

# طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری با استفاده از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی و الگوریتم دیکسترا

مریم رحمتی، دانش آموخته دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رضا رادفر (مسئول مکاتبات)، استاد، گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

عباس طلوعی اشلقی، استاد، گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نازنین پیله وری سلماسی، دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یادگار امام خمینی (ره)، شهر ری، ایران

Email: radfar@gmail.com

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵

دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۶

## چکیده

امروزه نقش و سهم چشم گیر حمل و نقل در برنامه های توسعه پایدار انکارناپذیر و قابل تأمل است. بسیاری از صاحب نظران معتقدند که هرچه حمل و نقل کارآمدتر باشد، توسعه فراگیرتر است. در مقابل، ناکارآمدی سیستم حمل و نقل، عوارض جدی محیطی همانند آلودگی هوا و پیامدهای منفی اجتماعی و اقتصادی را به دنبال خواهد داشت. در این راستا، هدف از پژوهش حاضر، طراحی و شبیه سازی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری با استفاده از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی و الگوریتم دیکسترا است. روش انجام این پژوهش از نقطه نظر هدف، توسعه ای - کاربردی و از نظر اجرایی، تحلیلی - توصیفی است و از هر دو روش کتابخانه ای و میدانی برای جمع آوری داده ها و اطلاعات پژوهش استفاده گردیده است. در پژوهش حاضر، با بهره گیری از نرم افزار سیمولینک و با استفاده از توابع متلب، دو مدل شبیه سازی مربوط به سیستم فعلی و سیستم پیشنهادی حمل و نقل عمومی برون شهری طراحی و به مدت یک هفته اجرا شدند. با هدف قربت بیشتر عملکرد شبیه ساز با واقعیت، سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی (ANFIS) برای تخمین ترافیک مسیرها، الگوریتم خوشه بندی فازی C- میانگین (FCM) برای تعیین تعداد مسافرین مراجعه کننده به ترمینال هر شهر و بالآخره الگوریتم دیکسترا (Dijkstra) برای مسیریابی بهینه مسافرین از مبدأ به مقصد بکار گرفته شده است. در ادامه، نتایج حاصل از اجرای دو مدل شبیه سازی با یکدیگر مقایسه گردیدند. طبق نتایج در سیستم پیشنهادی با مدت زمان در نظر گرفته شده، میزان استفاده مسافرین از اتوبوس نسبت به تاکسی ۸/۲٪ افزایش، میزان استفاده از ظرفیت اتوبوس ها ۱۲/۶۶٪ افزایش و مجموع کرایه های پرداختی توسط مسافرین ۱۷۵۱۰ تومان کاهش را نشان داد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که سیستم پیشنهادی، سیستم مناسبی جهت بهینه سازی مصرف سوخت، کاهش آلودگی محیط زیست، صرفه جویی در هزینه و زمان و جلب رضایت مسافرین است.

واژه های کلیدی: الگوریتم دیکسترا، حمل و نقل برون شهری، سیستم پویا، سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی، شبیه سازی

## ۱. مقدمه

منفی بر سلامت و مصرف انرژی، افزایش یابد. سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۴ پیش‌بینی کرد که تصادفات جاده‌ای با بیش از دو میلیون مرگ‌ومیر در سال، پنجمین علت مرگ‌ومیر در سال ۲۰۳۰ خواهد بود. آژانس بین‌المللی انرژی<sup>۲</sup> نیز در سال ۲۰۱۰ پیش‌بینی کرد که مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل، تحت شرایطی که رایج است، تا ۵۰ درصد در سال ۲۰۳۰ و تا ۸۰ درصد در سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت [Hidalgo and Huizenga, 2013]. اهمیت سامانه‌های ترابری برون‌شهری به عنوان مهمترین نماد و اساسی‌ترین پیش‌نیاز توسعه در هر کشور بر کسی پوشیده نیست. در حال حاضر شاهد هستیم که برخی از وسایل نقلیه عمومی برون‌شهری روزانه با صندلی‌های خالی در حال عبور و مرور بین شهرها می‌باشند. این در حالی است که بسیاری از مسافران نیز موفق به اخذ بلیط در زمان مقتضی به مقصد دلخواهشان نمی‌شوند. این امر باعث می‌شود که علی‌رغم میل باطنی خود، کرایه زیادی را به تاکسی‌ها پرداخت کنند. از طرفی این‌گونه افراد اگر بخواهند مسیر خود را به مسیرهای کوچک‌تری تقسیم کنند، مطمئن نیستند که در مقاطع بعد موفق به اخذ بلیط شوند. با توجه به مباحث مطرح شده، هدف پژوهش حاضر، طراحی و شبیه‌سازی ترکیبی سیستم پویای حمل‌ونقل عمومی برون‌شهری با استفاده از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی و الگوریتم دیکسترا است. در این پژوهش سیستم حمل‌ونقلی ارائه شده که در آن مسافر قادر خواهد بود بهینه‌ترین مسیر را برای رسیدن به مقصد خود در زمان دلخواه، انتخاب کند. این امر باعث می‌شود در صورتی که مسافر در تهیه بلیط شیوه سفر دلخواه ناکام بماند و هزینه سفر برای وی اهمیت داشته‌باشد، مسیرهایی به او پیشنهاد شود تا از ترکیب وسایل نقلیه استفاده کند. بدین ترتیب مسافر اطمینان می‌یابد که با توجه به شرایطش بهینه‌ترین راه از لحاظ هزینه و زمان به او پیشنهاد شده‌است. ضمناً با توجه به رزرو بلیط برای ادامه مسیر توسط وسایل نقلیه مختلف، از رسیدن به مقصد نیز اطمینان می‌یابد. این سیستم یکپارچه می‌تواند تحولی در نظام حمل‌ونقل عمومی کشور ایجاد کند، به‌خصوص از این جهت که سیستم پیشنهادی قابلیت تعمیم از نظر وسایل نقلیه مختلف به تعداد دلخواه را نیز دارا است. علاوه بر آن، از آنجایی که در این پژوهش، شبیه‌سازی مدل پیشنهادی توسط نرم افزار سیمولینک و نرم

سیستم حمل‌ونقل یکی از اجزای جدایی‌ناپذیر اقتصاد است. سلامت اجتماعی و اقتصادی یک منطقه تا حد زیادی بر عملکرد سیستم حمل‌ونقل آن وابسته است. سیستم حمل‌ونقل نه تنها تسهیلاتی برای جابجایی و تحرک ارائه می‌دهد، بلکه در درازمدت بر الگوهای رشد و سطح فعالیت اقتصادی یک منطقه، از طریق دسترسی به مناطق مختلف تأثیر می‌گذارد [Li and DaCosta, 2013]. بسیاری از صاحب‌نظران به دلیل اهمیت حمل‌ونقل در بخش اقتصاد، صنعت، سیاست و حتی نظامی آن را زیربنای توسعه پایدار می‌دانند و معتقدند که هرچه حمل‌ونقل کارآمدتر باشد، توسعه فراگیرتر است. به عبارتی دیگر هر جابه‌جایی می‌بایست بیشترین کارایی را از نظر هزینه - سود و همچنین از نظر سازگاری با محیط زیست داشته باشد [Ostadijafari and Rasafi, 2013]. در مقابل، ناکارآمدی سیستم حمل‌ونقل، عوارض جدی محیطی همانند آلودگی هوا و پیامدهای منفی اجتماعی و اقتصادی را به دنبال خواهد داشت و باعث ناکارآمدی عملکرد شهرها می‌گردد. از نظر تاریخی، به موازات رشد و توسعه اقتصادی، نیاز به حمل‌ونقل نیز افزایش می‌یابد و به تبع آن، با گسترش فعالیت‌های حمل‌ونقلی، عوارضی همانند افزایش مصرف انرژی و آلودگی‌های محیطی شدت می‌گیرند [Hutchison, 2010]. روند چهل سال اخیر فعالیت‌های حمل‌ونقلی در سطح جهانی، حاکی از افزایش سطح وابستگی به خودرو و تغییر در سبک زندگی اجتماعی است که به دنبال خود، افزایش حساسیت نسبت به اثرات زیست‌محیطی و همچنین بازتاب‌های آن در حوزه سلامت را به همراه داشته است. نقش بسیار مهم حمل‌ونقل در زندگی روزمره و ناتوانی مسیرهای حمل‌ونقل در قبال پذیرش هر حجم از تردد و لزوم پیشگیری از حوادث، اهمیت برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را نمایان می‌کند. از طرفی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بدون داشتن اطلاعات تردد جاده‌ای غیر ممکن است [Yaqubi and Hosseini, 2009]. مشکلات حمل‌ونقل در کشورهای در حال توسعه که تحت الگوی فعلی حمل‌ونقل و فشارهای برخاسته از رشد اقتصادی سریع هستند، بهبود نخواهند یافت. در نتیجه، پیش‌بینی می‌شود که شلوغی، آلودگی و تأثیرات

## طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری....

واسطه رومی ها ساخته شد. تا قرن هفده و هجده روش های راه سازی رومیان در بسیاری از کشورها و به ویژه اروپا، مورد استفاده قرار گرفت. اولین اصول راه سازی مدرن به وسیله تلفورد مک آدام و تری سی گویت توسعه یافت. در سال ۱۸۸۵ میلادی با اختراع موتور درون سوز بنزینی به وسیله دیملر و بنز، چهره کلی حمل و نقل دگرگون گردید. در سال های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰، طرح هندسی و سازه ای راه اهمیت ویژه ای یافت و تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفت و با رشد سریع شهرها و ترافیک در جاده ها و همچنین افزایش سرعت، مسئله تراکم و تصادفات مطرح گردید [Moridi, 2015]. حمل و نقل از ضرورت های گریزناپذیر هر اجتماع انسانی است که موجب پویایی توسعه اقتصادی و اجتماعی می گردد. توسعه پایدار به طور عام و حمل و نقل پایدار به طور خاص، در جست و جوی یافتن توازن میان کیفیت های محیطی، اجتماعی و اقتصادی (در زمان حال و آینده) در عرصه تسهیلات حمل و نقل است [Soltani, 2011]. سیستم حمل و نقل عمومی<sup>۳</sup> به سیستمی گفته می شود که برای جابجایی عموم مردم چه به صورت انبوه و توده وار و چه به صورت گروه های کوچک تر و حتی انفرادی از سوی حکومت های محلی یا شرکت های خصوصی و یا سرمایه فردی، طراحی و بکار گرفته می شوند. این سیستم از طیف گسترده ای از وسایل نقلیه یا در واقع فناوریهای حمل و نقل بهره می برد و در ازای خدمات خود کرایه های متفاوتی را از مسافرین خود طلب می کند [Amininezhad and Eftekhari, 2011]. از وسایل حمل و نقل عمومی می توان به اتوبوس معمولی، اتوبوس برقی، تراموا و قطار شهری، حمل و نقل سریع (مترو) و قایق های مسافرتی اشاره کرد. حمل و نقل عمومی برون شهری<sup>۴</sup> عمدتاً توسط خطوط هوایمایی، اتوبوس های بین شهری و خطوط ریلی بین شهری انجام می شود. از جمله مزایای حمل و نقل عمومی می توان به سرعت بالا، بهره وری بالا، امنیت، کاهش اثرات منفی زیست محیطی، اجرای سریع حمل و نقل همگانی، ثبات در ارزش و کاربری زمین، تراکم کمتر ترافیک، حجم قابل توجه در حمل و نقل مسافر، هزینه های کمتر (هزینه های ناشی از مصرف سوخت و استهلاك اتومبیل) و .... اشاره نمود [Falahmenshadi, Ruhi and Saedizand, 2012].

افزار متلب انجام شده است، با بهره گیری از تکنیک های هوش مصنوعی موجود در این نرم افزار، تمام جزئیات و پیشامدهای احتمالی در نظر گرفته شده است تا مدیران شرکت های مسافری را پیش از پیاده سازی و استفاده از آن، نسبت به مزایای آن متقاعد کرده و درصد ریسک را حتی الامکان کاهش دهد.

لازم به ذکر است که ارزش سیستم حمل و نقل طراحی شده محدود به بهینگی مصرف سوخت و کاهش هزینه مسافرین نشده و با توجه به استفاده حداکثری از ظرفیت اتوبوس ها، محیط زیست سالم تری را نیز به ارمغان می آورد. بنابراین اگر بخواهیم کرایه پرداختی مسافر، اطمینان خاطر مسافر در تهیه بلیط و مسیریابی بهینه از نظر زمان را در زمره دغدغه ها و مؤلفه های تأثیرگذار بر رضایت مسافرین قرار دهیم، موارد مطرح شده پاسخگوی تمامی این مؤلفه ها خواهد بود. ضمناً، پژوهش صورت گرفته شده فارغ از صحت اطلاعات مورد استفاده، وابسته به اطلاعات اخذ شده نبوده و در مورد هر داده ای می تواند صدق کند. یکی از دلایل آن پویایی روش های مورد استفاده در این پژوهش بوده است و دیگر اینکه مدل های تصمیم گیر با استفاده از هوش مصنوعی خود را با داده های آموزشی وفق می دهند.

ساختار مقاله حاضر بدین ترتیب است که پس از مقدمه، در بخش ۲، مروری بر ادبیات تحقیق صورت گرفته است. سپس در بخش ۳، سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه (ANFIS) به عنوان مدل بکار گرفته شده در مقاله برای پیش بینی حجم ترافیک، تشریح شده است. در بخش ۴، الگوریتم دیکسترا تشریح شده است. در بخش ۵، مسیرهای مورد مطالعه معرفی شده اند. در بخش ۶، روش شناسی تحقیق ارائه شده است. در بخش ۷، به یافته های تحقیق و تحلیل یافته ها پرداخته شده است و در نهایت در بخش ۸، نتیجه گیری بیان شده است.

## ۲. مروری بر ادبیات

نیاز به حمل و نقل، به تاریخ تمدن بر می گردد. اولین یا ابتدایی ترین تسهیلات حمل و نقل، گذرگاه هایی بودند که از طریق باز کردن مسیر، در جنگل ها ساخته شدند، با اختراع چرخ و استفاده از آن راه سازی پیشرفت کرد. اکثر راه های اولیه به

است [Adlparvar, 2012]. عطایی و همکاران (۱۳۹۷)، مقاله‌ای با عنوان بهینه سازی سیستم حمل‌ونقل عمومی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات با بردار ارزیابی - مطالعه موردی در سازمان اتوبوسرانی، انجام داده‌اند. هدف در این مقاله ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه با حداقل کردن هزینه و زمان سفر در حالی که مسیرها با حداقل اتوبوس‌ها پوشش داده شوند، بوده‌است. برای حل این مسئله از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات با بردار ارزیابی (VEPSO) برای مسیرهای موجود در سیستم اتوبوسرانی شهر اردبیل استفاده شده است و نتایج آن با الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه (MOPSO) مقایسه گردید. مقایسه نتایج الگوریتم‌ها، کارایی الگوریتم VEPSO را برای مطالعه موردی موردنظر نسبت به الگوریتم MOPSO با وجود بیشتر بودن زمان حل الگوریتم VEPSO نشان داد [Ataee, Tavakolimoghdam and Azizi, 2018]. جباری و سعیدی (۱۳۹۷)، مقاله‌ای با عنوان یک روش جدید برای حل مسئله حمل‌ونقل عمومی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم فراابتکاری ترکیبی PS-ACO انجام داده‌اند. هدف از این تحقیق، حداقل کردن مجموع هزینه های راه‌اندازی خطوط، هزینه تعمیرات و نگهداری، میزان مصرف سوخت و همچنین حداقل کردن زمان ورود اتوبوس به ایستگاه‌ها با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی بوده است. مدل پیشنهادی در نرم افزار GAMS شبیه سازی شده و بر روی آن تحلیل حساسیت صورت گرفته است. با توجه به پیچیدگی و زمان محاسباتی بالای مدل پیشنهادی، یک روش فراابتکاری ترکیبی مبتنی بر رهیافت‌های کلونی مورچگان (ACO) و ازدحام ذرات (PSO) موسوم به PS-ACO نیز برای حل آن توسعه داده‌شد و در نرم‌افزار متلب شبیه سازی گردید. نتایج نشان داد که هزینه سوخت و فاصله مکانی بین ایستگاه‌ها، بیشترین تأثیر در سطح رفاه مسافری را دارد. همچنین از نظر پیچیدگی و زمان حل مدل، تعداد ایستگاه‌ها، تأثیر بیشتری نسبت به تعداد مسیر و تعداد اتوبوس داشته است. [Jabar and Saeedi, 2018].

استادی جعفری و رصافی (۱۳۹۲)، مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی؛ مطالعه موردی: شهر مشهد انجام داده‌اند. در این مقاله تلاش گردیده با استفاده از

مرور تحقیقات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که برنامه ریزی در حوزه سیستم‌های حمل‌ونقل بهینه برای کشورها از اهمیت زیادی برخوردار است.

احمدوند و همکارانش (۱۳۹۴) تحقیقی تحت عنوان مدل‌سازی پویای سیستم حمل‌ونقل شهری پایدار انجام داده‌اند. هدف این مقاله ارائه مدلی پویا برای سیستم حمل‌ونقل شهری با توجه به مفهوم سیستم حمل‌ونقل شهری پایدار بوده است، به طوری که با استفاده از این مدل، ماهیت پیچیده و پویای سیستم حمل‌ونقل شهری درک و تأثیر سیاست‌ها ارزیابی گردد.

در این مقاله با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، مدلی جامع و یکپارچه برای سیستم حمل‌ونقل شهری تهران با توجه به مفهوم سیستم حمل‌ونقل شهری پایدار ارائه گردید و رفتار پویای سیستم ارزیابی شد. در ادامه با شبیه سازی مدل، سیاست‌هایی در جهت افزایش کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری و بهبود پارامترهای ترافیک شهری ارائه گردید. مدل با استفاده از نرم افزار ونسیم و داده‌های شهر تهران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که اجرای ترکیبی سیاست‌های ارائه شده تأثیر بسزایی در بهبود کارایی سیستم حمل‌ونقل و وضعیت پارامترهای ترافیکی شهر تهران دارد [Ahmadvand, Mohammadiani and Khodadadi, 2015].

