برآورد تقاضای سفر روستایی با روش‌های آمار فضایی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: شهرستان تبریز)

مقاله علمی – پژوهشی

محسن آقایاری هیر*، استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
محمد ظاهری، دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
ناهید رحیم‌زاده، دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، تبریز، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: aghayarihir@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۳۸۶-۳۶۷

چکیده

فرآیند پیش‌بینی تقاضای سفر یک گام کلیدی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است و شامل مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی می‌باشد که سعی در شبیه‌سازی رفتار انسان در سفرها دارند. این فرآیند برای تخمین تعداد سفرهایی که در آینده در سیستم حمل‌ونقل انجام می‌گیرد، استفاده می‌شود. هدف این مقاله، برآورد تقاضای سفر با روش‌های آمار فضایی و شبکه عصبی مصنوعی، سپس مقایسه نتایج حاصل از این روش‌ها جهت تعیین دقت هر یک برای تخمین تقاضای سفر است. پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش انجام آن توصیفی – تحلیلی است. جامعه آماری تحقیق، تمام خانوارهای روستاهای شهرستان تبریز است که ٤٠٧١٤ خانوار می‌باشد و با استفاده از فرمول کوکران، ۳۸۰ خانوار به‌عنوان جامعه نمونه انتخاب شدند. جمع‌آوری اطلاعات با ابزار پرسشنامه محقق ساخته و بر اساس شاخص‌های تحقیق انجام گرفت و در نتیجه تقاضای واقعی سفر افراد تخمین زده شد. بعد از تخمین تقاضای واقعی سفر، برآورد سفر با استفاده از روش‌های حداقل مربعات معمولی، رگرسیون وزنی جغرافیایی و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه انجام گرفت و نتیجه حاصل از آنها با تخمین واقعی سفر مقایسه شد. نتایج مطالعه نشان داد که رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و حداقل مربعات معمولی به ترتیب بیشترین تا کمترین دقت را در برآورد تقاضای سفر دارند.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی تقاضای سفر، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون وزنی جغرافیایی، روستایی، شهرستان تبریز

۱-مقدمه

تخمین تقاضای سفر، یک رکن اساسی و نقطه شروع برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به‌شمار می‌رود. به‌همین دلیل است که برنامه‌ریزان به‌منظور آگاهی از حجم تقاضای موجود و آتی، بهبود و توسعه سیستم حمل‌ونقل و ابعاد مختلف زیرساخت‌های آن، خصوصاً ارزیابی نیازهای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل آینده یک منطقه، از آن استفاده می‌کنند (Gelhausen et al., 2018). علاوه بر این برآورد تقاضای سفر، برای محاسبهٔ سفرهای جاری و پیش‌بینی سناریوهای آینده حمل‌ونقل نیز به‌کار می‌رود. پیش‌بینی بلند مدت تقاضای سفر یک وظیفه اساسی در فرایند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است که به‌دنبال تعیین استراتژی‌هایی جهت برآوردن

نیازهای آینده است. این استراتژی‌ها ممکن است شامل سیاست‌های استفاده از زمین، برنامه‌های قیمت‌گذاری و گسترش عرضه خدمات حمل‌ونقل، توسعه بزرگراه‌ها و افزایش خدمات ترانزیتی باشد. با توجه به اینکه تخصیص سرمایه و منابع کمیاب به خدمات حمل‌ونقل و اجرای پروژه‌های زیرساختی و جاده‌ایی با در نظر گرفتن نتایج حاصل از برآورد سفر انجام می‌گیرد، دقت در پیش‌بینی‌ها از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. به‌گونه‌ای که پیش‌بینی‌های نادرست می‌تواند به اندازه نامناسب شبکه جاده‌ای، ناکارآمدی سیستم خدمات حمل‌ونقل عمومی، پایانه‌های مسافربری و ... منجر شود (Metropolitan Coucil, 2012). به‌همین دلیل، در بیشتر مطالعات، پیش‌بینی نادرست تقاضای سفر ریشهٔ اصلی ریسک و عدم قطعیت در پروژه‌های حمل‌نقل در نظر گرفته شده است (Gue and Zhang, 2020). پیش‌بینی‌های دقیق از نظر اقتصادی و اجتماعی نیز مهم هستند. برای مثال تمام پروژه‌های جاده‌ای در نروژ و اکثر کشورهای اروپای غربی با استفاده از تجزیه و تحلیل سنتی هزینه و فایده انجام می‌گیرند که به شدت بر دقت پیش‌بینی‌های به‌کار رفته در آنها متکی است. اگر سطح ترافیک به‌طور قابل توجهی کمتر از حد پیش‌بینی شده باشد، می‌تواند بر کل مزایای ناشی از صرفه‌جویی در زمان، کاهش تصادفات یا کاهش هزینه‌های عملکرد وسیله نقلیه تأثیر بگذارد. همچنین قابلیت اجتماعی و اجرائی این پروژه‌ها را مخدوش کند (Flyvbjerg, 2005).

پیش‌بینی تقاضای سفر برای مناطق روستایی نیز ابزاری است که برنامه‌ریزان و تحلیلگران در اختصاص خدمات حمل‌ونقل به جمعیت محروم روستایی، از آن بهره می‌گیرند (Berger, 2012). هدف اصلی برآورد تقاضای سفر در روستاها، تطبیق عرضه حمل‌ونقل متناسب با تقاضا است. به‌گونه‌ای که مشکلات تحرک و جابه‌جایی در روستاها (که اغلب به خدمات اساسی دسترسی ندارند) تا حدی برطرف شود. بدین منظور اطلاع از تقاضای سفر موجود و یافتن عوامل مؤثر بر آنها ضروری است (Villwock-Witte, 2018). مدل‌ها و روش‌های ریاضی متعددی برای برآورد تقاضای سفر مورد توجه قرار دارند. هدف این مقاله ضمن تعیین روشی با دقت بیشتر در برآورد تقاضا، تخمین سفر با استفاده از عوامل مؤثر بر آن است. علاوه بر این تلاش می‌شود با استفاده از مدل‌های آمار فضایی، ناهمگونی جغرافیایی تقاضای سفر و تأثیر متغیرهای کلیدی در آن مورد ارزیابی قرار گیرد. امید است یافته‌های حاصل از تحقیق برای تجزیه و تحلیل الگوهای سفر در روستاها و همچنین شناخت عوامل مؤثر بر آنها مفید باشد. در پژوهش حاضر از مدل‌های آمار فضایی و شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد تقاضای سفر روستایی استفاده شد و با مقایسه نتایج حاصل از این روش‌ها با تقاضای واقعی سفر، دقت روش‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

۲- پیشینه تحقیق

پیش‌بینی‌ها برآوردی هستند که بر اساس روابط علی، با داده‌های ورودی، فرضیه‌ها و روش‌های مشخص انجام می‌گیرند. برخلاف پیشگویی، پیش‌بینی یکی از خصیصه‌های علوم جدید محسوب می‌شود که اعتبار آن به‌دلیل ناقص بودن داده‌ها، عدم کیفیت روش‌شناختی و عدم قطعیت در مورد عوامل و مفاهیم تأثیرگذار بر آنها معمولاً محدود است (Hughes, 2019). روش علمی پیش‌بینی آینده آن است که با مجموعه داده‌هایی از سیستم واقعی، مدل مجازی طراحی شود که رفتارش شبیه سیستم واقعی شود (غفاری و عبداللهی‌نیا، ۱۳۹۹). از جمله پیش‌بینی‌ها در علوم، پیش‌بینی در حوزه حمل‌ونقل است. تخمین تقاضای سفر یکی از پیش‌بینی‌های رایج در علم برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و از مهم‌ترین موارد لازم برای برنامه‌ریزی و طراحی در زمینه حمل‌ونقل است که مهندسان حمل‌ونقل برای مدیریت منابع موجود و تخصیص منابع جدید در همه بخشهای حمل‌ونقل و تخمین دقیق مسافران در بعد ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی آن را به‌کار می‌گیرند (Gue and Zhang, 2020). مدلهای برآورد تقاضای سفر امکان تخمین تغییرات ترافیکی آینده و میزان سفرهای احتمالی را فراهم نموده و تنگناهای احتمالی سیستم حمل‌ونقل را شناسایی می‌کنند تا بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل، بتوان در مورد اثربخشی راه‌حل‌های ارائه شده، قبل از اجرای آنها تصمیم‌گیری نمود. این مدل‌ها باید به‌راحتی در مناطق مختلف قابل انتقال و مقرون به صرفه باشند و بتوانند رفتار مسافران را در طول سفر تخمین بزنند (Zhang et al., 2019). علاوه بر این، برآورد ماندگاری مالی پروژه‌ها تیز بستگی زیادی به دقت پیش‌بینی تقاضای سفر دارد. این پیش‌بینی‌ها همچنین پایه ارزیابی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پروژه‌های زیرساختی حمل‌ونقل هستند

(Flyvbjerg, 2005). فرایند انتخاب عوامل و متغیرهای مؤثر بر تقاضای سفر یکی از مهم‌ترین اجزای برآورد و مدلسازی تقاضای سفر است. در واقع، از جمله ویژگی این مدل‌ها به کار بردن عوامل مختلفی از جمله تسهیلات حمل‌ونقل، عوامل اقتصادی- اجتماعی، تغییرات کاربری زمین و ... در پیش‌بینی تقاضای سفر است (Sedehi et al., 2010: 6). اگر این عوامل به‌درستی انتخاب شوند نتایج بهتری به‌دست می‌آید. ممکن است برخی از متغیرها دارای اثرات مشابه باشند که نهایتاً باعث کاهش ضریب تبیین مدلها شده و از اعتبار آنها کاسته شود. نوع کاربرد این عوامل در مدل‌ها باعث ارائه رویکردهای متفاوت در پیش‌بینی تقاضای سفر شده است، به‌گونه‌ای که هر چه پیچیدگی مسائل حمل‌ونقل و محیط زیست بیشتر می‌شود، تصمیم‌سازان بیشتر به این مدل‌ها وابسته شده و به‌دنبال روش‌هایی برای پیش‌بینی صحیح تقاضای سفر می‌گردند (Van.Wee, 2007). رویکردهای متعددی برای پیش‌بینی تقاضای سفر مطرح شده است از جمله:

رویکرد اول، مدل چهارمرحله‌ی سنتی که بر اطلاعات ناحیه‌بندی ترافیکی مبتنی است و قابلیت پیش‌بینی درازمدت فعالیت‌های کاربری اراضی و تقاضای سفر را ندارد. زیرا فعالیت‌های کاربری زمین به شکل برون‌زا برای مدل تعریف می‌شوند. به‌علت ارتباط متقابل پویا با سیستم کاربری زمین نمی‌توان از این مدل برای پیش‌بینی تقاضای سفر با افق بیش از ۵ سال استفاده کرد.

رویکرد دوم، مدل‌های تقاضای سفر رفتاری است که توانایی پیش‌بینی درازمدت تقاضای سفر را ندارند، این مدل‌ها نیز فقط از اطلاعات استفاده می‌کنند و جزو مدل‌های استاتیکی هستند. محدودیت اصلی این مدل‌ها، تمرکزشان در بخش تقاضای حمل‌ونقل شهری است. عمده‌ترین ضعف این مدل‌ها عدم تبیین عرضه سیستم حمل‌ونقل به‌صورت شفاف و ایجاد محدودیت در برنامه‌ریزی سیستم حمل‌ونقل است.

