

# پیش بینی تولید سفرهای شهری با استفاده از منطق فازی بر مبنای مطالعه

## موردی شهر رشت

مهیار عربانی، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

شهره ربیعی، کارشناس ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

بابک امانی، کارشناس ارشد، دانشکده تحصیلات تکمیلی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

E-mail: arabani@guilan.ac.ir

### چکیده

مرحله تولید سفر به عنوان اولین و یکی از مهم‌ترین مراحل چهارگانه پیش بینی تقاضای سفر است و هدف از آن برآورد تعداد کل سفرهای تولیدی از یک مبدأ است. با توجه به حجم وسیع اطلاعات لازم در مدلسازی تولید سفر، در طی سالیان مختلف پژوهشگران تلاش کرده اند که مدل‌های جدید و کارآمدتری برای ارزیابی تولید سفر ارائه کنند. در این مقاله مدلسازی تولید سفر با استفاده از منطق فازی و براساس پارامترهای مؤثر، ارائه شده است. برای این منظور با معرفی چهار تابع، تعداد افراد خانواده، مالکیت خودرو، درآمد و ساختار منزل به عنوان توابع ورودی و استفاده از عملگر منطق فازی، روش جدیدی برای پیش بینی تعداد سفرهای تولید شده ارائه شده است. اساس این روش استفاده از فازی سازی- غیر فازی سازی و انتخاب توابع ورودی و خروجی براساس داده‌های به دست آمده از تحقیق انجام شده است. در پایان پس از معرفی مدل فازی و با استفاده از داده‌های مربوط به تولید سفر، نتایج روش برانزش خطی و روش مدل فازی با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج این مقایسه بیانگر دقت بسیار زیاد روش فازی ارائه شده در پیش بینی تعداد سفرهای تولید شده است.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، تولید سفر، تابع تعلق، مدلسازی تقاضای سفر

### ۱. مقدمه

تراکم در مدل‌های تولید سفر را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: منطقه، خانواده و فرد.

محققانی چون اورتوزار و ویلامسن (Ortuzar & Willumsen) بر این مطلب تاکید کردند که مدل‌های تولید سفر غیر متراکم‌تر از قابلیت پیش بینی و تطابق بهتری برخوردار هستند [۲]. اترتون و بن آکیوا (Atherton & Ben-Akiva) نیز نشان دادند که مدل‌های غیر متراکم تغییرات و ویژگی‌های رفتاری متغیرها

به هنگام سازی و پیش بینی انواع مدل‌های تقاضای سفر و به ویژه مدل‌های تولید سفر (TGM) همواره به عنوان یک مسأله و معضل در مطالعات مختلف مطرح بوده است. بحث‌ها و بررسی‌ها توسط محققان و کارشناسان تنها منوط به تطابق این مدل‌ها با توجه به شرایط زمانی و مکانی مختلف نیستند، بلکه حتی درباره مسایل مربوط به خصوصیات و سطوح تراکم تعریف شده در مدل‌ها نیز اختلاف نظر وجود دارد [۱]. سطوح

- روش‌های شبیه سازی مثل اسمش (Smash) ، Amos & Starchild System، مدل‌های توام منطق فضای و شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۲ و ۱۳].

- مدل‌های ساخته شده براساس تئوری مجموعه مبنا [۱۴]. در این پژوهش از مدل فضای برای پیش بینی تعداد سفرهای تولید شده از یک مبدأ استفاده شده است. برای این منظور از ۴ پارامتر مهم تعداد افراد خانواده، مالکیت خودرو، ساختار منزل و درآمد به عنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تولید سفر به صورت توابع ورودی و تعداد سفرهای تولید شده به عنوان تابع خروجی استفاده شده است.

## ۲. شناسایی پارامترهای مؤثر در تولید سفر

به طور کلی، عوامل مؤثر بر میزان سفرهای تولیدی یک خانواده را می‌توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

- ساختار منزل،
- تعداد افراد خانواده،
- فاصله تا مراکز خرید شهر،
- نحوه دسترسی و هزینه فعالیت ها،
- شخصیت افراد و شیوه زندگی آنها،
- فنآوری موجود و در دسترس استفاده کنندگان،
- درآمد خانواده،
- ارزش های جامعه،
- سیاستهای موجود در سیستمهای حمل و نقلی،
- مالکیت وسیله نقلیه،
- شبکه راههای ارتباطی،
- سطح سواد افراد خانواده،
- امکان کاربرد و استفاده<sup>۱</sup>،
- ساختار سنی،
- تراکم منطقه مسکونی و
- ارزش منطقه محل سکونت.

### ۲-۱- تعداد افراد خانواده و ساختار آن

تعداد سفرهای تولید شده در هر خانواده تا حد زیادی به تعداد افراد خانواده و ساختار زندگی آنها وابسته است. به عنوان مثال خانواده‌ای که دارای دو فرزند بالغ و شاغل است نسبت به یک خانواده مشابه که دو فرزند مدرسه‌ای دارد، تعداد سفرهای کاری

را بهتر ارزیابی می‌کنند [۳]. بنابراین انتظار می‌رود که مدل‌های غیرمتراکم‌تر، برآوردها و پیش بینی‌های صحیح تری ارائه کنند. همچنین دونز و جینز (Dowens & Gyenes) نشان دادند که توان ارزیابی مدل‌های غیر متراکم‌تر نسبت به مدل‌های مبنای منطقه‌ای در برآورد پیش بینی‌های آینده بیشتر است [۴]. سوپرینک و همکارانش (Supernak et al.) [۶]. روش تجزیه و تحلیل طبقه بندی افراد را با توجه به هویت و ذات پارامترهای سفر و مولد سفر معرفی کردند [۵]. آنها ادعا کردند که این مدل‌ها از قابلیت برآورد بهتری برخوردار هستند.

سوپرینک و همکارانش بر این مطلب تأکید کردند که مدل‌های مبنای فردی برای پیش‌بینی‌های آینده نیاز به حجم نسبتاً کمی از اطلاعات دارند. بنابراین با وجود تمام محسناتی که سوپرینک و همکارانش برای مدل‌های فردی قایل بودند، این مدل‌ها به علل زیر مورد پسند قرار نگرفتند: نداشتن توانایی در تعریف پارامترهایی چون ساختار داخل خانواده، بررسی اثر روابط بین افراد خانواده، تعیین سطح درآمدی خانوارها و نحوه توزیع درآمد بین افراد خانواد. هر چند سوپرینک و همکارانش (Supernak et al. , 1983) درخصوص این مطلب که هنوز نقش این عوامل در تولید سفر به طور دقیق مشخص نیست و این که در مدل‌های خانه مبنا هم این عوامل بطور شفاف در نظر گرفته نشده اند، استدلال‌هایی را ارائه کردند، اما با این وجود مدل آنها تنها به عنوان یک مدل ضمنی در سال‌های پایانی دهه ۱۹۶۰ مطرح شد و دیگر مورد استفاده قرار نگرفت. در نهایت کارشناسان در اوایل سالهای دهه ۱۹۷۰ به این نتیجه رسیدند که مناسب‌ترین واحد بررسی در انجام مطالعات تولید سفر، خانواده است [۷]. (برای جزئیات بیشتر درخصوص مباحث فوق به مطالب ارائه شده توسط Fleet & Robertson و Ortuzar & Willumsen مراجعه شود) [۸،۲]. به این ترتیب در سال‌های متمادی و هم راستا با نظرات و ایده‌های گوناگون موجود، کارشناسان مدل‌های متنوعی را ابداع و همواره تلاش کرده‌اند تا با ارائه مدل‌های جدیدتر به شکل بهتری مقادیر سفرهای تولیدی را ارزیابی کنند. همچنین تلاش شده که در هر نسل از مدل‌ها معایب موجود در مدل‌های پیشین تا حد ممکن برطرف شود. روند کلی مدل‌های ساخته شده و اصلاح آنها به صورت زیر است:

- مدل‌های ساخته شده بر اساس روش برازش خطی [۹].

- مدل‌های طبقه بندی شده [۱۰].

- مدل‌های انتخاب مجزا مانند مدل‌های احتمال<sup>۲</sup> و لجیت<sup>۳</sup> [۱۱].

- عدم مالکیت خودرو
- در صورت مالکیت خودرو در منزل، آن وسیله بیشتر در اختیار یک فرد مشخص از افراد خانواده قرار گیرد.
- وسیله نقلیه شخصی خانواده به راحتی در اختیار تمامی افراد خانواده قرار گیرد.

