

آنالیز پدیده هیستریسیس در جریان ترافیک حرکت - توقف مبتنی بر رفتارسنجی راننده پس از آشفتگی

علی عبدی، استاد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین، قزوین، ایران
ارسلان صالحی کلام، دانشجوی دکتری، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین، قزوین، ایران
کیانوش سیامردی، دانش آموخته کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
امید رحمانی، دانش آموخته کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: 95/08/20 - پذیرش: 95/12/05

چکیده

مقایسه رفتار حرکت - توقف زنجیره وسایل نقلیه در آزادراهها بر اساس داده‌های عبوری برداشت شده در هنگام خروج از آشفتگی ترافیک با رفتار زنجیره وسایل نقلیه در حال نزدیک شدن به آشفتگی ترافیک که بیانگر تاخیر در بازیابی سرعت در زمان خروج از آشفتگی ترافیک می‌باشد، سبب تشکیل پدیده هیستریسیس در جریان ترافیک می‌گردد. تئوری‌های مبتنی بر نامتقارنی رفتار راننده در فاز افزایش و کاهش شتاب در تحلیل پدیده هیستریسیس جریان ترافیک، به طور کامل قادر به تحلیل پدیده هیستریسیس ندارند و نیاز به توسعه بیشتری دارند. در این تحقیق با استفاده از مدل وسیله نقلیه تعقیب خودرو Newell پارامترهای اثر گذار بر دامنه پدیده هیستریسیس (مبتنی بر رفتار راننده پرخاشگر و محتاط)، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس با مدل سازی نمودن پدیده هیستریسیس مبتنی بر شبکه عصبی و بهینه سازی لایه‌های شبکه عصبی به وسیله الگوریتم ژنتیک، تحلیل حساسیت رفتارسنجی راننده در جریان ترافیک در سطح جزئی نگر با سرعت موج ثابت ارزیابی می‌گردد. همچنین، در جریان ترافیک با سرعت موج متغیر با استفاده از مدل موج سینماتیک به وسیله تغییرات تدریجی سرعت و سرفاصله مکانی، دامنه پدیده هیستریسیس نسبت به سرعت موج ثابت آنالیز می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که نوع شکل حلقه‌های پدیده هیستریسیس ترافیک بستگی به رفتار راننده دارد. دو پارامتر سرفاصله مکانی و افزایش شتاب در انتهای پدیده به عنوان مؤثرترین پارامترها در تحلیل حساسیت رفتاری راننده معرفی گردیدند و دامنه پدیده هیستریسیس در شرایط سرعت موج متغیر، مقادیر کمتری را نشان می‌دهد.

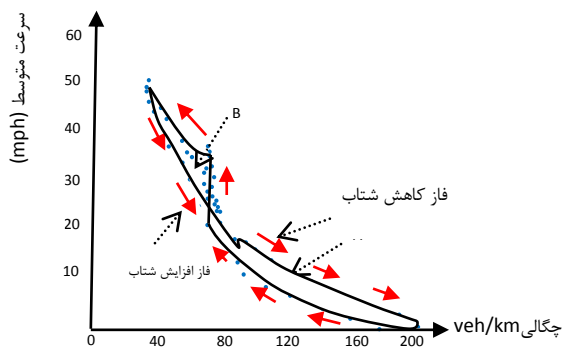
واژه‌های کلیدی: پدیده هیستریسیس ترافیک، آشفتگی جریان ترافیک، رفتار راننده، مدل تعقیب خودرو Newell، موج حرکت - توقف

1- مقدمه

انتشار موج آشفتگی در جریان ترافیک می‌گردند. رخداد پدیده افت سرعت ناگهانی و پدیده هیستریسیس در جریان ترافیک در نمودارهای فازی سرعت-چگالی، فرض خطی بودن منحنی سرعت-چگالی را با تردید مواجه می‌سازد. نخستین تئوری برای توضیح پدیده هیستریسیس ترافیک توسط نیویل مبتنی بر تئوری نامتقارنی ارائه گردید که نامتقارنی بین فاز افزایش و

آشفتگی جریان ترافیک یا رانندگی حرکت - توقف اثرات منفی زیادی مانند افزایش مصرف سوخت و اثرات زیست محیطی و خطرات ایمنی دارد [Bilbao 2008, Zheng 2011a, Zheng 2011b] مانورهای تغییر خط [Ahn, 2006, Laval 2006] و گلوگاه‌های ترافیک در حال حرکت [Koshi 1992, Laval 2006] منجر به تشکیل و

مطابق شکل (1-ب) رابطه کمیت‌های متوسط سرعت و چگالی و در شکل (1-الف) رابطه نرخ جریان-چگالی را در فاز افزایش و کاهش شتاب به دست آمد. زمانی که یک زنجیر از وسایل نقلیه به سمت آشفته‌گی ترافیکی نزدیک می‌شوند شرایط غالب قبل و بعد از آشفته‌گی بلافاصله



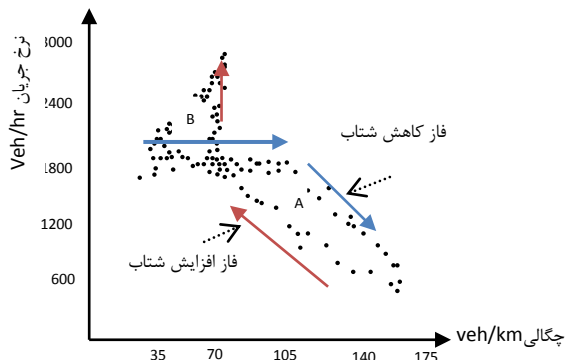
شکل 1 ب: نمودار سرعت متوسط-چگالی با کاهش و افزایش شتاب

ژانگ و کیم، با کاربرد تئوری جدید برای مدل وسیله نقلیه دنباله رو، مقدار جدیدی برای فاصله زمانی⁵ به صورت تابعی از فاصله مکانی⁶ و فاز ترافیکی که شامل افزایش و کاهش شتاب و شرایط کرانه ای⁷ می‌شود، معرفی نمود [Zhang, 2005]. مدل سازی عددی این تئوری اثبات نمود که این مدل، هیستریسیس ترافیکی را همراه با افت ظرفیت در مدت تبدیل جریان آزاد به جریان ازدحام به وجود می‌آورد. یئو و اسکاربریان یک تئوری نامتقارن جزئی نگر مبتنی بر رابطه سرعت و سرفاصله مکانی ارائه نمودند که در آن منحنی‌های افزایش و کاهش شتاب را با متصل نمودن نقاط آغازین افزایش و کاهش شتاب به دست آوردند که پنج وضعیت ترافیکی، جریان آزاد، افزایش شتاب، کاهش شتاب، کرانه‌ای و پایا را معرفی و گسستگی بین منحنی‌های افزایش و کاهش شتاب را علت تشکیل حلقه‌های هیستریسیس بیان نمودند [Yeo, 2009].

2- روش تحقیق

زمانی که داده‌های عبوری وسایل نقلیه مطابق شکل (3-ب) موجود باشد، روابط (1) تا (3) مناسب‌ترین روابط برای محاسبه مقادیر تغییرات ترافیک و به دست آوردن نمودار نرخ جریان و چگالی مطابق شکل (3-راست) برای زنجیره n وسیله نقلیه در ناحیه تعریف شده A می‌باشد [Edie, 1967].

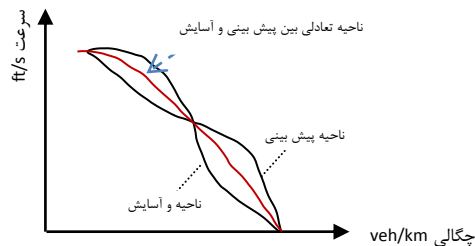
کاهش شتاب منجر به تأخیر در فاز شتاب گیری وسایل نقلیه (پیرو و پیشرو) بعد از آشفته‌گی سینماتیکی منجر به تشکیل پدیده هیستریسیس می‌گردد [Newell, 1962]. تریور و میر برای نخستین بار با کمک عکس برداری هوایی رفتار زنجیره وسایل نقلیه را در ورود و خروج از آشفته‌گی ترافیکی مطالعه نمودند که



شکل 1 الف: رابطه نرخ جریان و چگالی با کاهش و افزایش شتاب،

به طور مجدد بازیابی نمی‌شود که این تأخیر در بازیابی مجدد سرعت در زمان خروج زنجیر از آشفته‌گی منجر به تشکیل حلقه‌های هیستریسیس ترافیک می‌شوند، به عبارت دیگر در فاز افزایش شتاب، سرعت به سبب تأخیر از مقدار کمتری بازیابی می‌شود و به علت پدیده هیستریسیس سرفاصله مکانی در فاز افزایش شتاب بزرگتر از فاز کاهش شتاب است [Treiterer, 1974].

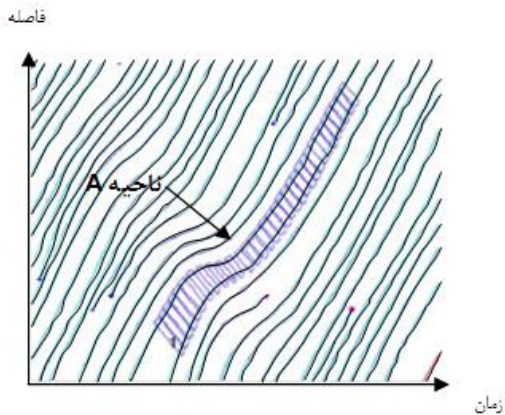
ژانگ به کمک روابط ریاضی هیستریسیس در جریان ترافیک را به صورت مجموعه‌ای از روابط ریاضی برای توصیف انتقال در بین وضعیت‌های مختلف جریان ترافیک مبتنی بر رفتار راننده ارائه نمود که مطابق شکل (2) منحنی رابطه بین سرعت-تمرکز راننده به سه ناحیه آسایش در فاز افزایش سرعت، ناحیه پیش بینی در فاز کاهش سرعت، ناحیه تعادلی بین پیش‌بینی و آسایش⁴ بین دو حالت قبل تقسیم بندی گردید که شکل مذکور نشان دهنده افزایش چگالی راننده با افزایش سرعت و کاهش چگالی راننده با کاهش سرعت می‌باشد [Zhang, 1999].



شکل 2. نمودار سرعت-چگالی راننده با دامنه‌های پیش‌بینی،

آسودگی و متعادل

در این روابط S, V, D به ترتیب چگالی و نرخ جریان و سرعت در ناحیه A و t_i, x_i فاصله و زمان سفر i امین وسیله در ناحیه A می‌باشند.