رویکرد سوم، مدل‌های مرتبط با حمل‌ونقل و کاربری زمین است. این مدل، در صورت وجود اطلاعات، دارای مکانیسم ارتباط متقابل پویا بوده که به‌وسیلهٔ آن، هزینه‌های حمل‌ونقل آثار تأخیری بر الگوی کاربری زمین می‌گذارند. ضعف این مدل، حساس نبودن آن در مرحله ایجاد سفر به هزینه سفر است؛ این مسئله ممکن است برای سفرهای کاری مناسب باشد، اما در سفرهای خرید و تفریحی صادق نیست. ضعف دیگر این مدل، زائد بودن مدل توزیع سفر در زیر مدل حمل‌ونقل شهری است، به این معنا که در مدل انتخاب محل سکونت، مدل کاربری زمین، رابطه بین محل کار و سکونت معمولاً توسط مدل ارتباط متقابل فضایی که به ماتریس جریان کار- سکونت می‌انجامد، شبیه‌سازی می‌شود، اگر میزان سفر هر فرد یا خانوار برابر ۱ باشد، ثابت می‌شود که مدل توزیع زائد است و می‌توان آن را از ساختار مدل حذف کرد.

رویکرد چهارم، مدل‌های یکپارچه کاربری زمین است که اکثر خصوصیات مورد انتظار را دارا است. این مدل‌ها توانایی پیش‌بینی دراز مدت تقاضای سفر را دارند و قابلیت آنها به وجود اطلاعات وابسته است (علوی و همکاران، ۱۳۸۹).

رویکرد پنجم، رویکرد شبکه عصبی است که ابتدا توسط بلک (۱۹۹۵) در تخمین جریان سفر استفاده و مشخص شد که میانگین ریشه خطا (RMSE) بین جریان مشاهده شده و برآورد شده نزدیک به صفر است. این مدل می‌تواند محدودیت‌های تولید سفر (P) و جاذبه سفر (A) را نیز برآورد کند و بر اساس فرایندهای تکرار شونده، با به‌حداقل رساندن انحراف بین خروجی‌های مدل و مقادیر هدف، برآورد کند. این فرآیند را آموزش یادگیری می‌نامند. ضعف این مدل عملکرد متناقض و توانایی تعمیم آن است. علاوه بر این قادر به برآورد محدودیت‌های تولید و جذب سفر نمی‌باشد (Yaldi et al., 2011). رویکرد ششم، رویکرد مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. تحولات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در نقشه‌برداری بسیاری از دفاتر آماری و سرشماری را ترغیب کرده است که به‌جای استفاده از روش‌های سنتی نقشه‌برداری به نقشه‌برداری دیجیتال و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی توجه کنند. این سیستم با استفاده از نقشهٔ محدوده فضایی، نقش مهمی را در مطالعات و تجزیه و تحلیل سفر بازی می‌کند. از جمله مزایای GIS، یکپارچه‌سازی داده‌های ارائه شده در آن است که امکان اتصال اطلاعات در بسیاری از زمینه‌های مختلف را فراهم می‌کند (Chow et al., 2021).

علاوه بر رویکردهای تقاضای سفر، مدل‌های زیادی دربارهٔ تقاضای سفر ارائه شده است که بین کارشناسان و محققان دربارهٔ تطابق آنها با شرایط زمانی – مکانی و مسائل مربوط به خصوصیات و سطوح تراکم این مدل‌ها اختلاف نظر وجود دارد.

به‌همین دلیل مدل‌های متفاوتی در این‌باره ارائه شده است. از جمله تسای (۲۰۱۱) مدل‌های تقاضای سفر را به دو بخش تقسیم می‌کند: مدل‌های روندگرا و مدل‌های دسته‌بندی جدولی. وی معتقد است این مدل‌ها به دلیل سادگی کاربرد آن و به‌کار بردن اطلاعات مربوط به خانوارها (حجم خانوار، متوسط تعداد وسایل نقلیه شخصی خانوار) دارای خطای کمتری نسبت به دیگر مدل‌ها هستند. کرکمن و همکاران (۲۰۱۸) نیز مدل‌های برآورد تقاضای سفر را پنج مدل می‌دانند: مدل‌های برآورد ریاضی که بیشتر به مبدأ و مقصد سفر و ویژگی آنها توجه می‌کنند، مدل‌های بدون مبنای تئوریک که بر اساس آمار و اطلاعات موجود به برآورد تقاضای سفر می‌پردازند، مدل‌های انتخاب که به دو دسته جمعی و غیرجمعی تقسیم می‌شوند، مدل‌های مبتنی بر تئوری‌های اقتصادی و مدل‌های جاذبه. از نظر وی، مدل‌های جاذبه با توجه به اینکه مسافت بین دو منطقه، جمعیت و عوامل مؤثر بر آن را در محاسبات خود در نظر می‌گیرند نسبت به مدل‌های دیگر از دقت خوبی برخوردار هستند. رضایی و کمروویچ (۱۳۹۰) نیز مدل‌های تقاضای سفر را در چهار گروه تقسیم می‌کند:

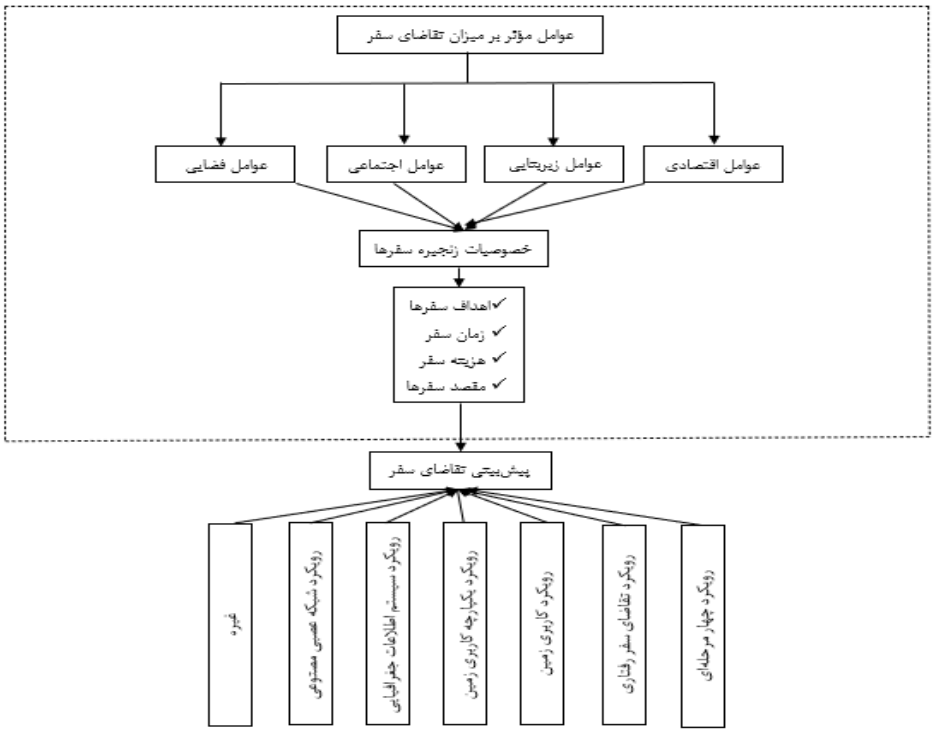
-مدل‌های فرموله شده ساده

-مدل فاکتور رشد

-مدل آنالیز رگرسیون

-طبقه‌بندی عرضی (رضایی و کمرویچ، ۱۳۹۰: ۱۳٤).

همانگونه که مشخص است روش‌ها و مدل‌های متعددی برای برآورد تقاضای سفر استفاده شده است. در این مقاله با در نظر گرفتن مدل‌ها و رویکردهای ذکر شده در بالا برای تخمین تقاضای سفر در روستاها، مدل‌ها به دو دسته فضایی و ریاضی تقسیم و بر حسب پیشینه تحقیق، از هر گروه دقیق‌ترین روش‌ها از نظر پیش‌بینی انتخاب شد که شامل رگرسیون وزنی جغرافیایی، حداقل مربعات معمولی و شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد و نتایج آن با تقاضای واقعی سفر مقایسه شد.



شکل ۱. چهارچوب مفهومی تحقیق، منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

۳- پیشینه تحقیق

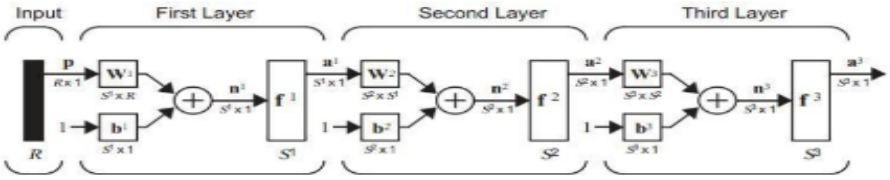
مقالات متعدد در داخل و خارج از ایران با استفاده از روش‌های متعددی به برآورد تقاضای سفر پرداخته‌اند. از جمله عزتی و عاقلی (۱۳۸٤) با روش حداقل مربعات به برآورد کشش‌های تقاضای بار و مسافر در راه‌آهن پرداخته‌اند. نتایج شباهت مقادیر برآورد شده با مطالعات مشابه و ثابت بودن مقدار تقاضا برای حمل بار با تغییر فاصله را نشان می‌دهد. بندرچیان (۱۳۹۰) به برآورد تقاضای سفر و ناوگان مورد نیاز حمل‌ونقل ریلی حومه‌های تهران تا سال ۱٤۰٤ پرداخته است. حبشی و باورصاد (۱۳۹۳) نیز با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و لینکو به مدلسازی و برآورد تقاضای سفر در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای پرداخته‌اند. سلطانی (۱۳۹۳) با استفاده از نرم‌افزار سبستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) تقاضای سفر با اتوبوس‌های سریع‌السیر (BRT) را در شهر تبریز برآورد و مدل‌سازی کرده است. گنجی زهرایی (۱۳۹٤) نیز در مطالعه‌یی تقاضای سفر گردشگری با حمل‌ونقل عمومی را با استفاده از سیستم معادلات تقاضای تقریباً ایده‌ال و داده‌های مقطعی برآورد کرده است. نتایج حاکی از آن است فصل سال و قیمت بلیط تأثیر زیادی بر میزان تقاضای سفر دارد. الماسی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از روش‌های رگرسیون و شبکه عصبی، تقاضای سفر جاده‌ای در آزاد راه قم- تهران را برآورد کرده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش رگرسیون از دقت بالایی در پیش‌بینی تقاضای سفر برخوردار است. تیموری و حکیمی (۱۳۹٦) به برآورد تقاضای سفر گردشگران ایرانی به ترکیه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. رستگار و همکاران (۱۳۹۸) نیز از آمار فضایی و رگرسیون خطی برای تحلیل فضایی تولید و جذب سفرهای آموزشی در کلان‌شهر مشهد استفاده کرده‌اند. در خارج از کشور دالتاس و همکاران (۲۰۰۲) نیز به پیش‌بینی تقاضای سفر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، سنجش از دور و GIS پرداخته است. بلینی و همکاران (۲۰۱۳) به مقایسه دقت پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی در شهر سیدنی با استفاده از روش‌های رگرسیون وزنی جغرافیایی و سایر روش‌های رگرسیون پرداختند و به این نتیجه رسیدند که متغیرهای توضیحی و فضایی موجود در روش رگرسیون وزنی موجب پیش‌بینی دقیق سفر نسبت به سایر روش‌ها می‌شود. آمیتا و گارج (۲۰۱٦) نیز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، زمان سفر با اتوبوس را در دهلی پیش‌بینی کرده‌اند. کرکمن و همکاران (۲۰۱۸) جریان سفر افراد را با مدل‌های رگرسیون فضایی (OLS) و خودهمبستگی فضایی پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌هایی که وابستگی فضایی را در نظر می‌گیرند، تقریباً از همه جنبه‌ها (تناسب مدل، پارامترهای متغیرها، کیفیت و ثبات پیش‌بینی‌ها) نسبت به مدل‌های معمولی بهتر عمل می‌کنند. یورکا و همکاران (۲۰۱۸) در استان انتاریو (کانادا)، به تخمین تقاضای سفر در بلندمدت با استفاده از مدل‌های لاجیت چند جمله‌ای و تجزیه و تحلیل حساسیت پرداختند و به این نتیجه رسیدند این مدل‌ها در پیش‌بینی سفر در بلندمدت از دقت زیادی برخوردار هستند. لوو و همکاران (۲۰۲۱) تقاضای سفر را با استفاده از نمودار طیفی محلی جدید (LSGC) و حافظه بلند و کوتاه مدت (LSTM) پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که مدل LSGC-LSTM دقت و کارایی بالاتری نسبت به مدل‌های پایه دارد. واسکولنس و همکاران (۲۰۲۱) به پیش‌بینی تقاضای سفر بر اساس شبکه عصبی مصنوعی در شهر سائوپلو برزیل پرداختند و ضمن تعیین مناطق با تقاضای بیشتر در آینده کوتاه مدت، پیشنهادهایی را برای بهبود رفت و آمد در این مناطق ارائه دادند. یکی از نقاط ضعف مطالعات پیشین در این نکته نهفته است که عمدتاً به مدلسازی ریاضی یا فضایی حمل و نقل پرداخته و کمتر به دنبال مقایسه نتایج پیش‌بینی‌های صورت گرفته با تخمین‌های واقعی هستند. بعلاوه مطالعات عمدتاً از یکی از روش‌های ریاضی- آماری یا فضایی استفاده نموده‌اند و مقایسه این دو دسته و ارزیابی اینکه کدامیک از مدلها از دقت بیشتری در پیش‌بینی و تخمین سفر در شرایط مختلف جغرافیایی آن هم در نواحی روستایی که شرایط خاص خود را دارند، برخوردار هستند، مورد توجه نبوده است که مقاله حاضر در تلاش است این مسئله را مورد توجه قرار دهد.