محمد رضا عدل پرور (۱۳۹۱)، مقاله ای با عنوان بکارگیری منطق فازی در مدل‌سازی انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون شهری انجام داده است. هدف از این تحقیق، وارد کردن هر چه بیشتر ویژگی‌های رفتاری مسافران در مدل‌های انتخاب وسیله نقلیه سفر برون شهری و واقعی تر کردن نتایج مدل‌ها با کاربرد منطق فازی در آن‌ها بوده است. در این راستا برای مدل‌سازی انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون‌شهری از یک مدل لوجیت آشیانه ای استفاده گردید. ابتدا با استفاده از نتایج آماربرداری میدانی، پایگاه داده برای متغیرهای تأثیرگذار در انتخاب مسافران ساخته شد. سپس جهت در نظر گرفتن رفتار مهم انسان در این مدل و افزایش دقت آن، پایگاه داده‌های هر متغیر با استفاده از الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی، فازی‌سازی شدند. مدل نیز با استفاده از روش بیشینه احتمال ساخته و پرداخته شد. نتایج این مدل با مطالعات انتخاب سفر شهرها مقایسه شده که حاکی از بهبود نتایج مدل‌سازی

## طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری....

مدل‌های سیستم پویایی وضعیت حمل و نقل شهر مشهد مدلسازی شود. در ادامه، تعداد ۲۰ سناریو در پنج گروه سیاستی جهت ارزیابی توسعه پایدار حمل و نقل شهری برای افق ۲۰ ساله در نظر گرفته شد و بر مبنای نتایج آن، سیاست‌های مورد نظر در سال، اولویت دهی شد. در این ارزیابی مشخص گردید که سیاست‌های هم‌پیمایی، کاهش خودروهای فرسوده و افزایش کیفیت وسایل نقلیه همگانی، بیشترین تأثیر را بر روی شاخص‌های پایداری گذاشته و توانسته معضلات ناشی از حمل و نقل را طی ۲۰ سال آینده کمینه نماید [Ostadijafari and Rasafi, 2013]. شاهقلیان و همکارانش (۱۳۸۹) مقاله‌ای با عنوان بهبود وضعیت ترافیک، با افزایش عملکرد خدمات حمل و نقل انجام داده‌اند. این مقاله روشی برای مسیریابی وسایل به شکل بهینه ارائه نموده تا از طریق افزایش عملکرد اینگونه مؤسسات خدماتی در بخش حمل و نقل، به بهبود وضعیت ترافیک، منجر شود. تسهیل شرایط مربوط به مسیرهای اولیه، و پیاده سازی ضوابط در ضمن مراحل مرتبط با یکدیگر، مشخصه‌های عمده روش می‌باشند. برای بررسی عملکرد روش در این زمینه، به جای یک مورد، از چندین مورد مطالعاتی، به شکل مسائلی آزمایشی که توسط پژوهشگران و بعضاً با نمونه برداری از موارد واقعی ارائه شده اند، استفاده گردید. نزدیک بودن نتایج حاصل از روش به مقادیر بهینه و بهبود وضع ترافیک حاصل از بهینه شدن مسیر و وسایل، نشان دهنده عملکرد و کارایی قابل قبول روش است [Shahgholian, Shahraki and Hoseinzadeh, 2010]. لوکا و همکارانش (۲۰۱۶) مقاله‌ای با عنوان ارتقای ایمنی حمل و نقل با استفاده از سیستم‌های هوشمند حمل و نقل انجام داده‌اند. سیستم‌های هوشمند حمل و نقل، ابزارهایی پیشرفته جهت بهبود و حفاظت از مؤلفه‌های حیاتی زیرساخت هستند. هدف اصلی تشریح سیستم‌های هوشمندی است که می‌توان از آن‌ها در حفاظت از مؤلفه‌های زیرساخت‌های حیاتی حمل و نقل جاده‌ای و ریلی استفاده کرد [Janušová and Čičmanová, 2016]. دیداتا و همکارانش (۲۰۱۶) مقاله‌ای با عنوان استفاده از تابع فاصله جهت دار با تعدادی از تصادفات به عنوان خروجی نامطلوب در جهت اندازه‌گیری کارایی فنی حالات حمل و نقل جاده‌ای در هند طراحی کردند. در این مقاله از تابع فاصله جهت دار (DDF) و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده شده است. این مطالعه کارایی فنی ۳۷ حالت حمل و نقل جاده‌ای در هند (SRTUs) در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳ را اندازه‌گیری نمود. محققان DDF را به عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل تابع تولیدی با خروجی مطلوب و نامطلوب (به عنوان مثال، تعداد تصادفات) بکار گرفتند. مقایسه بین نتایج در حالت‌های با تصادفات و بدون تصادفات نشان داد که چندین SRTU، تغییرات قابل توجهی را در کارایی خود و همچنین در رتبه بندی خود پس از گزارشات برای خروجی نامطلوب، تجربه کرده‌اند. این نشان‌دهنده اهمیت شمول تعداد حوادث- استاندارد ایمنی- به عنوان حالتی از خروجی نامطلوب در محاسبه دلایل بهره وری SRTUs است. نتایج حاصل از مدل Tobit نشان داد که SRTUs با بهره وری وسیع خودرو، در دو روش معمول DEA و DDF، کارایی بیشتری دارند. آن‌ها همچنین مدل دوجمله‌ای منفی صفرپریده (zero-truncated) را برای ارزیابی عوامل مؤثر بر تعداد تصادفات جاده‌ای تجربه شده توسط SRTUs در هند، بکار گرفتند و متوجه شدند که تعداد تصادفات به طور قابل توجهی با استفاده از ناوگان و بهره وری خودرو تحت تأثیر قرار گرفته‌اند [Debdatta and Subrata, 2016]. یانگ (۲۰۱۶) مقاله- ای با عنوان راهبردهای مدیریتی یک شرکت هواپیمایی در یک بازار رقابتی حمل و نقل هوایی بررسی نمود. این مقاله، راهبردهای مدیریت سه نوع شرکت هواپیمایی- شرکت هواپیمایی دارای خدمات کامل، شرکت هواپیمایی ارزان قیمت فرعی آن و شرکت هواپیمایی ارزان قیمت رقیب- را بر اساس تئوری بازی در بازار رقابتی حمل و نقل هوایی مطالعه کرده- است. فرض بر این است که هر شرکت هواپیمایی به هنگام پیشینه کردن سودهای مخصوص خود، به عنوان بازیگر عمل می‌کند و راهبردهای مربوط به هزینه پرواز، تناوب پرواز، و تعداد هواپیماهای عامل را برای مسیرهای مشخص انتخاب می‌نماید. کمبود تقاضا بین شرکت‌های هواپیمایی، در تابع تقاضای پرواز و بر اساس راهبردهای انتخاب شده همه شرکت‌های هواپیمایی، تلقی می‌شود. این مطالعه از طریق موقعیت‌های مختلف بازی که منعکس کننده ویژگی‌های واقع گرایانه هستند، بینش‌های مدیریتی را فراهم نموده که می‌توانند در بازار رقابتی حمل و نقل هوایی بکار گرفته شوند [Young, 2016].

مدل‌های سیستم پویایی وضعیت حمل و نقل شهر مشهد مدلسازی شود. در ادامه، تعداد ۲۰ سناریو در پنج گروه سیاستی جهت ارزیابی توسعه پایدار حمل و نقل شهری برای افق ۲۰ ساله در نظر گرفته شد و بر مبنای نتایج آن، سیاست‌های مورد نظر در سال، اولویت دهی شد. در این ارزیابی مشخص گردید که سیاست‌های هم‌پیمایی، کاهش خودروهای فرسوده و افزایش کیفیت وسایل نقلیه همگانی، بیشترین تأثیر را بر روی شاخص‌های پایداری گذاشته و توانسته معضلات ناشی از حمل و نقل را طی ۲۰ سال آینده کمینه نماید [Ostadijafari and Rasafi, 2013]. شاهقلیان و همکارانش (۱۳۸۹) مقاله‌ای با عنوان بهبود وضعیت ترافیک، با افزایش عملکرد خدمات حمل و نقل انجام داده‌اند. این مقاله روشی برای مسیریابی وسایل به شکل بهینه ارائه نموده تا از طریق افزایش عملکرد اینگونه مؤسسات خدماتی در بخش حمل و نقل، به بهبود وضعیت ترافیک، منجر شود. تسهیل شرایط مربوط به مسیرهای اولیه، و پیاده سازی ضوابط در ضمن مراحل مرتبط با یکدیگر، مشخصه‌های عمده روش می‌باشند. برای بررسی عملکرد روش در این زمینه، به جای یک مورد، از چندین مورد مطالعاتی، به شکل مسائلی آزمایشی که توسط پژوهشگران و بعضاً با نمونه برداری از موارد واقعی ارائه شده اند، استفاده گردید. نزدیک بودن نتایج حاصل از روش به مقادیر بهینه و بهبود وضع ترافیک حاصل از بهینه شدن مسیر و وسایل، نشان دهنده عملکرد و کارایی قابل قبول روش است [Shahgholian, Shahraki and Hoseinzadeh, 2010]. لوکا و همکارانش (۲۰۱۶) مقاله‌ای با عنوان ارتقای ایمنی حمل و نقل با استفاده از سیستم‌های هوشمند حمل و نقل انجام داده‌اند. سیستم‌های هوشمند حمل و نقل، ابزارهایی پیشرفته جهت بهبود و حفاظت از مؤلفه‌های حیاتی زیرساخت هستند. هدف اصلی تشریح سیستم‌های هوشمندی است که می‌توان از آن‌ها در حفاظت از مؤلفه‌های زیرساخت‌های حیاتی حمل و نقل جاده‌ای و ریلی استفاده کرد [Janušová and Čičmanová, 2016]. دیداتا و همکارانش (۲۰۱۶) مقاله‌ای با عنوان استفاده از تابع فاصله جهت دار با تعدادی از تصادفات به عنوان خروجی نامطلوب در جهت اندازه‌گیری کارایی فنی حالات حمل و نقل جاده‌ای در هند طراحی کردند. در این مقاله از تابع فاصله جهت دار (DDF) و تحلیل پوششی داده‌ها

