

طراحی مدل پیش بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری با استفاده از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی (ANFIS)

مقاله پژوهشی

مریم رحمتی، دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
رضا رادفر*، استاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
عباس طلوعی اشلقی، استاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
نازنین پیله وری سلماسی، دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: radfar@gmail.com

دریافت: ۹۷/۰۹/۱۶ - پذیرش: ۹۸/۰۲/۰۵

صفحه ۶۲-۵۱

چکیده

تقاضای روزافزون استفاده از وسایل حمل و نقل شخصی، مشکل تراکم ترافیک را به یکی از مهم ترین بحران ها در اکثر کلان شهرهای جهان تبدیل کرده است. تأثیرات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی که گره های ترافیکی بر جوامع بشری می گذارد محققین را بر آن داشته است که به دنبال راه کارهایی برای مقابله با آن باشند. یکی از این راه کارها پیش بینی حجم ترافیک روزانه است. پیش بینی ترافیک به کنترل کننده ها کمک می کند تا با اتخاذ تصمیمات مناسب از بروز ازدحام در ترافیک جلوگیری نمایند. در پژوهش حاضر، به منظور پیش بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری در مسیرهای بین مراکز استان های کشور، از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی (ANFIS) بعنوان یکی از روشهای هوش مصنوعی استفاده شده است. به منظور افزایش اطمینان از تخمین ترافیک، داده ها بصورت تصادفی در سه حالت آموزشی، آزمایشی و اعتبارسنجی به سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی اعمال شد: مجموعه آموزش جهت طراحی مدل، مجموعه آزمایش و مجموعه اعتبارسنجی جهت ارزیابی و تعیین اعتبار مدل طراحی شده حجم ترافیک را با دقت ۹۰ درصد پیش بینی نمود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که ANFIS ابزار مناسبی برای پیش بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری است و پیشنهاد می شود مسئولین در تصمیمات و برنامه ریزی هایشان از این مدل استفاده نمایند.

واژه های کلیدی: برون شهری، پیش بینی، حجم ترافیک روزانه، سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی (ANFIS)

۱- مقدمه

هزینه های زیاد و به هدر رفتن سرمایه های عظیم اجتماعی، اقتصادی و انسانی می شود که می تواند اهمیت چنین پروژه هایی را آشکار سازد. بررسی ها نشان می دهد، حجم ترافیک رابطه مستقیمی با صنعتی شدن جوامع دارد، زیرا توسعه صنعت به منزله افزایش در تنوع و تعداد وسایل نقلیه است و سبب افزایش ترافیک می شود [Jarvis and

تحقیق و بررسی در مورد مسائل و مشکلاتی که در ارتباط با مسئله مهم حمل و نقل به واسطه عواملی نظیر عدم برنامه ریزی و بهره برداری صحیح از سیستم های ترافیکی به وجود می آید، امروزه به طور گسترده در دنیا دنبال می شود [Rahimi et al. 2016]. تراکم ترافیک موجود در شبکه معابر شهری و برون شهری، موجب اتلاف وقت و صرف

دهه ۱۹۷۰ برای افزایش دقت پیش‌بینی جریان ترافیک، معرفی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در میان روش‌های موجود، روش شبکه‌های عصبی بیشترین کاربرد را دارد. یکی از علل این امر این است که شبکه‌های عصبی دارای قابلیت‌های فراوانی در تقریب تابع بوده، بهتر می‌توانند روابط پیچیده بین داده‌های جریان ترافیک گذشته و آینده را در مقایسه با دیگر روش‌ها مدل‌سازی نمایند [Xie et al. 2010].

پژوهش حاضر در نظر دارد با استفاده از تکنیک سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی (ANFIS)، مدلی را برای پیش‌بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری در مسیرهای بین مراکز استان‌های کشور طراحی نماید. مدل ایجاد شده، بدلیل ترکیب و انتخاب مناسب ورودی‌ها از پویایی بالایی برخوردار بوده و با شرایط مختلف جوی و زمانی، نتایج قابل اطمینانی را به همراه دارد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل در این پژوهش این ادعا را تصدیق کرده و تخمین مناسب ترافیک توسط مدل مذکور را نشان می‌دهد. در کل در این پژوهش سعی شده است که نسبت به بسیاری از مطالعات موردی و پژوهش‌های مشابه، از تعمیم‌پذیری مناسب‌تری برخوردار باشد و از ظرفیت انفیس برای تخمین ترافیک به‌نحو مناسبی استفاده گردد.

ساختار مقاله حاضر بدین ترتیب است که پس از مقدمه، در بخش ۲، مروری بر ادبیات تحقیق صورت گرفته است. سپس در بخش ۳، سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه (ANFIS) به عنوان مدل بکارگرفته شده در مقاله برای پیش‌بینی تشریح شده است. در بخش ۴، مدل مفهومی تحقیق حاضر آورده شده است. در بخش ۵، داده‌های مورد مطالعه معرفی شده، در بخش ۶، به یافته‌های تحقیق و تحلیل یافته‌ها پرداخته شده است، در بخش ۷، تحلیل حساسیت مدل صورت گرفته است. در نهایت در بخش ۸، بحث و نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲- پیشینه تحقیق

نیاز به حمل و نقل، به تاریخ تمدن بر می‌گردد. اولین یا ابتدایی‌ترین تسهیلات حمل و نقل، گذرگاه‌هایی بودند که از طریق باز کردن مسیر، در جنگل‌ها ساخته شدند، با اختراع چرخ و استفاده از آن راه‌سازی پیشرفت کرد. اکثر راه‌های اولیه به واسطه رومی‌ها ساخته شد. تا قرن هفده و هجده

[Tarek, 2012]. در سیستم مدیریت ترافیک، هدف تنها حرکت وسایط نقلیه نیست، بلکه بهینه‌سازی جریان با حداقل تأخیر زمان سفر است [Tian et al. 2016]. ترافیک سنگین موجب دیرکردهایی شده و این دیرکردها موجب نارضایتی مردم و انتشار آلاینده‌ها شده است [Çimen & Soysal, 2017].

مدیریت ترافیک می‌تواند سهم آلاینده‌گی هر وسیله نقلیه را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، زیرا سیاست‌های مدیریت ترافیک به شدت محیط گراست [Masumzadeh and Rahmani, 2016]. به طوری که دستیابی به استانداردهای زیست محیطی، تنها جزء کوچکی از آن است. مدیریت ترافیک، ممکن است مستلزم اتخاذ تدابیر و اقدامات فیزیکی باشد که اصطلاحاً مهندسی ترافیک نامیده می‌شود. مهندسی حمل و نقل و ترافیک، به عنوان بخشی از حمل و نقل جاده‌ای (در کنار حمل و نقل هوایی، ریلی و دریایی) و یکی از ضلع‌های مثلث ترافیک (مهندسی، اجرا (پلیس)، و آموزش و فرهنگ) عبارت است از کاربرد اصول علمی و فناوری در برنامه ریزی، طرح مفید عملکرد، و مدیریت انواع تسهیلات حمل و نقل برای تامین انتقال مطمئن، سریع، راحت، ساده، اقتصادی و هماهنگ با محیط مردم و کالا.

