

## مدلسازی و شبیه سازی ترافیک با استفاده از مجموعه های فازی

امیر حسین داوری

دانشجوی کارشناسی

دانشگاه مازندران

amirdavari@hotmail.com

واژگان کلیدی: مجموعه های فازی، مدلسازی، شبیه سازی، ترافیک

### مقدمه

مدلسازی شبیه سازی ماکروسپیک (Microscopic simulation modeling) در سالهای اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. این روش راهی مطمئن و موثر در رابطه با Intelligent Vehicle-Highway System (IVHS) ارائه می دهد. روشهای معین (deterministic) معمول حالت سازگار سیستم را در نظر می گیرند که از اعتبار مدل می کاهد. ولی با استفاده از روشهای فازی می توان بر این مشکل غلبه نمود. این مقاله یک مدل فازی به نام Fuzzy Logic motorway Simulation Model (FLOWSIM) را ارائه می دهد. این مقاله در زمینه مجموعه های فازی و سیستم برای رانندگان در بزرگراهها، تنظیم مجموعه های فازی و بررسی اعتبار مدل کار نموده است. نتایج بررسی اعتبار مدل نشان می دهد که مدل فازی در نظر گرفته شده سیستم واقعی را به صورت قابل قبولی شبیه سازی می نماید و در مقایسه با مدلهای معین نظیر GHR، Gipps و MISSION نتایج بهتری می دهد.

مجموعه و سیستم فازی برای car-following model دو متغیر اساسی داراست که پروسه تصمیم گیری بر اساس این دو متغیر انجام می گیرد:

□ سرعت نسبی که با DV نشان داده می شود.

□ واگرایی فاصله (DSSD) نسبت جدایی وسایل نقلیه (DS) به فاصله مورد نظر و مطلوب رانندگان (Sd)، می باشد و پارامتر بسیار مهمی که در رانندگان مختلف با یکدیگر تفاوت بسیار دارد.

هر متغیر دارای تعدادی مجموعه فازی مختلف می باشد که با یکدیگر تداخل دارند. برای تمامی مجموعه های فازی مورد بحث، تابع عضویت بصورت مثلی در نظر گرفته شده است. در جدول زیر مجموعه های فازی مورد استفاده لیست گردیده اند.

Relative Speed (DV)	Distance Divergence (DSSD)	Driver Response (Acceleration Rate)
Opening Fast (V1)	Much Too Far (S1)	Strong Acceleration
Opening (V2)	Too Far (S2)	Light Acceleration
About Zero (V3)	Satisfied (S3)	No Action
Closing (V4)	Too Close (S4)	Light Deceleration
Closing Fast (V5)	Much Too Close (S5)	Strong Deceleration

Car-Following Model

( )

سیستم قانونمند فازی برای car-following model حرکت یک وسیله نقلیه را با توجه به تغییرات سرعت نسبی نسبت به ماشین جلویی و گذشت زمان نشان می‌دهد که در این حرکت سرعت مورد نظر راننده و همچنین فاصله مطمئن راننده تا ماشین بعدی لحاظ شده است. یک قانون فازی در زبان معمولی برای چنین مجموعه‌هایی بصورت زیر می‌باشد:

اگر DSSD مقدارش Too Far باشد، و مقدار سرعت نسبی (DV)، Closing باشد، آنگاه راننده نیاستی عکس العمل خاصی نشان دهد (keep current speed).

### مجموعه های فازی و سیستم برای مدل تغییر لاین

انگیزه برای تغییر مسیر حرکت و تغییر لاین از nearside به offside lane و از offside به nearside lane با یکدیگر کاملاً تفاوت دارند. انگیزه یک راننده برای حرکت کردن به offside lane آن است که بتواند سرعت بیشتری بگیرد در حالیکه انگیزه برای حرکت به nearside lane باز کردن مسیر برای عبور وسایل نقلیه با سرعت بالای پشت سر و در حقیقت فشار از عقب می‌باشد. بنابراین دو مدل متفاوت به نامهای LCO (Lane Change to Offside) و LCN (Lane Change to Nearside) برای نمایش تغییر لاین استفاده خواهند شد.

