایل نقلیه پیشنهاد کرده و از آنها برای پیش‌بینی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در شبیه‌سازی‌ها استفاده کرده است. وی یک نرم‌افزار شبیه‌ساز خرد مبتنی بر زمان، تهیه کرده که در این مقاله برای ارزیابی مدل پیشنهادی از آن استفاده شده است (سادات حسینی و همکاران، ۲۰۰۶). سادات حسینی (۱۳۸۷) بر مبنای فرضیه‌های پژوهش خود دو نوع مدل تفکیک و ادغام برای توصیف رفتار حرکتی وسایل تهیه کرده است. نتیجه ارزیابی مدل‌های سادات نشان داد مدلی که رفتار حرکتی رانندگان را بر مبنای فرآیند

1. Meyer

Archive of SID
www.SID.ir

بهینه‌سازی رانندگان برای افزایش سرعت همراه با کاهش خطر تصادف مدل می‌کرده، بهترین تطابق را با شرایط واقعی داشته است.

یوشی‌نوری با استفاده از مدل بی نظمی و شارژ الکتریکی تولید خودکار گروه انسانی متحرک را برای شبیه‌ســازی 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 شــهرهای 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. وی مدعی بود که مدل بار الکتریکی و اثر بی‌نظمی، گروه‌های انسانی را طبیعی‌تر مدل خواهد کرد (هیجیکاتا[1] و همکاران، ۲۰۰۲).

چارچوب نظری (مدل‌سازی براساس مدل بارهای الکتریکی)

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 برای 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 آزاد راه‌ها حرکت کنند. به نظر می‌رسد این موضوع شبیه نحوهٔ حرکت جرم‌هایی است که در سطح شیب‌دار در اثر وزن خود به سمت پایین می‌غلتند (جمشیدنژاد، ۱۳۸۹). در این مدل با ترکیب دو فرض معقول بارهای الکتریکی و جرم‌های متحرک در سطح شیبدار، رفتار رانندگی در آزاد راه‌ها مدل شده است. در این مدل آزاد راه‌ها به صورت یک سری گوی باردار روی سطح شیب‌دار مدل شده‌اند 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 شده‌اند. در این روش مدلی پیشنهاد می‌شود که به طراحان اجازه می‌دهد رفتار حرکتی وسایل نقلیه را در قسمت اصلی آزادراه با کار بسیار کمتر شبیه‌سازی کنند. نکته مهم دیگر، امکان کالیبراسیون مدل برای داده‌های شرایط مختلف

1. Hijikata

Archive of SID
www.SID.ir

ترافیک در نقاط مختلف جهان است. مدل کالیبره شده بر اساس داده‌های محل‌های مختلف، رفتار حرکتی وسایل نقلیه را در بزرگراهی که داده‌ها جمع‌آوری شده است شبیه‌سازی می‌کند (منجم و همکاران، ۱۳۹۰). فرمول‌های نهایی مدل اصلی بارهای الکتریکی به شکل زیر است.

نیروی بین بارهای الکتریکی نقطه‌ای (قانون کولن)

$$F = K\frac{q^2}{d^2} \qquad (۱$$

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 $K=9\times10^9\frac{Nm^2}{c^2}$. 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.

نیروی ثقل وارد بر مهره‌های روی سطوح شیب‌دار

مهره‌ها روی سطح شیبدار تحت نیروی وزن خود در راستای قائم و افقی است. مؤلفه افقی ثقل در راستای حرکت وسایل نقلیه می‌باشد و در محاسبات مدل به‌کار می‌رود. مقدار این نیرو $W\sin\alpha$ است.

حداکثر بار الکتریکی نقطه‌ای

$$a = \frac{v_0^2}{2\,x} \qquad (۲$$

در رابطه‌ی بالا a شتاب وسیله نقلیه در راستای حرکت، V_0 سرعت اولیه وسیله نقلیه بالایی و x مختصات طولی وسیله نقلیه می‌باشند.

