پیش‌بینی زمان سفر یک خیابان در محیط GIS با استفاده از پارامترهای پریودیک موجود در داده‌های آماری ترافیک

جواد صابریان

استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب
j_saberian@azad.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۴)

چکیده

امروزه در بسیاری از کشورها مشکلات حمل‌ونقل و ترافیک به یکی از چالشهای مهم اجتماعی تبدیل شده و سهم قابل توجهی از سرمایه های ملی هر کشور را به خود اختصاص داده است. با پیشرفت علم، شرایط مناسبی برای یک مدیریت هوشمندانه و هدفمند به‌منظور ارتقای بهره‌وری و افزایش کارایی شبکه ترافیکی محقق شده است. در حوزه فناوری اطلاعات، سیستم‌های اطلاعات مکانی[۱] از اهمیت ویژه ای در بهینه سازی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل برخوردار می‌باشند. در این زمینه قابلیت‌های تجزیه و تحلیل شبکه در سیستم‌های اطلاعات مکانی از جمله محاسبه کوتاهترین مسیر می‌تواند بسیار مفید واقع شود.

تاکنون معیارهای مختلفی برای انجام آنالیز کوتاهترین مسیر در تجزیه و تحلیل شبکه در سیستمهای اطلاعات مکانی در نظر گرفته‌شده‌اند. معیارهایی از قبیل مسافت، زمان سفر، راحتی مسیر، زیبایی مسیر و ... . معیار زمان سفر چون کاملاً وابسته به ترافیک می‌باشد دارای تغییرات پیوسته و در بعضی موارد تصادفی می‌باشد. بنابراین لازم است که زمان عبور از هر خیابان بر اساس شرایط هندسی و ترافیک لحظه‌ای آن محاسبه شود. در این مقاله با استفاده از تبدیل موجک و روش کمترین مربعات مدلی جهت پیش‌بینی زمان عبور از هر خیابان، بر اساس داده‌های موجود ترافیکی آن ارائه‌شده است. دو نمونه موردی انجام شده در این زمینه کارآیی مدل ارائه‌شده را نشان داد. به نحوی که توانست با ۴/۸ ثانیه خطا، زمان سفر یک خیابان ۶/۳ دقیقه‌ای و با ۵۷/ دقیقه اختلاف، زمان سفر یک خیابان ۶۸ دقیقه‌ای را پیش‌بینی کند.

واژگان کلیدی: زمان سفر، ترافیک، حمل‌ونقل، تبدیل موجک، کمترین مربعات

۱ Geographic Information System

۱- مقدمه

امروزه با گسترش شهرها و افزایش جمعیت شهری، یکی از مهمترین مشکلات مردم پیدا کردن راه‌حلی برای کم کردن طول و زمان سفرهای درون‌شهری خود می‌باشد. در این میان نقش سیستمهای اطلاعات مکانی به‌عنوان علم و ابزار مدیریت و تحلیل اطلاعات مرتبط با مکان روز بروز گسترده‌تر و با اهمیت تر می‌شود. در این زمینه قابلیتهای تجزیه و تحلیل شبکه در سیستمهای اطلاعات مکانی از جمله محاسبه کوتاهترین مسیر می‌تواند بسیار مفید واقع شود. شاید بتوان گفت که در مسئله مسیریابی، معیار زمان سفر به مراتب کاربردی تر و مهم تر از دیگر معیارها می‌باشد. اما این معیار کاملاً وابسته به ترافیک می‌باشد و دارای تغییرات پیوسته در طول زمان می‌باشد. به همین خاطر نمی‌توان از زمان سفر استاتیک و ثابت برای مسیریابی بهینه در شبکه ها استفاده کرد. به‌عنوان مثال اگر طول مسیر بین مبدا و مقصد ۳ ساعت باشد مطمئنا در طول این سه ساعت به علت تغییرات ترافیک، زمان سفر خیابان‌ها نیز تغییر می‌کند. پس نمی‌توان به آنالیز بهترین مسیری که فقط زمان سفر اولیه خیابان‌ها را در نظر گرفته است اطمینان کرد. در این تحقیق قصد داریم که از اطلاعات آماری زمان سفر در روزهای قبل به‌منظور پیش‌بینی زمان سفر خیابان‌ها در آینده استفاده کنیم. مطمئنا این داده‌های آماری می‌توانند نتایج آنالیزهای مسیریابی بر اساس معیار زمان را بهتر کنند. زیرا اصولا ترافیک و زمان سفر خیابان‌ها تا حدود زیادی ماهیت تناوبی دارند و در طول زمان و حتی مکان تکرار می‌شود. به‌عنوان مثال همیشه ساعاتی از روز ترافیک سنگین تر یا سبک تر است. و یا اینکه روزهای خاصی از هفته ترافیک سنگین تر از روزهای دیگر هفته است. بنابراین می‌توان از داده‌های مربوط به زمان سفر روزهای قبل در جهت پیش‌بینی زمان سفر یک مسیر در آینده استفاده کرد. به‌این‌ترتیب قادر خواهیم بود که بجای در نظر گرفتن یک زمان ثابت برای خیابان‌ها از زمان سفر پیش‌بینی شده آن‌ها در تمامی لحظات آینده استفاده کنیم.

با توجه به هدف اصلی مقاله که ارائه مدلی برای پیش‌بینی زمان سفر در خیابانهای شبکه می‌باشد، زیر اهداف زیر قابل ذکرند: ۱- اثبات پریودیک بودن تغییرات ترافیک و زمان سفر در خیابان ۲- تعیین پارامترهای پریودیک موجود در زمان سفر هر خیابان با استفاده از آنالیزهای طیفی مثل موجک ۳- تلفیق پارامترهای استخراج شده در قالب یک مدل با استفاده از روشهایی همچون کمترین مربعات و ۴- پیش‌بینی زمان سفر در هر خیابان بر مبنای مدل ارائه‌شده و ارزیابی آن با داده‌های آماری ای که در محاسبات شرکت داده نشده اند.

