« فراسوی مدیریت»
سال پنجم _ شماره 17 _ تابستان
1390
ص ص32 7

مدل‌سازی فرایند پیش بینی سفر در برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری مبتنی بر رویکرد ترکیبی استنتاج فازی

دکتر جواد جاسبی[1]
پیام مکوندی[2]

چکیده

برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری در دوره‌های اخیر همواره یکی از تصمیمات مهم در حوزه برنامه‌ریزی شهری در کلان شهرها بوده است. در این بین، پیش بینی حجم سفرهای آتی بین دو منطقه کلان شهر، کلید موفقیت در این امر برنامه‌ریزی صحیح حمل و نقل به شمار می رود. به دلیل اهمیت برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری، مدل‌های مختلفی توسط محققین در این زمینه توسعه داده شده که بعضی از این مدل‌ها علیرغم قدمت زیاد، همچنان در حوزه‌های عملیاتی به کار گرفته می شوند. مساله اساسی در توسعه این مدل‌ها، پیچیدگی مساله است که از ماهیت رفتار انسانی در انتخاب ناشی می شود. این پیچیدگی سبب می شود تا همواره توسعه مدلی که خطای پیش بینی قابل قبولی داشته باشد، با مشکلات فراوان محاسباتی و عملیاتی روبرو باشد. این مساله در کشورهای در حال توسعه و یا توسعه نیافته که در آن‌ها داده‌های تاریخی به شکل مناسب در اختیار نیستند و ظرفیت‌های محاسباتی رایانه‌ای نیز به طور کامل در دسترس نمی باشد، از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار است. در این پژوهش، یک مدل سه مرحله‌ای فازی برای مدل سازی فرایند سفر بین دو ناحیه مفروض از یک کلان شهر و در نهایت چارچوبی برای پیش بینی آتی این کمیت پیشنهاد شده است تا بر اساس آن بتوان برای نگاشت بین حجم سفرهای انجام شده بین دو ناحیه به عنوان متغیر خروجی و متغیرهای جمعیت شناختی و اجتماعی به عنوان متغیر ورودی، تابعی را تقریب زد که بتواند فرایند انجام سفر را مدل کند. در این مدل، پایگاه قواعد فازی در حقیقت در پی‌انتقال الگوی ذهنی متخصصین حمل و نقل به مدل ریاضی تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری، سیستم استنتاج فازی، پیش بینی سفر

---

[1] دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

[2] دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

www.SID.ir
Archive of SID

مقدمه

برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری یکی از مسائل اساس کشورهای توسعه یافته و حتی در حال توسعه محسوب می شود. اهمیت این برنامه‌ریزی از آنجایی ناشی می شود که این مساله با سه عامل اساسی، هزینه، زمان و امنیت شهروندان سر و کار دارد. از سوی دیگر اهمیت این مساله برای دولت‌ها می تواند این باشد که برنامه‌ریزی حمل و نقل با میزان رضایت‌مندی شهروندان رابطه مستقیم دارد و به این سبب است که دولت‌ها در پی آن هستند تا این برنامه‌ریزی را به بهترین شکل ممکن به انجام برسانند. فعالیت‌های مربوط به برنامه‌ریزی حمل و نقل عموما بر پیش بینی‌ها بنا می شود. این فرایند معمولا به این ترتیب است که شهر مورد نظر را به نواحی مختلف تقسیم نموده و برنامه‌ریزان سعی می کنند با بررسی الگوهای تبادل سفر بین این نواحی، حجم سفرهای آینده بین دو ناحیه مشخص از شهر را پیش بینی کنند (مثلا برای 15 سال آینده). بر اساس همین پیش بینی حجم سفرها، زیرساخت‌های حمل و نقل لازم بین دو ناحیه مانند، خطوط مترو، بزرگراه‌ها و تونل‌ها، برنامه‌ریزی، طراحی و اجرا می شوند به ترتیبی که بتوانند در بهترین شرایط پاسخ‌گوی نیازهای ترافیکی شهروندان باشند. در حقیقت یک سفر را می توان به ترتیب زیر تعریف نمود:

"جا به جایی از مبدا i به مقصد j با وسیله m و از طریق مسیر r"

در این بین، یکی از مهم‌ترین بخش‌های رویه پیش بینی، پیش بینی جریان سفر بین دو منطقه مفروض از شهر مورد نظر برای برنامه‌ریزی حمل و نقل است. در طول سالیان گذشته، مدل‌های مختلفی برای پیش بینی سفر توسعه داده شده و مورد استفاده قرار می گیرد. نکته اساسی در موفقیت چنین مدل‌هایی، تشخیص درست الگوهای جریان سفر در زمان حال است. پرواضح است که که هر چه خطای مدل پیش بینی کمتر باشد، آن مدل برای برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری مناسب‌تر خواهد بود، لیکن به دلیل ماهیت پیچیده مسائل مربوط به برنامه‌ریزی حمل و نقل

www.SID.ir

که عموما با رفتار انسانی و انتخاب‌های فردی ارتباط دارد، همواره یافتن یک راه حل بهینه می تواند با مشکلات عدیده‌ای همراه باشد.