شکل 3. ب: داده‌های عبوری وسایل نقلیه [Laval, 2009]

عملکرد جمع آوری داده‌های ترافیکی در بازه‌های زمانی متوالی در ناحیه مستطیل شکل A در نمودار فاصله-زمان از دو جهت تحلیل نتایج را با مشکل مواجه می‌کند:

- وضعیت‌های ثابت درون نواحی مستطیل شکل ممکن نیست.
- $Cassidy$ به طور دقیق نشان داد انتخاب نواحی که دارای شرایط ترافیکی ثابت هستند به نمودارهای بنیادی تجربی پراکنده-آزاد^۹ منتهی می‌شوند [Cassidy, 1998].
- خطوط مختلف وضعیت‌های ترافیکی متفاوتی را نشان می‌دهند. Laval تغییرات خط را دلیل اصلی مشکل دوم معرفی کرد به دلیل آنکه تغییرات مسیر حرکت^{۱۰} و فضای خالی^{۱۱} در جریان ترافیکی ایجاد می‌کند [Laval, 2009].

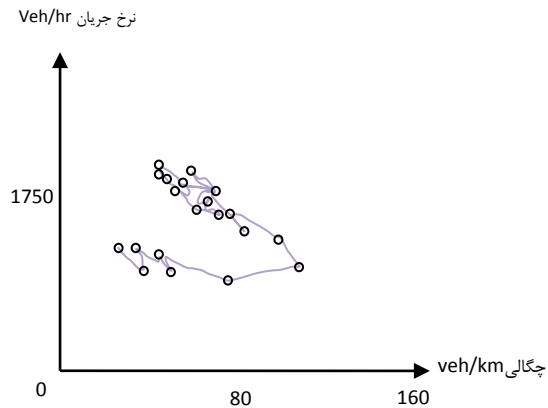
2-2- موج حرکت - توقف با سرعت ثابت

به منظور شناسایی پدیده هیسترسیس، مطابق شکل (6-الف)، (ب) ناحیه متوازی الاضلاع A شامل 5 تا 15 وسیله نقلیه با سرعت‌های متفاوت در ناحیه A در یک زنجیر با شیب W ، سرعت انتشار موج، در دو جهت مخالف و دو شیب دیگر با شیب‌های قابل مقایسه با سرعت وسایل نقلیه تعیین می‌شود [Laval, 2009].

$$S = V/D = \sum_{i=1}^n t_i / \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$V = \sum_{i=1}^n x_i / A \quad (2)$$

$$D = \sum_{i=1}^n t_i / A \quad (3)$$

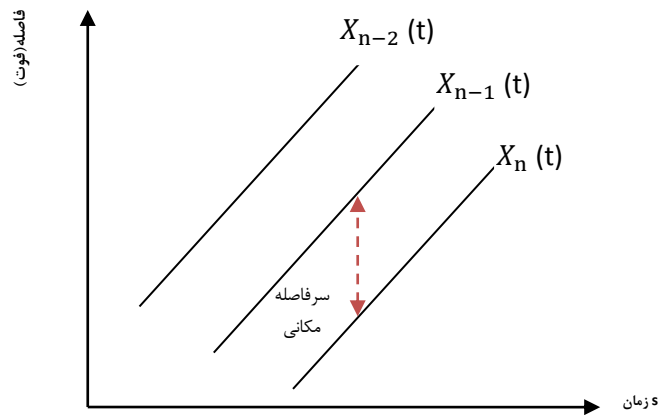


شکل 3. الف: نمودار نرخ جریان و چگالی [Laval, 2009]

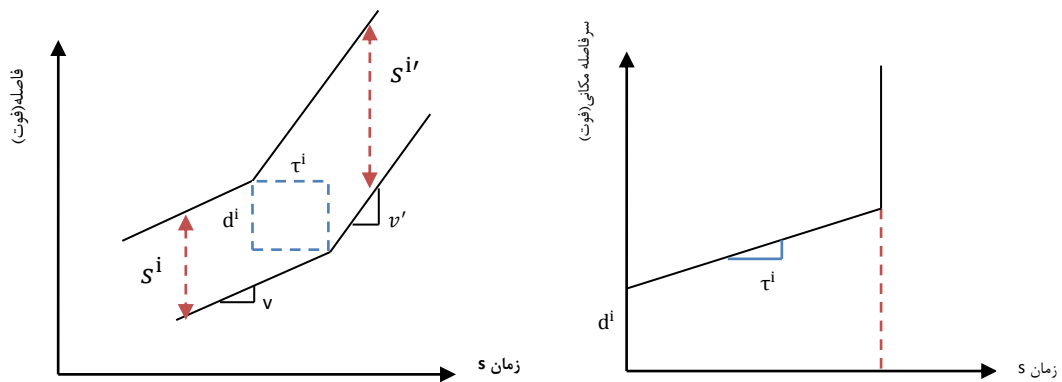
2-1- مدل تعقیب خودرو نیویل

هدف هر مدل تعقیب خودرو توصیف وابستگی مسیر دنباله رو خودرو و موقعیت آن در زمان t ، نسبت به وسیله نقلیه پیشرو است. مطابق شکل (4) اگر وسیله نقلیه پیشرو $(n-1)$ با سرعت ثابت v حرکت کند، تعقیب خودرو (n) باید با سرعت ثابت v سفر کند. سرفاصله مکانی بین دو وسیله نقلیه پیشرو و پیرو در زمان t می‌تواند تغییر کند اما اگر بزرگراه همگن^۸ و تمام وسایل نقلیه یک نوع در نظر گرفته شوند، سرفاصله مکانی تقریباً باید در مقدار S_n ثابت بماند اما می‌تواند برای وسایل نقلیه مختلف تغییر کند.

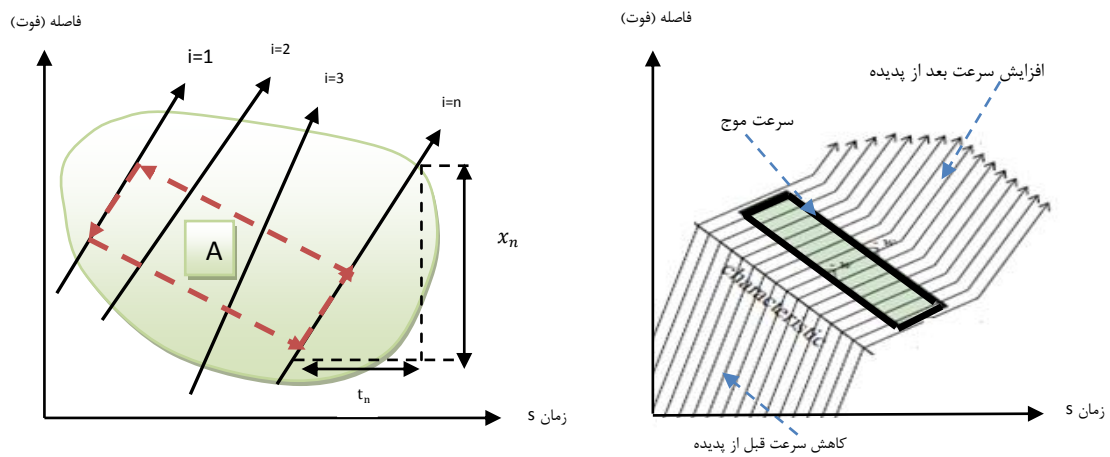
مطابق شکل (5-ب) در تئوری مدل نیویل زمانی که وسیله نقلیه پیشرو سرعتش را از V به V' تغییر می‌دهد موج آشفتگی با سرعت $\frac{d^i}{dt}$ از وسیله پیشرو به وسیله پیرو انتقال می‌یابد که منجر به افزایش شتاب وسیله پیرو می‌شود. در این مدل مقادیر d^i, τ^i مقادیری ثابت برای هر وسیله مستقل از سرعت در نظر گرفته می‌شود که مطابق شکل (5-الف) منجر به رابطه خطی بین سرعت و سرفاصله مکانی $s^i = d^i + \tau^i v$ می‌شود که τ ، زمان سفر موج و d ، سرفاصله مکانی اشباع می‌باشند [Newell, 2002].



شکل 4. مسیر وسایل نقلیه با سرعت ثابت [Newell, 2002]



شکل 5. الف: ارتباط بین سرفاصله مکانی - سرعت ب: تقریب‌های خطی برای مسیرهای وسیله نقلیه [Newell, 2002]



شکل 6. الف: مسیر فاصله و زمان طی شده در ناحیه [Laval, 2009] ب: ناحیه متوازی الاضلاع تعریف شده [Laval, 2009]

قوی، 10 مورد (23٪) درجه ضعیف، 9 مورد (20٪) درجه کم اهمیت، 6 مورد (16٪) درجه منفی مشاهده می‌شود. - درجه قوی^{۱۱}: در یک چگالی معین، اختلاف در نرخ جریان

Treiterer, J., با تعریف ناحیه A در داده‌های عبوری Sugiyama et ; Xing and Koshi ; Coifman ; Myers NGSIM ; al. درجه پدیده هیستریسیس برای 44 زنجیر وسیله نقلیه به 4 گروه دسته بندی می‌گردد که 19 مورد (43٪) درجه

بیشتر از 300 وسیله در ساعت باشد.

- درجه ضعیف^{۱۳}: در یک چگالی معین، اختلاف در نرخ جریان کم تر از 300 و بیشتر از 50 وسیله در ساعت باشد.

- درجه کم اهمیت^{۱۴}: در یک چگالی معین، اختلاف در نرخ جریان کم تر از 50 وسیله در ساعت باشد.

- درجه منفی^{۱۵}: اگر شاخه افزایش شتاب در بالای شاخه کاهش شتاب قرار گیرد.

$$S_K = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^0 (y_{ip} - \bar{y}_{ip})}{\sigma_k^2} \quad (4)$$

S_K : آنالیز حساسیت ورودی \bar{y}_{ip} خروجی به دست آمده با وزن‌های ثابت برای الگو، O : تعداد خروجی‌های شبکه، P : تعداد الگوها، σ_k^2 : واریانس پراکندگی ورودی‌ها.

ساختار بهینه شبکه عصبی در لایه‌های پنهان و پارامترهای آموزش دهنده را می‌توان بوسیله الگوریتم ژنتیک مطابق جدول (1) با در نظر گرفتن جزئیات مدل و داده‌ها ایجاد کرد تا رابطه بین ویژگی‌های ترافیک در سطح جزئی نگر و کلی نگر مطالعه شوند [Foteini, 2012].