ساختار مقاله برای رسیدن به این اهداف به‌صورت زیر تنظیم شده است. در فصل ۲ به بیان ادبیات و پیشینه تحقیق خواهیم پرداخت. در این فصل مختصری در مورد تحقیقات انجام شده دیگران در زمینه پیش‌بینی حجم ترافیک آورده شده است. فصل سوم به توضیح روش‌های جمع آوری داده ترافیک در یک سیستم حمل‌ونقل هوشمند می پردازد. این داده‌ها در مدل پیشنهادی این مقاله، مبنای پیش‌بینی زمان سفر خیابان‌ها در آینده خواهند بود. فصل چهارم مربوط به مدل پیشنهادی جهت پیش‌بینی زمان سفر است. بخش اول این فصل به توضیح مفاهیم و روش‌های آنالیز طیفی اختصاص دارد. نشان خواهیم داد که آنالیز طیفی موجک می‌تواند فرکانس‌های موجود در داده ترافیک (مثل فرکانس ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهانه و ...) را به همراه زمان وقوع آن فرکانس استخراج کند. در بخش دوم و سوم این فصل، میزان اهمیت هر یک از فرکانسها در پیش‌بینی و ترافیک های تصادفی بحث خواهند شد. فصل پنجم به توضیح دو نمونه موردی انجام شده در زمینه اهداف تحقیق اختصاص دارد و بالاخره فصل ششم به نتیجه‌گیری خواهد پرداخت.

۲- پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی در زمینه پیش‌بینی حجم متوسط ترافیک روزانه در سال انجام گرفته است که می‌توان آن‌ها را در دو گروه دسته بندی کرد؛ تحقیقاتی که به تخمین زدن مقدار حجم ترافیک در زمان کنونی می پردازند و تحقیقاتی که حجم ترافیک را در آینده پیش‌بینی می‌کنند. در نوع اول که غالباً مربوط به همان سال است از فاکتورهای مؤثر پیش‌بینی در همان سال استفاده می‌کنند. هدف این‌گونه تحقیقات غالباً بررسی و مقایسه روش های نو با روش‌های سنتی پیش‌بینی حجم ترافیک می‌باشد.

در نوع دیگر میزان حجم ترافیک برای آینده بر اساس حجم ترافیک موجود در گذشته و با بررسی روند آن تخمین زده می‌شود. در تخمین حجم ترافیک برای سال کنونی

معمولاً از رگرسیون استفاده می‌شود. بطوریکه یک یا چند پارامتر مؤثر که گمان می‌شود با حجم ترافیک مرتبط می‌باشند در مدلسازی بکار گرفته می‌شوند. برای مثال نوو [۱] از پارامتر های جمعیت، میزان مالکیت خودرو، تعداد خانوار و تعداد شاغلین برای پیش‌بینی حجم ترافیک استفاده کرد. محمد و همکارانش [۲] برای مدلسازی تخمین حجم ترافیک راههای حومه‌ای به‌وسیله رگرسیون چندگانه از پارامتر هایی نظیر جمعیت آن بخش، نوع مسیر موجود، میزان دسترسی به مسیرهای مشابه و کیلومتراژ مسیرهای شریانی در آن بخش بهره بردند. ژائو و چانگ [۳] نیز مدلی از رگرسیون چندگانه با استفاده از تعداد خطوط، کاربری زمین، نوع مسیر و شرایط اقتصادی اجتماعی ساختند.

در سالهای اخیر روش های پیچیده‌تری نیز برای تخمین حجم ترافیک استفاده می‌شوند. شارما و همکاران [۴] از شبکه عصبی برای تخمین ۶۳ محل در شبکه بزرگراه مینسوتا استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شبکه عصبی هنگامی که ایستگاههای شمارش به‌طور مناسب دسته بندی شده اند همانند سایر روش های کلاسیک تخمین حجم ترافیک عمل می‌کنند. گوئل و مک کورد [۵] ترکیبی از عکس های هوایی و ماهوارهای به همراه اطلاعات زمینی را برای توسعه بخشیدن به تخمین حجم ترافیک در مناطق تحت پوشش استفاده کردند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده کارایی این روش در تخمین حجم ترافیک با دقت مناسب بود. تخمین حجم ترافیک برای سالهای آینده از پیچیدگی بیشتری برخوردار می‌باشد. زیرا اطلاعات درستی از متغیرهای مؤثر در تولید سفر برای سالهای بعد در دست نمی‌باشد و این متغیرها با در نظر گرفتن فرضیاتی انتخاب می‌گردند.

الماسید و همکارانش [۶] مدل رگرسیون چندگانه‌ای برای پیش‌بینی حجم ترافیک در سالهای آینده در مسیرهای بیابانی و کم اهمیت ساختند. در مدل آن‌ها پارامترهایی نظیر جمعیت، میزان اشتغال، تعداد مراکز درمانی و تعداد مغازه ها استفاده شد. کاسترونتو و همکارانش[۷] نیز از بانک اطلاعاتی شامل رکوردهای ۲۰ سال گذشته ۲۵ بخش از ایالت تنسی برای پیش‌بینی ترافیک‌سالهای آینده استفاده کردند.

