

## مدلسازی تولید سفر با استفاده از روش شبکه‌های عصبی - فازی

یوسف شفاهی

استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف

محمد رضا فرزانه

فارغ التحصیل کارشناس ارشد مهندسی راه و ترابری - دانشگاه تهران

محمد تشنه لب

استادیار دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت ۷۹/۱۰/۳، تاریخ تصویب ۸۱/۷/۲۰)

### چکیده

دستیابی به یک نتیجه دقیق و مناسب در فرآیند چهار مرحله‌ای آنالیز سفر به روش  $UTMS^1$  وابسته به برآورد دقیق و قابل قبول تعداد سفرهای تولید شده در نواحی مختلف شهر است. در بررسی مرحله ایجاد سفر<sup>۲</sup> با توجه به وابستگی شدید میزان سفر تولید شده در یک ناحیه به اطلاعات سهل‌الوصولی نظیر جمعیت، برآورد تولید سفر معمولاً با دقت خوبی انجام می‌گیرد. از اینروست که در صورتیکه مقادیر برآورد شده دیگر نظیر مقادیر جذب سفر با برآوردهای تولید سفر همخوانی نداشته باشد، این تولید سفر است که مورد قبول واقع شده و برآوردهای دیگر نظیر جذب سفر با توجه به این موضوع تصحیح می‌شوند. افزایش دقت پیشبینی به صورت کلی از دو راه امکان‌پذیر می‌گردد. اول افزایش دقت و ابعاد پایگاه داده‌های مورد استفاده و دوم استفاده از روشهای پیشرفته‌تر مدلسازی. از آنجاییکه افزایش کیفیت و کمیت اطلاعات مورد نیاز امری هزینه‌بر (چه از نظر مالی و چه از نظر زمانی) است، لذا به نظر می‌رسد که بهتر آن است که به دنبال استفاده از روشهای پیشرفته‌تر مدلسازی باشیم. در این میان روش مدلسازی عصبی- فازی<sup>۳</sup> به عنوان یک گزینه مناسب برای ایجاد مدل تولید سفر در این تحقیق مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است. نکته مهم در استفاده از سیستمهای عصبی- فازی، نحوه آموزش این سیستمها با توجه به محدودیت اطلاعات مربوط به این مسأله است. روش ارایه شده در این مقاله با ترکیب مدلسازی کلاسیک مبتنی بر رگرسیون خطی و سیستمهای عصبی- فازی تا حد زیادی در انجام این امر موفق بوده است. این روش مدلسازی برای پردازش مدلهای شهر شیراز بر مبنای اطلاعات مطالعه جامع حمل و نقل سال ۱۳۶۹ به کار گرفته شد. مقایسه‌های انجام شده نشان می‌دهد که مدلهای ساخته شده توسط روش ارایه شده قابلیت پیاده‌سازی دقیقتر رابطه بین پارامترهای اصلی مدل و تعداد سفرهای تولید شده را در مقایسه با روشهای مبتنی بر آنالیز رگرسیون دارند و این در حالی است که از لحاظ اطلاعات مورد نیاز هزینه اضافی‌ای را تحمیل نمی‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** تولید سفر، شبکه عصبی - فازی، آنالیز رگرسیون، پس انتشار خطا، روش آموزش ترکیبی، ANFIS

### مقدمه

پارامترهای اقتصادی- اجتماعی در دسترس و مؤثر در تولید سفر همانند اشتغال، جمعیت و طول سفر، و تعداد موارد مشاهده شده (تعداد رکودها) است که دقت مدل را تعیین می‌کنند. در این مطالعه برای افزایش دقت مدلها بجای تکیه بر افزایش تعداد و کیفیت اطلاعات که کار پرهزینه‌ای است (هم در بعد مالی و هم در بعد زمانی)، بهبود نحوه به کارگیری اطلاعات (روش مدلسازی) مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

برآورد تولید سفر در فرآیند سفر به روش  $UTMS$  مرحله‌ای است که دقت کل آنالیز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زیرا بطور معمول در تحلیل سایر مراحل آنالیز سفر اطلاعات حاصل از این مرحله به عنوان یکی از داده‌های اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور کلی دقت مدلسازی هر پدیده‌ای به دو عامل وابسته است: کیفیت و کمیت اطلاعات در دسترس، و روش مدلسازی. در مدلسازی تولید سفر برای یک ناحیه ترافیکی نیز روش مدلسازی و تعداد

سیستم‌های مبتنی بر قواعد منطقی هستند، و روش شبکه‌های عصبی، که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند، ما را قادر می‌سازد تا بتوانیم در کنار استفاده از دانش بشری از اطلاعات موجود نیز در ساخت مدل مناسب استفاده کنیم. روشی که بدینگونه از ترکیبی سیستم‌های فازی و شبکه عصبی بدست می‌آید. هم اکنون با نام روش شبکه‌های عصبی- فازی شناخته می‌شود [۱۱ ۷ ۱].

در این تحقیق سعی بر این بوده است تا با استفاده از این روش به مدل‌های بهتر و دقیق‌تری برای بیان رفتار جمعی تولید سفر دست پیدا کنیم. در این مقاله روشی نوین با استفاده از ترکیب روش آنالیز رگرسیون خطی و سیستم‌های عصبی - فازی برای مدلسازی این پدیده ارائه شده است. این عمل به این صورت انجام می‌گیرد که ابتدا مدل‌های رگرسیونی تولید می‌شوند و با استفاده از اطلاعات حاصل از آنها شرایط اولیه مناسبی برای سیستم فازی موردنظر تعریف می‌گردد و سپس با استفاده از روش آموزشی پس انتشار خطا سیستم فازی اولیه به سوی جواب مطلوب آموزش داده می‌شود.