٤- روش‌شناسی تحقیق

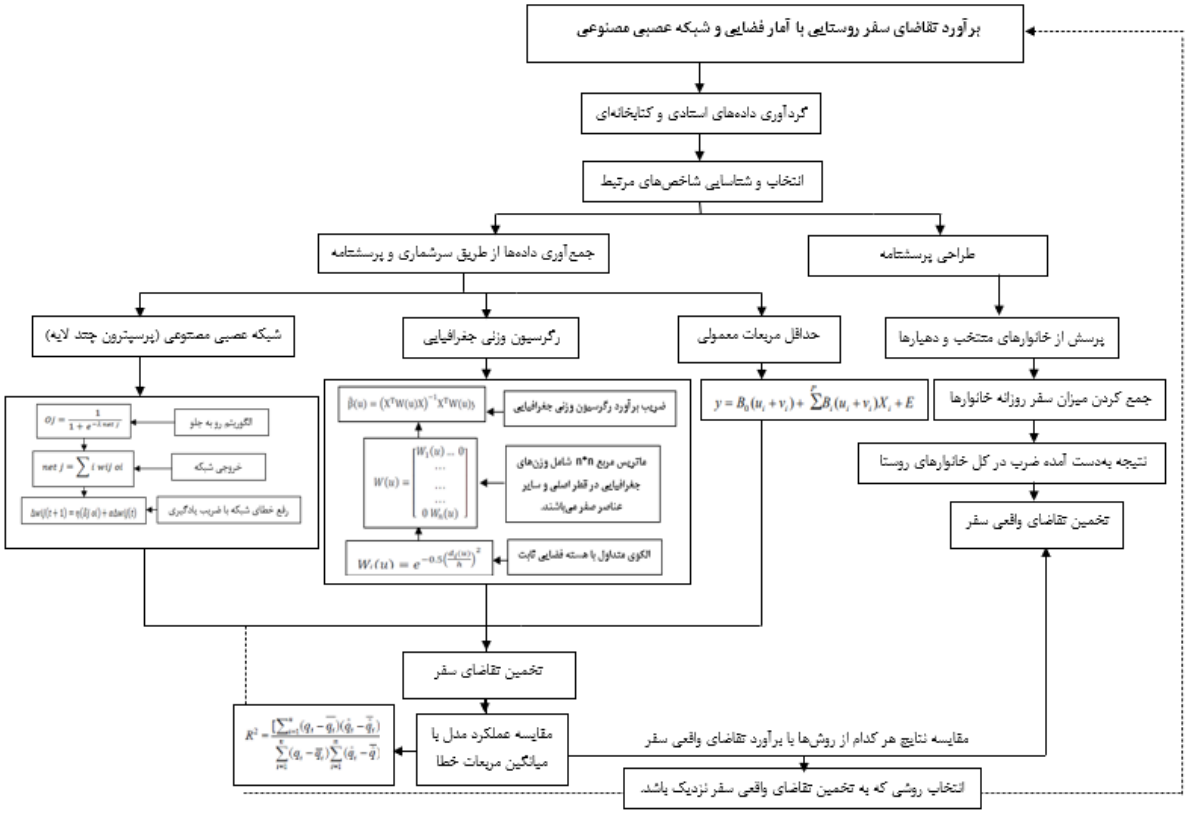
روش تحقیق این مقاله، توصیفی و تحلیلی می‌باشد که در آن از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده است. بدین صورت که در بخش مطالعات توصیفی، به پیشینه موضوع، مبانی نظری تقاضای سفر، رویکردهای

پیش‌بینی و مدلسازی آن نظری اجمالی شد و عوامل مؤثر بر تقاضای سفر به‌عنوان متغیرهای مستقل تحقیق با توجه به مبانی نظری تحقیق تعیین شد. این متغیرها شامل (میزان سفرهای شغلی، جمعیت، بعد خانوار، تعداد دانش‌آموز و دانشجو، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی و دسترسی به خدمات، فاصله از شهر تبریز) می‌باشند که داده‌های لازم برای متغیرهای جمعیت و بعد خانوار از سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، تعداد دانش‌آموزان از اداره آموزش و پرورش شهرستان، فاصله از شهر تبریز از طریق GIS حاصل شد، برای جمع‌آوری داده‌های دسترسی به خدمات حمل‌ونقل عمومی، دسترسی به خدمات و میزان سفرهای شغلی و سایر اطلاعات مورد نیاز نیز از پرسشنامه محقق‌ساخته و توزیع آن در میان خانوارهای نمونه استفاده شد. داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزارهای MATLAB.15 و ArcGIS 10.6.1 وارد و با استفاده از روش‌های رگرسیون وزنی جغرافیایی، حداقل مربعات معمولی و شبکه عصبی مصنوعی تحلیل شد. در نهایت با یکدیگر و تقاضای واقعی و تقریبی حاصل از پرسشنامه مقایسه شد. روش انجام تحلیل در شبکه عصبی مصنوعی، MLP یا شبکه پرسپترون چند لایه می‌باشد. در این شبکه، نرون‌ها به‌صورت موازی با هم قرار گرفته و نرون‌های موجود در یک لایه با نرون‌های لایه‌های دیگر در ارتباط می‌باشند. میزان تأثیر این ارتباطات با استفاده از پارامتری به نام وزن تعیین می‌شود. شبکه پرسپترون چند لایه، به‌ترتیب شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی و یک لایه خروجی است و تابع آستانه به تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌های موجود در هر لایه پنهان و نیز نوع تابع فعالیت به‌کار رفته در هر نرون می‌تواند تغییر نماید. برای تعیین تعداد هر یک از این پارامترها قاعده خاصی وجود ندارد (شکل ۲). مناسب‌ترین راه برای انتخاب هر ساختار، ساختاری است که نسبت به بقیه نتایج بهتری ارائه دهد (Menhaj et al, 2010).

سپس از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) برای محاسبه معنی‌داری آماری و پیش‌بینی تقاضای سفر بهره گرفته شد. همچنین از نقشه‌های آماره R2 محلی برای فهم میزان تأثیر عوامل در تولید سفر روستاها استفاده شده است. از نقشه باقیمانده‌های استاندارد شده (Std. Residuals) به‌منظور آزمون خوشه‌ای باقیمانده‌ها و همچنین ارزیابی دقت مدل در پیش‌بینی رابطه بین تولید سفر با متغیرهای مستقل تحقیق در روستاهای شهرستان تبریز بهره گرفته شد. دیگر روش مورد استفاده برای برآورد سفر، مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) است. در این مدل فرض می‌شود پارامترهای مدل آماری نسبت به مکان (مختصات جغرافیایی) ثابت می‌باشد. از این‌رو مقدار متغیر وابسته که با این مدل تخمین زده می‌شود برای کل منطقه مورد مطالعه بوده و در نقاط مختلف حوزه نیز مقداری یکسان را تخمین می‌زند که به‌عنوان نقطه ضعف این روش در مدل‌سازی مکانی محسوب می‌شود (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲). شکل ۳ مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.



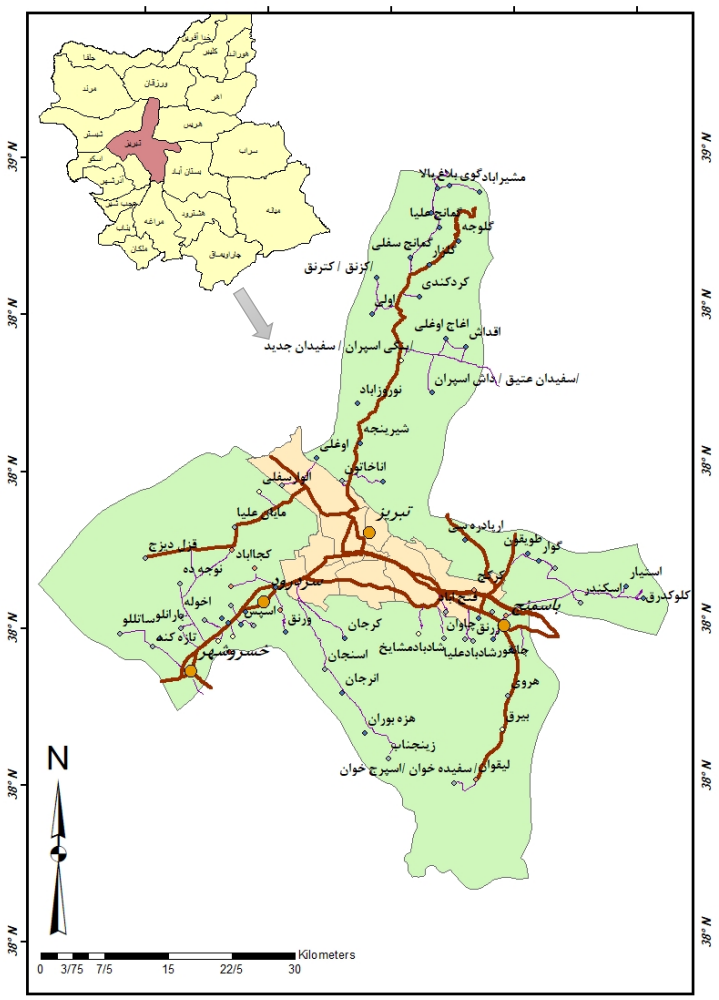
شکل ۲. معماری شبکه عصبی چند لایه منبع: Menhaj et al, 2010



شکل ۳. فرایند انجام پژوهش، منبع یافته‌های پژوهش

٤-١- محدوده مورد مطالعه و ویژگی جغرافیایی آن

شهرستان تبریز در استان آذربایجان شرقی با وسعتی حدود ۱۱۸۰۰ کیلومتر مربع، مرکز این استان می‌باشد. این شهرستان از دو بخش مرکزی و خسروشاه شامل ٤ شهر، ٦ دهستان و ۷۲ روستا تشکیل یافته است (شکل ٤). از این تعداد ۲ روستا به شهرستان تبریز ملحق شدند و ۷ روستا خالی از سکنه می‌باشند. قلمرو مکانی تحقیق برای جمع‌آوری اطلاعات هر دو بخش شهرستان و کل روستاهای آن است که حدود ٦۳ روستا را شامل می‌شود. برای جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه محقق ساخته و سرشماری ۱۳۹۵ استفاده شد. جامعه آماری تحقیق، خانوارهای روستایی شهرستان تبریز می‌باشد که تعداد آن‌ها بالغ بر ٤۰۷۱٤ خانوار بوده، با استفاده از فرمول کوکران ۳۸۰ خانوار به‌عنوان حجم نمونه تعیین و نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی بوده و در نهایت پرسشنامه خانوار تکمیل گردید.