تحقیقات زیادی نیز در مورد پیش‌بینی کوتاه مدت جریان و سرعت ترافیک انجام شده است. در این کارها از روش‌های متفاوت ساده و یا پیچیده و با در نظر گرفتن شرایط مختلف ترافیکی برای پیش‌بینی استفاده شده است [۸]. برخی از این پژوهش‌ها از مدل‌های سری زمانی متغیر برای عمل پیش‌بینی استفاده کرده‌اند [۹] و برخی دیگر مدل کالمن فیلتر را برای پیش‌بینی انتخاب نموده‌اند[۹]. در این میان روش‌های هوشمند نیز مورد استفاده قرار گرفته و مدل‌های پیش‌بینی براساس شبکه‌های عصبی و منطق فازی طراحی شده‌اند [۱۰]. روش‌های غیر پارامتری و مدل زنجیره مارکوف کارهای دیگری در این زمینه می‌باشد که برای طراحی مدل پیش‌بینی کننده استفاده شده است. حتی از مدل‌های ترکیبی نیز جهت افزایش کارایی سیستم استفاده شده است که در این میان می‌توان به مدل‌های ترکیبی شبکه‌های عصبی، مدل‌های عصبی-ژنتیک و ترکیب شبکه‌های عصبی با مدل ARIMA اشاره نمود.

در زمینه ترافیک‌های پیش‌بینی نشده و تصادفی نیز تحقیقات محدودی انجام شده است که در آن‌ها ترافیک‌های تصادفی به ریسک یال تعبیر شده است.[۶, ۷]

۳- جمع آوری داده‌های ترافیک

مدیریت هوشمند ترافیک از چالش‌های پیش رو در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند می‌باشد. مفهوم مدیریت هوشمند ترافیک بر استفاده بهینه از ظرفیت ساختار موجود شبکه حمل‌ونقل دلالت دارد. نیاز اصلی مدیریت هوشمند ترافیک، جمع‌آوری داده‌هایی با دقت و کیفیت مناسب و در شرایط ترافیکی گوناگون جهت تولید اطلاعات ترافیکی آنی می‌باشد [۱۱]. درنتیجه، هدف اصلی از ایجاد سیستم‌های مدیریت هوشمند ترافیک، تهیه اطلاعات ترافیکی بیشتر و دقیق‌تر و درنتیجه برآورد دقیق‌تر وضعیت ترافیک جهت حمل‌ونقل مؤثر و اقتصادی افراد و کالاها می‌باشد. برای مثال هم‌اکنون در کشور آمریکا، وضعیت ترافیکی آزادراه‌های این کشور به‌طور لحظه‌به‌لحظه جمع‌آوری‌شده و حتی از طریق شبکه اینترنت در اختیار عموم قرار می‌گیرد.

جهت بررسی وضعیت ترافیک شبکه حمل‌ونقل و پیش‌بینی چگونگی روند تغییرات آن نیاز به اطلاعات و داده‌های ترافیکی صحیح و قابل اطمینان از مکان‌های مختلف شبکه می‌باشد. همچنین ابزار مناسبی جهت تحلیل این داده‌ها برای مدیریت بهینه ترافیک و برنامه‌ریزی جهت

کاهش معضلات موردنیاز می‌باشد. به‌طورکلی دو روش ثابت و متحرک برای جمع آوری داده‌های ترافیکی وجود دارد [۱۲]. در روش نخست از سنجنده های ثابت در مکان‌های مشخصی استفاده می‌شود. درصورتی‌که روش دوم متکی بر سنجنده های متحرک است. جمع آوری داده‌های ترافیک به‌وسیله سنجنده های ثابت از دیرباز مورد استفاده قرار می‌گرفته است. در این روش داده‌های ترافیکی تنها در مکان‌های خاصی از شبکه و در زمان‌های معینی در روز اندازه‌گیری و جمع آوری می‌شوند. روش‌های مبتنی بر سنجنده هایی که از حلقه‌های القایی، سنجنده های راداری، آشکارسازهای صدا و دید کامپیوتری استفاده می‌کنند را می‌توان در این دسته طبقه‌بندی کرد. در بین روش‌های جمع آوری داده‌های ترافیک با سنجنده های ثابت، روش دید کامپیوتری بیشتر مورد توجه می‌باشد زیرا قادر به استخراج اطلاعات زیادی می‌باشد. بااین‌حال سنجنده های دیگر نیز مزایایی دارند. ارزانی نسبت به سیستم‌های بینایی مبنا، سادگی نصب و نیاز به پهنای باند ارتباطی کمتر جهت ارسال اطلاعات برخی مزایای آن‌ها می‌باشند. این مسئله موجب می‌شود که در شرایط مختلف روش‌های متفاوتی مورد استفاده قرار بگیرند.

یکی از پارامترهایی که توسط سنجنده های ثابت قابل اندازه‌گیری است و در مهندسی ترافیک از اهمیت بالایی برخوردار است، سرعت است. در مدیریت ترافیک بررسی سرعت وسایل نقلیه جهت نصب علائم لازم در نقاط و محل‌های مناسب و تعیین حداکثر سرعت ضروری است. همچنان که در راه‌سازی نیز سرعت از عوامل ضروری طرح جاده‌ها برای تعیین شعاع قوس‌ها، شیب جاده‌ها، مسافت دید و ... است.