#### ۲-۴ دسترسی

از جمله مسایل دیگری که باید در بررسی نرخ سفرهای انجام شده در یک مقطع زمانی مشخص مورد تحلیل قرار گیرد، ارزیابی تأثیر مسئله دسترسی بر میزان سفرهای تولیدی است. آشکار است که بررسی تعداد سفرها توسط هر یک از سیستم‌های مختلف حمل و نقلی تحت تأثیر میزان دسترسی و نحوه سرویس‌دهی آن به افراد جامعه قرار دارد. با این وجود همواره یکی از معضلات مطرح در مدل‌های کلاسیک چهار مرحله‌ای در نظر نگرفتن مسئله تغییرات به وقوع پیوسته در امکانات شبکه‌های ارتباطی و در نتیجه میزان دسترسی افراد به انواع سیستم‌های حمل و نقلی است. هر چند ممکن است این فرض تا حدی در خصوص انواع سفرهای اجباری صادق باشد ولی یقیناً در خصوص سفرهای اختیاری این گونه نیست. مسئله دسترسی و عواملی چون راحتی سفر بین مناطق تأثیر بسزایی در تولید سفرهای مناطق و گرایش افراد به انجام سفر دارند، همان گونه که مسایل ترافیک و شلوغی در مسیرهای ارتباطی باعث کاهش حجم سفرهای تولیدی می‌شوند [۱۵].

#### ۲-۵ مالکیت خودرو و سطح درآمد

وجود وسیله نقلیه شخصی در منزل و استفاده از آن فرصت‌های بسیار بیشتری برای انجام سفرهای شهری به ویژه سفرهای غیرکاری و سفرهای به غیر مرکز شهری را در طول هفته و سفرهای تفریحی به حومه شهری در تعطیلات آخر هفته فراهم می‌کند. بنابراین انتظار می‌رود که یک خانوار با مالکیت خودروی شخصی سفرهای تولیدی بیشتری داشته باشند. در عین حال باید توجه داشت که تعداد وسایل نقلیه شخصی موجود در هر خانواده، تابعی از میزان سطح درآمد آن خانواده است. علاوه بر این هرچه درآمد افراد بیشتر باشد پارامترهایی چون هزینه سفر و دسترسی نداشتن به گزینه‌های مختلف حمل و نقلی چون نبود سرویس‌دهی مطلوب اتوبوسرانی و امکان استفاده از تاکسی یا آژانس برای انجام سفر کم‌رنگ‌تر

بیشتری را تولید می‌کند. بنابراین در مطالعات و بررسی‌های اخیر پارامتر ساختار خانواده به عنوان یک مشخصه مهم معرفی شده و عموماً در قالب تعداد افراد شاغل خانوار و مانند آن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

#### ۲-۲ تراکم منطقه مسکونی

از دیگر عوامل تأثیرگذار بر میزان سفرهای تولیدی یک خانواده، تراکم منطقه محل سکونت آن خانواده است. این عامل عموماً توسط پارامترهای دیگری همچون فاصله محل سکونت خانواده از مرکز خرید شهر، نوع دسترسی افراد خانواده به سیستم حمل و نقل عمومی و میزان متوسط درآمد خانوار در مدل‌های تولید سفر مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین در صورتی که تمامی این عوامل در سطوح یکسانی فرض شوند، سفرهای تولیدی در مناطق متراکم تر بیش از مناطق غیر متراکم خواهند بود. با این وجود نباید از این نکته غافل شد که در مناطق متراکم‌تر تعداد سفرهای پیاده افراد بیشتر بوده و این سفرها را باید از سفرهای تولیدی با وسایل نقلیه تفکیک کرد [۱۵].

#### ۲-۳ امکان استفاده و کاربرد

شاید یکی از مهم‌ترین و برجسته‌ترین نقایص موجود در انواع مطالعات قبلی تولید سفر، عدم بررسی مؤلفه امکان استفاده افراد خانواده از هر یک از سیستم‌های مختلف حمل و نقلی به ویژه وسیله نقلیه شخصی بر میزان سفرهای انجام شده خانواده بوده است [۹]. واضح است که یک فرد وقتی می‌تواند از یک وسیله نقلیه شخصی استفاده کند که در درجه اول خانواده از مالکیت خودرو برخوردار باشد و در درجه دوم آن وسیله در صورت لزوم در اختیار او قرار گیرد. کارشناسان در مطالعات مختلفی تلاش کردند تا به بررسی این مسأله بپردازند. بنابراین برای دستیابی به این منظور دو حالت گوناگون مالکیت و عدم مالکیت نداشتن خودرو در منزل را مورد پژوهش قرار دادند اما در نهایت به نتیجه منطقی و درستی دست نیافتند.

در مراحل بعدی آنها تلاش کردند تا با تعریف متغیرهایی در مدل‌های تولید سفر که بازگو کننده و معرف امکان استفاده افراد مختلف خانواده از وسیله نقلیه شخصی باشند به اصلاح این مشکل بپردازند [۱۵]. در این پژوهش از تقسیم بندی زیر برای بررسی امکان استفاده افراد مختلف خانواده از وسیله نقلیه شخصی در منزل استفاده شده است:

در نتیجه میزان دسترسی افراد به انواع سیستم‌های حمل و نقلی است. هرچند ممکن است این فرض تا حدی دربارهٔ انواع سفرهای اجباری صادق باشد، ولی یقیناً دربارهٔ سفرهای اختیاری این گونه نیست. مسأله دسترسی و عواملی چون راحتی سفر بین مناطق، تأثیر بسزایی در تولید سفرهای مناطق و گرایش افراد به انجام سفر دارد، همان‌گونه که مسایل ترافیک و شلوغی در مسی‌های ارتباطی باعث کاهش حجم سفرهای تولیدی می‌شوند [۱۵].

## ۲-۸ سیاست های حمل و نقل و شبکه ارتباطی

آشکار است که در کنار مسأله دسترسی به انواع تسهیلات ممکن حمل و نقلی، وجود شبکه ارتباطی مناسب برای رسیدن به مقصد در حداقل زمان ممکن و تأخیر حداقل، نقش بسزایی در ایمنی ترافیکی، راحتی و هزینه‌های سفر (به ویژه هزینه‌های غیرمالی) خواهد داشت. در این راستا سیاست‌های حمل و نقلی هم چون ساماندهی ترافیکی معابر موجود (افزایش کارایی ناوگان و تسهیلات حمل و نقل عمومی و بهینه سازی کارکرد و تعبیه مناسب تجهیزات ثابت) می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش زمان تاخیر سفرها و رفع عوامل مؤثر در ممانعت سفر (به ویژه سفرهای غیرضروری) افراد داشته باشد.

## ۲-۹ بررسی سایر پارامترها

شناسایی متغیرهایی که در پیش بینی نرخ تولید سفر دخالت دارند، همواره به عنوان یک موضوع مورد بحث و بررسی برای برنامه‌ریزان حمل و نقل مطرح است. این متغیرها به طور معمول تعداد افراد خانواده، تعداد وسایل نقلیه شخصی و درآمد خانواده در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین محققان به مرور و از اوایل سال ۱۹۸۰ تمایل پیدا کردند تا با کاربرد روش‌ها و تئوری‌های علوم رفتاری و بررسی ویژگی‌های رفتاری تولیدکنندگان سفر، به تقویت مدل‌های تولید سفر بپردازند. برای این منظور ایده اصلی آن بوده است که چرخه زندگی اجتماعی افراد صد درصد بر فرصت‌های در اختیار داشته آنها و نوع فعالیت‌هایی که انجام می‌دهند تأثیرگذار است. به عنوان مثال بررسی این موضوع که فردی تنها زندگی می‌کند یا خیر، بر این مسأله که برای انجام سفرهای ممکن است نیاز به هماهنگی با عملکرد سایر افراد خانواده داشته باشد، اثر می‌گذارد. یک زوج که یک فرزند

شده و تأثیر چندانی در ممانعت افراد در انجام سفرهای غیرضروری نخواهند داشت.

## ۲-۶ فاصله تا مرکز خرید و ارزش زمین در مناطق شهری

طبیعی است که پس از توسعه شهری پیرامون هسته مرکزی شهرها، فواصل جابجایی تا مراکز اداری و خرید افزایش یافته و باعث کاهش تمایل افراد، متناسب با فاصله آنها از این مراکز خرید به جهت صرف زمان و هزینه بیشتر می‌شود که به تبع آن حجم سفرهای غیرضروری، تفریحی و خرید کاهش می‌یابد. در عین حال آشکار است که با گسترش شهرها و افزایش آلودگی صوتی و ترافیکی، تمایل افراد به اسکان در مناطق حاشیه، ولی نزدیک و خوش آب و هوا افزایش می‌یابد. بنابراین، این امر برای خانواده‌هایی امکان پذیر خواهد بود که درآمد آنها متناسب با ارزش ریالی این مناطق و هزینه‌های اضافی تحمیلی برای سفر از این مناطق باشد. همچنین آشکار است که با توجه به بالابودن ارزش زمین در مناطقی از شهر و امکان اسکان درصد کمتری از افراد جامعه در آن مناطق، تراکم این مناطق کمتر و به تبع آن حجم سفرهای تولیدی از آنها نیز کمتر خواهد بود.