مدل LCO دارای دو متغیر اساسی می‌باشد: 'overtaking benefit' و 'opportunity'. اولین متغیر بوسیله میزان سرعت بعد از آنکه تغییر لاین انجام گرفت، اندازه گرفته می‌شود در حالیکه opportunity به اطمینان و راحتی تغییر لاین مربوط می‌شود و با مدت زمان لازم برای رسیدن ماشین پشت سری به ماشین اندازه گرفته می‌شود.

مدل از متغیرهای 'pressure from rear' و 'gap satisfaction' تشکیل می‌شود. متغیر pressure from rear بوسیله با گذشت زمان برای ماشین تعقیب کننده اندازه گرفته می‌شود در حالیکه gap satisfaction با مدت زمانی که ماشین می‌تواند در شکاف و فضای خالی باقی بماند بدون آنکه از سرعت خود بکاهد، اندازه گرفته می‌شود.

تعداد مجموعه های فازی را که بایستی برای مدلهای تغییر لاین در نظر گرفت به خاطر میزان دقت رانندگان و توانایی آنها محدود می‌شود. با وجود آنکه مساله تغییر یک مساله نسبتاً پیچیده می‌باشد، با وجود و برای سادگی تنها سه مجموعه فازی برای آن در نظر گرفته شده است. گرچه این مساله از میزان دقت مدل می‌کاهد ولی در عوض باعث می‌شود که بتوان یک توصیف فازی سریع و جمع جور از این مساله پیچیده بدست آید. همانند حالت قبل از توابع مثلثی برای نمایش درجه عضویت در هر مجموعه فازی استفاده گردیده است. جداول ۲ و ۳ مجموعه های فازی را برای دو حالت تغییر نشان می‌دهند.

قوانین فازی در مورد مدل تغییر لاین تمایل راننده را برای تغییر لاین بر اساس سرعت مطلوب، مقصد و شرایط ترافیکی مجاور توضیح می‌دهد. تمایل پایین به معنای احتمال کم برای تغییر لاین توسط راننده می‌باشد که عکس این قضیه نیز صادق می‌باشد. یک نمونه از قانونهای فازی در مورد LCO که به زبان معمولی بیان گردیده است، به شکل زیر می‌باشد:

Overtaking Benefit		Opportunity		Intention of LCO
High	(OB1)	Good	(OP1)	High
Medium	(OB2)	Moderate	(OP2)	Medium
Low	(OB3)	Bad	(OP3)	Low

LCO

If Overtaking Benefit is high and Opportunity is good then Intention of LCO is high.

Pressure from Rear		Gap Satisfaction		Intention of LCN
High	(PR1)	High	(GS1)	High
Medium	(PR2)	Medium	(GS2)	Medium
Low	(PR3)	Low	(GS3)	Low

LCN

## جمع آوری اطلاعات

اطلاعات مربوط به رفتار و با استفاده از یک ماشین مجهز به سنسورها و ابزارهای اندازه گیری مختلف بدست آمده است [2]. برای این پروسه دو سری از اطلاعات مورد نیاز می باشد. در ابتدا بایستی تابع عضویت مجموعه های فازی برای یک دسته از رانندگان بایستی اندازه گرفته شود تا بر اساس آن بتوان مجموعه هایی مانند 'closing' را بصورت دقیق درک نمود. در مرحله دوم بایستی اطلاعات مربوط به دینامیک car-following و lane-changing بدست آوریم تا بتوان بر اساس آنها مجموعه های فازی را تنظیم نماییم.