Archive of SID
www.SID.ir

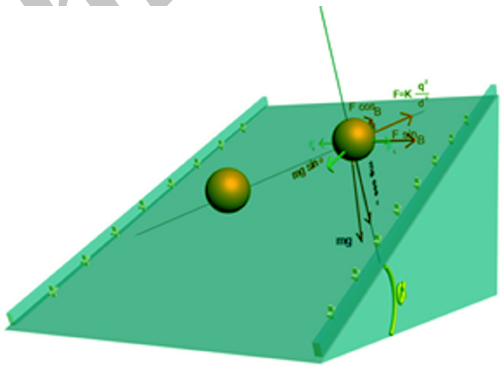
حداقل بار الکتریکی نقطه‌ای

$$mg \sin\alpha = K \frac{q^2}{d^2} \quad (۳$$

که در این مقاله فاصله بین وسایل نقلیه‌ای که پشت سر هم حرکت می‌کنند بر طبق آیین نامه رانندگی از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$ds_{(ID,t)} = \frac{V_{(ID,t)}}{10} \times (1.5 \times L_{ID}) \quad (۴$$

واضح است که مقدار مناسب بار الکتریکی در مدلی که ارائه 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 در قسمت کالیبراسیون تعیین خواهد شد. در نهایت نیروهای وارد بر یک وسیله نقلیه در حالت کلی به‌صورت شکل ۱ است (منجم و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۱: نمای ۳ بعدی نیروهای وارد بر گوی‌ها

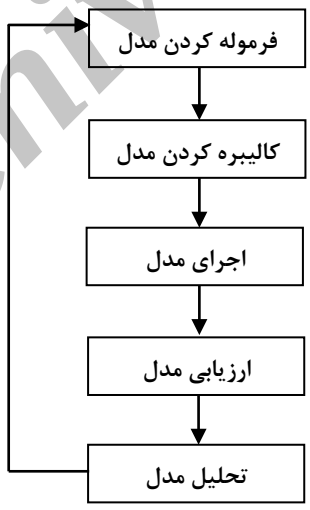
با داشتن مقادیر نیروهای وارد بر وسایل نقلیه از توضیحات بالا، باید مقادیر xF و yF برای آنها در حالت کلی تعیین شود. در واقع این نیروها هستند که اساس کار شبیه‌سازی را تعیین خواهد کرد.

Archive of SID
www.SID.ir

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

روش شناسی تحقیق

در این تحقیق میزان توجه رانندگان به اجرای قانون رعایت فاصله ایمن با وسیله نقلیهٔ جلویی بر طبق آیین‌نامهٔ راهنمایی و رانندگی ایران بررسی شده است. توجه یا عدم توجه به این قانون نشان دهندهٔ میزان ریســک پذیری رانندگان است. مراحل انجام تحقیق پس از برداشت داده‌ها از رفتار حرکتی وسایل نقلیه در شرایط واقعی به ترتیب فرموله کردن، کالیبره کردن، اجرا، ارزیابی و تحلیل خروجی مدل است. این مراحل به‌طور کامل در این مقاله آمده است. در شکل ۲ توالی این مراحل و ارتباط آنها با یکدیگر نمایش داده شده است.



نمودار ۱: توالی مراحل ساخت مدل شبیه‌سازی

Archive of SID
www.SID.ir

ابزار و روش گردآوری داده‌ها

آمارگیری از شـــرایط واقعی (مطالعه موردی: بزرگراه تهران-کـــرج): برای آماربرداری از موقعیت وسایل نقلیه دو مقطع از بزرگراه تهران کرج که نزدیک رمپ‌های ورودی و خروجی قرار نداشته و در آن محل‌ها پل‌هایی برای استقرار دوربین وجود داشته، مورد توجه قرار گرفته است و فیلم‌های ویدیویی مناسب تهیه شده است. از هر یک از دو محل حدود نیم ساعت فیلم در حدود ساعت ۳/۵ بعد از ظهر برداشت شده است. زمان فیلمبرداری بارندگی وجود نداشته 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. با توجه به اینکه هر سلول در برنامه شبیه‌سازی معادل حدود ۵ متر در نظر گرفته می‌شود، بنابراین این فاصله ۱۰۰ متری معادل ۲۰ سلول است. فایل‌های دیجیتالی فیلم با استفاده از نرم افزار 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، ۴۵ هزار فایل از نوع Bitmap خواهیم داشت. مشخص شده که اگر به ازای هر ثانیه ۵ فایل انتخاب شود , برای کارکرد نرم افزار پردازش تصاویر مشکلی به وجود 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 به ازای هر نیم ســـاعت فیلم، ۹ هزار فایل عکس مورد اســـتفاده 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 شـــده‌اند. کل زمان آمارگیری یک ساعت در این دو موقعیت بوده است. طول بازه‌ی تصویر برداری در هر کدام از این دو موقعیت نیم ساعت بوده است. 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 (سادات حسینی، ۱۳۸۸).

