مدلسازی تخصیص ناوگان اتوبوسرانی شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: مشهد مقدس)

غلامعلی شفابخش، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
حسین نادرپور، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
حمیدرضا راسخی (نویسنده مسئول)، کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
Email: hr.rasekhi@gmail.com

چکیده

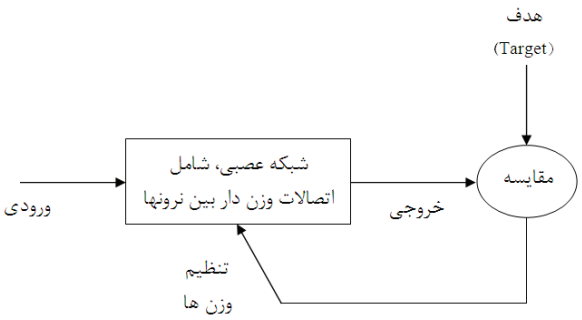
استفاده از سیستم اتوبوسرانی درون‌شهری با توجه به انعطاف‌پذیری بالا و ارزان‌بودن آن برای استفاده‌کننده، در شهرهای بزرگ و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه امری اجتناب‌ناپذیر است. از اینرو بهبود این سیستم حمل‌ونقل بدلیل گستره فعالیت آن ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌های ارتقای عملکرد این سیستم، تخصیص بهینه اتوبوس‌ها به خطوط فعال به‌گونه‌ای است که نسبت به وضعیت موجود، تعداد مسافر بیشتری حمل نموده و در عین حال هزینه حمل آن کاهش یابد. بر این اساس در این مطالعه از یک رویکرد جدید به منظور تخصیص بهینه اتوبوس‌ها به خطوط شبکه اتوبوسرانی موجود استفاده گردید. در این روش، مدلی تهیه شد که از طریق آن می‌توان با در نظرگرفتن پارامترهای مختلف مؤثر بر این امر در کنار یکدیگر تعداد اتوبوس‌های مورد نیاز یک خط را تعیین نمود. برای این منظور نیز از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده گردید. شبکه‌های عصبی مصنوعی به علت قابلیت یادگیری به کمک مثال و با استفاده از داده‌های موجود می‌توانند برای مدلسازی‌های غیرخطی که حل عددی دقیق آنها به سختی قابل حصول است، مورد استفاده قرار گیرند. عملکرد شبکه، پس از طی‌شدن پروسه آموزش، مورد مطالعه قرار گرفته و در صورت ارضای شرایط مورد نظر، می‌توان در شبیه‌سازی موارد جدیدی که در پروسه آموزش موجود نبودند، از این شبکه‌ها استفاده کرده و خروجی‌های مورد نظر را به‌دست آورد. که در این رویکرد نیز، معماری شبکه حاصل برای مدل ارائه شده به سبب داشتن بالاترین ضریب همبستگی (R=۰/۹۹۶) و کمترین میانگین خطای مربعی (mse = ۰/۵۵۳)، بصورت NN-۱۱-۱۳-۱ بدست آمد. درنهایت، مدل به‌دست آمده بر روی شبکه اتوبوسرانی شهر مشهد آزمایش گردید، که نتایج به‌دست آمده با استفاده از شبکه عصبی در مقایسه با وضعیت موجود نیز به دلیل انطباق کامل وضعیت موجود با نتایج بدست آمده از شبکه مورد نظر، نشان‌دهنده دقت بالای این شبکه‌ها در شبیه‌سازی شرایط ایده‌آل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ناوگان اتوبوسرانی، بهینه‌سازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، حمل‌ونقل.

۱. مقدمه

افزایش تقاضای حمل‌ونقل در آینده و بخصوص در کشورهای در حال توسعه، استفاده بیش از پیش از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی را توجیه می‌نماید. از این رو، بهبود سیستم حمل‌ونقل عمومی به‌ویژه سیستم اتوبوسرانی می‌تواند نقش مهمی را در این راه ایفا نماید [۱ و۲]. این بهبود، در دو سطح قابل انجام است؛ نخست بهبود سیستم از طریق تغییر در شبکه اتوبوسرانی از نظر مسیر و تعداد خطوط و طراحی یک شبکه جدید و دیگری بهبود عملکرد خطوط از طریق تخصیص مناسب ناوگان به خطوط، به‌گونه‌ای که بتوان حداکثر استفاده را از وضعیت موجود به‌دست آورد [۱]. بر این اساس در این مطالعه، روش بهبود عملکرد خطوط از طریق تخصیص مناسب ناوگان، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یکی از روش‌های فراابتکاری استفاده گردید. روش‌های فراابتکاری به دلیل دارابودن دو خصوصیت مهم، مسئله محوری (یعنی برای مسأله‌ای خاص طراحی نشده‌اند و با کمی تغییر در حل بسیاری از مسائل بهینه‌سازی، قابل استفاده‌اند)؛ و نیز توانمندی (یعنی توازن بین کارآیی و شایستگی بقا در محیط‌های مختلف)، نسبت به روش‌های کلاسیک از کارایی بالاتری در حل مسائل برخوردار می‌باشند [۳].

شبکه‌های عصبی نیز از عناصر عملیاتی ساده‌ای به صورت موازی ساخته می‌شوند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند [٤]. در طبیعت، ساختار شبکه‌های عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. بنابراین می‌توان یک ساختار مصنوعی به تبعیت از شبکه‌های طبیعی ساخت و با تنظیم مقادیر هر اتصال تحت عنوان وزن اتصال، نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین نمود [٤]. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه عصبی، اعمال یک ورودی خاص به آن منجر به دریافت پاسخ خاص می‌شود. همان طورکه در شکل ۱ دیده می‌شود، شبکه بر مبنای تطابق و هم‌سنجی بین ورودی و هدف سازگار می‌شود تا اینکه خروجی شبکه و هدف بر هم منطبق گردند. عموماً تعداد زیادی از این زوج‌های ورودی و خروجی به کار گرفته می‌شوند تا در این روند که از آن تحت عنوان یادگیری نظارت شده یاد می‌شود شبکه آموزش داده شود.



شکل ۱. نحوه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی [۵]

در این مطالعه به منظور آموزش شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آمده نیز از خروجی‌های حاصل از مدلسازی وضعیت حمل‌ونقل، در نرم‌افزار ۲/Emme استفاده گردید. نرم‌افزار ۲/Emme یکی از نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری است که برای اولین بار در سال ۱۹۷٦ توسط مرکز تحقیقات مونترال کانادا به بازار عرضه شده و پس از آن با توجه به قابلیت‌های بالای آن توسعه داده شده است. این نرم‌افزار، به منظور ایجاد یک محیط انعطاف‌پذیر برای تعیین، اجرا و کاربرد مؤثر روش‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری و محلی طراحی شده، که تحلیل و امکانات مدلسازی‌ای که توسط این نرم‌افزار فراهم شده است، پاسخگوی نیازهای جدید یک متخصص برنامه‌ریز حمل‌ونقل می‌باشد. این نرم‌افزار شامل ۵۰ ماژول بوده، که به زیر گروه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند. مجموعه ابزار ویرایشگر شبکه، ویرایشگر ماتریس، ویرایشگر تابع، روش‌های تخصیصی و نتایج این نرم‌افزار ابزارهای اصلی این نرم‌افزار را تشکیل می‌دهند. همچنین شامل برخی از مجموعه ابزارهای منفردی نیز می‌باشد که مثلا امکان پرینت ترسیمات را فراهم می‌آورند و یا برای نمایش جداول بصورت گرافیکی بکار می‌روند [٦].