### مجموعه‌های فازی، سیستم‌های فازی

یک مجموعه معمولی مجموعه‌ای از اشیایی است که دارای یک مرز معین باشد، یعنی یک شیء یا عضو مجموعه هست و یا نیست. برخلاف مجموعه‌های معمولی، یک مجموعه فازی یک مجموعه از اشیاء با مرز غیرقطعی است، به اینصورت که هر شیء با یک درجه عضویت خاص عضو مجموعه است [۱۱ ۷ ۴]. اگر  $X$  مجموعه‌ای از اشیائی که به صورت  $x$  نشان داده می‌شوند باشد، آنگاه مجموعه فازی  $A$  یک زوج مرتب به صورت زیر است:

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\}$$

(۱)

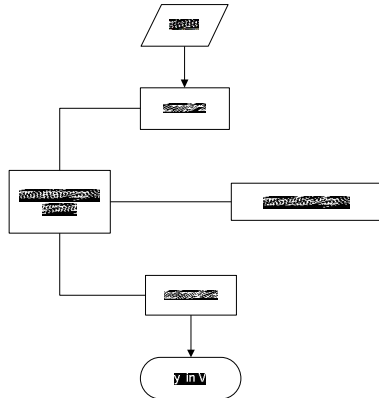
در نمایش بالا  $\mu$  درجه عضویت  $x$  در مجموعه  $A$  خوانده می‌شود.

مجموعه درجه‌های عضویت اعضای یک مجموعه فازی مانند  $A$  به نام تابع عضویت مجموعه  $A$  خوانده

مدلسازی تولید سفر در حقیقت روند تأثیر پارامترهای مختلف اقتصادی - اجتماعی بر روی رفتار تولید سفر انسانها را نشان می‌دهد. [۳ و ۲] یعنی تعداد سفرهای تولید شده به تعدادی از خصوصیات اقتصادی - اجتماعی مردم هر ناحیه مربوط می‌کند. در مدلسازی تولید سفر بطور معمول از دو روش آنالیز رگرسیون و دسته‌بندی جدولی<sup>۴</sup> برای پردازش مدلها استفاده می‌شود. در روش آنالیز رگرسیون لازم است که تحلیلگر شکل قطعی تابع را پیشتر مشخص ساخته و پس از پردازش داده‌ها به برآورد میزان سفرهای انجام گرفت بپردازد. در روش دسته‌بندی جدولی خانواده‌ها بر اساس خصوصیات نظیر درآمد و بعد خانوار به چند دسته تقسیم می‌شوند و برای هر دسته میانگین تولید سفر تعیین شده و از این میانگین برای برآورد میزان سفر هر گروه از خانوارها و در نتیجه کل سفرهای انجام گرفته در آینده استفاده می‌شود.

در میان روشهای مدلسازی نوین، سیستم‌های فازی جایگاه ویژه‌ای را کسب نموده‌اند. این امر را می‌توان معلول توانایی پیاده‌سازی دانش بشری با استفاده از مفهوم برجسبهای زبانی و قواعد فازی، غیرخطی بودن و قابلیت تطبیق پذیری این نوع سیستمها دانست. بطور خلاصه یک سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی اگر - آنگاه است. نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد اگر - آنگاه فازی از دانش فرد خبره یا دانش حوزه مورد نظر است. به دست آوردن این قواعد مهمترین و سخت‌ترین مرحله کار است، چرا که نیازمند دانش بالای فرد متخصص و پیاده سازی صحیح آن است. داشتن روشی که در کنار دانش بشری بتوان از اطلاعات عددی موجود برای ساخت قواعد استفاده کرد نیز می‌تواند در این مرحله بسیار مفید باشد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی روش نوین دیگری را تشکیل می‌دهند که در مدلسازی پدیده‌های گوناگون کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. قدرت واقعی شبکه‌های عصبی توان آموزش پذیری آنها است. به این مفهوم که این شبکه‌ها قادرند تا از روی الگوهای آموزشی (ورودی‌ها و خروجی‌های متناسب)، با استفاده از الگوریتمهای مختلف آموزش، رابطه بین متغیرهای مختلف را شناسایی نمایند. با توجه به این موضوع به نظر می‌رسد که ترکیب سیستم‌های فازی، که



شکل ۲: نمای شماتیک یک سیستم فازی.

مهمترین بخش یک سیستم فازی پایگاه قواعد آن است. این پایگاه قواعد مجموعه ای از قوانین منطقی اگر - آنگاه است که رابطه بین متغیرهای فازی را بیان می‌دارند. از آنجاییکه در کاربردهای معمول مهندسی اغلب تصمیم‌گیری‌ها بر اساس اعداد قطعی استوارند و دستگاهها و سیستمهای ما بر این مبنا کار می‌کنند، لذا برای اینکه بتوانیم از یک سیستم فازی برای کاربردهای مختلف استفاده کنیم لازم است که ورودیهای سیستم که به صورت اعداد قطعی هستند با استفاده از یک فازی‌ساز<sup>۵</sup> به صورت یک مقدار فازی درآیند. همچنین خروجی یک سیستم فازی با استفاده از یک غیرفازی‌ساز<sup>۶</sup> به صورت یک عدد قطعی در می‌آید [۷ و ۱].

از بین انواع سیستمهای فازی بطور معمول و در عمل دو نوع سیستم فازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، که عبارتند از سیستم نوع مدانی<sup>۷</sup> و سیستم نوع سوگنو<sup>۸</sup> سیستم استفاده شده در پردازش مدلهای این تحقیق از نوع سوگنو است.