بزرگ‌ترین مشکل استفاده از سنجنده های ثابت محدودیت اندازه‌گیری آن‌ها به مکان و درنتیجه عدم پوشش مکانی-زمانی کل شبکه می‌باشد. درصورتی‌که بخواهیم حجم بیشتری از داده‌ها را به‌وسیله این‌گونه سنجنده ها جمع آوری کنیم تعداد آن‌ها بسیار زیاد شده که خود منجر به افزایش بسیار زیاد هزینه پیاده‌سازی خواهد شد [۱۲]. همچنین این روش‌ها اطلاعات قابل اطمینانی راجع به پارامتر زمان سفر در کل شبکه که از مهم‌ترین پارامترهای ترافیکی بوده و در آنالیزهای شبکه حمل‌ونقل مورد استفاده قرار می‌گیرند ارائه نمی‌دهند [۱۲]. دلیل اصلی این مسئله عدم پوشش مکانی-زمانی مناسب این سنجنده ها در شبکه نامنظم حمل‌ونقل شهری بوده که منجر به عدم تولید پروفیل‌های سرعت کافی جهت اندازه‌گیری زمان سفر می‌شود. روش‌های دیگر جمع آوری داده‌های ترافیک مثل دید ویدئویی و شناسایی پلاک نیز که داده‌ها را به‌صورت گسترده‌ای در فضا و زمان جمع آوری می‌کنند بسیار هزینه‌بر می‌باشند. همچنین برای محاسبه پارامتر زمان سفر به‌وسیله این سنجنده ها، محاسبات پیچیده‌ای نیاز است [۱۱]. لذا جهت به دست آوردن اطلاعات ترافیکی در هر مکان و در هر زمان از شبکه و به دست آوردن پارامتر زمان سفر با دقت بالا، روش جمع آوری داده‌های ترافیکی به‌وسیله سنجنده های متحرک مناسب‌تر می‌باشد.

درصورتی‌که محدوده جغرافیایی موردنظر محدود بوده و یا مکان‌های خاصی جهت جمع آوری داده موردنیاز باشند، سنجنده های ثابت می‌توانند به‌طور مؤثری مورد استفاده قرار بگیرند. در غیر این صورت اگر نیاز به اطلاعات فراوان از یک منطقه بسیار بزرگ داشته باشیم، با توجه به هزینه بسیار بالای سنجنده های ثابت جهت پوشش کامل منطقه، استفاده از این سنجنده ها دیگر کارآیی لازم را نداشته و نیاز به استفاده از روش‌های نوین جهت برآورد دقیق وضعیت ترافیک می‌باشد. این روش جدید بر اساس جمع آوری پویای داده‌های ترافیکی به‌وسیله مجموعه‌ای از سنجنده های توزیع بافته متحرک و در بستر شبکه همراه می‌باشد. مزیت این روش نسبت به روش‌های دیگر جمع آوری داده، پوشش وسیع مکانی و زمانی داده‌های جمع‌آوری‌شده و دقت نسبی بالای آن‌ها می‌باشد [۱۲]. انگیزه لازم برای استفاده از سنجنده های متحرک از دو دیدگاه فناوری و کاربردی قابل توجیه می‌باشد [۱۳].

استفاده از سنجنده های توزیع یافته متحرک به‌منظور تهیه داده‌های ترافیکی با پوشش مکانی-زمانی بالا روشی کارا و مؤثر می‌باشد. تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است دارای قاعده یکسانی می‌باشند[۱۲, ۱۳]. یکی از کامل‌ترین پروژه‌هایی که در این زمینه انجام شده است، پروژه ORINOKO در کشور آلمان می‌باشد [۱۱]. در این پروژه از تاکسی‌ها برای جمع آوری داده‌های ترافیکی استفاده شده است. بر اساس تحقیقات انجام شده تاکسی‌ها به‌طور متوسط دو برابر ماشین‌های معمولی در روز حرکت می‌کنند. این امر موجب افزایش داده‌های برداشتی می‌شود. داده‌های برداشت شده در این پروژه علاوه بر کمک به اتخاذ

تصمیمات بهتر در مورد وضعیت ترافیکی، به مدیریت بهتر ناوگان تاکسیرانی نیز کمک می‌کند.

پروژه Cartel [۱۴] که در آزمایشگاه انجام شده است نمونه‌ای دیگر از استفاده از سنجنده های توزیع یافته متحرک می‌باشد.

۴- پیش‌بینی زمان سفر

۴-۱- استخراج پارامترهای پریودیک داده ترافیک

پس از جمع آوری داده ترافیک، به‌منظور استخراج پارامترهای پریودیک در آن می‌توان از آنالیز طیفی استفاده کرد. برای این منظور آنالیز طیفی موجک پیشنهاد می‌شود. تبدیل موجک سری اطلاعاتی ترافیک را از فضای آرگومان به فضای فرکانس تبدیل می‌کند[۱۵]. مزیت تبدیل موجک نسبت به دیگر روش‌ها مثل فوریه در این است که در تبدیل موجک محل وقوع یک فرکانس خاص در فضای آرگومان مشخص می‌شود که برای استخراج پارامترهای تناوبی ترافیک این مسئله از اهمیت بالایی برخوردار است. تمامی توابع پایه در تبدیل موجک از انتقال و مقیاس یک تابع (موجک مادر) به دست می‌آیند. توابع موجک مادر مختلفی تاکنون تعریف و استفاده شده‌اند. توابع موجک با اضافه کردن دو پارامتر انتقال و مقیاس، به‌صورت رابطه ۱ از روی موجک مادر به دست می‌آیند:

$$\psi_{a,b}(x)=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\psi\left[\frac{x-a}{b}\right] \quad a,b\in R \qquad (۱)$$

