فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

تعیین آستانه فازی رضایت از پیش‌بینی زمان سفر مسیر

مجتبی رجبی بهاءآبادی[1]، نوید خادمی[2و3]، میلاد مهدی‌زاده

۱- دانشجوی دکتری مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده عمران،

۲- استادیار، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران،

۳-پسا دکتری، لابراتوار تِما، دانشگاه سرژی پونتواز، پاریس، فرانسه تهران،

چکیده

در طی چند دهه گذشته، تحقیقات زیادی در زمینه عوامل موثر بر انتخاب مسیر صورت گرفته و مدل‌هایی برای انتخاب مسیر بر اساس این عوامل، بیان شده است. تعداد اندکی از این مدل‌ها، فرایند و سازوکار تصمیم‌گیری افراد را به عنوان یک عامل رفتاری و روان‌شناختی در انتخاب مسیر مسافران در نظر گرفته و اکثر آن‌ها از نظریه‌های اقتصادسنجی برای انتخاب مسیر مسافران بهره می‌برند. در این پژوهش، پس از بحث درباره مدل‌های رفتاری انتخاب مسیر و اهمیت آنها در برنامه‌ریزی حمل و نقل، یکی از عوامل رفتاری موثر در انتخاب مسیر تحت عنوان «آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر» معرفی و با گردآوری داده‌های آن از طریق پرسش‌گری تعیین و تحلیل می‌شود. آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر ماهیتی فازی دارد. لذا در این پژوهش با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی، تابع درجه عضویت این آستانه به دو روش چند نقطه‌ای و دو نقطه‌ای تعیین می‌شود و در نهایت میزان تطابق هر یک از روش‌های ساخت تابع درجه عضویت فازی آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر با مشاهدات دنیای واقعی بحث و تحلیل می‌شود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که خصوصیات رفتاری مسافران می‌تواند بر آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر تاثیر بگذارد؛ به طوریکه، میزان آستانه رضایت افراد خوش‌بین بیشتر از میزان آستانه رضایت افراد بدبین است.

کلید واژه: انتخاب مسیر، پیش بینی زمان سفر، نظریه مجموعه‌های فازی

۱- مقدمه

سفر از اجزای جدایی‌ناپذیر زندگی روزمره انسان‌ها است و هر فردی روزانه سفرهایی را بین مبادی و مقاصد مختلف با اهداف متفاوتی انجام می‌دهد. ویژگی‌های هر یک از سفرها متاثر از رفتار مسافران و هدف سفر است. یکی از اهداف متخصصین حمل و نقل، مدل‌سازی رفتار مسافران و تاثیر آن بر نحوه تصمیم‌گیری‌های آنها در انجام سفرشان است. آشنایی با نحوه تصمیم‌گیری انسان در فرآیند انجام سفر، سهم بسزایی در کیفیت ارزیابی کارایی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، سناریوهای مدیریت تقاضای ترافیک و بررسی تغییرات ناگهایی سیستم عرضه دارد. همچنین آگاهی از فرایند رفتاری انتخاب مسیر می تواند در کارایی برنامه ریزی‌ها و طرح‌های حمل و نقلی نقش موثری را ایفا نماید.

انتخاب مسیر از جمله مسائلی است که توجه تعداد زیادی از محققان را در طی دهه‌های اخیر به خود جلب کرده است و مدل‌های متفاوتی در این زمینه ارائه شده است. به عنوان مثال می توان به مطالعه انجام شده توسط ترنس لم (۲۰۰۰) [۱] اشاره کرد که در آن مدلی به منظور تحلیل تصمیم گیری‌های همزمان مسافران در انتخاب مسیر[1] و زمان حرکت از مبداء[2] (زمان عزیمت)، در شبکه ساده‌ای با دو مسیر ارائه شده است؛ همچنین در این مقاله، تاثیر اطلاع رسانی به رانندگان از وضعیت ترافیکی مسیرها مورد مطالعه قرار گرفت و نحوه انتخاب مسیر و زمان حرکت از مبدا در این شرایط مورد بررسی قرار گرفته است. دپالما و پیکارد (۲۰۰۵) [۲] به عنوان نمونه ای دیگر از تحقیقات اخیر در این زمینه، رفتار انتخاب مسیر رانندگان را در شرایط غیر قطعی بودن زمان سفر مطالعه کردند و

1 Route choice
2 Departure time

با استفاده از نظریه مطلوبیت مورد انتظار (EUT)[1]، روشی برای اندازه گیری میزان ریسک‌گریزی[2] رانندگان ارائه دادند . هنری لیو و همکاران(۲۰۰۴) [۳]، ارزش قابلیت اطمینان زمان سفر و همچنین ارزش زمان سفر را در انتخاب مسیر رانندگان تعیین نمودند. آن‌ها در پژوهش خود ، یک مدل انتخاب مسیر لوجیت ترکیبی[3] ارائه دادند و پارامترهای آن را با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک تعیین کردند. در مطالعه‌ای دیگر، دهاکار و همکاران (۲۰۱۴) [۴] از داده‌های «آمارگیری سفر مبتنی بر سامانه موقعیت‌یاب جهانی»[4] برای ساخت مدل انتخاب مسیر استفاده کردند. نتایج پرداخت مدل آنها نشان می‌دهد که عواملی همچون زمان سفر جریان آزاد، تعداد گردش به چپ‌ها، تعداد گردش به راست‌ها و تقاطعات بر انتخاب مسیر مسافران تاثیر بسزایی می‌گذارد. بر اساس پژوهش دهاکار و همکاران (۲۰۱۴)، سن، جنس، هدف سفر و زمان انجام سفر بر میزان تاثیرگذاری عوامل اشاره شده بر انتخاب مسیر تاثیر بسزایی دارد. فُسگرائو و همکاران (۲۰۱۵) [۵] مدل اصلاح شده لوجیتی به نام «لوجیت بازگشتی»[5] برای انتخاب مسیر ارائه دادند که در آن انتخاب مسیر به صورت انتخاب دنباله‌ای از کمان‌های شبکه به صورت دینامیک مدل‌سازی شده است. بر این اساس، مدل آنها نیاز به ایجاد یک مجموعه اولیه از مسیرهای منتخب بین یک مبداء و مقصد ندارد. در ادامه، مای و همکاران (۲۰۱۵) [۶]، برای حذف استقلال بین گزینه‌ها و در نظر گرفتن وابستگی بین مسیرها، مدل «لوجیت بازگشتی آشیانه‌ای»[6] را ارائه دادند. آن‌ها برای پرداخت مدل خود، از داده‌های واقعی انتخاب مسیر جمع آوری شده در شهر بورلنگه[7] سوئد استفاده کردند.