- لایه دوم: هر گره در این لایه، یک گره ثابت به نام P است که خروجی آنها محصول تمام سیگنال‌های ورودی است.

$$O_{2,i} = w = \mu A_i(x_i) \mu B_i(y), \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

- لایه سوم: در این لایه تنها کاری که صورت می‌پذیرد، نرمال‌سازی خروجی لایه دوم و انتقال آن به لایه بعد است.

$$o_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2. \quad (2)$$

- لایه چهارم: هر گره i در این لایه، یک گره منطبق با تابع گره، به صورت زیر است:

$$o_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1, 2. \quad (3)$$

که در آن  $\bar{w}_i$  یک شدت برانگیختگی نرمال از لایه سوم و  $p_i$  و  $q_i$  و  $r_i$  مجموعه پارامترهای این گره هستند. همچنین پارامترهای این لایه به پارامترهای استنتاجی موسومند.

- لایه پنجم: تنها گره این لایه، یک گره ثابت به نام  $\Sigma$  است که تمامی خروجی‌ها را به عنوان مجموعه همه سیگنال‌های ورودی به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$o_{5,i} = \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}, \quad i = 1, 2. \quad (4)$$

#### ۴. الگوریتم دیکسترا

دیکسترا<sup>۱</sup>، یکی از الگوریتم‌های معروف برای محاسبه کوتاه‌ترین مسیر است که توسط دانشمند هلندی علوم رایانه، ادسُخر دیکسترا در سال ۱۹۵۹ ارائه شد [Dijkstra, 1959]. این الگوریتم یکی از الگوریتم‌های پیمایش گراف است که مسئله کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ واحد را برای گراف‌های وزن‌داری که یال با وزن غیرمنفی دارند، حل می‌کند و در نهایت با ایجاد درخت کوتاه‌ترین مسیر، کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ به همه رأس‌های گراف را به دست می‌آورد. روند این الگوریتم برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ تا رأس مقصد به این ترتیب است که در حین اجرای الگوریتم، به محض پیدا شدن کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ به مقصد، می‌توان الگوریتم را متوقف کرد. در صورتی که گراف، یال با وزن منفی داشته باشد، این الگوریتم درست کار نمی‌کند و می‌بایست از الگوریتم‌های دیگر نظیر الگوریتم بلمن - فورد که پیچیدگی زمانی آنها بیشتر است، استفاده کنیم. همچنین، مرتبه زمانی این الگوریتم برابر  $O(\log(N) * E)$  است. مراحل الگوریتم دیکسترا مطابق زیر است:

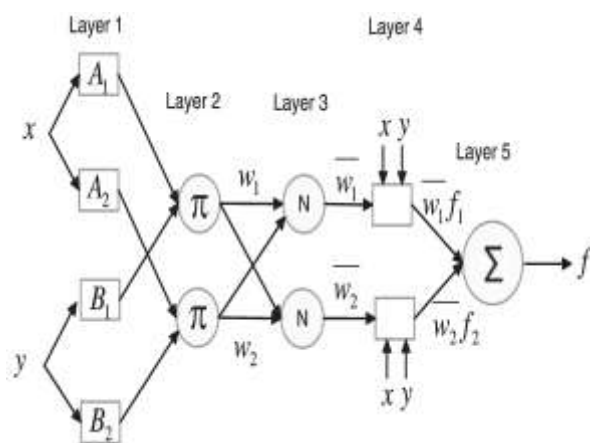
#### ۳. سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی (ANFIS)

سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی،<sup>۶</sup> نوعی شبکه عصبی مصنوعی بر اساس سیستم فازی تاکاگی - سوگینو<sup>۶</sup> است. این شیوه برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط جانگ مطرح شد. ساختار ANFIS شامل قابلیت‌های استنتاج سیستم فازی و انطباق‌پذیری شبکه عصبی است. به عبارت دیگر، این سیستم، شبکه‌های عصبی و مفاهیم منطق فازی را یکی می‌کند و از امکانات هر دو آنها در یک قاب بهره‌مند می‌شود. سیستم استنتاج آن مطابق با مجموعه قوانین فازی اگر- آنگاه است که قابلیت یادگیری برای تقریب زدن توابع غیرخطی را دارد [Jang, 1993]. ANFIS یکی از روش‌های کارآمد در زمینه پیش‌بینی، تخمین و مدل‌سازی است. [Nayak. et al. 2004, Zounemat-Kermani and Teshnelab, 2008]. در پژوهش حاضر از ANFIS برای تخمین حجم ترافیک روزانه استفاده شده است.

شکل ۱ ساختار کلی مدل ANFIS در حالت داشتن دو ورودی و یک خروجی را نشان می‌دهد. در این صورت قوانین فازی موجود در این سیستم عبارتند از:

Rule1: if x is  $A_1$  and y is  $B_1$  then  $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

Rule2: if x is  $A_2$  and y is  $B_2$  then  $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$



شکل ۱. ساختار کلی مدل ANFIS

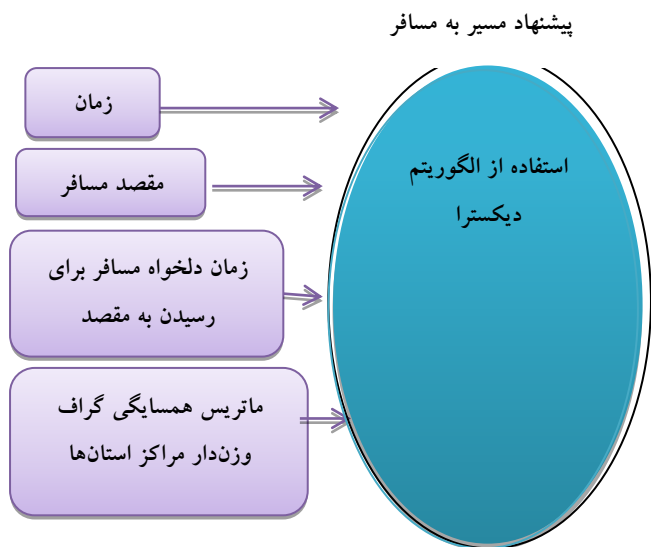
- لایه اول: در این لایه، درجه عضویت گره‌های ورودی به بازه‌های مختلف فازی با استفاده از توابع عضویت مشخص می‌گردد. X یا y، ورودی به گره i و  $A_i$  یا  $B_i$  اسامی متغیرهای زبانی منطبق با این گره می‌باشند.



به مقصد از مسافر نیز دریافت شد که بصورت تصادفی همزمان با تعریف یک مسافر جدید در سیستم برای مسافر در نظر گرفته شده است.

در ادامه، پژوهش به دو بخش تقسیم گردید. یکی شبیه‌سازی سیستم کنونی حمل‌ونقل عمومی برون‌شهری و دیگری شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی حمل‌ونقل. در شبیه‌سازی سیستم کنونی، با ارائه درخواست سفر از سوی مسافر، متناسب با اولویت انتخابی‌اش (هزینه یا زمان) به او پاسخ داده می‌شود. ولی در شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی با دریافت اطلاعات مسافر، متناسب با خواسته او بهینه‌ترین مسیر به وی پیشنهاد می‌شود که طی مسافت از مبدأ به مقصد ممکن است بصورت ترکیبی از تاکسی و اتوبوس انجام شود تا تناسب بیشتری با درخواست مسافر داشته باشد. به این منظور از الگوریتم دیکسترا برای یافتن بهترین مسیر استفاده گردیده است.

شکل ۴، ورودی‌های الگوریتم دیکسترا در این پژوهش را نشان می‌دهد:



شکل ۴. ورودی‌های الگوریتم دیکسترا

در پایان نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی دو سیستم حمل‌ونقل عمومی برون‌شهری مقایسه شدند تا مشخص شود کدام یک بیشتر توانسته خواسته‌های مسافری را برآورده کند.

ترافیک بصورت ضربی در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. البته در این جدول در ستون شهر سه عدد یک، دو و سه ذخیره شده که یک، یعنی هوای مقصد بهتر از مبدأ هست. دو، بدین معنی است که مبدأ و مقصد، از نظر آب و هوایی با یکدیگر شباهت دارند و سه، یعنی هوای مبدأ بهتر از مقصد است.