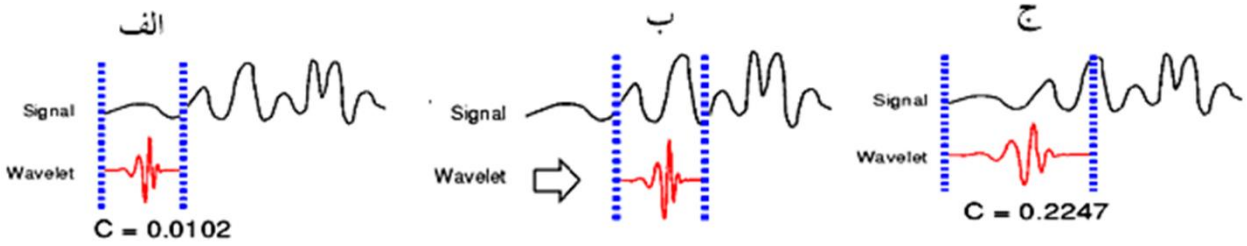
در این رابطه ψموجک مادر، a پارامتر مقیاس و b پارامتر انتقال است و ضریب $a^{-1/2}$ به‌منظور نرمالیزه کردن مقیاس‌های مختلف اضافه شده است. پارامتر مقیاس متناسب با عکس فرکانس است یعنی هر چه مقیاس کوچک‌تر می‌شود فرکانس بالاتر می‌رود و برعکس. انجام تبدیل موجک را می‌توان در پنج مرحله زیر خلاصه کرد:

۱- موجک مادر موردنظر را انتخاب و آن را با یک بخش در شروع سیگنال مقایسه می‌کنیم.

۲- میزان شباهت موجک را با این بخش از سیگنال محاسبه می‌کنیم، $C\equiv w_{\psi}$، هر چقدر عدد بزرگ‌تر باشد، تشابه بیشتر است (شکل ۱- الف).

۳- موجک را به سمت راست حرکت می‌دهیم و مراحل ۱ و۲ را تکرار می‌کنیم تا کل سیگنال پوشش داده شود(شکل ۱- ب). در واقع تا اینجا مشخص کرده‌ایم که یک فرکانس خاص در چه جاهایی از سیگنال رخ داده است. زیرا همان‌طور که بیان شد از روی مقیاس موجک می‌توان فرکانس سیگنال را محاسبه کرد. پس هر بخش از سیگنال که میزان شباهت بیشتری با موجک در این مقیاس داشته باشد دارای فرکانسی نزدیک‌تر به فرکانس مرتبط با آن مقیاس در آن بخش می‌باشد.

۴- مقیاس موجک را تغییر داده و مراحل ۱ تا ۳ را تکرار می‌کنیم (شکل ۱- ج). این امر به‌منظور تعیین محل فرکانس‌های دیگر صورت می‌گیرد.



شکل۱- مراحل انجام تبدیل موجک[۱۶]

۵- مراحل ۱ تا ۴ را برای تمام مقیاس‌ها تکرار می‌کنیم.

با انجام تبدیل موجک پیوسته ضرایبی را خواهیم داشت که در مقیاس‌های مختلف با بخش‌های مختلف سیگنال تولید می‌شوند. ضرایب نتیجه رگرسیون سیگنال اولیه با موجک هستند. برای درک این ضرایب نموداری رسم می‌کنیم که محور افقی بیانگر موقعیت در طول سیگنال (آرگومان) و محور قائم مقیاس را نشان می‌دهد و رنگ هر نقطه x-y بزرگی ضریب را نشان می‌دهد.

بعد از اعمال تبدیل موجک بر روی داده‌های نمونه ترافیکی مربوط به یک سال که در بخش ۵ در مورد آن‌ها

توضیح داده خواهد شد، مشخص شد که عمده‌ترین و مهم‌ترین پارامترهای تناوبی ترافیک عبارت‌اند از: ۱) پارامتری که دوره تناوب آن شبانه‌روزی است (Td) یعنی بعد از گذشت ۲۴ ساعت تکرار می‌شود، ۲) پارامتری که دوره تناوب آن هفتگی است (Tw) یعنی بعد از گذشت یک هفته تکرار می‌شود و ۳) پارامتری که دوره تناوب آن سالانه است (Ty) یعنی بعد از گذشت یک سال تکرار می‌شود. البته پارامترهای دیگری نیز در بعضی موارد وجود داشتند که چون دائمی رخ نداده‌اند از در نظر گرفتن آن‌ها صرف‌نظر کردیم.

۴-۲- تعیین میزان اهمیت هر پارامتر پریودیک با استفاده از روش کمترین مربعات

حال که پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی ترافیک مشخص شدند نوبت به تعیین میزان اهمیت و وزن هر یک از این پارامترها می‌رسد. برای این منظور در این مقاله از روش کمترین مربعات استفاده شده است. روش کمترین مربعات روشی در آمار است که برای حل دستگاه معادلاتی به کار می‌رود که تعداد معادله‌هایش بیش از تعداد مجهول‌هایش است[۱۷]. این روش بیشتر در تحلیل رگرسیون به کار می‌رود. دستگاه معادلات را به شکل رابطه ۲ تشکیل می‌دهیم:

$$\begin{cases} T_0 = a_0 Td_0 + a_1 Tw_0 + a_2 Ty_0 \\ T_1 = a_0 Td_1 + a_1 Tw_1 + a_2 Ty_1 \\ \vdots \\ T_n = a_0 Td_n + a_1 Tw_n + a_2 Ty_n \end{cases} \quad (۲)$$