در سیستم سوگنو قواعد به صورت اگر - آنگاه هستند که در پایگاه قواعد ذخیره می‌شوند. قوانین این نوع سیستم به صورت زیرند:

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_1 \ \& \ x_2 \text{ is } A_2 \ \& \dots \ x_n \text{ is } A_n \\ \text{Then } y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4)$$

که در آن  $A_1, A_2, \dots, A_n$  مجموعه‌های فازی‌اند. همانگونه که ملاحظه می‌شود قسمت اگر این قانون به صورت فازی بیان می‌گردد، اما قسمت نتیجه قانون یک تابع حقیقی از مقادیر ورودیها است. بطور معمول این تابع

می‌شود. تابع عضویت یک مجموعه فازی یک نگاشت از اعضای مجموعه  $A$  درباره  $[0,1]$  است به گونه‌ای که

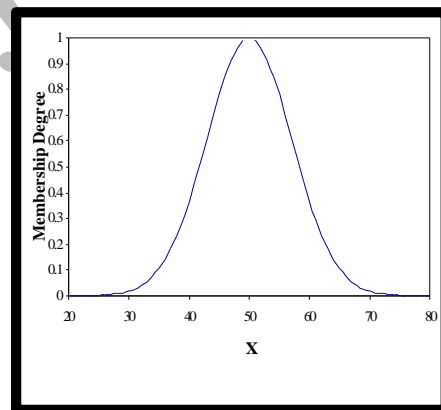
$$A : X \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

در حالت کلی هر تابعی که چنین نگاشتی را پیاده کند می‌تواند به عنوان تابع عضویت یک مجموعه فازی مورد استفاده واقع شود. در انجام این تحقیق از دسته توابع گوسین برای این منظور استفاده گردید.

یک تابع عضویت گوسین به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\text{gaussian}(x; \sigma, c) = \exp\left(-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right) \quad (3)$$

در رابطه بالا  $c$  نشان دهنده مرکز تقارن تابع و  $\sigma$  تعیین کننده میزان بازشدگی تابع است. شکل (۱) تابع عضویت  $\text{gaussian}(x; 10, 50)$  را بعنوان یک مثال نمایش می‌دهد.

شکل ۱: تابع عضویت  $\text{gaussian}(x; 10, 50)$ .

سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی اگر - آنگاه است که با استفاده از مفهوم متغیرهای زبانی و روند تصمیم‌گیری فازی، فضای متغیرهای ورودی را بر فضای متغیرهای خروجی تصویر می‌کند. شکل (۲) نمای شماتیک یک سیستم فازی را نمایش می‌دهد [۱].

شکل ۳: یک سیستم فازی نوع سوگنو به همراه شبکه ANFIS معادلش.

سیستم ترسیم شده در شکل (۳) دارای دو ورودی  $x$  و  $y$  و یک خروجی  $f$  به همراه قانون زیر است.

$$\begin{aligned} \text{If } x \text{ is } A_1 \text{ \& } y \text{ is } B_1 \text{ Then } f &= p_1x + q_1y + r_1 \\ \text{If } x \text{ is } A_2 \text{ \& } y \text{ is } B_2 \text{ Then } f &= p_2x + q_2y + r_2 \end{aligned} \quad (۵)$$

اگر خروجی هر لایه شبکه ANFIS را به صورت  $O_i^j$  (خروجی  $i$  امین گره در  $j$  امین لایه) نشان دهیم، آنگاه می توانیم عملکرد لایه های مختلف را برای مثال شکل (۳) به صورت زیر بیان کنیم.

لایه ۱: هر گره در این لایه معادل یک مجموعه فازی است و خروجی هر گره برابر درجه عضویت متغیر ورودی در این مجموعه فازی است. پارامترهای هر گره تعیین کننده شکل تابع عضویت مجموعه فازی آن گره هستند. بطور مثال اگر از تابع عضویت گوسین استفاده گردد خواهیم داشت:

$$O_i^1 = \exp\left(-\left(\frac{x - c_i}{\sigma_i}\right)^2\right) \quad (۶)$$

در رابطه بالا  $x$  مقدار ورودی به گره  $i$ ،  $c_i$  و  $\sigma_i$  پارامترهای تابع عضویت این مجموعه هستند. پارامترهای  $c_i$  و  $\sigma_i$  به نام پارامترهای شرط خوانده می شوند. لایه ۲: هر گره این لایه درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می کند.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i = 1, 2 \quad (۷)$$

که در آن

$$\mu_{A_i}(x) \text{ درجه عضویت } x \text{ در مجموعه } A_i, \text{ و}$$

$$\mu_{B_i}(y) \text{ درجه عضویت } y \text{ در مجموعه } B_i \text{ است}$$

لایه ۳:  $i$  امین گره این لایه نسبت درجه فعالیت قانون  $i$  ام را به جمع درجه های فعالیت کلیه قوانین محاسبه می کند.

$$O_i^3 = w_i^n = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad (۸)$$

که در آن

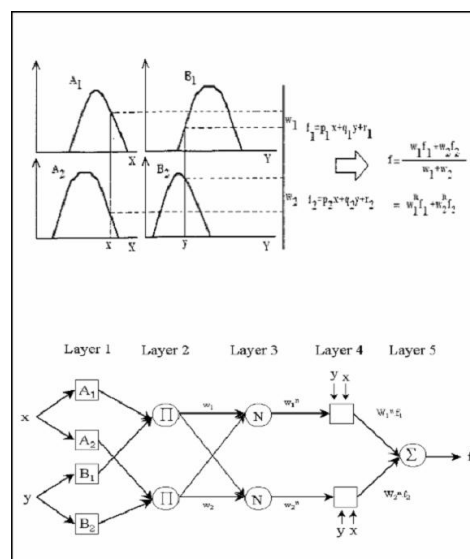
$w_i^n$  درجه فعالیت نرمال شده قانون  $i$  ام است.

یک رابطه خطی به صورت  $a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$  است.