- فایل زمانبندی حرکت اتوبوس‌ها: این فایل شامل ۳۰ برگ اکسل است که برای هر شهر در یک برگ مجزا مشخص می‌کند که در چه ساعاتی اتوبوس به مقصد شهرهای مختلف و با چه ظرفیت مسافری وجود دارد. این کار بطور جداگانه برای هر شهر با استفاده از اطلاعات زمان حرکت اتوبوس‌ها بطور مستند در سایت‌های معتبر یک به یک جمع شده و در قالب یک فایل ذخیره شده است.
- فایل قیمت اتوبوس‌ها: در این فایل، مبلغ کرایه اتوبوس‌ها ذکر شده و اطلاعات همه شهرها، در یک برگ ذخیره شده است.

در راستای انجام پژوهش حاضر، ابتدا از منابع رسمی، مسافت بین مراکز استان‌ها در جدولی ذخیره شده و با توجه به سرعت متوسط تاکسی‌ها و اتوبوس‌ها در هر مسیر، مدت زمان پایه برای انتقال از یک شهر به شهر دیگر مشخص شده است. یکی از جزئیاتی که در این پژوهش مدنظر قرار گرفته، ترافیک مسیرها است که با توجه به آن، مدت زمان پایه برای انتقال از شهری به شهر دیگر نیز تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد به همین منظور با گردآوری اطلاعات ترافیکی یک هفته به تفکیک روز و ساعت، و ایجاد یک مدل ANFIS، ترافیک زمان موردنظر سیستم تخمین زده شد. برای ایجاد مدل ANFIS موردنظر، تعداد سه ورودی (نوع مسیر، روز هفته و دقایق شبانه روز) و یک خروجی (ضریب ترافیک آن مسیر) در نظر گرفته شده است.

سپس برای شبیه‌سازی بهتر سیستم حمل‌ونقل، تعداد مسافری از هر مبدأ با بهره‌گیری از مطالعه میدانی در ارتباط با میزان درخواست‌های مختلف در زمان‌های مختلف و به مقصدهای مختلف، توسط الگوریتم خوشه‌بندی C- میانگین فازی<sup>۸</sup> (FCM) تخمین زده شد تا به واقعیت نزدیک‌تر باشد. در این مرحله اطلاعات دیگری همچون مقصد، اولویت مسافر (شامل هزینه یا زمان) و محدوده زمانی مورد نظر مسافر برای رسیدن

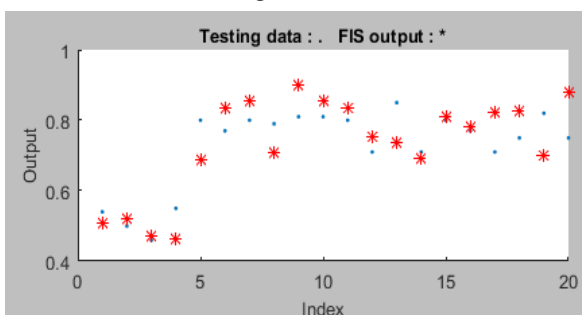


## ۷. یافته‌ها و تحلیل

### ۷-۱ تخمین ترافیک مسیرهای مختلف با ایجاد مدل

#### ANFIS

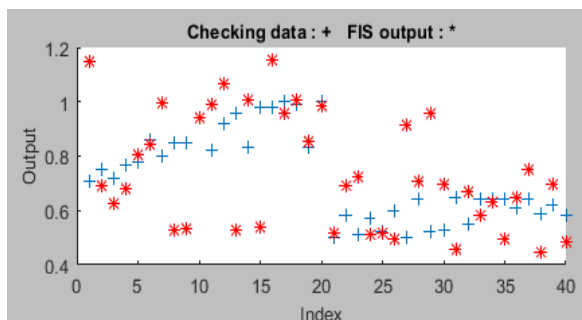
با توجه به اینکه ترافیک موجود در مسیرها به عنوان پارامتری تأثیرگذار بر کارایی سیستم‌های حمل و نقل عمومی محسوب می‌شود، در این راستا با ایجاد و آموزش یک مدل ANFIS، سعی شده تا بهترین تشخیص در این زمینه صورت پذیرد تا در نهایت منجر به طراحی مدل شبیه‌سازی دقیق‌تری گردد. به منظور افزایش اطمینان تخمین ترافیک، داده‌ها به سه بخش آموزشی<sup>۹</sup> و آزمایشی<sup>۱۰</sup> و اعتبارسنجی<sup>۱۱</sup> تقسیم شده‌اند: ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۰ درصد برای آزمایش و ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی. بدین ترتیب که، ابتدا ۱۴۰ داده از ۲۰۰ داده با استفاده از تابعی مناسب در نرم افزار متلب، بصورت تصادفی استخراج گردیده و مدل ANFIS با استفاده از آن‌ها آموزش داده شده است. شکل ۵، میزان خطای آموزش مدل ANFIS ایجاد شده با استفاده از روش خوشه بندی (دسته‌بندی) کاشی<sup>۱۲</sup>، در دوره آموزش را نشان می‌دهد:



شکل ۶. نمودار خطای داده‌های آزمایش در مدل ANFIS ایجاد شده

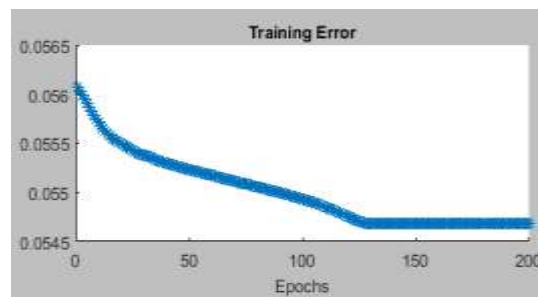
در شکل فوق علامت (\*) نشان‌دهنده خروجی سیستم و علامت (•) نشان‌دهنده داده‌های آزمایشی در مدل ANFIS ایجاد شده است و متوسط خطای محاسبه شده برابر ۰,۰۷۵ است.

شکل ۷، میزان خطای اعتبارسنجی مدل ANFIS ایجاد شده را نشان می‌دهد:



شکل ۷. نمودار خطای داده‌های اعتبارسنجی در مدل ANFIS ایجاد شده

در شکل فوق علامت (\*) نشان‌دهنده خروجی سیستم و علامت (+) نشان‌دهنده داده‌های اعتبارسنجی در مدل ANFIS ایجاد شده است و متوسط خطای محاسبه شده برابر ۰,۰۹ است که تقریباً همپوشانی منطقی دارند. این امر نشان‌دهنده عدم پدیده



شکل ۵. میزان خطای آموزش مدل ANFIS ایجاد شده با روش خوشه بندی کاشی

همانطور که در شکل نشان داده شده است، آموزش مدل ANFIS، از دوره ۱۴۰ به بعد، تأثیری بر کاهش خطای مدل نداشته که این موضوع نشان‌دهنده انتخاب مناسب عدد ۲۰۰ برای تعداد دوره‌های آموزش مدل با استفاده از روش خوشه بندی کاشی است و میزان خطا در مرحله آموزش، ۰,۰۵۴ به دست آمده است. تعداد توابع عضویت برای ورودی‌ها، عدد ۲۴ در نظر گرفته شده است. برای آموزش (یادگیری) پارامترهای توابع عضویت از روش بهینه سازی هیبریدی استفاده گردیده است. نوع سیستم استنتاج فازی مورد استفاده سوگنو با توابع

بیش‌برازش<sup>۱۴</sup> در مدل طراحی شده و دقت بالای مدل ایجاد شده در تخمین ترافیک لحظه‌ای است.

### ۲-۷ تحلیل حساسیت مدل ANFIS ایجاد شده

با توجه به اهمیت تشخیص میزان ترافیک و تأثیر آن بر روند اجرای مدل شبیه‌سازی و حصول اطمینان از انتخاب صحیح ورودی‌های (ویژگی‌ها) بکارگرفته شده در ایجاد مدل ANFIS، میزان حساسیت ترافیک تخمین زده‌شده نسبت به هر یک از ورودی‌ها با بکارگیری ابزار Neuro\_Fuzzy\_Designer محاسبه شده و نتایج مطابق با جدول ۲ بدست آمده است:

همان‌طور که از نتایج موجود در جدول برمی‌آید، استفاده از ورودی روزهای هفته نسبت به دو ورودی دیگر، تأثیر بیشتری را بر عملکرد مدل ANFIS تخمین ترافیک دارد. اما در کل استفاده از هر سه ورودی، به نوبه خود تأثیر بسزایی را در کاهش خطای تشخیص مدل ANFIS داشته‌است. به‌عنوان مثال، میزان خطای مدل بدون احتساب ورودی روزهای هفته

برابر ۰.۲۳۲ بوده و با بهره‌گیری از این ورودی در کنار دو متغیر دیگر، این میزان خطا به ۰.۰۴۸ تقلیل پیدا کرده‌است که نشان‌دهنده کاهش ۰.۱۷۸ یا به عبارتی کاهش ۷۷ درصدی خطای آموزش است. به هر حال با توجه به اعداد بدست آمده از تحلیل حساسیت ورودی‌های مورد استفاده در مدل ANFIS، میزان تأثیر هر یک از ورودی‌ها در تشخیص میزان ترافیک مشخص شده که نمایانگر انتخاب بجا و مناسب ورودی‌هاست.

