بهینه‌سازی مسیر خطوط حمل‌ونقل عمومی با استفاده از GIS و روش AHP نمونه موردی: منطقه گلستان شهر اهواز

• علی اعمی ازغدی[۱]، کاظم رنگزن[۲]، محسن وطنخواه[۳] و احسان آبشیرینی[۴]
• Ali.Azghadi@yahoo.com

چکیده
توسعه شهری باعث افزایش تقاضای سفر شده است. با بررسی‌های انجام شده ملاحظه می‌شود که حمل‌ونقل عمومی[۱] موجود، توانایی پاسخ‌گویی به این تقاضا را ندارد. از سوی دیگر مشاهده می‌شود که روند افزایشی تقاضای سفر در آینده، استفاده بیش از پیش از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی را توجیه می‌کند. از این‌رو بهبود سیستم حمل‌ونقل عمومی بالاخص سیستم اتوبوس‌رانی می‌تواند نقش مهمی را ایفا کند. این بهبود، از دو طریق امکان‌پذیر است که یکی از آنها اصلاح سیستم اتوبوس‌رانی است که در دو سطح انجام می‌شود. یکی ارتقاء سیستم از طریق تغییر در شبکه اتوبوس‌رانی از نظر مسیر، تعداد خطوط و طراحی یک شبکه جدید و دیگری بهبود عملکرد خطوط. بنابراین طراحی شبکه اتوبوس‌رانی با هدف بهبود وضعیت ناوگان عمومی از اهمیت فراوانی برخوردار است . در این پژوهش یکی از پرترددترین مناطق شهرستان اهواز (منطقه گلستان) جهت منطقه نمونه در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن معیارهای شاخص در مسیریابی خطوط اتوبوس‌رانی و با استفاده از سیستم تحلیل سلسله مراتبی[۲] و سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳]، مسیرهای جدید و بهینه شناسایی گردیدند. به همین منظور ۸ فاکتور برای ایجاد یک خط اتوبوس تشخیص داده شد و با اعمال این فاکتورها و با استفاده از عملیات یافتن نزدیک‌ترین مسیر از ۱۷ خط اتوبوس عبوری از منطقه گلستان، ۱۵ خط اتوبوس در بعضی از محدوده‌ها تغییر کردند.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل عمومی، مسیریابی خطوط اتوبوس‌رانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحلیل سلسله مراتبی.

۱–کارشناس ارشد رشته سنجش از راه دور و GIS
۲– دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳– عضو هیئت علمی گروه شهرسازی دانشگاه آزاد اهواز
۴– کارشناس ارشد رشته سنجش از راه دور و GIS

1- Public Transportation
2 - Analytic Hierarchy Process (AHP)
3 - Geographical Information System (GIS)