2-3- مدل سازی پدیده هیسترسیس در شبکه عصبی

مبتنی بر موج ثابت

شبکه‌های عصبی، مدل‌های محاسباتی هستند که با یک فضای بزرگ پارامتری و ساختار منعطف مشخص و از مطالعات اعصاب مغز الهام گرفته شده‌اند [karlaftis, 2011]. در این مقاله پرسپترون چند لایه^{۱۶} متعلق به شبکه‌های عصبی پیش خور^{۱۷} با قاعده یادگیری انتشار خطا به سمت عقب استفاده می‌شود که معمولاً شامل 3 لایه، لایه ورودی، پنهان و خروجی هستند [Principe, 1999]. مزیت پرسپترون چند لایه نسبت به ساختارهای پیچیده‌تر شبکه عصبی عملکرد مطابق با تقریبگر تابع عمومی می‌باشد [Hornik, 1999]. اگرچه با انتخاب مناسب تابع فعال پرسپترون چند لایه قابلیت ارتباط مستقیم به یک مدل آماری معادل فراهم می‌شود [Vlahogianni, 2005]، به عنوان مثال پرسپترون چند لایه با تابع فعال ریاضی ممکن است مانند یک نمونه کلی از یک مدل رگرسیون ریاضی در نظر گرفته شود. پیشرفت‌های روش مختلف وجود دارد که توانایی شبکه عصبی را در مورد شناسایی اثر ورودی‌ها در تغییر خروجی، مانند اندازه‌گیری‌های تئوری اطلاعات، مشتقات نسبی و غیره، واضح تر می‌کند [Zobel, 2011]. در این مقاله مطابق رابطه 2 از الگوی خاص تحلیل حساسیت برای شبکه عصبی استفاده می‌شود که به طور موثر مقداری را اندازه‌گیری می‌کند که تغییر در ورودی معین در خروجی شبکه اثر می‌گذارد. بعد از آموزش شبکه، وزن‌ها برای همه تغییرات به جز برای وزن متعلق به به بردار ورودی ثابت هستند. عملکرد شبکه عصبی با محاسبه اثر تغییر در تغییر معینی در بردار خروجی شبکه ارزیابی می‌شود تا زمانی که بردار ورودی از اطراف مقدار میانگین پراکنده شود، در حالیکه تغییرات باقی مانده در مقادیر متوسط ثابت باقی می‌ماند.

آشفته‌گی ترافیک مبتنی بر موج متغیر

به منظور ارزیابی نمودن کیفی پدیده هیسترسیس در جریان ترافیک ناپایدار، انتشار موج با سرعت متغیر، مطابق شکل (7) انتشار امواج کینماتیک متوالی در دوره تناوبی از نوسان برای دو وسیله در زنجیر نشان داده می‌شود و مسیر انتشار موج از طریق متصل کردن نقاطی با سرعت‌های تقریباً مساوی در هر دو وسیله پیشرو و پیرو تعیین می‌شود [Ahn, 2013].

موج کینماتیک j برای وسیله پیشرو در زمان t_j^{i-1} در نقطه‌ای که سرعت v_j^{i-1} است، باید دو شرط زیر را برای اجتناب از نمونه برداری نقاط در مدت حرکت با سرعت معین^{۱۸} مجاب کند [Ahn, 2013]:

$$1- \quad |v_j^{i-1} - v_j^{i-1}| \geq 0.5 \text{ ft/s} \quad \text{اختلاف سرعت بین دو نقطه متوالی } (j, j-1), \text{ برای وسیله پیشرو بزرگتر از } 0.5 \text{ ft/s} \text{ باشد.}$$

$$2- \quad |a_j^{i-1}| \geq 3 \text{ ft/s}^2 \quad \text{دامنه شتاب گیری یا کاهش شتاب در نقطه انتخاب شده بزرگتر از } 3 \text{ ft/s}^2 \text{ باشد.}$$

زمان ورود موج j در وسیله پیرو، t_j^i ، مطابق با زمانی است که کم‌ترین اختلاف سرعت بین v_j^{i-1} و v_j^i مشاهده می‌شود و باید دو شرط زیر را برآورده کند:

$$1- \quad |v_j^{i-1} - v_j^i| \leq 2 \text{ ft/s} \quad \text{بدلیل آنکه مسیر انتشار موج در محدوده سرعت کم تر از } 2 \text{ ft/s} \text{ قرار گیرد، اختلاف سرعت بین وسیله نقلیه پیشرو و پیرو در نقطه } j \text{ کمتر از } 2 \text{ باشد.}$$

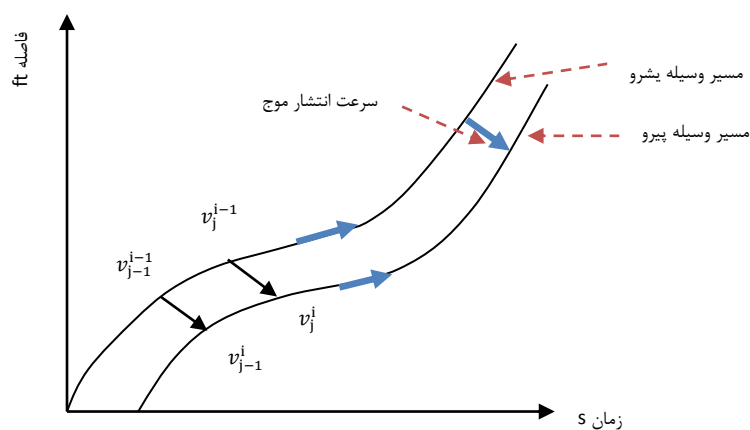
$$2- \quad a_j^i * a_j^{i-1} \geq 0 \quad \text{این شرط هر دو وسیله را در فاز افزایش یا کاهش شتاب به صورت همزمان قرار می‌دهد.}$$

مبتنی بر مسیر تئوری وسیله پیشرو، خط مماس در مسیروسیله پیشرو در نقطه j ، ارزیابی می‌شود و با فرض این که وسیله پیشرو بعد از انتشار موج دارای سرعت v_j^{i-1} باشد، می‌توان سرفاصله مکانی معادل را از رابطه 5 محاسبه کرد.

زمانی که مسیر انتشار موج‌های کینماتیک در مسیر عبوری وسایل نقلیه شناسایی شدند، سرعت و سرفاصله مکانی وسیله پیرو در هر یک از نقاط ورود موج کینماتیک محاسبه می‌شوند. مطابق شکل (8) سرفاصله مکانی معادل در نقطه j برای وسیله پیرو در وضعیت انتشار سرعت موج ناپایدار در مسیر عبوری

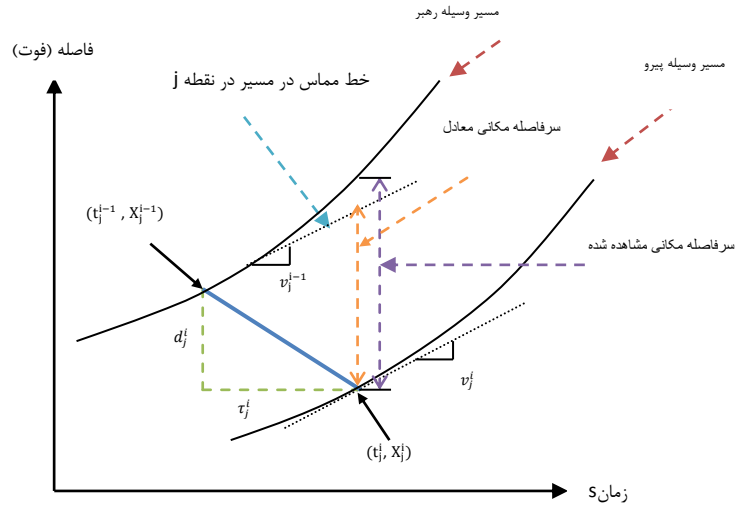
جدول 1. پارامترهای مدل شبکه عصبی

پارامتر	کمیت	
فضای ورودی	اختلاف نرخ جریان، ΔQ	
	مدت پدیده، τ	
	سرفاصله مکانی در پایان پدیده، $S_{t+\tau}^i$	
	اختلاف سرفاصله مکانی، $S_t^i - S_{t+\tau}^i$	
	شتاب وسیله نقلیه پیشرو در شروع و پایان پدیده، $a_{t+\tau}^{i+1}, a_t^{i+1}$	
	شتاب وسیله نقلیه پیرو در شروع و پایان پدیده، $a_{t+\tau}^i, a_t^i$	
ساختار	لایه پنهان شبکه‌های عصبی بهینه سازی شده در الگوریتم ژنتیک	
	فعال سازی \tanh	
	فضای خروجی رفتار راننده	
دستور یادگیری	انتشار به سمت عقب	
الگوریتم ژنتیک	جمعیت	50
	تولید	25
	انتخاب	Tournament
	احتمال وقوع تغییر	یکنواخت: 0.9
	احتمال وقوع جهش	0.02
	درستی تابع	خطای مجذور متوسط



شکل 7. انتشار امواج کینماتیک متوالی [Ahn, 2013]

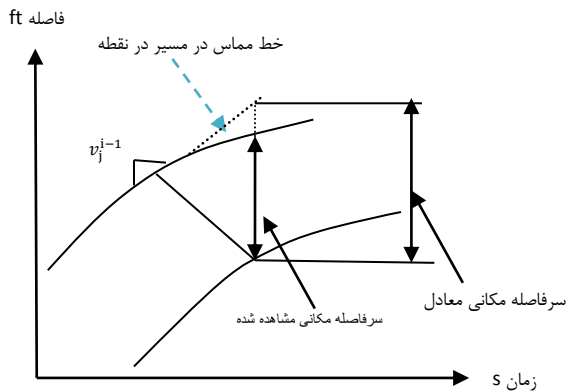
$$S_j = (X_j^{i-1} - X_j^i) + (t_j^i - t_j^{i-1})v_j^{i-1} = d_j^i + \tau_j^i v_j^{i-1} \quad (5)$$



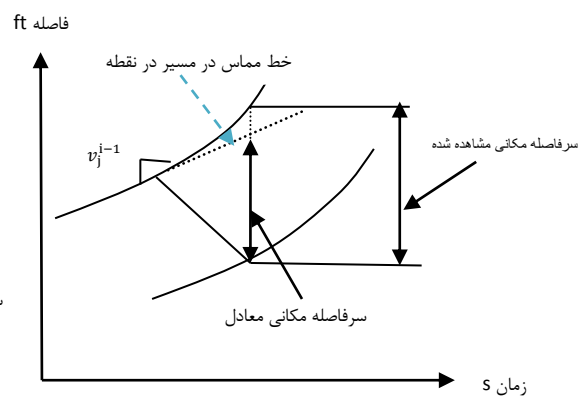
شکل 8. محاسبه سرفاصله مکانی معادل با استفاده از مدل تعقیب خودرو [Ahn, 2013]