پس از تعیین شبکه عصبی مصنوعی بهینه برای تخصیص ناوگان اتوبوسرانی به خطوط، به منظور بررسی صحت و دقت مدل به‌دست آمده، از آن برای شبکه اتوبوسرانی شهر مشهد استفاده گردید. سپس سناریوهای مختلفی به منظور بهینه‌سازی خطوط

تعریـف و تاثیرات هریک از آنها نیز مورد بررسـی قرار خواهد گرفت.

۲. مروری بر تحقیقات گذشته

مسئله بهینه‌سـازی خطوط اتوبوسـرانی از گذشته مورد توجه پژوهشـگران مختلف بوده، لذا روش‌هـای مختلفی نیز برای این منظور توسـط این پژوهشـگران پیشـنهاد گردیده است، در زیر جدیدترین مطالعات انجام شده در این زمینه آورده شده است:

در سال ۲۰۰۰، Lee و Vuchi بیان کرده‌اند که تقاضای شبکه اتوبوسـرانی، وابسـته به شکل شـبکه و تواتر خطوط است. لذا مسـئله طراحی شبکه اتوبوسـرانی را به صورت پویا و تقاضای متغیر حل کرده‌اند. تابع هدف این مطالعه، کمینه سـازی مجموع زمان سـفر مسـافران تحت محدودیت تواتر هر خط است. این مؤلفـان به طور همزمان به برآورد تقاضای حمل‌ونقل همگانی و طراحی شـبکه بهینه پرداخته‌اند. تفکیک و در نهایت یک تحلیل حساسـیت بین شبکه مطلوب همگانی و متغیرهای ورودی، نظیر سـرعت عملکردی اتوبوس، مجموع تقاضا و جریمه تغییر خط، ارائه شدند [۷].

در سـال ۲۰۰۱، Hu و Yang روش بهینه‌سـازی سیسـتم اتوبوسـرانی را با اسـتفاده از الگوریتم مورچه ارائه کردند و تابع هدف آنها بیشینه‌کردن مسافران بدون توقف بود [۸].

در سال ۲۰۰۲، Caramia ، Bielli و Carotenuto، در مقاله خود کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سـازی شبکه اتوبوسرانی را مورد بررسـی قرار دادند و یک روش جدید برای محاسـبه تابع صلاحیـت الگوریتم ژنتیـک ارائه کردند که از ترکیب با شـبکه عصبی حاصل شـده بود [۹]. در سال ۲۰۰۳، Quak بهینه‌سازی شبکه خطوط اتوبوسـرانی و زمان‌بندی را حل کرد. نحوه کار به این شکل بود که در مرحله اول شبکه خطوط اتوبوسرانی طراحی می‌شود، این کار با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری پنج مرحله‌ای اجرا شـده اسـت. در مرحله دوم، ابتدا تواترها تنظیم می‌شود و سـپس زمان‌بندی اتوبوس‌ها تعیین می‌شـود. برای تعیین تواترها و زمان‌بندی از روش‌های پیشـنهادی سـدر اسـتفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی برای طراحی خطوط و برنامه تعیین زمان‌بندی بر روی شـبکه اتوبوسرانی شهر امرسفورت هلند اجرا گردید، که نتایج نسبت به وضع موجود شبکه، بهبود را نشان داد [۱۰].

در سـال ۲۰۰٤، Yu ، Matisziw و Yung ، یک روش دقیق ریاضی برای پیداکردن توسـعه بهینه خطوط، بر روی یک شـبکه اتوبوسرانی ارائه کردند. روش حل پیشنهادی این محققان ، بهبود قابل توجهی در شـبکه اتوبوسرانی وضع موجود به دنبال داشت، هرچنـد روش‌های دقیـق ریاضی، توانایی حل مسـائل بزرگ و واقعی شبکه اتوبوس را ندارند [۱۱].

در سال ۲۰۰۵، Yu و Yung ، مسئله بهینه‌سازی شبکه خطوط اتوبوسرانی را با اسـتفاده از الگوریتم مورچه حل کرده‌اند. هدف از مطالعـه آنها، کمینه‌سـازی تغییر خط و حداکثر سـازی جریان مسـتقیم مسـافران بود و نقطه نظر مسافران و اپراتور، همزمان در نظر گرفته شـده بود. مدل بر روی شـهر دالیان تست شد و طبق ادعای مؤلفان، روش پیشـنهادی، کاهش تعداد تغییر خط و زمان سـفر نسبت به وضع موجود را به دنبال داشـته است. استفاده از الگوریتم موازی مورچه سـبب کاهش زمان محاسبات و افزایش کیفیت خروجی گردیده است [۱۲].

مطالعـات Gan ، Zhao و Zeng، نیـز، بهینه‌سـازی شـبکه اتوبوسـرانی شـهر میامی در ایالت فلوریدای امریکا بوده است که کلیت هر سـه مطالعه مشابه اسـت. تابع هدف مطالعه سال ۲۰۰۳، کمینه‌سازی تغییر خط، بیشینه‌سازی خطوط مستقیم و پوشش شبکه بوده است. الگوریتم‌های جستجوی حریصانه، تابو و ترکیبی از این دو، برای حل مسئله به کار گرفته شده، که بهترین نتایج، از ترکیب این دو الگوریتم حاصل شـده است. تابع هدف مطالعات سال‌های ۲۰۰٦ و ۲۰۰۸، کمینه‌سازی تابع هزینه مسافر است. در مطالعه سال ۲۰۰٦، از الگوریتم سرد و گرم‌کردن شبیه‌سازی شده استفاده شده، در حالیکه در مطالعه سال ۲۰۰۸ از ترکیب الگوریتم‌های سرد و گرم کردن شبیه‌سازی شده، تابو و جستجوی‌حریصانه استفاده شده‌است. هر سه مطالعه بر روی شبکه مندل و شهر میامی، در ایالت فلوریدای امریکا اجرا شده، که نتایج دو مطالعه آخر، بسیار بهتر از مطالعه سال ۲۰۰۳ بوده است [۱۳، ۱٤ و ۱۵].

۳. روش تحقیق

بررسی مطالعات انجام شده تاکنون بیانگر این نکته است که در کلیه روش‌های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف، امکان در نظرگرفتن کلیه پارامترهای مؤثر در تعداد ناوگان مورد نیاز یک خط اتوبوس در کنار یکدیگر وجود ندارد. از این رو، در این تحقیق، به منظور در نظرگرفتن کلیه پارامترهای تعیین کننده در مسئله تخصیص اتوبوس‌ها به خطوط، از یک رویکرد جدید استفاده گردید. برای این منظور نیز با ارائه مدلی بر مبنای شبکه‌های عصبی مصنوعی، شرایطی فراهم گردید که براساس آن یک برنامه‌ریز حمل‌ونقل شهری می‌تواند براحتی، با وارد کردن مقادیر متغیرهای مختلف مؤثر در تعداد اتوبوس‌های یک خط، تعداد اتوبوس‌های مورد نیاز آن خط را تعیین نماید. همچنین مدل به‌دست آمده این قابلیت را دارد تا برنامه ریز بتواند با انجام تغییراتی در خطوط موجود، به گونه‌ای آنها را بهینه نماید که بتوان با تخصیص بهینه اتوبوس‌های موجود به خطوط فعال، به‌گونه‌ای آنها را بهینه نمود که نسبت به وضعیت فعلی تعداد مسافر بیشتری حمل نمایند و در عین حال هزینه حمل آن نیز کمینه گردد. در ادامه نیز از این روش، به منظور بهینه‌سازی خطوط اتوبوسرانی شهر مشهد استفاده گردید، که نتایج به‌دست آمده در ادامه آورده شده است.