همانگونه که پیشتر بیان گردید مهمترین بخش در تشکیل یک سیستم فازی تعریف قواعد اگر - آنگاه به نحو مناسب است. روشهای گوناگونی نظیر استفاده مستقیم از دانش بشری، روش خوشه یابی و روش عصبی-فازی برای این منظور مورد استفاده قرار می گیرند. روش شبکه های عصبی-فازی در این میان با اتکا به ترکیب قدرت یادگیری شبکه های عصبی و عملکرد منطقی سیستمهای فازی تبدیل به ابزار بسیار قدرتمندی شده است که هم اکنون در کاربردهای گوناگون مورد استفاده مختلفی دارد. ساختارهای مختلفی برای پیاده سازی یک سیستم فازی توسط شبکه های عصبی پیشنهاد شده اند که یکی از پر قدرت ترین این ساختارها، ساختار موسوم به ANFIS است که توسط Jang ابداع گردیده است [۷ ۸ ۹].

### سیستم عصبی - فازی ANFIS

ANFIS مخفف عبارت «سیستم فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه های عصبی» است. در حقیقت ANFIS پیاده سازی یک سیستم فازی نوع سوگنو به صورت یک ساختار شبکه ای جلورونده<sup>۱۱</sup> است [۷ ۸]. در شکل (۳) یک سیستم فازی سوگنو با دو ورودی، یک خروجی و دو قانون ملاحظه می شود که در زیر آن سیستم ANFIS معادل آن نیز رسم گردیده است.



لایه ۴: خروجی هر گره در این لایه به صورت زیر است:

$$O_i^4 = w_i^n \cdot f_i = w_i^n \cdot (p_i x + q_i y + r_i), i = 1, 2 \quad (9)$$

که در آن  $\{p_i, q_i, r_i\}$ ، پارامترهای تطبیقی این لایه هستند. این پارامترهای به نام پارامترهای نتیجه<sup>۱۲</sup> خوانده می‌شوند.

لایه ۵: هر گره در این لایه مقدار خروجی نهایی را به صورت زیر محاسبه می‌کند (تعداد گره‌ها برابر تعداد خروجیها است):

$$O_i^5 = \sum w_i^n \cdot f_i = \frac{\sum w_i \cdot f_i}{\sum w_i} \quad (10)$$

به این صورت موفق به پیاده‌سازی یک سیستم فازی به گونه‌ای شده‌ایم که قابلیت یادگیری داشته باشد. روش آموزش اصلی ANFIS روش پس انتشار خطا<sup>۱۳</sup> است. در این روش با استفاده از الگوریتم شیب نزولی خطا، مقدار خطا به سمت ورودیها پخش می‌گردد و پارامترها تصحیح می‌شوند. این روش آموزش دقیقاً همانند روش پس انتشار خطای مورد استفاده در شبکه‌های عصبی است. از ساختار شبکه ANFIS شکل (۳) ملاحظه می‌گردد که می‌توان خروجی کل را به صورت ترکیب خطی پارامترهای نتیجه نوشت:

$$\begin{aligned} f &= w_1^n \cdot f_1 + w_2^n \cdot f_2 \\ &= (w_1^n x) p_1 + (w_1^n y) q_1 + (w_1^n) r_1 \\ &= (w_2^n x) p_2 + (w_2^n y) q_2 + (w_2^n) r_2 \end{aligned} \quad (11)$$

بنابراین قادر خواهیم بود که مقادیر پارامترهای نتیجه را با استفاده از روش کمترین مجموع مربعات خطا به دست آوریم. با ترکیب این روش و روش پس انتشار خطا به یک روش آموزش ترکیبی دست پیدا می‌کنیم که به اینصورت عمل می‌کند؛ در هر دور آموزش، هنگام حرکت رو به جلو خروجیهای گره‌ها به صورت عادی تا لایه چهارم محاسبه می‌شوند و سپس پارامترهای نتیجه توسط روش کمترین مجموع مربعات خطا محاسبه می‌شوند. در ادامه پس از محاسبه خطا در بازگشت رو به عقب نسبت خطا بر روی پارامترهای شرط پخش شده و با استفاده از روش شیب نزولی خطا مقدار آنها تصحیح می‌شود [۷ ۸ ۹].

## مدلسازی تولید سفر

یکی از مهمترین بخشها در مطالعات برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری، فرآیند تحلیل تقاضای سفر است. شکل (۴) مراحل چهارگانه تحلیل تقاضای سفر در مطالعات حمل و نقل را نمایش می‌دهد. در این مرحله برآورد تعداد سفرهای تولید شده و جذب شده در ناحیه‌های ترافیکی بر مبنای مدل‌های تولید و جذب صورت می‌گیرد [۲ ۳ ۱۰].

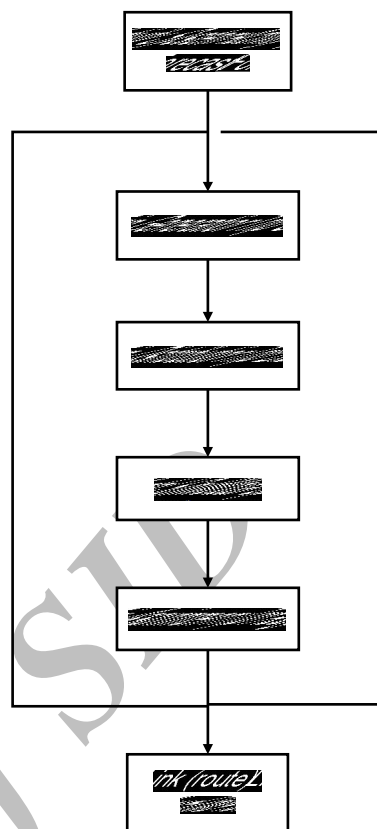
مدل تولید در حالت کلی تابعی است که یکسری از خصوصیات اقتصادی - اجتماعی را به رفتار تولید سفر انسانهای ساکن یک ناحیه مربوط می‌سازد. روشهای رایج مدلسازی این پدیده در بین برنامه‌ریزان، روش آنالیز رگرسیون و روش طبقه‌بندی جدولی هستند. از طرف دیگر مدل تولید سفر می‌تواند بصورت هم‌فزوده<sup>۱۴</sup> و یا ناهم‌فزوده<sup>۱۵</sup> باشد. در روش ناهم‌فزوده اساس تولید سفر خانواده گرفته می‌شود و خانواده‌ها بر اساس خصوصیات نظیر درآمد، مالکیت اتومبیل و بعد خانوار به چند دسته تقسیم می‌شوند و برای هر دسته میانگین تولید سفر تعیین می‌گردد. اما در روش هم‌فزوده، تعداد سفرهای تولید شده با یک فرم تابعی از پیش تعیین شده به خصوصیات اقتصادی - اجتماعی یک ناحیه مرتبط می‌گردد. در این روند لازم است که تحلیلگر ابتدا شکل تابعی مدل را تعیین کند و سپس ضرایب مدل با استفاده از اطلاعات عددی محاسبه گردند. در انجام این تحقیق اطلاعات سال ۱۳۶۹ مطالعات جامع حمل و نقل شهر شیراز مورد استفاده واقع شده‌اند. در این مطالعه شهر شیراز به ۴۷ ناحیه داخلی و ۸ ناحیه اطراف (حومه) تقسیم شده است.

