فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

تخصیص ترافیک دینامیکی چند کلاسی برای مدلسازی سیستم‌های پیشرفته اطلاعات مسافران (ATIS) در شبکه تهران: مقایسه نتایج استاتیکی و دینامیکی

عباس بابازاده ، بابک جوانی و مهرداد غلامی شه بندی
۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دکتری، گرایش راه و ترابری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
۳- دانشجوی دکتری، گرایش راه و ترابری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

چکیده
سیستم‌های پیشرفته اطلاعات مسافران (ATIS) به رانندگان در تصمیم گیری و تحلیل شرایط ترافیک کمک کرده و از طریق ارتباط یک طرفه یا دو طرفه با آنها کارایی شبکه را افزایش می‌دهند. به علاوه استفاده از مدل‌های تخصیص ترافیک استاتیکی برای بررسی مسئله اثرات ATIS بر روی شبکه که خود ذاتاً ماهیت دینامیکی دارد، می‌تواند منجر به نتایج غیرواقعی گردد. در این مقاله یک مدل و الگوریتم تخصیص ترافیک پویای چند کلاسی برای ارزیابی اثرات ATIS بر روی پارامترهای عملکردی شبکه شهر تهران پیشنهاد شده است. رانندگان در شهر تهران به دو کلاس مجهز به سیستم اطلاع‌رسانی تقسیم شدند که کلاس ۱ از اطلاعات مسیرهای تجویزی استفاده نمی‌کند و کلاس ۲ از اطلاعات مسیرهای ATIS تبعیت می‌نماید. سناریوهای مختلفی بر اساس میزان پذیرش اطلاعات ATIS از طرف رانندگان در شهر تهران طراحی شد. نتایج نشان دادند که با افزایش میزان استفاده از اطلاعات تجویزی، وضعیت شبکه شهر تهران بهبود بیشتری خواهد یافت. بر پایه نتایج، وضعیت رانندگان کلاس ۲ که در جهت بهبود کلی سیستم از مسیرهای تجویزی تبعیت می‌کنند نسبت به رانندگان کلاس ۱ بدتر می‌شود. همچنین تفاوت‌های قابل توجهی بین نتایج در حالت استاتیکی و دینامیکی وجود دارد.

واژگان کلیدی: تخصیص ترافیک دینامیکی، چند کلاسی، سیستم‌های پیشرفته اطلاعات مسافران، شبکه بزرگ مقیاس.

۱- مقدمه و مرور ادبیات
سیستم‌های پیشرفته اطلاعات مسافران (ATIS) به عنوان یکی از اجزاء اصلی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند (ITS) به رانندگان در تصمیم گیری و تحلیل شرایط ترافیک کمک کرده و از طریق ارتباط یک طرفه یا دو طرفه با آنها کارایی و راحتی سفر را افزایش می‌دهند. هسته مرکزی همه این سیستم‌ها، مدل‌های تخصیص ترافیک دینامیکی است که الگوی جریان ترافیک وابسته به زمان را در شبکه پیش بینی می‌کند. برای مروری جامع روی مدل‌ها و الگوریتم‌های تخصیص ترافیک دینامیکی به پژوهش زتو و وونگ (۱)، کاچرو و شلایان (۲) و بابازاده و جوانی (۳) مراجعه شود. همچنین برای مروری جامع روی اثرات ITS بر روی تحولات مدل‌های حمل و نقل به پژوهش ران و همکاران (۴) و کاربردها و دسته بندی‌های ITS به پژوهش پاپاگئورگیو و همکاران (۵) رجوع شود. مطالعات بسیاری برای نشان دادن منافع استفاده از ATIS در شبکه انجام شده اند. تمرکز اصلی این مطالعات بر روی رفتار انتخاب مسیر رانندگان مجهز به سیستم دریافت اطلاعات و رانندگان غیر مجهز به آن بوده است (۶-۱۴). بابازاده و همکاران (۱۵) با دسته بندی رانندگان به دو دسته رانندگان تبعیت‌کننده از SO و UE، تحلیل

حساسیتی روی TC و سرعت متوسط شبکه شهر تهران برای درصدهای مختلف استفاده از اطلاعات مسیرها انجام دادند. اخیرا هم لوجاک و همکاران (۱۶) یک مدل بهینه‌سازی را ارائه دادند که در آن سعی شده تا مشکلات مدل‌های SO و UE که مسیرهای جایگزین را به مسافران پیشنهاد می‌دهند، حل شود.