Archive of SID
www.SID.ir

بازه‌های زمانی آمارگیری: در این مقاله 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 ساعت غیر اوج ترافیک در دو موقعیت مختلف بوده است. طول بازه‌ی تصویر برداری در هر کدام از این دو موقعیت نیم ساعت بوده است. بنابراین تعداد بازه‌های آماری i از ۱ تا ۱۲ تغییر خواهد کرد. در هر زمان موقعیت وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی با موقعیت وسایل نقلیه در شرایط واقعی مقایسه خواهند شد. این موقعیت‌ها در فایل‌های dsc.txt و d0.txt ذخیره خواهند شد.

فرموله کردن مدل

فرمولاسیون مدل EM۱ با استفاده از روش بارهای الکتریکی: در مدل بارهای الکتریکی، EM۱، آزادراهی با چهار خط حرکتی با فواصل خطوط واقعی برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. مدل EM۱ 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 شده است. این توجه جهت درنظر گرفتن فاصله طولی براساس قواعد راهنمایی و رانندگی بوده است. مراحل گام به گام تعیین موقعیت برای حرکت هر وسیله نقلیه به شرح زیر است:

در گام اول برای هر وسیله نقلیه خانه‌های اطرافش در نظر گرفته خواهد شد. در گام بعد خانه‌هایی که در آنها وسیله نقلیه وجود دارند انتخاب خواهند گردید. سپس برآیند نیروهای وارده از طرف این وسایل نقلیه بر وسیله نقلیه مورد نظر به‌دست خواهد آمد. در ادامه 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 خواهند شد. برای محاسبه موارد ذکر شده از روابط ۵ تا ۱۶ استفاده خواهد شد.

Archive of SID
www.SID.ir

$$F_{ij}(t) = \frac{kq^2}{d_{ij}^2(t)} \quad (۵)$$

$$d_{ij}^2(t) = (y_j(t) - y_i(t))^2 + (x_j(t) - x_i(t))^2 \quad (۶)$$

$$\cos(B_{ij}(t)) = \frac{-x_j(t) + x_i(t)}{d_{ij}(t)} \quad (۷)$$

$$\sin(B_{ij}(t)) = \frac{-y_j(t)+y_i(t)}{d_{ij}(t)} \quad (۸)$$

$$F_{xi}(t) = \left(\sum_{j=1}^{N} F_{ij}(t).\cos\left(B_{ij}(t)\right)\right) + mg\sin\alpha \quad (۹)$$

$$F_{yi}(t) = \left(\sum_{j=1}^{N} F_{ij}(t).\sin\left(B_{ij}(t)\right)\right) \quad (۱۰)$$

$$a_{xi}(t) = \frac{F_{xi}(t)}{m} \quad (۱۱)$$

$$a_{yi}(t) = \frac{F_{yi}(t)}{m} \quad (۱۲)$$

$$V_{0xi}(t) = \frac{-x_i(t-\Delta t) + x_i(t)}{\Delta t} \quad (۱۳)$$

$$V_{0yi}(t) = \frac{y_i(t) - y_i(t-\Delta t)}{\Delta t} \quad (۱۴)$$

$$x_i(t+\Delta t) = x_i(t) + \frac{1}{2}\, a_{xi}.(\Delta t)^2 + V_{0xi}(t).\Delta t \quad (۱۵)$$

$$y_i(t+\Delta t) = y_i(t) + \frac{1}{2}\, a_{yi}.(\Delta t)^2 + V_{0yi}(t).\Delta t \quad (۱۶)$$

Archive of SID
www.SID.ir

که در روابط بالا $F_{ij}(t)$ نیروی الکتریکی بین وسایل نقلیه i و j در زمان، $d_{ij}(t)$ 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 t، $F_{yi}(t)$ برآیند نیروهای وارد بر وسیله نقلیه iام در زمان t در جهت طولی حرکت t، $a_{xi}(t)$ شتاب عرضی وسیله نقلیه iام در زمان t، $a_{yi}(t)$شتاب طولی وسیله نقلیه iام در زمان t، $V_{oxi}(t)$ سرعت عرضی اولیه وسیله نقلیه iام در زمان t، $V_{oi}(t)$ 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 (منجم و همکاران، ۲۰۱۲).