[Yaghoubi et al. 2012] به طور کلی هدف مدیریت ترافیک، استفاده بهینه از شبکه‌های راه‌های ارتباطی موجود و افزایش ایمنی راه‌هاست. این هدف باید تا حد ممکن بدون لطمه زدن به محیط زیست تحقق یابد [Lin and Sadek, 2013]. به عبارت دیگر مدیریت ترافیک، استفاده از امکانات موجود، افزایش بهره‌وری آنها و حفظ منافع عمومی مربوط به شبکه راه‌های ارتباطی است. از دید انسانی ترافیک به عنوان یکی از معضلات جامعه امروزی آثار مخربی بر روی اعصاب و روان و فکر افراد ساکن در شهرها گذاشته به طوری که افراد به راحتی قادر به برنامه ریزی و استفاده صحیح از وقت و زمان خویش نبوده و کلیه ی فعالیت‌های آنان را تحت الشعاع قرار می‌دهد و یکی از مشکلاتی است که بسیاری از افراد با آن در ارتباط می‌باشند [Hosseini cheshmeh makani, ariana and abroudi, 2016].

مدت زمان بسیاری است که پیش‌بینی دقیق و بهنگام حجم ترافیک به عنوان یکی از اجزای اصلی، در برنامه ریزی و مدیریت ترافیک مطرح بوده است و روش‌های بسیاری از

مدیریت ترافیک در پی کاهش راه بندان، دیرکردها، مصرف سوخت و نیز آلودگی هستند. جریان ترافیک از دو دیدگاه خرد و کلان تجزیه و تحلیل می شود. در دیدگاه خرد، حرکت هر خودرو مد نظر است و در دیدگاه کلان، متغیرهای کلان ترافیک مانند چگالی، حجم و میانگین سرعت خودروها تجزیه و تحلیل می شوند [Ansari, 2011]. مرور تحقیقات داخلی و خارجی نشان می دهد که توجه به مدیریت ترافیک برای کشورها از اهمیت زیادی برخوردار است.

رحیمی و دیگران (۱۳۹۵) به مطالعه ارزیابی استفاده از انواع تقاطع های غیرمتعارف به منظور بهبود جریان ترافیک در راه های شریانی برون شهری پرداختند. در این مطالعه محور کرمانشاه- بیستون در محدوده جاده قدیم تهران مورد مطالعه قرار گرفت. برداشت حجم در یک روز با شرایط جوی نرمال با استفاده از تکنیک فیلمبرداری به مدت ۶ ساعت و در سه دوره اوج صبحگاهی، ظهرگاهی و شب گاهی انجام گرفت. پس از تحلیل های حجم، شبکه پایه در نرم افزار شبیه ساز خردنگر AIMSUN مدل گردید. با توجه به وضع موجود دوربرگردان در محور مورد مطالعه، ۵ سناریو به منظور یافتن بهترین روش جهت تکمیل مانور واگرد طراحی گردید. هر سناریو ۵ بار و هر بار به مدت ۱ ساعت شبیه سازی گردید. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که حذف دوربرگردان وضع موجود و احداث زیرگذر در همان محدوده، سناریوی برترمی باشد، به طوری که شاخص های ترافیکی از جمله تاخیر و زمان سفر شبکه در صورت اجرای این سناریو به طور چشمگیری بهبود می یابد. با توجه به برداشت های صورت گرفته، اعتبارسنجی بر روی مدل شبیه سازی انجام گرفت و نتایج حاصل از آن، درستی و اعتبار مدل را اثبات کرد [Rahimi. et al, 2016]. حسینی و دیگران (۱۳۹۵) مدیریت حمل و نقل و ترافیک شهری در تهران را بررسی نمودند. هدف مطالعه احصا و اولویت بندی عوامل مؤثر بر مدیریت حمل و نقل و ترافیک شهری با نگاه اقتصادی و کاربرد روش AHP بوده است. نتایج نشان داده است که مؤلفه تقدم دسترسی نسبت به حرکت که باعث کاهش ترافیک و در نتیجه کاهش هزینه ها می گردد، بیشترین اهمیت را در مدیریت حمل و نقل و ترافیک شهری دارد [hosseini, cheshmemkani, Aryana and abrudi, 2016].

روش های راه سازی رومیان در بسیاری از کشورها و به ویژه اروپا، مورد استفاده قرار گرفت. اولین اصول راه سازی مدرن بوسیله تلفورد مک آدام و تری سی گویت توسعه یافت. در سال ۱۸۸۵ میلادی با اختراع موتور درون سوز بنزینی به وسیله دیملر و بنز، چهره کلی حمل و نقل دگرگون گردید. در سالهای ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰، طرح هندسی و سازه ای راه اهمیت ویژه ای یافت و تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفت و با رشد سریع شهرها و ترافیک در جاده ها و همچنین افزایش سرعت، مسئله تراکم و تصادفات مطرح گردید [Moridi, 2015]. بدین ترتیب مسائل ترافیک و جاده ها، با همه پیچیدگی های آن مورد توجه واقع شدند. این مسائل شامل ارتباط داخلی طبیعت شهر و قوانین فیزیکی زمان، فاصله و حرکت می گردیدند. بنابراین موضوع جدید مهندسی ترافیک به وجود آمد، که بر مطالعه و اصلاح عملکرد ترافیک در شبکه جاده ها، تقاطع ها و پایانه ها تأکید دارد. افزایش توزیع و جابه جایی کالا، خدمات و افراد، در اثر میزان بالای تولید، افزایش مصرف و جمعیت؛ سبب بروز مسائلی چون ترافیک و مشکلات مربوط به آن شده است. پدیده تراکم ترافیکی یکی از مشکلات حمل و نقل درون و برون شهری به خصوص در شهرهای بزرگ است [Javani, 2011]. نقش بسیار مهم حمل و نقل در زندگی روزمره و ناتوانی مسیرهای حمل و نقل در قبال پذیرش هر حجم از تردد و لزوم پیشگیری از حوادث، اهمیت برنامه ریزی حمل و نقل را نمایان می کند. از طرفی برنامه ریزی حمل و نقل بدون داشتن اطلاعات تردد جاده ای غیر ممکن است [Yaqubi and Hosseini, 2009]. مفهوم ترافیک به رفت و آمد و وسائل نقلیه در محدوده مکانی مشخص اشاره دارد. بر همین اساس حجم ترافیک را تعداد وسائل نقلیه ای تعریف می کنند که در مدت زمان معینی در جهت یا جهات مشخصی از یک یا چند خط از مقطع سیستمی از این حجم می کنند. بدین سان ترافیک را باید مفهومی عام دانست که دارای ابعاد اجتماعی و اقتصادی و فرهنگی متعددی است [Mahmoudi NejadHadi, 2011]. خصوصیات جریان ترافیک در یک راه (آزادراه، بزرگراه یا حتی یک خیابان اصلی)، از مهمترین عوامل تصمیم گیری و سیاستگذاری ترافیک در یک منطقه است. سیستمهای

دیدگاه تعداد ۳۰ نفر مورد بررسی قرار گرفت. نقش موجود و مطلوب سازمان‌های مختلف در خصوص فعالیت‌های اجرایی فرهنگ ترافیک بررسی شد. شکاف بین نقش راهبردی موجود و مطلوب برای هر یک از سازمانهای مورد نظر به دست آمد که در این میان فقط نقش موجود و مطلوب پلیس راه یکسان بود [Esmaili and farahi, 2009].