مدل کلاسیک چهار مرحله‌ای برنامه‌ریزی حمل و نقل یکی از مدل‌هایی است که از زمان توسعه آن در حدود 50 سال پیش از اقبال خوبی در استفاده برخوردار بوده است. این مدل شامل چهار مرحله اصلی است: مرحله تولید سفر، مرحله توزیع سفر، مرحله انتخاب وسیله نقلیه و در نهایت مرحله انتخاب مسیر (اورتوزار و ویلامسنو[1]، 2001: 362). مدل چهار مرحله‌ای بر مبنای توابعی بنیان شده که سعی دارند تعداد سفرهای بین دو منطقه دلخواه از شهر را تخمین بزنند. این تخمین از هر مرحله به مرحله بعد منتقل شده و در حقیقت تقویت می شود. انتقال تخمین از هر مرحله به مرحله بعد سبب می شود تا در نهایت نتیجه نهایی پیش بینی با مقادیر واقعی مطابقت نداشته باشد. انحراف از میزان واقعی جریان سفرها در هر مرحله نسبت به مرحله قبل بیشتر شود. اگر چه هر مرحله از این مدل برای برنامه‌ریزان حمل و نقل دارای اهمیت است اما زمان‌بندی سفر و تصمیات مربوط به انتخاب وسیله نقلیه از مهم‌ترین بخش‌های این مدل برای برنامه‌ریزان به شمار می رود. این دو تصمیم به همراه مسیری که توسط مسافر برای انجام سفر درون شهری انتخاب می شود، به طور مستقیم جریان سفر از طریق زیر ساخت حمل و نقل مورد نظر در یک محیط شهری را شکل می دهد (سوسیلو و کیتامارو[2]، 2007: 95 115). قابلیت اطمینان نتایج پیش بینی، نتایج مراحل بعدی مدل پیش بینی مانند توزیع سفر، انتخاب وسیله نقلیه و انتخاب مسیر را تحت تاثیر قرار می دهد. بنابراین واضح است که بهبود مدل‌های مربوط به پیش بینی جریان سفر در حوزه تولید و جذب آن می تواند کل فرایند برنامه‌ریزی سفر را بهبود

[1]- Ortuzar and Willumsen
[2]- Susilo and Kitamura

www.SID.ir

ببخشد (گولوب اف. تی[1]، 2000: 355 376). مدل‌های توزیع سفر به طور کلی به دو دسته کلی تقسیم می شوند که عبارتند از مدل‌های گسسته و مدل‌های پیوسته. مدل‌های گسسته به دنبال آن هستند تا رفتار افراد در انتخاب مبادی و مقاصد سفرها را توجیه نمایند. از طرف دیگر مدل‌های پیوسته کل تعداد جریان سفرهای انجام شده بین مناطق شهر را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهند. اگرچه مدل‌های گسسته در سطح تصمیمات فردی عمل می کنند اما حتی توسعه‌دهندگان این مدل های نیز بر این موضوع اذعان دارند که داده‌های لازم برای کالیبره کردن مدل‌های این حوزه بسیار کم می باشد (رویتر و بن آکیوا[2]، 1978: 121 128). اگر چه در حوزه مدل‌سازی پیوسته، مدل‌های مختلفی هم‌چون مدل‌های عامل رشد[3]، مدل فراتر[4]، مدل‌های فرصت‌های مداخله‌ای[5]، مدل مرکز ثقل[6] و حتی رگرسیون[7] توسعه داده شده‌اند، اما در طول سالیان گذشته مدل مرکز ثقل علیرغم تمامی کاستی‌های آن، نسبت به سایر مدل‌ها محبوب‌تر بوده است (مورات، اچ، سلیک[8]، 2010: 183 190).

تجزیه و تحلیل عوامل مربوط به رفتار مسافر و انتخاب مقصد نشان می دهد که جذابیت ناحیه ترافیکی مقصد به طرز قابل ملاحظه‌ای مقادیر تولید سفر را تحت تاثیر قرار می دهد (یائو لیا و همکاران[9]، 2008: 632). مطالعات مختلفی در این زمینه تاثیر متغیرهای اجتماعی و اطلاعات خصوصی افراد را بر مقادیر تولید سفر مورد توجه قرار داده و نتایج آنها از همبستگی مثبت این عوامل دلالت می نماید

1- Golob F. T
2- Ruiter and Ben-Akiva
3- Growth Factor Models
4- Frater Model
5- Intervening Opportunities Models
6- Gravity Model
7- Regression
8- Murat. H. Celik
9- YAO Liya et al

www.SID.ir

(اسمیلر جی و هوئل ال ایو[1]، 2006: 94 118). اما هیچ‌کدام از محققان این حوزه عملیات نگاشت متغیرهای مربوط به تولید سفر و متغیر مربوط به جذب سفر مربوط به دو مبدا و مقصد مفروض به کل تعداد سفرهای انجام شده بین این دو ناحیه مفروض را به انجام نرسانده‌اند. با توجه با ماهیت تصادفی جریان های ترافیکی از منظر الگوسازی ریاضی و ویژگی‌های قویا غیرخطی دینامیزم‌های ترافیکی، روش‌های محاسبات نرم در طول دهه 90 میلادی به عنوان جایگزینی برای مدل‌های سنتی آماری مورد توجه قرار گرفته‌اند (سلیک اوغلو و سیگیز اوغلو[2]، 2007: 71 79). در میان این مدل‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی[3] در حوزه‌های مختلفی از مدل‌سازی‌های حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته‌اند و از اقبال بیشتری (از نظر کمیت استفاده) نسبت به دیگر مدل‌های محاسبات نرم برخوردار بوده اند (دوقرتی[4]، 1995: 247 260). که از آن جمله می توان به مطالعات مربوط به پیش بینی حجم ترافیک (یون و همکاران[5]، 2001: 293 310)، پیش بینی حجم ترافیک در کوتاه مدت (چن و مولر[6]، 2001: 319 336) و (مسای و همکاران[7]، 2002: 401 409) و مدل‌سازی ماکروسکوپی ترافیک بزرگراه‌ها (ژانگ و همکاران[8]، 1997: 110 119) اشاره نمود.

منطق فازی[9] در حمل و نقل

منطق فازی در حقیقت ابزاری موثر برای مواجه با مسائلی است که در آن‌ها با پدیده ابهام و نادقیقی روبرو هستیم. مفاهیم مربوط به منطق فازی به ما امکان

1- Smiller J and Hoel L A
2- Celikoglu and Cigizoglu
3- Artificial Neural Networks (ANN)
4- Dougherty
5- Yun et al
6- Chen and Muller
7- Messai et al
8- Zhang et al
9 -Fuzzy Logic

www.SID.ir

می دهد تا متغیرها زبانی را به محاسبات ریاضی وارد نموده و فاصله بین صفر و یک به عنوان نماینده عدم‌حضور یا حضور در مجموعه‌ای مفروض را پر نماییم. توابع عضویت فازی، وظیفه تبدیل متغیرهای زبانی به مقادیر ریاضی و اعداد را به عهده می گیرند. در طول سالیان گذشته منطق فازی کاربردهای فراوانی در علوم مدیریت پیدا کرده است. اگرچه به نظر می آید کاربردهای مربوط به منطق فازی در این علوم جدید باشد اما در حقیقت مفاهیم مربوط به عدم قطعیت در تئوری احتمالات برای اولین بار در سال 1937 و توسط ماکس بلاک[1] بیان شده و بعدها در سال 1965 توسط لطفی زاده[2] در قالب مجموعه های فازی قوام یافت. کارهای کارهای لطفی زاده تاثیر شگرفی بر درک بشر از عدم قطعیت داشته چرا که نه تنها تئوری احتمالات را به چالش کشیده بلکه منطق دو ارزشی (باینری) را نیز مورد هدف قرار داده است (راس[3]، 2004: 202).