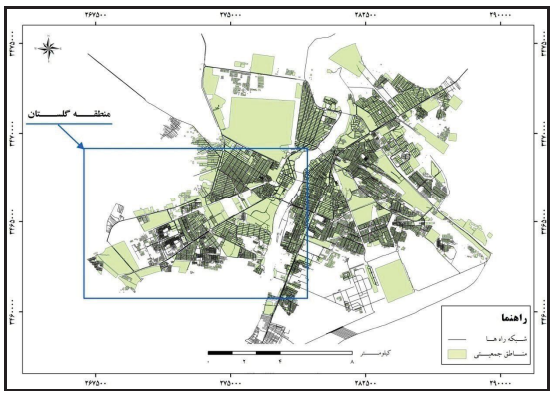
۱. مقدمه

اتوبوس در کشورهای جهان سوم جزء اصلی وسایل حمل‌ونقل عمومی به شمار می‌رود(Simon, ۲۰۰۳, ۱۰۸) و نوع غالب حمل‌ونقل عمومی در کشورهای در حال توسعه است. این نوع از حمل‌ونقل دارای فواید اجتماعی و زیست محیطی زیادی بوده و از جمله روش‌هایی است که شهرهای کوچک و ضعیف توانایی ایجاد آن را دارند (Abate Abreha, ۲۰۰۷, ۲) ، از این‌رو وجود یک سیستم اتوبوس‌رانی درون‌شهری با توجه به انعطاف‌پذیری این سیستم و ارزان بودن آن برای استفاده‌کنندگان، امری اجتناب‌ناپذیر است. هرگونه فعالیتی که سبب بالاتر رفتن کارایی این سیستم شود از لحاظ خدمات‌رسانی به استفاده‌کنندگان و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی مثمر ثمر خواهد بود. بنابراین بهینه نمودن خطوط اتوبوس‌رانی باعث کاهش تردد در سطح شهر شده و سطح پوشش تقاضا افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین با بهینه‌سازی خطوط اتوبوس‌رانی می‌توان خطوط موازی اتوبوس‌رانی را حذف نمود. محققین زیادی از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای حل مسایل موجود در ترافیک و حمل‌ونقل عمومی استفاده کرده‌اند. از تحقیقات داخلی می‌توان وحید امینی طوسی و همکارانش را نام برد که در سال ۲۰۰۷،GIS را در مدیریت حمل‌ونقل بکار برده‌اند و همچنین از افندی‌زاده و پورتیموری یاد کرد که در سال ۱۳۸۵ جهت بهینه‌سازی خطوط اتوبوسرانی در کرمانشاه از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کرده‌اند. در تحقیقات خارجی می‌توان از سافت اردژن و همکارانش نام برد که در سال ۲۰۰۷، تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی را به عنوان یک ابزار عمومی برای به تصویر کشیدن و آنالیز داده‌های تصادف به کار گرفته‌اند و نیز کیانگلی[1] و همکارانش در سال ۲۰۰۸ در پکن برای محاسبه کارایی سیستم حمل‌ونقل عمومی برای برگزاری المپیک از GIS استفاده کرده‌اند. همچنین محققین مانند احمد عبدالشکور عبدالعزیز عبدالدایم[2] (۲۰۰۵)، ویکاس خیثا و سانجی گویل[3] (۲۰۰۳)، دملاش آبات آبرها (۲۰۰۷)، بر روی مسائل ترافیک کار کرده‌اند. ولی تنها ۳ مدل اصلی جهت محاسبه بهترین مسیر برای خطوط اتوبوس‌رانی ارائه شده است که در زیر اشاره شده است. کارنت و همکارانش[4] در سال ۱۹۸۵ مدلی به نام بیشترین پوشش در کوتاه‌ترین مسیر(MCSP)[5] را جهت بهینه‌سازی خطوط طراحی کردند. آنها در مدلشان دو نقطه ابتدا و انتها را به صورت شاخص فرض کردند و هدفشان پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین این دو نقطه با بیشترین پوشش تقاضا بود. این مدل را به صورت یک مدل دو هدفی (کوتاهترین مسیر و بیشترین تقاضا) مطرح کردند که بسته به نظر تصمیم‌گیرنده به هر کدام از این دو هدف وزن بیشتری تعلق می‌گرفت. کارنت و اسچالینگ[6] در سال ۱۹۹۴ مدلی دیگر به نام مسأله حداکثر پوشش سفر (MTCP)[7] از مدل(MCSP) طراحی کردند که زمینه انجام یک سفر کامل را فراهم میکرد. در این مدل میزان تقاضای پوشش داده نشده به حداقل رسیده و نقاط توقف از قبل مشخص شده است. این دو روش دارای دو تفاوت عمده است: ۱- در روش اول تعداد گره‌هایی که مسیر پیش‌بینی‌شده از مبدا تا مقصد از آنها می‌گذرد محدود نیستند در حالی که در روش(MTCP) تعداد گره‌هایی که باید در مسیر پیش‌بینی‌شده باشند از قبل مشخص شده‌اند. ۲- در روش (MCSP) تنها زمینه طراحی یک مسیر را فراهم می‌کند در حالی که دیگری یک سفر را به صورت کامل برنامه‌ریزی می‌نماید. مدل مسأله بیشترین پوشش با بسط سفر(MCREP)[8] توسط متیسیزو و همکارانش[9] در سال ۲۰۰۳ ارائه شده است. در این مدل سعی شده است تا یک مسیر موجود را از نقاط مختلف با افزودن تعداد ایستگاه‌ها هدایت کنند به گونهای که پوشش تقاضا به حداکثر و طول مسیر به حداقل برسد. این روش از ترکیب دو روش قبلی استفاده کرده است. جهت شناخت بهتر مزایای مدل پیشنهادی لازم دیده شد تا معایب مدل‌های مذکور مورد بررسی قرار گیرد. هر کدام از سه مدل (MTCP)،(MCSP) و(MCREP) دارای کاستی‌های بود که سعی شد در این مقاله برطرف گردد. معایب این مدلها به شرح زیر است : ۱- در مدل‌های(MCSP) و(MTCP) ، تنها بر روی دو فاکتور تاکید شده است. در مدل (MCREP)، طراح مدل علاوه بر فاکتورهای فوق، پارامتر دیگری با عنوان داشتن قابلیت اتوبوسرانی را به مدل خود اضافه نموده است. ۲- کارنت در سال ۱۹۸۵ اظهار کرد که کاهش تعداد لبه‌ها باعث پایین آمدن میزان پیچیدگی مدل و تجزیه و تحلیل آن خواهد شد. در دو مدل اول از تمام لبه‌ها جهت مسیریابی استفاده شده است در حالی که در مدل سوم این عیب رفع شده است. در مدل پیشنهادی معایب مدلهای فوق رفع گردیده است که به مرور به آن پرداخته می‌شود. روشی که در این مقاله به آن پرداخته شده است علاوه بر پارامترهای که در مدل‌های فوق بکار گرفته شده، از یکسری فاکتورهای دیگر نیز در مسیریابی استفاده شده است. این فاکتورها با توجه به میزان تاثیرگذار آنها در مسیریابی خطوط اتوبوسرانی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شده و فرآیند تصمیم‌گیری در محیط GIS و به کمک قابلیت‌های تحلیل شبکه[10] صورت گرفت. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، یکی از جامع‌ترین

1. - Qiang, LI., et al.
2. - Ahmed Abdel Shakour Abdel Aziz Abdel Dayem
3. - Vikas Khitha, Sanjay Govil
4. - Current et al.
5. - Maximum Covering Shortest Path (MCSP)
6. - Current and Schilling
7. - Maximal Tour Covering Problem (MTCP)
8. - Maximum Covering Route Extension Problem (MCREP)
9. - Matisziw et al.
10. - Network Analyst

سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیاردهی چندگانه است زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند (قدسی‌پور، ۱۳۸۵، ۵). به طور کلی می‌توان هدف اصلی این پژوهش را در دو مورد خلاصه نمود که دیگر اهداف در صورت به نتیجه رسیدن این موارد برآورده می‌شوند. ۱- کاهش تعداد خطوط اتوبوسرانی بدون کاستن از میزان پوشش آنها در سطح شهر. ۲- کاهش تعداد خطوط موازی در خیابان‌ها به منظور کاهش تداخل آنها در ایستگاه‌های مشترک در یک خیابان.