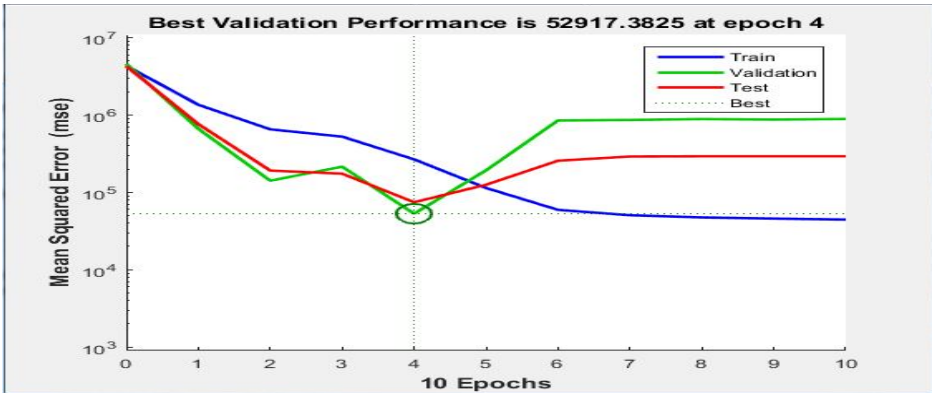
شکل ٤. نقشه موقعیت روستاهای شهرستان تبریز، منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

۵- یافته‌های تحقیق

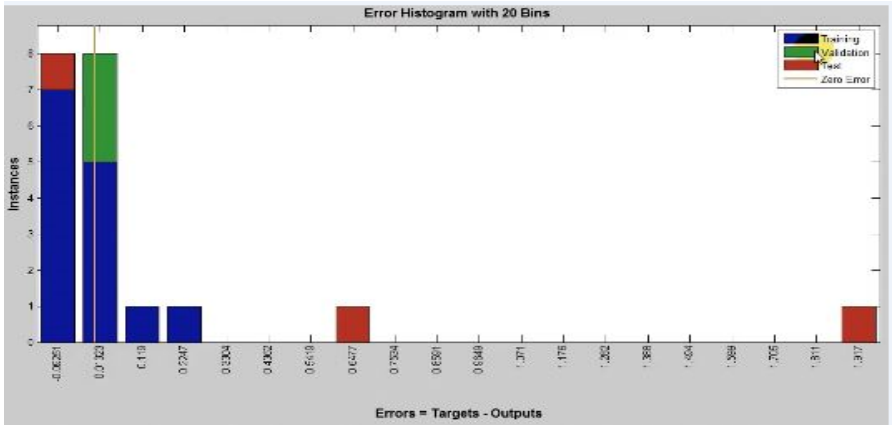
۵-۱- شبکه عصبی مصنوعی

در ابتدا، جهت پیش‌بینی سفر، از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل چند لایه (MLP) در نرم‌افزار متلب استفاده شد. به‌منظور برآورد تقاضای سفر در روستاها در نرم‌افزار متلب مقادیر مربوط به نرون‌های ورودی، استاندارد شده و تعداد زیادی شبکه ایجاد شد که در لایه پنهان و ضریب یادگیری آنها تعداد نرون‌های متفاوت به‌کار رفت و شبیه‌سازی‌های متفاوتی برای به‌دست آوردن مقدار بهینه هر پارامتر شبکه، انجام پذیرفت. در شبیه‌سازی، شاخص متوسط مجذور خطا به‌عنوان یک شاخص راهنما، بیانگر کارایی شبکه در یادگیری الگوهای موجود، استفاده شد. شبکه‌های عصبی قوانین مختلف یادگیری دارند که در این پژوهش قانون یادگیری پس انتشار خطا، استفاده شده است. داده‌های جمع‌آوری شده وارد نرم‌افزار شد که ۷۰ درصد به‌عنوان نمونه‌های آموزشی، ۱۵ درصد برای داده‌های اعتبارسنجی و ۱۵ درصد برای داده‌های تست مدل مورد استفاده قرار گرفت. ساختار شبکه متشکل از ٦ لایه ورودی (تعداد عوامل مؤثر)، ۵ لایه میانی و یک لایه خروجی می‌باشد. پس از عرضه نمونه‌های آموزشی به شبکه، عملکرد شبکه برای تعداد نرون‌ها باید به‌گونه‌ای اصلاح می‌شدند که تفاوت پاسخ مطلوب و خروجی واقعی شبکه کمینه شده و با

افزایش تکرارهای مشخص، خطا در شبکه کاهش یافته و به‌حالت پایدار می‌رسید. بنابراین، تعداد لایه‌ها برای آزمایش شبکه از ۱ لایه میانی شروع و مشاهده شد که با افزایش تعداد لایه‌های میانی پارامترهای کنترلی رو به بهبود می‌روند. با رسیدن به ٤ لایه میانی و تابع آموزش لونبرگ- مارکورت و تابع فعال‌سازی تانزانت سیگموئیدی، میزان خطا کاهش یافت و مناسب‌ترین مدل شبکه عصبی برای مسئله مورد نظر به‌دست آمد (شکل ۵). در مدل به‌دست آمده توزیع خطاها به‌طرف خاصی گرایش ندارد و برازش خط رگرسیون صورت گرفته بر روی داده‌های آموزش منطبق است که این نشان از عملکرد بسیار خوب شبکه در تعلیم داده‌های آموزشی دارد (شکل ٦). روش‌های یادگیری شبکه MLP بر پایه الگوریتم یادگیری پس از انتشار خطا می‌باشد. سه الگوریتم برای این منظور وجود دارد. شبکه با ضریب یادگیری ساده، شبکه با ضریب یادگیری متغیر و شبکه MLP که از روش لونبرگ‌مارکورت استفاده می‌کند. مطلبی که در کار با شبکه عصبی از اهمیت بالایی برخوردار است، جلوگیری از یادگیری بیش از حد شبکه است، زیرا در این حالت، شبکه به‌جای یادگیری و درک روابط بین پارامترها شروع به ازبر کردن اطلاعاتی می‌کند که در اختیار آن گذاشته می‌شود. برای جلوگیری از این خطا، بایستی در تکرارهای مشخص، شبکه را با اطلاعات دیگری مورد آزمایش قرار داد. در اینجا بایستی با کاهش میزان خطا در مرحله آموزش، میزان خطا در مرحله آزمایش نیز کاهش یابد (تقی‌نژاد، ۱۳۹۷). با بررسی پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش مشخص شد که شبکه ایجاد شده قادر است بر اساس پارامترهای ورودی با دقت ۹۹ درصد مقادیر تقاضای سفر را برای هر یک از روستاها تخمین بزند.



شکل ۵. عملکرد شبکه با ده نرون، منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ٦. برازش خط رگرسیون، منبع، یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

بعد از مشخص نمودن ساختار اصلی شبکه عصبی و فراهم نمودن اطلاعات مورد نیاز برای آموزش، همچنین رسیدن به خطای قابل قبول، شبکه آماده شده تا تحلیل منطقی که قبلا با آن مواجه نشده است را، انجام دهد. بدین منظور با در دست داشتن

وزن‌های مرحله پایانی مربوط به شبکه، کل داده‌ها در اختیار شبکه قرار گرفت. خروجی که از این شبکه به‌دست می‌آید، بین صفر و یک قرار دارد. با توجه به اینکه نرم‌افزار متلب قابلیت ارائه اعداد تخمینی را ندارد، داده‌های به‌دست آورده شده وارد نرم‌افزار SPSS.26 شده و مدل شبکه عصبی به‌کار رفته دقیقاً با همان مشخصات در داخل این نرم‌افزار اعمال گردید. مقدار تخمین این مدل برای هر یک از روستاها در جدول ٤ آورده شده است. مقدار R2 مدل، ۰/۸۵ و مقدار RMSE آن ۱/۲۳ و MAPE ۱۸/۳ درصد است که نشان از برازش خوب مدل دارد و مشخص می‌کند که مدل ANN پیش‌بینی خوبی از تقاضای سفر ارائه می‌دهد. این تخمین در نقاطی که دارای طول سفر کمتری هستند با حداکثر ۱۰ درصد خطا همراه است. اما در سفرهای طولانی میزان خطا افزایش می‌یابد. نتیجه حاصل از تخمین میزان تأثیر عوامل در تقاضای سفر در جدول ۱ آورده شده است.

۵-۲- مدل OLS

در مرحله بعد، مدل OLS جهت پیش‌بینی تقاضای سفر استفاده شد. در این مدل، ابتدا تقاضای سفر و توزیع فضایی آن در سراسر شهرستان مدلسازی شد (شکل ۱۰). نقشه مدلسازی نشان داد حجم سفر در دهستان‌های میدان‌چای و آجی‌چای زیاد است که با فاصله از شهر تبریز از میزان آن کاسته می‌شود. سپس به تخمین میزان تأثیر عوامل در سفر و دقت آنها اقدام شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

بر اساس نتایج جدول مقدار P-Value تمام متغیرها نزدیک به صفر بود که دقت مدل و معناداری متغیرها را در برآورد تقاضا نشان می‌دهد. R^2 و R^2 تعدیل شده مدل به ترتیب ۰/٦۱ و ۰/٦۰ است که مشخص می‌کند مدل حدود ٦۰ درصد از واریانس کل متغیر وابسته را توضیح داده است. بررسی تأثیر عوامل بر تقاضای سفر با استفاده از مدل OLS نشان می‌دهد که دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، حجم سفر را در روستاها افزایش داده است. در واقع روستاهایی که دارای اتوبوس هستند میزان تردد سفر زیادی دارند. فاصله از شهر نیز با مقدار ٤۵ درصد در مقدار تقاضای سفر روستاها مؤثر بوده است. با فاصله از شهر تبریز تقاضای سفر افراد نیز کاهش یافته است. در این موارد افراد ترجیح می‌دهند فقط برای مواقع ضروری به شهر تبریز سفر کنند. کمترین عامل مؤثر در سفرها بعد خانوار و میزان جمعیت است، شاید یکی از دلایل آن اختصاص برخی خدمات به روستاهای پرجمعیت باشد که میزان سفرها را تا حدی کاهش داده است.

