

طراحی خطوط اتوبوسرانی بر اساس ترکیب خط و مسیر (مطالعه موردی کلان شهر قم)

- مسیح الله معصومی^۱، سید مسعود برقی^۲، امیر روحی^۳، مرتضی راشدی راد^۴، پدram رضا اسمعیلی^۵
دکتری تخصصی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت
۲- کارشناس ارشد عمران - برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه تهران - جنوب
۳- کارشناس ارشد عمران - برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف
۴- کارشناس ارشد مکانیک - طراحی کاربردی، تهران - جنوب
۵- کارشناس ارشد عمران - برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه علوم و تحقیقات

چکیده

یکی از معضلات شبکه‌های اتوبوس در ایران، طراحی این خطوط به صورت مترو بوده که این نحوه طراحی باعث می‌گردد تا خطوط اتوبوس نتوانند از انعطاف‌پذیری خود که یکی از مزایای آنها است، استفاده کنند. در این مقاله با ارائه راهکاری نوین و روشی جدید برای باز طراحی خطوط اتوبوس تندرو و بر اساس طرح‌های موفق دنیا (از جمله سیستم اتوبوس تندرو در شهر بوگاتا پایتخت کشور کلمبیا) و با روش طراحی شبکه به صورت خط اتوبوس حاصل از ترکیب مسیر عمل کرده و کلان شهر قم به عنوان شهر مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب گردید و پس از طراحی خطوط اتوبوسرانی جدید در آن و مدلسازی سیستم وضع موجود اتوبوسرانی شهر و خطوط اتوبوس طراحی شده جدید در برنامه TransCAD و تحلیل داده‌ها و خروجی‌های آن شاهد رشد پارامترهایی همچون جذب مسافر، افزایش سرعت متوسط و کاهش پارامترهایی همچون زمان سفر بوده‌ایم.

کلید واژه: قم، حمل و نقل عمومی، طراحی مسیر، BRT

۱- مقدمه

بر این اساس ابتدا سعی شده است بر اساس اصول طراحی اولیه خطوط اتوبوسرانی انجام شود و سپس اقدام به طراحی چندین سناریو نمود. این سناریوهای بر اساس مدل‌های طرح جامع حمل و نقل ارزیابی شده و سناریوی برتر انتخاب خواهد شد.

از نظر شکل خطوط تقریباً ۷ نوع خط اتوبوسرانی یا مترو در شهر می‌توان متصور شد [۴]. خطوط شعاعی، خطوط قطری، خطوط مماسی، خطوط پیرامونی، خطوط اصلی همراه با انشعاب، خطوط اصلی، خطوط حلقوی (مدور)

خطوط شعاعی: حجم بالای سفرهای به مرکز شهر باعث ایجاد خطوط شعاعی عمدتاً به سمت مرکز شهر می‌شود. این خطوط از حومه شروع و در مرکز شهر به اتمام می‌رسند. که سامانه اتوبوسرانی کلان شهر قم در حال حاضر بدین صورت است. در ادامه مشکلات این نوع طراحی ذکر خواهد شد.

خطوط قطری این خطوط معمولاً از ادغام دو خط شعاعی ایجاد می‌شوند و این خطوط از حومه شروع و پس از عبور از

سیستم باید با ظرفیت کافی برای پرداختن به یک برآورد منطقی تقاضای آتی طراحی شود و در عین حال سرعت بالای خودروها را حفظ کند. این تقاضای آتی برآورد شده، باید با تجزیه و تحلیل تقاضای فعلی حمل و نقل عمومی آغاز شود و سپس با انتظاراتی معقول درباره رشد مسافران توسعه یابد [۱]. به هنگام برآورد تقاضا، نوعی توازن میان هزینه‌ها، دقت و زمانبندی وجود دارد. الگوسازی کامل و تفصیلی تقاضا باعث دستیابی به نتایج دقیق‌تر می‌شود اما توسعه یک مدل کامل ترافیکی می‌تواند بر هزینه و زمان بر باشد [۲]. برنامه‌ریزان اغلب زمان و منابع کافی برای ایجاد یک مرتبه‌ای یک مدل کامل ندارند. روش‌های ارزیابی سریع می‌توانند با هزینه‌ای کم و با سرعتی بالا، نتایجی با دقت قابل قبول را به دنبال داشته باشند [۳]. با درک حوزه‌های مهم اشتغال در شهر، می‌توان مکان و زمان روز که در آن به حمل و نقل عمومی نیاز است را بهتر برآورد کرد.