کیم و یئو (۲۰۱۶) آسب پذیري شبکه جاده‌ای در رویدادهای غیرمنتظره را با دیدگاه کلان ارزیابی کردند. آنها با شبیه سازی مدل، به این نتیجه رسیدند که رویدادهای یاد شده بر عملکرد شبکه جاده ای پیامدهای شگرفی دارد [Kim and Yeo, 2016]. تیان، جیا، دانگ، سو و ژانگ (۲۰۱۶) ویژگی‌های کارکردی شبکه ترافیک شهری را با استفاده از روشهای آماری بررسی کردند و دریافتند که میان ظرفیت شبکه و کارایی آن، رابطه معناداری وجود دارد [Tian et al. 2016]. دودو و پالاگورسا (۲۰۱۳) بر روی کاربرد اصول جاذبه های جمعیتی برای پیش بینی متوسط حجم ترافیک روزانه در سال در سطح حلقه ای، بر اساس ویژگی های کاربری زمین تمرکز داشته‌اند. بر اساس این اصول، تأثیر متغیر بر روی متوسط حجم ترافیک روزانه در سال با افزایش فاصله از حلقه، کاهش پیدا می‌کند. در این مدل سازی از ترکیب متغیرهای تأثیرگذار ارائه شده و شبکه عصبی بر اساس یک طراحی چند لایه‌ای انتشار برگشتی برای یادگیری نظارت شده استفاده شد. نتایج، کاربرد مطلوب شبکه های عصبی انتشار برگشتی در پیش بینی AADT را نشان می دهد [Duddu and Pulugurtha, 2013]. شارما و دیگران (۲۰۱۴) یک سیستم استنتاج فارسی مبتنی بر شبکه طراحی و پیاده سازی کردند. که نویز ترافیکی تحت شرایط ترافیکی ناهمگون در شهر ناگیور هند را ارزیابی کند. فاکتورهای اصلی که بر نویز ترافیکی موثر هستند عبارتند از: جریان ترافیک، سرعت و درستی وسایل نقلیه. این فاکتورها به عنوان پارامترهای ورودی به مدل ANFIS برای تخمین نویز ترافیکی در نظر گرفته شدند. مدل ANFIS پیشنهادی برای تخمین نویز ترافیکی در هشت محل در نظر گرفته شد. نتایج مورد مقایسه قرار گرفته و با سطوح نویزهای مشاهده شده (واقعی) تحلیل شدند و ضریب همبستگی بین سطوح نویز مشاهده شده و

یعقوبی و حسینی (۱۳۸۸) به مطالعه شناسایی راه های تعیین الگوی بهینه ترافیک شهری پرداخته، مطالعه‌ی حاضر به منظور بررسی و شناسایی راهکارهای مدیریتی برای حل معضلات ترافیکی شهرستان تنکابن از شهرهای شمالی استان مازندران انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، سهم وسایل نقلیه ی شخصی بالغ بر ۹۵ درصد و سهم وسایل نقلیه عمومی تنها ۵ درصد خودرو های موجود در شهرستان تنکابن را به خود اختصاص داده اند. هم چنین کلیه ی مسایل اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، زیست محیطی و اجرایی شهروندان و موقعیت جغرافیایی محیط مورد مطالعه، به عنوان عوامل مؤثر در ایجاد معضل ترافیک، نقش بسزایی دارند. به طوریکه مردم تمایل شدیدی به داشتن وسیله‌ی نقلیه شخصی دارند [yaghobi and hosseini, 2012]. عبدالرحمانی و دیگران (۱۳۸۹) پژوهشی با عنوان بررسی تأثیرات فرهنگ و ساختارهای اجتماعی بر ترافیک و مهندسی ترافیک انجام داده‌اند. ساختار مقاله حاضر بدین صورت است که ابتدا اهمیت نگاه اجتماعی و فرهنگی به ترافیک بازگو شده، نفوذ متغیرهای اجتماعی بر آن همراه با ملاحظات اجتماعی و فرهنگی به جای ملاحظات مهندسی شرح داده میشود. سپس نقش الگوهای رفتار اجتماعی در فرآیند اجرای طرحهای مهندسی ترافیک بررسی می‌شود. در ادامه موضوع وامگیری فناوری و ماشین از جوامع و فرهنگهای دیگر، اشتباهات رایج این وامگیریها و بالاخره درکی سطحی داشتن از فناوریهای حمل و نقلی، همراه با مثالها و مصادیقی از کشورهای مختلف توضیح داده می شود. در پایان به اثرات متقابل فرهنگ و ساختارهای اجتماعی با ترافیک و مهندسی ترافیک تأکید شده است [Abdolramani, habibzadeh and naderpour, 2010]. اسماعیلی و فرهی (۱۳۸۸) به طراحی و تدوین الگوی راهبردی توسعه فرهنگ ترافیک (ارائه نمودار کلان نظام توسعه فرهنگ ترافیک) پرداختند. این مطالعه با روش طراحی مقطعی انجام گرفت. بعد از تهیه لیست خبرگان و متخصصان آزادترافیک کشور، به منظور ارائه ساختار مناسب آموزش و ارتقای فرهنگ ترافیک به استخراج ۵ مؤلفه مؤثر (مؤلفه های اصلی مرکزی الگو، پشتیبانی، نظام مدیریت، اصول و مبانی حاکم بر توسعه فرهنگ ترافیک و حوزه تعاملاتی محیطی) اقدام شد. از کل خبرگان و متخصصان آموزش عالی و متخصصان ترافیک کشور،

که در نتیجه آلودگی هوا بود، رنج می بردند [Hossain, 2003].

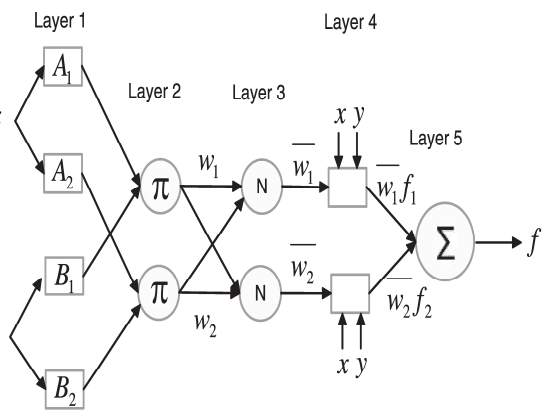
۳- سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه (ANFIS)

سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه نوعی شبکه عصبی مصنوعی است که بر اساس سیستم فازی تاکاگی- سوگینو^۲ است. این شیوه برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط جانگ مطرح شد. از آنجایی که این سیستم، شبکه های عصبی و مفاهیم منطق فازی را یکی می کند، می تواند از امکانات هر دو آنها در یک قاب بهره برد. سیستم استنتاج آن مطابق با مجموعه قوانین فازی اگر- آنگاه است که قابلیت یادگیری برای تقریب زدن توابع غیرخطی را دارد [Jang, 1993].

شکل ۱ ساختار کلی مدل ANFIS در حالت داشتن دو ورودی و یک خروجی را نشان می دهد. در این صورت قوانین فازی موجود در این سیستم عبارتند از:

$$\text{Rule 1: if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$$

$$\text{Rule 2: if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$$



شکل ۱. ساختار کلی مدل ANFIS

- لایه اول: در این لایه، درجه عضویت گره های ورودی به بازه های مختلف فازی با استفاده از توابع عضویت مشخص می گردد. x یا y ، ورودی به گره i یا A_i یا B_i اسمی متغیرهای زبانی منطبق با این گره می باشند.