اغلب مطالعات اشاره شده قبل، از مدل‌های تخصیص ترافیک استاتیکی برای بررسی مسئله تاثیر ATIS بر روی شبکه استفاده کرده‌اند در حالی که مسئله موردنظر در ذات یک مسئله دینامیکی است. بن اکیوا و همکاران (۱۷)، الدیک و کنفانی (۱۸)، امرینک و همکاران (۱۹ و ۲۰)، مهمسنی و لیو (۲۱)، الدیک و همکاران (۲۲)، پیتا و مهمسنی (۲۳)، مهمسنی (۲۴)، زتو (۲۵)، بالاکریشنا و همکاران (۲۶)، زتو و همکاران (۲۷)، نی و همکاران (۲۸) و گائو و هوانگ (۲۹) جزء آن افرادی هستند که مسئله مورد نظر را با استفاده از مدل‌های تخصیص ترافیک دینامیکی مورد بررسی قرار دادند. اخیرا نیز هی و همکاران (۳۰) با ارائه یک استراتژی جدید برای سیستم‌های راهنمای مسیر، میتساکیس و همکاران (۳۱) با پیشنهاد یک قالب یکپارچه برای کاربردهای به روز و بررسی آن برای یک شبکه واقعی و همچنین کیم و پیتا (۳۲) با گسترش یک قالب برای مدل‌سازی بر پایه ارتباط دوطرفه وسائل‌نقلیه با هم به ارزیابی کاربردهای سیستم‌های پیشرفته اطلاعات مسافران پرداخته‌اند. برای مدلسازی اثر ATIS بر روی شبکه بزرگ مقیاس شهر تهران، یک مدل و الگوریتم تخصیص ترافیک دینامیکی چند کلاسی پیشنهاد شده است که به وسیله آن پارامترهای عملکردی شبکه تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر تمام رانندگان مجهز به سیستم‌های تبادل اطلاعات با کنترل کننده مرکزی باشند، می‌توان با تجویز و ارائه اطلاعات مسیرها هزینه کلی سیستم را کمینه کرد. اما رانندگان ممکن است واکنش‌های متفاوتی به اطلاعات دریافتی داشته باشند، بعضی از آن‌ها ممکن است از مسیرهای تجویزشده یا پیشنهادشده پیروی بکنند و عده‌ای دیگر ممکن است تصمیمات خود را برای انتخاب مسیر اتخاذ بکنند. در اینجا فرض می‌شود که همه رانندگان در شهر تهران مجهز بوده و اطلاعات و مسیرهای بهینه سیستم در اختیار آن‌ها قرار گیرد. سپس فرض می‌شود که تنها بخشی از رانندگان از مسیرهای بهینه سیستم پیروی کنند و مابقی از مسیرهای تعادل استفاده کننده تبعیت نمایند. بدین ترتیب با فرض مقادیر مختلف نفوذ و پذیرش مسیرهای تجویزشده، پارامترهای عملکردی شبکه شهر تهران با فرض دو کلاس استفاده کننده برای دو حالت استاتیکی و دینامیکی مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم چند کلاسی پیشنهادی به خوبی اثرات ATIS در شهر تهران را مدل کرده و همچنین پارامترهای عملکردی شبکه در دو حالت استاتیکی و دینامیکی با هم تفاوت‌های قابل توجهی دارند.

در ادامه به توضیح مدل تخصیص ترافیک دینامیکی چند کلاسی در بخش ۲ خواهیم پرداخت. سپس الگوریتم پیشنهادی در بخش ۳ ارائه شده، نتایج عددی در بخش ۴ و جمع بندی و نتیجه گیری نیز در بخش ۵ بیان شده است.

۲- مدل مسأله تخصیص ترافیک دینامیکی چند کلاسی

یک شبکه حمل و نقلی را به صورت گراف $G=(N,A)$ درنظر بگیرید. فرض کنید N مجموعه گره‌ها و A مجموعه کمان‌ها باشد و همچنین $t \in D$ و $d \in D$ به ترتیب اندیس‌های مربوط به بازه‌های زمانی و زمان عزیمت باشند و D و Δt نیز به ترتیب مجموعه همه بازه‌های زمانی و طول هر بازه زمانی باشند. q_i^{dc} تقاضای مربوط به کلاس $c \in C$ و زوج مبدا-مقصد $i \in I$ که در بازه d شروع به حرکت کرده است، می‌باشد که در آن C مجموعه همه کلاس‌ها و I مجموعه همه زوج‌های مبدا - مقصد است، T_p^{dc} زمان سفر مسیر $p \in P_i^c$ برای جریانی از کلاس C که در بازه D شروع به حرکت کرده است می‌باشد که در آن P_i^c مجموعه مسیرهای بین زوج مبدا-مقصد $i \in I$ مربوط به کلاس $c \in C$ است، h_p^{dc} جریان مسیر $p \in P_i^c$ که در بازه d شروع به حرکت کرده است خواهد بود و کوتاه‌ترین زمان سفر بین زوج مبدا-مقصد $i \in I$ مربوط به کلاس $c \in C$ با شروع حرکت در بازه d با u_i^{dc} نشان داده شده است. همچنین تابع زمان سفر کمان $a \in A$ مربوط به کلاس $c \in C$ در بازه $t \in D$ که با $f_a^{tc}(x_a^t)$ نشان داده می‌شود را تابعی غیرنزولی و دوبار پیوسته مشتق‌پذیر درنظر بگیرید که تابعی x_a^t (جریان کمان $a \in A$ در بازه $t \in D$) باشد که $x_a^t = \sum_{c \in C} x_a^{tc}$ و x_a^{tc} جریان کمان $a \in A$ در بازه $t \in D$ مربوط به کلاس $c \in C$ است. متغیر وقوع کمان-مسیر α_{pa}^{dt} برابر یک است اگر جریان مسیر p که در بازه d از مبدا خود شروع به حرکت کرده است در بازه t به کمان a برسد، و در غیر اینصورت برابر صفر است. علاوه بر این A_n مجموعه کمان‌هایی که از گره n خارج می‌شوند، A_p مجموعه کمان‌های روی مسیر p و A_{pn} مجموعه کمان‌های روی مسیر p قبل از گره n می‌باشند. با فرض مشخص بودن تقاضای همه زوج‌های مبدا - مقصد مربوط به همه کلاس‌ها در همه بازه‌های عزیمت، مدل تخصیص ترافیک دینامیکی به صورت زیر قابل بیان است:

$$(T_p^{dc} - u_i^{dc}) h_p^{dc} = 0 \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, d \in D, c \in C \qquad (۱)$$