1- smasbor@yahoo.com
2- smasbor@yahoo.com
3- amirrouhi@gamil.com
4- smasbor@yahoo.com
5- Pbsbm5270@yahoo.com
6- bogota

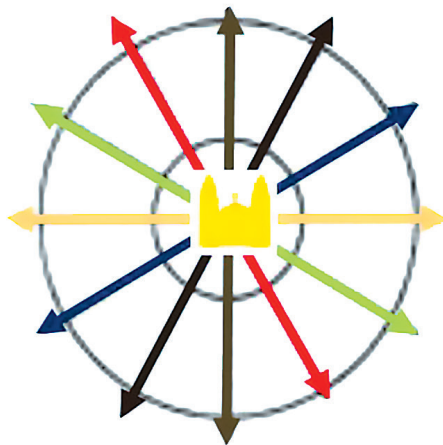
- متمرکز شدن انتهای تمامی خطوط در مرکز شهر و در نتیجه آن افزایش بار ترافیکی در مرکز شهر و قفل شدگی معابر در نزدیکی حرم مطهر.
- افزایش زیاد حجم تردد مسافری در معابر مرکزی شهر و ایجاد معضل به دلیل پیاده و سوار شدن تمامی مسافران تمامی خطوط در مرکز شهر.
- اشغال فضا در معابر مرکزی شهر و همچنین ایجاد آلودگی‌های صوتی، تصویری، هوا و محیطی به دلیل توقف اتوبوسها در مرکز شهر.
- مسافرینی که قصد سفر به نقاط دیگری از شهر را دارند ناگزیر به پیاده شدن در مرکز شهر و سوار شدن در خط دیگر می‌باشند.
- کاهش سهم مسافران سیستم اتوبوسرانی و جذب این مسافران توسط تاکسی‌ها و خودروهای شخصی به دلیل از بین رفتن شاخص انعطاف پذیری در سیستم اتوبوسرانی.

مرکز شهر مجدداً به حومه باز می‌گردند. طرح جدید و پیشنهادی برای سامانه اتوبوس تندرو کلان شهر قم بدین صورت پیشنهاد می‌شود.

۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

شبکه معابر قم به صورت شعاعی و به محوریت حرم مطهر حضرت معصومه (س) توسعه و شکل یافته و نیازهای حمل و نقل شهری نیز به نوعی در راستای این مرکز شکل گرفته است. در جهت تامین این تقاضا، شبکه خطوط اتوبوسرانی قم تا کنون با مرکزیت حرم و به شکل شعاعی به ارائه خدمات به شهروندان پرداخته و تمامی خطوط در پایانه‌های اطراف حرم حضرت معصومه (س) توقف داشته‌اند. این ساختار سیستم اتوبوسرانی مشکلات فراوانی را برای کلان شهر قم و شهروندان به وجود آورده بوده که از آن جمله می‌توان به مشکلات ذیل اشاره کرد:

- افزایش فاصله بین شعاع‌ها از یکدیگر با دور شدن از مرکز شهر و لزوم به ایجاد خط‌های اتوبوس به شکل حلقه‌ای برای رفع این مشکل.
- بالا رفتن تراکم ترافیک در خیابان‌های شعاعی.



خطوط قطری (طرح پیشنهادی)



خطوط شعاعی (وضع موجود)

شکل ۱- مقایسه خطوط اتوبوس شعاعی و قطری

هدف این مطالعه از بین بردن مشکلات ذکر شده از جمله مشکل تراکم ترافیک در نزدیکی حرم مطهر و بالا بردن کیفیت سفر از طریق اتوبوس است. پس از بررسی‌های صورت گرفته و مطالعه سایر سامانه‌های موفق اتوبوس تندرو در سرتاسر جهان و ارائه پیشنهادها، خلاصانه، طرح اجرای خطوط اتوبوسرانی به صورت قطری به جای حالت شعاعی پیشنهاد می‌شود.

