برآورد پارامترهای مدل پیش بینی جریـــان ترافیک "متـــانت" بـــرای بزرگـــراه‌های تهـــران

شهریار افندی زاده، دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران
هاجر حاج محمدی*، دانشجوی کارشناسی ارشد حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران
نوید کلانتری، دانشجوی دکترای حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران
* h_hajmohamadi@civileng.iust.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: آذر ۹۰ تاریخ پذیرش: شهریور ۹۱

چکیده

استفاده از سیستم‌های هوشمند ترافیکی، به عنوان یک راهکار نوین برای حل مشکلات حمل و نقلی، امروزه مورد توجه زیادی قرار دارد. این سیستم‌ها نیازمند مطالعه دقیق و در نظر گرفتن تمامی جوانب هستند. یکی از نیازهای اساسی برای طراحی سیستم‌های هوشمند ترافیکی ، مدل سازی جریان ترافیک است تا بدین وسیله بتوان به خصوصیات جریان در افق زمانی تعیین شده دست پیدا کرد و از تأثیر اعمال تغییرات مختلف به واسطه مدیریت هوشمند در جریان ترافیک مطلع شد. از همین رو، در این مقاله مدل شبیه‌ساز متانت معرفی می‌گردد که در سیستم‌هایی مانند کنترل شیبراهه و اعمال سرعت مجاز متغیر به کار می‌رود. برای ارزیابی پارامترهای به کار رفته در این مدل از برداشت‌های حجم و سرعت ۵ بزرگراه از شهر تهران استفاده می‌شود. چهار پارامتر به کار رفته در مدل با استفاده از برازش (رگرسیون) غیرخطی در نرم افزار SPSS تخمین زده می‌شود و مقادیر آنها همراه با بازه اطمینان ۹۵% به دست می آید. برای آزمون پارامترهای به دست آمده، از مقادیر سرعت واقعی یکی از بزرگراه‌ها که در برازش مدل شرکت نداشته است، استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده حاکی از تطابق مدل متانت با داده‌های این بزرگراه‌ها با خطای قابل قبولی (در حد ۲%) است. با استفـــاده از این پارامتـــرها می‌توان مدل شبیـــه ساز جریان متانت را برای پیش بینی و شبیه سازی جریان در بزرگراه های تهران به کاربرد و تخمین قابل قبولی برای سرعت، چگالی و جریان این بزرگراه‌ها دست پیدا کرد. این تخمین در استفاده از سیستم‌های هوشمند ترافیکی مانند سرعت مجاز متغیر و کنترل شیبراهه می‌تواند بسیار مفید فایده باشد.

کلید واژه‌ها: مدل پیش بینی جریان، متانت، سیستم‌های هوشمند ترافیکی

۱ – مقدمه

یکی از نیازهای اساسی برای طراحی سیستم‌های هوشمند ترافیکی، مدل سازی جریان ترافیک است. این مدل سازی به بررسی تأثیرات اعمال کنترل کننده های مختـــلف در شبـــکه کمک می‌کند و پیـــامدهای این کنتـــرل‌ها را روی جریان ترافیک تخمین می‌زند. امروزه سیستم‌های هوشمند حمل و نقل[1]، با توجه به بالا رفتن حجم آمد و شد وسایل نقلیه و استفاده از تسهیلات متفـــاوت حمل و نقل، به یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین روش‌های مدیریت ترافیک مبدل شده است. این راهکار بر اساس استفاده حداکثری از ظرفیت معابر و قابلیت‌های دیگر آن بنا نهاده شده است. به طوری که استفاده از سیستم‌های هوشمند موجب جلوگیری از ازدحام و ایجاد گره های ترافیکی می شود[۱]. در مقابل راهکار دیگری برای حل معضل ازدحام و بالا رفتن ظرفیت شبکه‌های شهری وجود دارد که ساخت معابر، زیرگذرها، پل‌ها و آزادراه‌های جدید است. بدیهی است که این راهکار مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است و به عنوان راهکار کوتاه مدت و قطعی مطرح نمی‌شود[۲].