اکثر مدل‌های ارائه شده برای انتخاب مسیر در قالب مدل‌های انتخاب گسسته[8] و بر پایه نظریه مطلوبیت تصادفی هستند. در نظریه مطلوبیت تصادفی هر فرد سعی می نماید انتخابی که بیشینه مطلوبیت را به همراه دارد به عنوان گزینه انتخابی خود برگزیند. این مدل‌ها، مدلهای هنجاری[9] هستند و لذا به فرآیند رفتاری و روانشناختی تصمیم‌گیری انسان کمتر توجه می‌کنند یا به بیان دیگر برخلاف آنکه به تشریح واقعی نحوه تفکر و تصمیم در انسان بپردازند، یک فرآیند ایده آل تصمیم گیری را مدل می نمایند و به همین دلیل مورد انتقاد دانشمندان علوم رفتاری مانند گارلینگ [۷] قرار گرفته اند. با توجه به اینکه، مدل‌سازی واقع‌گرایانه فرایند رفتاری انتخاب مسیر رانندگان، نقش کلیدی در اعتبار این مدل‌ها می‌تواند ایفا نماید؛ لذا چندین مطالعه در این راستا صورت گرفته است. تئودورویک و کیکوچی (۱۹۹۰) [۸] برای اولین بار سعی کردند تا مدل انتخاب مسیری را بر اساس مفاهیم منطق فازی ارائه دهند. آن‌ها زمان سفر پیش‌بینی شده توسط راننده را به صورت عدد فازی مدل‌سازی کردند. در پژوهش آن‌ها ، فرایند انتخاب مسیر هر راننده، بر اساس استنتاج تقریبی[10] است. همچنین لوتان و کاتسوپالس(۱۹۹۳) [۹]، رفتار انتخاب مسیر رانندگان را در شرایط اطلاع رسانی به آنها بر اساس مجموعه‌های فازی و استنتاج تقریبی مدل کردند. ارسلان و خیستی (۲۰۰۶) [۱۰]، مدل انتخاب مسیر ترکیبی بر اساس منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی ارائه دادند. در این مدل، ادراک افراد از زمان سفر به صورت عدد فازی مدل می‌گردد و از یک مجموعه قوانین اگر- آن‌گاه فازی برای مقایسه زوجی گزینه‌ها استفاده می‌شود و در نهایت از روش تحلیل سلسله مراتبی به عنوان سازوکار تصمیم‌گیری راننده استفاده می‌شود. همچنین ایدا و همکارانش (۱۹۹۲) [۱۱]، نحوه انتخاب مسیر روز به روز مسافران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد که علاوه بر کمیت زمان سفر که در انتخاب مسیر نقش کلیدی را ایفا می‌کند، متغیر دیگری تحت عنوان میزان خطا در پیش‌بینی‌های زمان سفر نیز در انتخاب مسیر نقش قابل توجهی دارد. به عبارتی دیگر، میزان رضایت مسافران از پیش‌بینی زمان سفر یک مسیر می‌تواند در انتخاب مجدد آن مسیر نقش مهمی داشته باشد. میزان رضایت یک راننده به پیش‌بینی اش را می‌توان در قالب « آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر» بیان کرد. این شاخص بیان می‌کند که رضایت مسافر تا چه اندازه متاثر از خطا در پیش‌بینی وی است. به بیان دیگر، یک مسافر قبل از انجام سفر، یک پیش‌بینی از زمان سفر مسیر منتخب دارد و پس از انجام سفر، متوجه انحرافی بین زمان سفر واقعی مسیر و زمان سفر پیش‌بینی شده در ذهن خود می‌شود. آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر یک شاخص رفتاری است که می خواهد تعیین کند که در بازه مختلفی از این خطا (اختلاف بین

1 Expected utility theory
2 Risk aversion
3 Mixed- logit Model
4 GPS-based travel surveys
5 Recursive logit
6 Nested recursive logit
5 Borlänge
8 Discrete choice models
9 Normative models
10 Approximate reasoning

زمان سفر واقعی و زمان سفر پیش بینی شده)، میزان رضایت فرد از پیش‌بینی‌اش چگونه تغییر می‌کند و در چه نقطه ای فرد رضایتش را به طور کلی از دست می دهد و خود را در پیش‌بینی برای زمان سفر مسیر مورد نظر ناکارآمد می پندارد. آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر نقش مهمی در فرآیند انتخاب مسیر افراد ایفا می نماید؛ به طوری که افراد با آستانه زمان سفر متفاوت، رفتارهای متفاوتی را در انتخاب مسیر نشان می‌دهند.

در ادامه پژوهش جاری، در بخش ۲، مفهوم و کاربرد آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر در انتخاب مسیر تشریح می‌شود. سپس در مورد ماهیت فازی این آستانه بحث می‌شود. بخش ۳، به نحوه ساخت تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر اختصاص دارد. بخش ۴، نتایج عددی در مورد ساخت تابع درجه عضویت را نشان داده و در نهایت در بخش ۵ به نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای مطالعات آتی پرداخته خواهد شد.

۲- آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر

انسان‌ها هر روزه سفرهای گوناگونی را با اهداف مختلف در طول روز انجام داده و برای رسیدن به مقصد سفر خود برنامه‌ریزی می‌کنند. افراد تصمیم می‌گیرند که برای هر یک از سفرهای روزانه خود از کدام یک از شیوه‌های حمل و نقلی استفاده کرده و چه مسیری را برای رسیدن به مقصد خود انتخاب نمایند. فرایند انتخاب افراد سازوکار پیچیده ای دارد و عوامل مختلفی بر تصمیم‌گیری آن‌ها برای انتخاب مسیر سفر اثرگذار است. قضاوت‌های انسانی بر اساس ادراک آن‌ها از محیط و شرایط اطراف است. بنابراین تصمیم‌گیری افراد، وابسته به تجربه‌ها و ادراک‌های روزانه آن‌ها از محیط و همچنین متاثر از شرایط رفتاری و روحی آن‌ها است.

ایدا و همکاران (۱۹۹۲) [۱۱]، نحوه انتخاب مسیر روز به روز مسافران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان می دهد که علاوه بر کمیت زمان سفر که در انتخاب مسیر نقش کلیدی را ایفا می‌کند، متغیر دیگری تحت عنوان میزان خطا در پیش‌بینی‌های زمان سفر نیز در انتخاب مسیر نقش قابل توجهی دارد. مثلا فرض کنید که فردی محل سکونت خود را تغییر داده و می‌خواهد برای سفر فردای خود از خانه به محل کار برنامه‌ریزی کند. این فرد، گزینه‌های مختلفی را برای انتخاب مسیر در ذهن خود دارد و با استفاده از راهنمایی دیگران و تجربه‌های شخصی خود، زمان سفر هر یک از مسیرها را پیش‌بینی و مسیر با کمترین زمان سفر پیش‌بینی شده را انتخاب می‌کند. در فردای آن روز، این فرد پس از رسیدن به محل کار یک زمان سفری را تجربه می‌کند؛ از این‌رو در پایان آن روز، یک زمان پیش‌بینی‌شده و تجربه‌شده وجود خواهد داشت. بنابراین، میزان اختلاف بین این دو زمان در نحوه تصمیم‌گیری فرد برای سفرهای آتی موثر است. در پیش‌بینی زمان سفر و مقایسه آن با زمان سفر تجربه‌شده، اگر زمان سفر پیش‌بینی‌شده بسیار نزدیک و یا بیشتر از زمان سفر تجربه شده باشد (با فرض عدم مشورت با دیگران و عدم استفاده از هیچ منبع اطلاعاتی دیگر) امکان آن زیاد است که این فرد همین گزینه را برای روز بعد انتخاب کند؛ ولی اگر زمان سفر تجربه‌شده به مراتب بیشتر از پیش‌بینی‌شده باشد، ممکن است فرد گزینه‌های دیگری را انتخاب کند. از این‌رو، تفاوت بین زمان سفر تجربه‌شده و پیش‌بینی‌شده در انتخاب مسیر افراد اثرگذار است؛ به طوری که اگر مقدار این تفاوت از حدی زیادتر شود آنگاه فرد احساس می‌کند که در پیش‌بینی‌اش شکست خورده و ممکن است گزینه دیگری را برای سفر روز بعدش انتخاب کند. تفاوت بین زمان سفر تجربه‌شده و زمان سفر پیش‌بینی‌شده را میزان خطا در پیش‌بینی زمان سفر نامیده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$e_{rij} = t^{E}_{rij} - t^{P}_{rij} \quad (۱)$$