اگر چه نمی توان اهمیت منطق دو ارزشی را به عنوان پایه بسیاری از علوم و فناوری‌های گذشته و حال که باعث پیشرفت جوامع بشری شده را زیر سوال برد اما باید به این نکته نیز توجه داشت که چنین منطقی نمی تواند به طور کامل ابهام، عدم‌قطعیت و نادقیقی موجود در رفتار مسافران و رانندگان را توجیه نماید و بر همین اساس به نظر می آید استفاده از منطقی چون منطق فازی که این عدم قطعیت را مورد توجه قرار داده بیشتر بتواند در مدل‌سازی سیستم‌های حمل و نقل با موفقیت همراه باشد (تئودورویچ[4]، 1999: 337 364).

یک سیستم فازی در حقیقت یک سیستم غیرخطی است که یک بردار ورودی غیرخطی را به یک خروجی اسکالر غیرفازی تبدیل می نماید. در بسیاری از مسائل مربوط به حوزه حمل و نقل نیز هدف محقق از مدل‌سازی دقیقا همین

[1]- Max Black
[2]- Lotfi Zadeh
[3]- Ross
[4]- Teodorovic

www.SID.ir

است. تجربه‌های پیشین نشان می‌دهد که سیستم‌های فازی می‌توانند در محیط‌هایی که افراد در فضایی پیچیده تصمیم‌گیری می‌کنند و توسعه مدل‌های ریاضی در این حوزه‌ها با مشکل مواجه است، با موفقیت مورد استفاده قرار بگیرند. مسائل مربوز به ترافیک و حمل و نقل هم از این دسته مسائل هستند (تئودورورویچ، 1999: 337 364). تئوری مجموعه‌های فازی سابقه موفقیت‌آمیزی در حل مسائل حمل و نقل داشته‌اند که از آن جمله می‌توان به کارهای انجام شده توسط لوتان و کوتسوپولوس[1] (1993: 113 126)، ژو و چان[2] (1993: 127 144)، چن و همکاران[3] (1990: 15 25)، تئودورورویچ و بابیک[4] (1993: 165 178)، چانگ و شیو[5] (1993: 191 202)، چاناس و همکاران[6] (1993: 203 218)، دب[7] (1993: 262 268)، ناندا و کیکوچی[8] (1993: 104 111)، ووکادینوویچ و تئودورورویچ[9] (1994: 155 164)، تئودورورویچ و همکاران[10] (1994: 155 164)، تئودورورویچ و کالیک[11] (1995: 109 119) و میلوساولویچ و همکاران[12] (1996: 33 47)، اشاره نمود که همگی نمونه‌های موفقیت‌آمیز به کارگیری تئوری مجموعه‌های فازی در حوزه مربوط به برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک هستند.

در این کار پژوهشی محققان سعی نموده‌اند تا چارچوبی ارائه نمایند تا بر اساس آن بتوان الگوی ذهنی متخصصین حوزه حمل و نقل را مبتنی بر وضعیت

1- Lotan and Koutsopoulos
2- Xu and Chan
3- Chen et al
4- Teodorovic and Babic
5- Chang and Shyu
6- Chanas et al
7- Deb
8- Nanda and Kikuchi
9- Vukadinovic and Teodorovic
10- Teodorovic et al.
11- Teodorovic and Kalic
12- Milosavljevic et al.

www.SID.ir

متغیرهای مربوط به تولید و جذب سفر یک جفت مبدا- مقصد دلخواه از ناحیه مورد مطالعه برای برنامه‌ریزی حمل و نقل را به یک مدل ریاضی منتقل نمود تا بر اساس آن بتوان علاوه بر مدل‌سازی الگوهای جاری جریان سفر، نسبت به پیش بینی موفقیت‌آمیز الگوهای آتی اقدام نمود.

تبیین و تعریف مساله

هدف نهایی هر روش برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری این است که بتواند تعداد سفرهای آتی بین دو ناحیه مفروض از یک شهر را پیش بینی نماید. بر اساس تعداد سفرهای پیش بینی شده بین دو ناحیه است که می توان در مورد ساخت زیرساخت‌های حمل و نقل درون شهری هم‌چون پل‌ها، بزرگراه‌ها، تونل‌ها و متروها، تصمیم گیری نمود تا بتوان در سطح سرویس[1] مشخص پاسخ گوی نیازهای جاری و آتی شهروندان در حوزه حمل و نقل بود. چنین مساله‌ای از نظر ریاضی می تواند در دسته مسائل تقریب تابع[2] که در آن‌ها به دنبال نگاشت فضای ورودی به فضای خروجی هستیم، جای بگیرد. در این مساله می توان فضای ورودی و فضای خروجی را به ترتیب زیر تعریف نمود:

فضای ورودی: عبارت است از متغیرهای مربوط به تولید سفر در یک منطقه خاص (مبدا) و متغیرهای مربوط به جذب سفر یک منطقه خاص (مقصد). این متغیرها، متغیرهایی هستند که دارای تاثیر مستقیم بر تولید و جذب سفر مناطق مورد مطالعه بوده، عموما از ماهیت اجتماعی و اقتصادی برخوردار بوده و در مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی‌های حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول 1 متغیرهایی را که در برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری تهران مورد استفاده قرار می گیرند را نشان می دهد.

