

آنالیز زمان کاهش شتاب منتهی به ازدحام مبتنی بر الگوهای رفتاری راننده

علی عبدی*^۱، ارسلان صالحی کلام^۲، علی رضا امین راد^۳

- ۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین
۲- دانشجو دکترای عمران راه ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین
۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران و محیط زیست

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۳/۱۹]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۶/۲۵]

aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

چکیده - افت سرعت وسیله نقلیه پیشرو در زنجیره وسایل نقلیه منجر به انتشار موج حرکت- توقف از پایین دست به سمت جریان بالادست می شود. رانندگان وسایل نقلیه پیرو در زنجیره وسایل نقلیه بر اساس رفتار ذاتی شان، عکس العمل های متفاوتی نسبت به موج دریافتی نشان می دهند. در این مقاله، الگوهای رفتاری راننده پیرو مبتنی بر تئوری نامتقارن رفتاری و پدیده هیستریسیس ترافیک در داده های عبوری NGSIM دسته بندی و سپس با توجه به مدل تعقیب خودرو Newell پارامترهای τ و δ متعلق به آخرین موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام و موج توقف منتهی به ازدحام محاسبه می شود. زمان بین دو فاز توقف و ازدحام بر مبنای فزیندی مسیر حرکت وسیله نقلیه پیرو با شناسایی نمودن زمان بین دو فاز دریافت آخرین موج کاهش شتاب تا زمان ورود به توقف، نقاط دریافت موج توقف منتهی به ازدحام و زمان موج ورود به ازدحام شناسایی می شوند. الگوهای شبکه عصبی ایجاد می شوند تا تاثیر پارامترهای موج کاهش شتاب، موج توقف، زمان بین فاز کاهش شتاب- توقف و فاز توقف- ازدحام بر مبنای الگوهای رفتاری بر زمان بین دو فاز کاهش شتاب منتهی به ازدحام آنالیز شوند. نتایج آنالیز نشان می دهد که بر اساس هر سه الگوی رفتاری، پارامتر موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام و همچنین زمان فاز توقف منتهی به ازدحام موثرترین پارامتر بر زمان بین دو فاز است. بر مبنای الگوی عملکرد زیاد- محتاط افزایش موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام منجر به کاهش زمان بین دو فاز و الگوی عملکرد کم- محتاط منجر به افزایش زمان بین دو فاز و مبتنی بر الگوی رفتاری عملکرد پیوسته افزایشی- محتاط منجر به افزایش زمان بین دو فاز می شود. همچنین نتایج آنالیز فاز زمان توقف منتهی به ازدحام نشان می دهد که بر اساس هر سه الگوی رفتاری، افزایش پارامتر فاز توقف منتهی به ازدحام منجر به افزایش زمان بین دو فاز می شود.

واژگان کلیدی: فاز کاهش شتاب منتهی به ازدحام، ترافیک حرکت- توقف، داده های عبوری NGSIM، الگوهای رفتاری، شبکه عصبی.

۱- مقدمه

منجر به تشکیل و انتشار موج آشفتگی در جریان ترافیک می شود [۴، ۵، ۶، ۷، ۸]. آشفتگی جریان ترافیک منجر به انتشار امواج کینماتیکی از سمت جریان پایین دست به جریان بالادست می شود که به سبب مدل تعقیب خودرو وسیله نقلیه پیرو و یا مانورهای تغییر خط در زنجیره وسایل نقلیه ایجاد و رشد می کند [۹، ۱۰]. به سبب این ویژگی های متنوع، مدل نمودن ترافیک حرکت- توقف به منظور درک نمودن شکل و

ترافیک حرکت- توقف که در ترافیک ازدحام شده مشاهده می شود، معمولاً به دلیل حجم ترافیک زیاد ناشی از قفل شدن خط عبوری، مانورهای تغییر خط، افت سرعت وسیله نقلیه پیشرو تشکیل و منجر به آثار منفی همچون تأخیر در سفر و اتلاف زیاد انرژی و خطرات ایمنی می شود [۱، ۲، ۳]. مانورهای تغییر خط و گلوگاه های ترافیکی در حال حرکت

آزاد فاز بندی می‌شود [۱۵]. تئوری نامتقارن پیشنهاد شده توانایی توصیف انتقال بین فازها و تعادل فازهای ترافیک را در ناحیه بین دو منحنی افزایش و کاهش شتاب و همچنین پتانسیل توضیح دادن پدیده‌های پیچیده ترافیکی، خطاهای عملکردی و پیش‌بینی، و حلقه عمر ترافیک حرکت-توقف، ایجاد، رشد و ناپدید شدن موج در زنجیره وسایل نقلیه، را به سبب رفتار راننده در وضعیت ترافیک ازدحام را دارد. بر مبنای تئوری پیشنهاد شده خطاهای عملکردی راننده پیرو در فاز کاهش و افزایش شتاب به دو مورد عملکرد کمتر و زیادتر از میزان متعادل، رفتار راننده نیویل، تقسیم بندی می‌شود که به مقدار تغییر سرعت وسیله پیرو در فاز افزایش و کاهش شتاب بستگی دارند. لاوال و لکرک شکل‌گیری و انتشار آشفتگی ترافیک در زنجیره وسایل نقلیه را به سبب حالات رفتاری رانندگان، محتاط و یا پرخاشگر بودن راننده، فرض نمودند و توانستند ویژگی‌های آشفتگی جریان ترافیک، رشد دامنه و بازه‌های زمانی^۲، را بر مبنای رفتار رانندگان و مدل تعقیب خودرو نیویل شبیه‌سازی کنند [۱۶]. مقایسه رفتار زنجیره وسایل نقلیه در هنگام خروج از آشفتگی ترافیک با رفتار زنجیره وسایل نقلیه در حال نزدیک شدن به آشفتگی ترافیک بیانگر تأخیر در بازیابی سرعت در زمان خروج از آشفتگی ترافیک است که منجر به تشکیل پدیده هیستریسیس در جریان ترافیک حرکت-توقف و نامتقارنی سرفاصله مکانی در فاز کاهش و افزایش شتاب در یک سرعت معین می‌شود [۱۷]. تعداد زیادی از پژوهشگران علت تشکیل پدیده هیستریسیس را بر اساس تئوری نامتقارنی در فاز افزایش و کاهش شتاب معرفی نمودند؛ اما این تئوری به طور کامل قابلیت تحلیل پدیده هیستریسیس را ندارند و نیاز به توسعه بیشتری دارد [۱۸، ۱۹، ۲۰]. تریر و میر برای نخستین بار با کمک عکس برداری هوایی رفتار زنجیره وسایل نقلیه را در ورود و خروج از آشفتگی ترافیکی مطالعه نمودند که منجر به رابطه کمیت‌های متوسط سرعت و چگالی و رابطه نرخ جریان-چگالی در فاز افزایش و کاهش شد. زمانی که یک زنجیر^۳ از وسایل نقلیه به سمت آشفتگی^۱ ترافیکی نزدیک