فرآیند مدل سازی جریان ترافیک دارای سه سطح خردنگر، متـــوسط نگر و کـــلان نگر است که بستـــه به نوع نگـــرش به شبکه مورد نظـــر، یکی از سطـــوح انتخاب می گردد. اولین تئوری مدل سازی کلان‌نگر جریان ترافیک در سال ۱۹۵۶ توسط لایت هیل، وایتمن و ریچاردز[2] مطرح گردید و به همین سبب LWR نام گرفت. در آن تحقیق قوانین پایه‌ای موج جنبشی ارائه و اساس مطالعات بعدی بر روی مدل جریان ترافیک پایه گذاری شد. این مدل ها جریان ترافیک را به صورت یک جریان پیوسته مانند یک سیال در نظر می‌گیرند که مشخصات ویژه‌ای دارد. متغیرهای ترافیکی که برای بیان پویایی این سیال به کار می‌روند، ســـرعت متـــوسط $v(t,x)$، چگالی ترافیک $P(t,x)$، و جریان ترافیک یا حجم ترافیک $q(t,x)$، در زمان t و مکان x می باشد. پـــس از آن مفاهیم مـــدل های کلان نگر برای تطبیق آن با

1- Intelligent Transportation Systems (ITS)
2-Lighthill,Whitham,Richards

شبـــکه‌های گونـــاگون، با مبدأها و مقاصد چندگانه و مسیرهای گوناگون بین هر جفت مبدأ و مقصد بسط داده شد. تعداد زیادی از مدل های ترافیکی کلان نگر مانند متانت[۳]، متاکور[۴] و نت سل[۵] وجود دارند که از بر پایه همان مفاهیم گسترش پیدا کرده‌اند[۳].

مدل جریانی که در این مقاله جهت بررسی انتخاب شده است، متانت می‌باشد. می توان دلایل این انتخاب را این گونه بیان کرد که این مدل در ضمن داشتن سرعت بالای اجرا، دقت خوبی نیز در مدل‌سازی جریان دارد. این حقیقت که متانت مدلی جبری، زمان گسسته، مکان گسسته و کلان نگر است، این مدل را برای کنترل ترافیک مدل‌مبنا بسیار مناسب کرده است. معمولاً در این مدل گام زمانی شبیه سازی و طول قطعه انتخابی نسبتاً بزرگ هستند، از این رو اجرای مدل بسیار سریع می‌باشد. همچنین کم بودن پارامترهای این مدل، کالیبراسیون آن را با داده‌های واقعی بسیار راحت می کند[۴].

در ضمن متانت به عنوان یک ابزار مدل‌سازی قوی برای شبیه سازی پدیده جریان ترافیک در شبکه‌هایی با توپولوژی، انشعابات و شیبراهه های ورودی و خروجی مختلف مطرح می باشد. این مدل قابلیت شبیه‌سازی تمامی شرایط ترافیکی (آزاد، اشباع و فوق اشباع) را دارد و هم چنین در صورت تعریف شرایط خاصی مانند تصادف با تعیین محل، شدت و بازه زمانی، آثار کاهش ظرفیت آن را لحاظ می کند[۳].

ایـــن مقاله به بررســـی مدل متـانت و ارزیابی آن با داده‌های واقعی ۵ بزرگراه شهر تهران اختصاص دارد. ساختار مقاله حاضر بدین صورت است که پس از مقدمه، در بخش ۲، مدل متانت به صورت کامل بررسی و معادلات آن بیان می‌شود و در بخش ۳ به برازش پارامترهای این مدل با داده های واقعی بزرگراه‌های تهران پرداختـــه می‌شود. در بخش ۴ نیز نتیجه گیری این مقاله ارائه می گردد.