تفریح تقسیم گردیده‌اند. تعریف این اهداف مختلف در جدول (۲) آورده شده است. در مورد انتخاب متغیرهای مستقل مدل‌های تقاضا صرفاً بر متغیرهایی تکیه شده است که برآورد قابل اعتمادی از آنها برای آینده نسبتاً دور (۱۵ تا ۲۰ سال) وجود داشته باشد.

در مطالعه جامع حمل و نقل شیراز که در سال ۱۳۶۹ شروع شد، از میان روشهای متداول پردازش مدل‌های تولید سفر، روش آنالیز رگرسیون مورد استفاده قرار گرفته است. در آن مطالعه برای تشریح چگونگی تولید سفر، مدل‌های گوناگونی با استفاده از متغیرهای درج شده در جدول (۱) ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند و در نهایت مدل‌هایی که کمترین مجموع مربعات خطا را برای هر منظور سفر خاص داشتند به عنوان مدل برگزیده انتخاب شدند. مدل‌های منتخب مطالعه سال ۱۳۶۹ شهر شیراز در جدول (۳) آورده شده‌اند [۳۲].

### مدلسازی عصبی - فازی تولید سفر

بطور کلی برای ساخت یک مدل فازی باید تعداد توابع عضویت ورودیها و خروجیها و مقادیر پارامترهای شرط و پارامترهای نتیجه را مشخص سازیم. برای این منظور از روشهای گوناگونی استفاده می‌شوند که یکی از بهترین این روشها روش مدلسازی عصبی- فازی است. در این روش قدرت یادگیری شبکه‌های عصبی به خدمت گرفته می‌شود تا پارامترهای مدل فازی به سمت مقدار مناسب همگرا گردند. پردازش مدل‌های این تحقیق با استفاده از بخش *Fuzzy Logic Toolbox* نرم‌افزار *MATLAB* انجام گرفته که ساختار تشریح شده *ANFIS* را پیاده‌سازی می‌کند.



شکل ۴: مراحل چهارگانه تحلیل تقاضای سفر.

اطلاعات گردآوری شده مورد استفاده در پردازش مدل‌های تولید سفر شامل یک متغیر وابسته (تعداد سفرهای تولید شده در هر ناحیه) و ۵ متغیر مستقل هستند که فهرست آنها در جدول (۱) درج شده است. همچنین از ترکیب این ۵ متغیر تعدادی متغیر ترکیبی حاصل شده که در پردازش مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. فهرست این متغیرها نیز در جدول (۱) آورده شده است.

به منظور دستیابی به مدل‌های دقیق‌تر تقاضای سفر، کلیه مدل‌های مورد استفاده در تحلیل تقاضای سفر به تفکیک اهداف مختلف سفر مورد توجه قرار گرفته‌اند. مدل‌های تقاضا به چهار هدف عمده کار، مدرسه، خرید و

جدول ۱: متغیرهای مورد استفاده در مدلسازی تولید سفر در شهر شیراز.

متغیر	تعریف
$T_i^P$	حجم سفرهای تولید شده با وسیله نقلیه برای هدف سفر $P$ (کار $w$ ، مدرسه $s$ ، خرید $sh$ ، تفریح $r$ )
$P_i$	جمعیت ناحیه $i$ (نفر)
$E_i^k$	اشتغال ساکن نوع $k$ (پایه $b$ ، غیرپایه $nb$ ) در ناحیه $i$ (نفر)
$e_i^k$	اشتغال شاغل نوع $k$ (پایه $b$ ، غیرپایه $nb$ ) در ناحیه $i$ (نفر)



$A_i$	مساحت مؤثر ناحیه $i$ (کیلومتر مترج) $\cdot$ مساحت ناحیه $i$ (۳۱۴) $\min$
$D_i$	شاخص بزرگی ناحیه $i$ ( $Km$ ) $\{ \min_{i \neq j} (D_{ij}) \}$ شعاع دایره هم مساحت ناحیه $i$ $\min$ فاصله (هوایی) مرکز ناحیه $i$ تا مرکز ناحیه $j$ برای $i \neq j$ $D_{ij}$
پارامترهای ترکیبی	$E_i / P_i, P_i / e_i, P_i D_i, e_i / P_i, E_i / D_i, P_i A_i, P_i e_i^{nb}, E_i / A_i, P_i / D_i$

جدول ۲: تعریف اهداف سفر مختلف.

هدف سفر	تعریف
کار	سفرهای با هدف کار
مدرسه	کسب دانش به معنی اعم کلمه
خرید	خرید، مراجعه به ادارات و موارد پزشکی
تفریح	تفریح و دیدار نزدیکان

جدول ۳: مدل‌های خطی منتخب تولید سفر مطالعه ۱۳۶۹ شهر شیراز.