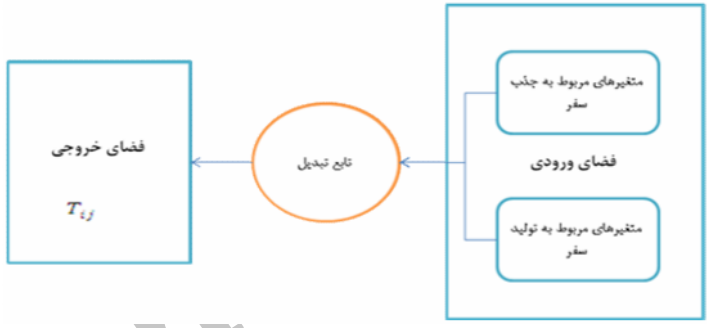
[1]- Level of Service (LOS)
[2]- Function Approximation

www.SID.ir

فضای خروجی: در حقیت تعداد سفرهای بین دو منطقه مفروض از شهر مطالعه است. تعداد سفرها توسط یک تابع تبدیل مبتنی بر ارتباط بین متغیرهای مربوط به توانایی‌های تولید سفر مبدا و جذب سفر مقصد، تخمین زده خواهد شد.

مدل مفهومی

شکل 1 ، چارچوب مفهومی مساله پیش بینی سفر در برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری را نمایش می گذارد. دغدغه اساسی این مساله این است که بتواند تابع تبدیل مناسب برای نگاشت متغیرهای مربوط به تولید و جذب سفر به تعداد سفرهای انجام شده بین دو منطقه از شهر مورد مطالعه را تخمین بزند.



شکل(1) : مدل مفهومی نگاشت فضای ورودی به فضای خروجی در مساله

همان‌طور که در بخش مقدمه نیز به آن اشاره شد، انواع مختلفی از توابع تبدیل را می توان برای نگاشت در این مساله به کار برد. در این کار پژوهشی با توجه به ویژگی‌هایی که از مساله برنامه‌ریزی حمل و نقل و هم چنین تئوری مجموعه‌های فازی نقل شد، از یک سیستم استنتاج فازی ترکیبی برای نگاشت فضای ورودی به فضای خروجی استفاده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

هدف سفر	تولید	جذب
شغلی	اشتغال در محل سکونت جمعیت مساحت مسکونی (زیربنا) تعداد واحدهای مسکونی چگالی (نفر بر هکتار واحد مسکونی) تعداد خانوار متوسط تعداد سواری بر خانوار متوسط قیمت یک متر مربع زمین	اشتغال در محل شغل مساحت زمین تجاری/ اداری/ کشاورزی/ صنعتی سطح زیربنای واحدهای تجاری تعداد واحدهای تجاری/ اداری/ کشاورزی/ صنعتی
آموزشی	جمعیت جمعیت دانش‌آموزان و دانشجویان سرانه مالکیت سواری شخصی مساحت زیربنای مسکونی مساحت ناحیه ترافیکی متوسط تعداد سواری بر خانوار	مساحت مدارس تعداد مدارس/ تعداد دانش‌آموزان/ تعداد کلاس‌های مدارس تعداد دانشگاه / تعداد دانشجو
خرید	جمعیت اشتغال در محل سکونت تعداد خانوار مساحت زیربنای مسکونی سرانه مالکیت سواری قیمت زیربنای مسکونی * مساحت واحد مسکونی	سطح زمین تجاری اشتغال در محل شغل سطح زیربنای تجاری تعداد واحد تجاری
تفریح و سایر	جمعیت تعداد واحد مسکونی سرانه مالکیت وسیله نقلیه شخصی فاصله از مراکز تفریحی	تعداد شاغلین خرده‌فروش (غیرپایه) تعداد و ظرفیت سینما/ مسجد/ نمایشگاه/ پارک/ بیمارستان سطح زمین مراکز تفریحی جمعیت
هیچ سر خانه	تمام عوامل تولید سفرهای خانه - ابتدا	تمام عوامل جذب سفرهای خانه- ابتدا

Archive of SID

www.SID.ir

منطق فازی و سیستم‌های استنتاج فازی[1]

منطق فازی یکی انواع صور منطق چند ارزشی است که از تئوری مجموعه‌های فازی استخراج شده تا بتواند در استنتاج‌هایی که در آن‌ها تخمین به جای دقت کاربرد دارد، مورد استفاده قرار گیرد. در مقایسه با منطق دودویی که در آن متغیرها یا عضو مجموعه بوده و یا عضو آن نیستند و حد میانه‌ای در این بین وجود ندارد، در منطق فازی متغیرها دارای درجه‌ای از درستی هستند که بین 0 و 1 تغییر می کند (نوواک و همکاران[2]، 1999: 85). استنتاج فازی در حقیقت فرایند فرموله کردن نگاشت یک مجموعه ورودی مشخص به یک مجموعه خروجی با استفاده از منطق فازی است. در ادامه این نگاشت چارچوبی را به دست می‌دهد که می‌توان بر اساس آن تصمیمات را اتخاذ نمود و یا الگوها را شناسایی کرد. فرایند استنتاج فازی به طور عمومی شامل موارد زیر است:

- تعریف قواعد اگر- آنگاه[3]
- تعریف توابع عضویت[4]
- به کارگیری عملگرهای منطقی[5]

عموما دو نوع سیستم استنتاج فازی مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از سیستم استنتاج فازی از نوع ممدانی[6] و سیستم استنتاج فازی از نوع سوگنو[7]. تفاوت اساسی این دو نوع سیستم فازی در روشی است که خروجی‌ها توسط آن تعیین می‌شوند. سیستم‌های استنتاج فازی سابقه موفقیت‌آمیزی از کاربرد در حوزه‌هایی مثل کنترل اتوماتیک، طبقه‌بندی داده‌ها، تجزیه و تحلیل تصمیم، سیستم‌های خبره

1- Fuzzy Inference Systems (FISs)
2- Novák et al
3- If-Then Rules
4- Membership Functions
5- Logical Operators
6- Mamdani Type
7- Sugeno Type

www.SID.ir

و طراحی کامپیوتر از خود نشان داده‌اند. به دلیل ماهیت میان رشته‌ای منطق فازی، سیستم‌های استنتاج فازی با نام های مختلفی از جمله سیستم‌های مبتنی بر قواعد فازی[1]، سیستم‌های خبره فازی[2]، مدل‌سازی فازی[3]، حافظه‌های شرکت‌پذیر فازی[4]، فازی[4]، کنترل کننده‌های منطق فازی[5] و یا حتی به سادگی سیستم‌های فازی[6]، نامیده می شوند.