## ۲-۷ فنآوری و دسترسی

اگر منطقه‌ای واقع مورد نظر باشد که تنها وسیله جابجایی در آن استفاده از وسیله نقلیه شخصی باشد، یقیناً بسیاری از سفرهای غیرضروری افراد حذف خواهد شد. در صورتی که اگر تسهیلات مختلف حمل و نقلی با هزینه‌های متناسب با درآمد فرد فراهم باشد برای انجام سفر امکان انتخاب یکی از روش‌های سفر وجود دارد تا به مقصد برسد. همچنین طبیعی است که با پیشرفت فنآوری و ایجاد تسهیلات جدیدتر همچون مترو می‌توان هزینه و زمان سفر را همراه با یکدیگر بهبود بخشید که این امر لزوماً بر افزایش حجم سفرهای تولیدی و حذف پارامترهای منفی تأثیر بسزایی خواهد داشت. آشکار است که بررسی تعداد سفرها توسط هر یک از سیستم‌های مختلف حمل و نقل، تحت تأثیر میزان دسترسی و نحوه سرویس دهی آن به افراد جامعه قرار دارد. با این وجود همواره یکی از معضلات مطرح در مدل‌های کلاسیک چهار مرحله‌ای، در نظر نگرفتن مسأله تغییرات به وقوع پیوسته در امکانات شبکه‌های ارتباطی و

به فعالیت‌ها، در طبقات مختلف جمعیتی<sup>۹</sup> و با توجه به سن و جنسیت افراد و وضعیت مجرد و تأهل بودن آنها تغییر می‌کند. بنابراین شیوه زندگی افراد یک پارامتر مهم اثر گذار بر تعداد سفرهای تولیدی آنها است.

یکی از روش‌های تجربی که از آن می‌توان برای ارزیابی مباحث فوق استفاده کرد، تعریف پارامتری برای خانواده است که معرف مرحله زندگی خانواده و به عبارت دیگر بیانگر این مطلب باشد که خانواده مورد نظر در کدام مقطع و مرحله از زندگی قرار دارد. این مراحل شامل موارد زیرند:

- زوج بدون فرزند،
- حضور یک نوزاد خردسال در خانواده،
- زمانی که جوان‌ترین فرزند به سن مدرسه رسیده باشد،
- زمانی که یکی از فرزندان منزل را ترک کرده است (تنها زندگی می‌کند و یا ازدواج کرده است)،
- زمانی که تمام فرزندان خانواده مستقلاً زندگی می‌کنند و والدین هنوز بازنشسته نشده‌اند،
- زمانی که والدین خانواده بازنشسته شده‌اند [۷].

یکی دیگر از اجزای مهم در تحلیل رفتار یک خانواده بررسی وظایفی است که بر عهده هر یک از افراد خانواده است. این وظایف به صورت توابعی از مایحتاج و نیازهای افراد خانواده تعریف می‌شوند. با توجه به نیازهای موجود در خانوار هر فرد وظایفی را بر عهده دارد که نوع آن وظایف تابع عواملی چون روال متداول جامعه، تجربه افراد، شخصیت افراد و سمت هر یک از افراد در منزل است. این وظایف ممکن است با گذشت زمان و مراحل مختلف چرخه زندگی خانواده تغییر کنند.

مثلاً ممکن است وظیفه خرید در منزل به عهده پدر و یا مادر خانواده باشد که آنگاه بر تعداد سفرهای انجام شده هر یک از آنها اثر گذار خواهد بود و با بزرگ‌تر شدن فرزندان، این وظیفه به آنان واگذار شود. علاوه بر این پارامترها، بسیاری از عوامل مانند فرهنگ جامعه، محیط و انواع فنآوری‌های در دسترس افراد جامعه وجود دارند که بر میزان سفرهای تولیدی افراد تأثیر گذار بوده ولی به راحتی قابل بیان و تفسیر نیستند [۱۷]. به طور کلی از بحث بالایی‌توان چنین نتیجه گرفت که پارامترهای پرشمار و گوناگونی در تولید سفرهای شهری دخالت دارند.

اما اصولاً همه این پارامترها به دلیل پیچیدگی و نیاز به حجم وسیع اطلاعات، در مدل‌سازی در نظر گرفته نمی‌شوند.

خردسال دارند، نسبت به یک زوج بدون فرزند (و یا با فرزند بزرگ‌تر که نیاز به توجه و مراقبت کمتری داشته باشد) میزان فعالیت و تحرک پذیری کمتری دارند. افراد مسن و بازنشسته‌ای هم که با افراد جوان‌تر خانواده زندگی می‌کنند نسبت به افراد مسنی که تنها زندگی می‌کنند فعالیت‌های خارج از منزل بیشتری را انجام می‌دهند. بنابراین خانواده‌هایی که در آن افراد خانواده نسبت به هم وابستگی کمتری دارند<sup>۷</sup> در مقایسه با خانواده‌هایی که اعضای آن وابستگی بیشتری با یکدیگر دارند، تمایل به انجام فعالیت‌هایی خواهند داشت که کمتر تحت تأثیر حضور سایر افراد خانواده قرار داشته باشند (مثلاً کمتر بودن تفاوت‌های سنی بین افراد و اهداف آنها باعث تنوع و تولید سفر کمتری در سطح خانواده می‌شود). در نتیجه یکی از راه‌حل‌های ممکن برای ارزیابی مسایل مطرح شده، تعریف پارامتری برای خانواده است که بتواند به نحوی مؤثر و مناسب نکات گفته شده را در برداشته باشد. یکی از راه‌حل‌های ممکن، تحلیل ساختار سنی افراد خانواده و شیوه زندگی<sup>۸</sup> آنها است [۷].

سالومون شیوه زندگی یک فرد را برآیند دیدگاه و هدف فرد در طول زندگی شخصی او می‌داند. سالومون ادعا کرده است که دیدگاه‌های افراد را می‌توان توسط سه عامل جزئی‌تر زیر مورد ارزیابی قرار داد:

- ۱- تصمیم فرد در خصوص چگونگی منزلش،
- ۲- هدف فرد از انجام کار،
- ۳- اولویت انتخاب فرد درباره نحوه سپری کردن اوقات فراغت خود [۱۶].

به عبارتی، برای بررسی دیدگاه فرد در طول زندگی او می‌توان به اولویت‌های انتخاب فرد در گزینش مکان محل سکونت خود، انجام کارهای شخصی و خودرو مورد علاقه‌اش برای سواری اشاره کرد. به طور کلی، دو مؤلفه اصلی تعریف کننده شیوه زندگی هر فردی را می‌توان شخصیت و موقعیت شغلی او دانست که هر دوی آنها تا حد زیادی معرف دیدگاه فرد در طول زندگی او هستند [۱۷].

تعداد سفرهای انجام شده افراد توابعی از مدت زمان و مبالغ اختصاص داده شده افراد به سفرها برای انجام فعالیت‌هایشان در مکان‌های گوناگون است. شیوه زندگی افراد نیز توابعی از مدت زمان‌های اختصاص داده شده آنها به فعالیت‌های گوناگونشان در داخل و خارج منزل است. بنابراین زمان اختصاص داده شده افراد

ولی در مجموعه فازی درجه‌هایی از تعلق برای یک مجموعه معرفی می‌شوند. یک مجموعه فازی تابع تعلق دارد که درجه‌های مختلفی از تعلق برای عناصر مشخص در آن تعریف می‌شوند. تابع تعلق به صورت مقادیر گسسته یا به وسیله منحنی‌هایی تعریف می‌شود. روشهایی بسیاری برای توصیف یک مجموعه فازی وجود دارد [۱۸]. پروسه فازی‌سازی<sup>۱</sup> مجموعه‌ای کلاسیک را به یک مجموعه تقریب زنده که فازی است تبدیل می‌کند [۱۹].