بر مسیر وسیله پیشرو در نقطه j قرار می‌گیرد در نتیجه سرفاصله مکانی مشاهده شده در زمان انتشار موج j می‌باشند و در تئوری فعلی بر خلاف تئوری Newell در زمان پدیده هیستریسیس مقادیر d_j^i و τ_j^i با انتشار موج‌های متوالی تغییر می‌کنند که مطابق شکل (9-الف و ب) منجر به متفاوت شدن سرفاصله مکانی معادل و مشاهده شده در فاز افزایش و کاهش شتاب حرکت زنجیره در نمودار فاصله - زمان می‌شود. مطابق شکل (9-ب) در فاز کاهش شتاب در پدیده، مسیر عبوری در پایین خط مماس

در رابطه 5، X_j^{i-1} و X_j^i به ترتیب موقعیت‌های مکانی وسایل پیرو و پیشرو در زمان انتشار موج j می‌باشند و در تئوری فعلی بر خلاف تئوری Newell در زمان پدیده هیستریسیس مقادیر d_j^i و τ_j^i با انتشار موج‌های متوالی تغییر می‌کنند که مطابق شکل (9-الف و ب) منجر به متفاوت شدن سرفاصله مکانی معادل و مشاهده شده در فاز افزایش و کاهش شتاب حرکت زنجیره در نمودار فاصله - زمان می‌شود. مطابق شکل (9-ب) در فاز کاهش شتاب در پدیده، مسیر عبوری در پایین خط مماس



شکل 9. ب. فاز کاهش شتاب [Ahn, 2013]



شکل 9. الف. فاز افزایش شتاب [Ahn, 2013]

3- انتخاب ناحیه

به منظور تحلیل پدیده هیسترسیس جریان ترافیک در وضعیت پایدار و ناپایدار و مدل سازی شبکه عصبی از داده‌های عبوری متفاوتی در هر بخش استفاده شده است.

3-1- جریان ترافیک با سرعت موج ثابت

به منظور رفتارسنجی راننده در پدیده هیسترسیس در جریان پایدار از داده‌های جمع آوری شده مطالعات پیشین استفاده می‌شود:

داده‌های جمع آوری شده Treiterer, Mayer در سال 1974 از طریق عکس برداری هوایی فقط برای خط عبور وسط، Treiterer در سال 1969 برای دو خط عبور، Coifman سال 1996 مجموعه‌ای از 12 نمودار فاصله - زمان برای 12 موج ضربه I-680 در کالیفرنیا، Sugiyama و همکاران در سال 2004 در یک آزمایش تنظیم شده در یک جاده با قوس دایره‌ای تک خطه با 230 متر محیط در یک دشت، Xing, Koshi در سال 1995 مجموعه‌ای از داده‌ها در گلوگاهی در شمال ژاپن به وسیله فیلم برداری و NGSIM در سال 2006 از بزرگراه 101 لوس آنجلس به کالیفرنیا به وسیله فیلم برداری از خطوط عبوری 1، 2 و 3 از 7:50 تا 8:05 صبح جمع آوری شده‌اند [Treiterer, 1974].

3-2- الگوی شبکه عصبی مبتنی بر موج ثابت

در این آنالیز از داده‌های عبوری آزادراه I-80 مطابق شکل (10) در مدت زمان (4:00 تا 4:15 بعد از ظهر و 5:00 تا 5:15 بعد از ظهر) در سال 2005 به وسیله دوربین فیلم برداری جمع آوری شده است و سپس با استفاده از نرم افزار Trajectory Explorer داده‌های عبوری در NGSIM تحلیل شدند [NGSIM, 2006]. در سطح کلی نگر داده‌ها شامل نرخ جریان در آغاز و پایان پدیده استفاده و در سطح جزئی نگر سرعت وسیله نقلیه، سرفاصله زمانی، سرفاصله مکانی و شتاب وسیله نقلیه در مدت پدیده هیسترسیس اندازه گیری می‌گردد.

3-3- آشفتگی ترافیک مبتنی بر سرعت موج متغیر

داده‌های عبوری در جریان ترافیک ناپایدار شامل سرعت،

افزایش شتاب، سرفاصله زمانی و مکانی وسایل نقلیه پیشرو و پیرو می‌باشند که مطابق شکل (11) برای آزادراه I-80 مسیر عبور 5000 وسیله نقلیه در مدت زمان 45 دقیقه (4:00 تا 4:15 بعد از ظهر و 5:00 تا 5:30 بعد از ظهر) و برای آزادراه US-101 مطابق شکل 17 برای مدت 45 دقیقه (7:50 تا 8:35)

در سال 2005 در بازه زمانی 0.1 ثانیه جمع آوری شدند و شرایط ترافیک در مدت زمان مورد مطالعه در هر دو ناحیه مورد مطالعه دارای وضعیت‌های گذرا به ازدحام با آشفتگی‌های توقف^{۱۹} و پویا^{۲۰} به طور متوالی می‌باشند [Ahn, 2013].

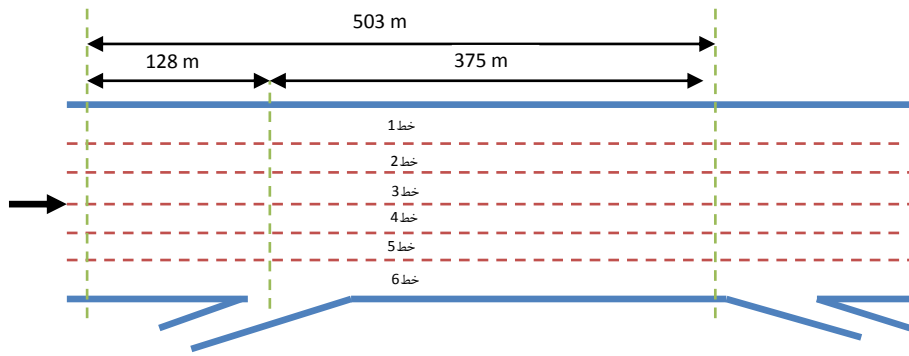
4- بحث

رفتارسنجی راننده در پدیده هیسترسیس در وضعیت‌های پایدار و ناپایدار به وسیله روش‌های تحلیلی در شرایط جریان ترافیک شناسایی و تحلیل می‌شود.

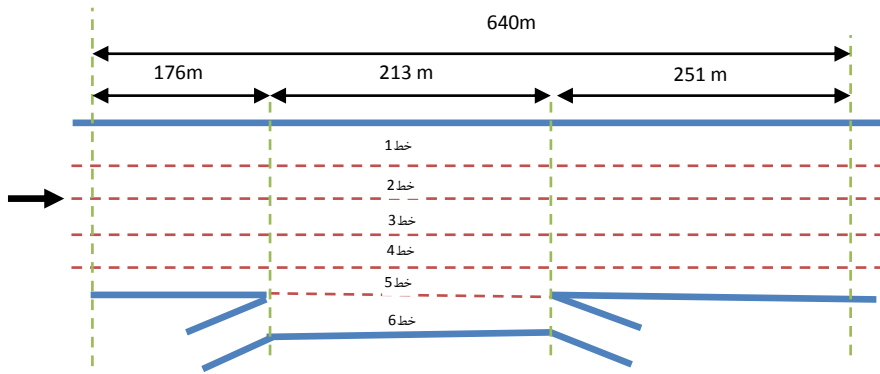
4-1- جریان ترافیک با سرعت موج ثابت

با تعریف ناحیه A در داده‌های عبوری زنجیر وسایل نقلیه و مقایسه با مدل تعقیب خودرو پی برده می‌شود که در فاز کاهش شتاب در هنگام نزدیک شدن به سوی آشفتگی، مطابق شکل (12- ب) چگالی افزایش و در نتیجه تا چگالی اشباع نرخ جریان کاهش و پس از خروج از آشفتگی، چگالی کم و نرخ جریان افزایش می‌یابد، اما در شکل (12- ب) در نرخ جریان‌های یکسان و معین، مشخص می‌کند که در هنگام افزایش شتاب مقدار چگالی بیشتر از مقدار آن در هنگام کاهش شتاب است در نتیجه مطابق شکل (12- الف) سرفاصله مکانی بین زنجیره در فاز افزایش شتاب کمتر از فاز کاهش شتاب می‌شود [Laval, 2010]. این مقایسه مطابق شکل (13) نشان می‌دهد که در فاز افزایش شتاب و خروج از آشفتگی، منحنی فاصله و زمان وسایل نقلیه بالاتر از مسیر تئوری مدل تعقیب خودرو Newell، فاصله وسیله پیرو به پیشرو، قرار می‌گیرد اما همگرایی به مسیر تئوری به قدرت خود باقی می‌ماند. بنابراین، زمانی که وسیله نقلیه راهنما افزایش شتاب می‌دهد، وسیله پیرو عکس العمل سریع‌تری نسبت به حالت تئوری مدل Newell خواهد داشت. در نتیجه سرعت موج در فاز افزایش شتاب بین وسایل نقلیه در زنجیر با سرعت بیشتر و زمان عکس العمل کمتری انتشار می‌یابد. این حالت نشان دهنده رفتار راننده پرخاشگر^{۲۱} است، که مطابق شکل (13- ب) منجر به تشکیل

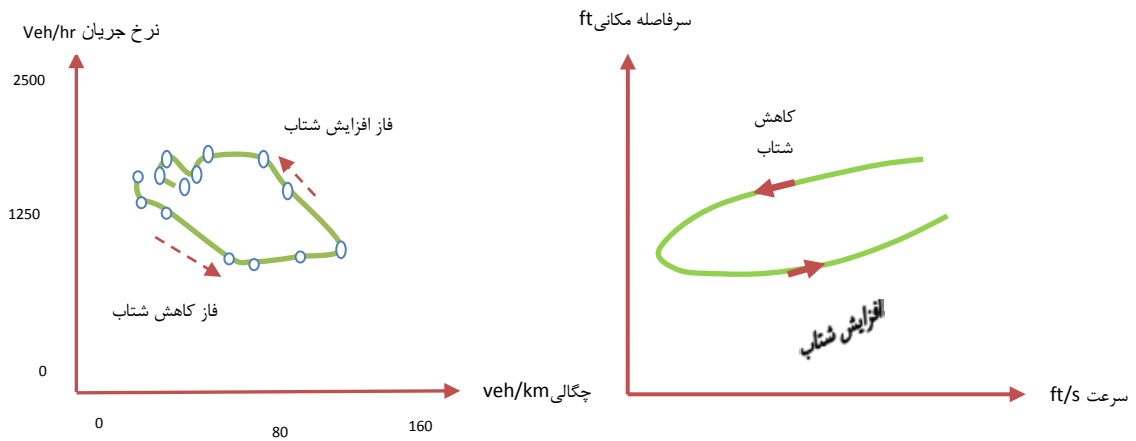
یک حلقه در نمودار نرخ جریان و چگالی در زنجیر با جهت پاد ساعتگرد یا حلقه‌ای منفی می‌گردد [Laval, 2010].