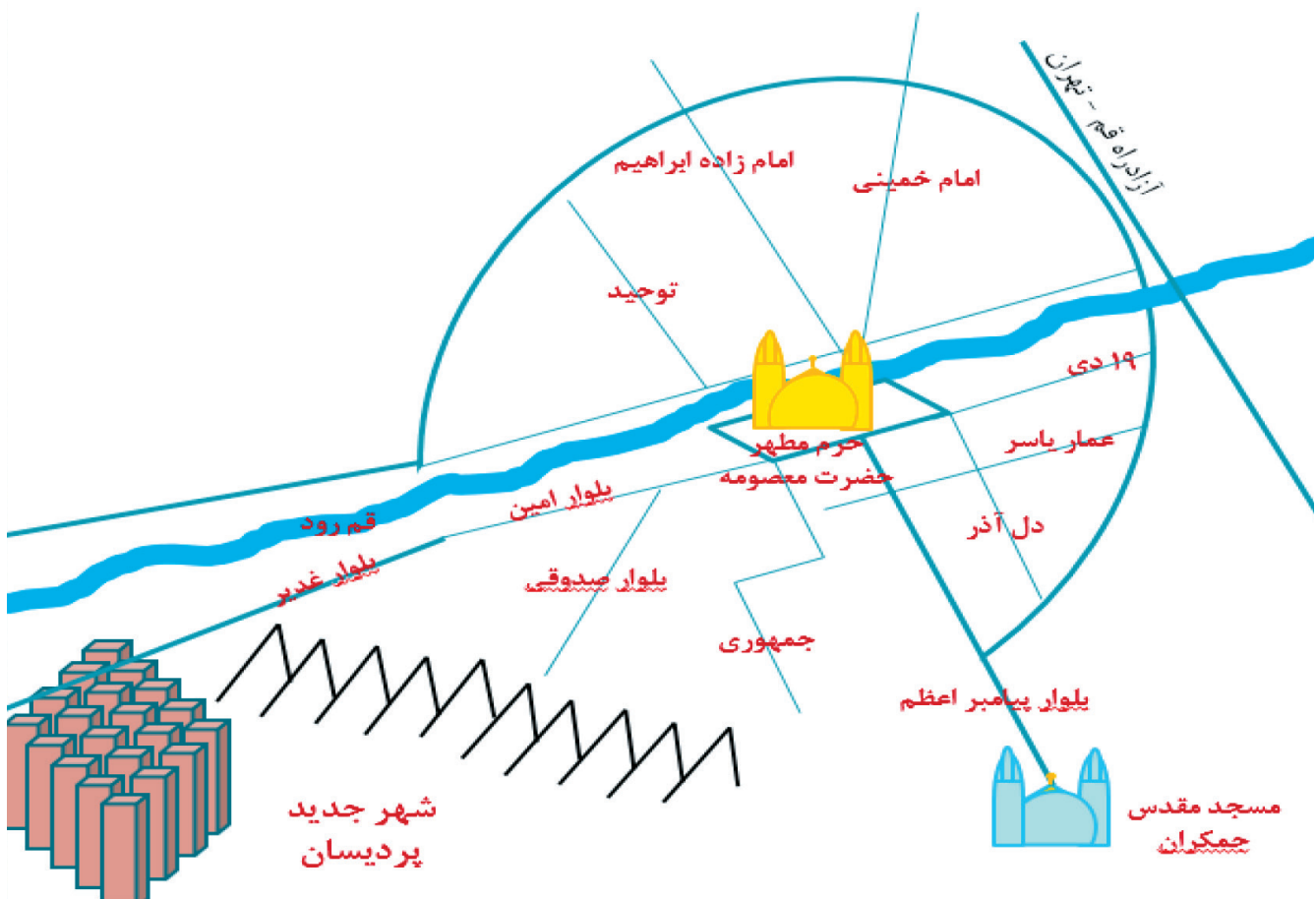
۳- روش تحقیق

و تبعیت از طرح‌های توسعه شهر) انتخاب گردید. خطوط انتخاب شده، ۸ کریدور شعاعی که انتهای همگی آنها، مرکز شهر و خیابان‌های اطراف حرم حضرت معصومه بودند. همچنین، ۴ خیابان مجاور حرم (رینگ مرکزی) به عنوان نهمین رینگ حلقه مشترک بین تمامی ۸ کریدور دیگر انتخاب گردید.

برای رفع مشکلات فوق در سیستم اتوبوسرانی، در طراحی جدید خطوط اتوبوس از شکل شعاعی خارج شده و به صورت قطری درخواهند آمد. برای تحقق این موضوع روند پژوهش به صورت ذیل بوده است.