فاصله ایمن و ماکزیمم سرعت: فاصله ایمن با وسیله نقلیه جلویی ، طبق آیین نامه رانندگی در ایران ، به ازای هر ده کیلومتر بر ساعت سرعت وسیله نقلیه، یک و نیم برابر طول خودرو است. بنابراین رانندگان باید سرعت خود را به نحوی تنظیم کنند که طبق قاعده مذکور در آیین نامه رانندگی، فاصله مناسب با وسیله نقلیهٔ جلویی را داشته باشند. به این ترتیب، فاصله ایمن بر حسب سرعت وسیله نقلیه مورد نظر از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$ds_{(ID,t)} = \frac{V_{(ID,t)}}{10} \times (1.5 \times L_{ID}) \qquad (۱۷$$

که در آن ds(ID,t) فاصله ایمن وسیله نقلیه ID در زمان t با وسیله جلویی آن، V(ID,t) سرعت وسیله نقلیه بر حسب کیلومتر بر ساعت در زمان t و LID طول خودرو است. به همین ترتیب حداکثر سرعت ایمن نیز بر حسب فاصله از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$V_{MSS}(ID,t) < \frac{10d\ (ID,t)}{1.5L_{ID}} \qquad (۱۸$$

که در آن V(ID,t) سرعت وسیله نقلیه ID بر حسب کیلومتر بر ساعت در زمان t، d(ID,t)

Archive of SID
www.SID.ir

فاصله وسیله نقلیه ID در زمان t با وسیله جلویی آن و L_{ID} طول خودرو می‌باشد (سادات حسینی و همکاران، ۱۳۸۶).

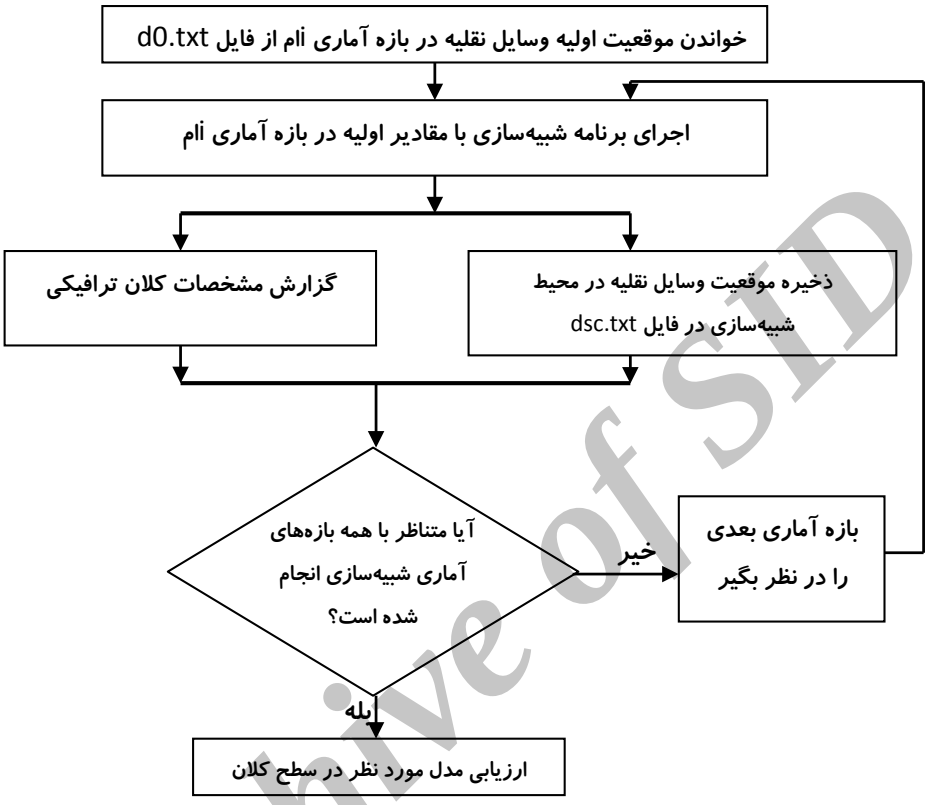
ابعاد سلول‌ها: در مدل EM۱ فرض شده که وسایل نقلیه به خط‌های حرکتی توجه خواهند کرد. در این مدل عرض هر سلول به اندازه عرض یک خط حرکتی و طول آن به اندازه طول یک وسیله نقلیه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه طول اکثر وسایل نقلیه رایج در ایران در حدود ۵ متر می‌باشد، برای هر وسیله نقلیه متداول در ایران حدود ۵ متر طول در نظر گرفته شده و پهنای خط‌های حرکتی معمولاً حدود ۴ متر انتخاب می‌شود (آشتو[1]، ۱۹۹۴، ص ۴۰). بنابراین در مدل EM۱ ابعاد سلول‌هایی که آزادراه را تشکیل می‌دهند، ۴*۵ متر در نظر گرفته شده است.