## Car-following Behavior

از شش شخص مختلف در سنهای بین ۲۰-۶۰ سال خواسته شد که هر کدام به مدت ۲ ساعت در خیابانها و اتوبانهای ۲ و ۳ لایه رانندگی نمایند. تست در هر حالت از رانندگی در خیابان یا بزرگراه به پنج قسمت تقسیم شده بود که این قسمتها در ذیل بیان گردیده است (اطلاعات بیشتر در مورد نحوه جمع آوری اطلاعات در مرجع [2] بیان گردیده است):

- ۱- از رانندگان خواسته شد که برداشتهای ذهنی خود را از میزان سرعت نسبی و فاصله تا ماشین جلویی را در عبارات زبانی بیان نمایند تا از آنها در تشکیل مجموعه های فازی استفاده گردد. فاصله بین سوالات مختلف بگونه ای تنظیم گردید تا راننده در بیان حالات مختلف دچار اشتباه ناشی از تعدد کارها نشود.
  - ۲- در این قسمت از راننده خواسته شد تا یک وسیله نقلیه خاص در حداقل فاصله مطمئن دنبال نماید تا بتوان تعدادی رشته زمانی در این حالت بدست آورد.
  - ۳- از راننده وسیله خواسته شد تا با ترمز و گاز ماشین به حد کافی کار نماید (بخصوص در سرعتهای بین ۵۰ تا ۷۰ مایل در ساعت) تا بتوان اطلاعاتی در مورد مدت زمان لازم برای راننده تا بتواند فاصله و سرعت نسبی خود را در سرعتهای بالا و یا در هنگام تغییر لاین تنظیم نماید، بدست آورد.
  - ۴- از راننده خواسته شد تا یک وسیله نقلیه خاص را پشت سرگذارند و از حدود ۱۰۰ متر قبل وضعیت مطلوب خود را در نظر آورند. سیدند، وضعیت را اعلام نمایند. این اطلاعات به ما کمک می نماید تا مرحله دسترسی و سبقت را در car-following به دقت تست و بررسی نماییم.
  - ۵- در مرحله آخر از راننده خواسته شد تا در مورد سرعت توقف خود به سوالات جواب بدهد.
- در وصول و بدست آوردن درجه عضویت برای داده های فازی روشهای متعددی وجود دارد که تمامی آنها قابل استفاده می شوند. در میان روشها و متدهای گوناگون، متد direct continuous استفاده گردیده است که در آن درجه عضویت با توجه به دفعات تکرار هر عضو در مجموعه های تشکیل شده مشخص می شود. در حقیقت شخص به هر مجموعه با توجه به دفعاتی که با آن روبرو شده است، عددی را به عنوان درجه عضویت بین صفر تا یک اختصاص می دهد. در مرجع [11]، از روش direct binary استفاده شده است بدین صورت که هر شخص توضیحی زبانی (گفتاری) با توجه به مجموعه فازی در مورد نسبت فاصله به سرعت بیان می کند و بدین ترتیب تابع عضویت برای هر مجموعه مشخص می شود. اما در این مقاله از تابع احتمال وقوع هر کدام از مجموعه ها برای تعیین تابع عضویت آنها استفاده گردیده است.

## حالت تغییر لاین

در این حالت هر کدام از رانندگان به مدت ۴ ساعت در خیابان و بزرگراههای ۲ یا ۳ لایه رانندگی کرده و اطلاعات با روش direct binary جمع آوری گردیده است:

- (i) در حدود هر نیم دقیقه، از راننده پرسیده می شد که آیا تمایلی به تغییر لاین به دو طرف (nearside/offside) دارد یا خیر. راننده موظف است که به این سوال با عبارات high، medium یا low پاسخ دهد و دلیلی نیز بصورت the 'gap' is

small یا 'pressure from rear' is low و مانند اینها بیان نماید. از این عبارات و جمله های زبانی برای تشکیل مجموعه های فازی استفاده می شود.

(ii) پس از هر تغییر خط به ، از راننده خواسته شد که در مورد میزان تمایل به تغییر لاین و دلایل آن مانند overtaking یا benefit was high یا opportunity was good و نظیر آن توضیح دهد.