انتشار ترافیک اشباع و تخمین زدن آثار ازدحام مهم می‌شود. اما به سبب نبود داده‌های عبوری ترافیک، شناسایی ویژگی‌های ترافیک حرکت-توقف، به منظور مدل‌سازی نمودن ترافیک در نمودار فاصله-زمان مبهم است. نخستین بار، نیویل رفتار نامتقارن رانندگان را بر مبنای دو منحنی مجزا در فاز افزایش و کاهش شتاب در نمودار سرفاصله مکانی-سرعت معرفی نمود که مطابق تئوری پیشنهاد شده سرفاصله مکانی در فاز افزایش شتاب بزرگتر از فاز کاهش شتاب است [۱۱]. همچنین نیویل با موازی در نظر گرفتن مسیر وسیله نقلیه پیرو و پیشرو و مشابه در نظر گرفتن سرعت موج ترافیک حرکت-توقف برای هر دو فاز کاهش و افزایش شتاب موج حرکت-توقف را توصیف نمود، اما پژوهش‌های او نتوانست حلقه عمر آشفتگی ترافیک، ایجاد و رشد موج در زنجیره وسایل نقلیه، را توضیح دهد [۱۲]. بر مبنای مدل تعقیب خودرو نیویل، زمانی که وسیله نقلیه پیشرو سرعتش را از V به V' تغییر می‌دهد، موج آشفتگی با سرعت $\frac{d^i}{dt}$ از جریان پایین دست به جریان بالادست انتقال می‌یابد که منجر به افزایش و یا کاهش شتاب وسیله نقلیه پیرو می‌شود. کستیلو با موازی در نظر گرفتن مسیر وسایل نقلیه و مشابه بودن سرعت امواج حرکت-توقف، حلقه عمر امواج حرکت-توقف را در دوره‌های فشرده ترافیکی آنالیز نمود. پژوهش‌های وی نشان می‌دهد که آشفتگی ترافیکی هماهنگ با فشرده‌گی جریان ترافیک رشد و یا تأخیر خواهد داشت؛ به عبارت دیگر فشرده بودن ترافیک منجر به رشد آشفتگی جریان ترافیک می‌شود، در غیر این صورت منجر به تأخیر موج حرکت-توقف می‌شود [۱۳]. ژانگ و کیم با غیرموازی در نظر گرفتن مسیر وسایل نقلیه و با استفاده از بازه زمانی پایدار^۱ و با فرض تغییر بازه زمانی برای هر راننده به صورت کاملاً پایدار منجر به محاسبه امواج با سرعت‌های متفاوت برای فاز افزایش و کاهش شتاب شد [۱۴]. یئو و اسکابریان بر اساس آنالیز داده‌های عبوری NGSIM تئوری نامتقارن رفتاری ارائه نمودند که بر مبنای آن جریان ترافیک به پنج وضعیت متفاوت، فاز افزایش شتاب، فاز کاهش شتاب، فاز کرانه‌ای، ثابت، جریان

^۲ Amplitude growth and periods

^۳ Platoon

^۱ Stochastic gap time

زمانی که زنجیره وسایل نقلیه از آشفتگی ترافیک خارج می‌شوند گسترش تدریجی نمودار سرعت-سرفاصله مکانی را اندازه‌گیری نمودند و پی بردند که پدیده هیسترسیس با دامنه‌ای کوچک‌تری نسبت به از آنچه که تاکنون ارائه شده است، ارائه می‌شود. آن‌ها در پژوهش‌های خود به جای در نظر گرفتن سرفاصله مکانی مشاهده شده، بر اساس تئوری موج کینماتیکی سرفاصله مکانی معادل را در نظر گرفتند که از نمودار مثلثی نرخ جریان-چگالی حاصل می‌شود [۲۵]. چن و همکاران مدل نامتقارن رفتاری بر مبنای داده‌های عبوری NGSIM ارائه نمودند که توانایی دوباره ایجاد نمودن شکل و انتشار امواج حرکت-توقف را در ازدحام ترافیک دارد. نتایج آماری پارامترهای مدل آشکار نمود که آشفتگی ترافیک راننده وابسته با رفتار راننده است و بین رفتار راننده قبل و در مدت آشفتگی ارتباطی وجود دارد که این ارتباط باید در نظر گرفته شود [۲۶]. چن و همکاران پدیده هیسترسیس را بر مبنای مدل نامتقارن رفتاری آنالیز نمودند و مشخص شد که نوع پدیده هیسترسیس وابسته به رفتار راننده در مواجه شدن با آشفتگی ترافیکی است و رفتار راننده مستقل از موقعیتش در آشفتگی ترافیکی است. همچنین، آنها نشان دادند که مراحل متفاوت آشفتگی ترافیک شامل رشد^{۱۰} و توسعه^{۱۱}، با الگوهای متفاوت پدیده هیسترسیس و ویژگی‌های رفتاری راننده وابسته است [۲۷]. ارفانو و همکاران پژوهش‌های گذشته را از طریق شناسایی پدیده هیسترسیس با استفاده از داده‌های عبوری NGSIM گسترش دادند^{۱۲}. آنها با دسته‌بندی نمودن پدیده هیسترسیس در آشفتگی ترافیک بر مبنای جنبه رفتاری راننده وسیله نقلیه، ویژگی‌های پدیده هیسترسیس را با استفاده از نرم‌افزار Trajectory Explorer و الگوی شبکه عصبی در سطح جزئی و کلی نگر آنالیز کردند. نتایج آنالیز الگو شبکه عصبی نشان می‌دهد که تغییرات در دو پارامتر سرفاصله مکانی و شتاب در پایان پدیده، به عنوان موثرترین پارامترها بر مدل الگوی شبکه عصبی است [۲۸، ۲۹]. بر اساس نتایج این مقاله،

می‌شوند شرایط غالب قبل و بعد از آشفتگی بلافاصله دوباره بازیابی نمی‌شوند که این تأخیر در بازیابی دوباره سرعت در زمان خروج زنجیر از آشفتگی منجر به تشکیل حلقه‌های هیسترسیس ترافیک می‌شوند [۲۱]. ژانگ به کمک روابط ریاضی، هیسترسیس 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 رابطه بین سرعت-تمرکز راننده به سه ناحیه آسایش^۲ در فاز افزایش سرعت، ناحیه پیش‌بینی^۳ در فاز کاهش سرعت، ناحیه تعادلی بین پیش‌بینی و آسایش^۴ بین دو حالت قبل تقسیم بندی می‌شود [۲۲]. ژانگ و کیم با کاربرد تئوری جدید برای مدل وسیله نقلیه دنباله‌رو، مقدار جدیدی برای سرفاصله زمانی^۵ به صورت تابعی از سرفاصله مکانی^۶ و فاز ترافیکی که شامل افزایش و کاهش شتاب و شرایط کرانه‌ای^۷ می‌شود را معرفی نمود [۲۳]. پژوهش‌های لاوال نشان می‌دهد که تخمین دامنه پدیده هیسترسیس به وسیله سایر پژوهشگران گذشته مبتنی بر اندازه‌گیری در شرایط ناپایدار است که منجر به خطای اندازه‌گیری می‌شود. وی با استفاده از داده‌های عبوری NGSIM و بر مبنای مشاهده Edi در نمودار نرخ جریان-چگالی، دامنه پدیده هیسترسیس را در شرایط ترافیک پایدار و در یک چگالی معین به چهار سطح: قوی، ضعیف، جزئی و منفی تقسیم‌بندی نمود. همچنین پژوهش‌های وی نشان می‌دهد که رفتار رانندگی متفاوت در فاز کاهش و افزایش شتاب در نمودار نرخ جریان و چگالی منجر به تشکیل حلقه‌های متفاوت می‌شود که بیانگر رفتار راننده محتاط^۸، حلقه ساعتگرد در نمودار سرعت-سرفاصله مکانی، و رفتار راننده پرخاشگر^۹، حلقه پادساعتگرد در نمودار سرعت-سرفاصله مکانی، است [۲۴]. آهان و همکاران با در نظر گرفتن موج متغیر، در

- 1 Disturbance
- 2 Relaxation dominate
- 3 Anticipation dominate
- 4 Anticipation-Relaxation balanced
- 5 Gap-time
- 6 Gap-distance
- 7-Coasting
- 8 Timid driver
- 9 Aggressive driver

10 Growth

11 Fully-developed

12 Extend

۲-۲: فازبندی مسیر عبوری

مطابق شکل (۱)، مسیر حرکت وسیله نقلیه پیرو با توجه به تئوری نامتقارن رفتاری و HCM-2010 به فازهای: انتشار آخرین موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام، فاز ورود به توقف و فاز ازدحام تقسیم بندی می‌شود. به منظور مشخص نمودن شروع فاز کاهش شتاب منتهی به ازدحام، شتاب وسیله نقلیه پیرو و پیشرو در داده‌های عبوری باید کوچکتر از ۱- باشد تا از فاز کرانه‌ای قبل از کاهش شتاب خارج شود و سرعت وسیله نقلیه پیرو و پیشرو شروع به افت سرعت کند تا به سرعت صفر برسند.