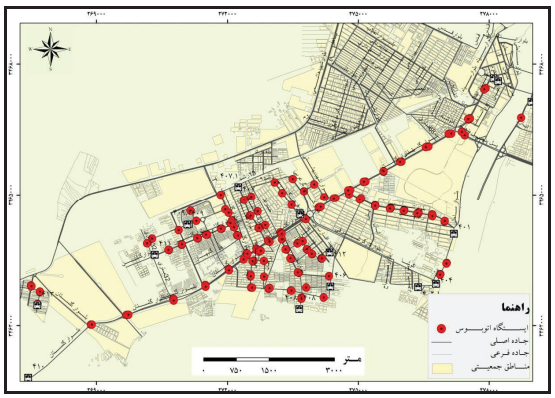
بدیهی است طراحی یک سیستم اتوبوس‌رانی بهینه که اهداف بالا را برآورده سازد، کار مشکلی است و تا به امروز روشی برای آن ارائه نشده است (Vukan, ۲۰۰۵, ۶۴۴). با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان از این مدل برای بهینه‌سازی مسیر به طور قابل قبولی استفاده کرد . جهت ارزیابی مدل پیشنهادی خیابان گلستان، که یکی از پرترددترین مناطق در شهرستان اهواز است و حدود یک سوم از کل خطوط اتوبوس‌رانی از این خیابان عبور می‌کنند انتخاب گردید. در این تحقیق مبدا و مقصد خطوط، با فرض داشتن بهترین موقعیت تغییر داده نشد. به همین منظور ۸ فاکتور برای ایجاد یک خط اتوبوس تشخیص داده شد و با اعمال این فاکتورها و با استفاده از عملیات یافتن نزدیک‌ترین مسیر[11] از ۱۹ خط اتوبوس ۱۳، خط اتوبوس در بعضی از محدوده‌ها دچار تغییر شدند.



۳. روش‌شناسی تحقیق

روش مورد استفاده در این تحقیق توصیفی و تحلیلی می‌باشد. در این تحقیق، منطقه گلستان در شهرستان اهواز انتخاب گردید. در کل شهر اهواز تعداد خطوط اتوبوسی که در حال فعالیت است ۸۱ خط می‌باشد که از مسیر گلستان، ۱۹ خط اتوبوس می‌گذرد. با توجه به آمارهای موجود (آماربرداری شرکت اتوبوس‌رانی، ۱۳۸۷)، شبکه راه‌ها در این منطقه جزء پرترددترین مسیرهایی است که روزانه حجم زیادی از مسافران را از درون خود انتقال می‌دهد. طول کل شبکه راه‌ها ۵۹۲/۹ کیلومتر که ۲۱۴/۶ کیلومتر راه اصلی و ۳۷۸/۳ کیلومتر راه

11. - Finding the Best Route

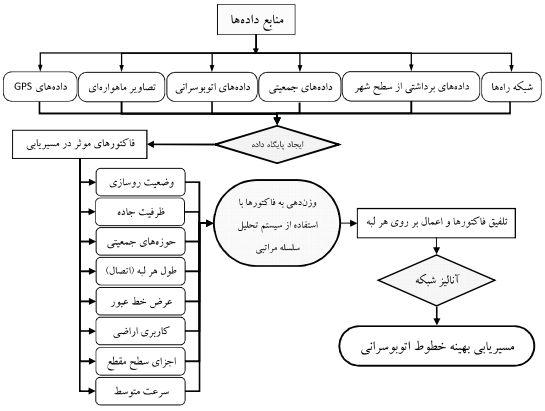


شکل شماره (۲). منطقه مورد مطالعه (منطقه گلستان)(مأخذ:نگارنده،۱۳۸۸)

فرعی است . منطقه مورد مطالعه در شکل‌های شماره (۱ و ۲) آمده است. در این تحقیق، برای بهینه‌سازی خطوط اتوبوسرانی توسط تحلیل شبکه در محیطGIS مراحل زیر بر اساس شکل شماره (۳) صورت گرفت.

الف- آماده‌سازی شبکه معابر به صورت جهان واقعی

تمام سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، نوعی مدل‌سازی رایانه‌ای از برخی جنبه‌های جهان واقعی‌اند. سیستم اطلاعات جغرافیایی دید ساده شده‌ای از جهان واقعی را به شیوه‌ای ارائه می‌دهد که بازسازی واقعیت با تمام جزئیات آن، بدون چنین حالتی با استفاده از رایانه ناممکن است (Haywood, ۱۹۹۸, ۷۲) جهت ایجاد فضایی برای مدلسازی، پایگاه داده طراحی شد و تمام جزئیات مربوط به یک شبکه در آن ثبت گردید. شبکه راه‌ها به صورت کلی شامل لبه‌ها، گره‌ها و گردش‌ها می‌باشد. لبه‌ها یا اتصالات، عوارض خطی مرتبط به هم را نمایش می‌دهند که مجاری حمل‌ونقل و ارتباطات به شمار می‌آیند. گره‌های شبکه، نقاط انتهایی و تقاطع‌های اتصالات شبکه می‌باشند. عناصر گردشی اطلاعات حرکتی بین دو یا تعداد بیشتری از لبه‌ها را ثبت می‌کنند. به عنوان مثال وقتی دو



شکل شماره (۳). مراحل انجام تحقیق(مأخذ:نگارنده،۱۳۸۸)

خیابان در نقطه‌ای به هم می‌رسند آن نقطه به عنوان گره و خیابان‌ها به عنوان لبه در سیستم شناخته شده و محدودیت

گـردش به چپ از یک لبه مخصوص به لبه دیگر را با گردش نشان می‌دهند. پس از ایجاد پایگاه داده جهت تکمیل شبکه و واقع‌سازی آن عملیات‌های رفع خطاهای توپولوژیکی، تفکیک جهت حرکت، اضافه کردن عنصر گردش به شبکه، اضافه کردن ستون ارتفاع ،جهت همانندسازی پلها و زیرگذرها انجام شد.