در این معادلات T_i مشاهده لحظه‌ای زمان سفر در یک خیابان (با استفاده از سنجنده های متحرک و ثابت) می‌باشد. Td_i میانگین زمان سفر خیابان در ساعت مشاهده در طول یک سال گذشته می‌باشد. Tw_i میانگین زمان سفر خیابان در روز مشاهده لحظه‌ای از هفته (مثلا دوشنبه) در طول یک سال گذشته می‌باشد و Ty_i میانگین زمان سفر خیابان در روز مشاهده لحظه‌ای از سال (مثلا سوم تیرماه) در سال گذشته می‌باشد. البته لازم به ذکر است که در تمامی موارد ساعت مشاهده در میانگین‌گیری لحاظ شده است. a_i ها مجهولات معادله می‌باشند که وزن هر یک از پارامترها را نشان می‌دهند. تعداد این معادلات برابر تعداد خیابان‌هایی از شبکه است که زمان سفر لحظه‌ای در آن‌ها مشاهده شده است. با استفاده از روش کمترین مربعات در نهایت مجهولات طبق رابطه ۳ برآورد می‌شوند:

$$L = AX \Rightarrow \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (۳)$$

پس از برآورد وزن هر یک از پارامترهای ترافیک، می‌توان برای ساعت‌های آینده زمان سفر آماری هر یک از خیابان‌ها را پیش‌بینی کرد.

۴-۳- لحاظ کردن ترافیک‌های پیش‌بینی نشده و تصادفی

احتمال وقوع مسائل پیش‌بینی نشده از قبیل تصادفات خودروها، خرابی راه‌ها و ... در هر خیابانی وجود دارد که باید در محاسبه زمان سفر بخش قبل لحاظ شود. احتمال وقوع مسائل پیش‌بینی نشده را می‌توان از روی آمار روزهای قبل استخراج کرد. برای این منظور، تعداد دفعاتی که زمان سفر خیابان در روزهای قبل از یک حد قابل‌قبول بالاتر رفته است می‌تواند به‌عنوان احتمال وقوع مسائل پیش‌بینی نشده در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال احتمال وقوع ترافیک پیش‌بینی نشده در خیابانی که ۲۰ بار در سال گذشته زمان سفر آن از حد قابل‌قبول (مثلا ۱/۵ برابر میانگین زمان سفر در یال) بیشتر شده است بیشتر از یالی است که زمان سفر آن ۵ بار از حد قابل‌قبول عبور کرده است.

میزان تأثیر مسائل پیش‌بینی نشده در واقع همان مدت‌زمان بازگشت به حالت نرمال را نشان می‌دهد که بستگی به پارامترهای مختلفی دارد. پس از تحقیق و بررسی مشخص شد که سه پارامتر طول خیابان، عرض خیابان و زمان سفر خیابان می‌توانند تا حد زیادی میزان این تأثیر را مشخص کنند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، طول و عرض خیابان جزء پارامترهای هندسی خیابان می‌باشند. تأثیر طول و عرض خیابان در محاسبه میزان تأثیر برعکس می‌باشد. یعنی هر چه عرض خیابان بیشتر باشد میزان تأثیر کاهش می‌یابد (به این معنی که مدت‌زمان کمتری طول می‌کشد تا زمان سفر خیابان به حالت نرمال برگردد). اما هر چه طول خیابان بیشتر باشد، میزان تأثیر آن افزایش می‌یابد چون ترافیک در طول خیابان گسترش می‌یابد. اما اگر طول خیابان کوچک باشد، ترافیک در چهارراه یا سه‌راه قبلی از مسیر دیگری عبور می‌کند.

برای اینکه میزان تأثیر هر یک از این پارامترها مشخص شود باز هم می‌توان از اطلاعات آماری روزهای قبل استفاده کرد. به‌این‌ترتیب که این پارامترها در خیابان‌هایی که مسائل پیش‌بینی نشده در آن‌ها رخ داده است باید بررسی شوند. در این کار تحقیقی به دلیل در اختیار نداشتن داده کافی، فرمول محاسبه به‌صورت تجربی و بر اساس دانش کارشناسی متخصصین مربوطه تعیین شد.

۵- نمونه موردی

۵-۱- نمونه موردی اول

در نمونه موردی اول از داده‌های ترافیکی شهر Twin ایالات‌متحده جمع‌آوری‌شده توسط مرکز مدیریت ترافیک (TMC) که در سرور دانشگاه UMD قرار دارند استفاده شده است. در این سرور تمامی داده‌های ترافیکی از سال ۲۰۰۰ به بعد دقیقه به دقیقه ثبت شده‌اند. برای تبدیل داده ترافیکی به زمان سفر نیز توسط UMD یک نرم‌افزار طراحی شده که در این کار تحقیقی از آن استفاده شده است. برای استفاده از این داده‌ها ابتدا شبکه برخی خیابان‌های شهر در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. در مرحله بعد ساعت ۱۶ روز دوشنبه پنجم ژانویه سال ۲۰۰۹ به‌عنوان لحظه پیش‌بینی زمان سفر در یکی از خیابان‌ها در نظر گرفته شد. بااینکه داده‌های ترافیکی این روز کاملاً در دسترس بود، پیش‌بینی با فرض در اختیار نداشتن داده ترافیکی از ساعت ۱۶ به بعد با استفاده از روش پیشنهادی در این مقاله انجام شد تا در پایان با استفاده از داده ترافیک موجود، روش پیشنهادی تست شود. برای حل مسئله ابتدا با استفاده از نرم‌افزار، زمان سفر تمامی خیابان‌های شبکه به‌صورت لحظه‌به‌لحظه محاسبه و ذخیره شد.