که در آن، r اندیس مسیر، i اندیس مسافر، j اندیس روز، e_{rij} خطای پیش‌بینی زمان سفر، t^{P}_{rij} زمان سفر پیش‌بینی شده و t^{E}_{rij} زمان سفر تجربه شده است.

متغیر خطای فوق می تواند علامت مثبت و منفی داشته باشد. تحقیق ایدا و همکارانش [۱۱] در زمینه انتخاب مسیر نشان می دهد که علامت مثبت این متغیر منجر به کاهش نرخ تغییر مسیر در تکرارهای بعدی (روزهای کاری بعدی) می شود.

در حقیقت، یک مسافر بر اساس زمان سفرهای تجربه شده خود در یک مسیر، یک پیش‌بینی برای زمان سفر روز بعد دارد که از توزیع احتمال ذهنی[1] زمان سفر در این مسیر نشات می‌گیرد. در صورتی‌که پس از این پیش‌بینی، فرد سفر خود را انجام داده و یک زمان سفر تجربه شده جدید داشته باشد در این‌صورت، آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر در این مسیر خاص در ذهن او بدین صورت تعریف می‌شود: کمترین مقدار

1 Subjective probability

اختلاف بین زمان سفر پیش‌بینی شده و تجربه شده که در اثر آن، فرد رضایتش را از پیش‌بینی خود از دست می‌دهد.

۲-۱- ماهیت فازی آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر

فرض کنید که آستانه رضایت، عددی قطعی باشد. بر این اساس، اگر میزان اختلاف بین زمان سفر تجربه شده و پیش‌بینی شده یک فرد بیشتر از آستانه رضایت آن فرد باشد آن‌گاه او به طور کامل از پیش‌بینی خود ناراضی است. با توجه به فرض فوق، تنها عبور یا عدم عبور از آستانه رضایت، بر میزان رضایت فرد از پیش بینی اش تاثیر می گذارد و شکست یا پیروزی فرد در پیش‌بینی زمان سفر، بستگی به میزان فاصله عبور از آستانه رضایت ندارد. برای مثال، اگر فردی زمان سفر مسیری را ۱۰ دقیقه پیش‌بینی کند و آستانه رضایت او در مسیری مشخص ۲ دقیقه باشد آنگاه برای فرد مزبور هیچ تفاوتی بین زمان سفر تجربه شده ۱۳ دقیقه و ۹۰ دقیقه وجود نداشته و در هر دو حالت، شخص به طور کامل رضایتش را نسبت به پیش‌بینی‌اش از دست داده و هر دو زمان تجربه شده برای فرد مزبور برابر با شکست در پیش‌بینی زمان سفر است. در حقیقت فرض شده که هر دو زمان تجربه شده ۱۳ و ۹۰ دقیقه تاثیرات یکسانی بر فرد گذاشته و نتایج حاصل از هر یک از تجربه‌ها برابر با شکست است.

پیش‌بینی نادرست از زمان سفر و دیر رسیدن به سر کار، اگرچه یک شکست است که باعث کاهش رضایت مسافر از پیش بینی زمان سفر برای مسیری که آن را انتخاب کرده، می‌شود؛ ولی این شکست قطعی نیست و درجه عضویتی از نارضایتی کامل را در خود دارد. در حقیقت، در دنیای واقعی اگرچه آستانه‌ای وجود دارد که با عبور از آن شخص دچار شک و نارضایتی نسبت به تصمیم خویش می‌شود؛ ولی به صورت کامل و قطعی رضایت خود را از دست نمی‌دهد؛ بلکه با فاصله گرفتن از آن آستانه، رضایت وی مدام کم می‌شود تا در نهایت به صفر برسد. به عنوان مثال، فرض کنید که آستانه رضایت مسافری برای مسیری خاص، ۵ دقیقه است. حال فرض کنید که فرد برای یک سفر خود زمان سفر ۱۰ دقیقه را پیش‌بینی کرده؛ ولی پس از انجام سفر، این فرد زمان سفر ۱۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه را تجربه نموده است. از آنجا که تفاوت بین دو زمان پیش‌بینی شده و مشاهده شده ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه است؛ لذا این فرد طبق حالت قطعی تعریف شده در بخش ۲، کاملاً از پیش‌بینی خود ناراضی خواهد بود. حال اگر فرض شود که زمان سفر تجربه‌شده او بجای ۱۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه برابر با ۱۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه باشد، لذا تفاوت بین این دو (زمان پیش‌بینی شده و تجربه شده) برابر ۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه شده که نشان می‌دهد فرد از آستانه رضایت عبور نکرده است. تفاوت بین دو مثال مذکور که در دو طرف آستانه رضایت رخ داده تنها در یک دقیقه است و این موضوع برای یک میکرو ثانیه در دو طرف آستانه رضایت نیز قابل تعمیم است. لذا منطقی نیست اگر فرض شود که یک بازه زمانی بسیار کوچک، مرز بین رضایت کامل و رضایت صفر (نارضایتی کامل) است. بنابراین بدیهی است که قطعی فرض نمودن آستانه رضایت، فرض نادرستی است.

حال فرض کنید فردی می‌خواهد از یک مبدا (A) به یک مقصد (B) با زمان سفر t_{AB} برود. او برای این مسیر، زمان سفر $\hat{t}_{AB}$ را (که کمتر از زمان سفر واقعی مسیر است) پیش بینی می نماید؛ لذا با تاخیر به مقصد (مثلا محل کار) می رسد. اگر از او سوال شود که چقدر از پیش‌بینی خویش در خصوص زمان سفر این مسیر (که حاصل از برداشت وی از ارتباط پویا سیستم عرضه و تقاضا است) رضایت دارد؟ پاسخ‌ها ممکن است عبارت باشند از: «تا حدی»، «کم و بیش»، «نسبتا» و مواردی از این دست. با توجه به نوع پاسخ‌ها (عدم قطعیت از نوع کلامی) می‌توان نتیجه گرفت که نظریه فازی به‌منظور مدل‌سازی رضایت زمان سفر مناسب است.