ب- تعیین مولفه‌های موثر

حداقل طول مسـیر و بیشـترین پوشـش تقاضای جمعیت از اهداف اصلی در تعیین مسـیر سـرویس‌های حمل‌ونقل به خصوص اتوبوسـرانی است . این دو هدف در بهبود ساختاری و بهبود دسترسی سـطح سرویس خلاصه می‌شود. برای این که مسـیری صلاحیت تردد وسایل نقلیه عمومی به خصوص اتوبوس را داشـته باشـد بایستی دارای یکسـری ویژگی‌ها و فاکتورهایی باشـد. تعداد این عوامل موثر، بسـته به شـرایط موجـود افزایش و کاهش می‌یابد. میزان تاثیر هر کدام از این عوامل بر اسـاس نظر کارشناسـان ترافیک مورد بررسی قرار گرفته و به هر عامل وزنی بر اسـاس اهمیتش تخصیص داده شـد. جهت مسیریابی خطوط اتوبوس ، ۸ عامل اصلی زیر در نظر گرفته شد:

۱- ظرفیت جاده (سطح سـرویس راه LOS): ظرفیت جاده عبارت اسـت از حداکثر تعداد وسـیله نقلیه‌ای که بتوانند در مدت زمان معین با کیفیتی قابل قبول، در مقطعی مشـخص از جـاده، از یکی از خطوط یا تمام عرض جاده، در یک جهت یا در هر دو جهت از جاده، عبور کنند. وضعیت ترافیک جاده را از نظر کیفی با سـطح سرویس مشخص می‌کنند. وضعیت ترافیک از نظر کیفی شش سطح سرویس A, B, C, D, E, F دارد (عربانی، ۱۳۸۵، ۸۹).

۲- سرعت متوسط: کاهش سرعت موجب افزایش زمان سفر خواهد شـد. در نتیجـه افزایش زمان سـفر، کارآیی اتوبوس کاهـش خواهد یافت و بازدهی سیسـتم پاییـن خواهد آمد (Guberinic, ۲۰۰۸, ۱۷). سـرعت، نرخ حرکت را نشـان می‌دهـد؛ فاصله‌ای که در واحد زمان طی میشـود و واحد آن کیلومتر بر سـاعت است. در بررسی جریان ترافیک از تعاریف مختلفی برای سرعت استفاده می‌شود (عربانی، ۱۳۸۵، ۲۰). در این پژوهش از سـرعت متوسط برای آنالیزها استفاده شده است.

۳- کاربری اراضی: نقطه شـروع هر شبکه حمل‌ونقل عمومی بایستی بر اسـاس نقش کاربری اراضی باشد، که کدام یک از کاربری‌ها دارای تاثیر بیشـتری بر روی حداکثر ترافیک دارد. البته خود شبکه حمل‌ونقل عمومی امکان دارد که بر روی نقش کاربری اراضی تاثیرگذار باشد. اگر چه امروزه نقش اتومبیل‌های شخصی را نمی‌توان نادیده گرفت، ولی اتوبوس دارای بیشترین تاثیر بر روی کاربری اراضی شـهری اسـت. (white, ۲۰۰۹, ۹۸). بر اساس نوع کاربری در اطراف خیابان‌ها میزان تقاضای جذب جمعیت متفاوت بوده و همچنین تراکم این جمعیت نیز در سـاعات و روزهای مختلف دارای تفاوت است. مثلاً وجود سازمان‌های دولتی جاذب جمعیت بوده و جذب جمعیت نیز در ساعات و روزهای مختلف هفته نیز متفاوت است. کاربری اراضی در شـهرها را می‌توان به انواع مهم مسـکونی، تجاری، دولتـی، فرهنگی، فضای سـبز، زمین‌های بایـر و مکان‌های تفریحی تفکیک نمود.

۴- وضعیت روسازی: وضعیت روسازی راه‌ها در حجم ترافیک موثر بوده و به طبع خیابان‌هایی که دارای وضعیت روسـازی بهتری هستند، دارای ترافیک روان‌تری بوده و به طبع سرعت سـفر پایین می‌آیـد و اتومبیل بیشـتری را به سـمت خود می‌کشاند. سـطح رویه بطور کلی به سه نوع عالی، متوسط و ضعیف تقسیم‌بندی می‌شود. انتخاب نوع پوشش رویه بستگی بـه حجم ترافیـک و خصوصیات آن، موجـود بودن مصالح و پیمانکاران خوب، هزینه اولیه و هزینه نگهداری دارد (بهبهانی و همکاران، ۱۳۷۴، ۱۹). مبنای قیاس، وضعیت روسازی نوع عالی رویه قرار گرفت. برای تشخیص وضعیت رویه از یکسری معیارها اسـتفاده شد که توسط کارشناسان مربوطه مشخص شده است. این فاکتورها شامل میزان ترک‌خوردگی در واحد سـطح مربع، خرابی‌های سـطحی، رنگ رویه، تغییر شکل و تعداد سرعت‌گیر می‌باشد.

۵- عـرض خط عبور: عرض خـط عبور تاثیر زیادی بر ایمنی و راحتـی رانندگی دارد. عرض خط عبور برابر ۳ الی ۳/۵ متر اسـتاندارد است و تمایلی برای افزایش آن با توجه به افزایش مداوم در روند حجم ترافیک، سـرعت وسـایل نقلیه و عرض کامیون‌ها وجود دارد. عرض کمتر از ۳ متر می‌تواند بالعکس در ظرفیت و ایمنی تاثیر داشته باشد. بنابراین بکارگیری آن باید در راه‌هایی به غیر از تسهیلات دارای حجم ترافیک و سرعت زیاد باشد (بهبهانی و همکاران، ۱۳۷۴، ۲۱).

۶- نوع جاده (بلوار یا غیر بلوار) اجزاء سـطح مقطع راه: تردد در بلوار به خاطر جدایی مسیرهای تردد دارای ایمنی بیشتر و تردد سریع‌تر بوده و توانایی این را دارد که ترافیک را سریع‌تر از خود عبور دهد و تاثیر مستقیمی بر روی ترافیک دارد.