۵-۳- مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR)

در مرحله آخر، از مدل GWR برای پیش‌بینی تقاضای سفر روستاها و مدلسازی آنها استفاده شد. میزان تقاضای سفر به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل مؤثر به‌عنوان متغیرهای توضیحی وارد نرم‌افزار شدند. پارامترهای مدل ۹۰ درصد از نقاط داده، به‌طور تصادفی انتخاب شده و برآورد گردید.

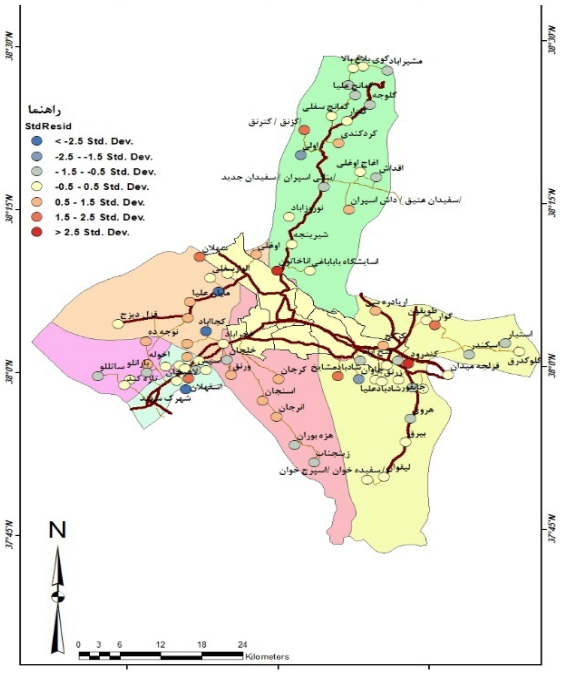
۱۰ درصد باقیمانده داده‌ها برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. مقدار R2 (۸۸درصد) و R2 تعدیل شده (۸۵درصد) است که بیشتر از مدل OLS بود و نشان می‌دهد مدل GWR بهتر از مدل OLSبا داده‌ها مطابقت دارد. نتایج حاصل از اجرای این مدل بر روی تخمین تأثیر عوامل در تقاضای سفر در جدول ۱ آورده شده است. تخمین‌های انجام شده با مدل OLS و ANN مشابه هستند و متغیر دسترسی به حمل‌ونقل عمومی در هر سه مدل، بیشترین تأثیر را در حجم سفرها داشته است.

بر اساس جدول ۱، انحراف استاندارد متغیرهای تعداد دانش‌آموز و دسترسی به خدمات نسبت به سایر متغیرها در سطح بالایی قرار دارد که بر تفاوت‌های قوی متغیر مورد نظر در سطح روستاها تأکید می‌کند و نیاز به تجزیه و تحلیل بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. شاید یکی از دلایل این امر، تعطیلی مدارس به‌علت بیماری کرونا و کاهش سفرهای آموزشی باشد. انحراف معیار دسترسی به حمل‌ونقل عمومی ثبات بالاتری نسبت به سایر متغیرها دارد و مقدار آن پایین است.

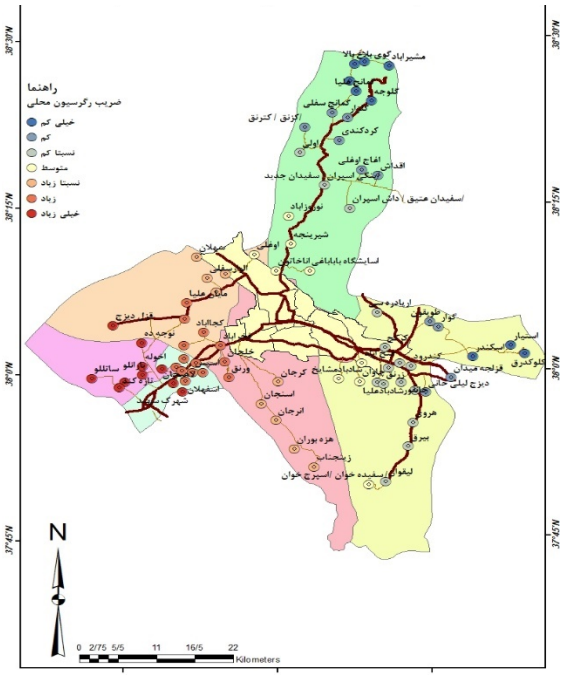
مزیت دیگر GWR تولید مجموعه‌ای از برآوردهای محلی برای هر نقطه است. شکل ۷ مقدار باقی‌مانده (تفاوت بین سفر برآورد شده و مشاهده شده) را نشان داده و میزان معنی‌داری طبقه‌بندی فضایی را بیان می‌دارد. بر اساس شکل مذکور، در روستاهای با مقادیر باقی‌مانده نزدیک به صفر، دقت مدل بیشتر است و نشان می‌دهد که مدل برازش داده شده GWR نزدیک به مقادیر مشاهده شده است. شکل ۸ نیز ضریب تبیین شده مکانی رگرسیون وزنی جغرافیایی (R2 محلی) را نشان می‌دهد و مشخص می‌کند که چگونه متغیرهای مستقل، متغیر وابسته را از نظر محلی برآورد نموده‌اند. توزیع مقادیر R2 محلی همگن نیست و در مناطقی که حجم سفر زیاد است، خیلی قوی و در مناطق دیگر، کمترین مقدار را نشان می‌دهد. شاید به این دلیل که برخی متغیرهای محلی در این مناطق معنی‌دار نیستند، بنابراین مدل، قدرت پیش‌بینی کمتری برای این مناطق دارد. مقادیر بالا در روستاهای دهستان اسپیران و دهستان لاهیجان و میدان‌چای متمرکز شده‌اند. در حالی‌که مقادیر پایین‌تر در دهستان‌های آجی‌چای و تازه‌کند مشاهده می‌شود.

جدول ۱. نتایج حاصل از برآورد مدلها بر روی میزان تأثیر عوامل در تقاضای سفر

	OLS			ANN			GWR		
متغیر	تخمین	انحراف معیار	P-Value	تخمین	انحراف معیار	P-Value	تخمین	انحراف معیار	P-Value
جمعیت	۱۹/۷۲	۱/٦٥	۰/.۰۰	۳۰/۱۷	۱/۳۸	۰/۱۲٥	۳۸/۲۲	۱/۱۲	-۰/٤۹۳
خانوار	۱٤/۲۲	٥/٦۲	۰/۰۱	۳۸/۰۲	٤/۸۹	۰/۰۸	٤۳/۱٦	٥/٤۱	۰/۱٤۱
تعداد دانش‌آموز	۳۲/٤٥	۲۰/٦۰	۰/۰۱	٤۷/۱۱	۱۸/۰۲	۰/۱۷	٤٥/۱٥	۲۰/۳٤	۰/۰۰
دسترسی به حمل-ونقل عمومی	٤۸/۳۲	۰/۰٦	۰/۰۰	٥۹/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۰	٦٥/۳۹	۰/۰٤	۰/۰۹
دسترسی به خدمات	۲۹/۰٤	۹/۱۳	۰/۰۰	٤۲/٥۲	۱۲/۲٤	۰/۱۱	۳٦/۱۹	۱۰/۰۸	۰/۰۱
فاصله به شهر تبریز	٤٥/۱۲	۰/۲۲	۰/۰۰	٥۱/۱٤	۰/۱۸	۰/۰۱	٥۹/۰۲	۰/۱۷	۰/۰٤

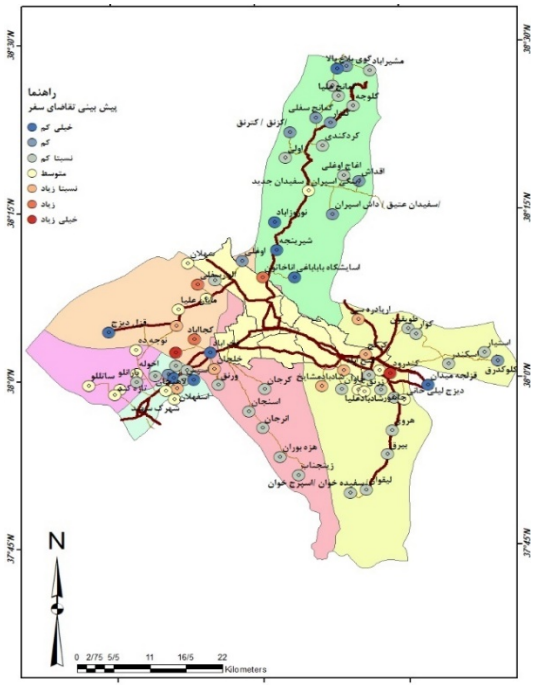


شکل ۷. باقی‌مانده تفاضل بین مقدارهای مشاهده شده و برآورد شده

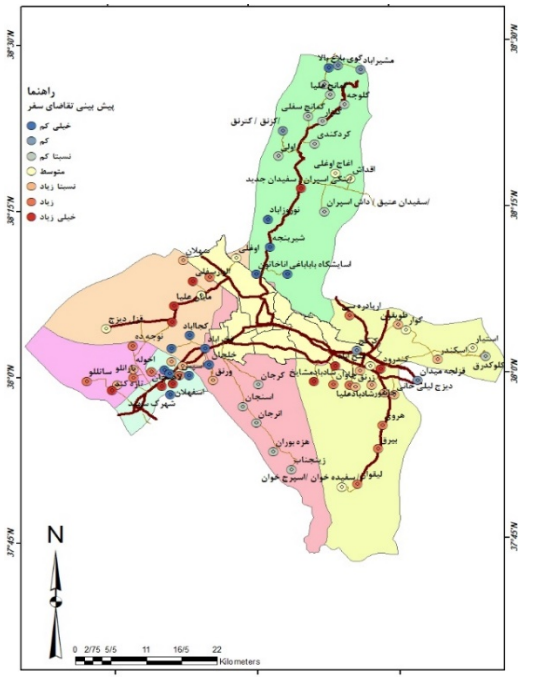


شکل ۸. ضریب رگرسیون محلی تقاضای سفر

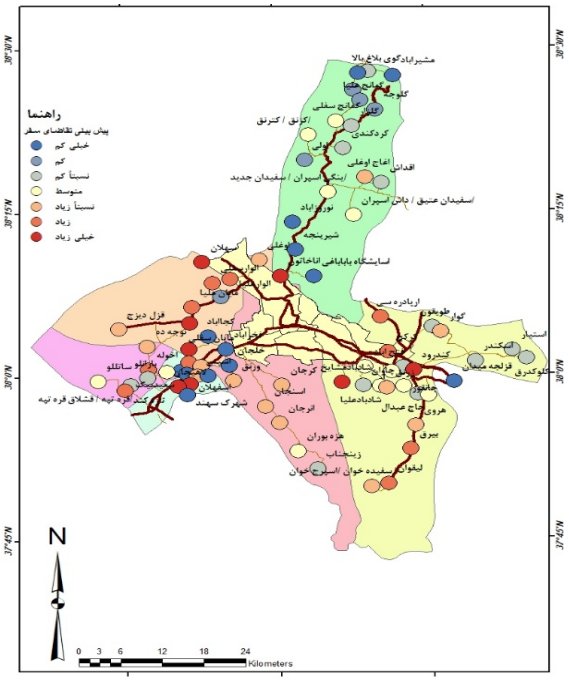
شکل‌های ۹ و ۱۰ نیز اطلاعات مربوط به تخمین تعداد سفرها در هر روستا را نشان می‌دهند. بر اساس شکل ۹ (محاسبه Predicted) نقاط زرشکی رنگ روی نقشه مقادیر بالا و نقاط به رنگ آبی تیره نیز مقادیر کم تقاضای سفر در روستاها را نمایش می‌دهد. همانگونه که از نقشه‌ها مربوطه مشخص است نقاط دارای تقاضای خیلی زیاد در هر دو مدل تا حدی مشابه هم هستند.