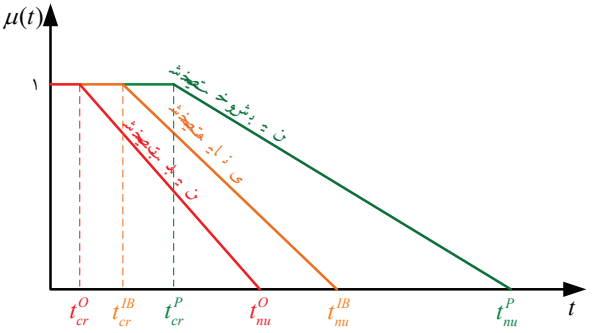
در این پژوهش، آستانه فازی رضایت از پیش‌بینی زمان سفر توسط دو آستانه قطعی ذیل ساخته می‌شود:

- آستانه بحرانی (Critical Threshold): در حرکت بر روی محور زمان از رضایت کامل به سمت رضایت صفر، آستانه بحرانی، آخرین مکان رضایت کامل (۱۰۰ درصد) است که با عبور از آن رضایت فرد به طور تدریجی و خطی کاهش می یابد. آستانه بحرانی رضایت برای یک مسیر با t_{cr} نمایش داده می‌شود.
- آستانه باطل نمودن (Null Threshold): اولین مکان شروع عدم رضایت کامل (رضایت صفر درصد) است و با t_{nu} نمایش داده می‌شود.

بدیهی است که مثلا برای یک سفر کاری با مدت زمان میانگین ۲۰ دقیقه، مقادیر این آستانه‌ها از فردی به فرد دیگر متفاوت است. شکل ۱، به صورت شماتیک تفاوت بین این آستانه‌ها را برای سه گروه کاربران بدبین، خوش‌بین و یک گروه میانی نمایش داده است. اندیس nu معرف آستانه باطل نمودن، اندیس cr معرف آستانه بحرانی، اندیس O معرف گروه

خوش‌بین، اندیس P معرف گروه بدبین، اندیس IB معرف یک فرد در شرایط میانی بین خوش بین و بدبین، $\mu(t)$ میزان درجه عضویت و t اختلاف بین زمان سفر تجربه شده و زمان سفر پیش بینی شده است.

بدیهی است که هر چه فردی بدبین‌تر باشد آن‌گاه آن فرد، با خطای کمتری در پیش بینی زمان سفر، رضایتش را در اثر پیش بینی نادرست از دست می‌دهد و یک پیش بینی نادرست در او تاثیر بیشتری می‌گذارد. در چنین حالتی یک فرد بدبین احساس می‌کند که زمان سفر خودش را خیلی بد پیش بینی کرده و احساس شکست می‌نماید. در حالی که که یک فرد خوشبین با همان میزان خطا در پیش بینی زمان سفر، کمتر احساس شکست می‌نماید و کمتر رضایت از پیش بینی اش را از دست می‌دهد. لذا آستانه بحرانی شخص بدبین خیلی زودتر از فرد خوشبین شروع می شود و نرخ کاهش رضایت یک فرد بدبین نسبت به شخص خوشبین بیشتر است، بنابراین آستانه باطل نمودن فرد بدبین نیز زودتر از فرد خوشبین شروع می‌گردد.



شکل ۱ : ماهیت فازی آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر

همانطور که دیده می شود بنابر مواردی که ذکر شد، شکل آستانه رضایت در این تحقیق، یک تابع مثلثی راست با بازه تکیه‌گاه $[t_{cr},t_{nu}]$ است. عدد فازی مثلثی آستانه رضایت عبارت است از (t_{cr}, t_{nu}, t_{cr})، که روی محور t دارای تصویر $[t_{cr},t_{nu}]$ است و توسط رابطه ذیل مشخص می شود:

$$\mu_t(t)=\begin{cases}\dfrac{t^E-t^P-t_{nu}}{t_{nu}-t_{cr}} & t_{cr}<\left(t^E-t^P\right)<t_{nu}\\ ۱ & \left(t^E-t^P\right)<t_{cr}\\ ۰ & \text{otherwise}\end{cases} \qquad (۲)$$

که در آن t^E و t^P به ترتیب زمان سفر تجربه شده و زمان سفر پیش‌بینی شده است. بدیهی است که میزان رضایت به پیش‌بینی زمان سفر برای t^E-t^P های کمتر از t_{cr} کامل و برای t^E-t^P های بیشتر از t_{nu} صفر است.

۳- نحوه ساخت تابع درجه عضویت

تاکنون روش‌های مختلفی برای ساخت تابع درجه عضویت فازی ارائه شده و محققان سعی کردند که از نظریه‌ها و الگوریتم‌های مختلفی برای ساخت آن استفاده کنند. برای مثال، فام و ولی اپن [۱۲]، نحوه ساخت تابع درجه عضویت را بر اساس هر یک از داده‌های نظری[1] و مشاهداتی[2] بیان کرده و در ادامه به بحث درباره چگونگی ساخت تابع درجه عضویت برای ترکیب داده‌های نظری و مشاهداتی پرداختند. سیوندلر و تراسل (۱۹۸۶) [۱۳]، روشی برای ساخت تابع درجه عضویت بر اساس داده‌های آماری ارائه کردند. هومیفار و مکورمیک (۱۹۹۵) [۱۴]، کاربرد الگوریتم ژنتیک را در طراحی همزمان تابع درجه عضویت و مجموعه‌های قواعد[3]، برای کنترل کننده‌های فازی بررسی کردند. بایی (۲۰۰۳) روشی برای ساختن تابع درجه عضویت فازی بهینه با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع[4] ارائه داد [۱۵]. از شبکه‌های عصبی نیز بارها برای ساخت تابع درجه عضویت فازی استفاده شده است [۱۶]و [۱۷]. علاوه بر این روش‌های ساخت مستقیم تابع درجه عضویت نیز، توسط برخی از محققین پیشنهاد شده است [۱۸].

روش‌های ساخت تابع درجه عضویت فازی را می‌توان به دو دسته کلی روش تک خبره (Expert) و چند خبره تقسیم بندی نمود [۱۵]. در روش تک خبره، تنها از نظر یک خبره برای ساخت تابع درجه عضویت فازی استفاده می گردد یعنی یک و تنها یک خبره، تابع درجه عضویت فازی را ایجاد می نماید؛ ولی در روش چند خبره، نظرهای چندین فرد خبره برای ساخت تابع درجه عضویت فازی در نظر گرفته می‌شود، به عبارت دیگر در این روش سعی می گردد تا از تجمیع نظرهای خبرگان برای ساخت تابع درجه فازی استفاده شود. همچنین از دیدگاه دیگر، روش‌های ساخت تابع درجه عضویت فازی را به دو دسته روش‌های مستقیم و روش‌های غیرمستقیم تقسیم بندی می نمایند [۱۵]. به طوری که در روش‌های مستقیم، هر خبره تابع درجه عضویت فازی را به صورت کامل برای همه اعضای مجموعه فازی ایجاد می‌کند، مثلا ممکن است که خبره تابع درجه عضویت فازی را در قالب

1 Subjective
2 Objective
3 Rule sets
4 Tabu search

یک فرمول ریاضی بیان نماید؛ ولی در روش‌های غیرمستقیم، درجه عضویت برخی از نقاط تابع درجه عضویت فازی توسط خبره تعیین می‌شود [۱۵]. به طور مثال، افراد خبره در برخی از مطالعات فازی، هیچ‌آشنایی با مباحث فازی و حتی ریاضی ندارند، در این مواقع، محققین سعی می نمایند به گونه‌ای، درجه عضویت بعضی از اعضای مجموعه فازی را از افراد خبره بپرسند و در نهایت با استفاده از برخی از روش‌های ریاضی، تابع درجه عضویت فازی را ایجاد نمایند.