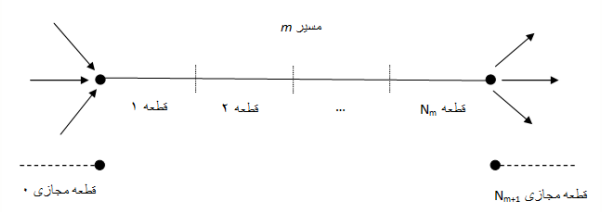
۲ - مدل متانت

مدل متانت شبکه مورد نظر را به صورت یک گراف متشکل از مسیرها (خطوط) و نقاط (گره‌ها) نشان می‌دهد. مسیرها در این گراف خصوصیات یکسانی دارند و هیچ شیبراهه ورودی، خروجی و تغییر اصلی در هندسه آن‌ها وجود ندارد. تغییرات اصلی در خطوط (مانند شیبراهه ورودی یا خروجی) با استفاده از گره‌ها نشان داده می‌شود.

بـــزرگراه مورد نظر به مسیـــرها یا خطوطی تقسیم می شود که با نماد m نشان داده می‌شود. هر مسیر به N_m قطعه تقسیم می‌شود و $l_{m,i}$ نشانگر طول قطعه i در مسیر m است. n_m نیز تعداد خطوط مسیر m است. هر قطعه i از مسیر m دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

- چگالی ترافیک (k) $\rho_{m,i}$ (veh/lane/km)
- سرعت متوسط (k) $v_{m,i}$ (km/h)
- حجم ترافیک یا خروجی(k) $q_{m,i}$ (veh/h)

که k شماره گام زمانی در $t=kT$ و T طول گام زمانی برای شبیه سازی جریان ترافیک است. در شکل ۱ یک گراف متشکل از مسیرها و نقاط نشان داده شده است.



شکل ۱ : مدل متانت ، موقعیت خطوط و نقاط

۲ - ۱ معادلات خطوط

اولین رابطه مربوط به معادله حجم جریان است. خروجی هر قطعه با چگالی و سرعت متوسط آن قطعه متناسب است (معادله۴-۱):

$$q_{m,i}(k) = \rho_{m,i}(k)\, v_{m,i}(k)\, n_m \qquad (۱)$$

معادله ۴-۲ بیانگر قانون بقای وسایل نقلیه در شبکه است. اختلاف جریان ورودی از قطعه بالادست با خروجی قطعه، به علاوه چگالی آن قطعه در بازه زمانی قبلی، چگالی آن را در بازه زمانی k را تشکیل می دهند:

(۲)

$$\rho_{m,i}(k+1) = \rho_{m,i}(k) + \frac{T}{lm,i}\left(q_{m,i-1}(k) - q_{m,i}(k)\right)$$

برخلاف روابط ۱ و۲ که برپایه اصول فیزیکی استوار و قطعی هستند، معادلاتی که به بیان سرعت و رابطه سرعت مطلوب با چگالی می پردازند، ابتکاری‌اند. رابطه ۳ سرعت متوسط قطعه را محاسبه می‌کند که شامل ۳ بخش است.

(۳)

$$v_{m,i}(k+1) = v_{m,i}(k) + \frac{T}{\tau}\left(V(\rho_{m,i}(k)) - v_{m,i}(k)\right) + \frac{T}{lm,i}\, v_{m,i}(k)\left(v_{m,i-1}(k) - v_{m,i}(k)\right) - \frac{\vartheta T}{\tau\, lm,i}\left(\frac{\rho_{m,i+1}(k) - \rho_{m,i}(k)}{\rho_{m,i}(k) + \varphi}\right)$$

قسمت اول این رابطه، آزادسازی[۶] نام دارد و نشان دهنده تمایل رانندگان در رسیدن به سرعت مطلوب است. قسمت بعدی، همرفت[۷] یا جابه‌جایی می باشد که بیانگر افزایش (یا کاهش) سرعت در اثر ورود وسایل نقلیه از قطعه بالادست به قطعه مورد نظر است. قسمت آخر نیز نشان دهنده کاهش (افزایش) سرعت وسایل نقلیه در اثر تجربه رانندگان از افزایش (کاهش) چگالی در

3 -METANET
4 -METACOR
5 -NETCELL

6-relaxation term
7-convection term

پایین دست قطعه مورد نظر است و قسمت پیش بینی[8] نام دارد.