به‌منظور پیش‌بینی زمان سفر طبق مطالب بیان‌شده در بخش۴، با توجه به ساعت انتخاب‌شده برای پیش‌بینی، مقادیر وزن پارامترهای آماری ترافیک با استفاده از روش کمترین مربعات محاسبه شد. این محاسبات در نرم‌افزار Matlab انجام شد و نتیجه آن برابر مقادیر زیر شد:

وزن پارامتر با دوره تناوب روزانه $a_0 = 1.34$

وزن پارامتر با دوره تناوب هفتگی $a_1 = 0.707$

$R^2 = 94\%$

وزن پارامتر با دوره تناوب سالانه $a_2 = -1.033$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان همبستگی (R^2) بین زمان سفر لحظه‌ای مشاهده‌شده و زمان سفر به‌دست‌آمده از روش کمترین مربعات ۹۴٪ می‌باشد که نشان‌دهنده وابستگی بالای زمان سفر به پارامترهای در نظر گرفته‌شده است. شکل ۲ نمودارهای میانگین زمان سفر روزانه، هفتگی و سالانه یکی از خیابان‌ها را در واحد دقیقه نشان می‌دهد.

شکل ۲- نمودارهای میانگین زمان سفر روزانه، هفتگی و سالانه یکی از خیابان‌ها را در واحد دقیقه

بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده در روش کمترین مربعات، برای پیش‌بینی زمان سفر این خیابان در ساعت ۱۶ روز دوشنبه پنجم ژانویه سال ۲۰۰۹ خواهیم داشت:

$$T = a_0 Td + a_1 Tw + a_2 Ty \Rightarrow$$
$$T = 1.34 * 6.2 + 0.707 * 5.1 - 1.033 * 5.4$$
$$T = 6.33$$

در ادامه رابطه ۴ برای محاسبه میزان قابلیت اعتماد به زمان سفر پیش‌بینی شده در این خیابان استفاده شده است. این رابطه بر اساس تعداد دفعات رخداد زمان سفر غیرطبیعی در خیابان مذکور در یک دوره یک‌ساله به‌دست‌آمده است.

$$C = \frac{8760 - U}{8760} * 100 \qquad (۴)$$

در این رابطه C قابلیت اعتماد و U تعداد دفعات رخداد زمان سفر غیرطبیعی در طول یک سال و عدد ۸۷۶۰ برابر تعداد کل زمان سفر در بازه‌های یک‌ساعتی در طول یک سال $(24 * 365)$ است. طبق بررسی انجام شده در خیابان مورد محاسبه تعداد رخداد زمان سفر غیرطبیعی ثبت شده برابر ۱۱۸ مورد می‌باشد که درنتیجه میزان قابلیت اعتماد به زمان سفر پیش‌بینی شده در این خیابان برابر ۹۸٪ می‌باشد.

طبق بررسی به عمل آمده زمان سفر واقعی ثبت شده خیابان مورد محاسبه در ساعت ۱۶ روز دوشنبه پنجم ژانویه سال ۲۰۰۹ برابر ۶/۲۵ دقیقه بوده که بیانگر اختلاف ۰۸/ دقیقه‌ای معادل حدود ۴/۸ ثانیه‌ای با پیش‌بینی انجام شده در این تحقیق می‌باشد.

۵-۲- نمونه موردی دوم

در نمونه موردی دوم به‌منظور تست و ارزیابی روش ارائه‌شده بر شبکه راه‌های داخل ایران، از داده‌های ترافیکی سایت سازمان راه داری و حمل‌ونقل جاده‌ای مرکز مدیریت راه‌های کشور استفاده شده است. به‌عنوان نمونه آزادراه تهران قم بررسی‌شده است. مشاهدات ترافیکی در این محور به‌صورت ساعت به ساعت ثبت شده است. طبق محاسبه انجام گرفته در این محور وزن پارامتر با دوره تناوب روزانه و سالانه در این محور بیش از نمونه موردی اول است که به‌صورت زیر می‌باشد:

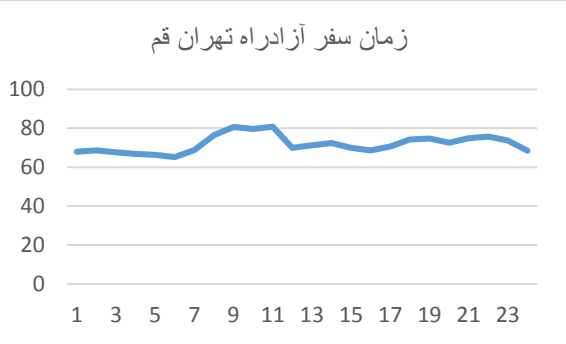
$a_0 = 2.270$ وزن پارامتر با دوره تناوب روزانه

$a_1 = 0.421$ وزن پارامتر با دوره تناوب هفتگی

$R^2 = 94\%$

$a_2 = -1.723$ وزن پارامتر با دوره تناوب سالانه

شکل ۳ نمودار میانگین زمان سفر روزانه این محور را نشان می‌دهد که بین ۶۳ دقیقه تا ۸۲ دقیقه متغیر است.



شکل۳- نمودار میانگین زمان سفر روزانه آزادراه تهران قم در واحد دقیقه

بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده در روش کمترین مربعات، برای پیش‌بینی زمان سفر این محور در ساعت ۱۵ روز سه‌شنبه یازدهم فروردین سال ۱۳۹۴ خواهیم داشت:

$$T = a_0 Td + a_1 Tw + a_2 Ty \Rightarrow$$
$$T = 2.27 * 70 + 0.421 * 63 - 1.723 * 68$$
$$T = 68.259$$

زمان سفر واقعی ثبت شده این محور در ساعت ۱۵ روز سه‌شنبه یازدهم فروردین سال ۱۳۹۴ برابر ۶۸/۸۲۱ دقیقه بوده که بیانگر اختلاف ۵۷/ دقیقه‌ای با پیش‌بینی انجام شده در این تحقیق می‌باشد، که در مقایسه با زمان سفر حدود ۶۸ دقیقه‌ای بیانگر کارآیی مدل ارائه‌شده می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