شکل 10. آزادراه I-80

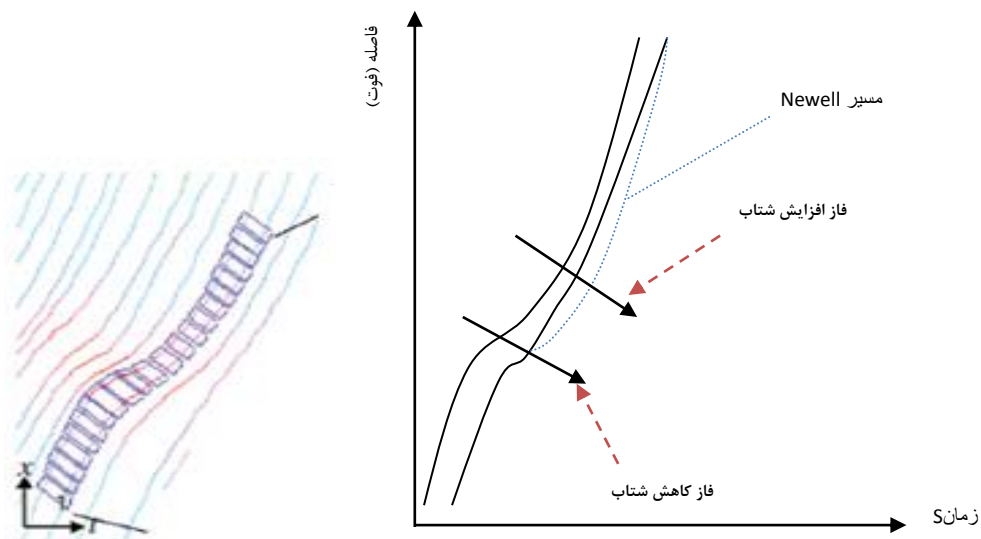


شکل 11. Us 101



شکل 12. ب. رفتار راننده پرخاشگر در نمودار سرعت و سرفاصله مکانی [Laval, 2010]

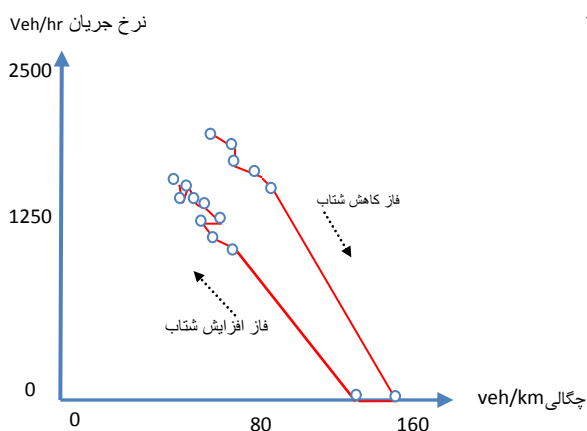
شکل 12. الف. رفتار راننده پرخاشگر در نمودار نرخ جریان و چگالی [Laval, 2010]



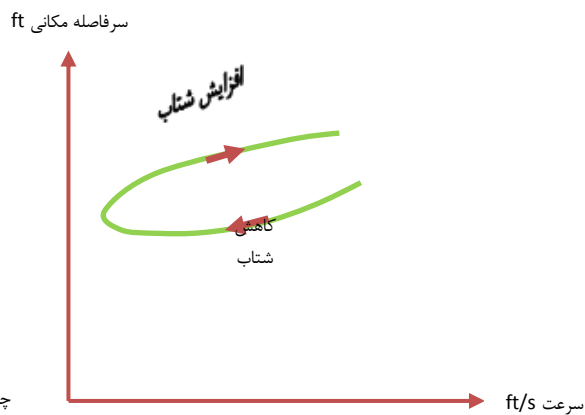
شکل 13. شناسایی رفتار راننده پرخاشگر با مدل تعقیب خودرو Newell در پدیده هیسترسیس [Laval, 2009]

تئوری مدل Newell خواهد داشت، در نتیجه سرعت موج در فاز افزایش شتاب بین وسایل نقلیه در زنجیر با سرعت کمتری توام با زمان عکس العمل بیشتری انتشار می‌یابد. این مقایسه نشان دهنده رفتار راننده محافظه کار (محتاط) است، که منجر به تشکیل حلقه در نمودار نرخ جریان و چگالی در زنجیر با جهت حرکت ساعتگرد و با علامت مثبت می‌شود [Laval, 2010].

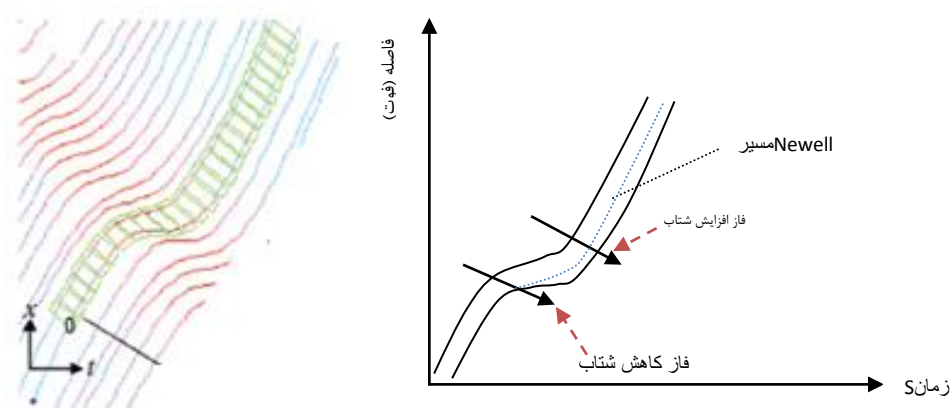
مطابق شکل (14-ب) در نرخ جریان‌های معین، مقدار چگالی در فاز افزایش شتاب بیشتر از مقدار آن در فاز کاهش شتاب به دست می‌آید در نتیجه مطابق شکل (14-ب) منجر به افزایش سرفاصله مکانی در فاز افزایش شتاب نسبت به فاز کاهش شتاب می‌شود. این مقایسه مطابق شکل (15) نشان می‌دهد که در فاز افزایش شتاب، خروج از آشفتگی، منحنی فاصله و زمان وسایل نقلیه پایین‌تر از منحنی تئوری مدل تعقیب خودرو Newell قرار می‌گیرد. زمانیکه وسیله پیشرو افزایش شتاب می‌دهد، وسیله پیرو عکس العمل کندتری نسبت به حالت



شکل 14. ب. رفتار راننده محتاط در نمودار سرعت و سرفاصله مکانی [Laval, 2009]



شکل 14. الف. رفتار راننده محتاط در نمودار نرخ جریان و چگالی [Laval, 2009]



شکل 15. شناسایی رفتار راننده پرخاشگر با مدل تعقیب خودرو Newell در پدیده هیسترسیس [Laval, 2009]

4-2- تحلیل حساسیت رفتارسنجی راننده مبتنی

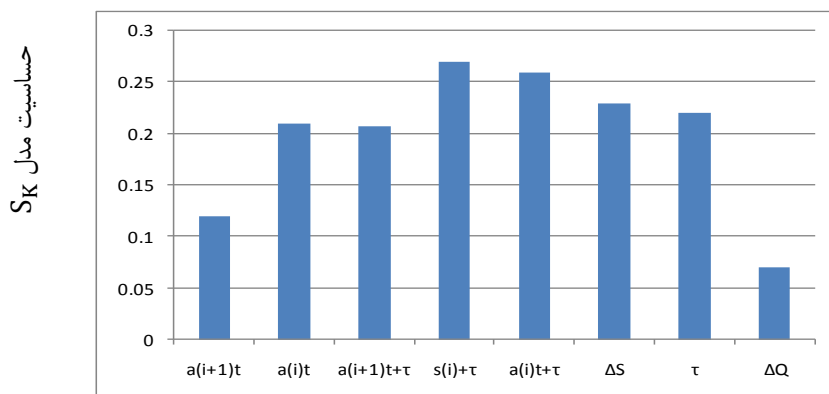
بر شبکه عصبی

نتایج بهینه سازی مدل شبکه عصبی در الگوریتم ژنتیک مطابق شکل (16) نشان می‌دهد که تغییرات در سر فاصله مکانی در پایان پدیده، $S_{t+\tau}^i$ ، و افزایش شتاب وسیله پیرو در پایان پدیده، $a_{t+\tau}^i$ حساس ترین مقادیر برای رفتار سنجی راننده در پدیده هیسترسیس می‌باشند [Foteini, 2012].

مطابق جدول (2)، نتایج آماری الگوی شبکه عصبی مقادیر میانگین مربعات خطا^{۲۳} در حدود 0.05 و میانگین قدر مطلق خطا^{۲۴} در حدود 0.12 حاصل می‌شوند که هر دو مقادیری نزدیک به صفر دارند که نشان دهنده قابل اعتماد بودن مدل در پیشگویی رفتارسنجی راننده می‌باشد.

جدول 2. ارزیابی آماری الگوی شبکه عصبی

میانگین	راننده پرخاشگر	راننده محتاط	
0.051	0.0518	0.051	میانگین مربعات خطا
0.122	0.122	0.122	میانگین قدرمطلق خطا
% 90	% 80	% 97	درصد درستی مدل



پارامترهای جزئی نگر

شکل 16. نتایج آنالیز حساسیت نسبت برای پارامترهای مختلف در مدل [Foteini, 2012]

4-2-1- تحلیل حساسیت مدل نسبت به اختلاف سر

فاصله مکانی قبل و بعد از پدیده

مطابق شکل (17) حساسیت مدل نسبت به رفتار راننده در اختلاف سرفاصله مکانی قبل و بعد از پدیده نشان می‌دهد که در اختلاف سرفاصله‌های مکانی منفی بیشتر، راننده پرخاشگر حساسیت بیشتری نسبت به مدل دارد بدلیل آنکه در مدت فاز کاهش شتاب در پدیده، راننده پرخاشگر سرفاصله مکانی خود را با وسیله پیشرو به اندازه‌ای کاهش می‌دهد که قدرت مانور راننده در فاز افزایش شتاب پس از پدیده کاهش می‌یابد و هر چه مقدار اختلاف با مقدار منفی کمتر و به سمت مقادیر مثبت و بیشتر میل کند، این حساسیت نیز کم‌تر می‌شود چرا که قدرت مانور راننده پرخاشگر بیشتر می‌شود و در مقادیر مثبت اختلاف سرفاصله‌های مکانی، حساسیت راننده محتاط نسبت به مدل بیشتر می‌شود به این علت که در فاز کاهش شتاب در مدت پدیده، راننده محتاط سرفاصله مکانی بیشتری نسبت به وسیله پیشرو دارد در نتیجه با حفظ فاصله ایمن، می‌تواند قدرت مانور بیشتری در فاز افزایش شتاب بعد از پدیده داشته باشد و با کاهش مقدار اختلاف سرفاصله مکانی مثبت، قدرت مانور راننده محتاط کمتر می‌شود چراکه قدرت مانور راننده محافظه کار در فاز افزایش شتاب کمتر می‌شود در نتیجه حساسیت راننده محتاط نسبت به مدل کمتر می‌شود [Foteini, 2012].