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، برای نگاشت، به فضای ورودی، فضای خروجی و تابع تبدیل نیاز داریم. با رفع هم پوشانی‌ها در متغیرهای فضای ورودی و تلخیص آن‌ها، می توان متغیرهای مربوط به فضای ورودی مساله حاضر را مطابق با جداول 2 و3، خلاصه نمود. جدول 2 متغیرهای مربوط به تولید سفر و جدول 3 متغیرهای مربوط به جذب سفر را به نمایش می گذارد.

جدول(2) : متغیرهای مربوط به تولید سفر

متغیرهای مربوط به تولید سفر	نماد
اشتغال در محل زندگی	I_1
جمعیت	I_2
مساحت منطقه مسکونی	I_3
چگالی جمعیت	I_4
تعداد خانوار	I_5
ضریب مالکیت اتوموبیل	I_6
قیمت متوسط یک متر مربع زمین	I_7
جمعیت دانش‌آموزان	I_8
مساحت ناحیه ترافیکی	I_9
تعداد ساختمان‌های مسکونی	I_{10}
فاصله تا مراکز تفریحی	I_{11}

[1]- fuzzy-rule-based systems
[2]- fuzzy expert systems
[3]- fuzzy modeling
[4]- fuzzy associative memory
[5]- fuzzy logic controllers
[6]- Fuzzy Systems

Archive of SID
www.SID.ir

جدول(3) : متغیرهای مربوط به جذب سفر

نماد	متغیرهای مربوط به جذب سفر
I_1	اشتغال در محل کار
I_2	مساحت زمین‌های صنعتی/کشاورزی/ اداری/ تجاری
I_3	مساحت زیربنای ساختمان های اداری
I_4	تعداد ساختمان های صنعتی/ اداری/ تجاری
I_5	مساحت و زیر بنای مدارس
I_6	تعداد دانش آموزان/ مدارس/ کلاس ها
I_7	تعداد دانشگاه‌ها/ دانشجویان
I_8	تعداد مراکز خرده‌فروشی
I_9	تعداد و ظرفیت سینماها/ مساجد/ نمایشگاه‌ها/ پارک‌ها/ بیمارستان‌ها
I_{10}	مساحت مراکز اجتماعی و ورزشی

سیستم‌های فازی از نوع ممدانی، پرکاربردترین نوع سیستم‌های فازی هستند. روش ممدانی جزو اولین سیستم‌های کنترل فازی بوده که با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی ساخته شده است. این روش توسط ابراهیم ممدانی و در سال 1995 (ممدانی[1]، 1995، 1 13) و در زمینه کنترل موتور بخار با استفاده از مجموعه‌ای از متغیرهای زبانی که تجربه اپراتورهای انسانی استخراج شده، پیشنهاد شده است. از آنجایی که اغلب بخش‌های منطق فازی در حال حاضر جزو دانش عمومی به شمار می رود، خوانندگان برای مطالعه بیشتر می توانند به نمونه‌هایی چون کارهای ژانگ[2](1997: 110 119)، ممدانی (1975: 45) و سوگنو (1985: 202)، مراجعه نمایند.

[1]- Mamdani
[2]- Jang

www.SID.ir

مدل‌سازی و ارائه راه حل

مدل سازی:

برای پیش بینی سفرها مبتنی بر رویکرد استنتاج فازی، در ابتدا باید پایگاه قواعد فازی توسعه داده شود. در حقیقت این ارتباط بین متغیرها است که پایگاه قواعد فازی را شکل می دهد. پایگاه قواعد فازی را می توان از منابع مختلفی استخراج نمود. مانند:

- نظرات خبرگان حوزه حمل و نقل و برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری در مورد تاثیر متغیرهای فضای ورودی بر تعداد سفرها.
- مطالعه ادبیات تحقیق شامل رویکردهای مختلفی که در مطالعات پیشین اتخاذ شده.
- رویه های جاری در برنامه‌ریزی های عملیاتی حمل و نقل در شهرهای بزرگ (مانند استفاده از رویه‌های شرکت‌هایی چون شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران[1]).

برای نگاشت فضای ورودی به فضای خروجی، سناریوهای فازی مختلفی می تواند مورد توجه واقع شود. شکل 2 چارچوب مفهومی مدل فازی که در پژوهش حاضر برای پیش بینی تعداد سفرها بین دو ناحیه مفروض از شهر به کار رفته است را به نمایش می گذارد. در شکل 2 سه سیستم استنتاج فازی نشان داده شده که هر کدام بخشی از وظیفه نگاشت را به عهده دارند. این سه سیستم عبارتند از:

- سیستم استنتاج فازی اول: این سیستم وظیفه نگاشت متغیرهای موثر بر تولید سفر را به کل تعداد سفرهای تولید شده از ناحیه مفروض (G_1) را به عهده دارد.

[1]- Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Studies Co. (TCTTS). (http://trafficstudy.tehran.ir)

www.SID.ir

- سیستم استنتاج فازی دوم: این سیستم وظیفه نگاشت متغیرهای موثر بر جذب سفر را به کل تعداد سفرهای جذب شده به ناحیه مفروض (A_j) را به عهده دارد.
- سیستم استنتاج فازی سوم: این سیستم وظیفه تلفیق نتایج خروجی از سیستم فازی اول و دوم را به عهده دارد.