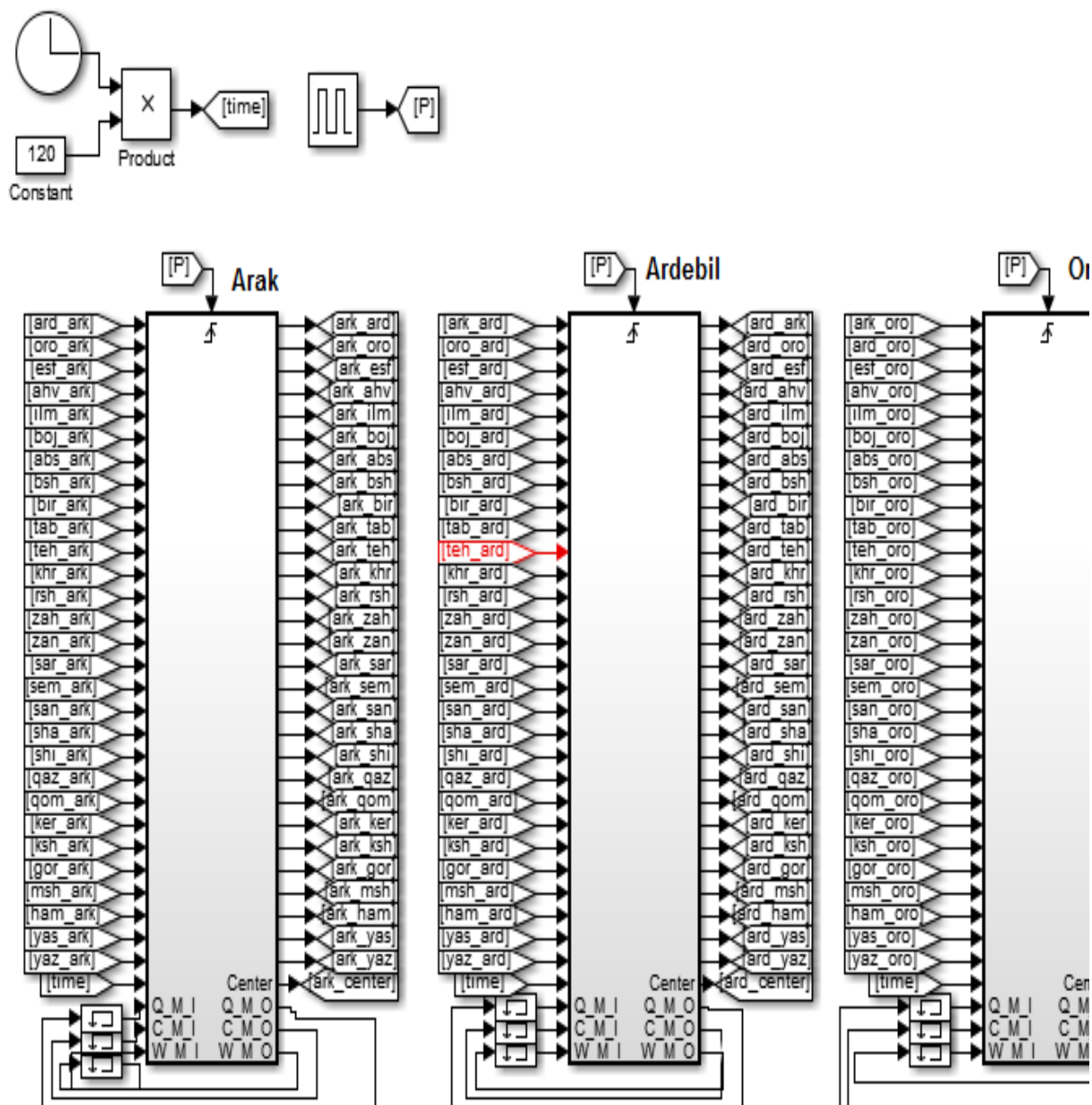
### ۳-۷ ایجاد مدل شبیه‌سازی سیستم فعلی حمل‌ونقل

شکل ۸ گوشه‌ای از مدل شبیه‌سازی سیستم فعلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از قسمت فوقانی تصویر پیداست، هر پالس اجرای مدل شبیه‌سازی ۱۲۰ دقیقه، معادل دو ساعت در نظر گرفته شده است و زیر سیستم مربوط به تمام شهرها به این پالس متصل شده‌اند تا در بازه‌های زمانی دو ساعته، اطلاعات مربوط به مسافرین و اتوبوس‌ها به‌روز شود.

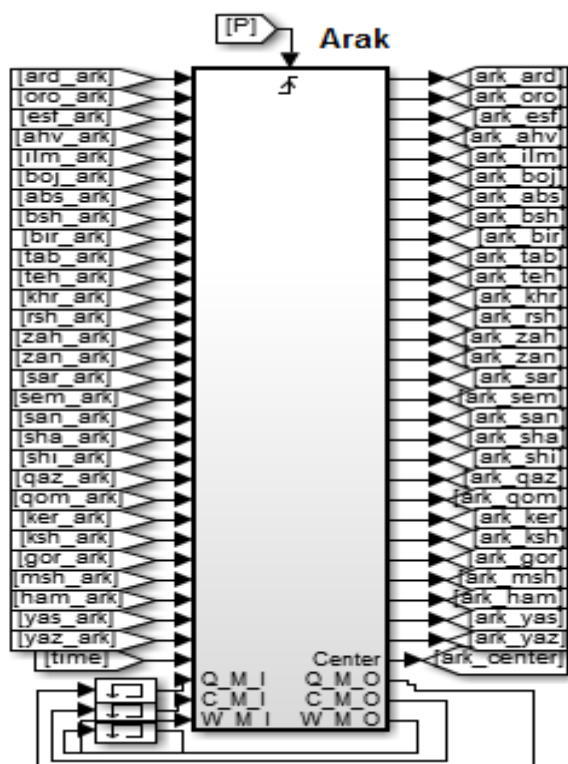
جدول ۲. میزان تأثیر هر ورودی بر عملکرد مدل تخمین ترافیک

ورودی	میزان خطا بدون محاسبه	میزان کاهش خطا با احتساب	درصد تأثیر مثبت ورودی بر کاهش خطا
نوع مسیر	۰/۰۹۸	۰/۰۴۴	٪ ۴۵
روزهای هفته	۰/۲۳۲	۰/۱۷۸	٪ ۷۷
اوقات شبانه روز	۰/۱۱۶	۰/۰۶۲	٪ ۵۳

طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری....



شکل ۸. بخشی از مدل شبیه سازی سیستم حمل و نقل فعلی



شکل ۹. زیرسیستم مربوط به شبیه‌سازی شهر اراک

شکل ۹ به عنوان نمونه، شبیه‌سازی شهر اراک را نشان می‌دهد: یکی از ورودی‌ها **time** است که در هر پالس ۲ ساعت به مقدار آن افزوده می‌شود. ۲۹ ورودی آن مربوط به مسافرینی است که از شهرهای مختلف به اراک آمده‌اند و از آن‌جا یا به شهر دیگر عزیمت می‌کنند و یا مقصد نهایی آن‌ها اراک بوده و سفرشان به اتمام می‌رسد. ۲۹ خروجی نیز به شهرهای دیگر متصل می‌شوند، تا از آن طریق مسافرین به مقاصد بعدی خود هدایت شوند. خروجی دیگری که برای زیرسیستم اراک با نام **Ark\_Center** مشخص شده است، حاوی مسافرینی هست که در یک پالس به مقصد خود که اراک باشد رسیده، و اطلاعاتشان به مرکز شبیه‌سازی، برای تحلیل و بررسی ارسال می‌شود.

**Q\_M**: لیست مسافرینی که منتظر حرکت اتوبوس خود از اراک می‌باشند.

**W\_M**: لیست مسافرینی که در جاده بوده و منتظر رسیدن به مقصد می‌باشند تا اطلاعاتشان به یکی از ۲۹ خروجی فوق‌الذکر منتقل شود.

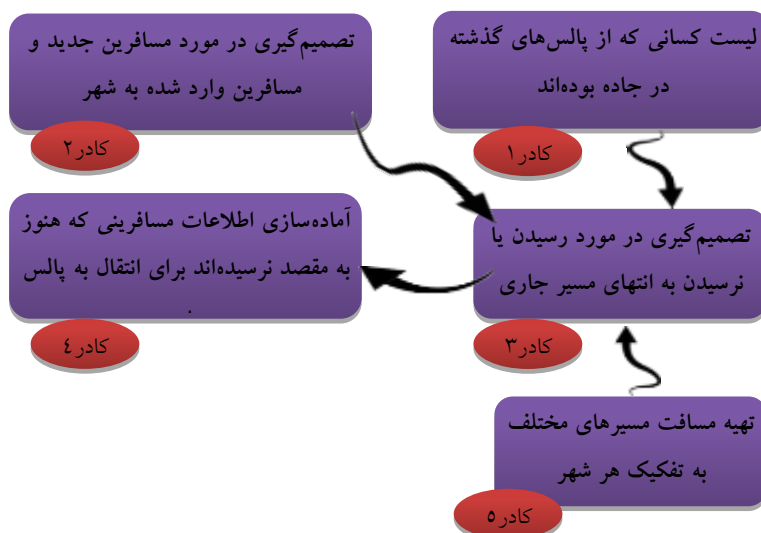
**C\_M**: این لیست مربوط به ساعت و ظرفیت باقیمانده اتوبوس‌ها از مبدأهای مختلف به مقصدهای مختلف است که در هر پالس بایستی به‌روزرسانی شود.