$$T_p^{dc} - u_i^{dc} \geq 0 \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, d \in D, c \in C \qquad (۲)$$

$$\sum_{p \in P_i^c} h_p^{dc} = q_i^{dc} \qquad \forall i \in I, d \in D, c \in C \qquad (۳)$$

$$h_p^{dc} \geq 0 \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, d \in D, c \in C \qquad (۴)$$

$$u_i^{dc} \geq 0 \qquad \forall i \in I, d \in D, c \in C \qquad (۵)$$

$$T_p^{dc} = \sum_{t \in D} \sum_{a \in A_p} f_a^{tc}(x_a^t) \alpha_{pa}^{dt} \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, d \in D, c \in C \qquad (۶)$$

$$x_a^t = \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} \sum_{p \in P_i^c} \sum_{d \in D} h_p^{dc} . \alpha_{pa}^{dt} \qquad \forall a \in A, t \in D \qquad (۷)$$

$$\alpha_{pa}^{dt} \in \{0,1\} \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, a \in A_p, d, t \in D, c \in C \qquad (۸)$$

$$\sum_{t \in D} \alpha_{pa}^{dt} = 1 \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, a \in A_p, d \in D, c \in C \qquad (۹)$$

$$T_{pn}^{dc} = \sum_{t \in D} \sum_{a \in A_{pn}} f_a^{tc}(x_a^t) \alpha_{pa}^{dt} \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, d \in D, n \in N, c \in C \qquad (۱۰)$$

$$(T_{pn}^{dc} + (d - t - 1)\Delta t) \alpha_{pa}^{dt} \leq 0 \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, a \in A_n, d, t \in D, n \in N, c \in C \qquad (۱۱)$$

$$(T_{pn}^{dc} + (d - t)\Delta t) \alpha_{pa}^{dt} \geq 0 \qquad \forall p \in P_i^c, i \in I, a \in A_n, d, t \in D, n \in N, c \in C \qquad (۱۲)$$

مدل (۱-۱۲) مسئله تخصیص ترافیک دینامیکی چند کلاسی را بیان می‌کند. مطابق با این مدل، زمان سفر مسیرهای استفاده شده (با جریان بزرگتر از صفر) مربوط به یک زوج مبدا-مقصد، یک بازه عزیمت و یک کلاس استفاده‌کننده با هم برابر و کوچکتر یا مساوی زمان سفر مسیرهای استفاده نشده (با جریان صفر) مربوط به آن زوج، بازه عزیمت و کلاس هستند. مدل مذکور از تابع زمان سفر BPR استفاده می‌نماید و یک مدل تحلیلی به حساب می‌آید.

۳- الگوریتم حل مسأله تخصیص ترافیک دینامیکی چند کلاسی

اگر مدل (۱-۱۲) را به دو مدل SP1 شامل معادلات (۱-۷) و مدل SP2 شامل معادلات (۸-۱۲) تقسیم کنیم می‌توان با در نظر گرفتن یک روند تکراری مسئله را حل نمود. با فرض ثابت بودن متغیرهای صحیح وقوع کمان-گره در مدل SP1 ، این مسئله به یک مسئله تخصیص ترافیک استاتیکی تبدیل می شود که از حل آن جریان در کمان‌ها و مسیرها حاصل می‌گردد. حال اگر جریان و زمان سفرها در مدل SP2 ثابت درنظرگرفته شود، متغیرهای عدد صحیح از حل این مسئله بدست می‌آیند.

به طور خلاصه با حل تکراری مسائل SP1 و SP2 می‌توان به جواب مسئله کلی رسید. در اینجا برای حل مسئله تخصیص ترافیک استاتیکی حاصل از ثابت نگه داشتن متغیرهای عدد صحیح در مدل (۱-۷) از الگوریتم برنامه ریزی درجه دوم بریده بر پایه مبدا-مقصد (ODTQP) که توسط جوانی و بابازاده [۳۳] معرفی شده، استفاده می‌شود. الگوریتم مذکور مسئله معادل بهینه‌سازی تخصیص ترافیک استاتیکی را حل می‌کند که از این رو نیاز است تا مسئله معادل بهینه سازی مدل (۱-۷) تشکیل داده شده و مدل چندکلاسی برای آن حل شود.

همانطور که می‌دانیم مسئله تخصیص ترافیک چندکلاسی (۱-۷) هیچ مسئله معادل بهینه سازی ای ندارد [۳۴]، از این رو در اینجا به ارائه یک روش برای حل حالت چند کلاسی به وسیله مسئله معادل بهینه سازی خواهیم پرداخت. در بخش قبل اشاره شد که برای تعیین نحوه تاثیر اطلاعات تجویزی بر روی استفاده کنندگان، دو کلاس استفاده کننده در تهران مد نظر قرار خواهد گرفت. کلاس ۱ رانندگانی هستند که مجهز بوده اما از مسیرهای UE تبعیت می‌کنند. کلاس ۲ رانندگانی هستند که مجهز بوده و از مسیرهای SO تجویز شده توسط ATIS پیروی خواهند نمود. مسئله معادل بهینه سازی برای کلاس ۱ همان مدل بهینه سازی بکمن (۳۵) برای مسئله UE خواهد بود که در

آن جریان‌های کلاس ۲ ثابت فرض می‌شود. مسئله معادل بهینه سازی برای کلاس ۲ نیز عبارت است از مدل بهینه سازی بکمن که در آن زمان سفرهای حاشیه ای به جای زمان سفر معمولی هر کمان جایگزین شده است و جریان‌های کلاس ۱ ثابت فرض می‌شود.