شکل(2) : مدل مفهومی فازی پیش بینی تعداد سفرهای بین دو ناحیه از شهر

ارائه راه حل:

همان‌طور که در شکل 2 نشان داده شده است، این سناریو از 3 فاز مختلف تشکیل شده که هر کدام سیستم استنتاج فازی مربوط به خود را دارد. فرایند توسعه این سه فاز را می تواین به ترتیب زیر تشریح نمود:

فاز 1 :

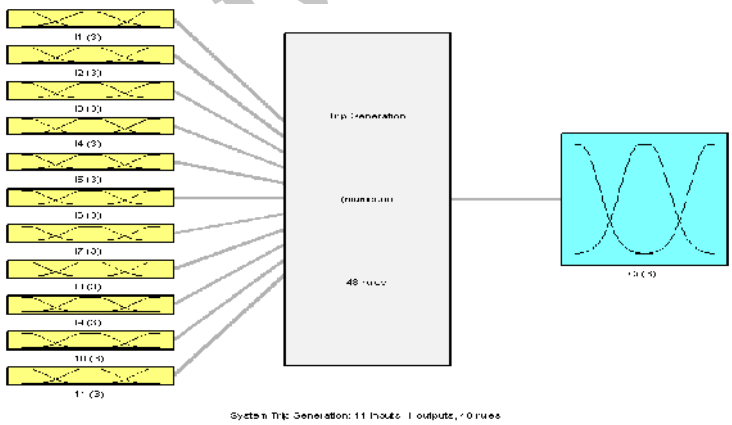
در این فاز به دنبال آن هستیم تا سیستمی برای نگاشت متغیرهای موثر بر تولید سفر در یک ناحیه خاص به عنوان فضای ورودی به کل تعداد سفرهای تولید شده توسط آن ناحیه به عنوان فضای خروجی، توسعه دهیم. ورودی این سیستم متغیرهای موثر بر تولید سفر ناحیه (جدول 2) و خروجی تعداد سفرهای تولید شده توسط آن ناحیه (G_i) است. برای این منظور، قواعد فازی ابتدایی و شکل و

www.SID.ir

پارامترهای توابع عضویت بر مبنای نظر خبرگان حمل و نقل و با استفاده از پرسشنامه های مناسب استخراج شده است. به این ترتیب قادر خواهیم بود تا الگوی ذهنی متخصصین حوزه حمل و نقل در زمینه چگونگی تاثیر متغیرهای موثر بر تولید سفر بر کل تعداد سفرهای تولید شده توسط ناحیه مورد مطالعه را به یک مدل ریاضی استنتاج کننده انتقال دهیم. در نهایت نظرات خبرگان با یکدیگر تلفیق شده و 70 قاعده فازی استخراج شده است. با استفاده از روش های کاهش قواعد[1]، تعداد قواعد به 48 قاعده کاهش داده شده است. کاهش قواعد به این دلیل بوده که سیستم در شبیه‌سازی‌های زمان واقعی[2] آتی از سرعت مناسبی برخوردار باشد. ساختار قواعد به کار رفته در این مرحله برای مثال می تواند به ترتیب زیر باشد:

"اگر اشتغال در محل زندگی بالا و جمعیت پایین باشد آن‌گاه تعداد سفرهای تولید شده از ناحیه پایین خواهد بود"

سیستم فازی این مرحله از نوع ممدانی بوده که ساختار آن در شکل 3 نمایش داده شده است.



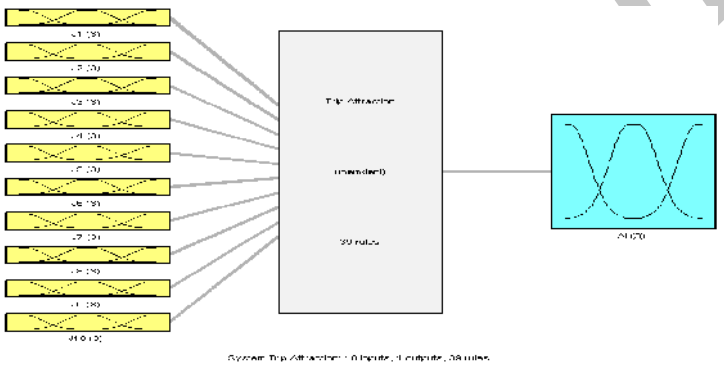
شکل(3) : سیستم استنتاج فازی مربوط به فاز اول

[1]- Rule Reduction Techniques
[2]- Real-Time Simulations

www.SID.ir

فاز 2 :

ساختار مدل‌سازی در این فاز کاملا شبیه فاز اول است. فضای ورودی در این فاز ار 10 متغیر موثر بر جذب سفر به ناحیه مفروض (جدول 3) و خروجی آن کل تعداد سفرهای جذب شده توسط آن ناحیه (A_1) است. سیستم استنتاج فازی در این فاز از نوع ممدانی بوده که در نهایت دارای 39 قاعده فازی است. شکل 4 ساختار این سیستم را به نمایش می گذارد.



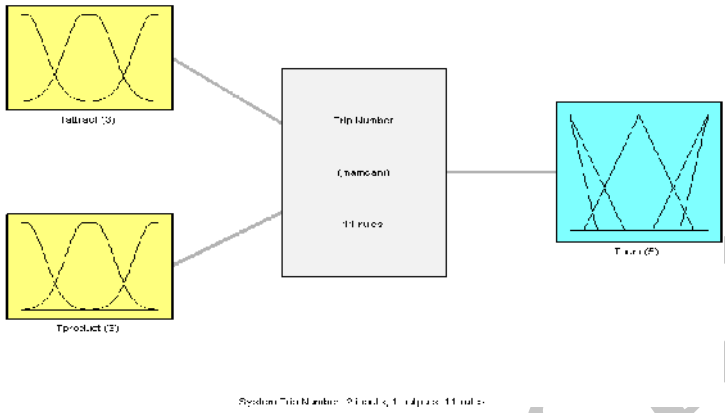
شکل(4) : سیستم استنتاج فازی مربوط به فاز دوم

به این ترتیب و در پایان فاز 2 دارای 2 سیستم فازی هستیم که نگاشت متغیرهای موثر بر تولید و جذب سفر را به وضعیت تولید و جذب سفر دو ناحیه مفروض از شهر را به انجام می رسانند. برای پیش بینی تعداد سفرهای انجام شده بین دو ناحیه لازم است تا خروجی دو فاز پیشین با یکدیگر ترکیب شود.