هدف سفر	مدل خطی ارائه شده در مطالعه جامع حمل و نقل شیراز، سال ۱۳۶۹.
کار	$T_i^w = 0.39E_i^b + 1.971E_i^{nb} + 179.189e_i / P_i - 0.035E_i / D_i$
مدرسه	$T_i^s = 0.202P_i - 0.317 \times 10^{-3} \times A_i P_i$
خرید	$T_i^{sh} = 0.088P_i + 0.42e_i^{nb} + 4.632 \times 10^{-6} \times P_i e_i^{nb}$
تفریح	$T_i^r = 0.064P_i + 0.277e_i^{nb} + 0.858 \times 10^{-2} \times P_i / D_i$

انجام گرفته بسیار کم و برای سایر نقاط زیاد بود. هنگامی که سطح خروجی مدل بر حسب متغیرهای ورودی رسم گردید ملاحظه شد که سطح خروجی همانگونه که در شکل (۵) آشکار است یک سطح نامنظم است بطوریکه خروجی در بعضی نقاط مقادیری بزرگ (تا ۳ برابر مقدار مشاهده شده) یا مقادیری بسیار کوچک (اعداد کوچک منفی) دارد. این امر سبب می‌شود که خطای مدل برای الگوهای آموزش ندیده مقدار زیادی باشد.

بررسیها نشان دادند که این امر ناشی از کم بودن اطلاعات در دسترس و حساسیت روش آموزشی است، ترکیبی به تعداد و نحوه توزیع الگوهای آموزش است. لذا سعی گردید که به جای روش ترکیبی از روش پس انتشار خطا برای آموزش مدلها استفاده شود. اما برای استفاده از این روش باید شرایط اولیه مناسبی با استفاده از روش جدول جستجو و استفاده از دانش بشری برای سیستم تعریف شود، که برای مسأله موردنظر ما با توجه به تعداد ورودیهای هر مدل گاه نیاز به تعریف ۴۰۰ قانون مختلف برای شرایط اولیه پیش می‌آید. این امر باعث کند شدن

برای آموزش مدلها سعی گردید تا برای ترکیبهای مختلفی از پارامترهای جدول (۱) مدل‌های فازی ساخته شوند. برای این منظور از روش آموزش ترکیبی (پس انتشار خطا، کمینه مربعات خطا) و سیستم درجه یک سوگونو استفاده گردید. اما مشاهده شد که مقدار خطا بسیار زیاد است. بررسی نشان داد که دلیل این امر یکسان نبودن دامنه تغییرات ورودیهای سیستم است. لذا در مرحله بعد به جای سیستم درجه یک از سیستم درجه صفر به همراه روش آموزش ترکیبی استفاده گردید. این عمل دو فایده دارد:

- ۱- سیستم ما به دامنه تغییرات ورودیها حساس نیست و لذا به دستکاری اطلاعات نیازی نیست.
- ۲- سیستم ما همانند یک سیستم نوع ممدانی یا غیرفازی ساز میانگین مراکز عمل می‌کند، لذا اگر نیازی به تصحیح سیستم توسط فرد خبره باشد این کار به راحتی صورت می‌گیرد.

مشاهده شد که پس از یکبار آموزش مدلها با ۷۵٪ اطلاعات موجود، خطای سیستم برای نقاطی که آموزش

متناظر از مدل مبنای خطی پردازش شده در مرحله ۱ به دست می‌آید.

مرحله ۳- از مجموعه ورودیها و خروجیهای حاصل از مرحله ۲ به اضافه ورودیها و خروجیهای واقعی (مشاهده شده) به عنوان مجموعه الگوهای آموزشی برای تشکیل شرایط اولیه سیستم فازی استفاده می‌گردند. در این مرحله خطای سیستم برای الگوهای مشاهده شده معیار تصمیم‌گیری است. ابتدا برای مدل فازی موردنظر ساختارهای گوناگون (تعداد توابع عضویت برای پارامترهای ورودی مختلف) در نظر گرفته می‌شوند و توابع عضویت برای آنها بگونه‌ای تعریف می‌گردند که تمام فضای قابل قبول را به طور یکنواخت پوشش دهند (روش *Partition* در نرم‌افزار مورد استفاده). سپس برای هر ساختار، شبکه را با روش ترکیبی یک دور آموزش می‌دهیم. ساختاری که کمترین میزان خطا را برای الگوهای مشاهده شده داشته باشد به عنوان ساختار پایه مدل انتخاب می‌شود. حاصل این کار مدل اولیه‌ای است که قوانین ابتدایی آن بر اساس داده‌های ورودی ساختار مناسبی دارند.

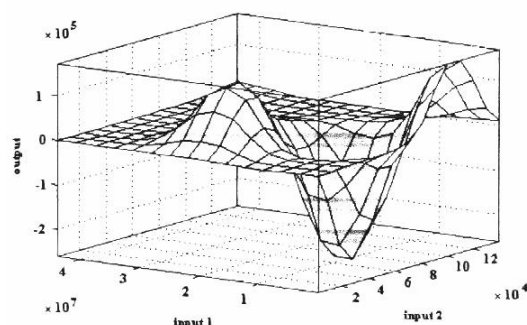
مرحله ۴- در این مرحله الگوهای آموزشی ما تنها الگوهای مشاهده شده هستند و شبکه با روش پس انتشار خطا برای این الگوها آموزش داده می‌شود. کار آموزش تا زمانی که سرعت بهبود خطا از یک مقدار کمینه کمتر گردد ادامه می‌یابد. حاصل کار بعد از آموزش، یک مدل فازی نوع سوگنو درجه صفر برای تخمین تولید سفر در نواحی مختلف شهر است.