٤. مدلسازی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی

به منظور تعیین شبکه عصبی مصنوعی بهینه، در ابتدا داده‌های مورد استفاده جهت آموزش این شبکه جمع‌آوری و سپس در ادامه شبکه با معماریهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه نحوه تعیین شبکه به‌دست آمده و معماری شبکه حاصل آورده شده است.

٤-١. جمع‌آوری داده‌های آماری

همان‌طورکه قبلاً نیز به آن اشاره شد، لازمه ایجاد یک شبکه عصبی مصنوعی، وجود یک سری داده، به منظور مدلسازی در این شبکه می‌باشد. از آنجاکه این داده‌ها مبنای کار شبکه مورد مطالعه است، لذا وجود داده‌های با دقت هرچه بیشتر منجر به ایجاد یک شبکه مطمئن‌تر خواهد گردید. برای این منظور از داده‌های به‌دست آمده از مطالعات جامع حمل‌ونقل همگانی شهر مشهد استفاده گردید که پس از انجام مطالعات کامل و مدلسازی شرایط در نرم‌افزار قدرتمند Emme/۲ به‌دست آمده‌اند [١٦]. پارامترهای در نظر گرفته شده، در واقع کلیه پارامترهای مهمی هستند که برای تعیین تعداد اتوبوس‌های یک خط مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقادیر حداقل، میانگین، حداکثر و انحراف معیار این پارامترها که در فرآیند آموزش شبکه از آنها استفاده شده در جدول ۱ آورده شده‌اند.

لازم به توضیح است که کلیه این پارامترها مربوط به یک رفت و برگشت کامل می‌باشند.

٤-٢. تعیین معماری شبکه

پارامترهای ذکر شده در بالا به عنوان گره‌های ورودی در

جدول ۱. محدوده مقادیر مورد استفاده جهت آموزش شبکه[١٦]

پارامترهای موثر / مؤلفه‌ها	تعداد اتوبوس	طول خط (Km)	تعداد ایستگاه	زمان توقف در ایستگاه	کل زمان سفر خط (دقیقه)	سرعت اتوبوس	سرفاصله (دقیقه)	تعداد مسافرین سوار شده	مسافر کیلومتر	مسافر ساعت	سرعت حرکت مسافر	متوسط ضریب استفاده
حداقل	۱	۳	۱۴	۴	۱۲	۱۱	۲	۳	۱۷	۱	۱۱	۰/۰۱
میانگین	۱۲	۲۳/۴۲	۳۰	۱۶/۵۷	۶۸/۹۳	۱۹/۳۲	۱۶/۳	۱۸۲۰	۸۳۶۲	۴۹۳	۱۸/۲۷	۰/۴۲
حداکثر	۶۰	۱۱۷	۷۲	۵۶	۲۵۳	۳۳	۹۰	۱۰۳۶۰	۷۷۶۳۲	۴۴۳۸	۳۲	۰/۷۷
انحراف معیار	۸/۵۴	۱۳/۸۹	۹/۳۱	۸/۰۶	۳۲/۴۳	۴/۲۴	۱۳/۰۳	۱۶۸۴/۴۴	۷۹۲۶/۳۸	۴۷۵/۵۸	۳/۵۹	۰/۱۶

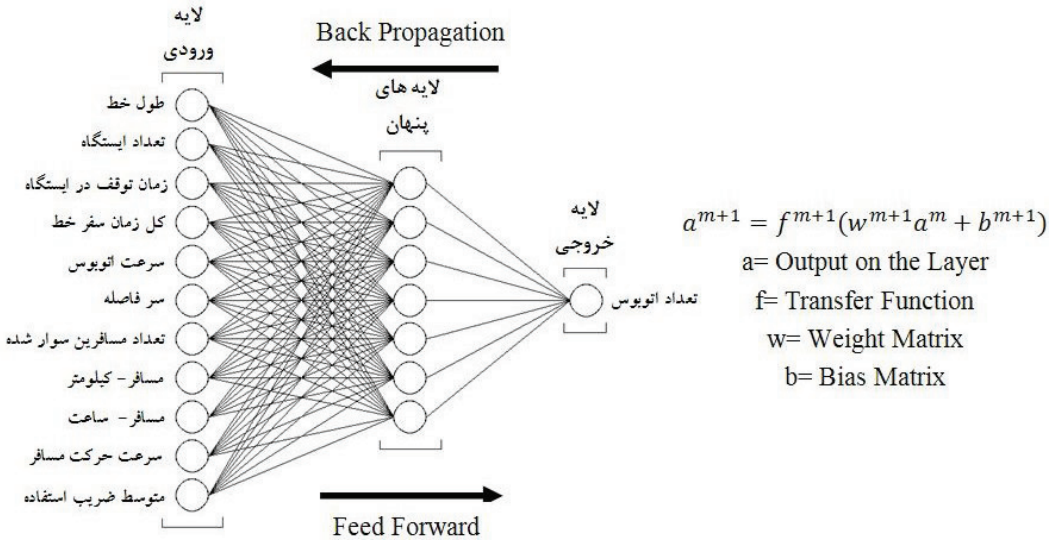
مدلسازی شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین با داشتن ۱۱ گره توضیح داده شده در بالا، گره هدف، تعداد اتوبوس خواهد بود. در ادامه پس از بررسی‌های صورت گرفته، در بهترین شـرایط، دو لایه مخفی در مدلسازی شبکه‌های عصبی بکار رفت و توابع انتقال نیز پس از بررسی توابع مختلف و اجرای شبکه از طریـق آنها و با توجه به نتایج حاصل، تابع تانژانت سـیگموئید۱ به سـبب داشتن بیشـترین انطباق با داده‌های مورد استفاده برای آموزش شبکه، بعنوان بهترین تابع در نظر گرفته شد.

شـبکه عصبـی مورد اسـتفاده، پس از مدلسـازی‌های مختلف بر روی شـبکه‌های متفاوت، شـبکه‌های FFBP۲ بـا الگوریتم Levenberg-Marquardt انتخـاب گردید. ایـن الگوریتم، بـه طور تصادفی بردارهای ورودی و بردارهای هدف را به سـه بخش، شامل آموزش، صحت و آزمایش تقسیم می‌کند. تغییر در درصد نسبی این بخش‌ها، به میزان کمی می‌تواند پروسه یادگیری را بهبود دهد یا ضعیف‌تر نماید.