۴- نتایج عددی

برای آنکه بتوان تاثیرات اطلاعات تجویزی ATIS را در شهر تهران مورد بررسی قرار داد، الگوریتم چندکلاسی در زبان برنامه نویسی C و در نرم افزار Microsoft Visual Studio ۲۰۱۳ کد شده و بر روی کامپیوتری با پردازنده GHZ Dual-Core ۲,۶ و حافظه 6GB RAM اجرا شده است. شبکه درون شهری تهران دارای ۶۲۱ ناحیه، ۷۷۳۹ گره، ۱۷۳۳۶ کمان و ۱۰۸۸۶۵ زوج مبدا-مقصد، و مجموع اجزای ماتریس تقاضای اوج صبح آن در سال ۱۳۹۱ برابر ۶۲۹۸۰۲ معادل سواری است. برای سنجش میزان نزدیکی جواب به جواب بهینه از معیار شکاف نسبی (RGap) برای حالت دینامیکی استفاده می‌شود. الگوریتم برای رسیدن به اهداف مقاله در همه سناریوها تا رسیدن به شکاف نسبی ۰/۰۱ حل شده است. ماتریس تقاضای دینامیکی تهران برای دوره یک ساعته اوج صبح با بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای (شامل ۴ بازه ۱۵ دقیقه‌ای) از اطلاعات شرکت مطالعات جامع حمل و نقل شهر تهران استخراج گردید. مسئله تخصیص ترافیک استاتیکی چند کلاسی نیز به وسیله الگوریتم پیشنهادی و با درنظر گرفتن یک دوره زمانی به طول ۶۰ دقیقه حل شد.

همانطور که در بخش‌های قبل اشاره شد، هدف بررسی تاثیرات اطلاعات تجویزی ATIS بر روی شبکه شهر تهران با وجود دو کلاس استفاده کننده و مقایسه نتایج استاتیکی و دینامیکی است. از همین رو با فرض درصدهای مختلف برای استفاده کنندگان از اطلاعات مسیرهای SO پارامترهای عملکردی شبکه شهر تهران در دو حالت استاتیکی و دینامیکی با هم مقایسه شده‌اند. در اینجا پنج سناریو برای میزان استفاده از اطلاعات تجویزی درنظرگرفته شده است که جداول ۱ و ۲ پارامترهای عملکردی شبکه شهر تهران در سناریوهای مختلف استفاده از اطلاعات ATIS در به ترتیب حالت استاتیکی و دینامیکی را نشان می‌دهند.

یکی از پارامترهای عملکردی در این جداول زمان سفر کل شبکه (TC) است که بر حسب وسیله-ساعت بیان شده و هزینه کلی سیستم را نشان می‌دهد. پارامتر دیگر سرعت متوسط در کل شبکه است که بر حسب کیلومتر بر ساعت بیان می‌گردد. همچنین پارامترهای متوسط زمان سفر و متوسط مسافت پیموده شده نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند که به ترتیب متوسط زمان سفر و متوسط مسافت سفر بین زوج‌های مبدا-مقصد در شبکه را نشان می‌دهد. مقادیر مربوط به این دو پارامتر برای هر یک از کلاس‌ها نیز در جداول ارائه شده است. همانطور که از جداول ۱ و ۲ مشخص است، نتایج استاتیکی و دینامکی هر دو نشان می‌دهند که با افزایش میزان استفاده از مسیرهای تجویزی زمان سفر کل سیستم کاهش پیدا می‌کند. در حالت ۱۰۰ درصد استفاده از مسیرهای تجویزی، کمترین هزینه سیستم حاصل می‌گردد که بهینه ترین مقدار را نشان می‌دهد. اما در واقعیت برقراری این سناریو در شبکه شهر تهران امکانپذیر نخواهد بود.

جدول ۱. پارامترهای عملکردی شبکه برای درصدهای مختلف استفاده از مسیرهای تجویزشده ATIS در شهر تهران برای حالت استاتیکی

درصد استفاده‌کنندگان از مسیرهای ATIS	زمان سفر کل (وسیله-ساعت)	سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت)	متوسط زمان سفر شبکه (دقیقه)	متوسط مسافت پیموده‌شده (کیلومتر)	متوسط زمان سفر (دقیقه)		متوسط مسافت پیموده‌شده (کیلومتر)	
					کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۱	کلاس ۲
۰	۱۸۰۲۶۱/۰۴	۳۷/۷۹	۲۱/۵۴	۱۲/۵۳	۲۱/۵۴	-	۱۲/۵۳	-
۲۵	۱۷۷۸۵۵/۸۸	۳۷/۸۱	۲۲/۰۹	۱۳/۹۹	۲۰/۴۲	۲۳/۴۸	۱۲/۰۹	۱۵/۵۸
۵۰	۱۷۵۶۹۲/۸۰	۳۷/۸۵	۲۱/۱۶	۱۳/۳۹	۱۹/۵۶	۲۲/۳۸	۱۱/۸۷	۱۴/۵۵
۷۵	۱۷۳۵۰۵/۹۱	۳۷/۹۱	۲۰/۴۳	۱۲/۹۷	۱۸/۸۸	۲۱/۵۲	۱۱/۷۱	۱۳/۸۶
۱۰۰	۱۷۱۵۳۳/۷۰	۳۷/۹۷	۲۰/۷۸	۱۳/۴۱	-	۲۰/۷۸	-	۱۳/۴۱