شکل ۱. فازبندی مسیر حرکت

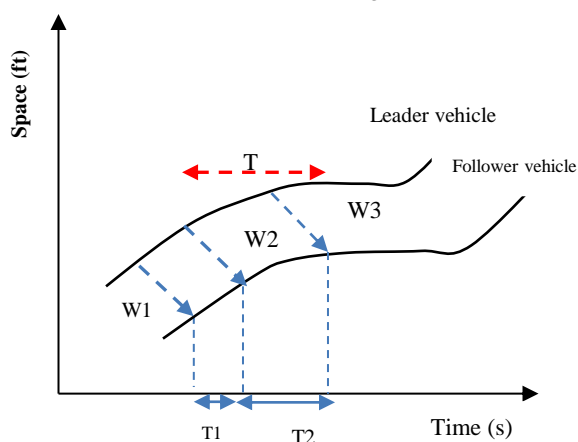


Fig. 1. Movement phases

مطابق شکل (۲) در این روش ممکن است که وسایل نقلیه پیرو و پیشرو افزایش شتاب داشته باشند اما افزایش شتاب در فاز کاهش شتاب است؛ به عبارت دیگر شتاب هر دو وسیله همواره کوچکتر از ۱- است و سرفاصله مکانی به اندازه کافی نیست که وسیله نقلیه پیرو و پیشرو بتواند از فاز کاهش شتاب خارج شود. به همین دلیل تحت اثر انتشار آخرین موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام، وسیله پیرو تحت تاثیر کاهش شتاب به سرعت صفر می‌رسد. نقطه شروع فاز ورود به توقف بر اساس HCM-2010 به سرعت کمتر از ۵ مایل بر ساعت در نظر گرفته می‌شوند که به صورت پیوسته وسیله نقلیه پیرو و پیرو افت سرعت می‌دهند تا وارد فاز ازدحام، سرعت صفر، برسند. W_1 : آخرین موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام، W_2 : موج توقف، W_3 : موج ازدحام و T_1 : زمان فاز کاهش شتاب منتهی

الگوهای رفتاری متفاوت راننده پیرو در فاز کاهش شتاب مبتنی بر مانورهای عملکردی تئوری نامتقارن رفتاری و در فاز افزایش شتاب مبتنی بر پدیده هیستریسیس ترافیکی، راننده محتاط و پرخاشگر، تقسیم‌بندی می‌شود. همچنین، بر اساس مدل تعقیب خودروی نیویل، انحراف رفتار راننده نسبت به راننده نیویل، بر اساس سرعت آخرین موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام در آشفته‌گی ترافیک به سمت جریان بالادست محاسبه می‌شود. سپس با ایجاد نمودن مدل‌های شبکه عصبی، ویژگی‌های رفتاری راننده را در سطح جزئی‌نگر و بر مبنای الگوهای رفتاری راننده در فاز کاهش و افزایش را شناسایی نمود.

۲- روش تحقیق

۲-۱: دسته‌بندی رفتار راننده

در این پژوهش داده‌های عبوری NGSIM بر مبنای خطاهای عملکردی راننده پیرو به چهار الگوی رفتاری: عملکرد کم و به طور پیوسته کاهشی و عملکرد زیاد و به طور پیوسته افزایشی در فاز کاهش سرعت منتهی به ازدحام و برای پدیده هیستریسیس در فاز افزایش شتاب به دو الگوی رفتاری، راننده پرخاشگر و محتاط تقسیم‌بندی می‌شوند. مطابق نتایج آماری ارائه شده از الگوهای رفتاری راننده وسیله نقلیه پیرو در جدول (۱) بر اساس آنالیز ۵۴۴ زنجیره جفت وسیله‌ای منتهی به ازدحام، در این پژوهش به سبب فقدان داده‌های عبوری، فقط سه الگوهای رفتاری عملکرد کم- محتاط^۱، عملکرد زیاد- محتاط^۲، عملکرد پیوسته افزایشی- محتاط^۳ بررسی می‌شوند.

جدول ۱. نتایج آماری الگوهای رفتاری

Classifying behavioral patterns	Platoon number of patterns in deceleration	Aggressive Timid	
		Aggressive	Timid
Over reaction	295	63	232
Under reaction	129	19	110
Over Constant Reaction	90	6	84
Under Constant Reaction	30	14	16

Table 1. Statistical results of behavioral patterns

- 1 Under Reaction-Timid
- 2 Over Reaction-Timid
- 3 Over Constant Reaction-Timid

لایه‌های بعدی پیش می‌برند و تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان از طریق حدس و خطا به منظور رسیدن به شرایط ایدآل تعیین می‌شوند. عمل نمودن پرسپترون‌های چند لایه به عنوان تابع تقریب‌گر منجر به مزیت آنها نسبت به ساختارهای پیچیده‌تر شبکه‌های عصبی است که با انتخاب درست تابع عملگر می‌توان مستقیم به مدل آماری مرتبط نمود. در این پژوهش تابع محرک شبکه عصبی، تابع Tansig در نظر گرفته می‌شود و متدولوژی آموزش شبکه عصبی بر اساس ثابت در نظر گرفتن وزن‌ها برای همه متغیرها به جزء متغیرهای ورودی ثابت پس از آموزش شبکه عصبی است و همچنین داده‌های عبوری به سه قسمت زیر تقسیم می‌شوند:

training (70%), Cross – validation (15 %), testing (15%)

جدول ۲. ویژگی‌های ساختاری شبکه عصبی

Parameter	value
Inputs	W_1
	W_2
	T_1
	T_2
Structure	Tansig
	Time of deceleration and congestion phases
Learning	Back - propagation

Table 2. Structure properties of neural networks

۲-۵: آنالیز حساسیت آخرین زمان بین دو فاز توقف و ازدحام در این پژوهش به منظور مشخص نمودن تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از نرم‌افزار Crystal.Ball استفاده می‌شود که از طریق نرم‌افزار Excel می‌توان به شبکه عصبی در نرم‌افزار Matlab متصل شد. در این نرم‌افزار حساسیت متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل با تعیین احتمالات Uniform برای تمام متغیرهای مستقل تعیین می‌شود.