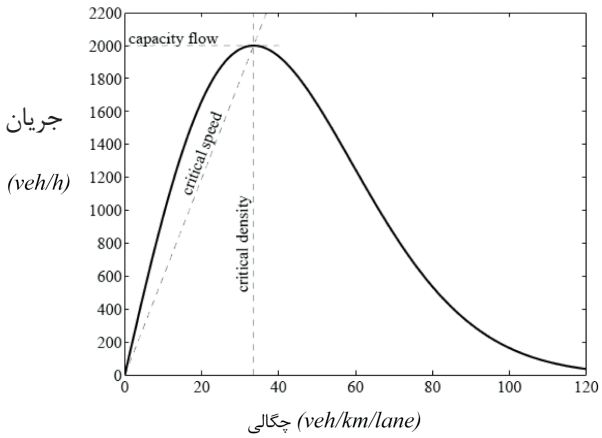
در این معادله τ و ϑ و φ پارامترهای مدل هستند.

رابطه سرعت با چگالی (دیاگرام اساسی) در معادله ۴ آمده است.

(۴)

$$V(\rho_{m,i}(k)) = v_{free,m} \cdot \exp[-\frac{1}{a_m}(\frac{\rho_{m,i}(k)}{\rho_{crit,m}})^{a_m}]$$

که در آن سرعت جریان آزاد مسیر m ، $v_{free,m}$، سرعت متوسطی است که وسایل نقلیه در صورت جریان آزاد ترافیکی دارند و $\rho_{crit,m}$ چگالی مسیر m در صورت بیشینه بودن جریان ترافیک است. a_m نیز پارامتر مدل می‌باشد. در شکل ۲ دیاگرام اساسی جریان با فرض a_m = ۱/۸۶۷ ، veh/km/lane $\rho_{crit,m}$ = ۳۳/۵ و ۱۰۲ km/h $v_{free,m}$ = آمده است.



شکل(۲): دیاگرام اساسی جریان-چگالی [۴]

مبدأهای شبکه با یک مدل ساده صف مدل می شوند. طول صف در مبدأ o ، w_o ، به صورت معادله ۴-۵ بیان می‌شود.

(۵)

$$w_o(k+1) = w_o(k) + T(d_o(k) - q_o(k))$$

که در آن $d_o(k)$ تقاضای مبدأ o در بازه k می‌باشد.

۳ - ارزیابی پارامترهای مدل

در بخش پیشین مدل متانت به همراه معادلات حاکم بر آن تشریح گردید. در این بخش تلاش می شود تا با استفاده از داده های واقعی ۵ بزرگراه تهران، پارامترهای این مدل برای بزرگراه های تهران کالیبره شود. برای این مطالعه بزرگراه های مدرس، امام علی، نیایش، همت و نواب انتخاب شده اند، با استفاده از فیلم برداری های انجام شده در بازه زمانی ۸ تا ۱۶ در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰، و سپس آنالیز و جمع آوری داده از این فیلم ها (با استفاده از نرم افزار Image processing)، چگالی و متوسط سرعت در ساعت اوج این بزرگراه ها استخراج گردیده است. در جدول ۱ چگالی و سرعت وسایل نقلیه برای این ۵ بزرگراه آمده است.