فاز 3:

شکل 5، ساختار سیستم فازی مربوط به فاز 3 را به نمایش می گذارد. این سیستم فازی خروجی‌های دو فاز قبلی را به عنوان ورودی قبول نموده و در نهایت تعداد سفرهای جریان یافته از ناحیه اول به ناحیه دوم را بر می گرداند.

www.SID.ir



شکل(5) : سیستم استنتاج فازی مربوط به فاز سوم

پایگاه قواعد این سیستم استنتاج فازی از 11 قاعده فازی تشکیل شده که مبتنی بر نظرات خبرگان حمل و نقل هستند. شکل 6، نمودار سطحی[1] سیستم استنتاج فازی فاز سوم را به نمایش می گذارد که در آن:

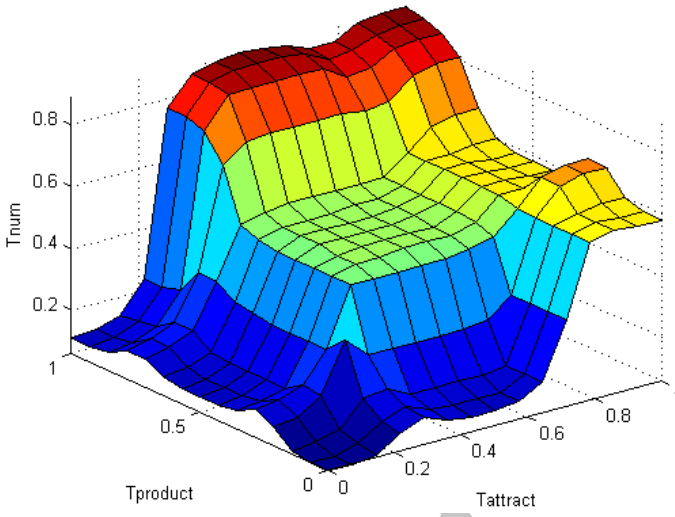
T_{num} : کل تعداد سفرهای انجام شده بین دو ناحیه مورد مطالعه

$T_{product}$: کل تعداد سفرهای تولید شده از مبدا (قابلیت کلی تولید سفر مبدا)

$T_{attract}$: کل تعداد سفرهای جذب شده به مقصد (قابلیت کلی جذب سفر مقصد)

[1]- Surface

www.SID.ir

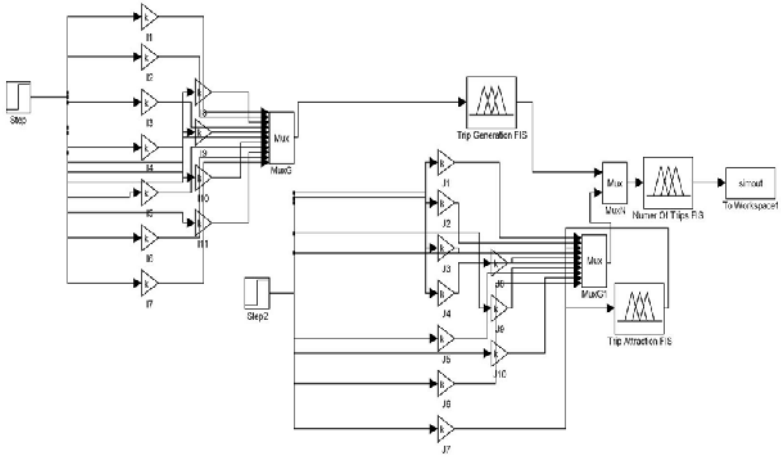


شکل(6) : نمودار سطحی فاز سوم سیستم استنتاج فازی

در حقیقت مدل فازی سه مرحله ای ارائه شده در بالا، وظیفه نگاشت متغیرهای دموگرافیک موثر بر تصمیمات سفر به تعداد سفرهای انجام شده بین دو ناحیه مورد مطالعه را بر عهده دارد. برای پیش بینی تعداد سفرها لازم است تا مقادیر متغیرهای دموگرافیک (مطابق با جداول 2 و3) به مدل به عنوان ورودی داده شود تا در نهایت تعداد سفرهای بین دو ناحیه بر اساس فرایند ارائه شده توسط بالا پیش بینی شده و به عنوان خروجی مدل ارائه شود. چنین مدلی قابلیت شبیه سازی در طول زمان و با توابع رشد متفاوت و قابل تنظیم برای هر کدام از متغیرهای ورودی را نیز دارا می باشد. شکل 7، دیاگرام بلوکی چارچوب پیوسته مدل را که می تواند در فرایند شبیه‌سازی های آتی مورد استفاده قرار گیرد را به نمایش می گذارد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل(7) : دیاگرام بلوکی مدل پیشنهادی

نتایج و بحث

همان‌طور که اشاره شد اگر سفر را به صورت "جا به جایی از مبدا i به مقصد j با وسیله m و از طریق مسیر r در یک بازه زمانی مشخص"، تعریف کنیم، آن‌گاه می توانیم به آن به عنوان یک تصمیم انسانی نگاه کنیم. این نگاه بدان معنی است که در نهایت تمام الگوهای سفر از تصمیمات انسانی که بر مبنای شرایط اخذ می شوند، ناشی می گردند. در این جا ما شرایط را بر اساس ترکیب متغیرهایی که دارای تاثیر مستقیم بر دلایل سفر هستند، تعریف نموده‌ایم. این دلایل، متغیرهای دموگرافیک، اجتماعی و اقتصادی هستند که افراد را مجبور می کنند تا در یک شهر مفروض از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر جا به جا شوند.