۳- داده‌های عبوری NGSIM

در این پژوهش از داده‌های پروژه NGSIM استفاده می‌شود که شامل مشخصات خودرو ID، خط و موقعیت وسیله نقلیه در فواصل ۰/۱ ثانیه، سرفاصله زمانی و مکانی و سرعت و شتاب و وسیله نقلیه پیشرو و پیرو و ID وسیله نقلیه پیشرو و پیرو

به توقف، T_2 : فاز توقف منتهی به ازدحام، T_1 : زمان فاز کاهش شتاب منتهی به ازدحام

شکل ۲. نمودار شتاب- زمان وسیله نقلیه پیرو

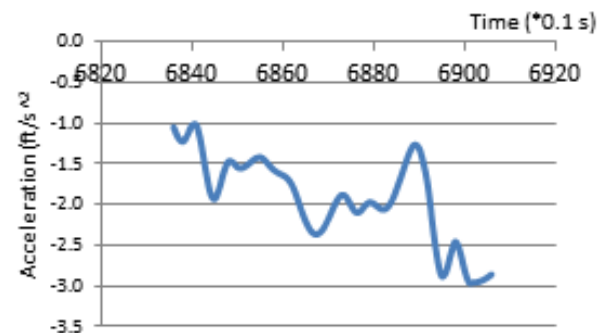


Fig. 2. Acceleration- time curve of follower vehicle

۲-۳: استفاده از شبکه‌های عصبی

به منظور شناسایی و تحلیل پارامترهای موثر ترافیک حرکت- توقف در سطح جزئی‌نگر به سبب زیادی پارامترها و خطا در داده‌های برداشت شده و به سبب وجود نویز در سنسور دوربین‌های نصب شده و ضرورت نداشتن به تعبیر تابع هدف، از الگوی شبکه عصبی استفاده می‌شود. با استفاده از الگوی شبکه عصبی تاثیر پارامترهای موج کاهش شتاب و توقف و زمان بین فاز کاهش شتاب منتهی به توقف و موج توقف منتهی به ازدحام، بر مبنای الگوهای رفتاری مختلف شناسایی می‌شود. شبکه‌های عصبی، مدل‌های محاسباتی است که با یک فضای بزرگ پارامتری و ساختار منعطف مشخص، با الهام از مطالعات اعصاب زیستی، روشی عملی برای یادگیری توابع گوناگون مانند توابع با مقادیر حقیقی، توابع با مقادیر گسسته و توابع با مقادیر برداری می‌باشند که بر پایه اتصال به هم پیوسته چندین واحد پردازشی ساخته می‌شوند که شبکه از تعداد دلخواهی سلول یا گره یا واحد یا نرون تشکیل می‌شود که مجموعه ورودی را به خروجی ربط می‌دهند [۳۰]. در این پژوهش از شبکه‌های پرسپترون چند لایه متعلق به شبکه‌های پیشخور و بر مبنای قانون یادگیری انتشار خطا عقبگرد استفاده می‌شود [۳۱]. شبکه عصبی شامل ۴ لایه، یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی است که هر یک از لایه‌ها شامل نرون‌هایی است که اطلاعات را از لایه‌های قبل دریافت و سپس به سمت

شکل ۵. داد های عبوری مبتنی بر راننده عملکرد کم

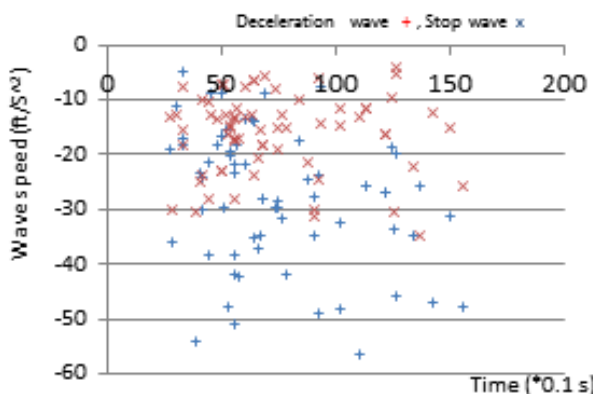


Fig. 5. Trajectories based on under reaction

۴- تحلیل نتایج

۱-۴: ارزیابی عملکرد شبکه عصبی

مطابق جدول (۳) ارزیابی عملکرد پرسپترون شبکه عصبی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده، بر اساس هر الگوی رفتاری متفاوت و مرتبط با هر متغیر ارائه می‌شود.

جدول ۳. ارزیابی آماری عملکرد شبکه عصبی

	Under reaction	Over reaction	constant up over reaction
MSE	0.07	0.068	0.063
MAE	0.14	0.13	0.14
Percent Correct	90%	91%	85%

Table 3. Performance statistical assessment of neural networks

۲-۴: زمان بین دو فاز بر مبنای امواج کاهش شتاب و توقف

۱-۲-۴: راننده عملکرد زیاد- محتاط

مطابق شکل (۶)، نمودار فراوانی زمان بین دو فاز با تغییر مقادیر امواج کاهش شتاب و توقف نشان می‌دهد که بر اساس الگوی رفتاری عملکرد زیاد- محتاط در محدوده زمانی ۴۰ - ۶۰ فریم (۴ - ۶ ثانیه) است. به عبارت دیگر این گروه راننده، در زمان دریافت موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام به منظور ورود به فاز ازدحام در محدوده زمانی ۴ - ۶ ثانیه، هر فریم برابر ۰/۱ ثانیه، بیشترین احتمال فراوانی زمان بین دو فاز در

است. آزادراه I-80 (US-101) یک آزادراه ۶ خطه با طول 1650 ft (2100 ft) با خط عبور وسایل نقلیه سنگین است. برداشت و پردازش اطلاعات داده‌های عبوری در آزادراه I-80 شامل بازه‌های زمانی (4:00-4:15 pm و 5:00-5:30 pm) و در آزادراه US101 شامل بازه زمانی (7:50-8:35 a.m.) با دقت ۰/۱ ثانیه است [۳۲]. با استفاده از روش Savitzky-Golay نوسان داده‌های خام جمع‌آوری شده از فیلم‌های ضبط شده پروژه NGSIM به وسیله دوربین‌های مستقر روی آزادراه‌ها فیلتر و حذف می‌شوند [۳۳]. مطابق شکل‌های (۳، ۴ و ۵) داده‌های عبوری NGSIM بر اساس سه الگوی رفتاری تفکیک و زمان بین دو فاز کاهش شتاب- ازدحام، مبتنی بر پارامترهای موج کاهش شتاب، توقف، زمان بین فازهای کاهش شتاب- توقف و زمان بین فاز توقف و ازدحام ارائه می‌شوند.

شکل ۳. داد های عبوری مبتنی بر راننده عملکرد زیاد

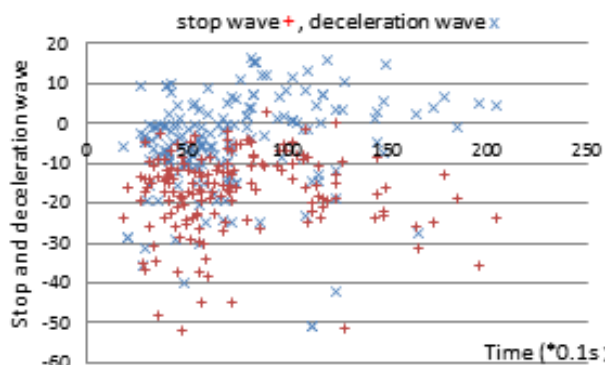


Fig. 3. Trajectories based on over reaction

شکل ۴. داد های عبوری مبتنی بر راننده عملکرد پیوسته افزایشی

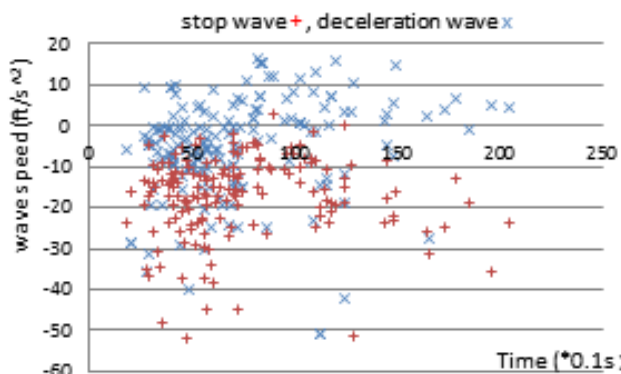


Fig. 4. Trajectories based on constant up over reaction

شکل ۸. الگوی شبکه عصبی زمان مبتنی موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام

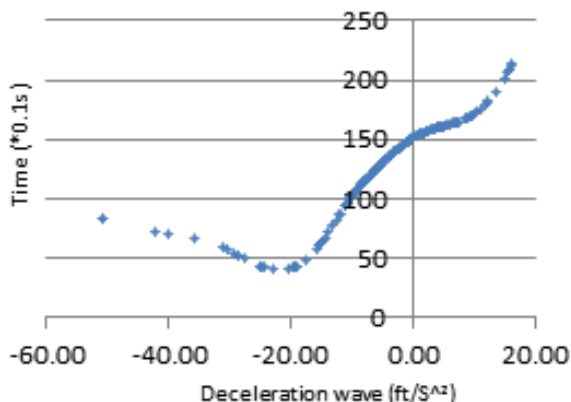


Fig. 8. Neural network pattern of time based on deceleration wave leading to congestion

۴-۲-۲: راننده عملکرد کم- محتاط

مطابق شکل (۹)، نمودار فراوانی زمان بین دو فاز با تغییر مقادیر امواج کاهش شتاب و توقف نشان می‌دهد که بر مبنای الگوی رفتاری عملکرد کم- محتاط در محدوده زمانی ۲۴۰ فریم (۲۴ ثانیه) است. به عبارت دیگر راننده پیرو بر اساس این الگوی رفتاری در زمان دریافت موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام به منظور ورود به فاز ازدحام در محدوده زمانی ۲۴ ثانیه، هر فریم برابر ۱/۰ ثانیه، بیشترین احتمال فراوانی زمان بین دو فاز در زمان دریافت موج کاهش شتاب را دارد. همچنین مطابق شکل (۱۰)، نتایج آنالیز حساسیت داده‌های عبوری نشان می‌دهد که پارامتر موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام نسبت به موج توقف تاثیر بیشتری بر زمان بین دو فاز دارد.

شکل ۹. نمودار فراوانی زمان ورود به توقف منتهی به ازدحام

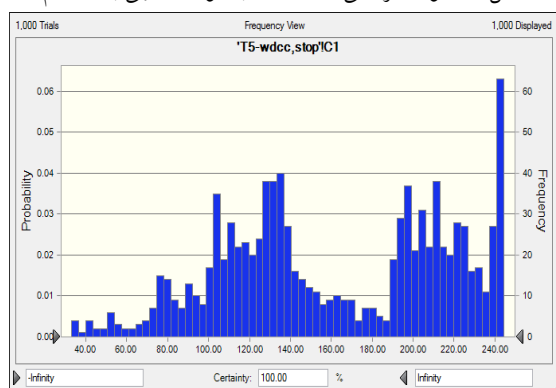


Fig. 9. Frequency chart of stop time leading to congestion

زمان دریافت موج کاهش شتاب را دارد. همچنین مطابق شکل (۷)، نتایج آنالیز حساسیت داده‌های عبوری نشان می‌دهد که پارامتر موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام بیشترین تاثیر بر مقدار زمان بین دو فاز دارد.

شکل ۶. نمودار فراوانی زمان ورود به توقف منتهی به ازدحام

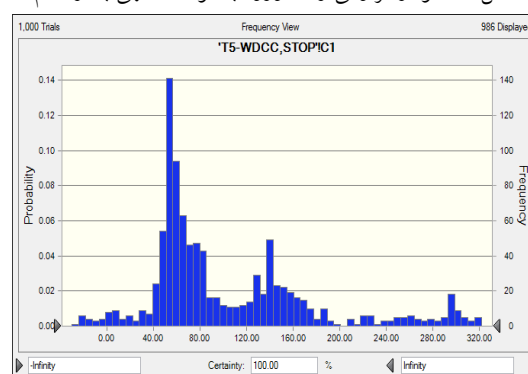


Fig. 6. Frequency chart of stop time leading to congestion

شکل ۷. نمودار آنالیز حساسیت پارامترها مبتنی بر الگوی رفتاری عملکرد زیاد- محتاط

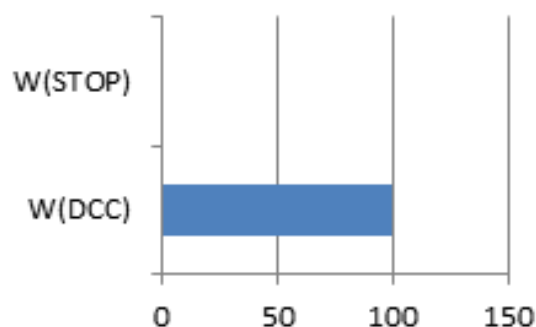


Fig. 7. Sensitivity chart of wave parameters based on over reaction

۴-۲-۲-۱: الگوی شبکه عصبی موج کاهش شتاب

طبق شکل (۸)، افزایش موج کاهش شتاب (منفی تر شدن مقدار موج) منجر به کاهش زمان بین فاز کاهش شتاب منتهی به ازدحام می‌شود. زمانی که راننده پیرو بر مبنای الگوی رفتاری عملکرد زیاد موج کاهش شتاب را دریافت می‌کند، به منظور تامین سرفاصله مکانی ایمن، افت سرعت بیشتری می‌دهد که منجر به کاهش زمان بین دو فاز می‌شود و کاهش مقدار موج (مثبت تر شدن مقدار موج) منجر به تمایل کمتر به منظور تامین سرفاصله مکانی ایمن و افزایش زمان بین دو فاز می‌شود.

راننده پیرو بر اساس الگوی رفتاری عملکرد پیوسته افزایشی در زمان دریافت موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام به منظور ورود به فاز ازدحام در محدوده زمانی ۱۲-۱۴ ثانیه، هر فریم برابر ۰/۱ ثانیه، بیشترین احتمال فراوانی زمان بین دو فاز در زمان دریافت موج کاهش شتاب را دارد. همچنین مطابق شکل (۱۳)، نتایج آنالیز حساسیت داده‌های عبوری نشان می‌دهد که پارامتر موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام نسبت به موج توقف تاثیر بیشتری بر زمان بین دو فاز دارد.

۳-۲-۴: الگوی شبکه عصبی موج کاهش شتاب

مطابق شکل (۱۴)، افزایش موج کاهش شتاب (منفی‌تر شدن مقدار موج) منجر به افزایش زمان بین فاز افزایش شتاب منتهی به ازدحام می‌شود.

راننده پیرو بر مبنای عملکرد پیوسته افزایشی، زمانی که موج کاهش شتاب را دریافت می‌کند به سبب تامین سرفاصله مکانی در فاز کاهش به طور پیوسته کاهش سرعت می‌دهد که این افت سرعت به صورت پیوسته منجر به افزایش سرفاصله مکانی ایمن و قدرت مانور راننده پیرو می‌شود.