از آنجا که هر عضو و درجه تعلق آن، مستقل از عضو دیگر و درجه تعلق مربوط به آن است، فرآیند فازی‌سازی یک فرآیند خطی است و اصل جمع آثار در آن صدق می‌کند، یعنی هر عضو به تنهایی فازی می‌شود [۲۰]. منطق فازی بر اساس مفهوم مجموعه‌های فازی است و هر مقدار درستی در بازه [۰,۱] را می‌پذیرد. از مفاهیم مجموعه‌های فازی در جبر فازی استفاده می‌شود. به منظور طراحی، یک سیستم کنترل منطق فازی باید قادر به توصیف عملیات به صورت زبانی باشد. به بیان دیگر مراحل زیر باید انجام شوند [۲۱]:

- ۱) مشخص کردن ورودی‌ها و خروجی‌ها با استفاده از متغیرهای زبانی
- ۲) نسبت دادن توابع تعلق به متغیرها
- ۳) ایجاد قواعد پایه (اساسی)
- ۴) غیر فازی سازی<sup>۱۱</sup>

متغیرهای زبانی، توابع تعلق و قواعد پایه از تجربیات یک کاربر ماهر به دست می‌آیند. قواعد پایه زیاد، معمولاً منجر به عملکرد بهتری می‌شوند. سیستم‌های فازی "سیستم‌های مبتنی بر دانش یا قواعد" هستند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش است که از قواعد "اگر-آنگاه" فازی تشکیل شده است. منظور از سیستم فازی در مهندسی سیستم فازی با فازی‌سازی ۱۲ و غیر فازی سازی ۱۳ است [۲۱].

شکل ۱ یک سیستم فازی را نشان می‌دهد. در یک سیستم غیر فازی، تنها یک قاعده در یک زمان خاص وجود دارد، ولی در سیستم فازی ممکن است در همان زمان خاص بیش از یک قاعده ولی با قوت‌های متفاوت وجود داشته باشد. این قواعد با قوت‌های متفاوت منجر به عملیات کلاسیک در خلال فرآیند غیرفازی سازی می‌شوند. فرآیندهای غیرفازی سازی در سیستم‌های کنترل فازی استاندارد نیستند. از چندین روش مانند روش‌های عملیات (and - or) - max - min و روش مرکز ثقل یا COG (center of gravity) برای این کار می‌توان استفاده کرد [۱۸، ۲۲].

در این پژوهش چهار پارامتر ساختارمنزل، تعداد افراد خانواده، درآمد خانواده و مالکیت خودرو به عنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تولید سفر انتخاب شده‌اند. بنابراین در مدل فازی ارائه شده در این پژوهش این پارامترها به عنوان پارامترهای اصلی مؤثر در تولید سفر در توابع ورودی در نظر گرفته شده‌اند. صحت این انتخاب با استفاده از روش برازش خطی در بخش ۵ مجدداً مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

### ۳. نحوه گردآوری اطلاعات

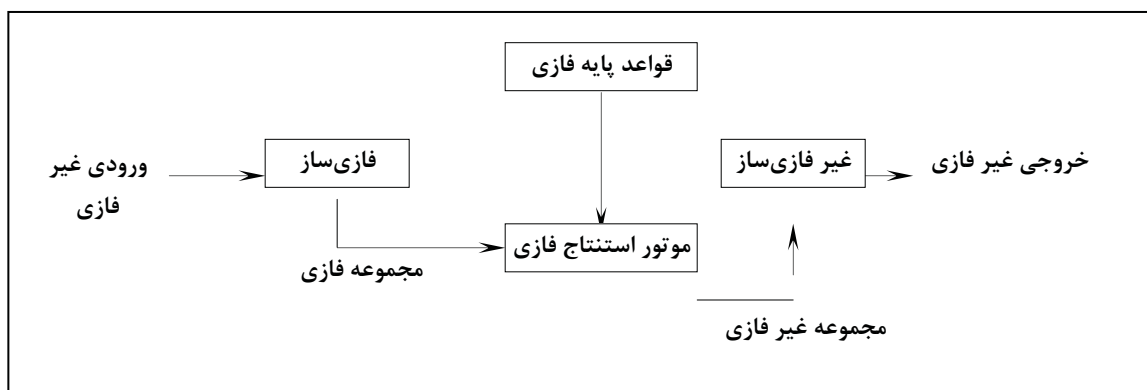
در این پژوهش برای گردآوری اطلاعات، شش هزار نسخه پرسشنامه که دربرگیرنده مشخصات و ویژگی‌های مؤثر در تولید سفر خانوار هستند تهیه و در سطح شهر رشت توزیع شد. بنابراین در مرحله نخست بخش عمده‌ای از پرسشنامه‌ها در بین استادان، دانشجویان، مربیان، مدیران، کارشناسان و کارمندان دانشگاه‌ها و ادارات توزیع شد. در مرحله دوم جهت تکمیل آمار برداشت شده و پوشش و تعمیم اطلاعات به دیگر گروه‌های اجتماعی اقدام به تهیه آمار از بین دیگر مشاغل (همچون نمونه‌هایی از جامعه پزشکان، مهندسين، بازرگانان، مغازه داران و تعمیرکاران) شد.

### ۴. کاربرد منطق فازی در تحلیل اطلاعات و

#### شناسایی مدل تولید سفر

#### ۴-۱ مقدمه ای بر کنترل فازی

امروزه منطق فازی به عنوان یک ابزار قدرتمند ریاضی در علوم مختلف مهندسی به ویژه مهندسی عمران و حمل و نقل، جایگزین ریاضیات کلاسیک شده است. این امر موجب کاهش پیچیدگی روابط ریاضی حاکم بر مدل‌ها می‌شود. ابهامات یک وضعیت نامعلوم ولی متفاوت از پدیده‌های تصادفی هستند. اکثر اطلاعات بشری قابل دسته بندی در دو گروه نیستند، برای مثال نمی‌توان مردم را به دو گروه خوب و بد تقسیم کرد. همچنین دسته‌بندی پارامترهایی چون دما، فشار، اندازه و مانند آن در دو گروه صفر و یک ممکن نیست. برای توصیف چنین پارامترهایی درجه‌ای به آنها تعلق می‌گیرد که این درجه‌ها بستگی به عوامل مختلفی مانند موقعیت و آزمایش دارد. این ایده بر اساس مجموعه‌های فازی نسبت به منطق کلاسیک است. در مجموعه کلاسیک، یک شیء به مجموعه تعلق دارد یا ندارد،



شکل ۱. نمایش یک سیستم فازی

نرمالیزه شده و از نسبت های ساختار منزل، تعداد افراد خانواده و مالکیت خودرو به درآمد، به عنوان توابع ورودی و نسبت تعداد سفرهای تولید شده به درآمد به عنوان تابع خروجی برای ایجاد مدل فازی است. اساس این روش استفاده از فرآیند فازی سازی - غیر فازی سازی است و انتخاب توابع ورودی و خروجی براساس داده های به دست آمده از تحقیق انجام شده در سطح شهر رشت است. برای رسیدن به این منظور مراحل زیر به ترتیب انجام شده‌اند:

۱. تعریف مجموعه‌های فازی که زوج های ورودی و خروجی را پوشش دهد.

این مجموعه‌ها به صورت توابع تعلق مثلثی انتخاب شده‌اند. برای ورودی اول یعنی نسبت تعداد افراد خانواده به درآمد ۴ مجموعه فازی با گام های ۰/۳۵ در بازه (۰/۲ ۲/۳) با نام‌های "very low", "low", "normal" و "high". ۳ مجموعه فازی با نام های "low", "normal" و "high" در بازه (۰/۱ ۲/۱) با گام های ۰/۵ برای نسبت مالکیت خودرو به درآمد و ۶ مجموعه فازی با نام های "low", "normal", "almost normal", "high", "very low" و "very high" با گام های ۰/۲ در بازه (۰/۱۵ ۲/۱۵) برای نسبت ساختار خانه درآمد تعریف می‌شود که توابع تعلق آنها در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ آمده است. تابع تعلق خروجی نیز به صورت مثلثی و در ۵ مجموعه فازی با عناوین "very low", "low", "normal", "high" و "very high" در بازه (۰/۵ ۶/۱) و با گام‌های ۰/۷ در شکل ۵ نشان داده شده است. بازه‌های انتخاب شده برای توابع ورودی و خروجی براساس اطلاعات

از چندین روش مانند روش‌های عملیات  $\min$  -  $\max$  (and- or) و روش مرکز ثقل یا COG (center of gravity) برای این کار می‌توان استفاده کرد [۱۸، ۲۲].