۷- حوزه‌هـای تراکم جمعیت: حوزه‌های تراکم جمعیت تاثیر زیـادی بر روی تقاضـای حمل‌ونقل دارد. نواحـی که دارای تراکم جمعیتی بالاتری است، حجم ترافیکی بیشتری را ایجاد می‌کننـد(white, ۲۰۰۹, ۱۰۰). یکی از اهداف مسـیریابی خطوط اتوبوس‌رانی تحت پوشش قرار دادن اکثریت جمعیت اسـت. زیرا عدالت اجتماعی ایجاب می‌کند که نه فقط طبقه خاصـی از جمعیت، بلکه تمامی یا حداکثر جمعیت از مزایای چنین خدمات‌رسـانی‌هایی بهره‌مند شـوند (عزیزی، ۱۳۸۳، ۱۳۰).

۸- طول هر لبه (ARC): کمترین طول مسـیر و بیشـترین پوشش تقاضا مهم‌ترین هدف در خدمات حمل‌ونقل از قبیل حمل‌ونقـل اتوبوس‌رانی اسـت (Matisziw, ۲۰۰۳, ۶۶۳).

بطبع هر چه مسافت بین ابتدا و انتهای مسیر کوتاه‌تر باشد باعث افزایش سرعت خدمات‌دهی می‌شود. مسیرهای کوتاه سبب کاهش خستگی مسافر و افزایش سرعت سفر شده و حجم بیشتری از مسافران را به خود جذب می‌کند.

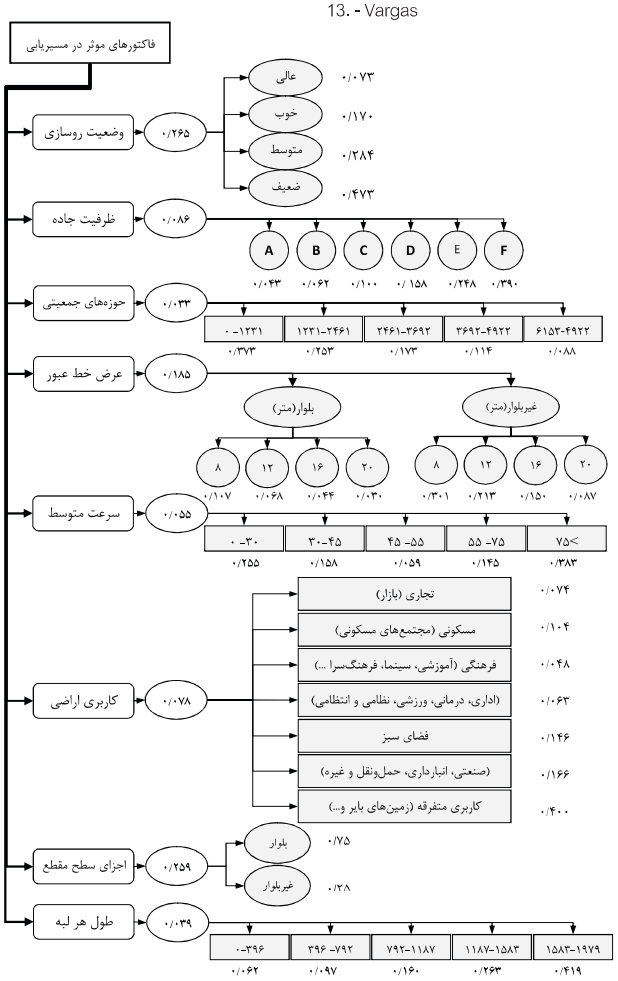
ج- تعیین وزن فاکتورها

یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق فاکتورها و نقشه‌های مربوطه، تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای موثر و اختصاص وزن مناسب به هر یک از آنهاست. تلفیق فاکتورهای اطلاعاتی بدون در نظر گرفتن اهمیت هر کدام از آنها در مسیریابی نمی‌تواند ارزش واقعی‌شان را در تلفیق نهایی دخالت دهد و واحدهای با ارزش متفاوت در یک ارزش قرار می‌گیرند، در حالی که هر کدام از این پارامترها از درجه اهمیت خاصی در مسیریابی خطوط برخوردار می‌باشند. به همین دلیل از روش مقایسه زوجی استفاده شد. این روش وزن‌دهی بخشی از روش AHP است که در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی[12] مطرح گردیده و توسط ساعتی و واگر[13] در سال ۲۰۰۱ توسعه پیدا کرد. (AHP، یکی از تکنیک های کارآمد در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره می‌باشد.) این روش وزن‌دهی بر دانش کارشناسی استوار است. در این روش برای ایجاد یک ماتریس نسبت[14] به مقایسه‌های دو به دو پرداخته می‌شود. در این روش مقایسه‌های دو به دو به عنوان ورودی در نظر گرفته شده، وزنهای نسبی به عنوان خروجی تولید می‌گردد (پرهیزکار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵، ۳۱۴). هر یک از فاکتورها بر اساس اهمیت و رجحانی که نسبت به یکدیگر دارند در محدوده‌های بین ۱ تا ۹ قرار می‌گیرند (Malczewski, ۱۹۹۹, ۱۸۲). وزن‌دهی به هر یک از فاکتورهای موثر در مسیریابی در نرم‌افزار Expert Choice صورت پذیرفت. تعیین کلاسها برای فاکتورهای موثر و محاسبه وزن نهایی فاکتورها، از مسایل بسیار حساس و مهم این مدل است . در این مدل علاوه بر وزندهی به فاکتورهای اطلاعاتی، به کلاس‌های موجود در هر فاکتور اطلاعاتی نیز بر اساس اهمیت آنها در مسیریابی، وزن خاصی داده شده است. در این مدل هر فاکتوری به کلاس‌های متفاوتی تقسیم شده است. کلاسی که دارای بیشترین ارزش است دارای بیشترین