شکل ۱۲. نمودار فراوانی زمان ورود به توقف منتهی به ازدحام

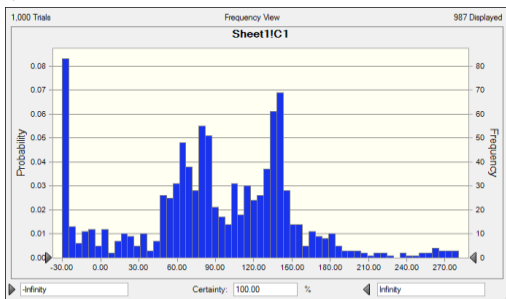


Fig. 12. Frequency chart of stop time leading to congestion

شکل ۱۳. نمودار آنالیز حساسیت پارامترها مبتنی بر الگوی رفتاری عملکرد پیوسته افزایشی - محتاط

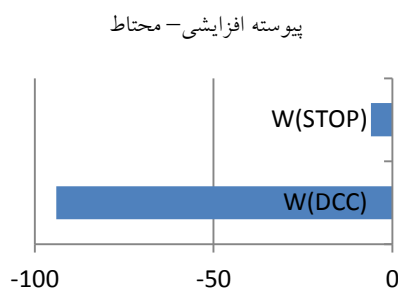


Fig. 13. Sensitivity chart of wave parameters based on constant up - over reaction

شکل ۱۰. نمودار آنالیز حساسیت پارامترها مبتنی بر الگوی رفتاری عملکرد کم - محتاط

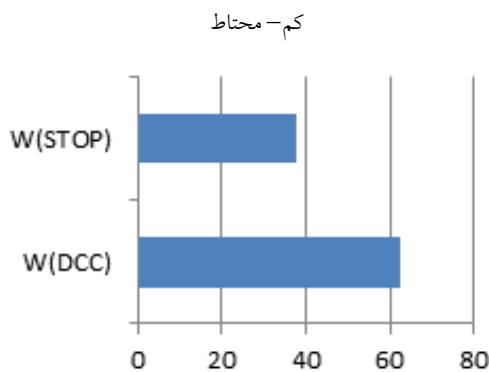


Fig. 10. Sensitivity chart of wave parameters based on under reaction

۳-۲-۴: الگوی شبکه عصبی موج کاهش شتاب

مطابق شکل (۱۱)، افزایش موج کاهش شتاب (منفی‌تر شدن مقدار موج) منجر به کاهش زمان بین فاز افزایش شتاب منتهی به ازدحام می‌شود. پس بر اساس تمایل راننده عملکرد کم به رانندگی در سرفاصله مکانی کم، زمانی که موج کاهش شتاب را دریافت می‌کند به منظور تامین سرفاصله مکانی ایمن کافی، افت سرعت بیشتری می‌دهد. تامین سرفاصله ایمن در ادامه مسیر به سمت ازدحام منجر به افزایش قدرت مانور و تمایل کم‌تر به افت سرعت در آشفته‌گی جریان ترافیک و افزایش زمان بین دو فاز می‌شود.

شکل ۱۱. الگوی عصبی زمان مبتنی موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام

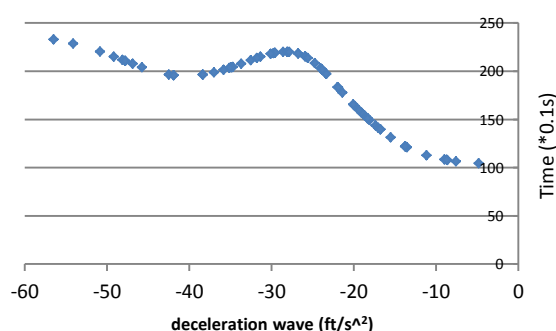


Fig. 11. Neural network pattern of time based on deceleration wave leading to congestion

۳-۲-۴: راننده عملکرد پیوسته افزایشی - محتاط

مطابق شکل (۱۲)، نمودار فراوانی زمان بین دو فاز با تغییر مقادیر امواج کاهش شتاب و توقف نشان می‌دهد که بر مبنای الگوی رفتاری عملکرد پیوسته افزایشی - محتاط در محدوده زمانی ۱۲۰ - ۱۴۰ فریم (۱۲ - ۱۴ ثانیه) است. به عبارت دیگر

مطابق شکل (۱۷)، افزایش زمان کاهش شتاب منتهی به ازدحام تا بازه زمانی ده ثانیه (صد فریم) منجر به افزایش و پس از بازه زمانی ده ثانیه (صد فریم) منجر به کاهش زمان بین دو فاز می‌شود. زمانی که راننده پیرو بر مبنای رفتار عملکرد کم در بازه کمتر از صد فریم موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام را دریافت می‌کند به منظور تامین سرفاصله مکانی ایمن متمایل به رفتار راننده ایده‌آل، Newell، شده و در نتیجه سبب افزایش زمان بین دو فاز می‌شود. اما در بازه زمانی بزرگتر از صد فریم، زیاد شدن فاز کاهش شتاب منتهی به توقف منجر به افزایش قدرت مانور راننده پیرو و متمایل به رفتار ذاتی خود می‌شود، در نتیجه سرفاصله مکانی ایمن خود را کاهش می‌دهد که در نهایت منجر به افت سرعت شدیدتر در ادامه مسیر آشفستگی و کاهش زمان بین دو فاز می‌شود. راننده پیرو بر اساس رفتار عملکرد زیاد، زمانی که در بازه زمانی کوچکتر از صد فریم موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام را دریافت می‌کند، سرفاصله مکانی ایمن را در مدت زمان بیشتری تامین می‌نماید.

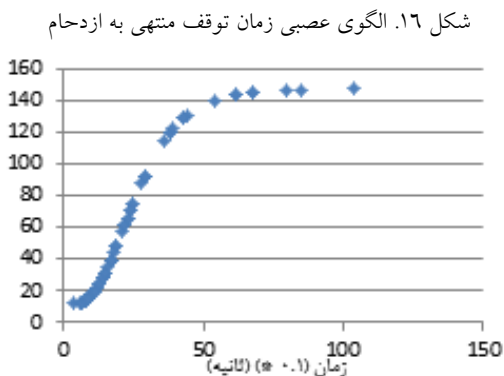


Fig. 16. Neural network pattern of stop time leading to congestion

شکل ۱۷. الگوی عصبی زمان کاهش شتاب منتهی به توقف

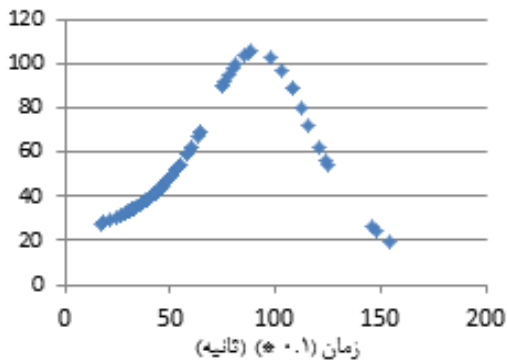


Fig. 17. Neural network pattern of deceleration time leading to congestion

افزایش قدرت مانور راننده پیرو منجر به تمایل افت سرعت کم‌تر در ادامه مسیر آشفستگی منتهی به ازدحام و افزایش زمان بین دو فاز می‌شود.