کالیبراسیون مدل: برای کالیبراسیون مدل از داده‌های واقعی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در ۲ گام زمانی اول استفاده شده است (برک فلد[2] و همکاران، ۲۰۰۵). به این ترتیب که داده‌های مکانی واقعی در ۲ گام زمانی اول به عنوان ورودی به یک فایل اکسل داده خواهد شد. سپس با استفاده از فرمول‌های مربوط به مدل و با سعی و خطا روی داده‌های مربوطه مقادیر m، q و α براساس مقادیر واقعی کالیبره خواهد شد (جمشیدنژاد، ۱۳۸۹). بعد از مراحل سعی و خطا مقادیر $q = 5 \times 10^{-5}c$ ،$m = 1.5kg$ ،$\propto = 7^{\circ}$ جهت کالیبراسیون مدل به‌دست خواهند آمد.

اجرای نرم‌افزار: همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، ابتدا موقعیت وسایل نقلیه به عنوان ورودی نرم‌افزار شبیه‌سازی خوانده شده و برنامه شبیه‌سازی با استفاده از این مقادیر اجرا شده است. سپس موقعیت هر یک از وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی در فایل dsc.txt ذخیره شده است. همچنین مشخصات کلان ترافیکی نظیر سرعت متوسط و تعداد تغییر خط توسط برنامه شبیه‌ساز گزارش شده‌اند. از این مشخصات برای ارزیابی مدل‌ها در سطح کلان استفاده شده است. این کار برای تمام بازه‌های آماری انجام شده و براساس نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل، تطابق یا عدم تطابق مدل با شرایط واقعی تعیین شده است.

1. AASHTO
2. Brockfeld

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار ۱: روند انجام کار برای شبیه‌سازی و ارزیابی مدلهای پیشنهادی

یافته‌های تحقیق

شبیه‌سازی انجام شده با توجه به آمار برداشت شده فقط مربوط به قسمت اصلی آزادراه است. قسمت اصلی آزادراه مقطعی از مسیر است که در آن بخش ورودی و خروجی از رمپ‌ها و تداخل‌ها موجود نیست. این مقاطع با توجه به آمارهای برداشت شده، در شرایط خلوت بودن آزادراه است و در شرایطی که تراکم وسایل نقلیه افزایش پیدا می‌کند و به اصطلاح راه‌بندان به وجود می‌آید قابل استفاده نیست. شرایطی که تصادف در آن رخ داده است نیز مورد شبیه‌سازی قرار نگرفته است. همچنین زمان فیلمبرداری بارندگی وجود نداشته

Archive of SID
www.SID.ir

و شرایط محیط از لحاظ روشنایی در حد مطلوبی برای رانندگی قرار داشته است.