### اعتبار میکروسکوپی Car-following Model

به منظور تست و بررسی اعتبار پایگاه قوانین کالیبره شده، یک دسته از تستهای در حالت ساده شبیه سازی با دو وسیله نقلیه انجام گردیده است. پایه و اساس این تستها بر تکرار پارامترهایی نظیر شتاب، سرعت، سرعت نسبی و ... می باشد. وسیله نقلیه جلویی در شبیه سازی و تست با یک سرعت خاص از یک وسیله نقلیه هدف برنامه ریزی شده است و وسیله نقلیه در تعقیب آن با سه پارامتر ایجاد شده است:

۱- فاصله مطلوب راننده ( $S_d$ )

۲- سرعت اولیه وسیله نقلیه

۳- میزان پیشرفت اولیه (initial headway)

دیتاهای اندازه گیری شده از چهار راننده در بررسی اعتبار مدل استفاده گردیده است. جدول شماره (۵)،  $S_d$  را برای چهار راننده لیست کرده است:

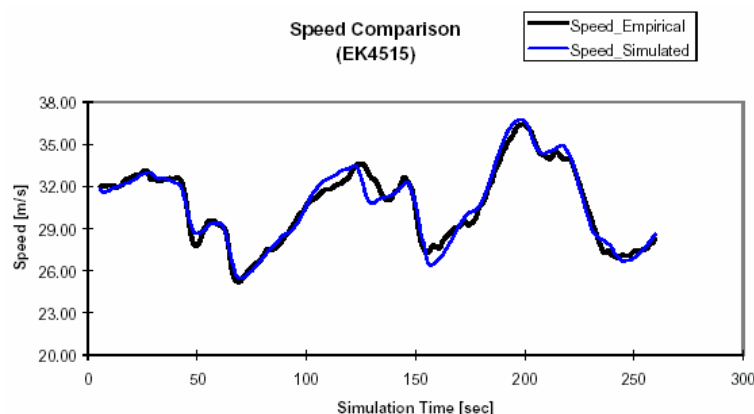
Subject	Desired Following Distance ( $S_d$ ) (seconds)
Subject 1	0.61
Subject 2	0.85
Subject 3	1.83
Subject 4	0.86

$S_d$  ( )