در این مقاله با توجه به اینکه افراد خبره، رانندگان هستند و آنها آشنایی با مباحث فازی ندارند لذا از روش‌های غیرمستقیم برای ساخت تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر استفاده می‌شود. در ادامه به دو طریق، تابع درجه عضویت فازی آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر را ایجاد کرده که در زیر هر یک از دو روش تشریح می‌شود.

۳-۲- روش چند نقطه‌ای

در این قسمت از روش غیرمستقیم با چندین خبره برای ساخت تابع درجه عضویت بهره برده به طوری که هر یک از خبرگان میزان درجه عضویت تعدادی از عضوهای مجموعه را مشخص کرده، سپس میزان درجه عضویت $A(t)$ آن عضو t، در مجموعه فازی بر اساس داده‌های خبرگان به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$A(t) = \sum_{i=1}^{n} c_i . a_i(t) \quad (۳)$$

به طوری که:

$$\sum_{i=1}^{n} c_i = 1 \quad (۴)$$

که در آن n تعداد خبره‌ها، i اندیس خبره، a_i میزان درجه عضویت بیان شده توسط خبره iام و c_i ضریب شایستگی نسبی هر خبره است.

با توجه به اینکه در این مقاله، نظر تمامی افراد خبره از اهمیت یکسانی نسبت به هم برخوردار است؛ لذا رابطه ۳ به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$A(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i(t)}{n} \quad (۵)$$

حال در این مرحله، بهترین تابع درجه عضویت بر داده‌های نمونه آماری برآیند نظرات خبرها برازش می‌گردد. بدین منظور عموما از برازش منحنی [۱۸] استفاده می‌شود. در این مطالعه از روش مینیمم مربعات خطا برای برازش منحنی استفاده می‌شود. فرض کنید که با استفاده از روش مینیمم مربعات خطا، تابع $f(t;\alpha.,\beta.)$ از برازش داده‌های نمونه آماری بدست آید. آنگاه تابع درجه عضویت فازی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$A(t) = \begin{cases} 1 & t < t_{cr} \\ \max[0, \min(1, f(t;\alpha.,\beta.))] & t > t_{cr} \end{cases} \quad (۶)$$

که در آن t اعضای مجموعه فازی و t_{cr} میزان آستانه بحرانی هستند.

لازم به ذکر است که در این روش باید نوع تابع قبل از برازش براساس عقیده خبره تعیین شود و سپس بهترین منحنی، بر داده‌های آماری برازش شود. در این مقاله فرض شده که تغییرات تابع درجه عضویت بر حسب اختلاف زمان سفرهای پیش‌بینی شده و تجربه‌شده به صورت خطی است. لذا تابع درجه عضویت فازی آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر، خطی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳- روش دو نقطه‌ای

در این روش از هر خبره خواسته می‌شود که مقدار آستانه بحرانی و آستانه باطل نمودن را تعیین و سپس میانگین آستانه‌های بحرانی و باطل حاصل از نتایج افراد خبره را بدست آورده و در مرحله بعد با فرض مثلثی بودن تابع درجه عضویت، تابع درجه عضویت فازی آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر ایجاد می‌شود.

۴- نتایج عددی

برای ساخت تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر، از ۵۵ نفر از دانشجویان مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت استفاده شده به طوری که به هر یک از افراد یک پرسشنامه داده شده است. ۴۶ نفر از شرکت‌کنندگان در این آزمایش به طور کامل به سوالات پاسخ داده اند و ۹ عدد از پرسشنامه‌ها به درستی پاسخ داده نشده بود. بنابراین پاسخ‌های این افراد در نتایج نهایی در نظر گرفته نشده است.

در پرسش‌نامه با طرح چندین سوال، افراد به هفت گروه رفتاری از پیش تعیین شده تقسیم بندی شده‌اند که به ترتیب عبارتند از: گروه ۱: خیلی بدبین، گروه ۲: بدبین، گروه ۳: کمی

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال هجدهم / تابستان ۱۳۹۷ / شماره ۷۳

جدول ۱: میزان وزن دهی به هر یک از گزینه‌های انتخاب در روش چند نقطه ای

عالی	خیلی خوب	خوب	کمی خوب	متوسط	کمی بد	بد	خیلی بد	خیلی خیلی بد
۱	۰،۸۷۵	۰،۷۵	۰،۶۲۵	۰،۵	۰،۳۷۵	۰،۲۵	۰،۱۲۵	۰

جدول ۲: آستانه‌های بحرانی و باطل نمودن بر حسب دقیقه

زمان سفر پیش بینی شده	روش چند نقطه ای		روش دو نقطه ای		گروه‌های رفتاری	زمان سفر پیش بینی شده	روش چند نقطه ای		روش دو نقطه ای		گروه‌های رفتاری
	آستانه باطل نمودن	آستانه بحرانی	آستانه باطل نمودن	آستانه بحرانی			آستانه باطل نمودن	آستانه بحرانی	آستانه باطل نمودن	آستانه بحرانی	
زمان سفر پیش بینی شده ۳۰ دقیقه است	۲۹	۰	۲۰	۳،۸	۲	زمان سفر پیش بینی شده ۱۰ دقیقه است	۲۶،۸	۰	۱۴،۱	۳	۲
	۳۱	۰،۶	۲۲	۵،۷	۳		۲۸،۴	۰	۱۶،۶	۳،۳	۳
	۳۲،۵	۱،۳	۲۶،۲۵	۸،۱	۴		۲۹	۰	۱۹	۳،۲	۴
	۳۲،۱	۱،۶	۳۵	۸،۳	۵		۳۲	۰	۲۴،۴	۳،۳	۵
	۳۰،۶	۰	۳۶،۶	۱۰	۷		۳۱	۰	۲۶	۵	۷
زمان سفر پیش بینی شده ۴۰ دقیقه است	۳۷	۰	۲۴،۱	۵،۵	۲	زمان سفر پیش بینی شده ۱۵ دقیقه است	۲۷،۷	۰	۱۵،۸	۲،۶	۲
	۴۱،۱	۰	۲۶	۶،۸	۳		۳۰،۶	۰	۱۹	۴	۳
	۴۳،۱	۰	۳۰،۶	۹،۳	۴		۳۱،۲	۰	۲۲،۳	۴،۲۵	۴
	۴۱،۲	۰	۳۳،۴	۹،۳	۵		۲۹،۵	۰	۲۶،۶	۴،۳	۵
	۴۴،۳	۰	۴۸،۳	۱۳،۳	۷		۳۰،۸	۰	۲۸،۳	۵	۷
زمان سفر پیش بینی شده ۵۰ دقیقه است	۳۹،۲	۰	۲۵،۸	۶،۳	۲	زمان سفر پیش بینی شده ۲۰ دقیقه است	۲۹	۰	۱۹،۱	۵،۳	۲
	۴۴،۶	۰	۲۷،۸	۷،۷	۳		۳۱،۶	۰	۲۱	۵،۵	۳
	۴۷،۱	۱،۷	۳۳،۵	۹،۷	۴		۳۱،۱	۰	۲۴،۲۵	۶،۵	۴
	۴۴،۲	۰	۳۵	۱۰	۵		۳۱،۵	۰	۲۷،۳	۷،۳	۵
	۴۷،۴	۰	۶۰	۱۳،۳	۷		۳۱	۰	۳۱،۶	۸،۳	۷
						زمان سفر پیش بینی شده ۲۵ دقیقه است	۲۸،۶	۰	۱۸،۳	۵،۳	۲
							۳۱،۸	۰،۵	۲۱،۲	۵،۴	۳
							۳۲،۱	۰	۲۵	۵،۸	۴
							۳۵،۵	۰،۲	۲۸،۳	۶،۶	۵
							۳۳،۷	۰	۳۳،۳	۱۰	۷