اساساً گرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیرقطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق است. دو رویکرد برای تئوری سیستم‌های فازی وجود دارد:

- ۱) پیچیدگی بیش از حد دنیای واقعی که منجر به توصیفی تقریبی یا فازی برای مدل کردن یک سیستم می‌شود.
  - ۲) نیاز به فرضیه‌ای برای فرموله کردن دانش بشری به شکلی نظام‌مند و قرار دادن آن در سیستم‌های مهندسی.
- رویکرد دوم وجود تئوری سیستم‌های فازی را به عنوان یک شاخه مستقل در علوم مهندسی توجیه می‌کند [۲۳].

#### ۴-۲ ساخت مدل فازی

در این پژوهش به کمک منطق فازی روش نوینی برای پیش‌بینی تعداد سفرهای تولید شده با استفاده از داده‌های مربوط به تولید سفر در شهر رشت ارائه شده است. برای ساخت مدل فازی باید اثر چهار پارامتر مهم ساختار منزل، تعداد افراد خانواده، مالکیت خودرو و درآمد بررسی شوند. آن‌جا که داده‌های این پارامترها اعداد صحیح هستند و تبدیل اعداد صحیح به فرم فازی مفهومی ندارد، بنابراین سه پارامتر ساختار منزل، تعداد افراد خانواده و مالکیت خودرو نسبت به درآمد که یکی از مهم‌ترین پارامترهای تولید سفر است،

یک درجه نسبت داده می‌شود. قاعده با بالاترین درجه نگهداری و بقیه قواعد را حذف می‌شوند. به این ترتیب نه تنها مشکل قواعد متضاد حل می‌شود بلکه تعداد قواعد نیز کاهش می‌یابد.

#### ۴. ایجاد پایگاه قواعد فازی

پایگاه قواعد شامل ۳ مجموعه قواعد زیر است:

۱- قواعد تولید شده در گام دوم که با هیچ یک از قواعد تضاد ندارند.

۲- قاعده‌ای که از بین یک گروه قواعد متضاد دارای بالاترین درجه باشد.

۳- قواعد زبانی از دانش انسان‌های خبره (دانش خود آگاه) قواعد اولیه از دانش ناخودآگاه به دست آمده‌اند. پایگاه قواعد فازی نهایی، از هر دو مجموعه دانش خودآگاه و ناخودآگاه تشکیل شده است [۱۹].

#### ۵. ساخت سیستم فازی بر اساس پایگاه قواعد فازی

در این مرحله که مرحله نهایی است از سیستم فازی با موتور استنتاج ضرب، فازی ساز منفرد و غیرفازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است.

موجود از تحقیق صورت گرفته است. نکته قابل یادآوری آن است که انتخاب توابع تعلق در فرم‌های دیگر تغییری در نتیجه حاصل نمی‌کند. به عنوان مثال اگر از تابع تعلق گاوسی استفاده شود، به جواب‌های بسیار مشابه خواهیم رسید. ولی از آن جا که استفاده از تابع تعلق گاوسی پیچیدگی مسأله را افزایش می‌دهد و هدف، رسیدن ساده‌تر و سریع‌تر به جواب دقیق بوده است، از تابع تعلق مثلثی استفاده شد.

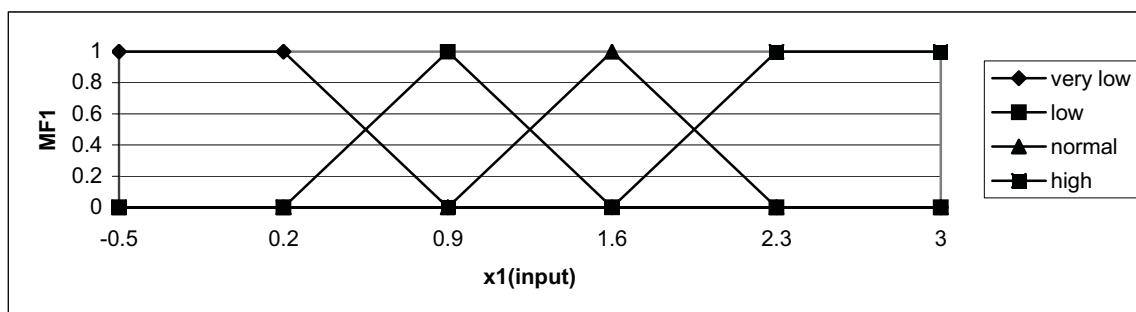
#### ۲. تولید یک قاعده از روی یک زوج ورودی- خروجی

ابتدا برای هر زوج ورودی- خروجی مقادیر تعلق در مجموعه‌های فازی ورودی و خروجی را تعیین کرده و سپس قواعد "اگر- آنگاه" فازی را، به عنوان مثال به صورت زیر به دست می‌آوریم:

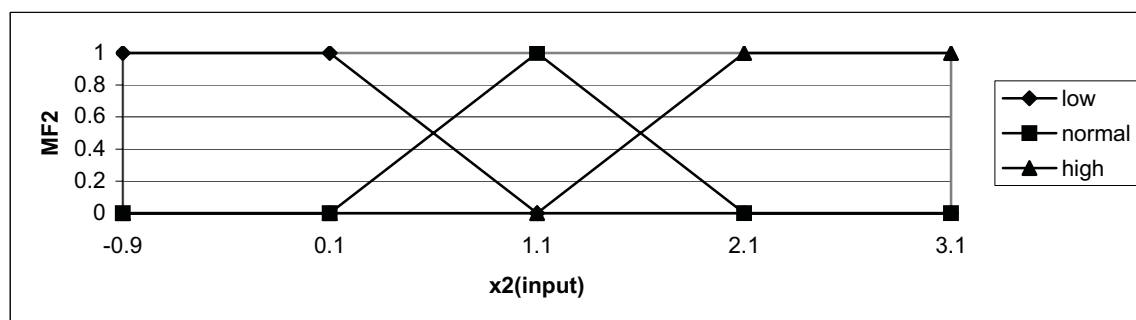
اگر  $x_1$ , very small,  $x_2$ , low,  $x_3$ , small باشد، آنگاه  $y$  یعنی نسبت تعداد سفرهای تولید شده به درآمد، very low خواهد بود.

۳. نسبت دادن یک درجه به هر قاعده تولید شده در گام دوم به منظور حذف قواعد متضاد

قواعد متضاد، قواعدی با بخش اگر "یکسان و آنگاه" متفاوت‌اند. برای حذف این قواعد به هر قاعده در گام دوم

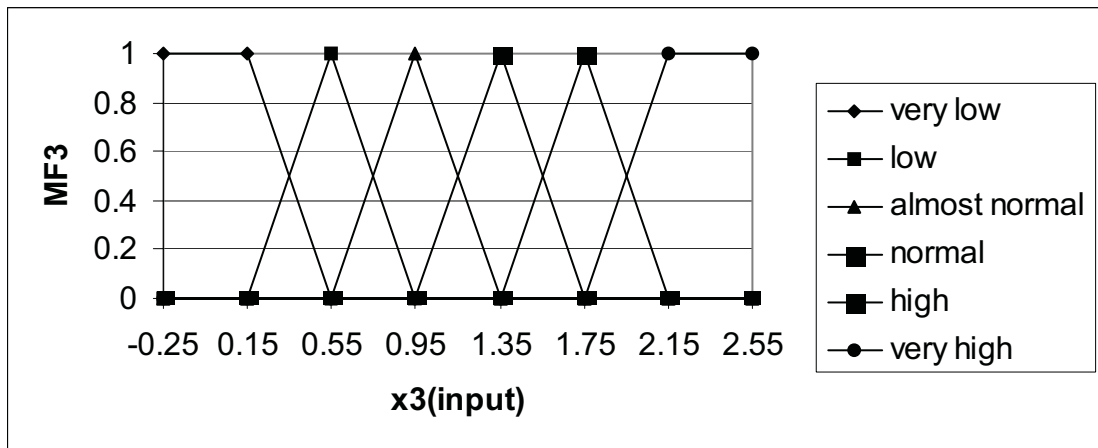


شکل ۲. تابع تعلق نسبت تعداد افراد خانواده به درآمد

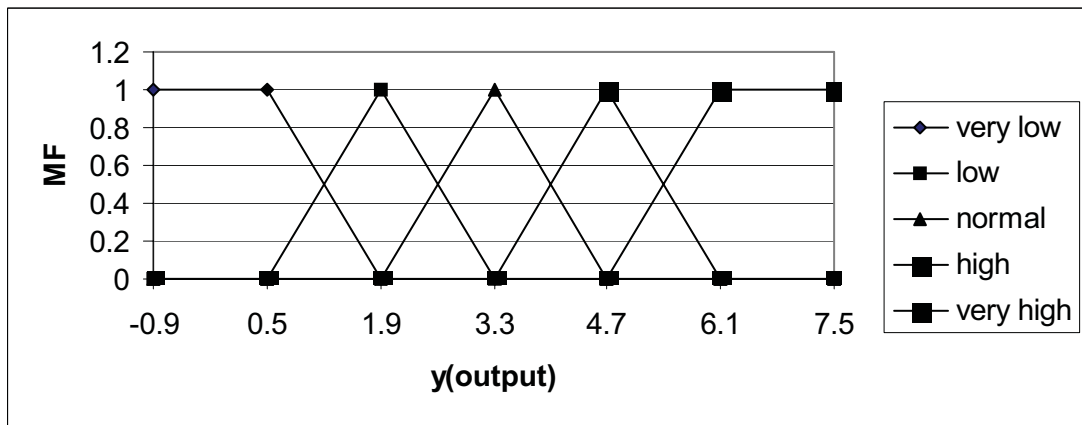


شکل ۳. تابع تعلق نسبت مالکیت خودرو به درآمد





شکل ۴. تابع تعلق نسبت ساختار منزل به درآمد



شکل ۵. تابع تعلق نسبت تعداد سفرهای تولید شده به درآمد

$$\mu_{B'}(y) = \max_{l=1}^M \left[ \sup \left( \mu_{A'}(x) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x_i) \mu_{B_l'}(y) \right) \right] \quad (1)$$