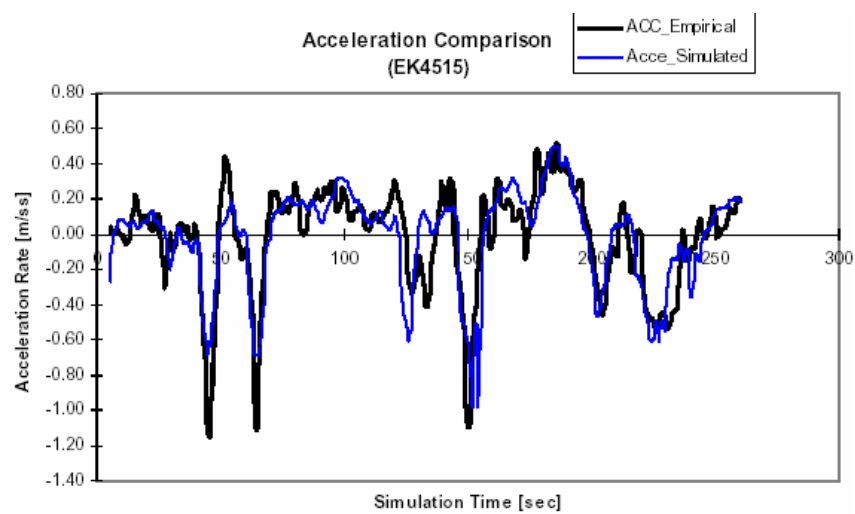
ماکروسکوپی بدست

نتایج بررسی اعتبار

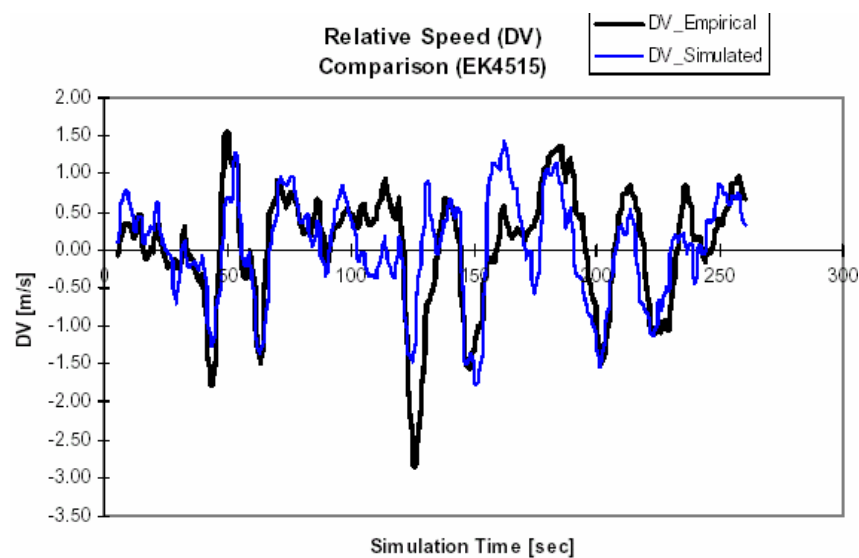
آمده از این مجموعه ها نشان می دهد که در هر چهار مورد نتایج شبیه سازی با نتایج حاصل از اندازه گیری تطبیق بسیار خوبی دارد و خطای قابل ملاحظه ای وجود ندارد. در شکلهای (۱) تا (۷) نتایج شبیه سازی و واقعی در مورد راننده شماره یک به همراه یکدیگر رسم گردیده است.



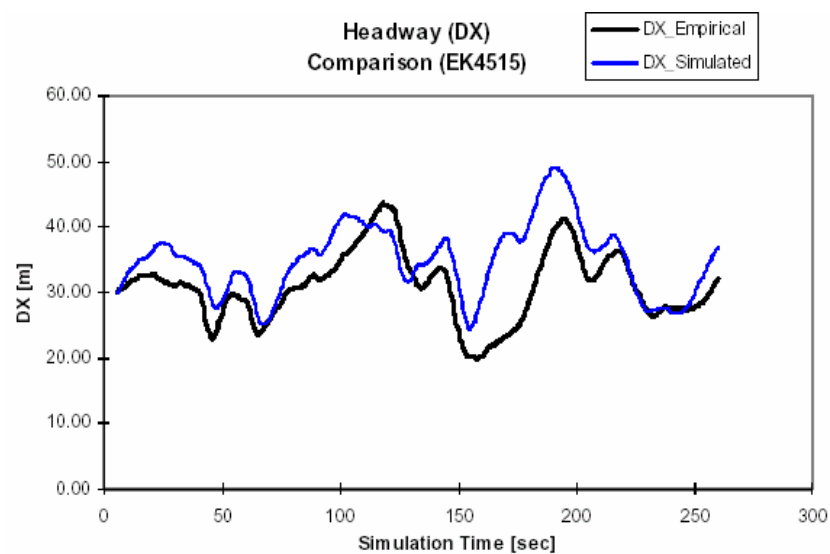
( )



( )



شکل (۶)، تست اعتبار مدل، مقایسه Headway راننده اول



شکل (۷)، تست اعتبار مدل، مقایسه سرعت نسبی راننده اول

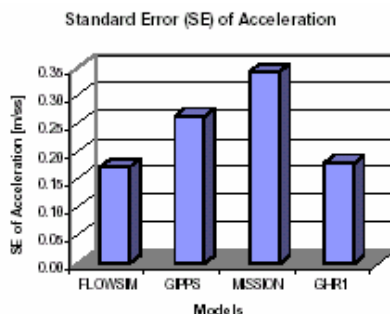
Subjects	Acceleration Rate	Speed	Headway	Relative Speed
Subject 1 [EK4515]	0.05/1.93 Accept	0.93/0.08 Accept	0.00/43 Reject	0.05/1.93 Accept
Subject 2 [MB5724]	0.25/1.11 Accept	0.64/0.46 Accept	0.00/21 Reject	0.27/1.1 Accept
Subject 3 [JS0037]	0.00/3.63 Reject	0.64/0.64 Accept	0.00/20 Reject	0.00/3.63 Reject
Subject 4 [BH0152]	0.48/0.7 Accept	0.59/0.52 Accept	0.00/21 Reject	0.47/0.71 Accept