بدبین، گروه ۴: نه خوشبین و نه بدبین، گروه ۵: کمی خوشبین، گروه ۶: خوشبین و گروه ۷: خیلی خوشبین. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که هیچ یک از افراد در گروه‌های رفتاری ۱ و ۶ قرار نگرفتند و اکثر افراد پاسخ‌دهنده متعلق به گروه‌های رفتاری ۳ و ۴ هستند.

در پرسش‌نامه مذکور، یک مسیر به ترتیب با حداقل و حداکثر زمان ۱۰ و ۶۰ دقیقه، فرض شده است. سپس از شرکت کنندگان خواسته شده که میزان آستانه‌های بحرانی و باطل نمودن را برای ۷ زمان سفر پیش‌بینی شده ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰، و ۵۰ دقیقه بیان نمایندکه از این داده‌ها برای ساخت تابع درجه عضویت به روش دو نقطه‌ای استفاده می‌شود. همچنین برای هر یک از زمان سفرهای پیش‌بینی‌شده قبلی، درجه عضویت چندین اختلاف زمان سفر بین زمان سفر تجربه‌شده و پیش‌بینی‌شده (اعضای مجموعه فازی تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر) مورد سوال قرار گرفت. برای این منظور، از افراد خواسته شده که احساس خود را نسبت به پیش‌بینی خود بیان کرده به طوری که به هر یک از افراد گفته شده که فرض کنند زمان سفر پیش‌بینی شده آن‌ها برای مسیر مزبور، هر یک از اعداد هفت‌گانه بالا باشد و سپس از آن افراد خواسته شده که احساس خودشان را نسبت به پیش‌بینی خود برای تعدادی از زمان سفرهای تجربه شده در قالب یکی از گزینه‌های عالی، خیلی خوب، خوب، کمی خوب، متوسط، کمی بد، بد، خیلی بد و خیلی خیلی بد بیان کنند. با توجه به این‌که پاسخ‌های مرحله قبل مقادیر زبانی[1] بودند لذا به هر یک از این مقادیر زبانی، وزنی نرمال‌شده اختصاص داده شده است (جدول ۱). حال با داشتن مقادیر درجه عضویت چندین عضو از اعضای مجموعه فازی زمان‌های پیش‌بینی شده می‌توان با روش چند نقطه‌ای و یا دو نقطه‌ای، تابع درجه عضویت رضایت از پیش‌بینی زمان سفر را ایجاد نمود.

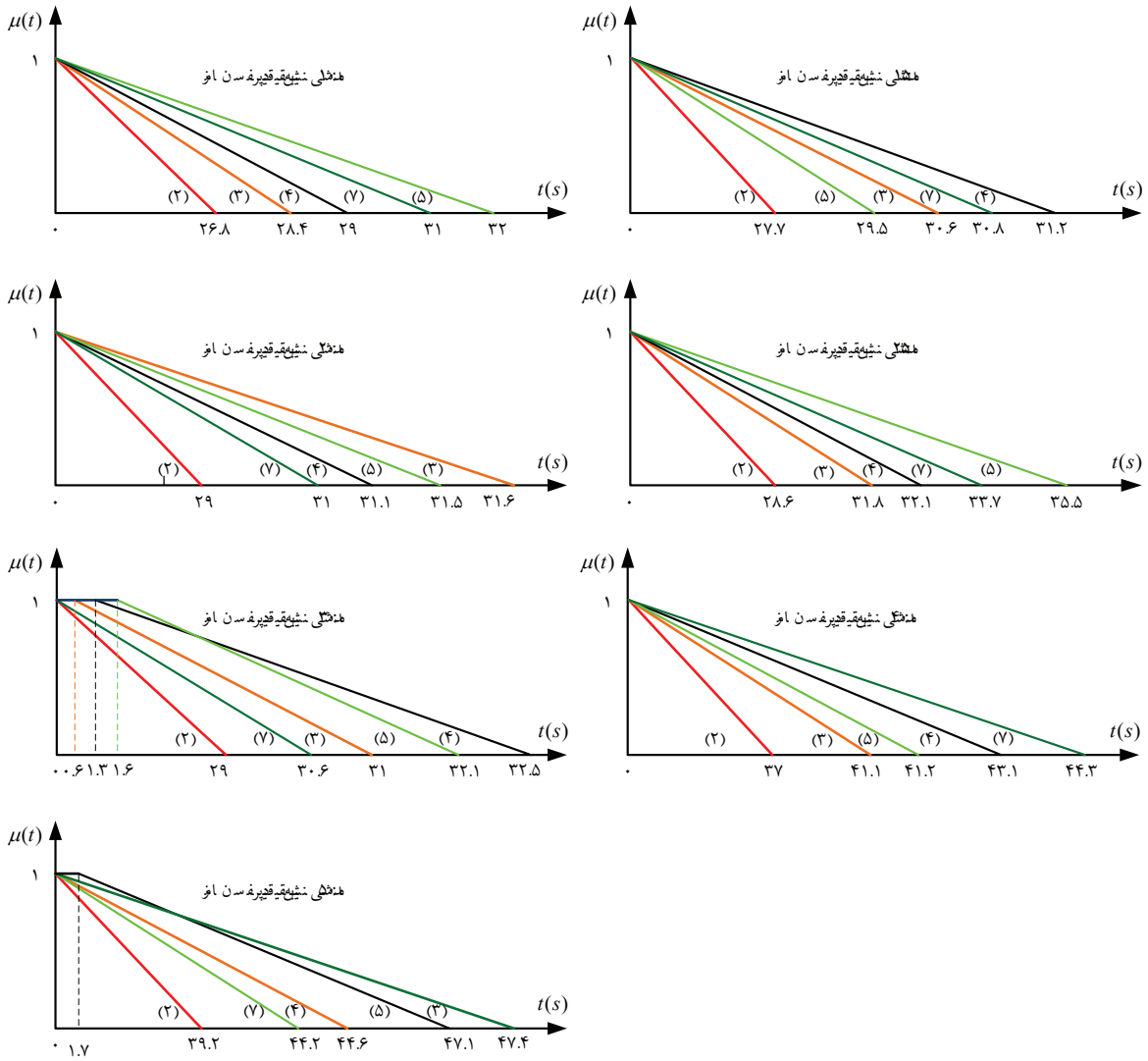
جدول ۲، نتایج حاصل از تحلیل پرسشنامه‌ها را نشان می‌دهد. این جدول، آستانه‌های بحرانی و باطل نمودن تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر را برای زمان سفرهای پیش بینی شده هفت گانه در گروه‌های مختلف رفتاری بیان می‌کند.