با توجه به رابطه (۱) با داشتن مجموعه فازی  $A'$  در  $U$  موتور استنتاج ضرب مطابق رابطه (۱) مجموعه فازی  $B'$  در  $V$  قابل تعیین است. در ادامه با استفاده از فازی سازی منفرد یک نقطه با مقدار حقیقی به یک منفرد فازی نگاشته شده است. غیر فازی ساز میانگین مراکز، متداول‌ترین غیر فازی ساز مورد استفاده در سیستم‌های فازی و کنترل فازی است، زیرا از نظر محاسباتی ساده و از نظر شهودی توجیه پذیر است. استفاده از سایر غیر فازی‌سازها تنها پیچیدگی مسأله را بیشتر کرده و به زمان بیشتری برای محاسبات نیاز دارد. برای مثال با استفاده از غیر فازی ساز مرکز ثقل، محاسبات بسیار طولانی‌تر و پیچیده‌تر خواهند بود.

در موتور استنتاج ضرب از استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع، لزوم حاصل ضرب ممدانی (Memdani) و ضرب جبری برای  $t$ -نرم‌ها و  $\max$  برای  $s$ -نرم‌ها به کار گرفته شده است. در استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه، هر قاعده در پایگاه قواعد فازی یک خروجی فازی را تعیین کرده و خروجی نهایی، ترکیب  $M$  خروجی جداگانه مجموعه‌های فازی است. عمل ترکیب را می‌توان به وسیله اجتماع یا اشتراک انجام داد که در اینجا از اجتماع استفاده شده است. در انجام این پژوهش از استلزام ممدانی که به طور وسیع در سیستم‌ها و کنترل فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهره‌گیری شده است. در نهایت معادله به دست آمده برای استنتاج ضرب به صورت زیر است:

روش تلاش برای یافتن رابطه‌ای خطی بین تعداد سفرهای تولیدی یا جذبی با توجه به متوسط ویژگیهای اجتماعی - اقتصادی مناطق و یا مشخصات خانوارهای موجود در هر منطقه صورت می‌گیرد.

انتخاب بهترین فرم معادلات برازش خطی و تعیین پارامترهای آن نیاز به تجربه و مطالعات فراوانی در خصوص موضوع مورد بررسی دارد. شکل معمول استفاده از مدل همبستگی، استفاده از مدل خطی رگرسیون به شکل زیر است:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n \quad (5)$$

در این رابطه  $Y$  متغیر وابسته،  $X$  ها متغیرهای مستقل و  $a$  ها پارامترهای مدل هستند که قبل از هر چیز در مدل تعیین می‌شوند.

در مدل‌های تولید سفر خانه مبنا، متغیر وابسته نرخ تولید سفر خانواده است. این مدلها از اوایل دهه ۱۹۷۰ مطرح شدند. هر یک از پارامترهای مستقل در این مدلها معرف یکی از مشخصات و ویژگیهای رفتاری خانواده هستند. بنابراین تهیه یک مدل برازش خطی خانه مبنا نیاز به بررسی‌های جامعی در رفتار و ویژگیهای سفرهای خانوارها دارد. معمولاً در ساخت مدل تولید سفر از اطلاعات مربوط به سال مبنا استفاده می‌شود. بنابراین پس از ساخت یک مدل می‌توان تعداد سفرهای تولیدی روزانه یک خانواده را با توجه به ویژگیهای رفتاری آن خانواده تعیین کرد.

یک معضل اصلی در ساخت و شکل‌گیری معادلات رگرسیون، استفاده از پارامترهایی است که بتوانند به بهترین شکل بیانگر تعداد سفرهای تولیدی روزانه یک خانواده باشند، زیرا استفاده از تمامی پارامترها در یک مدل، کاری دشوار، پرحجم و غیر عملی است. همچنین در این صورت نیاز به حجم وسیعی از اطلاعات ورودی است که جمع‌آوری آنها کاری دشوار و حتی غیر ممکن است.

برای ساخت کوتاه‌ترین و مناسب‌ترین معادله برازش خطی، در ساخت مدلها یا معادلات رگرسیون از روش گام به گام<sup>۱۴</sup> استفاده می‌شود.

در نتیجه در این پژوهش از غیرفازی ساز میانگین مراکز<sup>۱۳</sup> که به صورت زیر تعریف می‌شود، استفاده شد:

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} w_l}{\sum_{l=1}^M w_l} \quad (2)$$

در این رابطه  $Y$  مرکز مجموعه فازی و  $w_l$  درجه ارتفاع آن است [۲۱]. در نهایت خروجی سیستم فازی از رابطه زیر قابل تعیین است:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \left( \prod_{i=1}^l \mu_{A_i^l}(x_i) \right)}{\sum_{l=1}^M \left( \prod_{i=1}^l \mu_{A_i^l}(x_i) \right)} \quad (3)$$

که  $x \in U$  ورودی سیستم فازی و  $f(x) \in V$  خروجی سیستم فازی است. پس از ساخت سیستم فازی، از این سیستم نسبت تعداد سفرهای تولید به درآمد با استفاده از داده‌های تحقیق قابل پیش بینی است. هدف این پژوهش پیش بینی تعداد سفرهای تولید شده است نه نسبت تعداد سفرهای تولیدی به درآمد. بنابراین در ادامه برای رسیدن به این هدف، خروجی مدل فازی در درآمد متناظر ضرب می‌شود تا تعداد سفرهای تولید شده محاسبه شود. از آن جا که طی مراحل فازی سازی و غیر فازی سازی اعدادی اعشاری نتیجه می‌شود، نتیجه نهایی به صورت جزء صحیح خروجی مدل فازی ضرب در درآمد متناظر در نظر گرفته می‌شود. یعنی اگر  $Y$  خروجی مدل فازی و  $I$  درآمد متناظر با این خروجی باشد، آنگاه تعداد سفرهای تولید شده به صورت زیر بیان می‌شود:

$$N.T.G = [Y * I] = \text{تعداد سفرهای تولید شده} \quad (4)$$

## ۵. کاربرد روش برازش خطی در تحلیل

### اطلاعات و شناسایی الگوریتم تولید سفر

یکی از متداول‌ترین روش‌های بکار رفته در ساخت مدلهای تولید سفر، روش برازش خطی (رگرسیون) است. در این

وجه تغییرات مشاهده شده در میزان پارامتر وابسته را تحلیل کرده و در ساخت معادله رگرسیون مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به توضیحات بالا و با استفاده از روش گام به گام، اطلاعات گردآوری شده در این پژوهش مورد تحلیل قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که پارامتر درآمد به عنوان اولین و مهم‌ترین پارامتر از ویژگی‌های خانواده بیشترین میزان همبستگی را با پارامتر وابسته دارد و پس از آن پارامترهای تعداد افراد خانواده و سهم مالکیت خودرو به ترتیب دومین و سومین پارامترهای مهم در سیستم اطلاعات هستند که به ترتیب معادلات سه متغیره و چهار متغیره به دست آمده از برازش خطی آنها بیشترین میزان همبستگی را (در مقایسه با باقی معادلات مشابه) در ارزیابی پارامتر وابسته دارند. جدول ۱، معادلات برازش خطی به دست آمده را نشان می‌دهد ولی از آن جا که پارامتر ساختار منزل نیز یکی از پارامترهای مهم در تولید سفر است و مدل فازی ارایه شده در این پژوهش براساس چهار پارامتر ساختار منزل، درآمد، مالکیت خودرو و تعداد افراد خانواده که عموماً مهم‌ترین پارامترها در تولید سفر هستند، ایجاد شده است، بنابراین برای مقایسه معادله برازش خطی براساس این چهار متغیر نیز به دست آمد. این معادله به صورت زیر بیان می‌شود.