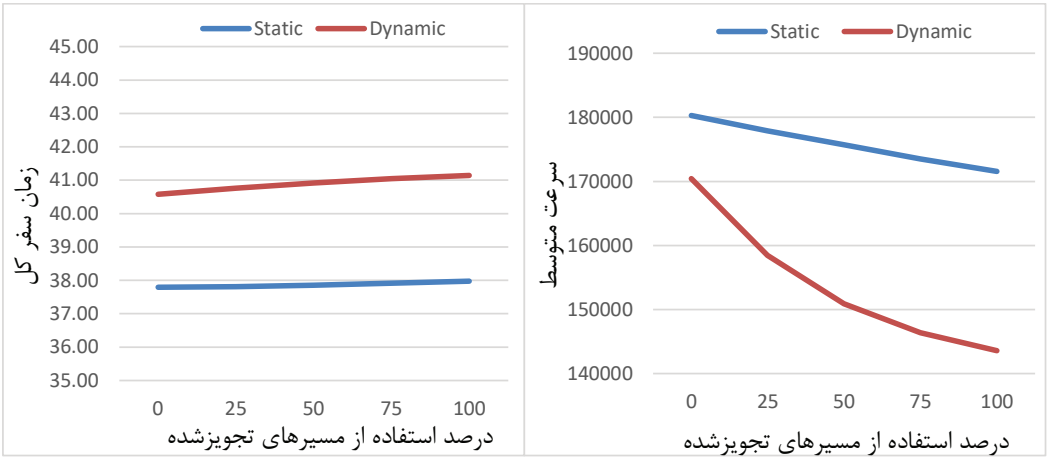
فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم / پاییز ۱۳۹۸ / شماره ۷۸

جدول ۲. پارامترهای عملکردی شبکه برای درصدهای مختلف استفاده از مسیرهای تجویزشده ATIS در شهر تهران برای حالت دینامیکی

درصد استفاده‌کنندگان از مسیرهای ATIS	زمان سفر کل (وسیله-ساعت)	سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت)	متوسط زمان سفر شبکه (دقیقه)	متوسط مسافت پیموده‌شده (کیلومتر)	متوسط زمان سفر (دقیقه)		متوسط مسافت پیموده‌شده (کیلومتر)	
					کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۱	کلاس ۲
۰	۱۷۰۳۹۴/۱۹	۴۰/۵۷	۱۸/۹۰	۱۲/۴۰	۱۸/۹۰	-	۱۲/۴۰	-
۲۵	۱۵۸۴۱۷/۳۱	۴۰/۷۶	۱۹/۰۸	۱۳/۴۸	۱۸/۲۶	۱۹/۷۸	۱۲/۰۴	۱۴/۶۹
۵۰	۱۵۰۸۷۶/۲۲	۴۰/۹۱	۱۷/۹۸	۱۳/۰۱	۱۶/۹۴	۱۸/۷۷	۱۱/۸۱	۱۳/۹۳
۷۵	۱۴۶۳۶۶/۲۵	۴۱/۰۴	۱۷/۲۷	۱۲/۷۳	۱۶/۱۲	۱۸/۰۹	۱۱/۷۱	۱۳/۴۷
۱۰۰	۱۴۳۵۷۷/۶۹	۴۱/۱۴	۱۷/۵۴	۱۳/۱۰	-	۱۷/۵۴	-	۱۳/۱۰

برای مثال اگر بتوان ۵۰ درصد رانندگان را به استفاده از مسیرهای تجویزی متقاعد کرد مشاهده می‌شود که هزینه سیستم در حالت استاتیکی به اندازه ۲/۵ درصد و ۴۵۶۸ وسیله-ساعت و در حالت دینامیکی ۱۱/۵ درصد و ۱۹۵۱۸ وسیله-ساعت کاهش می‌یابد. همانطور که مشخص است، نتایج دینامیکی میزان کاهش بیشتری را در هزینه کلی سیستم نشان می‌دهد که این مطلب به دلیل مدلسازی دقیق تر در حالت دینامیکی است. این موضوع نشان می‌دهد که با درنظرگرفتن واقعیت‌های دینامیکی شبکه، نتایج حاصل شده با نتایج حالت استاتیکی تفاوت‌های اساسی خواهد داشت. علاوه بر آن مقدار هزینه سیستم در سناریوهای مختلف نیز در دو حالت استاتیکی و دینامیکی با هم فرق قابل توجهی دارند. این موضوع در شکل ۱ به وضوح نشان داده شده است. این شکل روند تغییرات هزینه کلی سیستم را در دو حالت استاتیکی و دینامیکی برای درصدهای مختلف استفاده کننده از مسیرهای تجویزی در شهر تهران به نمایش می‌گذارد. بنابراین نتایج حاصل از مدل‌های دینامیکی بهتر اهمیت استفاده از سیستم‌های اطلاع‌رسانی را در شبکه بزرگ مقیاس شهر تهران نشان می‌دهد. جداول ۱ و۲ نشان می‌دهند که سرعت متوسط شبکه در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی با افزایش میزان استفاده از مسیرهای تجویزی افزایش پیدا می‌کند. با فرض استفاده ۵۰ درصدی از اطلاعات تجویزی، سرعت متوسط به اندازه ۰/۰۶ کیلومتر بر ساعت در حالت استاتیکی و به میزان ۰/۳۴ کیلومتر بر ساعت در حالت دینامیکی افزایش خواهد یافت. این موضوع تفاوت نتایج استاتیکی و دینامیکی را در مورد تغییرات سرعت متوسط شبکه بیان می‌کنند.