سه ورودی و خروجی بخش پایین زیرسیستم نیز که به واسطه بلاک حافظه به یکدیگر وصل شده‌اند، به ترتیب عبارتند از:

طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری....



شکل ۱۰. محتویات زیرسیستم شکل ۹

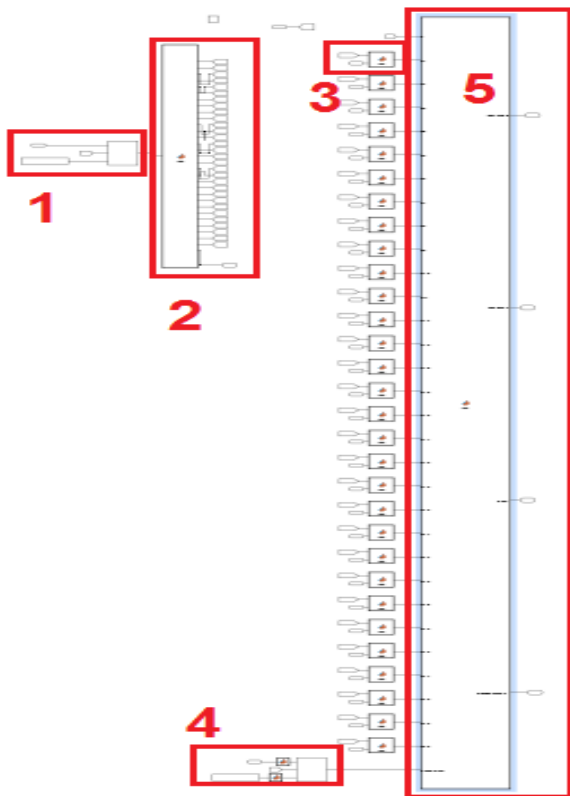


شکل ۱۱. جزئیات عملکرد زیرسیستم شکل ۱۰

کادرا ۲: در این زیرسیستم، سه مقدار تعداد کل مسافری، مجموع کرایه پرداختی و درصد استفاده مسافری از اتوبوس محاسبه می شود.

کادرا ۱: اطلاعات مسافری از همه شهرها را در قالب ماتریسی واحد درآورده و به زیرسیستم بعد که در کادرا ۲ نشان داده شده است هدایت می کند.

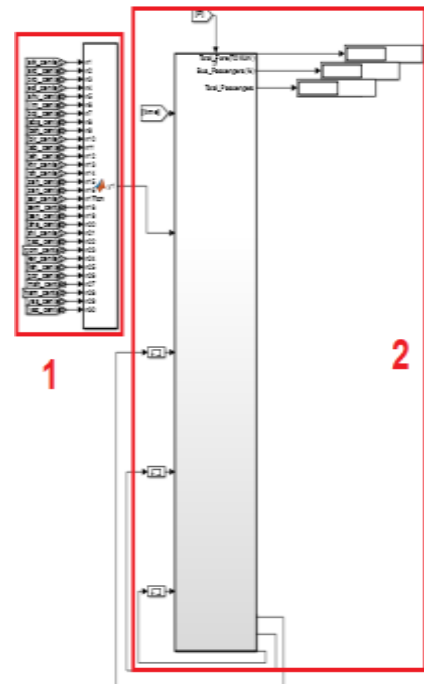
توضیح هر بخش زیرسیستم شکل ۱۳ عبارتست از:  
 کادر ۱: تعداد مراجعین به ترمینال هر شهر را مشخص می‌کند.  
 کادر ۲: این بخش پس از جدا کردن بردار مربوط به تعداد مسافری که مراجعه کننده به هر شهر، در هر مقطع زمانی دو ساعته، اطلاعاتی همچون اطلاعات مسافرینی که به مقصد رسیده‌اند، تعداد مسافرینی که با اتوبوس سفر کرده‌اند و تعداد کل مسافرین را مشخص می‌کند تا در اختیار بخش بعد قرار دهد. همچنین اطلاعات ظرفیت لحظه‌ای اتوبوس‌ها و مسافرین را نیز (به ترتیب با نام‌های C\_M\_O , P\_M\_O) به حافظه منتقل می‌کند تا در مقاطع زمانی بعد، مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۱۴. محتویات زیرسیستم مربوط به تصمیم‌گیری در مورد مسافرین در سیستم پیشنهادی

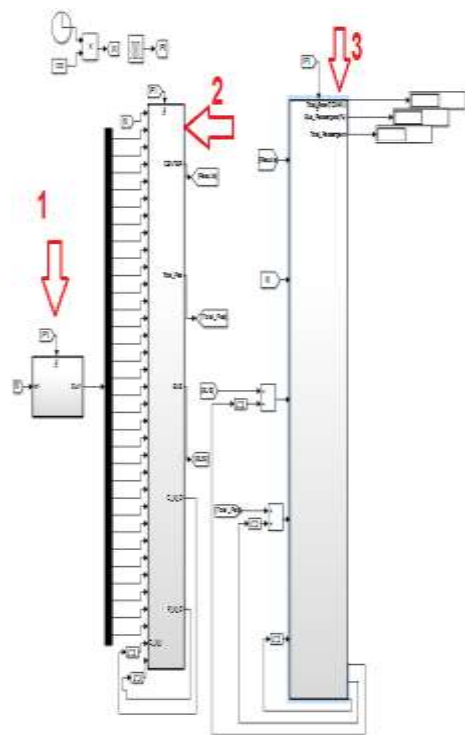
شکل ۱۴ محتویات این زیرسیستم را نشان می‌دهد:

کادر ۱: بررسی می‌شود که در صورت قرارداد داشتن در ۱۲۰ دقیقه اول، از اطلاعات مسافرینی که در فایل Passenger ذخیره شده است استفاده شود، در غیر این صورت، از اطلاعات ورودی



شکل ۱۲. بخش مربوط به تحلیل و نمایش نتایج مدل شبیه‌سازی

#### ۴-۷. شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی حمل و نقل برون شهری



شکل ۱۳. نمای کلی مدل شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی

## طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری....

کادر ۴: در این بخش، بسته به اینکه در ۱۲۰ دقیقه اول قرار داریم یا خیر، اطلاعات اولیه مربوط به ظرفیت اتوبوس ها یا ظرفیت به روز شده را برای استفاده در ادامه شبیه سازی آماده می کند.

کادر ۵: در این بخش یک تابع متلب MATLAB قرار دارد که وظیفه اصلی در این مدل شبیه سازی را برعهده دارد. شکل ۱۵ جزئیات این بخش را بصورت شماتیک نشان می دهد:

به این بخش که در حافظه مربوطه ذخیره شده است استفاده شود.

کادر ۲: اطلاعات مسافرین را برای هر شهر با نام خود آن شهر جدا می کند.

کادر ۳: اطلاعات مسافرینی که تعدادشان در مراحل قبل و با استفاده از الگوریتم FCM مشخص شده است برای هر شهر جداسازی و آماده استفاده می شود.



شکل ۱۵. جزئیات زیرسیستم مربوط به تصمیم گیری در مورد مسافرین در سیستم پیشنهادی

مصرف سوخت و صرفه‌جویی در هزینه و زمان اتخاذ گردد. در نتیجه این تحقیقات و بررسی‌های به‌عمل‌آمده، ایجاد یک مدل ANFIS برای تخمین ترافیک مسیرها، الگوریتم FCM برای تعیین تعداد مسافرین مراجعه‌کننده به ترمینال هر شهر، و بالأخره الگوریتم دیکسترا برای مسیریابی بهینه از مبدأ به مقصد مسافرین به دلیل تناسب موضوعی با ماهیت موضوع مورد بحث پژوهش، انتخاب گردید. در ادامه، ضمن استخراج، گردآوری و تنظیم هدفمند داده‌ها از اماکن مرتبط با موضوع حمل‌ونقل عمومی، با بهره‌گیری از نرم‌افزار سیمولینک و با استفاده از توابع متلب، دو مدل شبیه‌سازی مربوط به سیستم فعلی و سیستم پیشنهادی حمل‌ونقل عمومی طراحی و به مدت یک هفته اجرا شد و در نهایت، نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شد. طبق نتایج، میزان استفاده مسافرین از اتوبوس نسبت به تاکسی ۸/۲٪ افزایش، میزان استفاده از حداکثر ظرفیت اتوبوس‌ها ۱۲/۶۶٪ افزایش و مجموع کرایه‌های پرداختی توسط مسافرین ۱۷۵۱۰ تومان کاهش را نشان داد. ارزش سیستم حمل‌ونقل طراحی شده محدود به بهینگی مصرف سوخت و کاهش هزینه مسافرین نشده و با توجه به استفاده حداکثری از ظرفیت اتوبوس‌ها، محیط زیست سالم‌تری را نیز به ارمغان می‌آورد. بنابراین اگر بخواهیم کرایه پرداختی مسافر، اطمینان خاطر مسافر در تهیه بلیط و مسیریابی بهینه از نظر زمان را در زمره دغدغه‌ها و مؤلفه‌های تأثیرگذار بر رضایت مسافرین قرار دهیم، موارد مطرح شده پاسخگوی تمامی این مؤلفه‌ها خواهد بود. لازم به ذکر است که یافته‌های پژوهش حاضر، فارغ از صحت اطلاعات مورد استفاده، هیچ‌یک وابسته به اطلاعات اخذ شده نبوده و در مورد هر داده‌ای می‌تواند صدق کند. یکی از دلایل آن، پویایی روش‌های مورد استفاده در این پژوهش بوده است و دیگر اینکه، مدل‌های تصمیم‌گیر با استفاده از هوش مصنوعی خود را با داده‌های آموزشی وفق می‌دهند.