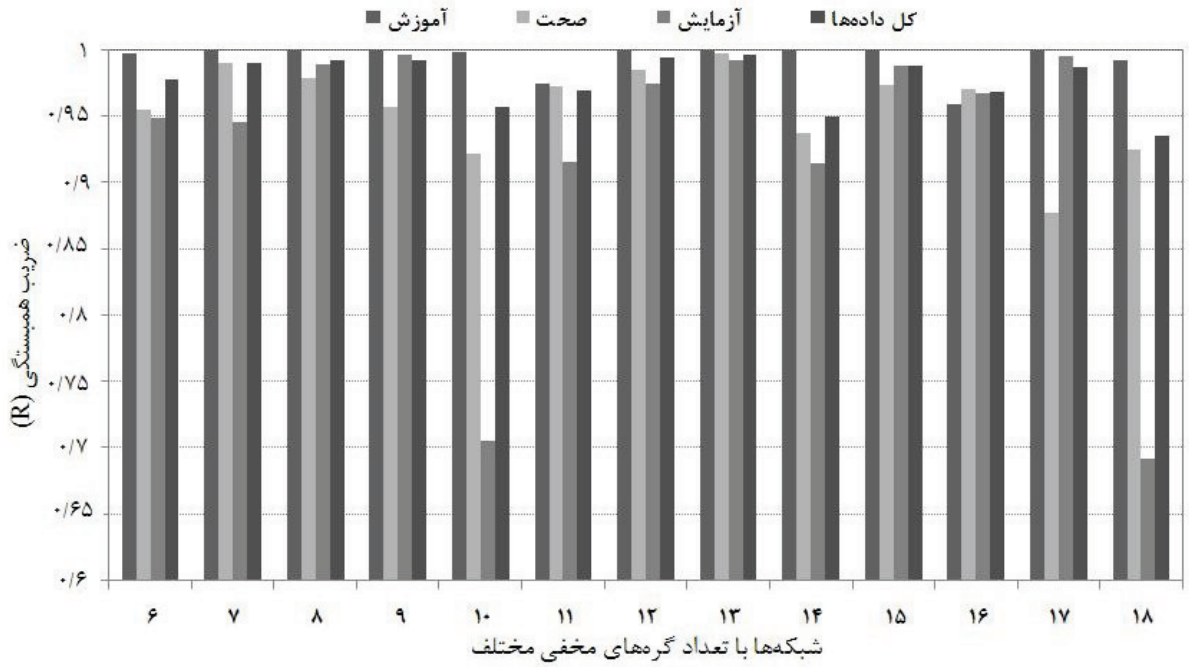
در این مطالعه در گام نخسـت، داده‌ها با درصدهای مختلف از سـه دسـته آموزش، صحت و آزمایش مورد مطالعه قرار گرفتند؛ به‌طوری‌کـه داده‌های آموزش بیـن ۵۰ درصد تا ۹۰ درصد تغییر داده شـدند. در نهایـت گروهی که در آن ۷۰ درصـد داده‌ها به آمـوزش، ۱۵ درصد به صحت و ۱۵ درصد به آزمایش اختصاص داده شده بود، به عنوان بهترین گروه در نظر گرفته شدند. معماری شـبکه مورد اسـتفاده در مطالعه به صورت NN ۱۱-n-۱ در نظر گرفته شد که رقم اول، تعداد گره‌های ورودی، n= تعداد گره‌های مخفی و سـومین رقم، تعداد گره‌های خروجی لحاظ شـد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

ملاک توقف آموزش شـبکه‌ها، خطای میانگین مربعی (MSE) بود که میانگین تفاوت مربعی بین مقادیر خروجی و هدف می‌باشد. مقادیر کمتر به معنای عملکرد بهتر شـبکه بـوده و مقدار صفر به معنی عدم وجود خطا می‌باشـد. مقادیر رگرسیون، همبستگی بین خروجی‌ها و هدف را در شبکه‌ها اندازه‌گیری می‌کنند، به نحوی که R=۱ به معنی ارتباط کامل بوده و R=۰ نشان‌دهنده رابطه تصادفی است. این دو معیار یعنی MSE و R به عنوان اساس انتخاب شبکه ایده‌آل در نظر گرفته شـده‌اند. مقادیر رگرسـیون شبکه‌ها با تعداد مختلف گره‌های مخفی در شکل ۳ ارائه شده‌اند.

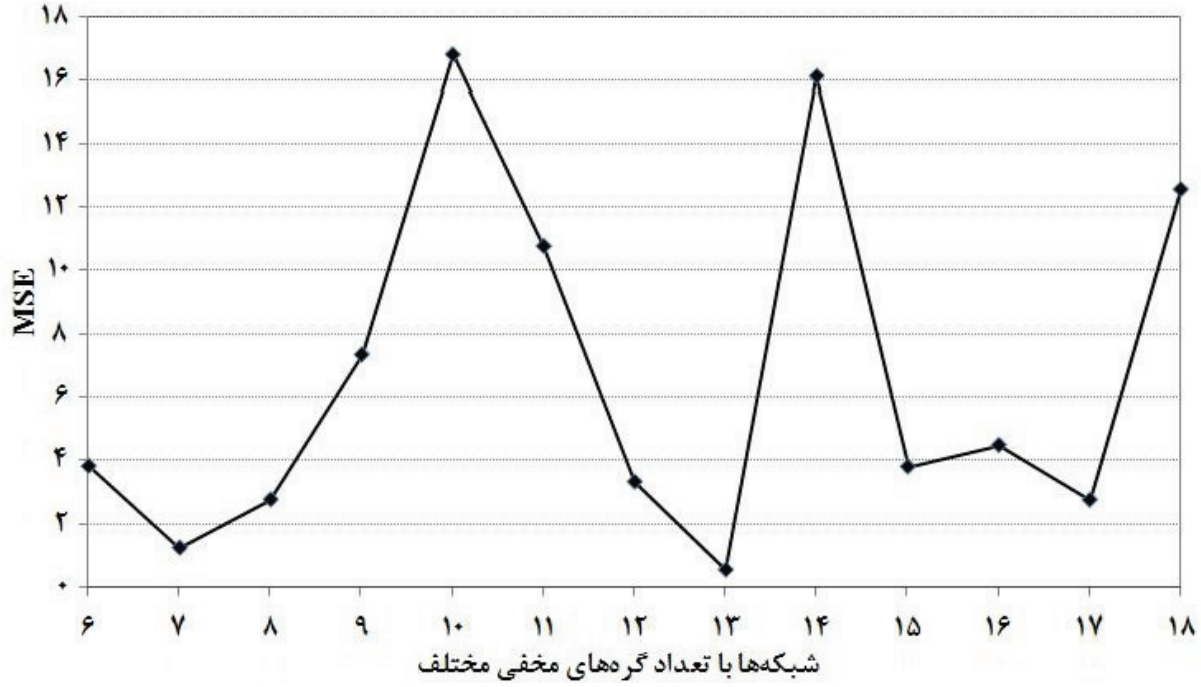
فیلتر دیگر در عمل مقدماتی بر روی شـبکه‌ها در شکل ٤ نشان داده شـده، که حداکثر خطای مطلق را برای هر شـبکه به‌دسـت می‌دهد. همان‌طورکه مشـاهده می‌شـود، تمام شـبکه‌ها به خوبی آموزش دیـده اما تعدادی از آنهـا دارای مقادیر بزرگی از MSE



شکل ۲. دیاگرام مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی



شکل ۳. ضرایب همبستگی شبکه‌ها با تعداد گره‌های لایه مخفی مختلف



شکل ٤. خطای میانگین حداکثر شبکه‌ها با تعداد گره‌های لایه مخفی مختلف

هستند.