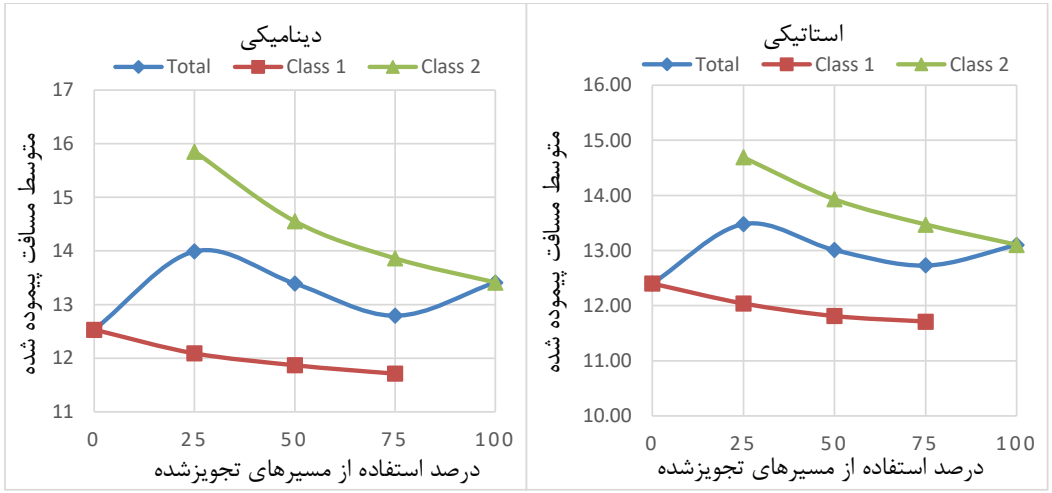
در جداول ۱ و ۲ متوسط زمان سفر شبکه بین زوج‌های مبدا-مقصد برای کل شبکه و هر کلاس ارائه شده است. روند تغییرات این پارامتر در حالت استاتیکی و دینامیکی تقریبا با هم مشابه می‌باشد اما مقادیر مربوطه در سناریوهای مختلف با هم متفاوت است. این موضوع در شکل ۲ به نمایش در آمده است. نتایج حالت دینامیکی مقادیر کمتری را برای متوسط زمان سفر بدست می‌دهند. نتایج مربوط به هر دو حالت نشان می‌دهند که متوسط زمان سفر کلاس ۱ کمتر از متوسط زمان سفر کلاس ۲ است و متوسط زمان سفر هر کدام از کلاس‌ها با افزایش میزان استفاده از مسیرهای تجویزی کاهش می‌یابد. این مسئله نشان می‌دهد که اگرچه که رانندگان کلاس ۲ در راستای بهبود هزینه کلی سیستم از مسیرهای تجویزی استفاده می‌کنند اما نسبت به رانندگان کلاس ۲ از مسیرهایی با زمان سفر بیشتر تبعیت می‌نمایند. در حالت دو کلاسی چون بر اساس جریان و رفتار کلاس ۱ به رانندگان کلاس ۲ مسیر تجویز می‌گردد بنابراین تضمینی وجود ندارد که زمان سفر کلاس ۲ کمترین مقدار باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، به رانندگان کلاس ۲ برای بهبود کلی وضعیت سیستم مسیرهای بدتری تجویز می‌گردد. این مطلب می‌تواند به خودی خود اقبال برای استفاده از مسیرهای تجویزی را کاهش دهد. پدیده دیگری که مشاهده می‌شود، افزایش متوسط زمان سفر کل شبکه از سناریو صفر درصد استفاده کننده از کلاس ۲ به سناریو ۲۵ درصد استفاده کننده از کلاس ۲ است. این موضوع می‌تواند به دلیل اضافه شدن رانندگان کلاس ۲ باشد زیرا که این رانندگان متوسط زمان سفر بیشتری را تجربه می‌کنند که به طور کلی متوسط زمان سفر کل شبکه را کمی بالا خواهند برد. همچنین یک افزایش نیز در متوسط زمان سفر کل شبکه از سناریو ۷۵ درصد استفاده کننده از کلاس ۲ به ۱۰۰ استفاده کننده از کلاس ۲ وجود دارد که این هم می‌تواند به دلیل عدم وجود رانندگان کلاس ۱ که عموماً متوسط زمان سفر کمتری را تجربه می‌کنند در سناریوی آخر باشد.



شکل۱: *مقایسه روند تغییرات زمان سفر کل شبکه و سرعت متوسط در حالت استاتیکی و دینامیکی در شهر تهران*

شکل۲: *مقایسه روند تغییرات متوسط زمان سفر زوج‌های مبدا- مقصد در حالت استاتیکی و دینامیکی در شهر تهران*

مشابه آنچه که در پاراگراف قبل در خصوص متوسط زمان سفر بیان شد نیز برای متوسط مسافت پیموده‌شده هم صادق است که شکل ۳ آن را نشان می‌دهد.