- لایه دوم: هر گره در این لایه، یک گره ثابت به نام P است که خروجی آنها محصول تمام سیگنال های ورودی است.

پیش بینی شده حدود ۰/۷ تا ۰/۹ بدست آمده است. همچنین عملکرد مدل با مدل FHWA و CRTN و مدل های تخمینی نویز رگرسیونی مقایسه شد و مشاهده شد که عملکرد مدل ANFIS طراحی شده بهتر از عملکرد مدل های آماری مرسوم است [Sharma et al. 2014].

کانگ و دیگران (۲۰۱۱) در تحقیق خود، شبکه عصبی استاندارد BPNN که دارای معایبی در قسمت آموزش خود میباشد، بهبود داده و از آن در مدل پیش بینی حجم ترافیک، استفاده کردند؛ از جمله فعالیت هایی که در جهت بهبود شبکه های عصبی BPNN استاندارد صورت پذیرفته است، شامل موارد اضافه کردن ممتوم و نیز روش خودتطبیقی است. شبکه عصبی BPNN بهبود یافته از پیدایش شرایط معکوس در آموزش شبکه به طور مؤثری پیش گیری می کند؛ در عین حال باعث می شود که سرعت آموزش بهبود یابد [Kang, Chen, and Wang, 2011]. مائو و شی (۲۰۰۹)، پژوهشی در جهت ارتقای دقت شبکه عصبی BPNN در پیش بینی جریان ترافیک انجام دادند؛ این روش شامل پیش بینی حجم ترافیک بر اساس یادگیری بخشی در شبکه های عصبی BPNN دولایه است. با استفاده از روش آموزش بخشی، تکرار نسبی میانگین به اندازه ۲/۵۲ درصد کاهش یافت. شبکه عصبی BPNN بهبود یافته، نیازمند حجم کمتری داده بوده و دارای سرعت پردازش و دقت بالاتری می باشد [Mao and Shi, 2009]. کروز (۲۰۰۸). در مطالعه خود پیرامون هزینه یابی تراکم ترافیک، به مقدار زمان تلف شده افراد در ترافیک اشاره کرده و بیان می دارد مدل حمل و نقل را علیرغم ماهیت دینامیکی آن، قابل پیش بینی می دانند [Woensel and Cruz, 2008]. حسین (۲۰۰۳) در مطالعه خود در دانشگاه بنگداهش پیرامون شکل گیری سیستم حمل و نقل شهری از یک کلان شهر در حال توسعه در غیاب طرح های مدیریتی مناسب، به معرفی شهر داکا می پردازد و بیان می دارد، در توسعه حمل و نقل شهری شهر داکا، شهر گریبان گیر مشکلات ترافیکی شده بود، و افراد از ازدحام بیش از حد و متعاقباً ترافیک شدیدتری

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x_i) \mu B_i(y), \quad i=1,2 \quad (1)$$

-لایه سوم: در این لایه تنها کاری که صورت می‌پذیرد، نرمال‌سازی خروجی لایه دوم و انتقال آن به لایه بعد می‌باشد.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1,2.$$

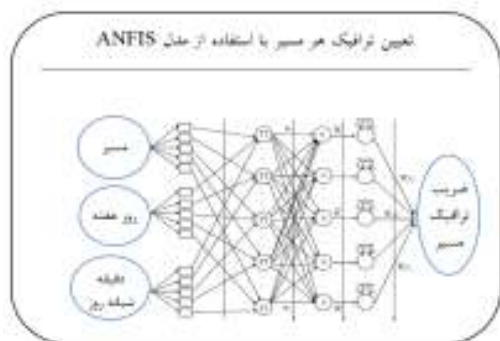
- لایه چهارم: هر گره i در این لایه، یک گره منطبق با تابع گره، به صورت زیر است:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1,2. \quad (3)$$

که در آن \bar{w}_i یک شدت برانگیختگی نرمال از لایه سوم و p_i و q_i و r_i مجموعه پارامترهای این گره می‌باشند. همچنین پارامترهای این لایه به پارامترهای استنتاجی موسومند.

- لایه پنجم: تنها گره این لایه، یک گره ثابت به نام Σ است که تمامی خروجی‌ها را به عنوان مجموعه همه سیگنال‌های ورودی به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$O_{5,i} = \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}, \quad i = 1,2 \quad (4)$$



شکل ۲. فرآیند تعیین ترافیک هر مسیر

۵- داده‌های مورد مطالعه

در این پژوهش مسیرهای مواصلاتی بین ۳۰ مرکز استان‌های کشور ایران مورد مطالعه قرار گرفته است و هدف، تعیین ترافیک بین این شهرها بوده است. بدین ترتیب با گردآوری اطلاعات ترافیکی یک هفته به تفکیک نوع مسیر، روز و ساعت، و ایجاد یک مدل ANFIS، ترافیک زمان مورد نظر سیستم تخمین زده شد. در این پژوهش ۲۵۰ نمونه مختلف از مسیرهای گوناگون با شرایط آب و هوایی مختلف و در زمان‌های مختلف از مناطق گوناگون جمع‌آوری شده است. شکل ۳ نقشه کشور ایران و مراکز استان‌های کشور را نشان می‌دهد:



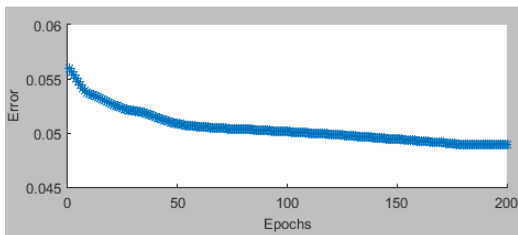
شکل ۳. شهرهای مورد بررسی در این پژوهش

۴- مدل مفهومی تحقیق

در پژوهش حاضر، شبکه بر اساس ۳ پارامتر ورودی و یک خروجی آموزش دیده و طراحی شده است. پارامترهای ورودی، نوع مسیر (از نظر آب و هوای مبدأ و مقصد)، روزهای هفته و دقیقه شبانه روز بوده و پارامتر خروجی ضریب ترافیک آن مسیر است. لازم به ذکر است در این پژوهش، ورودی نوع مسیر از لحاظ وضعیت هوای مبدأ به مقصد به سه دسته (مناسب‌تر با کدا، مشابه با کدا ۲ و بدتر با کدا ۳)، اوقات شبانه‌روز به شش دسته (۰ الی ۴، ۴ الی ۸، ۸ الی ۱۲، ۱۲ الی ۱۶، ۱۶ الی ۲۰ و ۲۰ الی ۲۴) و روزهای هفته به سه دسته (شنبه تا سه شنبه، چهارشنبه تا پنجشنبه و جمعه) تقسیم‌بندی گردیده‌اند. بدین ترتیب داده‌ها در کامل‌ترین حالت می‌توانند در ۵۴ دسته (۳×۶×۳) قرار گیرند. شکل ۲ بصورت شماتیک فرآیند تعیین ترافیک هر مسیر را نشان می‌دهد.