همان‌طور که در بخش مقدمه نیز بدان اشاره شد، رمز موفقیت پیش بینی سفرهای آینده در حقیقت شناسایی الگوهای کنونی جا به جایی و جریان سفر است. در واقع ما به توابعی نیاز داریم که جریان‌های کنونی سفر بین نواحی شهری را رمزگشایی نمایند. با توجه به ماهیت فازی تصمیم‌گیری‌های انسانی، به نظر می

www.SID.ir

آید استفاده از منطق فازی در توجیه پدیده‌هایی که با تصمیم‌گیری های انسانی سر و کار دارند بتواند توجیه کننده مناسب‌تری باشد. در این مقاله چارچوبی منطقی برای تخمین تابع توزیع سفرها بین دو منطقه از شهر مورد مطالعه برنامه‌ریزی حمل نقل، مبتنی بر منطق فازی ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع:

- Celikoglu, B., Hilmi, Cigizoglu, K., Hekmet, (2007), Public transportation trip flow modeling with generalized regression neural networks, Advances in Engineering Software 38. pp. 71–79.
- Chanas, S., Delgado, M., Verdegay, J.L., Vila, M.A., (1993), Interval and fuzzy extensions of classical transportation problems. Transportation Planning and Technology 17. pp. 203-218.
- Chang, Y.-H., Shyu, T.-H., (1993), Traffic signal installation by the expert system using fuzzy set theory for inexact reasoning. Transportation Planning and Technology 17. pp. 191-202.
- Chen H, Muller SG., (2001), Use of sequential learning for short-term traffic flow forecasting. Trans Res Part C Emerg Technol; 9(5). pp. 319–36.
- Chen, L., May, A., Auslander, D., (1990), Freeway ramp control using fuzzy set theory for inexact reasoning. Transportation Research 24A. pp. 15-25.
- Deb, S.K., (1993), Fuzzy set approach in mass transit mode choice. In: Ayyub, B.M. (Ed.), Proceedings of ISUMA '93, Second International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis. IEEE Computer Press, College Park, Maryland, pp. 262-268.
- Dougherty MS. (1995), A review of neural networks applied to transport. Transp Res Part C Emerg Technol 1995;3(4). pp. 247–60.
- Golob F T., (2000), A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation. In: Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, No. 34, TRB. Washington, USA. pp. 355-376.
- Jang, J.-S. R. and C.-T. (1997), Sun, Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice Hall.

Archive of SID

www.SID.ir

- Lin CT, Chiu H, Chu PY, (2006). Agility index in supply chain. Int. J. Prod. Econ. 100. pp. 285-299.
- Lotan, T., Koutsopoulos, H., (1993). Route choice in the presence of information using concepts from fuzzy control and approximate reasoning. Transportation Planning and Technology 17. pp. 113-126.
- Lotan, T., Koutsopoulos, H., (1993), Models for route choice behaviour in the presence of information using concepts from fuzzy set theory and approximate reasoning. Transportation 20. pp. 129-155.
- Makvandi, p., Alavi, S., H., Hajiha, A., (2006), An Exploration of Experts' Subjective Patterns in Behavioral Based Job Qualification Using Choquet Integral, Proceedings of the 6th WSEAS Int. Conf. on Systems Theory & Scientific Computation, Elounda, Greece, August 21-23. pp. 14-18.
- Mamdani, E.H. and S. Assilian, (1975), An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13.
- Messai N, Thomas P, Lefebvre D, El Moudni A., (2002), Optimal neural networks architectures for the flow-density relationships of traffic models. Math. Comput Simul 2002; 60(3–5). pp. 401–9.
- Milosavljevic, N., Teodorovic, D., Papic, V., Pavkovic, G., (1996). A fuzzy approach to the vehicle assignment problem. Transportation Planning and Technology 20, pp. 33-47.
- Murat, H., Celik, (2010), Sample size needed for calibrating trip distribution and behavior of the gravity model, Journal of Transport Geography 18. pp. 83–190
- Nanda, R., Kikuchi, S., (1993), Estimation of trip O-D matrix when input and output are fuzzy. In: Ayyub, B.M. (Ed.), Proceedings of ISUMA '93, Second International Symposium on

Archive of SID

www.SID.ir

Uncertainty Modeling and Analysis. IEEE Computer Press, College Park, Maryland, pp. 104-111.

- Novák, V., Perfilieva, I. and Močkoř, J. (1999), Mathematical principles of fuzzy logic Dodrecht: Kluwer Academic. ISBN 0-7923-8595-0
- Ortuzar, J.D., Willumsen, L.G., (2001), the Traffic Assignment Problem: Models and Methods. VSP, Wiley, New York. Utrecht, the Netherlands.
- Ross TJ, (2004), Fuzzy Logic with Engineering Applications. Second Edition. John Wiley and Sons Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Ruiter, E.R., Ben-Akiva, M.E., (1978), Disaggregate travel demand models for the San Francisco area: system structure, component models and application procedures. Transportation Research Record 673. pp. 121–128.
- Smiller J, Hoel L A., (2006), assessing the utility of private information in transportation planning studies: A case study of trip generation analysis. Journal of Socio-Economic Planning Sciences, 40(3). pp. 94-118.
- Sugeno, M., (1985), Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Science Pub. Co.
- Susilo, Y.O., Kitamura, R., (2007), Structural changes in commuters' daily travel: the case of auto and transit commuters in the Osaka metropolitan area of Japan, 1980–2000. Transportation Research Part A: Policy and Practice 42. pp. 95–115.
- Teodorovic D., (1999), Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art, Transportation Research Part A 33. pp. 337-364

Archive of SID

www.SID.ir

- Teodorovic, D., Babic, O., (1993), Fuzzy inference approach to the flow management problem in air traffic control. Transportation Planning and Technology 17. pp. 165-178.
- Teodorovic, D., Kalic, M., (1995), A fuzzy route choice model for air transportation networks. Transportation Planning and Technology 19. pp. 109-119.
- Vukadinovic, K., Teodorovic, D., (1994), A fuzzy approach to the vessel dispatching problem. European Journal of Operational Research 76. pp. 155-164.
- Xu, W., Chan, Y., (1993), estimating an origin-destination matrix with fuzzy weights. Part 1: Methodology. Transportation Planning and Technology 17.pp. 127-144.
- YAO Liya, GUAN Hongzhi, YAN Hai, (2008), Trip Generation Model Based on Destination Attractiveness, TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY,Volume 13,Number 5,pp632-635
- Yun SY, Namkoong S, Rho JH, Shin SW, Choi JU., (1998), a performance evaluation of neural network models in traffic volume forecasting. Math Comput Model. 27(9–11). pp. 293–310.
- Zhang H, Ritchie SG, Lo ZP., (1997), Macroscopic modeling of freeway traffic using an artificial neural network. Transp Res Record 1997; 1588. pp. 110–9.

Archive of SID

www.SID.ir