جدول ۱: مقادیر برداشت شده برای سرعت و چگالی در بازه زمانی ۱۵ دقیقه برای هر بزرگراه

بازه زمان	چگالی					متوسط سرعت				
	مدرس	امام علی	نیایش	نواب	همت	مدرس	امام علی	نیایش	نواب	همت
۰-۱۵	۳۱.۵	۷.۷	۱۵.۳۳	۱۰.۳	۱۴.۲	۴۴.۴۴	۷۸.۰۴	۷۶۶۲	۶۴.۰	۸۶.۵
۱۵-۳۰	۲۸.۰۹	۷.۷۳	۱۶.۸۳	۹.۷	۱۶.۱	۴۳.۵۷	۷۷.۸۳	۷۵.۲۸	۶۶.۰	۸۹
۳۰-۴۵	۲۸.۸۲	۷.۶۴	۱۷.۱۷	۹.۰	-	۴۱.۱۵	۷۸.۷	۷۶.۵۳	۶۴.۰	-
۴۵-۶۰	۲۹.۸۸	۷.۷۲	۱۵.۶۷	۱۰.۵	-	۳۹.۹۵	۷۷.۹۳	۷۸.۳۴	۶۶.۰	-

پارامترهای مورد بررسی برای کالیبراسیون τ و ϑ و φ و am می‌باشند. این پارامترها در معادلات ۳ و ۴ به کار رفته‌اند. همان گونه که از این معادلات نیز قابل درک است، این پارامترها برای محاسبه سرعت به کار رفته‌اند.

پارامترهای مورد نظر با استفاده از رگرسیون غیرخطی معادلات ۳ و ۴ انجام می شود. ابتدا داده های یک بزرگراه (مدرس) کنار گذاشته می‌شود تا بتوان از داده‌های این بزرگراه در بخش بعدی کالیبراسیون که همان اعتبارسنجی و ارزیابی صحت پارامترهای به دست آمده است، استفاده نمود. سرعت و چگالی چهار بزرگراه امام علی، نواب، نیایش و همت در نرم‌افزار آماری SPSS وارد شده و سپس معادلات مربوطه برای تخمین این ۴ پارامتر وارد نرم افزار می‌شود. نتایج این تخمین در جدول ۲ آمده است.

کمیت دیگری که در معادله ۴ می تواند با توجه به شرایط متغیر باشد، ρ_{crit} یا چگالی بحرانی است. انتخاب این کمیت به ظرفیت معبر مورد نظر، شرایط اشباع و مقدار جریان معبر بستگی دارد. به دلیل آن که لازم است در این مطالعه از کمیت‌های مربوط به شهر تهران استفاده گردد، چگالی بحرانی نیز بایستی با توجه به شرایط بزرگراه‌های تهران محاسبه گردد. با توجه به این اصل، از مطالعه‌ای که خاکی و همکاران در سال ۸۸ [۵] روی بزرگراه های تهران انجام داده‌اند، استفاده می گردد. چگالی بحرانی در این مطالعه که برای بررسی میزان انطباق داده های شهر تهران با ۵ مدل کلان جریان ترافیک (گرین شیلدز، گرین برگ، آندروود و می وادی) انجام گرفته است؛ برابر با ۲۲/۵ veh/lane/km می باشد. از آنجایی که این مطالعه با دقت تمام و روی بزرگراه های تهران انجام شده است، می تواند گزینه‌ی بسیار مناسبی برای در نظر گیری چگالی بحرانی در بزرگراه‌های مورد مطالعه این مقاله باشد.

8-anticipation

جدول ۲: مقادیر تخمین زده شده برای پارامترهای مدل

مقدار به کار رفته در مدل	بازه اطمینان ٪۹۵	مقدار تخمین زده شده	پارامتر
۱۸	۲۱/۲۱< τ <۲۳/۴۴	۲۲/۵	τ
۶۰	۵۷/۷۵< ϑ <۵۲/۲۵	۵۵	ϑ
۴۰	۵۰/۷۱< φ <۴۵/۸۸	۴۸/۳	φ
۲/۳	۱/۸۳<am <۲/۰۲	۱/۸۳	am
R squared : ۰/۹۱۶			

۳-۱ - ارزیابی نتایج

بخش بعدی در روند کالیبراسیون این مقاله، ارزیابی صحت نتایج به دست آمده از جدول ۲ با داده‌های واقعی می‌باشد. برای این کار ابتدا سرعت بزرگراه مدرس (که در تخمین پارامترها وارد نشده است) با استفاده از مدل متانت کالیبره شده (پارامترهای به دست آمده از جدول ۲) محاسبه می‌شود. مقایسه این مقادیر با مقادیر سرعت واقعی برداشت شده از بزرگراه مدرس، که در جدول ۳ آمده است، صحت نتایج به دست آده را اثبات می‌کند.