جدول (۶)، مقایسه بین داده های اندازه گیری شده با نتایج حاصل از شبیه سازی در  $t=1.965\text{ s}$

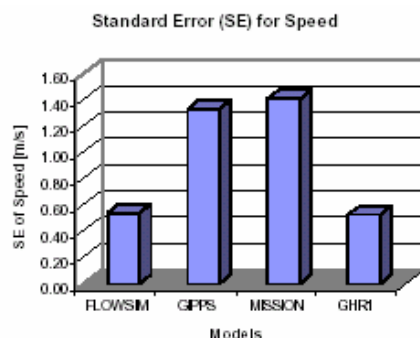
اولین تست انجام شده می باشد که برای مقایسه میزان انحراف و تفاوت بین داده های اندازه گیری شده و نتایج حاصل از شبیه سازی می باشد. همانطور که در جدول (۶) نشان داده شده است، داده های سرعت حاصل از شبیه سازی بیشترین تطابق را با داده های واقعی دارا می باشند به طوریکه تمامی مقایسه ها در این مورد قابل قبول می باشد. شتاب و سرعت نسبی هر کدام یک نتیجه غیرقابل قبول دارند در حالیکه تمامی نتایج در مورد headway غیر قابل قبول بوده و رد شده است. همچنین در یک مطالعه دیگر و به منظور بررسی هر چه دقیقتر اعتبار مدل و قدرت آن، مقایسه ای بین این مدل با دیگر مدل های موجود در ترافیک نظیر مدل های [4]Gipps، [7,12]MISSION و [3]GHR انجام شده است. داده های جمع آوری شده از چهار راننده بالا و تریسهای زمانی برای مقایسه استفاده گردیده است و از خطای استاندارد که در ذیل تعریف شده است برای اندازه گیری تفاوت بین نمونه های اندازه گیری شده و نتایج شبیه سازی (تخمین) استفاده گردیده است.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (estimated_i - real_i)^2}{N}}$$

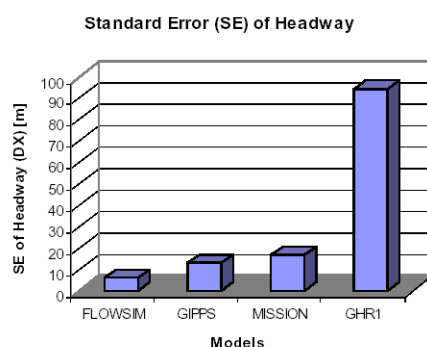
نتایج نشان می دهند که FLOWSIM بهترین نتیجه را در مورد تطبیق کلی سیستم ها بر یکدیگر با حداقل SE می دهد. مدل های Gipps و MISSION از نظر تطبیق کلی در رده های دوم و سوم قرار دارند. مدل GHR تطبیق نسبتاً خوبی را در مورد سرعت، شتاب و سرعت نسبی ارائه می دهد ولی در مورد headway اندازه آن از داده های حاصل از اندازه گیری بسیار بزرگتر می باشد. در شکل های (۸) تا (۱۱) کلیه نتایج حاصل از شبیه سازی و داده های واقعی در مورد یک راننده ارائه گردیده است.



شکل (۸)، مقایسه SE مربوط به شتاب برای مدل های مختلف

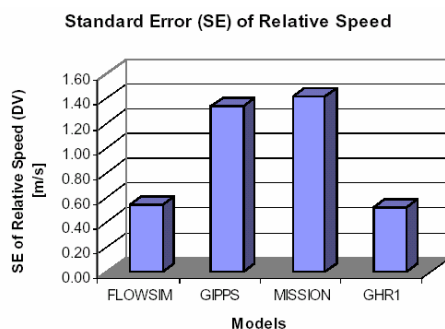


شکل (۹) ، مقایسه SE مربوط به سرعت برای مدل‌های مختلف



شکل (۱۰) ، مقایسه SE مربوط به Headway برای مدل‌های مختلف

داده‌های مربوط به تغییر لاین در برابر flow و lane occupancy (usage) در برابر flow از یک تحقیق در گذشته در