4-2-2- تحلیل حساسیت مدل نسبت به سر فاصله

مکانی بعد از پدیده

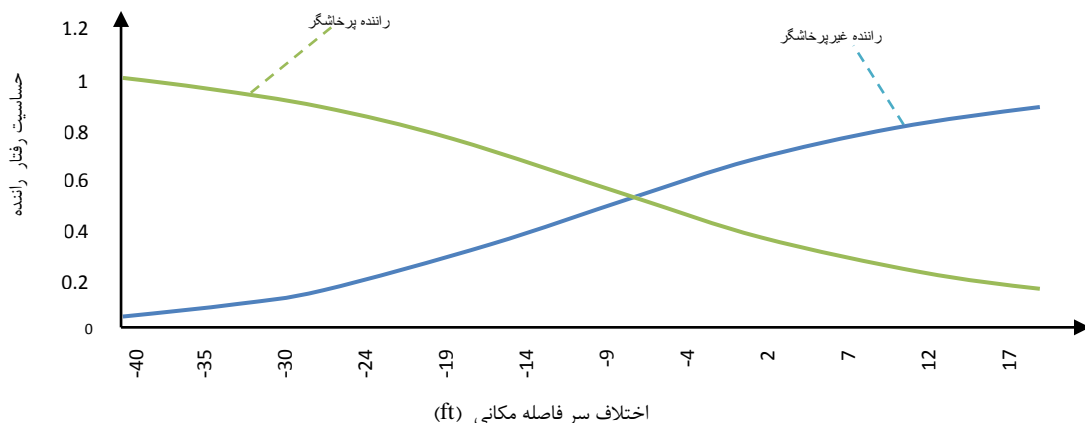
مطابق شکل (18) حساسیت رفتار راننده پرخاشگر و

محتاط، نسبت به سرفاصله مکانی بعد از پدیده نشان می‌دهد که در راننده پرخاشگر با کم شدن سرفاصله مکانی چون توانایی مانور راننده نسبت به سرفاصله مکانی زیاد، کم‌تر می‌شود در نتیجه رفتار راننده نسبت به مدل حساس‌تر و برای راننده محتاط با زیاد شدن سرفاصله مکانی چون توانایی قدرت مانور بیشتری نسبت به سرفاصله مکانی کم دارد پس حساسیت راننده نسبت به مدل بیشتر می‌شود [Foteini, 2012].

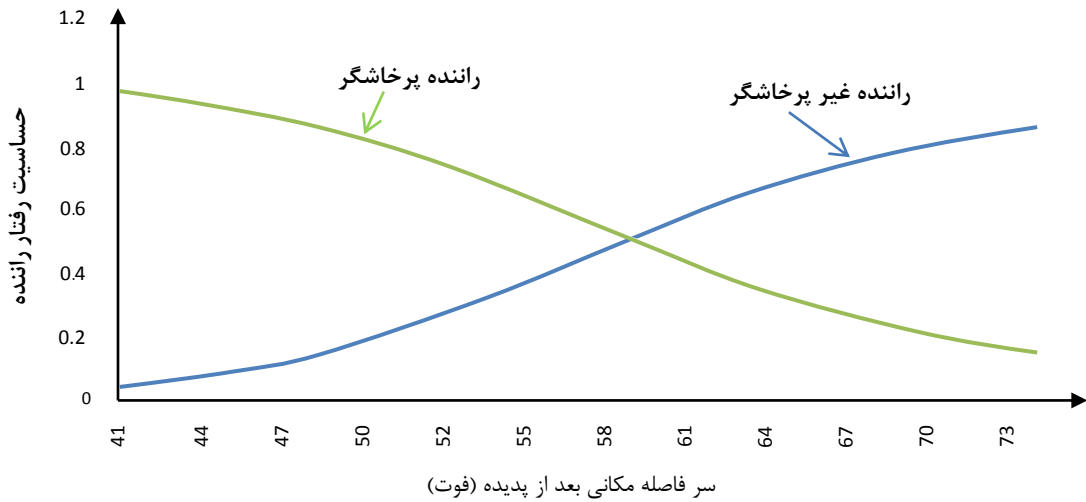
4-2-3- تحلیل حساسیت مدل نسبت به شتاب بعد از

پدیده

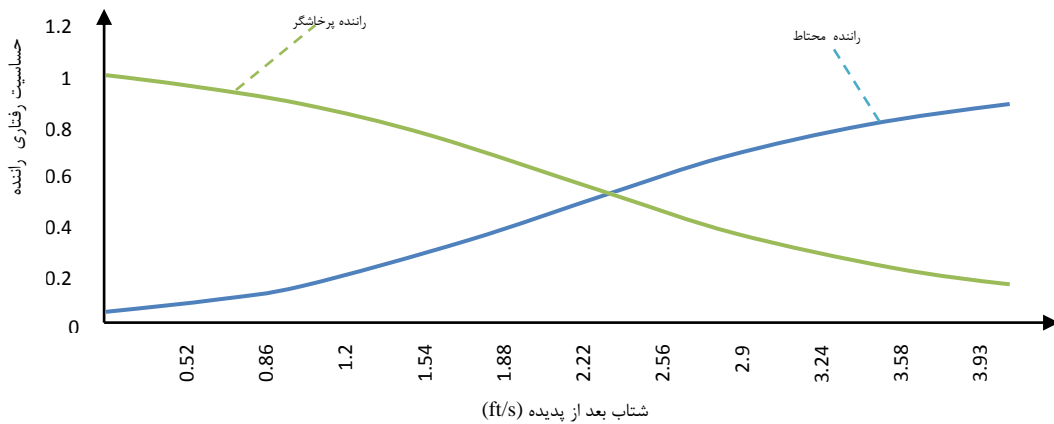
مطابق شکل (19) حساسیت رفتار راننده پرخاشگر و محتاط را نسبت به شتاب بعد از پدیده نشان می‌دهد که در راننده پرخاشگر با افزایش شتاب قدرت مانور راننده مذکور افزایش می‌یابد و براحتی قادر به افزایش شتاب می‌باشد و در نتیجه حساسیت رفتاری راننده پرخاشگر نسبت به مدل کم می‌شود اما راننده محتاط، با افزایش شتاب قدرت مانور راننده بیشتر شده و متعاقباً قادر به افزایش شتاب بیشتری با رعایت فاصله ایمن می‌باشد که منجر به افزایش حساسیت رفتاری راننده ترسو نسبت به مدل می‌گردد. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که راننده پرخاشگر پیرو در فاز افزایش شتاب در پایان پدیده با افزایش شتاب قدرت مانور کم‌تری نسبت به راننده محتاط دارد [Foteini, 2012].



شکل 17. حساسیت مدل نسبت به اختلاف سرفاصله مکانی قبل و بعد از پدیده [Foteini, 2012]



شکل 18. نمودار حساسیت مدل نسبت به سرفاصله مکانی بعد از پدیده [Foteini, 2012]



شکل 19. حساسیت مدل نسبت به شتاب بعد از پدیده [Foteini, 2012]

با جهت ساعتگرد، در فاز کاهش شتاب در نمودار سرعت و سرفاصله مکانی، منحنی سرفاصله مکانی معادل بالای منحنی سرفاصله مکانی واقعی و در فاز افزایش شتاب در منحنی سرفاصله مکانی معادل پایین منحنی سرفاصله مکانی واقعی قرار می‌گیرد. همچنین این نتیجه‌گیری را مطابق شکل (20-ب) می‌توان برای راننده پرخاشگر، حلقه هیسترسیس با جهت پادساعتگرد، تعمیم داد که افزایش شتاب در سرفاصله مکانی

3-4- جریان ترافیک با سرعت موج متغیر

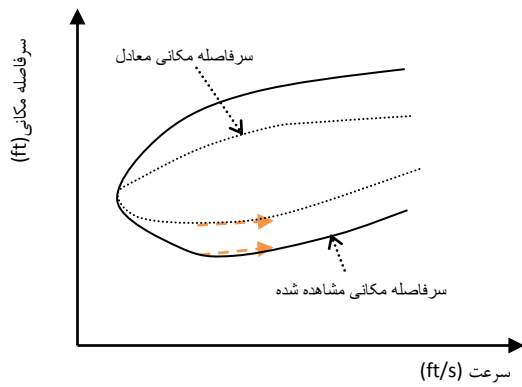
به منظور ارزیابی کیفی دامنه پدیده هیسترسیس در جریان ترافیک ناپایدار در سطح جزئی نگر، با توجه به تحلیل ارائه شده مطابق شکل‌های (20-الف و ب) می‌توان رابطه سرفاصله مکانی معادل و مشاهده شده را نسبت به رفتار راننده ارزیابی نمود [Ahn, 2013]. مطابق شکل (20-الف) راننده محتاط، حلقه هیسترسیس

کمتری ظاهر می‌شود [Ahn, 2013].

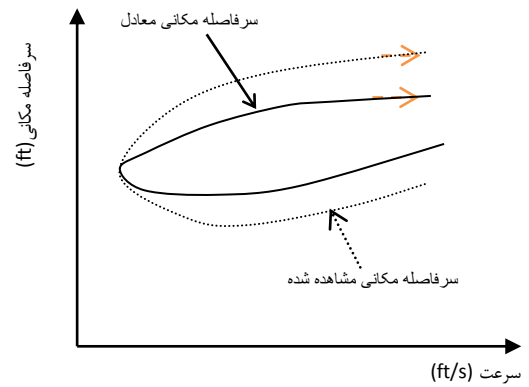
نشان می‌دهد. مطابق نمودارهای 21، 22، 23 نمونه‌هایی مبتنی بر سرفاصله مکانی مشاهده شده، تغییرات تدریجی حلقه هیسترسیس را با جهت ساعتگرد که بیانگر رفتار راننده محتاط بوده را نشان می‌دهند و نمونه‌های مبتنی بر سرفاصله مکانی معادل، در شکل (21 ج) تغییرات تدریجی حلقه هیسترسیس با جهت ساعتگرد و با دامنه‌ای کوچکتر و در شکل (22 ج) حلقه‌هایی نامشخص و حتی پادساعتگرد در شکل (23 ج) نمایان می‌گردد [Ahan, 2013].