## ۹. پی نوشت ها

1. World Health Organization (WHO)
2. International Energy Agency (IEA)
3. Public Transportation System
4. Suburban Public Transportation System
5. Adaptive Network Based Fuzzy Inference System
6. Takagi – Sugeno
7. Dijkstra

اما بخشی از شکل ۱۷ که با شماره ۳ علامت‌گذاری شده است مربوط به محاسبه نتایج حاصل از اجرای شبیه‌سازی است. همان‌طور که از نمای بیرونی این بخش مشاهده می‌شود، علاوه بر ورود متغیر زمان و اطلاعات مسافرینی که به مقصد رسیده اند، تعداد کل مسافرین و تعداد مسافرین اتوبوس‌ها نیز، ضمن اضافه شدن به مقادیر موجود در حافظه مربوطه، به داخل زیرسیستم هدایت می‌شوند.

## ۷-۵ مقایسه نتایج مدل‌های شبیه‌سازی

با اجرای مدل‌های شبیه‌سازی مربوط به سیستم کنونی و سیستم پیشنهادی حمل‌ونقل عمومی برون‌شهری به مدت یک هفته، نتایج جدول ۳ حاصل شد:

جدول ۳. مقایسه نتایج حاصل از اجرای دو مدل شبیه‌سازی سیستم فعلی و پیشنهادی

مقایسه	مدل فعلی	مدل پیشنهادی	ورودی
درصد استفاده از اتوبوس	۷۰/۶٪	۷۸/۰۸٪	۸/۲٪ افزایش
درصد صندلی‌های خالی	۲۴/۲٪	۱۱/۵۴٪	۱۲/۶۶٪ کاهش
میانگین کرایه پرداختی توسط هر مسافر	۸۱۸۳۰	۶۴۳۲۰	۱۷۵۱۰ کاهش

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و روش‌های نوین، به میزان قابل‌توجهی در زمان و هزینه صرفه‌جویی به همراه خواهد داشت و بدیهی است که نتایج این پژوهش زمانی اهمیت خود را بیستر نمایان می‌سازد که در بازه زمانی یک یا چندساله اجرا شود. نتایج جدول ۳ در کنار بهره‌وری از حیث اقتصادی و زمانی، به میزان زیادی آرامش خاطر مسافرین در تهیه بلیط و متعاقباً کمک به محیط زیست را به همراه خواهد داشت.

## ۸. نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، ابتدا به تحقیق و بررسی کارهای صورت‌گرفته در زمینه حمل‌ونقل عمومی پرداخته شد، تا با بهره‌گیری از این پژوهش‌ها، روش مناسب جهت بهینه‌سازی



## طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری....

افزایش عملکرد خدمات حمل و نقل"، فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک، سال پنجم، شماره ۱۸، ص. ۱۹-۴۲.

- عدل پرور، محمدرضا (۱۳۹۱) "بکارگیری منطق فازی در مدلسازی انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون شهری"، فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال چهارم، شماره اول، ص. ۷۹-۸۵.

- عطائی، اسفندیار، توکلی مقدم، رضا و عزیزی، زینب (۱۳۹۷) "بهبود سیستم حمل و نقل عمومی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات با بردار ارزیابی - مطالعه موردی در سازمان اتوبوسرانی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال نهم، شماره سوم، ص. ۴۱۳-۴۲۹.

- فلاح منشادی، الهام، روحی، امیر و سعیدی زند، پدram (۱۳۹۱) "بررسی و ارایه سیاست های دستیابی به حمل و نقل پایدار در تهران"، دانش شهر، ۱۲۸، ص. ۴-۷۶.

- مریدی، مرضیه (۱۳۹۴) "نقش قوانین و مقررات در ترافیک و حمل و نقل شهری"، ششمین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری، مرکز پژوهش های شورای اسلامی مشهد، ۲۱ و ۲۲ آبان.

- یعقوبی وایقان، فریبرز و حسینی، محمود (۱۳۸۸) "ارائه یک روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه ای برای سامانه های حمل و نقل برون شهری"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال ششم، شماره اول، ص. ۶۵-۸۵.

- Diestel, R. (2010) "Graph theory", 4th Edition, published by Springer, Berlin, Heidelberg.

- Dijkstra, E. W. (1959) "A note on two problems in connection with graphs," Numerische Mathematic, Vol. 1, pp. 269-271.

8. Fuzzy C-mean Clustering

9. Training

10. Testing

11. checking

12. Sub.Clustering

13. Weight Average

14. Overfitting

## ۱۰. مراجع

- احمدوند، علی محمد، محمدیانی، زینب و خدادادی، حدیثه (۱۳۹۴) "مدلسازی پویای سیستم حمل و نقل شهری پایدار به منظور اصلاح و بهبود ترافیک"، پژوهش های مدیریت در ایران، دوره ۱۹، شماره ۲، ص. ۳۱-۵۲.

- استادی جعفری، مهدی و رصافی، امیرعباس (۱۳۹۲) "ارزیابی سیاست های توسعه پایدار در بخش حمل و نقل شهری با استفاده از مدل های سیستم پویایی؛ مطالعه موردی: شهر مشهد"، مدیریت شهری، دوره ۱۱، شماره ۳۱، ص. ۲۸۱-۲۹۴.

- امینی نژاد، رامین و افتخاری، قدرت (۱۳۹۰) "مقدمه ای بر برنامه ریزی حمل و نقل شهری"، انتشارات دانشگاه پیام نور تهران، چاپ اول.

- سلطانی، علی (۱۳۹۰) "مباحثی در حمل و نقل شهری با تاکید بر رویکر پایدار"، انتشارات دانشگاه شیراز، چاپ اول.

- جباری، الهام و سعیدی، شهرام (۱۳۹۷) "یک روش جدید برای حل مسئله حمل و نقل عمومی با استفاده از برنامه ریزی خطی و الگوریتم فراابتکاری ترکیبی PS-ACO"، فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی حمل و نقل، انتشار آنلاین، [www.jte.sinaweb.net](http://www.jte.sinaweb.net).

- شاهقلیان، کیوان، شهرکی، علیرضا و حسین زاده سلجوقی، مصطفی (۱۳۸۹) "بهبود وضعیت ترافیک با

- Janušová, L. and Čičmancová, S. (2016) "Improving safety of transportation by using intelligent transport systems", *Procedia Engineering*, Volume 134, pp. 14-22.
- Li, Y. and DaCosta, M. (2013) "Transportation and income inequality in China: 1978– 2007", *Transportation Research Part, A: Policy and Practice*, Vol. 55, pp. 56-71.
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P., Rangan, D. M. and Ramasastri, K. S. (2004) "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series", *Journal of Hydrology*, Vol. 291, No. 2, pp. 52-66
- Young, Dae Ko (2016) "An airline's management strategies in a competitive air transport market", *Journal of Air Transport Management*, Volume 50, pp. 53–61.
- Debdatta, Pal and Mitra, Subrata K. (2016) "An application of the directional distance function with the number of accidents as an undesirable output to measure the technical efficiency of state road transport in India", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 93, pp. 1–12.
- Hidalgo, D. and Huizenga, C. (2013) "Implementation of sustainable urban transport in Latin America", *Research in Transportation Economics*, Vol. 40, No.1, pp. 66-77.
- Hutchison, R. (2010) "Encyclopedia of urban studies", SAGE Publications.
- Jang, J. S. R. (1993) "ANFIS: Adaptive network based fuzzy inference system", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.23, No.3, pp. 665 - 685.
-

## طراحی و شبیه سازی ترکیبی سیستم پویای حمل و نقل عمومی برون شهری....

مریم رحمتی، درجه کارشناسی در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه مازندران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت صنعتی - گرایش سیستم ها از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مربوط به سیستم های هوشمند، زنجیره تأمین و علوم تصمیم گیری بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس است.



رضا رادفر، درجه کارشناسی در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران - جنوب و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز اخذ نمود. در سال ۱۳۸۳ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت صنعتی - گرایش سیستم ها از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مربوط به مدیریت سیستم ها، مدیریت تکنولوژی و مدیریت نوآوری بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با درجه استادی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران است.



عباس طلوعی اشلقی، درجه کارشناسی در رشته زمین شناسی را در سال ۱۳۷۱ از دانشگاه شهید بهشتی تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۷۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت صنعتی - گرایش تحقیق در عملیات از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مربوط به مدل سازی، داده کاوی و شبیه سازی بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با درجه استادی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران است.



نازنین پیله وری سلماسی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی شیمی را در سال ۱۳۷۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی - گرایش تولید را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت صنعتی - گرایش تولید از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مربوط به مدیریت تولید، زنجیره تأمین و تکنیک های تصمیم گیری بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی رتبه دانشیاری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری است.