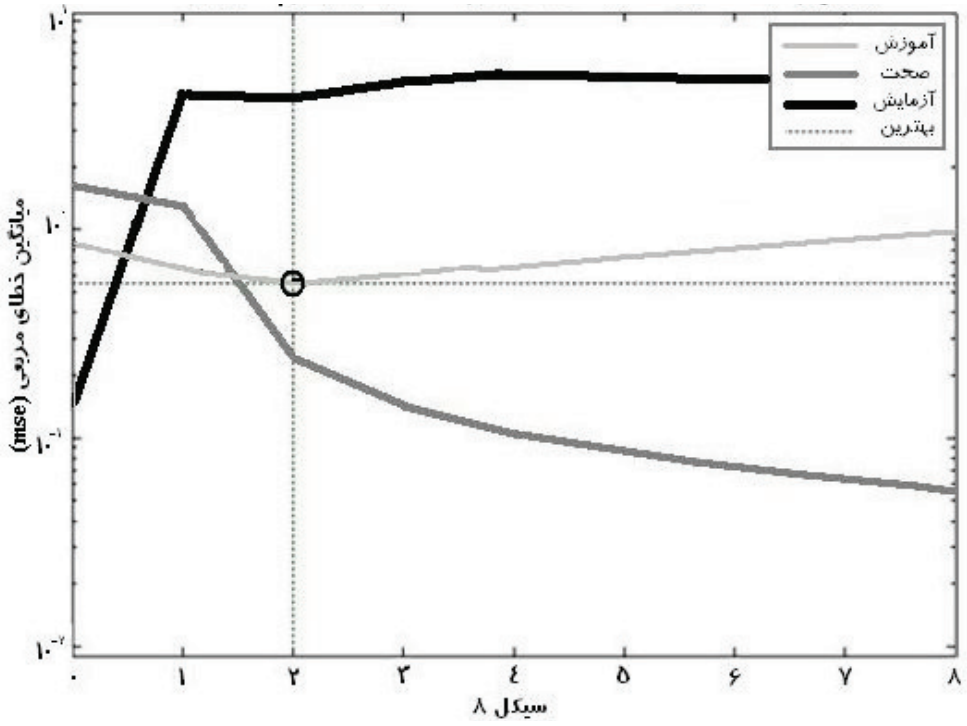
پس از عبور از این فیلترها در نهایت شبکه با معماری NN ۱۱-۱۳-۱ به عنوان بهترین شبکه انتخاب گردید، زیرا مقادیر R خوبی ارائه داده و کمترین MSE را در میان تمام شبکه‌ها دارا می‌باشد. نتایج آموزش شبکه NN ۱۱-۱۳-۱ در شکل‌های ۵ و ٦ آورده شده‌اند. شکل ۵، MSE شبکه را نشان می‌دهد که از مقادیر بزرگ شروع شده و به مقادیر کوچک‌تر کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، این مسأله نشان می‌دهد که شبکه در حال یادگیری است.

نمودار شکل ٦ دارای ۳ خط است که هر یک نماینده یک دسته از داده‌ها می‌باشند. آموزش بردارها تا زمانی ادامه می‌یابد که خطای شبکه در بردارهای صحت کاهش یابد. پس از آنکه شبکه آموزش دید، پروسه یادگیری متوقف می‌شود. این تکنیک به صورت خودکار از مسئله روی هم افتادن داده‌ها که باعث عدم بهینه‌سازی بعضی الگوریتم‌ها می‌گردد، حاصل می‌شود.

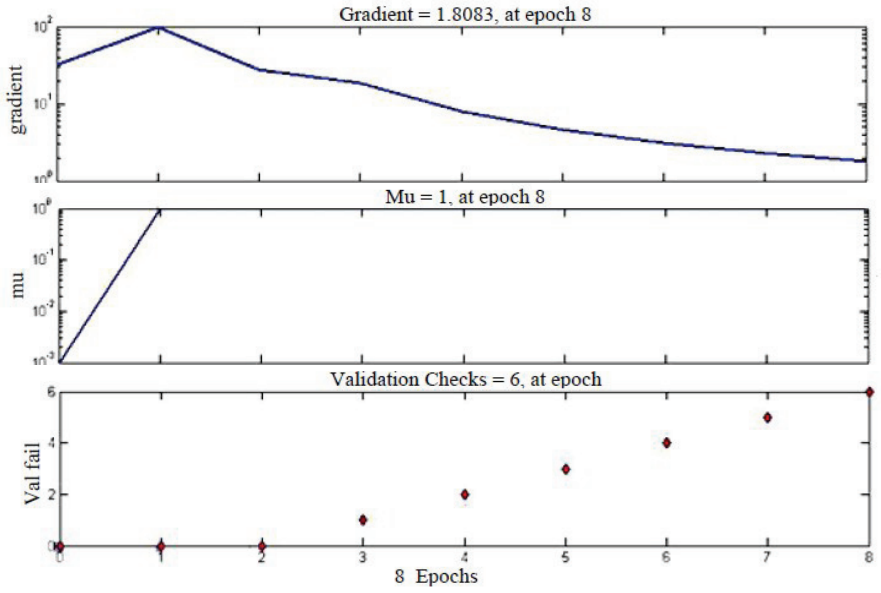
نمودارهای نشان داده شده در شکل ۷ نیز مقادیر رگرسیون را به ازای مقادیر مختلف مورد استفاده در فرآیند آموزش شبکه نشان می‌دهند. همان‌طورکه نشان داده شده، عدد به‌دست آمده برای داده‌های آموزش، نشان‌دهنده آموزش بسیار خوب در شبکه می‌باشد. و مقادیر به‌دست آمده برای داده‌های آزمایش نیز نشان دهنده دقت بالای شبکه به‌دست آمده و انطباق بسیار خوب نتایج مدل با داده‌های واقعی می‌باشد.

۵. مطالعه موردی

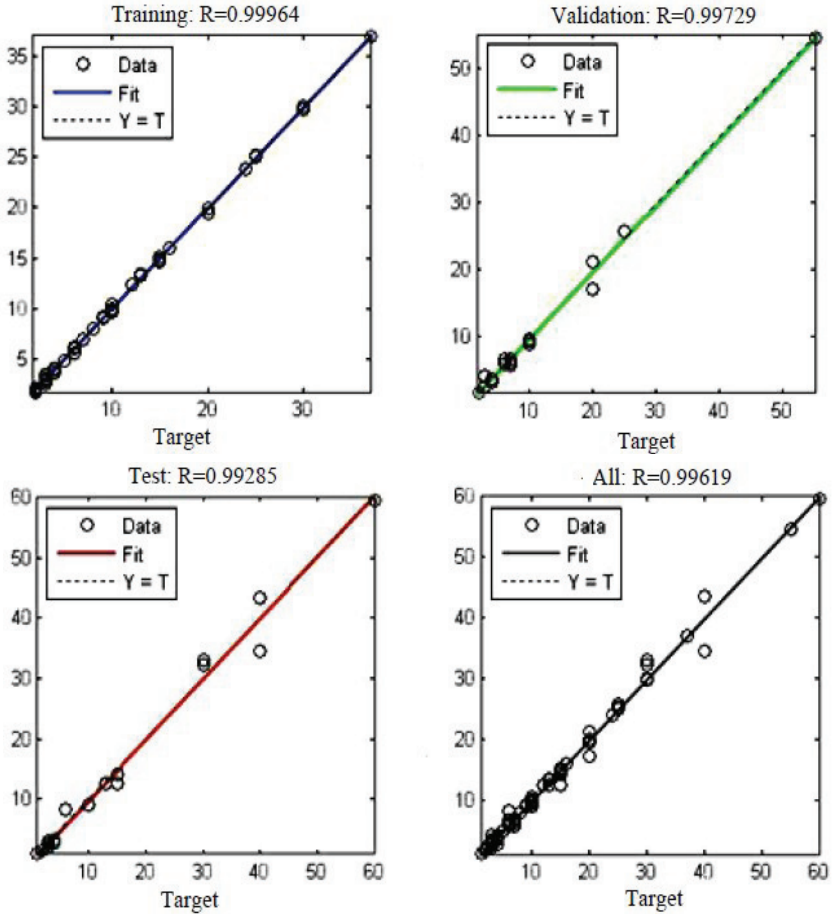
شهر مشهد، یکی از کلان‌شهرهای ایران است که با مساحتی در حدود ۱۹۵ کیلومتر مربع و جمعیت ۲۸٦۸۲۵۰ نفر، پس از تهران دارای بیشترین جمعیت در کشور می‌باشد. براساس برآوردهای صورت گرفته در سال ۱۳۸٦، تعداد سفرهای سواره ساکنان این شهر در یک شبانه‌روز، ٤۱۸۵۲۱٤ سفر بوده[۱۷] که در حال حاضر نیز تنها سیستم اصلی حمل‌ونقل همگانی موجود در این شهر، سیستم اتوبوسرانی می‌باشد، که در کنار تاکسیرانی وظیفه جابه‌جایی مسافران را انجام می‌دهند. شبکه اتوبوسرانی شهر مشهد، شامل ۱٤۱ گره (تقاطع) می‌باشد، که عملکرد سیستم