الف) شناسایی و انتخاب کریدورهای مستعد

ابتدا معابر مستعد و مناسب شعاعی (در مرحله اول بر اساس عملکرد خطوط موجود، پوشش حداکثری شبکه و الگوهای تقاضای طرح جامع و در مرحله دوم بر اساس امکانپذیری اجرایی

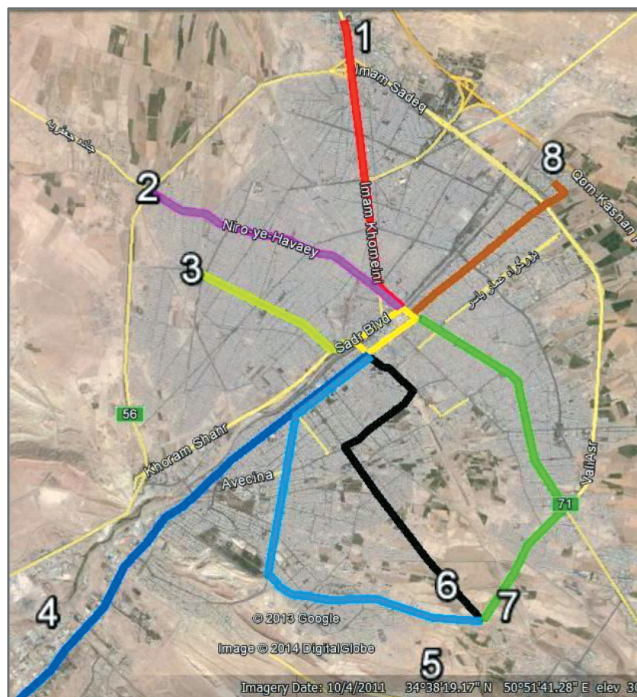


شکل ۲- دموگراف مراکز اصلی سفر، شبکه معابر اصلی و موانع طبیعی کلان شهر قم

ب) امکان‌سنجی احداث مسیر ویژه در کریدورها

در گام بعدی مسیرها از لحاظ قابلیت احداث مسیر ویژه جداسازی شده با مانع فیزیکی مورد امکان‌سنجی قرار گرفتند و کریدورهایی که دارای ۲ ویژگی «حجم بالای تردد خودروهای سواری و عرض معبر مناسب» بوده‌اند، برای احداث مسیر ویژه

با جداساز فیزیکی مشخص شدند. در نهایت با در نظر گرفتن دو ویژگی فوق شش کریدور اصلی که دارای عرض مناسب و و حجم تردد بالا بودند انتخاب شدند (کریدورهای ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۹ در شکل ذیل) و همچنین دو مسیر دیگر که دارای تردد بسیار بالا اما عرض کم بودند (کریدورهای ۲ و ۷) نیز انتخاب شدند.

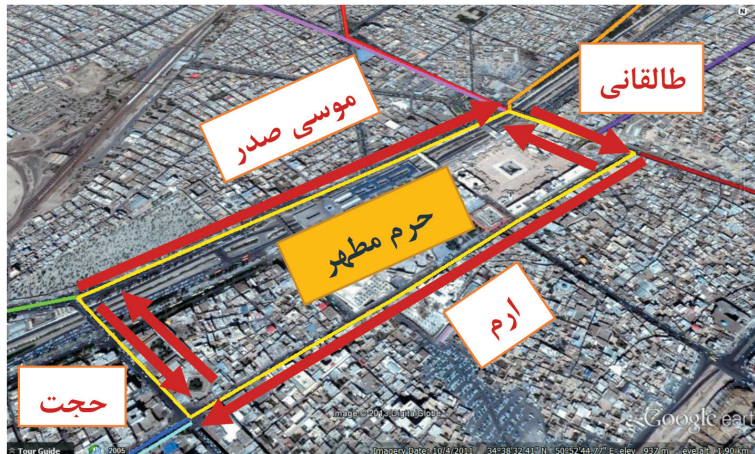


شکل ۳- نه کریدور پیشنهادی

ج) تشکیل خطوط از ترکیب کریدورها

پس از مشخص شدن کریدورهای اصلی اولیه در مرحله اول، به منظور ساختن خطوط جدید اتوبوسرانی خطوط اصلی اولیه را با یکدیگر ترکیب کرده تا از ترکیب هر دو کریدور شعاعی، یک کریدور قطری حاصل شود، به نحوی که هر خط از یک کریدور شروع شده و با استفاده از رینگ مرکزی در کریدور دیگر امتداد یابد. در این طراحی با ترکیب کریدورهای شعاعی به خطوط قطری خواهیم رسید که تمامی آنها در خیابانهای رینگ مرکزی دارای مسیر مشترک می‌باشند. با استفاده از ترکیب خطوط شعاعی به صورت دو به دو، ۳۰ خط پیشنهادی را تشکیل دادند. که بایستی در مرحله بعد با اجرای مدل‌های تقاضا بر آنها خطوط با کاربردکرد بهتر شناسایی شوند.