با افزایش جمعیت شهری مدیریت هوشمند و هدفمند ترافیک به‌منظور ارتقای بهره‌وری و افزایش کارآیی شبکه ترافیکی امری لازم و ضروری است. در این زمینه استفاده از فناوری‌های نوین و نظریه‌های پیشرفته محاسباتی پیشنهاد می‌شوند. در این مقاله نشان دادیم که با استفاده از سنجنده های نوین متحرک و ایستا، می‌توان داده‌های ترافیکی را به‌صورت لحظه‌ای جمع آوری و در جهت پیش‌بینی زمان سفر در آینده از آن‌ها بهره برد. جهت توسعه مدل پیش‌بینی زمان سفر، از نظریه‌های جدید و پیچیده‌ای همچون تبدیل موجک و روش کمترین مربعات بهره برده شد. کارآیی مدل

پیشنهادی در دو نمونه واقعی مورد ارزیابی قرار گرفت که در نهایت خطای کمتر از ۵ ثانیه در یک زمان سفر ۶/۳ دقیقه‌ای و ۵۷/ دقیقه‌ای در زمان سفر ۶۸ دقیقه‌ای را نشان داد.

بی‌شک تست روش پیشنهادی در خیابان‌های درون‌شهری که ترافیک در آن‌ها متغیرتر و پیچیده‌تر است امری لازم و انکارناپذیر است که بایستی در ادامه این کار تحقیقی به آن پرداخته شود. همچنین استفاده از روش‌های دیگر برای پیش‌بینی زمان سفر آماری خیابان‌ها غیر از روش کمترین مربعات و مقایسه آن‌ها با هم از دیگر مواردی است که در ادامه این کار تحقیقی می‌توان به آن پرداخت.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی "پیش‌بینی مدت‌زمان طی یک مسیر با استفاده از پارامترهای پریودیک موجود در داده‌های آماری ترافیک" و با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام پذیرفته است.

مراجع

[1] A. Neveu, "Quick response procedures to forecast rural traffic," in Transportation Research Record 944, ed Washington DC:Transportation Research Board, 1983, pp. 47–53.

[2] D. Mohamad, K. C. Sinha, T. Kuczec, and C. F. Scholer, "Annual average daily traffic prediction model for county roads," in Transportation research record 1617, ed Washington, DC: Transportation Research Board, 1998, pp. 69–77.

[3] F. Zhao and S. Chung, "Contributing factors of annual average daily traffic in a lorida county: Exploration with geographical information system and regression model," in Transportation research record 1769 ed Washington DC: Transportation Research Board., 2001, pp. 113–122.

[4] S. C. Sharma, P. Lingras, F. Xu, and G. X. Liu, "Neural networks as alternative to traditional approach of annual average daily traffic estimation from traffic counts," in Transportation research record 1660, ed Washington, DC: Transportation Research Board, 1999, pp. 24–31.

[5] Z. Jiang, M. McCord, and P. Goel, "Improved AADT estimation by combining information in image-and ground-based traffic data," Journal of Transportation Engineering, vol. 132, pp. 523-530, 2006.

[6] H. R. Al-Masaeid, T. I. Al-Suleiman, and M. T. Obaidat, "Traffic volume forecasting models for rural desert towns," Institute of Transportation Engineers Online Journal, vol. 68, 1998.

[7] M. Castro-Neto, Y. Jeong, M. K. Jeong, and L. D. Han, "AADT prediction using support vector regression with data dependent parameters," Department of Civil and Environmental Engineering, University of Tennessee, Knoxville, TN 37996, USA, 2008.

[8] B. M. William, "Modeling and Forecasting Vehicular Traffic Flow as a Seasonal Stochastic Time Series Process," Doctoral Dissertation, University of Virginia, Charlottesville, 1999.

[9] N. Barimani, B. Moshiri, and M. Teshnehlab, " State Space Modeling and Short-Term Traffic Speed Prediction using Kalman Filter based on ANFIS," presented at the Conf. on Traffic and Transportation Engineering (ICTTE 2011), 2011.

[10] Y. Zhang, "Short-Term Traffic Flow Forecasting Using Fuzzy Logic System Methods," Intelligent Transportation Systems, vol. 12, pp. 102-112, 2008.

[11] A. Guhnemann, Monitoring traffic and emissions by floating car data. [Sydney]: Institute of Transport Studies, 2004.

[12] E. Thompson, "Integrating PDA, GPS and GIS technologies for Mobile Traffic Data Acquisition and Traffic Data Analysis," MSc Thesis, IT University of Goteborg, 2003.

[13] Y. Fang, C.-J. Jiang, and Z.-H. Zhang, "A mobile navigation service platform based on traffic information grid," International Journal of Services Operations and Informatics, vol. 1, pp. 23-37, 2006.

[14] B. Hull, V. Bychkovsky, Y. Zhang, K. Chen, M. Goraczko, A. Miu, et al., "CarTel: a distributed mobile sensor computing system," presented at the Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, Boulder, Colorado, USA, 2006.

[15] C. Heil and D. F. Walnut, "Continuous and Discrete Wavelet Transforms," SIAM Review, vol. 31, pp. 628-666, 1989.

[16] MathWorks. (1984-2011). Wavelet Toolbox. Available: http://www.mathworks.com/help/toolbox/wavelet/index.html

[17] P. Vanicek and D. E. Wells, "The Least Squares Approximation," Department of surveying engineering, University of New Brunswick., 1972.

[۱۸] شاهی. ج، مهندسی ترافیک: مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۳۸۳