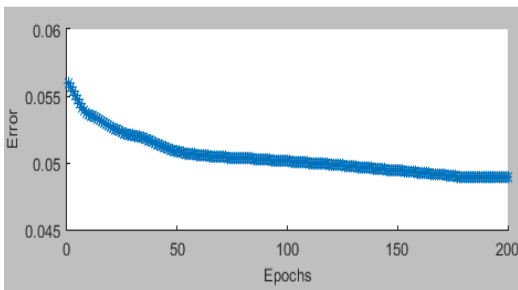
ANFIS ایجاد شده با استفاده از روش تقسیم‌بندی شبکه‌ای

را نشان می‌دهد:



شکل ۴. میزان خطای آموزش مدل ANFIS ایجاد شده با روش تقسیم‌بندی شبکه‌ای

همانطور که در شکل نشان داده شده است، مناسب‌ترین دوره برای انتخاب و پایان مراحل آموزش مدل با استفاده از روش تقسیم‌بندی شبکه‌ای، ۲۰۰ است. زیرا آموزش مدل ANFIS پس از آن، تأثیری بر کاهش خطای مدل ندارد. ضمناً مقدار توابع عضویت برای ورودی‌ها نیز عدد ۳ در نظر گرفته شده است و از روش هیبریدی بعنوان روش بهینه برای آموزش استفاده گردیده است. این سیستم از نوع سوگنو است و متغیرها بصورت آزمون و خطا با استفاده از تابع گوسی به متغیرهای فازی تبدیل شده اند. شکل ۵، میزان خطای آموزش مدل ANFIS ایجاد شده با استفاده از روش خوشه بندی (دسته‌بندی) کاهش می‌دهد:

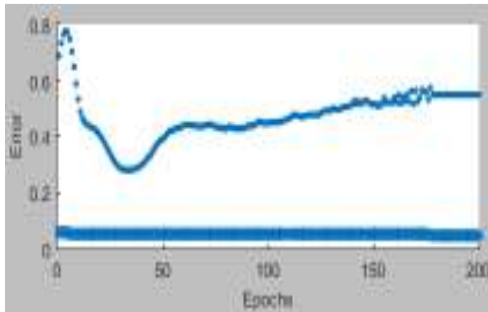


شکل ۵. میزان خطای آموزش مدل ANFIS ایجاد شده با روش خوشه بندی کاهش

همانطور که در شکل نشان داده شده است، مناسب‌ترین دوره برای انتخاب و پایان مراحل آموزش مدل با استفاده از روش خوشه بندی (دسته‌بندی) کاهش می‌دهد. ضمناً مقدار توابع عضویت برای ورودی‌ها بطور خودکار عدد ۲۴ در نظر گرفته شده است و از روش هیبریدی بعنوان روش بهینه برای آموزش استفاده گردیده است.

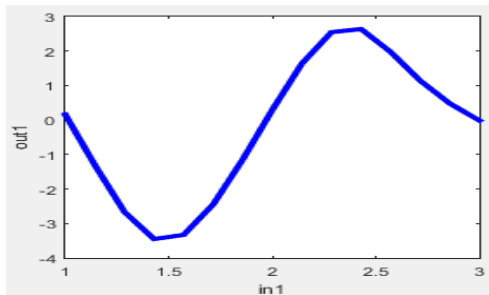
۶- یافته‌ها و تحلیل

در این پژوهش، ابتدا اطلاعات ترافیک مسیرهای بین مراکز استان های کشور، در قالب یک جدول بدست آمده و ذخیره گردید. این جدول مشخص می‌کند در هر لحظه (روز هفته و دقیقه از روز) از هر شهر به مقصد شهرهای دیگر، چه میزان ترافیکی وجود دارد. سپس داده های ذخیره شده، وارد نرم افزار متلب شدند. در مرحله بعد با کدنویسی در متلب، مدل ANFIS ایجاد شده و آموزش داده شد. لازم به ذکر است که در این پژوهش، داده ها در سه حالت آموزش^۳، آزمایش^۴ و اعتبارسنجی^۵ به سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه اعمال شد. بدین ترتیب که ابتدا ۱۳۰ داده از ۲۵۰ داده با استفاده از تابعی مناسب در متلب، بصورت تصادفی استخراج گردیده و مدل ANFIS با استفاده از آنها آموزش داده شده است. تعداد ۱۳۰ نمونه داده برای مرحله آموزش مناسب می‌باشد، زیرا ۵۲ درصد از کل داده‌ها و قریب به ۷۰ درصد از داده‌هایی را در بردارد که نمونه‌های اعتبارسنجی از آنها مجزا شده است. سپس مدل آموزش داده شده، مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت. بدین منظور ۶۰ داده جهت آزمایش و ۶۰ داده به عنوان داده اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. با توجه به نحوه دسته‌بندی ورودی‌ها که داده‌ها در کامل‌ترین حالت می‌توانند در ۵۴ دسته (۳×۶×۳) قرار گیرند، این تعداد نمونه به منظور استفاده در فرآیندهای آموزش، آزمایش و اعتبارسنجی، بسیار مناسب می‌باشند. بطور کلی دو روش در متلب برای ایجاد مدل در نظر گرفته شده است: یکی روش تقسیم‌بندی شبکه‌ای^۶ و دیگری روش خوشه بندی (دسته‌بندی) کاهش^۷. در این پژوهش برای بهره‌وری حداکثری از مدل ANFIS، این مدل به هردو روش ایجاد گردیده است و مدل‌های ایجاد شده بطور جداگانه بر روی داده‌های آزمایشی تست شده تا مدل بهتر از لحاظ تخمین ترافیک معین شود. شکل ۴، میزان خطای آموزش مدل

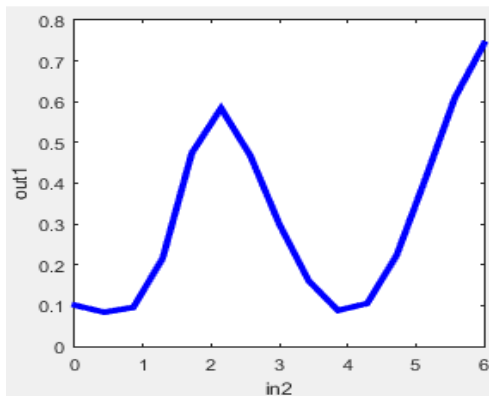


شکل ۶. نمودار خطای داده‌های چک و آموزش در مدل ANFIS ایجاد شده

همچنین بررسی تأثیر هر یک از این ورودی‌ها، بیش از پیش ارزش مدل انفیس موجود برای تخمین ترافیک مسیرها را نشان می‌دهد شکل‌های ۷، ۸، و ۹ رابطه هریک از سه ورودی را به تنهایی با خروجی نشان می‌دهند.