شکل (۱۱) ، مقایسه SE مربوط به سرعت نسبی برای مدل‌های مختلف

مورد ترافیک بزرگراه‌ها انجام شده بود [13]، استخراج گردیده است تا اعتبار و درستی مدل بدست آمده بررسی گردد. برای آنکه نتایج شبیه‌سازی از پروژه بالا با واقعیت قابل مقایسه باشد، اطلاعات مربوط به ۵ دقیقه ترافیک واقعی برای ورودیها شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است و خروجیها که همان lane occupancy و lane-changing rate versus flow می باشند، برای شبیه‌سازی استفاده گردیده اند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی تطبیق بسیار مناسبی را نشان می‌دهد که نتایج در شکل‌های ۱۵-۱۲ نشان داده شده است. در این شکل‌ها برای لاین‌های ۱-۳ چهار نوع جریان ترافیکی در نظر گرفته شده است:

الف) low (<2500 veh/h over 3 lanes)

medium (2500-3500veh/h) (ب)  
medium-high (3500-4500 veh/h) (ج)  
high (4500+ veh/h) (د)

بدلیل آنکه داده های واقعی برای جریان ترافیک بالای 4500 veh/h موجود نبوده است، برای این مورد تنها نتایج شبیه سازی رسم گردیده است.

جدول (۷) تفاوت بین میانگینهای حقیقی و شبیه سازی شده با توجه به فرمول ذیل نشان می دهد:

$$\text{Differene\_of\_Mean} = ((\text{Sim-Real})/\text{Real}) * 100$$

	Traffic Flow [veh/h] in 3 Lane Motorway			
	<2500	2500~3500	3500~4500	>4500
LC Rate	8.59	-4.98	-7.85	~
Lane 1	-8.11	-7.87	-7.48	-0.43
Lane 2	1.23	-0.69	0.03	4.57
Lane 3	6.03	10.67	7.04	-4.91

جدول (۷)، درصد تفاوت میانگین بین داده های حاصل از اندازه گیری و نتایج شبیه سازی برای میزان شلوغی و تغییر خط

این جدول نشان می دهد که تفاوت بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر واقعی حداکثر ۱۱٪ می باشد. آخرین تست انجام شده یک تست زمانی دیگر می باشد که نشان می دهد بین داده های اندازه گیری شده و نتایج حاصل از شبیه سازی تطبیق بسیار مناسبی وجود دارد.

	Traffic Flow [veh/h] in 3 Lane Motorway			
	<2500	2500~3500	3500~4500	>4500
LC Rate	0.35/0.92 Accept	0.31/1.01 Accept	0.21/1.24 Accept	~
Lane 1	0.03/2.28 Reject	0.01/2.63 Reject	0.01/2.89 Reject	0.95/0.05 Accept
Lane 2	0.74/0.33 Accept	0.73/0.33 Accept	0.98/0.01 Accept	0.14/1.50 Accept
Lane 3	0.13/1.52 Accept	0.01/2.95 Reject	0.00/4.02 Reject	0.23/1.22 Accept

جدول (۸)، نتایج تفاوت بین میانگینهای داده های واقعی و نتایج شبیه سازی مربوط به Lane Change Rate و Occupancy در  $t=2.03$  s

## نتیجه

### گیری

این مقاله روشی جدید بر مبنای مجموعه و سیستم های فازی برای مدل کردن رفتار رانندگان و پروسه ترافیک ارائه می نماید. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که این مدل نسبت به مدل های قبلی موجود درباره ترافیک از قابلیت های بالاتری برخوردار می باشد و نتایج حاصل از آن با واقعیت تطبیق بیشتری دارد. نتایج این مقاله نشان می دهد که روش های فازی به خوبی قابلیت مدل نمودن ترافیک و رفتار رانندگان را دارا بوده و در این زمینه با جمع آوری اطلاعات بیشتر، به نتایج کاملاً بهتری می توان رسید.