شکل ۵. عملکرد شبکه با ۱۳ گره در لایه مخفی



شکل ٦. حالت یادگیری شبکه با ۱۳ گره در لایه مخفی



شکل ۷. رگرسیون داده‌های مربوط به آموزش، صحت و آزمایش شبکه با ۱۳ گره در لایه مخفی

حمل‌ونقل همگانی موجود، بیانگر افزایش میزان سفرهای با حمل‌ونقل عمومی است، اما براساس آمار به‌دست آمده، سهم اتوبوس واحد از سفرهای روزانه در سال ۱۳۸۵، ۲۳/۷٤ درصد می‌باشد که این رقم، برای سال ۱۳۸٦، به ۱۹/۲٦ درصد رسیده است، که کاهش ۱۹ درصدی را نشان می‌دهد [۱۷]. این مسئله بیانگر عملکرد ضعیف‌تر سیستم اتوبوسرانی در سال ۱۳۸٦، نسبت به سال قبل از آن می‌باشد. لذا لزوم بهره‌برداری صحیح‌تر، و نیز انجام یک برنامه‌ریزی دقیق‌تر در مورد ناوگان اتوبوسرانی این شهر ضروری به نظر می‌رسد.

بر این اساس، همان‌طورکه بیان گردید، یکی از راه‌های افزایش کیفیت سرویس‌دهی (جهت تشویق هرچه بیشتر مسافران به استفاده از حمل‌ونقل عمومی) که نیاز به سرمایه‌گذاری خاصی نیز ندارد، تخصیص صحیح اتوبوس‌های موجود در این شهر به‌گونه‌ای است که بتوان حداکثر استفاده را از امکانات، با صرف کمترین هزینه انجام داد (تابع هدف این مطالعه). از این رو، در ادامه به منظور ارایه درک بهتری از مدل به‌دست آمده، از آن برای بهینه‌سازی خطوط اتوبوسرانی موجود شهر مشهد استفاده گردید. و با توجه به عمومیت رویکرد به‌دست آمده و نیز به لحاظ محدودیت‌هایی که در اطلاعات موجود وجود داشت، ۲ خط از خطوط اصلی اتوبوسرانی شهر مشهد، که دارای تقاضای مسافر بالا و طول خط زیاد بودند، به صورت موردی، مورد مدلسازی قرار گرفتند، و برای هریک از آنها، راهکارهای بهینه‌سازی‌ای نیز پیشنهاد گردید.

شکل‌های ۸ و۹، مسیر حرکت این خطوط به همراه محل ایستگاه‌های آنها را نشان می‌دهند. همان‌طورکه در این اشکال نشان داده شده، این خطوط از هسته مرکزی شهر عبور نموده، لذا به دلیل وجود ترافیک سنگین در ساعات اوج، دارای زمان سفر طولانی‌تری نیز می‌باشند. از طرفی نیز به دلیل وجود طول خط زیاد، و عبور از مناطق پرتردد این شهر، از تقاضای سفر بالایی نیز برخوردار می‌باشند.

مشخصات این خطوط در وضع موجود، نیز در جدول ۲، نشان داده شده است. به منظور انجام بهینه‌سازی از طریق اعمال تغییرات در مشخصات خطوط، و در نهایت تعیین تعداد ناوگان مورد نیاز برای خط مورد نظر، ابتدا مشخصات هریک از این خطوط در وضع موجود، در شبکه عصبی به‌دست آمده مدل گردید که نتایج به‌دست آمده گویای انطباق کامل آنها با وضعیت موجود بودند. سپس هریک از این خطوط به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند.

الف- خط شماره ۱۲

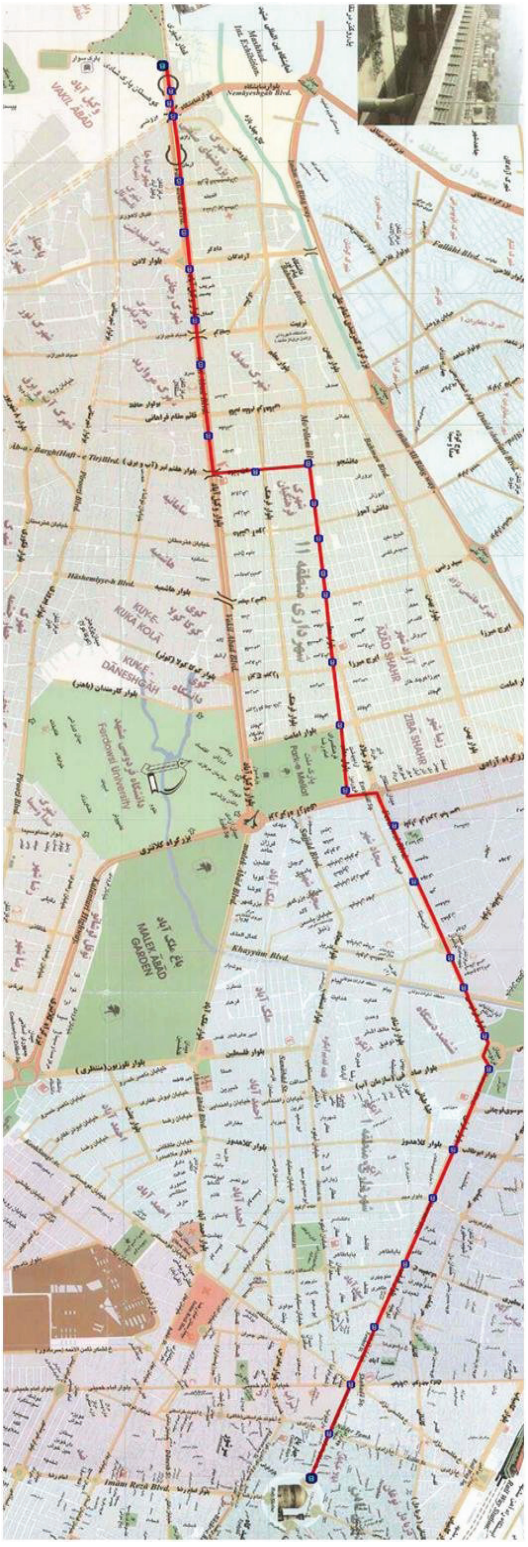
خط ۱۲، با توجه به مشخصاتی که در حال حاضر دارد، قادر به جابه‌جایی حداکثر ۸۰۷٤ نفر، و با متوسط ضریب استفاده حداقل ۰/۸ می‌باشد، اما براساس برآوردهای صورت گرفته در این خط، میزان تقاضایی که این خط می‌بایست در ساعت اوج جابه‌جا نماید، ۸۳۷٤ نفر است [۱۷]. لذا می‌بایست با انجام یک سری تغییرات در مشخصات خط، میزان پاسخگویی به تقاضای این خط را افزایش داده و از طرفی نیز متوسط ضریب استفاده از آن را نیز تا حد قابل قبولی کاهش داد. برای این منظور دو راهکار پیشنهاد می‌گردد:

- اولا می‌توان با بکارگیری تدابیری، از جمله احداث خط ویژه در قسمت‌های پر ترافیک و یا ایجاد حق تقدم‌هایی در برخی از تقاطعات موجود در مسیر این خط، کل زمان سفر خط را در حدود ۱۰ دقیقه کاهش داده و نیز سرفاصله حرکت اتوبوس‌ها از ایستگاه مبدا را از ۵ دقیقه به ۲ دقیقه کاهش داد. بر این اساس، با توجه به مدلسازی‌ای که در شبکه صورت گرفت ، نتیجه عدم نیاز به تغییر برای تعداد ناوگان موجود این خط بود. به عبارت دیگر با انجام این تغییرات می‌توان بدون نیاز به افزایش تعداد ناوگان وضعیت موجود این خط را بهینه نمود.

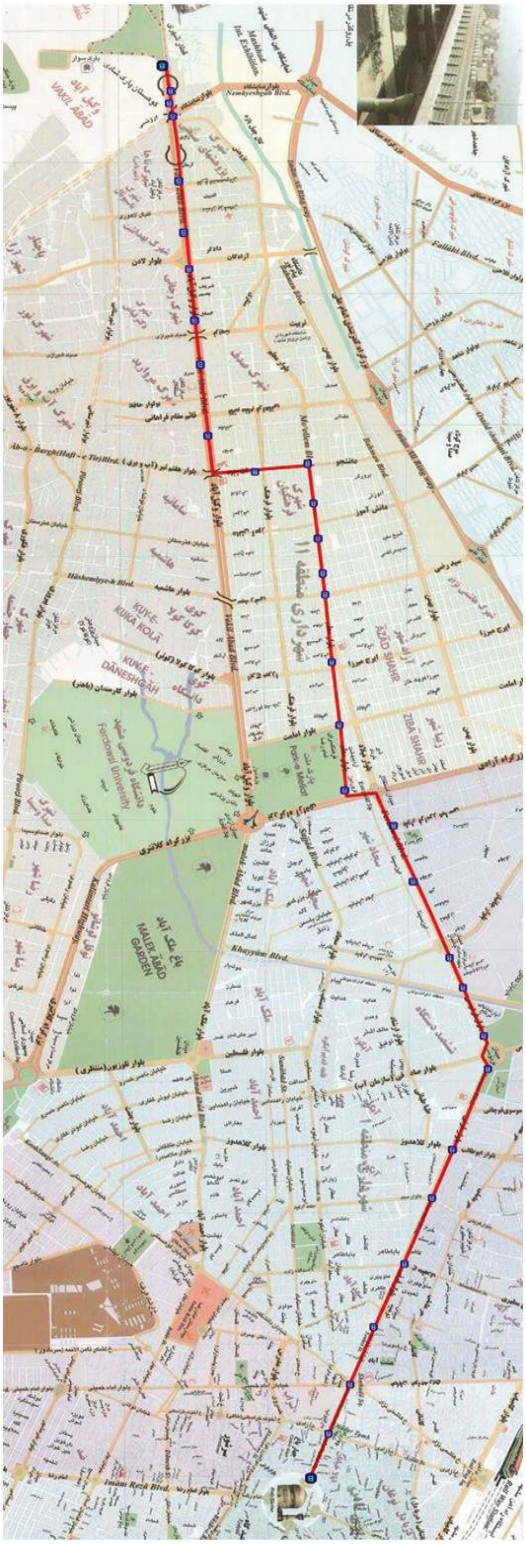
- ثانیا تعداد ناوگان موجود در این خط را به میزان ۲ دستگاه افزایش داده و سرفاصله حرکت اتوبوس‌ها از ایستگاه مبدا را نیز از ۵ دقیقه به ۲ دقیقه کاهش داد. براین اساس نیز، می‌توان تقاضای موجود را افزایش داده و متوسط ضریب استفاده را در حد قابل قبولی کاهش داد.

ب- خط شماره ۳۸

خط ۳۸ نیز در حال حاضر قادر به پاسخگویی به تقاضایی در



شکل ۸. مسیر حرکت خط ۱۲ به همراه محل ایستگاه‌ها



شکل ۹. مسیر حرکت خط ۳۸ به همراه محل ایستگاه‌ها

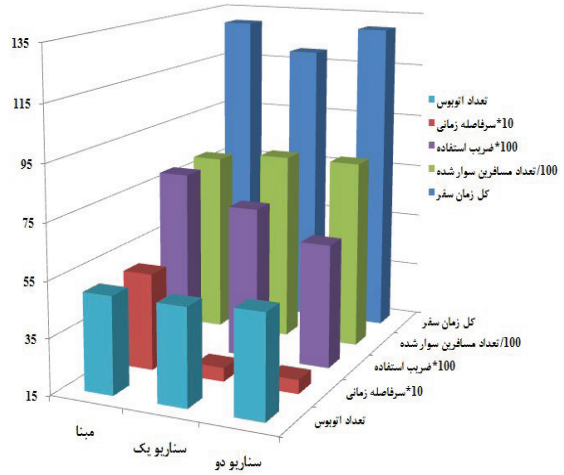
حدود ٤٨٦٧ نفر در ساعت اوج و با متوسط ضریب استفاده ۰/۷ می‌باشد [۱۷]. به منظور بهینه نمودن این خط نیز دو راهکار پیشنهاد گردید:

نخست تغییر سرفاصله زمانی حرکت از ٤ به ۳ دقیقه به منظور کاهش متوسط ضریب استفاده از این خط بود؛ که این کار منجر به اضافه نمودن ٤ دستگاه اتوبوس در این خط گردید. و دیگر اینکه با انجام راهکارهای افزایش سرعت اتوبوس، زمان سفر خط را به میزان ۱۰ دقیقه کاهش داد. که این کار باعث گردید تا بدون نیاز به افزایش تعداد ناوگان میزان متوسط ضریب استفاده را به حد قابل قبول نزدیک‌تر نمود. (میزان قابل قبول ۰/۵ می‌باشد).

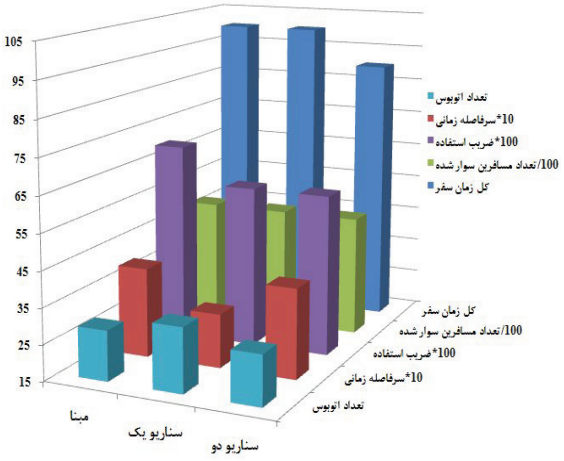
جدول ۲، مشخصات خطوط در وضع موجود را به همراه راهکارهای پیشنهادی جهت بهبود این خطوط نشان می‌دهد. همچنین نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نیز به ترتیب تغییرات ایجاد شده در پارامترها را برای خطوط ۱۲ و ۳۸ نشان می‌دهند.