شکل ۷. رابطه ترافیک مسیر با نوع مسیر (از نظر تناسب آب و هوایی مبدأ و مقصد)



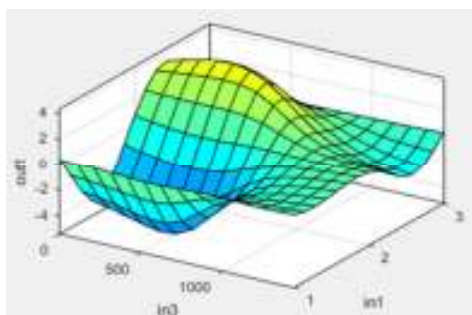
شکل ۸. رابطه روزهای هفته با ترافیک مسیرها

در ادامه کار لازم است که علاوه بر میانگین خطاهای آموزش هر دو مدل، کارایی آنها توسط داده‌های آزمایشی محک زده شود و یکی از آنها برای ایجاد مدل انتخاب گردد. بدین منظور، هر دو مدل بر روی داده‌های آزمایشی تست شده و نتایج زیر حاصل شده است:

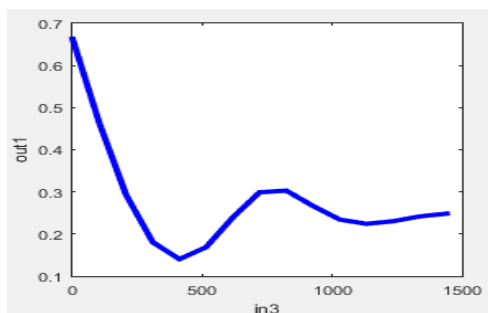
جدول ۱. نتایج حاصل از آموزش و آزمایش مدل ANFIS به دو روش تقسیم‌بندی شبکه‌ای و خوشه بندی کاهش

| Sub.Clustering | Grid_Partition | |
|----------------|----------------|-------------------------|
| ۰/۰۴۸ | ۰/۰۵۳ | میزان خطای آموزش |
| ۰/۰۹۰ | ۰/۸۸۳ | میزان تشخیص صحیح ترافیک |

بدین ترتیب با توجه به اطلاعات جدول فوق، مدل حاصل از روش خوشه‌بندی (دسته‌بندی) کاهش برای پیش‌بینی ترافیک انتخاب گردید. همچنین به منظور اعتبارسنجی بیشتر مدل ANFIS ایجاد شده و ویژگی‌های مورد استفاده در مدل، حدود ۲۵ درصد از داده‌ها به عنوان داده ارزیابی (چک) در نظر گرفته شده است که پس از آموزش مدل ANFIS توسط حدود ۵۰ درصد داده‌ها، نقطه بیش برآزش^۱ همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، در بازه میان گام‌های ۳۰ تا ۳۵ رخ داده است و خطای آموزش مدل نیز در این نقطه حدوداً برابر با ۵ درصد است. در این شکل، دایره‌های کوچک نمایانگر خطای داده‌های اعتبارسنجی در گام‌های متوالی بوده و علامت‌های ستاره نیز نشان‌دهنده خطای داده‌های آموزشی می‌باشند. علی‌رغم افزایش خطای داده‌های اعتبارسنجی پس از نقطه بیش برآزش، روند کاهش خطای داده‌های آموزش تا رسیدن به گام نهایی که ۲۰۰ در نظر گرفته شده است، ادامه می‌یابد و این موضوع نشان از تناسب بالای ویژگی‌های مدل با داده‌های گردآوری شده دارد و بیانگر این است که مدل ANFIS طراحی شده می‌تواند دقت بالایی را در تشخیص ترافیک لحظه‌ای رقم بزند.



شکل ۱۱. تأثیر نوع مسیر و اوقات شبانه روز بر ترافیک مسیر



شکل ۹. رابطه اوقات شبانه روز با ترافیک مسیر

با مقایسه تصاویر ۷ تا ۱۲ به راحتی می توان به این نتیجه دست یافت که در نظر گرفتن هر سه ورودی بطور همزمان بر مقدار خروجی در قیاس با تأثیر یک یا دو ورودی، بطور معناداری کیفیت مقدار خروجی را افزایش می دهد.

۷- تحلیل حساسیت مدل

در این قسمت، میزان حساسیت ترافیک تخمین زده شده نسبت به هر یک از ورودی ها با بکارگیری ابزار Neuro_Fuzzy_Designer محاسبه شده و نتایج مطابق با جدول ۲ بدست آمده است:

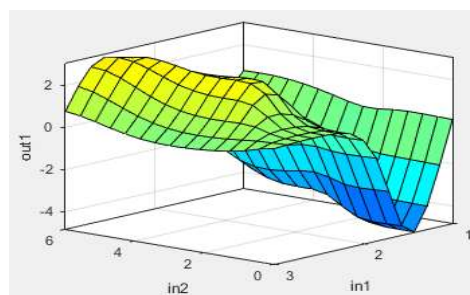
جدول ۲. میزان تأثیر هر ورودی بر عملکرد مدل ANFIS

تخمین ترافیک

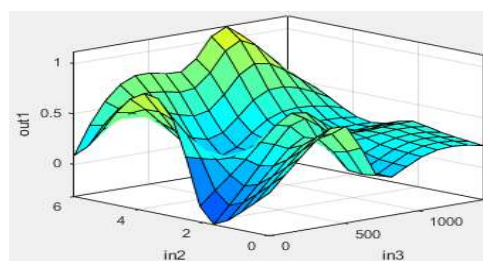
| ورودی | میزان خطا بدون محاسبه ورودی | میزان کاهش خطا با احتساب ورودی | درصد تأثیر مثبت |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|
| نوع مسیر | ۰/۰۹۸ | ۰/۰۵ | ۵۱٪ |
| روزهای هفته | ۰/۲۳۲ | ۰/۱۸۴ | ۷۹٪ |
| اوقات شبانه روز | ۰/۱۱۶ | ۰/۶۸ | ۵۹٪ |

همان طور که از نتایج موجود در جدول برمی آید، استفاده از ورودی روزهای هفته نسبت به دو ورودی دیگر، تأثیر بیشتری را بر عملکرد مدل ANFIS ترافیک دارد. اما در کل استفاده از هر سه ورودی به نوبه خود تأثیر بسزایی را در کاهش خطای تشخیص مدل ANFIS داشته است. به عنوان مثال، میزان خطای مدل بدون احتساب ورودی روزهای هفته برابر ۰/۲۳۲ بوده و با بهره گیری از این ورودی در کنار دو

برای مثال شکل ۷ که می بایست رابطه ترافیک مسیر با نوع مسیر (از نظر تناسب آب و هوایی مبدأ و مقصد) را نشان دهد، به تنهایی هیچ کمکی را در تخمین ترافیک نمی کند. یا شکل ۸ که نمایانگر رابطه روزهای هفته با ترافیک مسیرهاست، در برخی روزها همچون سه شنبه، نتیجه غیرقابل قبولی را نشان می دهد. همچنین شکل ۸ که باید رابطه اوقات شبانه روز با ترافیک مسیر را نشان دهد، بخوبی وظیفه خود را انجام نمی دهد. اما در صورتی که تأثیر دو ورودی را توأمان بر روی خروجی بررسی کنیم، کمی وضع بهتر می شود. شکل های ۱۰، ۱۱ و ۱۲، تأثیر ورودی ها را بصورت دوتایی و در قالب نمودارهای سطحی سه بعدی نشان می دهد.