4-3-1- نتایج تجربی تحلیل

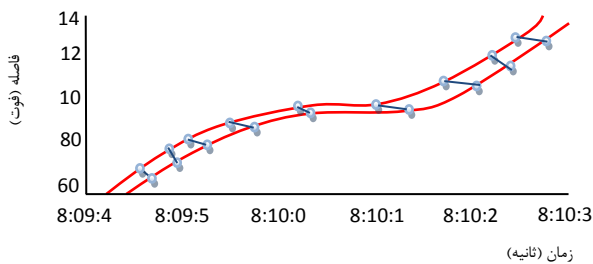
شکل (21 ج) آنالیز حرکتی 184 زوج وسیله نقلیه را در زمان‌های مختلف انتشار موج نشان می‌دهند که نمونه‌های مختلفی از هیسترسیس ترافیکی با رفتار راننده مشاهده می‌شود. نمودار 1 در هر یک از شکل‌ها مسیر حرکت زوج وسایل نقلیه با انتشار موج و نمودار 2 رابطه سرفاصله مکانی مشاهده شده و سرعت و نمودار 3 رابطه سرفاصله مکانی معادل و سرعت را



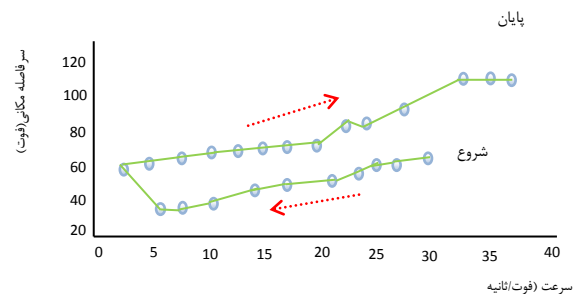
شکل 20. ب. راننده پرخاشگر [Ahan, 2013]



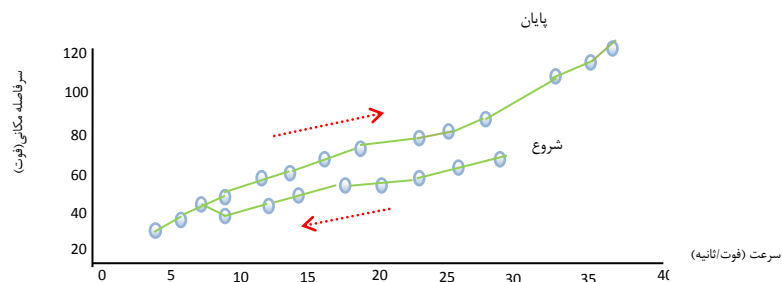
شکل 20. الف. راننده محتاط



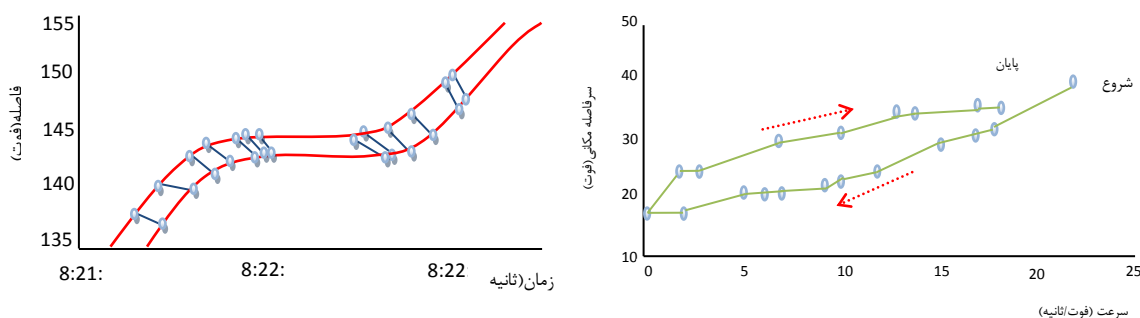
شکل 21. ب. مسیر حرکت زوج وسایل نقلیه با انتشار موج [Ahan, 2013]



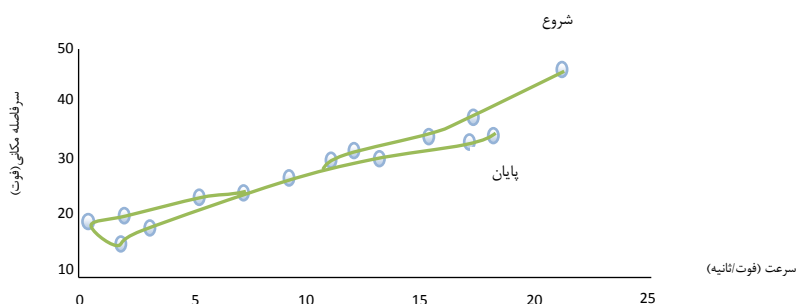
شکل 21. الف. رابطه سرفاصله مکانی مشاهده شده و سرعت



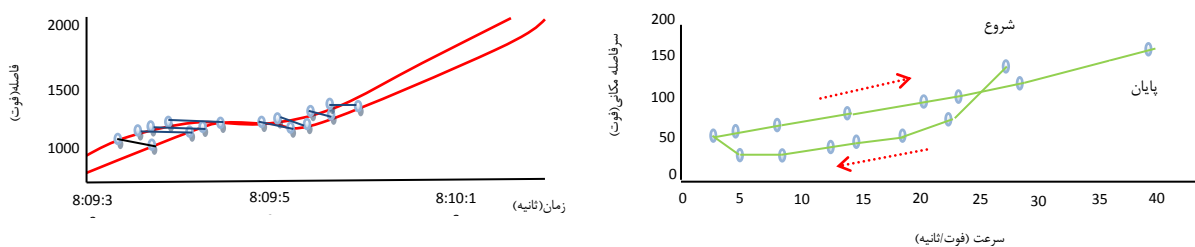
شکل 21. ج. رابطه سرفاصله مکانی معادل و سرعت [Ahan, 2013]



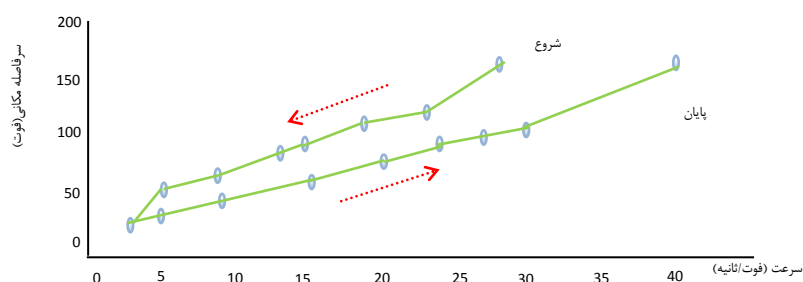
شکل 22. الف. رابطه سرفاصله مکانی مشاهده شده و سرعت شکل 22. الف. مسیر حرکت زوج وسایل نقلیه با انتشار موج [Ahan,2013]



شکل 22. ج. رابطه سرفاصله مکانی معادل و سرعت [Ahan,2013]



شکل 23. الف. رابطه سرفاصله مکانی مشاهده شده و سرعت شکل 23. ب. مسیر حرکت زوج وسایل نقلیه با انتشار موج [Ahan,2013]

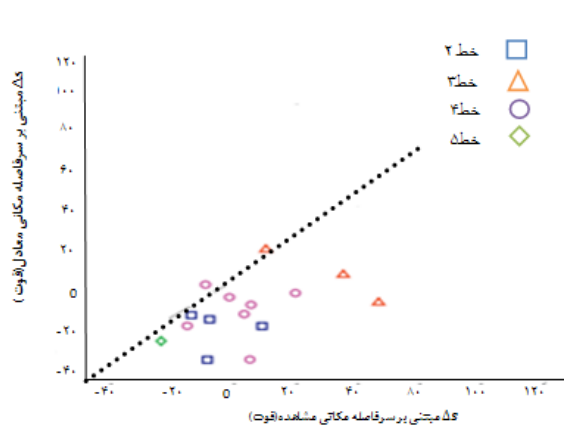


شکل 23. ج. رابطه سرفاصله مکانی معادل و سرعت [Ahan,2013]

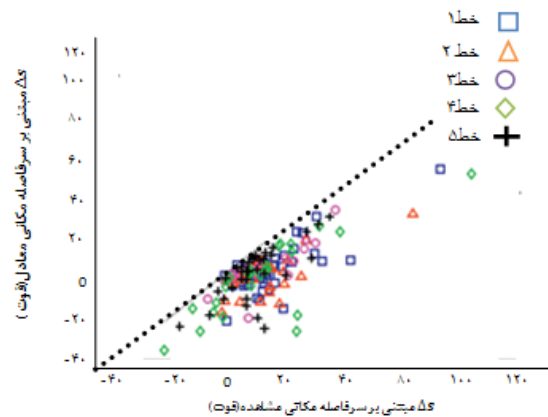
راننده پرخاشگر و مقادیر مثبت رفتار راننده محتاط را نشان می‌دهد. به طور تقریبی کلیه نقاط داده‌ای زیر خط 45 درجه قرار گرفته که نشان می‌دهد منحنی تغییرات سرفاصله مکانی مشاهده شده کمتر از منحنی سرفاصله مکانی معادل قرار گرفت که در نتیجه حلقه‌های هیسترسیس مثبت یا منفی با دامنه کمتری

مطابق شکل (24 الف. ج) با مقایسه Δs و اختلاف سرفاصله مکانی قبل و بعد از پدیده، مبتنی بر سرفاصله مکانی مشاهده شده با محدوده‌ای از 30- تا 100 فوت و سرفاصله مکانی معادل با محدوده‌ای از 40- تا 60 فوت برای هر دو ناحیه I-80 و US101 به دست می‌آید. مقادیر منفی Δs رفتار

نسبت به معادل تشکیل می‌گردد [Ahan, 2013].