بر اساس جدول ۲، می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل از روش دو نقطه‌ای نسبت به روش چند نقطه‌ای برای تعیین آستانه فازی رضایت از پیش‌بینی زمان سفر در گروه‌های مختلف رفتاری با واقعیت تطابق بیشتری دارد به طوری که توابع درجه عضویت فازی آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر حاصل از روش دو نقطه‌ای، رفتار گروه‌های مختلف رفتاری را بهتر نشان می دهند زیرا طبق توضیحات بخش ۲-۱، با افزایش خوش‌بینی، میزان آستانه‌های بحرانی و باطل نمودن افراد افزایش می‌یابد که این روند در نتایج حاصل از روش چند نقطه‌ای کمتر دیده می‌شود. برای مثال در روش دو نقطه‌ای برای زمان سفر پیش‌بینی شده ۲۰ دقیقه، میزان آستانه باطل نمودن با افزایش میزان خوش‌بینی، افزایش می‌یابد در حالی‌که در روش چند نقطه‌ای، میزان آستانه باطل نمودن با افزایش میزان خوش‌بینی، به طور منظم افزایش نمی‌یابد. مثلا طبق نتایج روش چند نقطه‌ای، میزان آستانه باطل نمودن افراد گروه رفتاری کمی بدبین (گروه ۳) برای زمان سفر پیش‌بینی ۲۰ دقیقه، بیشتر از میزان آستانه باطل نمودن یک فرد خیلی خوش‌بین (گروه ۷) است که این نتایج با تعریف توصیفی از افراد بدبین تا خوش‌بین هم خوانی ندارند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که روش دو نقطه‌ای کارایی بیشتری در تعیین آستانه فازی پیش‌بینی زمان سفر دارد.

شکل ۲، تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر با روش چند نقطه‌ای و شکل ۳، تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر با روش دو نقطه‌ای برای زمان سفرهای پیش‌بینی شده هفت‌گانه در گروه‌های مختلف رفتاری را نشان می دهد که در آن محور افقی بیانگر اختلاف بین زمان سفر پیش‌بینی شده و تجربه شده بر حسب دقیقه و محور عمودی آن میزان درجه عضویت را نشان می‌دهد.

طبق شکل ۲ و ۳، میزان آستانه‌های بحرانی و باطل نمودن با افزایش میزان بدبینی کاهش می‌یابد، لذا خطا در پیش‌بینی زمان سفر در افراد بدبین‌تر تاثیر منفی بیشتری دارد، بنابراین احتمال تغییر مسیر با افزایش میزان بدبینی افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۲) مشخص است، نمودارهای رسم شده از طریق روش چند نقطه‌ای با ماهیت رفتاری افراد خوش‌بین و بدبین هم خوانی نداشته و خطای قابل توجهی در این نمودارها وجود دارد. یعنی آستانه رضایت از افراد خوش‌بین لزوماً بزرگتر از آستانه رضایت افراد بدبین نیست. یکی از دلایل وجود این خطا، تعداد زیاد سوال‌های مطرح شده در این روش و درنتیجه خستگی و خطای انسانی زیاد در پاسخ‌گویی به سوالات است.

1 linguistic values



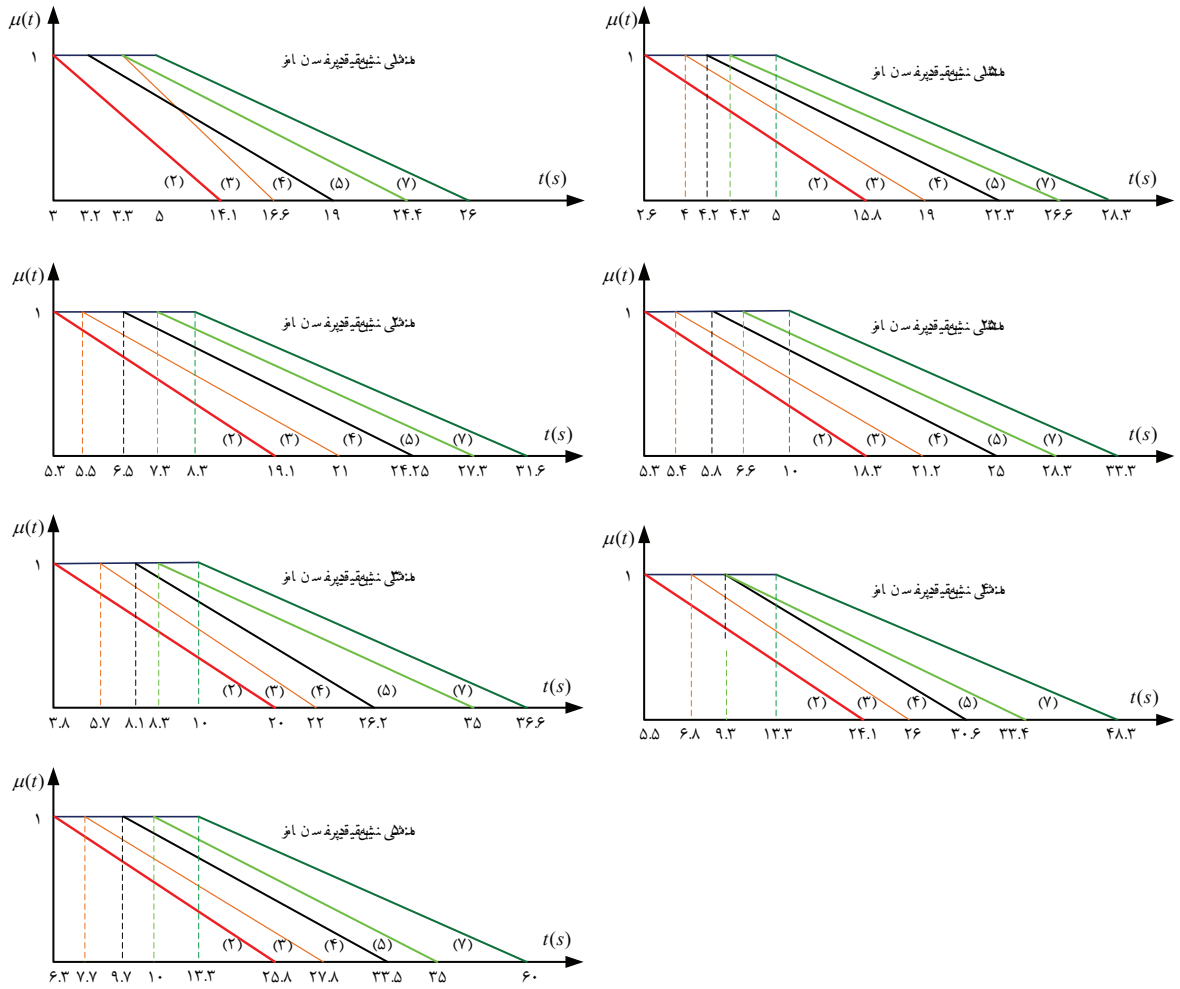
شکل ۲: تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر با روش چند نقطه ای