ارزیابی و تحلیل مدل: برای ارزیابی مدل، برنامه شبیه‌ساز با مقادیر اولیه متناظر هر یک از ۶ بازه آمارگیری با گام‌های زمانی شبیه‌سازی ۲. ثانیه، اجرا شد. سرعت متوسط و تعداد تغییر خط‌های وسایل نقلیه در اجراهای مختلف به عنوان دو شاخص مهم محاسبه شد تا با شرایط واقعی که از طریق آمارگیری محاسبه شده است، مقایسه شود. برای محاسبه تعداد تغییر خط‌ها در شرایط واقعی از اطلاعات مربوط به موقعیت وسایل نقلیه در فایل d0.txt، استفاده گردید. در مدل ارائه شده یک جابه‌جایی عرضی به اندازه عرض یک سلول یا همان ۴ 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 صورت می‌گیرد تا نتایج شبیه‌سازی با شرایط واقعی مقایسه شود (سادات حسینی، ۱۳۸۷). 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 قابل مقایسه با هم می‌گردند. از میان روش‌های مختلفی که برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی وجود دارد، آزمون مربوط به مشاهدات دوتایی برای این پژوهش انتخاب شده است (وانگ[1] و همکاران، ۲۰۰۷). آماره این آزمون از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$t_{po} = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}} \qquad (۱۹$$

در این آزمون درجه آزادی برابر با $n-۱$ است. 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 و n تعداد نمونه مورد بررسی در محیط شبیه‌سازی و واقعی می‌باشند.

1. Wang

Archive of SID
www.SID.ir

اگر $|t_{po}|>t_{\alpha/2,n-1}$ باشد، یعنی مقدار قدر مطلق آماره آزمون از مقدار توزیع آماری t_student برای دقت $\alpha/2$ و درجه آزادی $n-1$ بیشتر باشد، اعتبار مدل در سطح اطمینان $(1-\alpha)$٪ رد می‌شود و در غیر این صورت دلیلی برای بی‌اعتبار بودن مدل در آن سطح اطمینان وجود ندارد (نایست[1]، ۲۰۰۸).

سرعت وسایل نقلیه در شرایط واقعی در هر یک از ۶ 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 ۶ بازه آمارگیری دارای میانگین ۳۷ و واریانس ۲/۴ است. به این ترتیب، آماره t_{po} برای سرعت متوسط وسایل نقلیه با استفاده از رابطه $t_{po}=\frac{37}{4.2/\sqrt{6}}=21/58$ به‌دست آمده است. با توجه به اینکه $|۲۱/۵۸|>۲/۷$ اعتبار مدل در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای محاسبه سرعت متوسط رد می‌شود.

میانگین تفاضل تعداد تغییر خط وسایل نقلیه در محیط شبیه‌سازی و واقعی در ۶ بازه آمارگیری دارای میانگین ۱۲/۴ و واریانس ۲/۹ است. به این ترتیب، آماره t_{po} برای سرعت متوسط وسایل نقلیه با استفاده از رابطه $t_{po}=\frac{12.4}{2.9/\sqrt{6}}=10/47$ به‌دست آمده است. با توجه به اینکه $|۱۰/۴۷۲|>۲/۷$ اعتبار مدل در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای محاسبه تعداد تغییر خط نیز رد می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران مدل شده است. این مدل‌سازی با استفاده از مدل 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

1. NIST

Archive of SID
www.SID.ir

با اســتفاده از نرم‌افزار شبیه‌ســاز خرد ترافیک MTS انجام گرفته اســت. مراحل انجام این پژوهش به دو مرحله اصلی تقســیم شده اســت که عبارت‌اند از فرمولاسیون و کالیبراسیون مدل پیشــنهادی و شبیه‌ســازی و ارزیابی این مدل. ابتدا موقعیت وســایل نقلیه با استفاده از داده‌های واقعی تعیین شــده است. موقعیت وسایل نقلیه برای کالیبراسیون مدل که در بخش فرمولاســیون معرفی شد، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سپس مدل‌ارائه شده کالیبره و ضرایب آن تعیین شده 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 نشان داده که اعتبار مدل EM۱ که در آن رفتار حرکتی وســایل نقلیه از قوانین راهنمایی و رانندگی در ایران تبعیت می‌کند، برای محاسبه سرعت متوسط و تعداد تغییر خط وسایل نقلیه رد شده است. بنابراین ارزیابی این مدل در سطح کلان نشان داده که رفتار رانندگان با فرض توجه آنها به قانون آیین‌نامه‌ای رعایت فاصله ایمن هماهنگ نیست.