شکل۹. پیش‌بینی تقاضای سفر بر اساس مدل OLS



شکل۱۰. پیش‌بینی تقاضای سفر بر اساس مدل GWR



شکل ۱۱. برآورد تقریبی تقاضای واقعی سفر حاصل از پرسشنامه

از مقایسه نقشه‌های پیش‌بینی با برآورد حاصل از پرسشنامه می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌ها توانسته‌اند تا حدود زیادی مکان‌هایی را که دارای تقاضای سفر زیاد هستند، پیش‌بینی کنند. بیشترین مقدار تقاضای سفر بر اساس نقشه‌ها، در دهستان‌های میدان‌چای، آجی‌چای و دهستان لاهیجان می‌باشند که اولین دلیل آن گذشتن خطوط راه اصلی و اتوبان از بیشتر روستاهای این

دهستان‌ها است. دومین دلیل، تمرکز کارخانه‌های متعدد در اطراف روستای کندرود (دهستان میدان‌چای)، جاده مایان و اطراف شهرستان سردرود است که تعداد سفرهای کاری را در این دهستان‌ها افزایش داده و آخرین و شاید مهمترین دلیل، وجود اتوبوس در بیشتر روستاهای این دهستان‌ها است که سفرهای روزمره افراد برای خرید، آموزش، اجتماعی و تفریحی را افزایش داده است. از مقایسه نقشه‌های پیش‌بینی با برآورد حاصل از پرسشنامه می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌ها توانسته‌اند تا حدود زیادی مکان‌هایی را که دارای تقاضای سفر زیاد هستند، پیش‌بینی کنند. بیشترین مقدار تقاضای سفر بر اساس نقشه‌ها، در دهستان-های میدان‌چای، آجی‌چای و دهستان لاهیجان می‌باشند که اولین دلیل آن گذشتن خطوط راه اصلی و اتوبان از بیشتر روستاهای این دهستان‌ها است. دومین دلیل، تمرکز کارخانه‌های متعدد در اطراف روستای کندرود (دهستان میدان‌چای)، جاده مایان و اطراف شهرستان سردرود است که تعداد سفرهای کاری را در این دهستان‌ها افزایش داده و آخرین و شاید مهمترین دلیل، وجود اتوبوس در بیشتر روستاهای این دهستان‌ها است که سفرهای روزمره افراد برای خرید، آموزش، اجتماعی و تفریحی را افزایش داده است.

۵-٤- مقایسه مدل‌ها

برای بررسی میزان دقت مدل‌ها از میانگین انحراف مطلق (MAD) و میانگین مربع خطای پیش‌بینی (MSPE)، خطای میانگین مربعات (MSE)؛ R2 و AICc استفاده شد. مقادیر کوچکتر همه معیارها به جز R2 تشان می‌دهد که مدل پیش‌بینی بهتری دارد. همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است مدل GWR از دقت بالایی نسبت به دو مدل دیگر برخوردار است. مدل OLS به‌جز معیار MSD در بقیه معیارها نسبت به ANN از دقت کمتری برخوردار است. یکی از دلایل بی‌دقتی مدل‌ها در پیش‌بینی تقاضای سفر، عدم وجود برخی متغیرها در بعضی روستاها است. برای مثال عدم وجود اتوبوس در پاره‌ای از روستاهای کوهستانی، یا نبود دانش‌آموزی که به بیرون از روستا برود (به دلیل محدودیت‌های بیماری کرونا)، باعث شده از دقت مدل‌ها در برخی نواحی کاسته شود. به‌منظور بررسی میزان دقت مدل‌ها در نواحی متقاوت طبیعی، روستاها به سه دسته کوهستانی، دشتی و جنگلی واقع در دشت تقسیم شدند و میزان دقت مدل‌ها در آنها بررسی شد. نتایج بررسی نشان داد که مدل OLS در یک حالت (روستاهای جنگلی واقع در دشت) بهتر از مدل ANN عمل کرده و در دو مورد دیگر نسبت به این مدل ضعیف بوده است. مدل ANN نیز در گروه روستاهای دشتی نسبت به هر دو مدل دقت بیشتری داشته است. البته اختلاف آن با مدل GWR بسیار کم است چرا که در پیش‌بینی تمام روستاهای دشتی موفق نبوده و فقط تقاضای سفر روستاهایی را که فاصله کمی از شهر تبریز دارند را با دقت بیشتری تخمین زده است. مدل GWR نیز در هر دو مورد روستاهای کوهستانی و جنگلی واقع در دشت، عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر داشته است. علاوه بر این، خودهمبستگی فضایی در باقی‌مانده‌های این مدل نسبت به دو مدل دیگر کم است و این مسئله بر دقت مدل افزوده است (جدول ۳).

جدول ۲. مقایسه برازش و دقت سه مدل در تخمین تقاضای سفر

	MAD	MSPE	R2	MSE	AICc
OLS	۹/۳٦	٦٥/۲٦	۰/٦۱	۸٦/۲۳٥	۱٥۲/٦۲
ANN	۷/۰۲	٥٥/۷۳	۰/۸٥	٦۸/۱٤۸	
GWR	٤/۲۱	٥۲/۲۹	۰/۸۸	٥٥/۸٦۳	۱۱۲/۸۹

نتیجه حاصل از تخمین سه مدل برای تقاضای سفر هر کدام از روستاهای دشتی (رنگ سفید)، کوهستانی (رنگ خاکستری) و جنگلی واقع در دشت (رنگ سیاه) در جدول ٤ آمده است. دلیل دقت مدل OLS در دو روستای جنگلی واقع در دشت نسبت به مدل ANN، ضمن کمتر بودن تعداد روستاها در این گروه، تأثیر مثبت تمامی عوامل مؤثر بر تقاضای سفر در این روستاها می‌باشد. چون همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد نبود برخی از عوامل در برخی روستاها از دقت مدل‌ها در ان روستاها می‌کاهد. مدل ANN نیز در روستاهای دشتی عملکرد بهتری داشته است، دقت مدل در روستاهایی که در فاصله خیلی نزدیک به تبریز (روستای

مایان سفلی، باغ معروف، اسفهلان، لاهیجان و الوار علیا) هستند، خیلی بیشتر است و این باعث شده میزان MAD و MSPE این مدل نسبت به GWR کمتر باشد. چون همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد این مدل روستاهای با مسافت کم را با دقت بیشتری پیش‌بینی می‌کند .مدل GWR در روستاهای دشتی نسبت به مدل ANN دقت کمتری دارد اما نسبت اختلاف تخمین‌های آن با ANN تفاوت کمی را نشان می‌دهد ولی در حالت کلی GWR در دو گروه دیگر دقت زیادی نسبت به دو مدل دیگر دارد و تخمین‌های آن از برآورد سفر در تمامی روستاها نسبتاً نزدیک به واقعیت است.

جدول ۳. مقایسه دقت مدل‌ها در نواحی متفاوت طبیعی

	روستاهای دشتی		روستاهای کوهستانی		روستاهای جنگلی واقع در دشت	
	MAD	MSPE	MAD	MSPE	MAD	MSPE
OLS	۱۱/۰۲	۱۲۸/۴۳	۶/۸۲	۶۷/۹۷	۴/۷۵	۴۲/۳۸
ANN	۷/۹۵	۷۲/۱۹	۶/۷۳	۶۵/۳۵	۴/۸۰	۴۵/۳۰
GWR	۸/۰۲	۷۶/۲۲	۶/۲۸	۴۵/۶۲	۴/۶۶	۴۰/۷۰

جدول ٤. نتایج روش‌های رگرسیون وزنی جغرافیایی، حداقل مربعات معمولی و شبکه عصبی مصنوعی

نام روستا	حداقل مربعات معمولی (OLS)	رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR)	شبکه عصبی	تقاضای سفر واقعی (روزانه)	نام روستا	حداقل مربعات معمولی (OLS)	رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR)	شبکه عصبی	تقاضای سفر واقعی (روزانه)
اسفهلان	۱۷۶۸/۸۵	۳۰۵۲/۱۹	۳۱۴۳/۰۲	۳۶۲۰	چاوان	۶۶۰/۰۲	۱۶۵/۸۹	۲۰۸/۰۸	۱۷۰
لاهیجان	۱۹۶۸/۱۳	۳۱۰۸/۹۳	۳۱۷۹/۶۱	۳۲۰۰	شادباد علیا	۱۴۵/۶۲	۱۵۴/۷۸	۲۳۰/۶۴	۲۳۵۰
گوی بلاغ پایین	۱۰۴/۰۸۲	۲۸//۷۴	۰	۲۰	جانقور	۴۱۸/۷۷	۸۵۰/۸۳	۷۲۴/۴۲	۸۵۲
مشیرآباد	۲۴۷/۳۲	۷۷/۶۰	-۱۵	۳	زرنق	۱۳۶/۴۶	۴۴۴/۰۴	۴۳۰/۶۵	۴۵۲
نصرت آباد	۱۰۶/۵۴	۲۵/۷۴	۲۳/۳۱	۲۶	حاج عبدال	۸۷۰/۴۸	۵۳۶/۴۰	۱۱۴	۵۲۰
گمانج علیا	۱۵۳/۸۸	۲۴/۲۱	۱۲/۸۰	۵۳	دیزج لیلی	۱۱۸/۶۵	۸۲۰/۲۷	۱۹۶/۱۷	۸۳۶
گلوجه	۲۹۵/۸۲	۳۶/۷۵	۰	۳۰	هروی	۸۴۷/۱۴	۲۳۷/۸۸	۲۶۲/۷۵	۲۰۰
گمانج سفلی	۱۷/۶۰	۹۳/۵۷	۱۹۳/۱۵	۵۲	بیرق	۷۱۲/۹۴	۴۰۰/۷۱	۳۱۶/۹۹	۳۵۲
گلزار	۱۶۸/۷۸	۳۰/۷۷	۱۶/۶۵	۱۳	لیقوان	۱۵۰/۹۱	۳۲۲/۸۸	۰	۳۵۲
کزنق	۹۷/۹۴	۱۷/۴۹	۶۰	۵۴	سفیده‌خوان	۶۹۳/۵۷	۲۲۱/۰۸	۰	۱۳۷
کردکندی	۲۴۹/۲۰	۱۰۸/۲۴	۴۰/۹۲	۱۲	استیار	۴۰۱/۴۳	۲۸۸/۰۲	۰	۲۵۴
باغ معروف	۱۴۲/۳۲	۱۸۰/۲۸	۲۰۸/۱۲	۲۳۴	کندرود	۳۰۰/۷۴	۳۲۱/۲۱	۳۲۶/۴۰	۳۳۶
اولی	۴۰۰/۶۷	۴۵۶/۵۶	۱۲۶/۴۵	۹۰	کلوکدرق	۵۸/۵۰	۱۳/۶۲	۰	۹
آغاج اوغلی	۱۶۹/۷۳	۴۱/۸۶	۹۴/۹۵	۸۵	اسکندر	۵۰۳/۶۳	۲۸۳/۲۰	۳۹۵/۶۶	۲۳۰
اقداش	۲۵۸/۷۶	۱۲۷/۷۶	۱۶۷/۰۷	۹۵	نوجه ده	۸۹۰/۶۳	۱۵۱/۱۳	۹۹۰/۰۵	۱۸۲