### مدل عصبی- فازی تولید سفر در شهر شیراز

برای ساخت مدل‌های تولید سفر با اهداف مختلف در شهر شیراز، مدل‌سازی مطابق روند چهار مرحله‌ای تشریح شده در بخش گذشته انجام گرفته است. لازم به ذکر است که مرحله ۱ روند یاد شده یعنی یافتن یک مدل پایه خطی مناسب قبلاً در مطالعات جامع حمل و نقل شیراز [۲ ۳] انجام گرفته بود و لذا در انجام این تحقیق تنها از نتایج این مطالعه استفاده گردیده است (جدول (۳)).

در مرحله ۲ سعی گردید تا تعداد الگوهای ساخته شده توسط مدل خطی بگونه‌ای باشد که تعداد آنها حداقل دو برابر تعداد الگوهای مشاهده شده باشد. این امر به دلیل

روند تولید مدل‌ها می‌شد، ضمناً از آنجا که شرایط اولیه مناسبی نیستند، مشاهده می‌شد که در برخی موارد جوابها بسیار دور از جواب مطلوب می‌بودند.



شکل ۵: نمودار سه بعدی خروجی در برابر ورودیها.

برای فائق آمدن بر این مشکل و مشکلات دیگری که پیشتر اشاره کردیم، روشی از ترکیب آنالیز رگرسیون و مدل‌سازی عصبی- فازی پیشنهاد گردید و مورد آزمایشی قرار گرفت که نتایج خوبی را به همراه داشت. لازم به ذکر است که معیار ما در پردازش و انتخاب مدل‌ها علاوه بر کم بودن خطا، مناسب بودن سطح رسم شده خروجی در مقابل ورودیهای مدل بوده است.

مراحل این روش به صورت زیرند:

مرحله ۱- ساختارهای مختلف (ترکیبهای مختلف از پارامترهای ورودی) برای هر مدل در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از اطلاعات موجود و از روش آنالیز رگرسیون مدل‌های مختلف برای هر هدف سفر پردازش می‌شوند. برای هر هدف سفر مدلی که کمترین مجموع مربعات خطا را داشته باشد به عنوان مدل مبنای آن منظور سفر انتخاب می‌شود.

مرحله ۲- بازه تغییرات هر پارامتر ورودی مدل مبنا تعیین می‌شود و سپس برای هر پارامتر ورودی این بازه به  $n$  فاصله  $(5 \leq n \leq 11)$  تقسیم می‌شود تا برای هر پارامتر ورودی  $n+1$  نقطه به دست بیاید. سپس این نقاط با هم ترکیب می‌شوند تا  $(n+1)^m$  الگوی ورودی ( $m$  تعداد پارامترهای ورودی سیستم است) بگونه‌ای تشکیل شوند که تمام فضای حاصل از ورودیها را پوشش دهند (بطور مثال برای حالت  $m=2$ ، تمام نقاط صفحه که در بازه قابل قبول قرار دارند). سپس برای هر کدام از این الگوهای ورودی، خروجی



پارامترهای ورودی کلیه سیستمهای فازی مورد استفاد از نوع گوسی هستند.

در مرحله ۴ آموزش تا رسیدن به مدل نهایی توسط روش پس انتشار خطا انجام گرفت. مدل مربوط به هر هدف سفر به تعداد ۲۰۰۰۰ دور مورد آموزش قرار گرفت.

نتایج حاصل از پردازش مدل‌های فازی منتخب و مدل‌های رگرسیونی خطی در جدول (۴) گزارش شده‌اند. همانگونه که ملاحظه می‌شود برای تمام اهداف سفر مقدار مجموع مربعات خطای نتایج (S) مدل فازی در مقایسه با مدل خطی متناظر کاهش و مقدار  $R^2$  آنها افزایش داشته است. کمترین درصد کاهش مجموع مربعات خطا متعلق به منظور سفرهای خرید و کار، و بیشترین درصد کاهش

این است که اگر تعداد الگوهای ساخته شده در برابر تعداد الگوهای مشاهده شده کم باشد آنگاه امکان دارد که مشکل حساسیت روش آموزش ترکیبی به تعداد و پراکندگی الگوها که پیشتر به آن اشاره کردیم (البته با شدت کمتری) ظاهر شود. در این تحقیق سعی شده است با انتخاب یک مرز پایین برای تعداد الگوهای ساخته شده، از بروز این مشکل جلوگیری شود.

در مرحله ۳، برای هر منظور سفر خاص ساختارهای مختلفی آزمایش شدند و از میان این ساختارها، ساختاری که کمترین میزان خطا را برای آن منظور سفر خاص داشت به عنوان ساختار مناسب مدل انتخاب گردید. لازم به ذکر است که توابع عضویت

جدول ۴: مقایسه نتایج مدل‌های فازی و مدل‌های خطی تولید سفر در شهر شیراز.

هدف سفر	مدل پیشنهادی			مدل رگرسیون خطی	
	$R^2$ %	S	ساختار مدل منتخب*	$R^2$ %	S
کار	۹۸/۲	۱۴.۷۱۳.۵۸۱/۵	۵-۵-۴-۴	۹۷/۹	۱۶.۶۱۳.۱۹۹/۳
مدرسه	۸۷/۱	۵۸.۷۴۵.۱۷۸/۱	۶-۶	۷۹/۰	۹۶.۶۸۸.۵۷۲/۸
خرید	۹۷/۷	۱۲.۴۱۸.۲۹۷/۸	۶-۵-۴	۹۷/۱	۱۵.۲۵۷.۴۰۰/۰
تفریح	۹۳/۹	۱۲.۱۹۵.۸۷۱/۶	۶-۵-۵	۹۰/۴	۲۰.۵۰۰.۷۱۰/۰

\* منظور از ساختار مدل، تعداد توابع عضویت هر پارامتر ورودی است. بطور مثال برای هدف سفر کار ساختار ۵-۵-۴-۴-۴ بدین معنی است که اولین پارامتر ورودی (با توجه به جدول (۳)، در اینجا  $E_i^b$ ) دارای ۵ تابع عضویت، دومین پارامتر ( $E_i^{nb}$ ) دارای ۵ تابع عضویت، سوم پارامتر ( $e_i / P_i$ ) دارای ۴ تابع عضویت، و چهارمین پارامتر ( $E_i / D_i$ ) دارای ۴ تابع عضویت هستند.