یافته‌های نهایی حاصل از این تحقیق در جدول ۱ آمده است. برای مقایسه یافته‌های نهایی این تحقیق با تحقیقات گذشته نمونه‌ای از نتایج تحقیقات سادات حسینی (MTS۲C—MTS۱) و پژوهش قبلی این محققان (EM) در جدول ۲ آمده است.

جدول۱: خلاصه ارزیابی مدل پیشنهادی

مدل	EM۱
سرعت متوسط t_{po}	۲۱/۵۸
تعداد تغییرخط t_{po}	۱۰/۴۷
نتیجه ارزیابی t_{po}	رد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲: نتایج ارزیابی مدل EM۱ با مدل‌های قبلی

مدل	EM۱	MTS۱	EM	MTS۲C
t_{po} سرعت متوسط	۲۱/۵۸	۳۳/۵۶	۱/۵۲	۱/۳۶
t_{po} تعداد تغییرخط	۱۰/۴۷	۵۶	۲/۱۷	۱/۶۹
نتیجه ارزیابی t_{po}	رد	رد	قبول	قبول

پیشنهادها

با استفاده از این مدل می‌توان نحوهٔ اجرای قوانین راهنمایی و رانندگی در مکان‌های مختلف را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین با اســتفاده از روش ارائه 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.

چنانچه تصمیم به تغییری در قوانین راهنمایی و رانندگی اتخاذ شود، با در نظر گرفتن تأثیری که تغییر در قانون بر رفتار رانندگان بر جای می‌گذارد، می‌توان آثار اجرای قانون جدید بر وضعیت رفتار حرکتی وسایل نقلیه را بررسی کرد. همچنین چنانچه طرحی در جهت اجرای دقیق‌تر قانون وجود داشته باشد، با استفاده از این مدل می‌توان نتایج حاصل از آن را پیش از اجرا مشاهده کرد. این کاربرد روش ارائه شده در این مقاله برای نیروهای پلیس راهنمایی و رانندگی که وظیفه اعمال قانون را بر عهده دارند، جالب توجه خواهد بود.

منابع

- جمشیدنژادتوسرامندانی، امیر ((۲۰۱۰)۱۳۸۹–) «بررسی رفتار حرکتی رانندگان با استفاده از مدل بارهای الکتریکی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- داوری، امیرحسین ((۲۰۱۰) ۱۳۸۹) «مدلسازی و شبیه‌سازی ترافیک با استفاده از منطق فازی»،

Archive of SID
www.SID.ir

مجله علمی پژوهشی دانشگاه مازندران، شماره۲۳، ص۱۴-۲۱.

- ســادات حسینی، سید محمد ((۲۰۰۸) ۱۳۸۷) «بررسی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در قسمت اصلی آزادراه با اســتفاده از پردازش تصاویر» ، رساله دکتری، تهران: دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- سادات حسینی، سید محمد، وزیری، منوچهر و جوادیان، رسول ((۲۰۰۹) ۱۳۸۸) « شبیه‌سازی رفتار حرکتی رانندگان با استفاده از مدل بهینه‌سازی رانندگان» ، پژوهشنامه حمل و نقل، سال ششم، شماره اول، ص۳۹-۲۹.
- منجم، محمد سعید، سادات حسینی، سید محمد و جمشیدنژاد، امیر، ((۲۰۱۲) ۱۳۹۰) «شبیه‌سازی رفتار رانندگان با استفاده از مدل بارهای الکتریکی» ، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هشتم، شماره۴، ص۴۱۳-۴۰۳.

- AASHTO. (1994) «Geometric Design of Highways and Streets», FWA.
- 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. 403-396.
- Hidas, P. (2004) «A car-following model for urban traffic simulation», Traffic Engineering and Control, no.7 , pp. 305-300.
- 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

Archive of SID
www.SID.ir

I 131-123 ,5.

- NIST/SEMATECH e-Handbook Statistical Methods (2008), p438-423.
- 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.207-202.
- Wang, Z. and Lehmann, A. (2007) «Verification and Validation of Simulation Models and Applications:A ethodological Approach», Springer US, p 245-212.

Archive of SID

www.SID.ir