٦. نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین مسائل در زمینه استفاده از سیستم‌های اتوبوسرانی درون‌شهری، افزایش بهره‌وری در این سیستم‌ها، از طریق کاهش هزینه‌ها و استفاده حداکثر از امکانات موجود در جهت افزایش سطح سرویس ارائه شده به کاربران می‌باشد.



شکل ۱۰. نمودار وضعیت تغییرات در سناریوهای مختلف برای خط ۱۲



شکل ۱۱. نمودار وضعیت تغییرات در سناریوهای مختلف برای خط ۳۸

جدول ۲. مشخصات خطوط مورد بررسی و نتایج به‌دست آمده

شماره خط	۱۲			۳۸		
وضعیت	مبنا	سناریو یک	سناریو دو	مبنا	سناریو یک	سناریو دو
طول خط (km)	۴۰	۴۰	۴۰	۲۱	۲۱	۲۱
تعداد ایستگاه	۶۰	۶۰	۶۰	۳۶	۳۶	۳۶
زمان توقف در ایستگاه	۳۶	۳۶	۳۶	۲۲	۲۲	۲۲
کل زمان سفر خط (دقیقه)	۱۳۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰
سرفاصله (دقیقه)	۵	۲	۲	۴	۳	۴
تعداد مسافرین سوار شده	۸۰۷۴	۸۳۷۴	۸۳۷۴	۴۸۶۷	۴۸۶۷	۴۸۶۷
متوسط ضریب استفاده	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۶	۰/۶
تعداد اتوبوس مورد نیاز	۵۰	۵۰	۵۲	۲۹	۳۳	۲۹

از این رو، در این تحقیق، به منظور در نظر گرفتن عوامل مختلف موثر بر تعداد ناوگان تخصیصی به خطوط، از شـبکه‌های عصبی مصنوعی اسـتفاده گردید؛ در این راستا ابتدا شبکه‌های متفاوت به صورت سـعی و خطا، برای داده‌های موجود، مدلسازی گردیدند، که در نهایت شبکه‌های FFBP با الگوریتم مارکوارت-لونبرگ به عنوان بهترین شـبکه برای این منظور انتخاب شد. سپس به منظور تعیین معماری شـبکه، با لحاظ کردن شـبکه‌های مختلف پس از عبور از فیلترها، شـبکه‌ای با معماری NN ۱۱-۱۳-۱ به عنوان بهترین شبکه، انتخاب گردید زیرا مقادیر ضریب همبستگی خوبی ارائه داده (R=۰/۹۹۶) و کمترین میانگین خطای مربعی را در میان تمام شبکه‌ها دارا می‌باشد.

در انتها نیز، از این مدل برای بهینه‌سازی دو خط اصلی و پرتردد از خطوط اتوبوسـرانی موجود شـهر مشهد اسـتفاده گردید، که مدلسازی شـرایط موجود این خطوط در شـبکه عصبی به‌دست آمده نشـان دهنده انطبـاق کامل تعداد اتوبوس به‌دسـت آمده با تعداد اتوبـوس مورد اسـتفاده این خطـوط در وضعیت موجود بودند. برای بهینه‌سـازی این خطوط نیز با ایجاد تغییراتی بر روی برخـی از پارامترهـای آنها دو مدل، کـه از قابلیت اجرایی بالایی برخوردار می‌باشـند، پیشـنهاد گردید. لازم به ذکر است از شبکه عصبی به‌دسـت آمده می‌توان به منظور تعیین تعداد ناوگان مورد نیاز جهت خطوط تازه تأسیس نیز استفاده نمود.

۷. پانویس‌ها

1- Tan-Sigmoid
2- Feed Forward Back Propagation

۸. مراجع

[1] Vuchic, Vukan R (2005) "Urban Transit:operation,planning,and economic", John Wiley&Sons.

۲- امیـن ناصری، محمدرضا، برادران، وحید(۱۳۸۸) "بررسـی عوامل موثر بر زمان سفر در سیستم حمل‌ونقل عمومی و پیش بینی زمان سفرمورد کاوی سیستم اتوبوسرانی شهر تهران"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال ششم، شماره سوم، ص ۲۱۹-۲۲۰.

[3] Glover, F.W. and Kochenberger, G.A (2003) "Handbook of Metaheuristics", Kluwer Academic Publishers.

٤- منهاج، محمدباقر(۱۳۸٦) "مبانی شـبکه‌های عصبی مصنوعی هوش محاسباتی" مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهارم.

۵- کیـا، مصطفی(۱۳۸۷)"شـبکه‌های عصبـی در Matlab"، انتشارات کیان رایانه سبز، چاپ دوم.

[6] INRO, (1999)., "Emme/2 Users manual", Canada, chap1,pp1-5

[7] Lee, Y, J, and Vochic, V, R (2005) "Transit Network Design with Variable Demand ", 77th Annul Meeting of TRB, Washington, D.C.

[8] Hu, J, Yung, Z, Jian, F (2001) "Study on the Optimization Methods of Transit Based on Ant Algorithm ", Proceedings of the Fine Vehicle Navigation and Information systems Conference, IEEE Vehicular Technology Society.

[9] Bielli, M, Caramia, M, and Carotenuto, P (2003)., "Genetic Algorithm in Bus Network Optimization ", Transportation Research Part C, Vol 14, Issue 1.pp19-34.

[10] Quak, C, B (2003) "Bus Line Planning. A Passenger-Oriented Approach of the Construction of a Global Line Network and an efficient Timetable ", Delhi University, Netherlands.

[11] Matisziw, T, C, Alan, T, Murray, A, T, Kim, C (2004)., "Strategic Route Extension in Transit Networks ", European Journal of Operational Research, Vol 171, pp 661-673.

[12] Yu, B, Yung, Z (2005)., " Optimizing Bus Transit Netwok With Parallel Ant Colony Algorithm ", Proceedings of The Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol 5, pp 374-380.

[13] Zhao, F, Gan, A (2003)., "Optimization of Transit Network To Minimize Transfers ", Research Office Florida Department of Transportation, Final Report BD pp2-15.

[14] Zhao, F (2006)., "Large-Scale Transit Network Optimization by minimizing User Cost and Transfers ", Journal of Public Transportation, Vol 9, No 2, pp 107-129.

[15] Zhao, F, Zeng, X (2008)., "Optimization of Transit Route Network, Vehicle Headways and Timetables for Large –Scale Transit Networks ", European Journal of Operational Research, Vol ۱۸٦,pp ۸٤۱-۸۵۵.

۱٦- مرکز مطالعـات و تحقیقات حمل‌ونقل دانشـگاه صنعتی شریف(۱۳۸۷) "سیستم حمل‌ونقل همگانی پیشنهادی برای شهر مشـهد"، مطالعات جامع حمل‌ونقل شـهر مشهد، گزارش شماره ۰۵-۷۷.

۱۷- سـازمان اتوبوسرانی مشـهد (۱۳۸۸)،" اطلاعات خطوط اتوبوسرانی فعال شهر مشهد"، بخش فناوری اطلاعات.