نام روستا	حداقل معمولی مربعات (OLS)	رگرسیون جغرافیایی وزنی (GWR)	شبکه عصبی	تقاضای سفر واقعی (روزانه)	نام روستا	حداقل معمولی مربعات (OLS)	رگرسیون جغرافیایی وزنی (GWR)	شبکه عصبی	تقاضای سفر واقعی (روزانه)
ینگی اسپیران	۲۰۲٤/۵۳	۱٤۹۷/۰۹٦	۱۹۸۸/۹۹	۱۵۰۰	آخوله	۱۱۵/۷۹	۲۹۹/٤٦	۳۰۷/۱۲	۲٦۹
سفیدان عتیق	۱٤۲/٦۹	۸۳/۸٤	۱۹٦/٤٦	۸۵	بارانلو	۹۸٦/۰۹	۳۸٤/۳۹	۳۳۱/۱۸	۳۵۲
اوغلی	۵۸۹/۰۲	۲٤۸/۷۹	۳۳٦/۷۵	۲۲٦	ساتللو	۸۵۳/۳۰	۲۳۳/۳۸	۳٤۷/۸۳	۳۲۰
سهلان	۱۲۳۸/۰۲	۸۷۵/۹۹	۱۰۲۱/٤٤	۸۵۲	قره تپه	٤۷۸/۳۳	۲۷۷/۰۰	۲٤۳/٤۳	۲٦۳
الوار سفلی	۲۹۷۳/۵۷	۲۹۵۷/۵۰	۳۲۳۰/٦۳	۳۲۰۰	تازه کند	۱۰٦/۲۹	۱۵۲/٤۸	۲۵۷/۷۰	۱٦٤
خواجه دیزج	۱۲٤۹/۲۲	۷٦/۵۸	۱۸۵/۳۱	۷۳	ورنق	۲۵۰/۷۱	۵۸٦/۰۳	۸٤۵/۵۱	٦۷۹
مایان علیا	۱٤۲۸/۹۳	۱٤۰۱/۹۷	۲۳۰٤/۲۱	۲۳۰۰	کرجان	٦۰٦/٦۰	۲٦۷/۸۲	۰	۲۳٦
مایان سفلی	۲۹۱۵/۳۹	۳۲۳۷/۲۳	۳۸٤۰/٤۰	۳۸۰۰	اسنجان	۳۷۷/۰۳	۸۱۰/٤۵	۲۹۷/۹۲	۸۹۰
قزل دیزج	۱۰۹۳/۰۲	۳۷۵/۳۲	۳٤٤/٦۱	۳۸۵	انرجان	۲۵٤/۷۳	۳٦٦/۱۷	۰	۱۱۱
باغ معروف	۳۷۹٦/۳٤	۳۷٦۵/۵۲	۳۵۱۸/٤۵	۳۵۲۰	هزه‌بوران	٤۰۰/۸۸	۱۹۱/۲۱	۹٤/٤۸	۱۱۹
آرپادره‌سی	۱٦۳٤/۹٦	۳۷۷٦/٤٦	۳٤۸۳/۲۵	۳۵۰۰	زینجناب	٤٤۱/۸۹	۱۰۹/٤٤	۱۲۲/٦۹	۱۱۱
طویقون	۱۷۹/۵۰	۱٤۲۲/۲٤	۲۵۲۲/۸٦	۱۵۰۰	شیخ حسن	۹۱٦/۱۷	۲۰۹/۷۰	۱۹۲/۲٤	۲۲۹
گوار	۱۵۰/٦۸	۹٤/۲۹	۱۱٦/٦٤	٤۷	قلعه چه	۲۹۵/۷۲	۱۸۲	۲۰۹/۲۸	۱۹۳
نعمت آباد	۱٦۲/۵۰	٤۳۰/٦۳	۱۲۰/۸۰	۱۷٦	ینگی کندی	۵۰۰/۷۱	۳۲۹/۲۳	٤۱۲/٦٤	۳۷٦
باغ یعقوب	۲٦۳/۲۱	۵٤۷/۸٤	۲۵۳/۳۷	۲۷۳	اسپس	۱۷/۳٦٦	۲۸۱/۵۱	۱۹۱/۱۹	۲۰۵
شادباد مشایخ	۱۷۷۱/۷۱	۱۷۸۲/۲۱	۲۵۳۸/۳۵	۲۵٤۷	الوار علیا	۲٤۷۱	۲۷٤۸	۲۹۸۵	۳۱۵۰

منبع : یافته‌های تحقیق

٦-نتیجه‌گیری

مشکلات فعلی مربوط به پیش‌بینی تقاضای سفر عمدتاً با سازگاری و مقایسه برآورد رویکردهای مختلف مدل‌سازی، ماهیت داده‌ها، واحدهای اندازه‌گیری و کشورها مرتبط است. مدل‌های ترکیبی تقاضای سفر می‌توانند به‌طور قابل توجهی برآوردهای ثابتی از تولید سفر، توزیع آن و تخصیص شبکه ایجاد کنند، اما به‌طور کلی مقایسه نتایج این روش‌ها با سفرهای واقعی حاکی از آن است که پیش‌بینی‌هایی که برای سفرهای بلندمدت انجام می‌شود، دارای نتایج رضایت بخشی نیستند و دقت لازم را ندارند. پژوهش حاضر برای نشان دادن پتانسیل روش‌های مختلف جهت برآورد تقاضای سفر، و تأثیر عوامل مختلف بر تغییرات فضایی سفر انجام شده است. در فرآیند پژوهش از نرم‌افزار ArcGIS، برای اجرای مدل‌های OLS و GWR به‌منظور پیش‌بینی و مدلسازی تقاضای سفر و از نرم‌افزار متلب مدل پرسپترون چند لایه MLP برای مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. مقایسه نتایج به‌دست آمده نشان داد مقدار R2 رگرسیون وزنی جغرافیایی نسبت به شبکه عصبی مصنوعی بهتر است و بهتر می‌تواند تغییرات فضایی در داده‌ها را توضیح دهد. نتایج نشان می‌دهد که GWR یک تکنیک مدل‌سازی امیدوار کننده است که دارای قدرت پیش‌بینی بهتری است و درک بیشتری از تغییرات فضایی روابط مورد مطالعه ارائه می‌دهد. مقایر

R2 محلی این مدل در دهستان اسپیران، لاهیجان و میدان‌چای پیش‌بینی بهتری نسبت به بقیه دهستان‌ها دارد و مقادیر خروجی ارزشی آن بیش از ۰/۵ درصد برای تمام روستاها است. یعنی بین شاخص‌های در نظر گرفته شده و تقاضای سفر در آن روستاها ارتباط فضایی بیشتری وجود دارد. وجود خدمات حمل‌ونقل عمومی در تغییرات محلی سفر تأثیر قابل توجهی داشته است. در رتبه بعد، فاصله از شهر تبریز، به‌عنوان عامل فضایی شناخته می‌شود که در شکل‌گیری حجم سفرها نقش فعالی دارد.

به‌گونه‌ای که برخی از روستاهای نزدیک شهر تبریز همانند محلاتی از شهر تبریز هستند که ضمن پذیرش سرریز جمعیت شهر تبریز، تردد روزانه زیادی نسبت به روستاهای دور به تبریز دارند. در بین نتایج حاصل از مدل‌ها، روش GWR علاوه بر دقت در برآورد تقاضای سفر، روابط مکانی و فضایی عوامل را با تقاضای مسافران در نقشه‌های خروجی آشکار می‌کند. این یافته‌ها با مطالعات قبلی صورت گرفته از جمله (Godwin and Price: 2016; Kakar and Parsad: 2020; Jain et al., 2016; Beaudoin and et al., 2018) در این زمینه مطابقت دارد که نشان می‌دهد سفر در جاهایی که وسایل نقلیه عمومی در دسترس قرار دارند، بیشتر است. (Blainey and Mulley: 2013; Shen et al., 2020; Andersson: 2017; Wang et al., 2021; Tang et al., 2019) نیز در نتایج مشابه، در مقاله‌ای به دقت مدل‌های GWR در پیش‌بینی تقاضای سفر اشاره می‌کنند و معتقدند این مدل‌ها ناهمگونی مکانی و زمانی را با ضریب دقت بالا اندازه‌گیری می‌کنند.

البته این به معنای دقت کم مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تقاضای سفر نیست. در مقالات متعددی به این نکته اشاره شده است که با به‌کار بردن الگوریتم‌های فراابتکاری و جدید می‌توان نرخ انطباق پیش‌بینی شبکه عصبی را با داده‌های واقعی افزایش داد (Mostafaeipour et al., 2018; Amita and Garg: 2016; Sriaeng et al., 2015; Wei and Yan; 2019) لی و همکاران (۲۰۱۸) با مقایسه چهار مدل ANN با یکدیگر، مدل PNN را دارای بهترین عملکرد در بین مدل‌های ANN می‌دانند که پیش‌بینی دقیقی از فرآیندها ارائه می‌دهد.

از جمله پیشنهاداتی که برای افزایش میزان دقت پیش‌بینی در مدل‌ها داده می‌شود، به شرح زیر است:

۱- جزئیات سفر افراد و فعالیت‌های روزمره آنها، کاربری اراضی و تعداد خدمات در تعیین کمیت سفرها، انتخاب حالات سفر و مقصد افراد نقش به‌سزایی دارد. مدل‌های پیش‌بینی با گنجاندن این‌گونه اطلاعات از دقت بیشتری برخوردار خواهند شد. به‌عبارت دیگر، توجه به فعالیت‌های روزمره و خانگی ضمن بهبود پیش‌بینی الگوهای سفر تولید شده توسط افراد، نحوه تأثیر این سفرها بر کل سیستم را نیز امکان‌پذیر می‌سازد و نیاز به توسعه یک مدل و یا رویکرد کاملاً جدید برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت سفر را کاهش می‌دهد.

۲- استفاده از داده‌های کلان و بزرگ در پیش‌بینی تقاضای سفرها، ضمن اینکه تفکر جدیدی را در حوزه پیش‌بینی‌ها به‌وجود می‌آورد جهت توسعه روش‌های تقاضای سفر را نیز گسترش می‌دهد. تأثیر این داده‌ها در دقت پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بیشتر از بلندمدت و پیش‌بینی‌های غیرخطی سفر بیشتر از روش‌های خطی است چرا که روش‌های پیش‌بینی غیرخطی معمولاً به نمونه داده‌های بیشتری نیاز دارند. بدون شک، توسعه داده‌های بزرگ چالش‌های جدیدی را برای روش‌های پیش‌بینی تقاضای سفر از جنبه‌های اکتساب داده‌ها، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها و کاربرد نتایج ایجاد می‌کند، اما در کنار آن می‌تواند دقت پیش‌بینی تکنیک‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را نیز افزایش دهد.

۳-در پیش‌بینی سفرها، مدل‌هایی به کار روند که کیفیت کلی سیستم حمل‌ونقل را توصیف و اندازه‌گیری کنند و اینکه چگونه این کیفیت در مکان‌های مختلف متفاوت است و بر سفر گروه‌های مختلف افراد تأثیر می‌گذارد. در این مورد، استفاده از مفهوم دسترسی به‌عنوان چارچوبی برای ارزیابی و مقایسه سیستم‌ها، حالت‌ها و ترکیب مختلف سیاست‌ها مناسب است. بهتر است بعد از پیش‌بینی سفرها، بیشتر به دنبال توسعه روش‌هایی

باشیم که برای بهبود انتقال و رفتار سفر توجه را بر بهبود کیفیت کل سیستم متمرکز می‌کنند تا حل مشکلات فردی.