شکل 24. ب. اختلاف سرفاصله مکانی معادل و مشاهده شده ناحیه 80-I [Ahan, 2013]



شکل 24. الف. اختلاف سرفاصله مکانی معادل و مشاهده شده ناحیه 101-us [Ahan, 2013]

5- نتیجه گیری

اندازه‌گیری شد و نشان داد که بیشترین درصد تراکم وسایل نقلیه در دو حالت مشاهده شده و متعادل با اختلاف سرفاصله‌های مکانی در نمودار ΔS در دو حالت مذکور به عنوان دامنه هیسترسیس در نظر گرفته می‌شود. تحلیل سرفاصله مکانی مشاهده شده نسبت به دامنه معادل هیسترسیس نشان داد زمانی که سرفاصله مکانی مشاهده شده مورد نظر باشد، بیشتر از 80 درصد وسایل نقلیه، پدیده هیسترسیس را با متوسط دامنه 18.7 فوت ارزیابی می‌دهند در مقایسه با زمانی که سرفاصله مکانی متعادل مورد نظر است، هیسترسیس فقط در حدود یک سوم موارد با دامنه‌ای کوچکتر در حدود 11.6 فوت نمایان می‌شود؛ در حالی که در تشکیل هیسترسیس معکوس رایج‌تر است. با استفاده از مدل سازی شبکه عصبی و بهینه سازی در الگوریتم ژنتیک داده‌های عبوری در سطح کلی نگر، اختلاف نرخ جریان، و جزئی نگر، سرفاصله مکانی و افزایش شتاب، آنالیز گردیدند. نتایج آنالیز حساسیت رفتار راننده در پدیده هیسترسیس ترافیکی در سطح جزئی نگر نشان می‌دهد که سرفاصله مکانی در پایان پدیده و افزایش شتاب در وسیله نقلیه پیرو در پایان پدیده بیشترین حساسیت را نسبت به سایر پارامترها در سطح جزئی نگر دارد. در مدل سازی تحلیل

در این مقاله پدیده هیسترسیس ترافیکی که به طور متداول در ترافیک آزادراه‌ها در شرایط ازدحام مشاهده می‌شود، نسبت به رفتار راننده پرخاشگر و محتاط بررسی شد و مشخص گردید که پدیده هیسترسیس ترافیکی در سطح کلی نگر به دلیل اختلاف در نرخ جریان و چگالی زنجیر وسایل نقلیه در فاز کاهش و افزایش شتاب به وجود نمی‌آید، بلکه عامل موثر در تشکیل حلقه‌های هیسترسیس ترافیکی، پاسخ‌های رفتاری رانندگان در زنجیر، نسبت به قبل و بعد از پدیده می‌باشد که منجر به تشکیل دو شاخه با موقعیت‌های نسبی وابسته به پرخاشگر و محتاط بودن رفتار راننده در مقایسه با مدل تعقیب خودرو Newell می‌شود. دامنه حلقه‌های پدیده هیسترسیس ترافیکی در شرایط وضعیت غیر ثابت ترافیکی نسبت به مدل تعقیب خودرو Newell در نمودارهای سرفاصله مکانی و سرعت در زنجیر تحلیل گردید و نتیجه این که برای شرح انتشار موج در وضعیت ترافیک موج با سرعت متغیر که در فاز کاهش و افزایش شتاب پدیدار می‌شود، سرفاصله مکانی معادل نسبت به مشاهده شده، اندازه‌گیری گردید. همچنین دامنه هیسترسیس به عنوان متوسط اختلاف سرفاصله مکانی بین شاخه‌های افزایش و کاهش شتاب در حالت مشهود و متعادل

Roman 10).

- Zheng, Z., Ahn, S., Chen, D., Laval, J., (2011), Applications of wavelet transform for analysis of freeway traffic: bottlenecks, transient traffic, and traffic oscillations. *Transportation Research Part B* 45 (2), pp.372–384.
- Zheng, Z., Ahn, S., Chen, D., Laval, J.A., (2011), Freeway traffic oscillations: microscopic analysis of formations and propagations using wavelet transform. *The 19th International Symposium on Transportation and Traffic flow Theory*, pp.717–731.
- Ahn, S., Cassidy, M., (2006), Freeway traffic oscillations and vehicle lane-change manoeuvres. In: Heydecker, B., Bell, M., Allsop, R. (Eds.), *Forthcoming in 17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. Elsevier, NewYork.
- Laval, J. A., Daganzo, C. F., (2006), Lane-changing in traffic streams. *Transportation Research Part B* 40 (3), pp.251–264.
- Koshi, M., Kuwahara, M., Akahane, H., (1992), Capacity of sags and tunnels in Japanese motorways. *ITE Journal* (May issue), pp.17–22.
- Laval, J. A., (2006), stochastic processes of moving bottlenecks: Approximate formulas for highway capacity. *Transportation Research Record* 1988, pp.86–91.
- Newell, G.F., (1962), Theories of instability in dense highway traffic. *Journal of the Operations Research Society of Japan* 5, pp. 9–54.
- Edie, L.C., Baverez, E., (1967), Generation and propagation of stop–start traffic waves. In: Edie, L.C. (Ed.), *Proceedings of the 3rd International Symposium on the Theory of Traffic Flow*. Elsevier, New York, pp. 26–37.
- Treiterer, J., Myers, J.A., (1974), the hysteresis phenomenon in traffic flow. In: Buckley D.J. (Ed.), *Proceedings of the 6th Symposium on Transportation and Traffic Flow Theory*, pp. 213–219.
- Laval A. J. (2009), Hysteresis in the fundamental diagram: impact of measurement methods, 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Zhang, H. M. A mathematical theory of traffic hysteresis. *Transportation Research Part B*, Vol. 33, 1999, pp. 1-23.

حساسیت رفتار راننده نشان می‌دهد که راننده پرخاشگر سرفاصله مکانی و شتاب بعد از پدیده کمتر داشته است، چرا که قابلیت تحرک کمتری نسبت به راننده پیشرو دارد که منجر به حساسیت بیشتری نسبت به راننده ترسو می‌گردد؛ در حالی که راننده محافظه کار سرفاصله مکانی و شتاب بیشتر بعد از پدیده داشته است، چرا که قابلیت تحرک بیشتری نسبت به راننده پیشرو دارد و بنابراین حساسیت بیشتری نسبت به راننده پرخاشگر دارد.

6- پی‌نوشت‌ها

- 1- Stop and Go
- 2- Moving Bottleneck
- 3- Newell
- 4- Platoon
- 5- Disturbance
- 6- Relaxation dominate
- 7- Anticipation dominate
- 8- Anticipation-Relaxation balanced
- 9- Gap-time
- 10-Gap-distance
- 11-Coasting
- 12-Stationary
- 13-Homogeneous
- 14-Scatter-free
- 15-Lane change
- 16-Gap
- 17-Strong
- 18-Weak Level
- 19-Negligible Level
- 20-Negative Level
- 21-Multi-Layer Perception (MLP)
- 22-Free-Forward
- 23-Cruising
- 24-Stop
- 25-Go
- 26-Aggressive
- 27-Timid
- 28-Mean Squared Error
- 29-Mean Absolute Error

7- مراجع

- Bilbao-Ubillos, J., (2008), the costs of urban congestion: estimation of welfare losses arising from congestion on cross-town link roads. *Transportation Research Part a* 42 (8), pp. 1098–11082- Authors of the paper, Date, Title of the paper. Conference Title, Pages. (Times New

- Transportation Research: Differences, Similarities and Some Insights. Submitted to Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 19, No. 3, pp. 387-399.
- Principe C. J., R. N. Euliano, and W. C. (1990), Lefebvre. Neural and Adaptive Systems – Fundamentals through Simulations. John Wiley & Sons, Inc.
 - Hornik K. M., M. Stinchcombe, and H. White, (1990), Universal Approximation of an Unknown Mapping and its Derivatives using Multilayer Feed forward Networks. Neural Networks, Vol. 3, pp. 551-560.
 - Vlahogianni, E. I., M. G. Karlaftis, and J. C. Golias, (2005), Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 13, No. 3, pp. 211-234.
 - Zobel C. W. and D. F. Cook. (2011), Evaluation of neural network variable influence measures for process control. Engineering Applications of Artificial Intelligence. Vol. 24, pp. 803-812.
 - Soyoung Ahn, Sravani Vadlamani, Jorge Laval (2011), A method to account for non-steady state conditions in measuring traffic hysteresis. Transportation Research Part C.
 - Trajectory Explorer. Accessed at: <http://trafficlab.ce.gatech.edu/tools.html>.
 - Ahn, Soyoung, Sravani Vadlamani, and Jorge Laval. "A method to account for non-steady state conditions in measuring traffic hysteresis." Transportation Research Part C: Emerging Technologies 34 (2013): 138-147.
 - Foteini P. Orfanou ,et al. Identifying features of traffic hysteresis on freeways. TRB 2012 Annual Meeting.
 - Zhang, H.M., Kim, T., (2005), A car-following theory for multiphase vehicular traffic flow. Transportation Research Part B 39 (5), pp. 385–399.
 - Yeo, H., Skabardonis, A., (2009), Understanding stop-and-go traffic in view of asymmetric traffic theory. In: Lam, W.H.K., Wong, S.C., Lo, H.K. (Eds.), Proceedings of the 18th Symposium on Transportation and Traffic Flow Theory, pp. 99–115.
 - Cassidy, M.J., 1998. Vicariate relations in highway traffic. Transportation Research Part B 32 (1), pp. 49–59.
 - Laval, J.A., (2005), Linking synchronized flow and kinematic wave theory. In: Schadschneider, A., Poschel, T., Kuhne, R., Schreckenberg, M., Wolf, D. (Eds.), Traffic and Granular Flow '05. Springer, pp. 521–526.
 - Newell, G.F., 2002. A simplified car-following theory: a lower order model. Transportation Research Part B 36 (3), 195–205.
 - Laval A. J. Hysteresis in Traffic Flow revisited: An improved measurement method, Transportation Research, Part B. 2010, Vol. 45, No 2, pp. 385–391.
 - Coifman, B., 1996. Time space diagrams for thirteen shock waves. Tech. Rep., University of California – PATH. <<http://www.ceg.eng.ohio-state.edu/coifman/documents/TSW.pdf>>.
 - Xing, J., Koshi, and M., (1995), A study on the bottlenecked phenomena and car-following behavior on sags of motorways. In: Japanese Society of Civil Engineers, Vol. IV-26, pp. 45–55.
 - Sugiyama, Y., Fukui, M., Kikuchi, M., Hasebe, K., Nakayama, A., Nishinari, K., Tadaki, S., Yukawa, S., 2004. Traffic jams without bottlenecks experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam. New Journal of Physics 10 (033001).
 - NGSIM, (2006), Next generation simulation. <<http://ngsim.fhwa.dot.gov/>>.
 - Karlaftis, M. G., and E. I. Vlahogianni. (2011), Statistics versus Neural Networks in

-
- 1 Moving Bottleneck
 - 2 Relaxation dominate
 - 3 Anticipation dominate
 - 4 Anticipation-Relaxation balanced
 - 5 Gap-time
 - 6 Gap-distance
 - 7-Coasting
 - 8 -Homogeneous
 - 9 -Scatter-free
 - 10 -Lane change
 - 11 -Gap
 - 12 -strong
 - 13 -weak level
 - 14 -negligible level
 - 15 -negative level
 - 16 -Multi-Layer Perceptron(MLP)
 - 17 -Free-Forward
 - 18 -Cruising
 - 19 -Stop
 - 20 -Go
 - 21 - Aggressive
 - 22 -Timid
 - 23 mean squared error
 - 24 mean absolute error