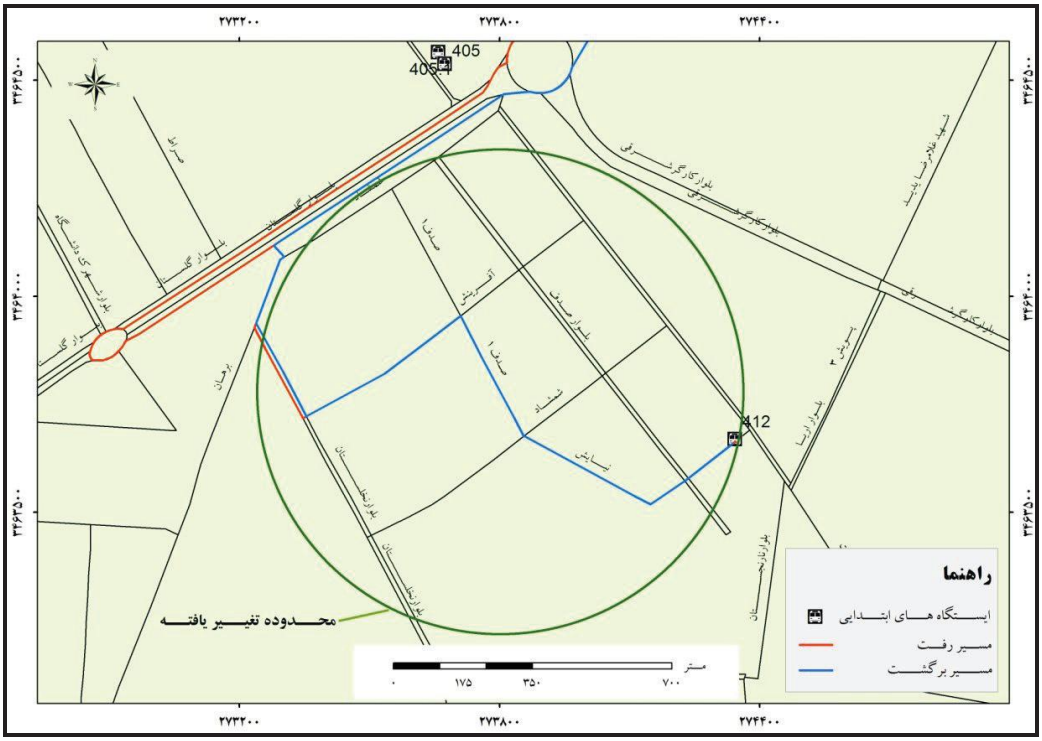
12. - Saati

13. - Vargas

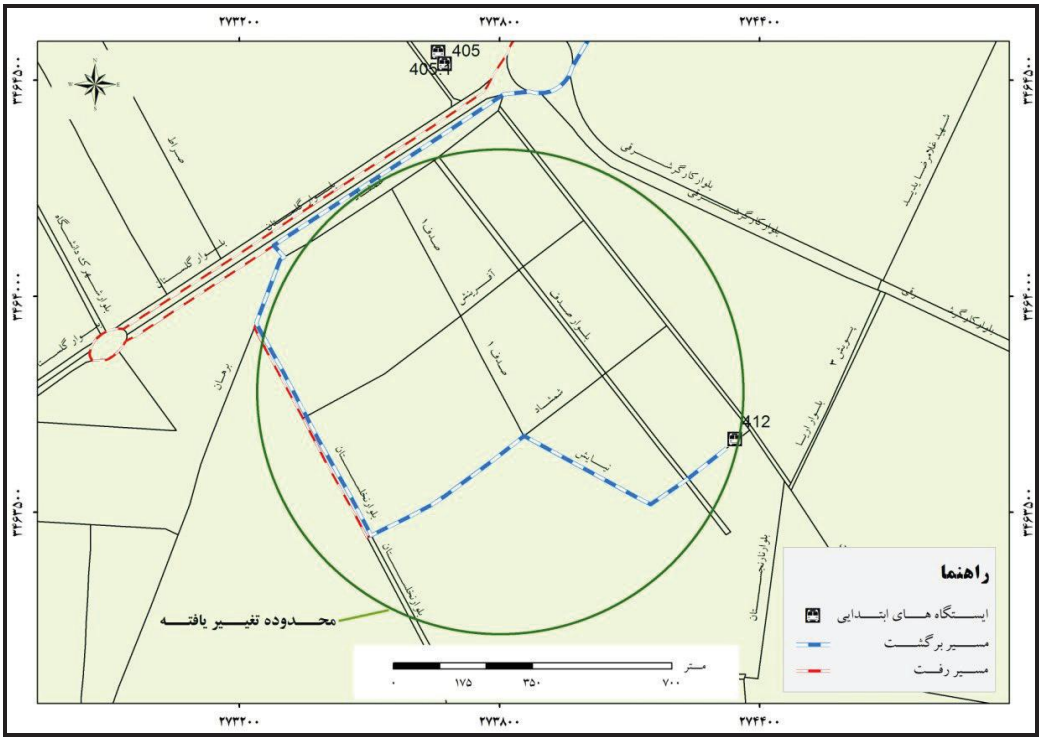
14. - Ratio Matrix



شکل شماره (۴). جدول وزن‌دهی به فاکتورها کلاس‌های مربوط به فاکتور با رنگ خاکستری نشان داده شده است.
(اعداد جلو و زیر هر پارامتر، وزن فاکتورها و کلاس‌های مربوط به آنها است.)(مأخذ:نگارنده،۱۳۸۸)



شکل شماره (۵). خط شماره ۴۱۲/۱ اهواز قبل از تغییر



شکل شماره (۶). خط شماره ۴۱۲/۱ اهواز بعد از تغییر

اهمیت بوده و با اهمیت‌ترین کلاس دارای بیشترین ارزش است. پس از وزن‌دهی به فاکتورها و کلاس‌ها وزن خروجی از عدد یک کسر شد تا به عاملی که دارای کمترین وزن است بیشترین وزن اختصاص یابد. علت چنین وزن‌دهی این است که الگوریتم مورد استفاده کمترین وزن را بهترین دانسته و از مسیری عبور می‌کند که دارای کمترین ارزش باشد (Esri, ۲۰۰۸). وزن‌دهی به فاکتورها و کلاس‌های مربوط به آنها در شکل شماره (۴) آورده شده است.