۷- مراجع

- الماسی، ا.، ارباب‌پور بیدگلی، م.، فانی، ا. ح. (۱۳۹۷). برآورد تقاضای سفر جاده‌ای با استفاده از روش‌های رگرسیون و شبکه عصبی (مطالعه موردی: آزادراه قم- تهران). *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، شماره ٥٦، ۳۵۳-۳۳۷.

- بندرجیان.، ف. (۱۳۹۰). برآورد تقاضای سفر و ناوگان موردنیاز حمل‌ونقل ریلی حومه‌ای تهران تاسال ۱٤۰٤. *دهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران*، تهران.

- تیموری، ا.، حکیمی، ه. (۱۳۹٤). برآورد تقاضای سفر گردشگران ایرانی به ترکیه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۱، شماره ٦۱، ۱٤٥-۱۲۷.

- تقی‌نژاد، ی. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد موجودی مبتنی بر پیش‌بینی تقاضا با استفاده از مدل شبکه عصبی MLP. *مجله مدیریت توسعه و تحول*. ۱٦۰- ۱٥۱.

- حبشی، ن.، و باورصاد، پ. (۱۳۹۳). برآورد و بهینه سازی ترافیک بارحمل‌ونقل جاده‌ای بنادر استان خوزستان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی، *شانزدهمین همایش صنایع دریایی*، بندرعباس.

- رستگار، م.، اجزاء شکوهی، م.، رهنما، م. ر. (۱۳۹۸). تحلیل فضایی تولید و جذب سفر کاربری‌های آموزشی در کلان‌شهر مشهد. *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*، سال ۹، شماره ۳۰، ۱٥۷-۱۷۸.

- رضائی، ن.، کمروویچ، س. ا. (۱۳۹۰). ارائه یک مدل تقاضای سفر با هدف شغل. *پژوهش‌های مدیریت در ایران*، دوره ۱٥، شماره ٤، ۱۲۷-۱۲۷.

- سید علوی، ع.، پرهیزکار، ا.، رکن‌الدین افتخاری، ع.، قالیباف، م. ب.، پورموسی، م. (۱۳۸۹). مدل‌سازی مکانی تقاضای سفر مبتنی بر روشی جدید برای پیش‌بینی و کاهش ترافیک (منطقه شش تهران). *نشریه مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره پانزدهم، شماره ٤، ٦۲-٤۳.

- سلطانی، ع. (۱۳۹۳). مدل‌سازی برآورد تقاضای سفر با اتوبوس‌های سریع السیر (BRT) شهر تبریز در محیط ArcGIS. *نشریه فضای جغرافیایی*، دوره ۱٤، شماره ٤٥. ص. ۱۹۷- ۱۹۷.

- عزتی، ا.، عاقلی، ح. (۱۳۸٤). برآورد کشش‌های تقاضای مسافر و بار در راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران. *فصلنامه حمل‌ونقل*، شماره ۳، ۲۸-۲۰.

- عرفانیان، ا.م.، حسین‌خواه، م.، علیجان‌پور، ا. (۱۳۹۲). مقدمه‌ای بر روش‌های رگرسیون چندمتغیره OLS و GWR در مدلسازی مکانی اثرات کاربری اراضی بر کیفیت آب. *مجله ترویج و توسعه آبخیزداری*، دوره ۱، شماره ۱، ٤٥ – ۳۳.

-غفاری، ع، عبداللی‌نیا، م (۱۳۹۹). علم چگونه آینده را پیش‌بینی می‌کند. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، دوره ۲۲، شماره ۸٦، ۲۰-۱.

- گنجی زهرایی، ه. (۱۳۹٤). برآورد تقاضای سفر گردشگری با حمل‌ونقل عمومی با استفاده از سیستم معادلات تقاضای تقریباً ایده‌ال و داده‌های مقطعی. *فصلنامه جاده*، دوره ۲۳، شماره ۸٥، ۲۸۷-۲۲۹۲.

-Amita, J., Jain, S. S., Garg, P.K. (2016). Prediction of Bus Travel Time Using ANN: A Case Study in Delhi. *Transportaion Research Procedia*, V. 17. 263-272

-Anderson, J (2017). Using geographically weighted regression (GWR) to explore spatial variations in the relationship between public transport accessibility and car use. A case study in Lund and Malmu. *Sweden.* Phd thesis.

-Beaudin, J. Lawell, C. L. (2018). Effects of public transit supply on the demand for automobileb travel. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 88, 1-44.

-Bergwe, A. (2012). A travel demand model for rural area. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for degree of Master, *Bozeman*, Montana.

-Blainey, S. Mulley. C. (2013). Using Geogrphically Weighted Regression to forecast

planning services for the estimation of a long-distance travel demand model. Predicting The Impacts Of A New High Speed Rail Corridor. *Research in Transportation Economics*, 72. 27-36.

-Luo, J. Zhou, D. Han, Zh. Tan, Y. (2021). Predicting travel demand of a docked bikesharing system based on LSGC-LSTM networks, *Preparation of Papers for IEEE Access*. 1-16.

-Menhaj. M., Kazemi, A., Shakouri, H., Mehregan, M., & Taghizadeh, M. (2010). Transport energy demand forecasting using neural networks: Case study Iran. Management. Research in Iran, *Modares Human Sciences*, 2 (66), 203- 220.

-Metroplitan Council (2012). Travel demand forecasting user guide, *A Supplement to the Regional Transitway Guidelines*.

-Mostafaeipour, A. Goli, A. Qolipour, M. (2018). Prediction of air travel demand using a hybird artificial neural network (ANN) with Bat and Firefly algorithms: a case study. *The Journal of Supercomputing.* Vol. 74, 5461-5484.

-Sedehi, M., Mehrabi, Y., Kazemnejad, A., & Hadaegh, F. (2010). Comparision of artificial neural network, logistic regression and discriminant analysis method in prediction of metabolic syndrome. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 11(6). 638-646.

-Srisaeng, P. Baxter, G. Wild, G (2015). Using an artificial neural network approach to forecast Australia domestic passenger air travel demand. *World Review of Intermodal Transportation Research*, Vol. 5, No. 3. 281-313.

-Shen, X. Zhou, Y. Jin, Sh (2020). Spatio temporal influence of land use and household properties on automobile travel demand. *Transportation Research Part D: Transport and Environment.* Vol. 84.

-Tang, J. Gao. F. Liuu, F. Zhang, W. Qi, Y. (2019). Understanding spatio-temporal characteristics of urban travel demand based on the combination of GWR and GLM. *Sustainable Transport*, 11(9). 1-15.

-Tsai, T. H. (2011). Neural network based temporal feature models for short-term railway - rail demand in the Sydney region. *Australasian Transport Research Forum 2013 proceeding*.

-Chow, T., Ilram Shah, T, Y. Park, P., Fu, (2021). A GIS approach to the development of a segment-level derailment prediction model. Accident analysis and Prevention. Vol. 151. 1-15.

- Flyvbjerg, B, (2005). Measuring inaccuracy in travel demand forecasting: methodological considerations regarding ramp up and samling. Transportation research: Part A. Vol. 39, 522-530.

-Gelhausen, M. C., Bester, P, Wilken, D. (2018). A new direct model of long-term forecasting air passenger and air transport movement at German airports. *Jouranal of Air transport maanagement*. Vol.71. 140-152

-Guo, G, Zhang, T (2020). A residual spatio-temporal architecture for travel demand forecasting. Transportation research part C: Emerging technologies, Vol. 15, 115-125.

-Hughes, B. B (2019). International futures: Building and using global models. Academic Press (Elsevier Ltd).

-Jain, D, Tiwari, G (2016). How the present would have looked like? Impact of non-motorized transport and public transport infrastructure on travel behavior. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 22, 1-10.

- Kakar, K. A. Parsad, C.S.R.K (2020). Impact of urban sprawl on travel demand for public transport, private transport and walking. *Transportation research procedia*, Vol. 48, 1881-1892.

-Kerkman, K., Martens, K., Meurs, H. (2018). Predicting travel flows with spatially explicit aggregate models on the benefits of including spatial dependence in travel demand modeling, *Transportation Research Part A.* 118(72), 68-88.

-Lee, D. Derrible, S. Camara Pereira, C. (2018). Comparison of four types of artificial neural network and a multinomial logit model for travel mode choice modeling. *Journal of Transportation Research Record.* Vol. 2672, Issue 49. 101-112.

-Liorca, C. Ji, J. Molloy, J, Moeckel, R. (2018). The usage of a location based big data and trip

-Vovsha, P. Petersen, E. Donnelly, R. (2002). Micosimulation in travel demand modeing, Lessons learned from the New York best practice model. Vol. 1805, Issue 1.

-Wang. J. (2021). Influencing factor analysis and demand forecasting of intercity online car- Hailing travel. *Sustainable Transportation*, 13 (13). 1-16.

-Zhang, X., Zheng, Y, Wang, Sh. (2019). A demand forecasting method based on Stochastic Frontier analysis and model average: An application in air travel demand forecasting. *Journal of Systems Science and Complexity*, Vol. 32, 615-633.

passenger demand forecasting. *Expert Systems with Applications*. 36(2), 3729-3736.

-VanWee, B. (2007). Large infrastructure projects: A review of the quality of demand forecasts and cost estimations. *Environment Planing: B Plan.* 34 (2), 611–625.

-Vasconcelos, V. S. Quevedo-Silva, F. Ravai, R (2021). Demand forecasting model based on artificial neural networks for passengger transporation projects. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 1-14.

-Vollwock-Witte, N. (2018). New mobility opportunities in rural context. *Western Transportation Institute Project.*

Prediction of Rural Travel Demand by Spatial Regression and Artificial Neural Network Methods (Tabriz County)

Mohsen Aghayari Hir, Assistant Professor, Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Geography and Environmental Planning, Tabriz University, Tabriz, Iran.

Mohammad Zaheri, Associate Professor, Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Geography and Environmental Planning, Tabriz University, Tabriz, Iran.

Nahid Rahimzadeh, Ph.D., Student, Department of Geography and Rural Planning, Tabriz University Tabriz, Iran.

E-mail: aghayarihir@gmail.com

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

Understanding of the current travel pattern is necessary for identifying and analyzing traffic problems, the movement of people and for developing travel forecasting and prediction models. The prediction of travel demand is the main goal of the long-term transportation planning process for determining strategies about accommodating future travel needs, which may include land use policies or the development of transportation, road construction services and so on. This paper aims to estimate travel demand based on spatial statistics and artificial neural network methods as capable approaches then compare the results of these methods to determine the accuracy of each to forecast travel demand. The present research is of applied type and the method of doing it is descriptive-analytical. The statistical population of the study is all rural households in Tabriz County, which is 40,714 households, and using the Cochran's formula, 380 households were selected as the sample population. Data collection was done using a researcher-made questionnaire and based on research indicators, and as a result, the actual travel demand of individuals was estimated. After estimating the actual travel demand, travel estimation was performed using conventional least squares method, geographical weight regression and multilayer perceptron neural network. The result was compared with the actual travel estimates. The results indicate that geographic weight regression (GWR), artificial neural network (ANN) and ordinary least squares (OLS) have the highest to the lowest accuracy in estimating travel demand, respectively.

Keywords: Travel Demand Prediction, Artificial Neural Network (ANN), Geographically Weighted Regression (GWR), Rural, Tabriz County