شکل ۱۴. الگوی عصبی زمان مبتنی موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام

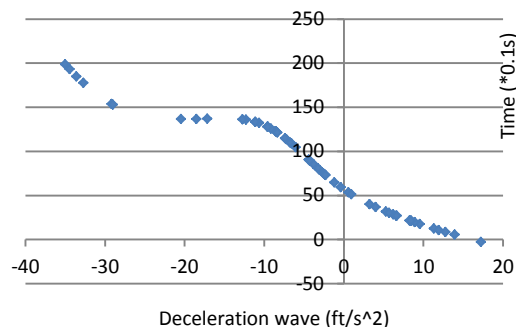


Fig. 14. Neural network pattern of time based on deceleration wave leading to congestion

۳-۴ فازهای زمانی

مطابق شکل (۱۵) آنالیز حساسیت دو فاز زمانی بر اساس هر سه الگوی رفتاری نشان می‌دهد که فاز زمان توقف منتهی به ازدحام نسبت به فاز کاهش شتاب منتهی به توقف از پارامتر مجموع زمان بین دو فاز موثرتر است. همچنین قابل گفتن است که برای هر سه الگوی رفتاری، الگوی شبکه عصبی مشابهی به دست می‌آید و فقط در مقدار زمان بین فازها متفاوت است.

۱-۳-۴ الگوی شبکه عصبی زمان‌های بین فاز

مطابق شکل (۱۶)، افزایش زمان توقف منتهی به ازدحام منجر به افزایش زمان بین دو فاز بر مبنای هر سه الگوی رفتاری راننده پیرو می‌شود. افزایش زمان بین دو فاز کاهش شتاب و ازدحام نشانگر این مطلب است که هر سه الگوی رفتاری راننده پیرو در فاز توقف منتهی به ازدحام متمایل به رفتار راننده ایده‌آل، Newell، دارند.

شکل ۱۵. آنالیز حساسیت پارامترها مبتنی بر الگوهای رفتاری

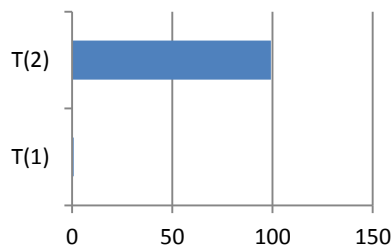


Figure 15. Sensitivity chart of parameters based on behavioral patterns

مکانی ایمن، افت سرعت بیشتری می‌دهد که منجر به کاهش زمان بین دو فاز می‌شود. افزایش موج کاهش شتاب بر اساس الگوی عملکرد کم-محتاط، به سبب افزایش قدرت مانور در آشفته‌گی ترافیک، منجر به افزایش زمان بین دو فاز می‌شود. بر مبنای الگوی رفتاری عملکرد پیوسته افزایشی-محتاط، افزایش موج کاهش شتاب به سبب افت سرعت پیوسته، منجر به افزایش سرفاصله مکانی ایمن و قدرت مانور راننده پیرو و در نتیجه تمایل به افت سرعت کمتر در ادامه مسیر، و در نهایت آشفته‌گی منتهی به ازدحام و افزایش زمان بین دو فاز می‌شود. نتایج پژوهش در آنالیز فازهای زمانی، فاز کاهش شتاب منتهی به توقف و فاز توقف منتهی به ازدحام، بر اساس هر سه الگوی رفتاری نشان می‌دهد که پارامتر فاز توقف منتهی به ازدحام، موثرتر است و در هر سه الگوی رفتاری، افزایش پارامتر منجر به افزایش زمان بین دو فاز می‌شود.

References

۶- مراجع

- [1] 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), 372-384.
- [2] Zheng Z., Ahn S., Chen D. & Laval J. A. 2011b Freeway traffic oscillations: microscopic analysis of formations and propagations using wavelet transform. *The 19th International Symposium on Transportation and Traffic flow Theory*, 55 (8), 717-731.
- [3] 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), 1098-11082.
- [4] Ahn S. & Cassidy M. 2006 Freeway traffic oscillations and vehicle lane-change manoeuvres. In: Heydecker. *17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, 48 (6), 241-254.
- [5] Laval J. A. & Daganzo C. F. 2006 Lane-changing in traffic streams. *Transportation Research Part B*, 40 (3), 251-264.
- [6] Koshi M., Kuwahara M. & Akahane H. 1992 Capacity of sags and tunnels in Japanese motorways. *ITE Journal*, 45 (7), 17-22.
- [7] Laval J. A. 2006 Stochastic processes of moving bottlenecks: Approximate formulas for highway capacity. *Transportation Research Record* 1988, 22 (2), 86-91.
- [8] Newell G. F. 1962 Theories of instability in dense highway traffic. *Journal of the Operations Research Society of Japan* 5, 25(5), 39-54.
- [9] Mauch M. & Cassidy M. 2002 Freeway Traffic

به عبارت دیگر، در این بازه زمانی، راننده پیرو توانایی رانندگی در سرفاصله مکانی ایمن را تا فاز توقف دارد؛ اما در بازه زمانی بزرگتر از صد فریم به سبب اینکه، رفتار راننده پیرو متمایل به رفتار راننده ایده‌آل می‌شود و سرفاصله مکانی ایمن خود را کاهش می‌دهد، افت سرعت بیشتر و در نتیجه کاهش زمان بین دو فاز رخ می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

عکس‌العمل‌های متفاوت رفتاری رانندگان وسایل نقلیه در آشفته‌گی جریان ترافیک نسبت به موج شوک دریافتی از جریان پایین دست، سبب پیچیدگی آنالیز ترافیک حرکت-توقف می‌شود. در این مقاله مسیر داده‌های عبوری زنجیره وسایل نقلیه در فاز کاهش شتاب ترافیک حرکت-توقف به سه فاز موج کاهش شتاب، فاز ورود به توقف و فاز ازدحام، تقسیم بندی می‌شود. الگوهای رفتاری راننده پیرو در زنجیره وسایل نقلیه بر مبنای تئوری نامتقارن رفتاری در فاز کاهش شتاب و پدیده هیستریسیس ترافیکی در فاز افزایش شتاب، شناسایی شدند و موج کاهش شتاب، موج توقف منتهی به ازدحام، زمان بین فازهای کاهش شتاب و فاز توقف منتهی به ازدحام در داده‌های عبوری محاسبه گردیدند و پس از تفکیک آنها، الگوهای شبکه عصبی ایجاد شدند تا تاثیر پارامترهای موج کاهش شتاب، موج توقف، زمان بین فاز کاهش شتاب منتهی به توقف و زمان بین فاز توقف منتهی به ازدحام، بر زمان بین فاز کاهش شتاب منتهی به ازدحام، بر اساس هر الگوی رفتاری تحلیل شوند. به سبب فقدان داده‌های عبوری فقط اثر پارامترهای موثر بر زمان بین فازی بر مبنای سه الگوی رفتاری عملکرد کم-محتاط، عملکرد زیاد-محتاط و الگوی رفتاری عملکرد پیوسته افزایشی -محتاط در ترافیک حرکت-توقف آنالیز می‌شوند. نتایج آنالیز زمان بین فازی مبتنی بر امواج کاهش شتاب و توقف نشان می‌دهد که بر اساس هر سه الگوی رفتاری، پارامتر موج کاهش شتاب منتهی به ازدحام و همچنین زمان فاز توقف منتهی به ازدحام، موثرترین پارامتر بر زمان بین دو فاز است. راننده پیرو بر اساس الگوی عملکرد زیاد-محتاط، زمانی که موج کاهش شتاب را با شدت بیشتری دریافت می‌کند، برای تامین سرفاصله