شکل۳: *مقایسه روند تغییرات متوسط مسافت پیموده‌شده بین زوج‌های مبدا- مقصد در حالت استاتیکی و دینامیکی در شهر تهران*

۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از ATIS یکی از کاراترین روش‌ها برای بهبود عملکرد شبکه می‌باشد. همچنین استفاده از مدل‌های تخصیص ترافیک استاتیکی برای بررسی این مسئله که خود ذاتاً ماهیت دینامیکی دارد، می‌تواند منجر به نتایج غیرواقعی گردد. در این مقاله یک مدل و الگوریتم دینامیکی چند کلاسی برای بررسی اثرات سناریوهای ATIS در عملکرد شبکه شهر تهران پیشنهاد شده است. در همین راستا رانندگان در شهر تهران به دو کلاس استفاده‌کننده تقسیم شدند. کلاس ۱ که مجهز به سیستم تبادل اطلاعات هستند اما از مسیرهای UE پیروی می‌کنند و مسیرهای تجویزی را نمی‌پذیرند، کلاس ۲ که مجهز هستند و از مسیرهای SO که توسط کنترل کننده مرکزی تجویز می‌شود تبعیت می‌نمایند. سناریوهای متفاوتی بر اساس میزان درصد رانندگانی که مسیرهای تجویزی ATIS را می‌پذیرند، تعریف شد. سپس برای دو حالت استاتیکی و دینامیکی پارامترهای عملکردی شبکه شهر تهران در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی وضعیت شبکه با افزایش میزان استفاده از اطلاعات ATIS بهبود بیشتری خواهد یافت. همچنین رانندگان کلاس ۲ متوسط زمان سفر و متوسط مسافت پیموده‌شده بیشتری را نسبت به رانندگان کلاس ۱ تجربه می‌کنند. این بدان معناست که اگرچه که استفاده از مسیرهای تجویزی باعث بهبود وضعیت کلی سیستم می‌شود اما وضعیت استفاده‌کنندگان کلاس ۲ بدتر خواهد شد. بر پایه نتایج مقاله، از آنجایی که در حالت دینامیکی واقعیت‌های بیشتری از حرکت جریان در شبکه مدنظر قرار می‌گیرد، پارامترهای عملکردی شبکه در این حالت تفاوت‌های قابل توجهی با حالت استاتیکی دارد. بر همین اساس نتایج حاصل از مدل‌های دینامیکی بهتر اهمیت استفاده از سیستم‌های اطلاع‌رسانی را در شبکه بزرگ مقیاس شهر تهران نشان می‌دهند.

۶- منابع

1- Szeto, W.Y. and Wong, S.C,. 2012. Dynamic traffic assignment: model classifications and recent advances in travel choice principles. Central European Journal of Engineering, 2(1), pp.1-18.

2- Kachroo, P. and Shlayan, N,. 2013. Dynamic traffic assignment: A survey of mathematical models and techniques. In Advances in Dynamic Network Modeling in Complex Transportation Systems (pp. 1-25). Springer New York.

۳- بابازاده، ع. و جوانی، ب.، توسعه یک الگوریتم سریع تخصیص ترافیک دینامیکی – کاربرد برای ارزیابی سیستم‌های مدیریت هوشمند ترافیک در شهر تهران، ۱۳۹۵، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ۱-۱۴.

4- Ran, B., Jin, P.J., Boyce, D., Qiu, T.Z. and Cheng, Y,. 2012. Perspectives on future transportation research: impact of intelligent transportation system technologies on next-generation transportation modeling. Journal of Intelligent Transportation Systems, 16(4), pp.226-242.

5- Papageorgiou, M., Ben-Akiva, M., Bottom, J., Bovy, P.H., Hoogendoorn, S.P., Hounsell, N.B., Kotsialos, A. and McDonald, M,. 2007. ITS and traffic management. Handbooks in Operations Research and Management Science, 14, pp.715-774.

6- Kanafani, A. and Al-Deek, H,. 1991. A simple model for route guidance benefits. Transportation Research Part B: Methodological, 25(4), pp.191-201.

7- Harker, P.T,. 1988. Multiple equilibrium behaviors on networks. Transportation Science, 22(1), pp.39-46.

8- Bennett, L.D,. 1993. The existence of equivalent mathematical programs for certain mixed equilibrium traffic assignment problems. European Journal of Operational Research, 71(2), pp.177-187.

9- Koutsopoulos, H.N. and Lotan, T,. 1990. Motorist information systems and recurrent traffic congestion: sensitivity analysis of expected results. Transportation Research Record, 1281, pp.145–158.

10- Lo, H.K. and Szeto, W.Y,. 2001. Advanced transportation information systems: A cost-effective alternative for network capacity expansion? Journal of Intelligent Transportation System, 6(4), pp.375-395.

11- Lo, H.K. and Szeto, W.Y,. 2002. A methodology for sustainable traveler information services. Transportation Research Part B: Methodological, 36(2), pp.113-130.

-12 Yin, Y. and Yang, H, .2003
Simultaneous determination of the equilibrium market penetration and compliance rate of advanced traveler information systems. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 37(2), pp. 165-181.

-13 Li, Z.C., Huang, H.J. and Xiong, Y, .2003, October. Mixed equilibrium behavior and market penetration with global demand elasticity under advanced traveler information systems. In Intelligent Transportation Systems 2003. Proceedings. IEEE (Vol 1, pp. 506-509). IEEE.

-14 Huang, H.J. and Li, Z.C, .2007
A multiclass, multicriteria logit-based traffic equilibrium assignment model under ATIS. European Journal of Operational Research, 176(3), pp. 1464-1477.

۱۵- بابازاده، ع.، فانی، ا. و جوانی، ب.، عملکرد شبکه ترافیکی تهران با سیستم‌های پیشرفته‌ی اطلاع‌رسانی به راننده (ATIS)، ۱۳۹۲، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ۱-۱۲.

-16 Lujak, M., Giordani, S. and Ossowski, S, .2015
Route guidance: Bridging system and user optimization in traffic assignment. Neurocomputing, 151, pp. 449-460.

-17 Ben-Akiva, M., De Palma, A. and Isam, K, .1991
Dynamic network models and driver information systems. Transportation Research Part A: General, 25(5), pp. 251-266.