## نتیجه

در این تحقیق قابلیت روش مدلسازی عصبی-فازی در مدلسازی تولید سفر مورد توجه قرار گرفته است. به صورت سنتی، اغلب برنامه‌ریزان از آنالیز رگرسیون برای مدلسازی تولید سفر استفاده می‌کنند. این مقاله یک روش نوین را برای مدلسازی تولید سفر با استفاده از ترکیب روش آنالیز رگرسیون و روش شبکه‌های عصبی-فازی معرفی می‌کند.

ابتدا با پردازش یک مدل رگرسیونی اطلاعات اولیه‌ای تولید می‌شوند و با استفاده از آنها شرایط اولیه مناسبی برای مدل فازی تعریف می‌گردد، و سپس با

متعلق به منظور سفرهای تفریح و مدرسه است. این موضوع با توجه به مقدار  $R^2$  متعلق به مدل خطی این اهداف قابل پیش‌بینی بود. زیرا در مدل‌هایی که  $R^2$  بزرگی دارند این موضوع نشان دهنده آن است که رفتار واقعی تولید سفر آنها بسیار نزدیک به رفتار خطی است و لذا مدل فازی نیز خیلی از مدل خطی فاصله ندارد. اما برای منظور سفر مدرسه و خرید که مدل خطی آنها نسبتاً کمی دارند مشاهده می‌شود که با افزایش آموزش، مقدار مجموع مربعات خطا درصد بیشتری کاهش می‌یابد و در حقیقت مدل فازی توانسته است بهتر از مدل خطی واقعیت را تشریح کند.

سریع‌ترین مدل عصبی - فازی به دست آمده در این تحقیق نیاز به یک ساعت آموزش (بر روی کامپیوتر PI33 با ۳۲ MB حافظه RAM) داشت. بنابراین اگر یک راه حل ساده و سریع موردنظر باشد شاید مدل‌های رگرسیونی مناسب‌تر باشند، اما اگر نتایج بهتر و قابل اعتمادتر موردنظر باشند مدل‌سازی عصبی - فازی پیشنهادی انتخاب مناسب‌تری است.

استفاده از روش آموزشی پس انتشار خطا این مدل اولیه به سمت رفتار واقعی تولید سفر سوق داده می‌شود. نتایج به دست آمده برای شهر شیراز نشان‌دهنده کارا بودن این روش در مدل‌سازی تولید سفر هستند. اما در هر حال ذکر این نکته لازم است که زمان پردازش مدل‌های عصبی - فازی پیشنهاد شده در برابر زمان لازم برای پردازش مدل‌های خطی بسیار زیاد است. مدل‌های رگرسیونی در چند ثانیه آماده می‌شوند، در حالی که

## مراجع

- ۱ - تشنه لب، م.، صفارپور، ن. و افیونی، د. "سیستم‌های فازی و کنترل فازی." دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، (۱۳۷۸).
- ۲ - ذکایی آشتیانی، ه.، پورزاهدی، ح. و شفاهی، ی. "نتایج آمارگیری مبدا - مقصد." مطالعات جامع حمل و نقل درون شهری شیراز، گزارش شماره ۷۲۰۱۱۳۵ TR، مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، تهران، آذر (۱۳۷۲).
- ۳ - شفاهی، ی. "مدل‌های تولید و توزیع سفر، مطالعه موردی شیراز." برنامه و توسعه، دوره ۲، شماره ۸، تابستان (۱۳۷۳).
- ۴ - طاهری، م. "آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی." جهاد دانشگاهی مشهد، (۱۳۷۵).
- 5 - Faghri, A. and Aneja, S. (1996). "Artificial neural network-based approach to modeling trip production." *Transportation Research Record, TRB, National Research Council, Washington D.C.*, PP. 131-136.
- 6 - Faghri, A. and Hua, J. (1992). "Evaluation of artificial neural network applications in transportation engineering." *Transportation Research Record. 1358, TRB, National Research Council, Washington D.C.*, PP. 71-80.
- 7 - Jang, J. R. and Sun, C. (1995). "Neuro-fuzzy modeling and control." *Proc. Of the IEEE*, PP. 378-405.
- 8 - Jang, J. R. and Sun, C. (1993). "Predicting chaotic time series with fuzzy if-then rules." *Proc., IEEE Conf. On Fuzzy Syst.*, San Francisco, PP. 1079-1084.
- 9 - Jang, J. R. and Guley, N. (1996). *The fuzzy logic toolbox for use with MATLAB*, Natick, the Math Works Inc., M. A.
- 10 - Meyer, M. D. and Miller, E. J. (1984). *Urban transportation planning (A decision-oriented approach)*, McGraw-Hill Book co., N.Y.
- 11 - Zimmermann, M. J. (1996). *Fuzzy set theory and its applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

## واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Urban Transportation Modeling System
- 2 - Trip Generation
- 3 - Neuro - Fuzzy Modeling
- 4 - Cross Classification
- 5 - Fuzzifier

- 
- 6 – Defuzzifier
  - 7 – Mamdani
  - 8 – Sugeno
  - 9 – Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System
  - 10 – Feedforward
  - 11 – Premis Parameters
  - 12 – Consequent Parameters
  - 13 – Error Back Propagation
  - 14 – Aggregated
  - 15 – Disaggregated

Archive of SID