د- آنالیز شبکه و مسیریابی بهینه خطوط اتوبوسرانی

پس از طی مراحل فوق، شبکه آماده تجزیه و تحلیل در محیط نرم‌افزار ARC GIS می‌شود. شبکه طراحی شده توسط محقق، مشابه شبکه راه‌ها در فضای طبیعت با همان خصوصیات و ویژگی‌ها در فضای نرم‌افزار میباشد. این نرم‌افزار با دارا بودن یکسری الگوریتم‌ها قادر است تا بهترین تصمیم را در کمترین زمان بگیرد. در این پژوهش، از الگوریتم یافتن نزدیک‌ترین مسیر جهت تعیین بهترین مسیر استفاده شده است.

۴. یافته‌ها

پس از اجرای الگوریتم نزدیکترین مسیر بر روی شبکه مجازی راه‌ها منطقه گلستان، این نتیجه بدست آمد که ۱۵ خط اتوبوس‌رانی در بعضی از مناطق تغییر کرد و تعداد ۲ خط از خطوط اتوبوس‌رانی هیچ تغییری نکرد. شکل شماره (۵ و ۶) نشان‌دهنده خط شماره ۴۱۲/۱ است که به عنوان نمونه آورده شده است که پس از اعمال الگوریتم دچار تغییر شد.

۵. بحث

در این مطالعه همان‌طور که قبلاً ذکر شد مقادیر هر کدام از پارامترهای موثر در مسیریابی به صورت کارشناسی از طریق روش AHP تعیین گردید. حال با مقایسه دو فاکتور اصلی و تاثیرگذار طول مسیر و میزان جمعیت هر خط قبل و بعد از اعمال الگوریتم، می‌توان کارآمدی این روش را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی خطوط اتوبوس‌رانی در منطقه گلستان شهرستان اهواز بیانگر افزایش تعداد جمعیت ۱۴۹۰۴ نفر است که در محدوده ۵۰۰ متری ایستگاه‌های اتوبوس قرار می‌گیرند و همچنین مجموع طول مسیرهای خطوط اتوبوس پس از اعمال الگوریتم ۶۴۰۵ متر کاهش یافته است. این دو عامل، عامل‌های اصلی در مسیریابی جهت خطوط اتوبوس‌رانی است. مقادیر تغییرات این خطوط در جدول شماره (۱) آمده است.

۶. نتیجه‌گیری

۱. اگر چه بیشترین پوشش تقاضا در کمترین طول مسیر اصلی‌ترین فاکتور جهت طراحی مسیر اتوبوس است، ولی این نکته را باید مد نظر داشت که پارامترهای دیگری نیز برای طراحی یک مسیر اتوبوس مورد نیاز است که محقق با مشورت با کارشناسان فن در شهر اهواز تعداد ۸ پارامتر را در مسیریابی دخیل دانستند و بر اساس میزان تاثیرشان در مسیریابی، وزنی به آنها اختصاص داده شد.

۲. در روش سوم علاوه بر دو فاکتور فوق‌الذکر، فاکتوری به عنوان داشتن قابلیت اتوبوس‌رانی را نیز در طراحی مسیر خود دخیل دانسته بودند. در روش پیشنهادی این فاکتور در دو مرحله مورد استفاده قرار گرفت. ۱- خیابان‌هایی که از لحاظ عرضی دارای محدودیت بودند و فاقد قابلیت جهت اتوبوس‌رانی بودند از سیستم حذف شدند. ۲- در خیابان‌های باقیمانده، فاکتور قابلیت اتوبوس‌رانی به پارامترهای جزیی‌تر

جدول شماره (۱). مقایسه تغییرات خطوط اتوبوسرانی قبل و بعد از بهینه‌سازی

میزان جمعیت (نفر)			طول مسیر (متر)			شماره خطوط
میزان تغییرات	بعد از مسیریابی	قبل از مسیریابی	میزان تغییرات	بعد از مسیریابی	قبل از مسیریابی	
۷	۱۳۸۳۹	۱۳۸۳۲	۲۷۴۹	۱۷۵۷۱	۱۴۸۸۲	۴۰۱
۱۳۳۰	۲۰۲۹۴	۱۸۹۶۴	-۲۱۸۰	۱۸۵۷۰	۲۰۷۵۰	۴۰۲
-۱۱۰۱۸	۸۹۷۰	۱۹۹۸۸	-۳۸۴۲	۱۳۸۴۸	۱۷۶۹۰	۴۰۲/۱
۶۱۰۴	۲۰۳۰۴	۱۴۲۰۰	-۱۴۴۹	۱۸۹۴۷	۲۰۳۹۶	۴۰۴
۲۱۳۸	۱۷۵۲۹	۱۵۳۲۹	-۳۹	۱۸۷۶۵	۱۸۸۰۴	۴۰۵
۲۰۷۱	۱۷۵۱۶	۱۵۴۴۵	-۱۷۶۲	۱۴۰۳۴	۱۵۷۹۶	۴۰۵/۱
-۱۴۷۴	۲۰۰۳۴	۲۱۵۰۸	۲۶۱۱	۲۳۱۶۳	۲۰۵۵۲	۴۰۶
-۲۴۹۶	۱۸۲۰۸	۲۰۷۰۴	-۱۰۹	۱۹۴۸۵	۱۹۵۹۴	۴۰۷
۱۸۶	۱۸۲۶۲	۱۸۰۷۶	-۳۰	۱۶۵۲۶	۱۶۵۵۶	۴۰۷/۱
۷۲۰	۲۰۰۴۸	۱۹۳۲۸	-۴۱۶	۱۹۱۳۶	۱۹۵۵۲	۴۰۸/۱
۶۴۳۴	۳۲۳۸۸	۲۵۹۵۴	-۱۷۸۴	۲۲۰۴۸	۲۳۸۳۲	۴۰۹
۶۵۱۹	۳۲۵۲۷	۲۶۰۰۸	-۱۷۸۵	۱۸۹۹۵	۲۰۷۸۰	۴۰۹/۱
۵۶۳	۱۹۱۳۹	۱۸۵۷۶	۲۱۱	۲۳۳۸۲	۲۳۱۷۱	۴۱۱
۵۶۴	۱۹۱۹۳	۱۸۶۲۹	۳۲۳	۲۰۴۲۳	۲۰۱۰۰	۴۱۱/۱
۲۵۳۶	۲۳۶۵۴	۲۱۱۱۸	-۱۱۵۹	۱۶۰۰۵	۱۷۱۶۴	۴۱۲/۱
۱۴۹۰۴	۳۲۱۹۵۳	۳۰۷۰۴۹	-۶۴۰۵	۳۰۰۰۳۴	۳۰۶۴۳۹	مجموع