- [21] Treiterer J, & Myer J. 1974 The hysteresis phenomenon in traffic flow. Proceedings of the Sixth Symposium on Transportation and Traffic Flow Theory. D. J. Buckley (Ed.), 19 (14), 213-219.
- [22] Zhang H. M. 1999 A mathematical theory of traffic hysteresis. Transportation Research Part B, 33 (17), 11-23.
- [23] Zhang, H. M. & Kim T. 2005 A car-following theory for multiphase vehicular traffic flow. Transportation Research Part B, 39 (9), 385-399.
- [24] Laval A. J. 2010 Hysteresis in the fundamental diagram: impact of measurement methods, 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 28 (18), 18-33.
- [25] Ahn S., Vadlamani S. & Laval J.A. 2012 A method to account for non-steady conditions in measuring traffic hysteresis. Transportation Research Part C, 34 (28) , 138-147.
- [26] Chen D., Laval J. A., Zheng Z. & Ahn S. 2012 Traffic Oscillations: A Behavioral Car-Following Model. Transportation Research Part B, 46 (6), 744-761.
- [27] Chen D., Laval J. A., Ahn S. & Zheng Z. 2012 Microscopic Traffic Hysteresis in Traffic Oscillations: A Behavioral Perspective. Transportation Research Part B, 46 (10) , 1378-1388.
- [28] Trajectory Explorer. Accessed at: <http://traffyclab.ce.gatech.edu/tools.html>.
- [29] Orfanou F., Vlahogianni E. & Karlaftis M. 20121 Identifying Features of Traffic Hysteresis on Freeways. Transportation Research Part 91th, 42 (12), 1571-1587.
- [30] Karlaftis M. G. & Vlahogianni E. I. 2011 Statistics versus Neural Networks in Transportation Research: Differences, Similarities and Some Insights. Submitted to Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 19 (3), 387-399.
- [31] Principe C. J., Euliano R. N. & Lefebvre W. C. 1999 Neural and Adaptive Systems – Fundamentals Through Simulations. John Wiley & Sons, 18 (5), 47-62.
- [32] NGSIM. Accessed at: <http://ngsim-community.org/>
- [33] Savitzky A. & Golay M. J. E. 1964 Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures, 36 (8), 1627–1639.
- Oscillations: Observation and Predictions. The 15th International Symposium on Transportation and Traffic flow Theory, 35(4), 38–48.
- [10] Ahn S. & Cassidy. M. 2007 Freeway Traffic Oscillations and Vehicle Lane-Changing Maneuvers. The 17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 38(8), 691-710.
- [11] Newell G. F. 1965 Instability in dense highway traffic, a Review, Proceedings of the Second International Symposium on Transportation and Traffic Theory, London, 21(5), 73-83.
- [12] Newell G. F. 2002 A Simplified car-following theory: a lower order model, Transportation Research Part B, 36 (4), 196-205.
- [13] Del Castillo J. M. 2001 Propagation of perturbations in dense traffic flow: a model and its implications. Transportation Research Part B, 35 (7), 367-389.
- [14] Kim T. & Zhang H.M. 2004 Gap time and stochastic wave propagation. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 36(8), 88-93.
- [15] Yeo H. & Skabardonis A. 2009 Understanding stop-and-go traffic in view of asymmetric traffic theory, Transportation and Traffic theory, 28(7), 99-115.
- [16] Laval J. A. & Leclercq L. 2010 A Mechanism to describe the formation and propagation of stop-and-go waves in congested freeway traffic. Philosophical Transactions of The Royal Society A, 36 (19), 4519-4541.
- [17] Laval A. J. 2010 Hysteresis in Traffic Flow revisited: An improved measurement method, Transportation Research, Part B, 45 (2), 385–391.
- [18] Forbes T., Zagorski, Holshouser E. & Deterline W.A. 1958 Measurement of driver reactions to tunnel conditions. Proceedings of Highway Research Board, 37 (7), 345-357.
- [19] Edie L. & Baverez E. 1967 Generation and propagation of stop-start traffic waves, Proceedings of Third International Symposium on the Theory of Traffic Flow, 48 (11) , 26-37.
- [20] Herman R. & Potts R. 1961 Single-lane traffic theory and experiment. Proceedings of Symposium on the Theory of Traffic Flow (R. Herman Ed.). Elsevier publishing Co. Amsterdam, 39 (13), 120-146.

Analyzing Deceleration Time Lead to Congestion Based on Behavior Patterns

A. Abdi^{1*}, A. Salehikalam², A. aminrad³

1- Assist. Prof., Transportation Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Imam Khomeini International University, Qazvin

2- Ph.D. Student, Transportation Eng., Imam Khomeini International University, Qazvin

3- M.S, Civil Eng., Imam Khomeini International University, Qazvin

aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

Abstract:

Stop-and-go traffic is frequently observed in congested freeways and is usually developed by a large traffic volume in commuting time by a lane block coming from incidents or road works, lane change maneuvers, sudden speed drop, and rubbernecking behavior. Traffic oscillation results in negative effects such as increasing fuel consumption and safety hazards. Speed drop of leader vehicle results in stop and go traffic in platoon from downstream to upstream. Follower vehicle drivers of platoon make different reactions to the receiving wave based on their behavior patterns. In this paper, behavioral patterns of follower driver are classified based on asymmetric microscopic driving behavior theory and traffic hysteresis in NGSIM trajectories. Vehicle trajectory data from Next Generation Simulation (NGSIM) program was also employed. Platoons of vehicles identified through a traffic disturbance were classified into deceleration and acceleration phases based on drivers' behaviors and hysteresis in traffic oscillation. Drivers' behaviors in the deceleration phase led to the classification of congestion into four behavioral patterns, based on the maneuvering errors of the follower driver, namely under reaction, under constant reaction, over reaction, and over constant reaction. Moreover, in the acceleration phase, traffic hysteresis was classified into two different categories: aggressive and timid behaviors. The two parameters of last deceleration wave which led to congestion i.e. δ and τ , are calculated based on Newell's car following model. The time of the two phases, stop and congestion phases, are identified based on follower vehicle trajectory. In order to calculate the time of the two mentioned phases, two points are identified in this paper: point of receiving the stop wave leading to congestion and point of entering congestion. As there are many parameters and errors of raw trajectory data, it is not important to illustrate target function, which is the main reason for developing the behavioral patterns. Effective parameters of behavior diversion in stop-and-go traffic are identified and analyzed at the microscopic level based on artificial neural networks (ANNs). Artificial neural network is a computational model, consisted of a large parameter space and an adaptable structure, which is inspired by the structure and functional aspects of biological neural networks. Artificial neural network is constructed based on learning various functions with actual and discontinuous vector values. It is created based on connecting several processors which relate input groups to the output by artificial neurons. A neural network consists of an interconnected groups of artificial neurons with activation functions, and processes information using a connectionist approach to computation. Neurons relate input and output groups to each other. Multi-layer perceptron (MLP) - used in this paper - belongs to the feed-forward artificial neural networks which are usually trained via the error back-propagation learning rule. Neural network models are developed to analyze the relationship between the microscopic parameters and the duration of the two phases. In this research, Crystal Ball software is used, as it can define the sensitivity analysis of behavioral diversion based on independent variables at the microscopic level. The software is linked to artificial neural networks in MATLAB using Excel software, so that, sensitivity analysis of the dependent variables to the independent variables can be performed by uniform probability. Based on three behavior patterns, the analyses results show that the two most effective parameters are the deceleration wave leading to congestion and the stop phase duration. Increasing the deceleration wave results in reducing the time between the two phases based on "over reaction-timid", and its increase based on "under reaction-timid" and "pattern and over constant up reaction - timid". In addition, results of stop phase leading to congestion, based on three behavior patterns, show that increasing the stop phase duration results in an increase in the time between the two phases.

Key words: Deceleration phase time leading to congestion, Stop and go traffic, NGSIM data trajectory, Behavior patterns, Neural Networks.