این در حالی است که در روش دو نقطه‌ای، که در ادامه نتایج آن آمده است (شکل (۳))، دقت بسیار قابل قبولی وجود داشته و نمودارهای ترسیم شده با تعریف توصیفی از افراد بدبین تا خوش‌بین هم خوانی دارند. یعنی به طور کلی افراد بدبین‌تر ایجاب می‌کنند که آستانه رضایت کوچک‌تری داشته باشند و این موضوع به خوبی در نمودارهای روش دو نقطه‌ای (شکل (۳)) مشخص است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر یکی از عوامل موثر در انتخاب مسیر است که در این مقاله ضمن تبیین این مفهوم، با بکارگیری پرسشگری (از طریق طراحی پرسش‌نامه) از افراد خبره در ماهیت فازی به بررسی نقش آن در انتخاب مسیر پرداخته شده است. آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر ماهیتی فازی دارد که تابع درجه عضویت آن برای هفت زمان سفر پیش بینی شده با دو روش چند نقطه ای و دو نقطه ای تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که توابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر به روش دونقطه ای، تطابق بیشتری با دنیای واقعی دارد و روش دو نقطه ای کارایی بیشتری در تعیین آستانه فازی پیش بینی زمان سفردارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که خصوصیات رفتاری (همانند میزان خوش‌بینی افراد) در میزان آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر تاثیر می‌گذارد؛ به طوریکه، آستانه رضایت افراد خوش‌بین اغلب بزرگتر از آستانه رضایت افراد بدبین است.

با توجه به نقش آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر در انتخاب مسیر و فازی بودن این آستانه، برای پژوهش‌های آتی



شکل ۳: تابع درجه عضویت آستانه رضایت از پیش بینی زمان سفر با روش دو نقطه ای

پیشنهاد می‌شود که مدل انتخاب مسیری مبتنی بر استنتاج فازی ارائه شود که در آن، آستانه رضایت از پیش‌بینی زمان سفر یکی از عوامل موثر بر انتخاب مسیر مسافر باشد. همچنین، بررسی میزان تاثیرگذاری این آستانه بر نحوه انتخاب مسیر مسافران نیز می‌تواند به عنوان یک افق پژوهشی شایان توجه تلقی شود.

۶– منابع

1. Lam, T., Route and scheduling choice under travel time uncertainty. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2000. 1725(-1): p. 71-78.

2. De Palma, A. and N. Picard, Route choice decision under travel time uncertainty. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2005. 39(4): p. 295-324.

3. Liu, H.X., W. Recker, and A. Chen, Uncovering the contribution of travel time reliability to dynamic route choice using real-time loop data. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2004. 38(6): p. 435-453.

4. Dhakar, N. and S. Srinivasan, Route Choice Modeling Using GPS-Based Travel Surveys. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2014. 2413: p. 65-73.

5. Fosgerau, M., E. Frejinger, and A. Karlstrom, A link based network route choice model with unrestricted choice set. Transportation Research Part B: Methodological, 2013. 56: p. 70-80.

6. Mai, T., M. Fosgerau, and E. Frejinger, A nested recursive logit model for route choice analysis. Transportation Research Part B: Methodological, 2015. 75: p. 100-112.

Civil Engineering, 1993. 8(1): p. 75-82.

13. Civanlar, M.R. and H.J. Trussell, Constructing membership functions using statistical data. Fuzzy Sets and Systems, 1986. 18(1): p. 1-13.

14. Homaifar, A. and E. McCormick, Simultaneous design of membership functions and rule sets for fuzzy controllers using genetic algorithms. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1995. 3(2): p. 129-139.

15. Bai, A., Determining fuzzy membership functions with tabu search--an application to control. Fuzzy Sets and Systems, 2003. 139(1): p. 209-225.

16. Wang, S., Generating fuzzy membership functions: a monotonic neural network model. Fuzzy Sets and Systems, 1994. 61(1): p. 71-81.

17. Wang, L. and J. Mendel, Generating fuzzy rules by learning from examples. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, 1992. 22(6): p. 1414-1427.

18. Klir, G. and B. Yuan, Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. 1995: Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.

7. Gärling, T., M. Kwan, and R. Golledge, Computational-process modelling of household activity scheduling. Transportation Research Part B: Methodological, 1994. 28(5): p. 355-364.

8. Teodorovic, D. and S. Kikuchi, Transportation route choice model using fuzzy inference technique. Proceedings of ISUMA, 1990. 90: p. 140-145.

9. Lotan, T. and H. Koutsopoulos, Route choice in the presence of information using concepts from fuzzy control and approximate reasoning. Transportation Planning and Technology, 1993. 17(2): p. 113-126.

10. Arslan, T. and J. Khisty, A rational approach to handling fuzzy perceptions in route choice. European Journal of Operational Research, 2006. 168(2): p. 571-583.

11. Iida, Y., T. Akiyama, and T. Uchida, Experimental analysis of dynamic route choice behavior. Transportation Research Part B: Methodological, 1992. 26(1): p. 17-32.

12. Pham, T.D. and S. Valliappan, Constructing the Membership Function of a Fuzzy Set with Objective and Subjective Information. Microcomputers in

Fuzzy Satisfaction Threshold of Route Travel Time Prediction

Mojtaba Rajabi-Bahaabadi[1], Navid Khademi[2, 3], Milad Mehdeizadeh[1]

1- Ph.D. Candidate of Transportation Engineering, School of Civil Engineering,
2- Assistant professor, Department of Highway and Transportation Engineering,
3- THEMA - Université de Cergy-Pontoise, 33, boulevard du Port, 95011 Cergy-Pontoise Cedex, France

Abstract

During last decades, many studies have been performed on the subject of route choice modeling. As a result, many models have been proposed from different realms of science like econometrics, economy, business and management, and mathematics. But a few models have considered the mechanism of route choice decision-making as a descriptive model considering the behavioral and psychological factors in traveler's mode and route choice. That is, most of the proposed models are econometric ones working based on the utility theory. In this paper, we deal with route choice behavioral models and their importance in transportation network analysis, then we introduce "satisfaction threshold of travel time prediction" as key factor in route choice affecting considerably the trip making behavior. This threshold, which is a fuzzy unsymmetrical triangular number, is determined in this paper using two different approaches which are i) two point membership function construction and ii) multi point method. Finally, the degree of match between the real world experiment and the results derived by our methods are reported.

Key words: Route choice, satisfaction threshold, fuzzy set theory