شکل ۱۰. تأثیر نوع مسیر و روز هفته بر ترافیک مسیر

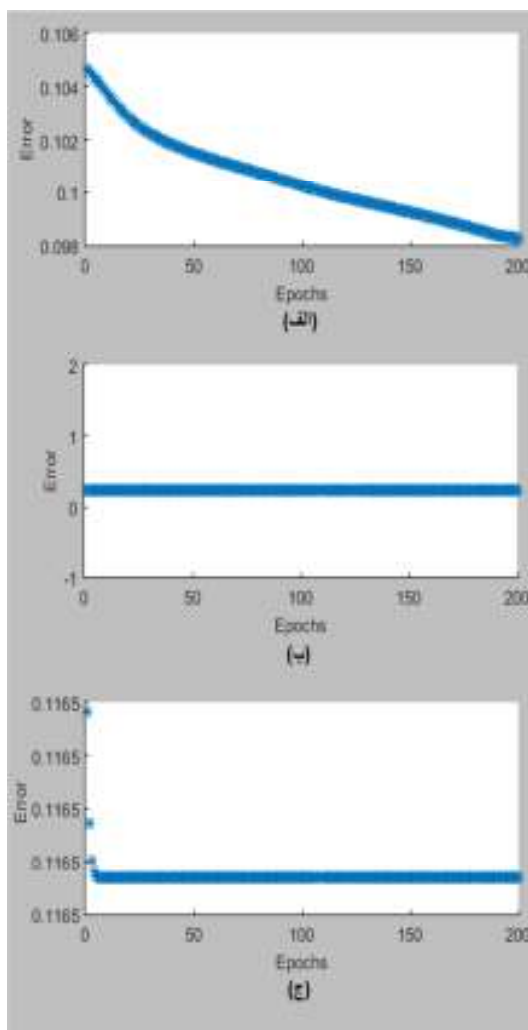


شکل ۱۱. تأثیر اوقات شبانه روز و روز هفته بر ترافیک مسیر

۸- نتیجه گیری

امروزه افزایش جمعیت و افزایش تولید اتومبیل توسط کارخانجات سازنده خودرو و آمار رو به رشد سفرها منجر به افزایش زمان سفرها و ایجاد صفوف طولانی خودروهای متوقف در معابر و راه‌بندان‌های طولانی شده است. بنابراین یکی از نگرانی‌ها و دغدغه‌های حمل و نقل، عدم کارایی سیستم‌های قدیمی کنترل ترافیک و چگونگی استفاده از تکنولوژی و سیستم‌های پیشرفته در جهت بهبود مسایل و مشکلات حمل و نقل است. با توجه به این موضوع، هدف پژوهش حاضر طراحی مدل پیش‌بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری با استفاده از تکنیک سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه، بوده است. بمنظور بهره‌وری حداکثری از مدل ANFIS، این مدل به هردو روش تقسیم‌بندی شبکه‌ای و دیگری روش خوشه‌بندی (دسته‌بندی) کاهش‌ی ایجاد گردیده است و مدل‌های ایجادشده بطور جداگانه بر روی داده‌های آزمایشی تست شده تا مدل بهتر از لحاظ تخمین ترافیک معین شود. نتایج نشان داده که روش خوشه‌بندی (دسته‌بندی) کاهش‌ی در مقایسه روش تقسیم‌بندی شبکه‌ای روش مناسب‌تری برای ایجاد مدل ANFIS در فرایند پیش‌بینی ترافیک برای پیش‌بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری است. مدل طراحی شده حجم ترافیک را با دقت ۹۰ درصد پیش‌بینی نمود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ANFIS ابزار مناسبی برای پیش‌بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری است. همچنین نتیجه حاصل از اعتبار سنجی مدل بوسیله داده‌های ارزیابی نشان داده که علی‌رغم افزایش خطای داده‌های ارزیابی (چک) پس از نقطه بیش‌برازش، روند کاهش‌ی خطای داده‌های آموزش تا رسیدن به گام نهایی، ادامه می‌یابد. این موضوع نشان از تناسب بالای ورودی‌های مدل با داده‌های گردآوری شده دارد و بیانگر این است که مدل ANFIS طراحی شده می‌تواند دقت بالایی را در تشخیص ترافیک لحظه‌ای رقم بزند. نتایج تحلیل حساسیت مدل نیز نشان می‌دهد که استفاده از ورودی‌های هفته نسبت به دو ورودی دیگر، تأثیر بیشتری را بر عملکرد مدل ANFIS ترافیک دارد. اما در کل استفاده از هر سه ورودی به نوبه خود تأثیر بسزایی را در کاهش خطای تشخیص مدل ANFIS داشته است. تحقیقات مختلفی در زمینه ترافیک و حمل و نقل خصوصاً از نوع درون شهری انجام شده است. در این میان می‌توان به تحقیق ونسل و کروز (۲۰۰۸) اشاره کرد که در مقاله شان زمان و اوقات شبانه روز را به عنوان

متغیر دیگر، این میزان خطا به ۰/۰۴۸ تقلیل پیدا کرده است که نشان‌دهنده کاهش ۰/۱۸۴ یا به عبارتی کاهش ۷۹ درصدی خطای آموزش می‌باشد. به هر حال با توجه به اعداد بدست آمده از تحلیل حساسیت ورودی‌های مورد استفاده در مدل ANFIS، میزان تأثیر هر یک از ورودی‌ها در تشخیص میزان ترافیک مشخص شده و نمایانگر انتخاب بجا و مناسب ورودی‌ها می‌باشد. شکل ۱۳ نمودارهای مربوط به آموزش مدل ANFIS ترافیک را نشان می‌دهد که به ترتیب از ورودی‌های نوع مسیر (الف)، روزهای هفته (ب) و اوقات



شبانه‌روز (ج) صرف‌نظر شده است:

شکل ۱۲. نمودارهای مربوط به آموزش مدل ANFIS ترافیک که به ترتیب از ورودی‌های نوع مسیر (الف)، روزهای هفته (ب) و اوقات شبانه‌روز (ج) صرف‌نظر شده

۱۰- مراجع

-اسماعیلی، علیرضا، فرهی، برزو، (۱۳۸۸)، "طراحی و تدوین الگوی راهبردی توسعه فرهنگ ترافیک (ارائه نمودار کلان نظام توسعه فرهنگ ترافیک)"، فصلنامه دانش انتظامی، سال ۱۰، شماره دوم، ص. ۱۱۰-۱۲۷.

-جوانی، بابک، (۱۳۹۰)، "الگوریتم خطی سازی مبتنی بر مسیر برای مسایل تخصیص ترافیک بزرگ مقیاس. پایان نامه کارشناسی ارشد"، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی عمران.

-حسینی چشمه ماکانی، سید تیمور، آریانا، محمد، آبرودی، سیدمجتبی، (۱۳۹۵)، "مدیریت حمل و نقل و ترافیک شهری در تهران"، فصلنامه علمی پژوهشی اقتصاد و مدیریت شهری، سال ۴، شماره ۳ (پیاپی ۱۵)، ص. ۹۵-۱۱۱.

-رحیمی، امیرمسعود، باقری، سیدرامتین، شهنی دزفولیان، رضا، مظاهری، آرش، (۱۳۹۵)، "ارزیابی استفاده از انواع تقاطع‌های غیرمتعارف به منظور بهبود جریان ترافیک در راه‌های شریانی برون شهری"، پژوهشنامه حمل و نقل: تابستان ۱۳۹۵، دوره ۱۳، شماره ۲ (پیاپی ۴۷)، ص. ۱۱۵-۱۲۸.

-شعبانی، شاهین، معتمدی سده، مهدی، امجدی، فرید، (۱۳۹۴)، "مدلسازی متوسط حجم روزانه ترافیک را با استفاده از شبکه‌های عصبی انتشار برگشتی (BP)"، دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، تبریز، ۱۵ تا ۱۷ اردیبهشت.