مأخذ:نگارنده،۱۳۸۸

تجزیه گردید و این فاکتورها وزن‌دهی شدند.
۳.یکی از مزایای این مدل نامحدود بودن تعداد لبه‌های شرکت کننده است . این سیستم توانایی تجزیه و تحلیل و شناسایی بهترین مسیر را در میان تعداد نامحدودی از لبه‌های که قابلیت اتوبوسرانی دارند را دارا است .
۴. این مقاله در منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت که یکی از مسیرهای اصلی تردد در شهرستان اهواز می‌باشد. میانگین روزانه مسافری که توسط اتوبوس از این منطقه عبور می‌کند بر اساس آمار عملکرد نه ماهه اول ۱۳۸۷ سازمان اتوبوس‌رانی اهواز بالغ بر ۶۹۱۴۱ نفر می‌باشد که تقریباً یک چهارم کل مسافر روزانه اهواز را از میان خود انتقال می‌دهد. از این رو به نظر می‌رسد که بهینه‌سازی خطوط این مسیر دارای فواید زیادی باشد.

۷. منابع

۱- افندیزاده، شهریار، پورتیموری، محمد، ۱۳۸۵، ارایه متدلوژی طراحی سیستم اتوبوس‌رانی مطالعه موردی شهر کرمانشاه. شرکت مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک تهران.
۲- امینی طوسی، وحید و همکاران، ۲۰۰۷، کاربرد سامانه اطلاعات مکانی در مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک، کنفرانس GIS شهری دانشگاه شمال، آمل، چکیده.
۳- بهبهانی، حمید و همکاران، ۱۳۷۴، مهندسی ترافیک تئوری و کاربرد، چاپ اول، انتشارات سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، تهران.
۴- پرهیزکار، اکبر، غفاری گیلانده، عطا، ۱۳۸۵، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، مالچفسکی، یاچک، چاپ اول، سازمان چاپ و انتشارات، وزارت فرهنگ و ارشاد سمت، تهران.
۵- شهرداری اهواز، ۱۳۸۶ مطالعات ساماندهی حمل‌ونقل و ترافیک شهر اهواز حمل و نقل عمومی، عملکرد خطوط اتوبوس‌رانی.
۶- عربانی، مهیار ۱۳۸۵ مهندسی ترافیک چاپ دوم، اداره انتشارات دانشگاه گیلان، رشت.
۷- عزیزی، منصور ۱۳۸۳ کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیاییGIS در مکان‌یابی، توزیع فضایی و تحلیل شبکه مراکز بهداشتی و درمانی نمونه موردی شهر مهاباد پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری از دانشگاه تبریز شماره‌ی ۶۶۸۷۲.
۸- قدسی‌پور، سید حسن، ۱۳۸۵ فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP)، چاپ پنجم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

9 - Abate Abreha, D. (2007). Analyzing Public Transport Performance Using Efficiency Measures and Spatial Analysis; the case of Addis Ababa, Ethiopia. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND OBSERVATION ENSCHEDE, THE NETHERLAND.
10 - Abdel Shakour Abdel Aziz Abdel Dayem, A. (2005). Optimizing Bus Transfer Coordination Case study of Asia Jaya Bus Stop Klong Valley Region – Malaysia. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND OBSERVATION ENSCHEDE, THE NETHERLAND.
11 - Armstrong - Wright and Sebastian. (1987). Bus services: reducing cost, raising standards, urban transport series, the World Bank.
12 - Current, J., ReVelle, C., Cohon, J. (1985). The maximum covering/shortest path problem: A multiobjective network design and routing formulation. European Journal of Operational Research 21.
13 - Current, J.R., Schilling, D.A. (1994). The median tour and maximal covering tour problems: Formulations and heuristics. European Journal of Operational Research 73.
14 - Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., Gullu, M. (2008). Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. Accident Analysis and Prevention 40.
15 - Guberinic, S., Senborn, G., Lazic, B. (2008). OPTIMAL TRAFFIC CONTROL: Urban Intersections. CRC Press.
16 - Heywood, L., Cornelius, S., Carver, S. (1998). An Introduction To Geographic Information Systems.
17 - Khitha, V., Govil, S. (2003). GIS in Public Transportation. Map India 2003.
18 - Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.
19 - Matisziw, T.C., Murray, A.T., Kim, C. (2003). Discrete Optimization Strategic route extension in transit networks. European Journal of Operational Research 171.
20 - Qiang, LI., Yunjing, W., Yang, Z. (2008). Readjustment Effect Analysis of Public Bus Network in Beijing. J Transpn Sys Eng & IT, 2)8).
21 - Simon, D. (2003). Transport and Development in the Third World. London New York, Spon Press.
22 - Vukan R. (2005). Urban Transit: Operations, Planning and Economics. John Wiley & Sons.
23 - White, P. (2009). Public Transport it's planning, management and operation, Fifth Edition. London New York, Spon Press.
24 - www.esri.com. Sandhu, J., Chandrasekhar T. ArcGIS Network Analyst Tutorial 2008.