در این حالت پارامترهای مختلف برای دستیابی به بهترین ترکیب خطی در تهیه مدل مورد آزمایش قرار می‌گیرند به صورتی که بتوانند بیشترین میزان  $R^2$  را در ساخت معادله ارایه کنند. در این روند ابتدا میزان  $R^2$  تک تک پارامترهای مستقل در برآورد پارامتر وابسته مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا مشخص شود که کدام پارامتر مستقل بیشترین میزان همبستگی را با پارامتر وابسته دارد. در مرحله بعدی، این فرآیند را با افزایش هر یک از پارامترهای مستقل دیگر به غیر از پارامتر اولیه در قالب یک معادله برازش خطی سه متغیره (یعنی با دو پارامتر مستقل) ادامه می‌دهند و در هر مرحله میزان  $R^2$  به دست آمده را محاسبه می‌کنند. این روند تا زمان تعیین بهترین پارامتر ثانویه از صفات خانواده ادامه خواهد داشت، به صورتی که معادله برازش خطی حاصل از آن با پارامتر اولیه در مقایسه با باقی ترکیبات سه متغیره، بیشترین میزان  $R^2$  را داشته باشد. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که با افزایش یک پارامتر مستقل دیگر به مدل، تغییرات مشاهده شده در میزان  $R^2$  اندک و قابل چشم پوشی باشد. پارامترهای موجود در معادله خطی به دست آمده از این روش به ترتیب (از اولین چرخه) مهم‌ترین پارامترهای تعریف شده در سیستم هستند. به عبارتی از دیدگاه روش رگرسیون، این پارامترها می‌توانند به بهترین

جدول ۱. معادلات برازش خطی گام به گام

گام	معادلات	$R^2$	پارامترها
۱	$Y = 2.04X_1 - 0.139$	٪۶۲.۸	$X_1 =$ درآمد
۲	$Y = 1.41X_1 + 1.85X_2 - 2.26$	٪۶۹.۹	$X_2 =$ تعداد اعضای خانواده
۳	$Y = 0.973X_1 + 1.93X_2 + 1.78X_3 - 3.34$	٪۷۲.۶	$X_3 =$ تعداد خودرو
۴	$Y = 0.973X_1 + 1.93X_2 + 1.78X_3 - 3.34 + 0.054X_4$	٪۷۲.۷	$X_4 =$ ساختار منزل

جدول ۲. مقایسه بین روش برازش خطی سه متغیره و روش فازی با سه پارامتر

خطای فازی	خطای برازش	N.T.G برازش	N.T.G فازی	N.T.G آماری
%۰	%۱۱	۸	۹	۹
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۰	%۰	۱۰	۱۰	۱۰
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۰	%۰	۱	۱	۱
%۲۵	%۵۰	۶	۴	۴
%۱۱	%۲۲	۱۱	۹	۹
%۰	%۱۲/۵	۹	۸	۸
%۷/۱۴	%۷/۱۴	۱۳	۱۴	۱۴
%۲۰	%۲۰	۶	۵	۵
%۵	%۵	۱۹	۲۱	۲۰
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۸/۳۳	%۱۶/۶۷	۱۴	۱۲	۱۲
%۸/۳۳	%۱۶/۶۷	۱۴	۱۲	۱۲
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۰	%۵۰	۳	۲	۲
%۵/۵۵	%۱۱/۱۱	۱۶	۱۸	۱۸
%۱۲/۵	%۱۲/۵	۹	۸	۸
%۱۴/۲۸	%۱۴/۲۸	۶	۷	۷
%۱۴/۲۸	%۱۴/۲۸	۶	۷	۷

جدول ۳. مقایسه بین روش برازش خطی چهار متغیره و روش فازی با چهار پارامتر

خطای فازی	خطای برازش	N.T.G برازش	N.T.G فازی	N.T.G آماری
%۰	%۱۱	۸	۹	۹
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۰	%۰	۱۰	۱۰	۱۰
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۰	%۰	۱	۱	۱
%۰	%۵۰	۶	۴	۴
%۰	%۲۲	۱۱	۹	۹
%۰	%۱۲/۵	۹	۸	۸
%۰	%۷/۱۴	۱۳	۱۴	۱۴
%۰	%۲۰	۶	۵	۵
%۵	%۵	۱۹	۲۱	۲۰
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۰	%۱۶/۶۷	۱۴	۱۲	۱۲
%۰	%۱۶/۶۷	۱۴	۱۲	۱۲
%۰	%۰	۲	۲	۲
%۰	%۵۰	۳	۲	۲
%۰	%۱۱/۱۱	۱۶	۱۸	۱۸
%۰	%۱۲/۵	۹	۸	۸
%۰	%۱۴/۲۸	۶	۷	۷
%۰	%۱۴/۲۸	۶	۷	۷

## ۶. مقایسه نتایج

به منظور نشان دادن دقت بسیار بالای روش فازی پیشنهادی، این روش و الگوریتم به دست آمده از تحلیل برآزش خطی گام به گام مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. از آن جایی که در روش برآزش خطی سه پارامتر درآمد، مالکیت خودرو و تعداد افراد خانواده به عنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تولید سفر شناخته شدند، در ابتدا مدل فازی براساس این سه پارامتر ایجاد شد. نتایج مدل فازی با سه پارامتر مذکور در جدول ۲ آورده شده است. برای مقایسه‌ای بین نتایج این مدل و روش برآزش خطی با معادله سه متغیره، نتایج این روش نیز در جدول ۲ آمده است. ولی خطای ناشی از مدل فازی مذکور به اندازه‌ای بود که بنا شد از پارامتر ساختار خانه نیز که یکی از پارامترهای اصلی تولید سفر است، در ایجاد مدل استفاده شود. در نتیجه مدل فازی براساس چهار پارامتر درآمد، مالکیت خودرو، تعداد افراد خانواده و ساختار منزل خانه شد. برای مقایسه با روش برآزش خطی، از معادله برآزش خطی ۴ متغیره استفاده شد.

همان طور که پیش‌بینی می‌شد، در نتایج حاصل از معادله برآزش خطی سه متغیره و چهار متغیره تفاوتی مشاهده نشد، زیرا ضریب‌های همبستگی این دو معادله تنها ۰/۱ درصد با یکدیگر تفاوت دارد. بررسی نتایج حاصل از مدل فازی با سه پارامتر و چهار پارامتر نشان داد که این دو مدل به طور قابل توجهی با هم فرق دارند و وارد نمودن پارامتر ساختار خانه منجر به جواب بسیار دقیق‌تری می‌شود. برای مقایسه بین روش فازی نهایی و تحلیل برآزش خطی، این دو روش بر روی ۲۰ دسته از اطلاعات آماری تصادفی که با استفاده از نرم افزار MATLAB انتخاب شدند، اجرا گردیدند و نتایج این مقایسه در جدول ۳ آمده است.

نتایج موجود در جدول بیانگر آن است که در روش برآزش خطی به استثنای یک مورد که می‌تواند ناشی از پراکندگی داده‌ها باشد، حداکثر خطا حدوداً برابر با ۲۲٪ است. در حالی که روش فازی تقریباً بدون خطا منجر به جواب‌های بسیار دقیق می‌شود.

خطای روش فازی بجز یک مورد برای همه داده‌ها برابر صفر گردیده است. علاوه بر آن روش برآزش خطی تنها برای محدوده خاصی از داده‌ها منجر به جواب نسبتاً درست می‌شود در حالی که روش فازی برای همه محدوده‌ها به درستی و با دقت بالا جواب می‌دهد.

یکی دیگر از مزایای روش فازی پیچیدگی ریاضی نسبتاً کمتر این روش نسبت به روش برآزش خطی است.

با توجه به بررسی‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که روش فازی ارایه شده در این پژوهش از دقت زیادی نسبت به دیگر روش‌های موجود برخوردار است و یکی از مطمئن‌ترین روش‌ها در پیش‌بینی تعداد سفرهای تولید شده است.

## ۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش از روش مدل فازی برای پیش‌بینی تولید سفر استفاده شده است. برای این منظور ۱۳ مشخصه مهم از ویژگی‌های رفتاری خانواده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و ۴ پارامتر تعداد افراد خانواده، درآمد، مالکیت خودرو و ساختار خانه که مهم‌ترین مشخصات از ویژگی‌های یک خانوارند و در پیش‌بینی تعداد سفرهای روزانه یک خانواده نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند، به عنوان پارامترهای اصلی تولید سفر انتخاب شده‌اند.