جدول ۳: مقایسه سرعت‌های واقعی بزرگراه مدرس و مقادیر به دست آمده از مدل (با استفاده از پارامترهای تخمینی)

درصد خطا	مقادیر به دست آمده از مدل	مشاهده
٪ ۱/۸	۴۳/۶	۴۴/۴۴
٪ ۲/۳	۴۲/۵۶	۴۳,۵۷
٪ ۱/۲	۴۲/۰۱	۴۱,۱۵
٪ ۱/۳	۴۰/۵	۳۹,۹۵

٤ - نتیجه گیری

امروزه سیستم‌های هوشمند ترافیکی نقش مهمی را در مدیریت حمل و نقل دارند و استفاده از این سیستم‌ها می تواند در حل مشکلات موجود در آمد و شد شهری بسیار کارآمد باشد. مدل های شبیه ساز و پیش بینی جریان ترافیک در اکثر این سیستم ها به کار رفته و در این میان نقش کالیبراسیون و ارزیابی این مدل ها برای محل مورد استفاده آن ها بسیار مهم و حیاتی می باشد. در این مقاله پارامترهای مدل شبیه ساز و پیش بینی جریان ترافیک متانت که به ویژه در طراحی سیستم های کنترل شیبراهه و سرعت مجاز متغیر کارا می‌باشد، برای بزرگراه‌های شهر تهران ارزیابی گردید. برای این منظور ۴ پارامتر به کار رفته در مدل متانت با استفاده از داده های واقعی بزرگراه های امام علی، نیایش، همت و نواب با ضریب R^2 برابر با ۹۱۶/. تخمین زده می شود. برای ارزیابی پارامترهای به دست‌آمده، از مقایسه داده‌های واقعی و جواب‌های حاصله از مدل (با پارامترهای تخمین زده شده) بزرگراه مدرس، که در قسمت تخمین پارامترها از آن استفاده نشده است، انجام می‌شود. این مقایسه بیانگر این می‌باشد که با درصد خطای قابل قبولی (حدود ۲٪) تخمین پارامترهای مدل متانت به درستی انجام شده‌است و می‌توان با استفاده از این پارامترها، مدل متانت را برای پیش‌بینی و همچنین شبیه‌سازی جریان ترافیک در بزرگراه‌های تهران استفاده نمود. همچنین نتایج این مدل می‌تواند معیار قابل قبولی برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از آماربرداری و شبیه سازی با نرم افزارهای ترافیکی قرارگیرد.[۱]

٥ - مراجع

[1] R. L. Courtney, “A broad view of ITS standards in the US,” in Intelligent Transportation System, 1997. ITSC ‘97., IEEE Conference on, 1997, pp. 529-536.

[2] J. C. Moreno Baños, M. Papageorgiou, and C. Schäffner, “Integrated optimal flow control in traffic networks,” European Journal of Operational Research, vol. 71, pp. 317-323, 1993.

[3] A. Kotsialos, M. Papageorgiou, C. Diakaki, Y. Pavlis, and F. Middelham, “Traffic flow modeling of large-scale motorway networks using the macroscopic modeling tool METANET,” Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 282-292, 2002.

[4] A. Hegyi, “Model Predictive Control for Integrating Traffic Control Measurers,” Ph.D thesis, Delf University of Technology,Netherlands, 2004.

[۵] ع، سرکار،ع،خاکی،”تعیین بهترین مدل کلان جریان ترافیک در بزرگراههای شهر تهران با تکیه بر عملکرد سیستمهای کنترل سرعت”مهندسی ترافیک. سال یازدهم، شماره ۴۱، ۱۳۸۸.