-عباسی، سیدحمید، یعقوبی، مهدی، (۱۳۹۲)، "رویکردی نو در بررسی پیش بینی پذیری ترافیک شهری مبتنی بر تئوری آشوب و پیش بینی جریان ترافیک شهر مشهد مبتنی بر سیستم فازی-عصبی تطبیقی چندگانه، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۴، شماره ۳.

-عبدالرحمانی، رضا، حبیب زاده، اصحاب، نادرپور، محمدرضا، (۱۳۸۹)، بررسی تأثیرات فرهنگ و ساختارهای اجتماعی بر ترافیک و مهندسی ترافیک، فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک، سال ۵، شماره ۱۸، صص ۱۰۱-۱۲۵.

-مریدی، مرضیه، (۱۳۹۴)، "نقش قوانین و مقررات در ترافیک و حمل و نقل شهری"، ششمین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری، مرکز پژوهش‌های شورای اسلامی مشهد، ۲۱ و ۲۲ آبان.

یکی از شاخص‌ها در پیش بینی جریان ترافیک در نظر گرفته اند. شعبانی و همکارانش (۲۰۱۵) نیز در مقاله خود متوسط حجم روزانه ترافیک را با استفاده از شبکه های عصبی انتشار برگشتی (BP) را طراحی و مدل سازی نمودند. همچنین عباسی (۲۰۱۲) مقاله‌ای با عنوان رویکردی نو در بررسی پیش بینی پذیری ترافیک شهری مبتنی بر تئوری آشوب و پیش بینی جریان ترافیک شهر مشهد مبتنی بر سیستم فازی-عصبی تطبیقی انجام داده است که همانند مقاله حاضر از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه (ANFIS) استفاده نموده است و برای پیش‌بینی جریان ترافیک در تقاطع‌ها یک روش پیش‌بینی جدید را بر اساس تکنیک ترکیبی اطلاعات توسط ANFIS ارائه کرده است. شارما و همکاران (۲۰۱۴) نیز یک سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه طراحی و پیاده سازی کردند که با تحقیق حاضر از لحاظ روش هماهنگ است. آنان از مدل ANFIS برای تخمین نوز ترافیکی در هشت محل استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که ANFIS ابزار مناسبی برای تخمین نوز ترافیکی است. در انتها، با توجه به دقت بالای مدل انفیس در پیش بینی حجم ترافیک روزانه و تأثیرات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی که گره‌های ترافیکی بر جوامع بشری می‌گذارد پیشنهاد می‌شود مسئولین حوزه ترافیک در برنامه ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های خود از این مدل استفاده نمایند و دستگاه‌های ذیربط را نسبت به تکنولوژی‌های نوین و کاربردی، آگاه سازد. همچنین با توجه به نتیجه حاصل از تحلیل حساسیت مدل، به مسئولین پیشنهاد می‌شود که به ترتیب نسبت به ورودی روزهای هفته، اوقات شبانه روز و نوع مسیر دقت کافی را داشته و با توجه به میزان حساسیت هر کدام تدابیر لازم را بیاندیشند.

۹- پی‌نوشت‌ها

1. Adaptive Network Based Fuzzy Inference System
2. Takagi – Sugeno
3. Training
4. Testing
5. Checking
6. Grid partition
- 7 Sub Clustering
8. Overfitting

- Kang, J., Chen, B. and Wang, W., (2011), "The Application and Research in Reducing the Errors of Traditional Traffic Volume Prediction Using an Improved BP Neural Network", Seventh International Conference on Natural Computation, IEEE.
- Kim, S., and Yeo, H., (2016), "A Flow-based Vulnerability Measure for the Resilience of Urban Road Network. Procedia-Social and Behavioral Sciences", 218, pp.13-23.
- Lin, L., Li, Y., and Sadek, A (2013), "A k Nearest Neighbor based Local Linear Wavelet Neural Network Model for On-line short-term Traffic volume prediction 13th COTA International Conference of Transportation Professionals, Vol. 96, pp. 2066–2077, Elsevier Ltd.
- Mahmoudi, Nejad, (2011), "Presentation a Model of Effect of Social Traffic Behavior on Traffic Violation, The Case Study of Tehran Metropolis", International Journal of Applied Science and Technology Vol. 1 No.4.
- Mao, Y and Shi, Sh., (2009), "Research on Method of the Subsection Learning of Double-layers BP Neural Network in Prediction of Traffic Volume", International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE.
- Tian, Z., Jia, L., Dong, H., Su, F., and Zhang, Z. (2016), "Analysis of Urban Road Traffic Network Based on Complex Network", Procedia Engineering, 137, pp. 537-546.
- Woensel, V., and Cruz, F.R.B, (2008), "A Stochastic Approach to Traffic Congestion costs", Computers & Operations Research, No: 36, pp. 1739–1731.
- Sharma, Asheesh, Vijay, Ritesh, Bodhe, G. L., and Malik, L.G., (2014), "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Traffic Noise Prediction", International Journal of Computer Applications, Volume 98– No.13.
- Xie, Y., Zhao, K., Sun, Y and Chen D., (2010), "Gaussian Processes for Short-Term Traffic Volume Forecasting", Transportation Research Board of the National Academies, in pp.69-78, Washington.
- معصوم زاده، جعفر، رحمانی، مرتضی، (۱۳۹۶)، "تعیین سهم ترافیک در آلودگی هوای کلان شهر تهران و الزامات فناورانه برای بهسازی آن"، مجله توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۵، شماره ۲۹، ص. ۷۵-۸۸.
- یعقوبی وایقان، فریبرز، حسینی، محمود، (۱۳۸۸)، "ارایه یک روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای برای سامانه‌های حمل و نقل برون شهری"، پژوهشنامه حمل و نقل: بهار ۱۳۸۸، دوره ۶، شماره ۱ (پیاپی ۱۸)، ص. ۶۵ - ۸۵.
- یعقوبی، نورمحمد، کیهانیان، ابوذر، سمیع پور، ابراهیم، لطیفی، سلیمه، (۱۳۹۱)، "شناسایی راه‌های تعیین الگوی بهینه ترافیک شهری"، فصلنامه علمی ترویجی مطالعات راهور، سال ۹، شماره ۱۷، ص. ۹۱-۱۰۲.
- Ansari, M., (2011), "Modeling and Simulation of Urban Traffic Using Colored Petri Nets: Case of Bushehr. Persian Gulf University", Bushehr, Iran, (in Persian).
- Çimen, M., and Soysal, M., (2017), "Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm". Transportation Research, 54, pp.82-98.
- Duddu, V., and Pulugurtha, S., (2013), "Principle of Demographic Gravitation to Estimate Annual Average Daily Traffic: Comparison of Statistical and Neural Network Models", ASCE, J. Transp. Eng., Vol. 139, No. 6, in pp. 585–595.
- Hossain. M., (2003), "Shaping up of Urban Transport System of a Developing Metropolis in Absence of Proper Management Setup, the case of Dhaka", Journal of Civil Engineering.
- Jang, J. S.R., (1993), "ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 23 (3).
- Jarvis, Autey, and Tarek, Sayed, (2012) "Guidelines for the Use of Some Unconventional Intersection Designs", 4th International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, Spain.