این ۴ پارامتر به عنوان توابع ورودی در ایجاد روش مدل فازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای معتبر ساختن روش پیشنهادی خود با استفاده از روش برآزش خطی معادله همبستگی تعداد سفرهای تولید شده بر حسب چهار پارامتر مذکور تعیین شد و نتایج آن با مدل فازی ارایه شده مقایسه شد. برای این منظور این دو روش برای ۲۰ دسته از اطلاعات آماری تصادفی اجرا شدند.

نتایج به دست آمده از اجرای این دو روش نشان داده است که مدل فازی ارایه شده یکی از مطمئن‌ترین روش‌ها در پیش‌بینی تعداد سفرهای تولید شده یک خانواده است.

Home Interview Survey." Transportation Research Record 1220 (TRR), pp. 389-402.

11. Zhao, H. (2000) "Comparison of two alternatives for trip generation", Paper No. 000546, Transportation Research Board, 79<sup>th</sup> Annual Meeting, January 9-13, 2000, Washington D.C.
12. Shafahi, Y and Farzaneh (2002) "Application of NNs and NFSs in forecasting trip demand in large cities." T.R.B. 81<sup>st</sup>. Annual Meeting, Washington D.C.
۱۳. عربانی، مهیار، خاکی، علی منصور و امانی، بابک (۱۳۸۴) "تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تفکیک سفر با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، دومین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ایران.
۱۴. عربانی، مهیار، خاکی، علی منصور و امانی، بابک (۱۳۸۴) "شناسایی پارامترهای مؤثر در تولید سفر با استفاده از روش نظریه مینا"، مجله بین‌المللی علوم مهندسی، دانشگاه علم و صنعت.
15. Lane, Robert , Powell, Timothy J and Prestwood Smith, Paul (1971)"Analytical transport planning", Gerald Duckworth, pp. 116-128.
16. Salomon, I. (1983) "Life-styles: a boarder perspective on travel behavior", In Recent Advances in Travel Demand Analysis. Gower, Aldershot, Hampshire, England.
17. Papacostas, C.S. and P.D.Prevedouros, P.D. (1993) "Transportation engineering and planning, 2<sup>nd</sup> ed." Prentice-Hall International, Inc., pp. 345-358
۱۸. ونگ، لی (۱۳۷۸) "سیستم‌های فازی و کنترل فازی" ترجمه محمد تشنه لب، تهران: انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
19. Ibrahim, A.M. (1992) "Introduction to applied fuzzy electronics", Prentice Hall.
1. Valentin, Cortus A., Prashker, Joseph N. and Shiftan, Yorma (2003) "Analysis of trip generation in Israel for the years 1984,1996/7 and spatial and transferability of trip generation demand models", T. R. B. Annual Meeting.
2. Ortuzar, J. and Willumsen, L. G. (1994) "Trip generation modeling", Modeling Transportation, 2<sup>nd</sup>. Edition, pp. 94-126.
3. Atherton, T. and Ben-Akiva, M. (1976) "Transferability and updating of disaggregate travel demand models", Transportation Research Record (T.R.R.) No. 610, pp. 12-18.
4. Downes, J. D. and L. Gyenes, L. "Temporal stability and forecasting ability of trip generation models in reading", TRRL Laboratory Report 726.
5. Supernak, J., Talvitie, A. and De John, A. (1983) "Person-Category Trip Generation Model" Transportation Research Record 944 (TRR), pp. 74-83.
6. Supernak, J. (1983) "Transportation modeling: lessons from the past and tasks for the future", Transportation, 12, pp. 70-90.
7. Ortuzar, Juan de Dios and Willumsen, Luis G. (2001) "Modeling transport - 3rd ed." John Wiley & Sons, pp.199-245
8. Fleet, C. and Robertson, S. (1968) "Trip generation in the transportation planning process", Highway Research Board Record 240, pp. 11-31.
9. Wilmot, C.G. (1995) "Evidence on transferability of trip generation models" Journal of Transportation Engineering, 09, pp. 405-410.
10. Walker ,W.T. and Olanipekun, O.A. (1989) "Interregional stability of household trip generation rates from the 1986 New Jersey

۲۲. عربانی، مهیار، مدندوست، رحمت و ربیعی، شهره (۱۳۸۴)  
"بهره‌گیری از منطق فازی در تعیین مقاومت بتن در جا"،  
دومین کنفرانس بین‌المللی بتن و توسعه، تهران، ایران.

23. Arabani, M. and Pourzeynali, S. (2005)  
"Fuzzy logic methodology to evaluate the service  
leve.

20. Terano, T., Asia, K. and Sugeno, M. (1992)  
"Fuzzy system theory and its applications",  
Toronto,  
Academic  
Press Inc.

21. Laviolette, M. and Seaman, J. W.(1994) "The  
efficiency of fuzzy representations of  
uncertainty", IEEE Trans. Fuzzy Systems,  
No.2 , pp.4-15.

## پانویس‌ها

- 8.Segments of Population
- 9.Fuzzification
- 10.Defuzzification
- 11.Fuzzifier
- 12.Defuzzifier
13. Center Average Defuzzifier
14. Stepwise

- 1.Regression-Based Models
- 2.Cross-Classification
- 3.Probit
- 4.Logit
- 5.Rough-set
- 6.Mode Availability
7. Unrelated Individuals

# Urban Trip Generation using Fuzzy Logic Based on a Case Study in the City of Rasht

*M. Arabani, Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Gilan, Gilan, Iran*

*Sh. Rabiee, MSc., Department of Electronical Engineering, University of Gilan, Gilan, Iran*

*B. Amani, MSc., Department of Civil Engineering, Azad University of South Tehran, Tehran, Iran*

*E-mail: m\_arabani@yahoo.com*

## ABSTRACT

Updating and predicting different types of Trip Generation Models (TGM) is always known as a challenge in different studies. Trip Generation (TG) is the first and one of the most important stages between fourfold trip demand prediction stages that its goal is to estimate the total number of generated trips from one source. Researchers such as Ortuzar and Willumsen emphasized that more non-congestion trip generation models have better prediction and adaptation ability. So in many years to validate different ideas, experts have invented variety of models and they always try to estimate the number of generated trips in a better method helping newer model presentation. Also they try to decrease the previous models problems and defects as much as possible.

At this research a new method using fuzzy logic was presented to predict the number of generated trips using trip generation data in City of Rasht, in north Iran. For configuration of the fuzzy model four important parameters have to be considered: household structure, family size, car ownership and income. Data of these parameters are integer and converting the integer numbers to fuzzy form is meaningless. Therefore, three parameters; household structure, family size and car ownership were normalized to income that is one of the most important parameters at trip generation. Then to develop fuzzy model, the ratio of household structure, family size and car ownership to income was used as input functions and the ratio of number of generated trips to income was used as output function. The basic idea at this method is using fuzzification-defuzzification procedure and selecting input-output function based one data of one research in City of Rasht.

One of the more common methods to develop TGMs is step-wise regression method. To represent very high accuracy of proposed fuzzy method, this model was considered and compared with step-wise regression analysis, step by step. Because of three parameters: family size, car ownership and income were identified as the most effective parameters in TG, at first fuzzy model was developed versus these three parameters, then proposed model was developed using four parameters: household structure, family size, car ownership and income. To compare with step-wise regression method, 4-variable step-wise regression equation was used. As we predicted before, the results of 4-variable and 3-variable step-wise regression equations do not have any differences, because these correlation coefficients have only 0.1% difference. The result of fuzzy model with 4 parameters and 3 parameters represent that these two models have differences remarkable and using household structure-parameter as an extra input leads to exact accurate results. To compare, these two methods, fuzzy model and step-wise regression analysis, were performed on 20 groups of random statistical data of City of Rasht that was selected with MATLAB software. Result of these comparison shows that in step-wise regression method except one that can originate from data dissipation maximum error was 22%, but fuzzy method approximately without error leads to very accurate results. Fuzzy method error was zero for all data except one. In addition to fuzzy method leads to correct and very accurate results for all ranges of data, but



step-wise regression method results correctly only for given ranges of data. Another benefit of fuzzy method is that this has less mathematical complexity with the compare of step-wise regression method.

According to above-mentioned consideration, it can be concluded that proposed fuzzy method at this research has high accuracy compared to other methods and this model is one of the most assured methods for prediction of generated trips.

**Keywords:** Trip generation, fuzzy logic, Stepwise regression method,