-18 Al-Deek, H. and Kanafani, A, .1993
Modeling the benefits of advanced traveler information systems in corridors with incidents. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 1(4), pp. 303-324.

-19 Emmerink, R.H., Axhausen, K.W., Nijkamp, P. and Rietveld, P, .1995
Effects of information in road transport networks with recurrent congestion. Transportation, 22(1), pp. 21-53.

-20 Emmerink, R.H., Axhausen, K.W., Nijkamp, P. and Rietveld, P, .1995
The potential of information provision in a simulated road transport network with non-recurrent congestion. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 3(5), pp. 293-309.

-21 Mahmassani, H.S., Liu, Y.H, .1997
Models of user pre-trip and en-route switching decisions in response to real-time information. In: Transportation Systems 1997 8th Proceedings volume from the IFAC/IFIP/IFORS Symposium (97_TS), 3, pp. 1363–1368.

-22 Al-Deek, H.M., Khattak, A.J. and Thananjeyan, P, .1998
A combined traveler behavior and system performance model with advanced traveler information systems. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 32(7), pp. 479-493.

-23 Peeta, S. and Mahmassani, H.S, .1995
Multiple user classes real-time traffic assignment for online operations: a rolling horizon solution framework. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 3(2), pp. 83-98.

-24 Mahmassani, H.S, .2001
Dynamic network traffic assignment and simulation methodology for advanced system management applications. Networks and spatial economics, 1(3-4), pp. 267-292.

-25 Lo, H.K. and Szeto, W.Y, .2004
Modeling advanced traveler information services: static versus dynamic paradigms. Transportation Research Part B: Methodological, 38(6), pp. 495-515.

-26 Balakrishna, R., Koutsopoulos, H., Ben-Akiva, M., Fernandez Ruiz, B. and Mehta, M, .2005
Simulation-based evaluation of advanced traveler information systems. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1910), pp. 90-98.

-۲۷ Szeto, W.Y., Jiang, Y. and Sumalee, A, .۲۰۱۱
A Cell-Based Model for Multi-class Doubly Stochastic Dynamic Traffic Assignment. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, ۲۶(۸), pp. ۵۹۵-۶۱۱.

-۲۸ Nie, Y.M., Wu, X., Dillenburg, J.F. and Nelson, P.C, .۲۰۱۲
Reliable route guidance: A case study from Chicago. Transportation Research Part A: Policy and Practice, ۴۶(۲), pp. ۴۰۳-۴۱۹.

۲۹- Gao, S. and Huang, H.,. ۲۰۱۲. Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, ۲۱(۱), pp.۱۹۶-۲۱۳.

۳۰- He, Z., Guan, W. and Ma, S,. ۲۰۱۳. A traffic-condition-based route guidance strategy for a single destination road network. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, ۳۲, pp.۸۹-۱۰۲.

۳۱- Mitsakis, E., Grau, J.M.S., Stamos, I. and Aifadopoulou, G,. ۲۰۱۵. An integrated framework for embedding large-scale dynamic traffic assignment models in advanced traveler information systems. Transportation Planning and Technology, ۳۸(۸), pp.۸۶۶-۸۷۷.

۳۲- Kim, Y.H. and Peeta, S,. ۲۰۱۶. Graph-Based Modeling of Information Flow Evolution and Propagation under V۲V Communications-Based Advanced Traveler Information Systems. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, ۳۱(۷), pp.۴۹۹-۵۱۴.

۳۳- Javani, B. and Babazadeh, A,. ۲۰۱۶. Origin-destination-based truncated quadratic programming algorithm for traffic assignment problem. Transportation Letters. http://dx.doi.or ۱۹۴۲۷۸۶۷/۲۰۱۶/۱۲۲۷۵۳۱/۱۰/۱۰۸۰/g

۳۴- Dafermos, S.C,. ۱۹۷۲. The traffic assignment problem for multiclass-user transportation networks. Transportation science, ۶(۱), pp.۷۳-۸۷.

۳۵- Beckmann, M., McGuire, C.B. and Winsten, C.B,. ۱۹۵۶. Studies in the Economics of Transportation (No. ۲۲۶. pp).

Multiclass Dynamic Traffic Assignment for Modeling Advanced Traveler Information Systems in Tehran's Network: Static vs. Dynamic Results

Abbas Babazadeh , Babak Javani and Mehrdad Gholami Shahbandi

۱- Assistant Professor, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran.

۲- PhD Candidate. School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran.

۳- PhD Candidate. School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran.

Abstract

Advanced traveler information systems (ATIS) help the travelers with their travel choices and in analyzing the traffic conditions by one or two-way communication in order to enhance the performance of network. Besides, employing the static traffic assignment models for assessing the impacts of ATIS on the network, which is intrinsically a dynamic problem, will lead to unrealistic results. Here, a multiclass dynamic traffic assignment model and algorithm for estimating the effects of ATIS on the network of city of Tehran are proposed. The travelers in Tehran are classified to two equipped classes. The travelers which are following the UE and the travelers that are following the SO routes, which are ۱ routes are considered as class ۲. Several scenarios are designed prescribed by the system controllers, are considered as class based on the different percentage of travelers which use the ATIS normative information in Tehran. The numerical results show that the traffic condition in Tehran improves as the percentage of travelers which use the ATIS normative routes increase. Based on the results, the travelers of class ۲, which are following the SO routes, will experience longer routes rather than the travelers of class ۱. In addition, a lot of considerable differences between the static and dynamic results were observed.

Keywords: Dynamic Traffic Assignment, Multiclass, ATIS, Large Scale Network.