در طراحی خطوط به صورت قطری رینگ دور حرم دارای نقشی کلیدی بوده و طراحی خطوط به نحوی خواهد بود که تمامی آنها از این رینگ عبور کرده و به نوعی این بخش از مسیر در تمامی آنها مشترک می‌شود. لذا نحوه حرکت در این بخش به صورت چرخشی ساعت‌گرد طرح می‌شود، به نحوی که مسیر اتوبوس تندرو در خیابان ضلع شمالی حرم (خیابان امام موسی صدر به صورت یکطرفه از غرب به شرق) و مسیر خیابان ضلع جنوبی حرم (خیابان ارم) به صورت یکطرفه از شرق به غرب بوده. همچنین دو خیابان با طول کمتر در دو سمت حرم دارای مسیر ویژه دوطرفه به صورت رفت برگشت خواهند بود.

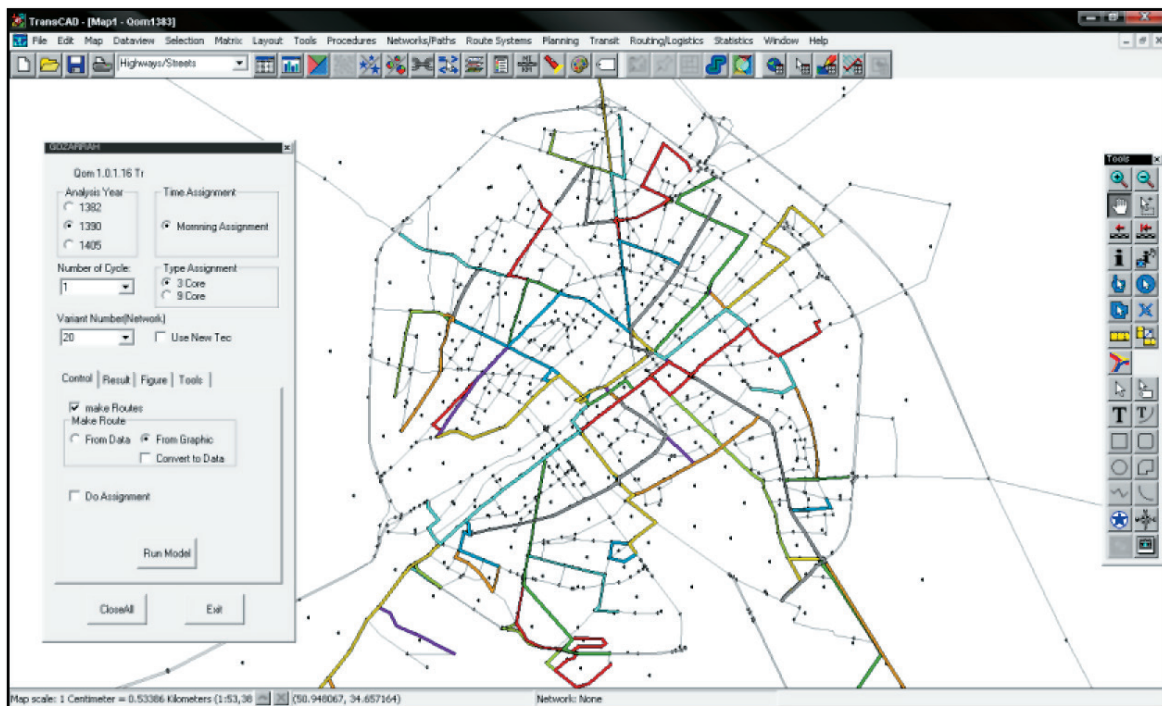


شکل ۴- رینگ مرکزی شهر به محوریت حرم مطهر حضرت معصومه

از لحاظ عملکردی، یکی از قوی ترین نرم افزارهای ماکروسکوپیک برنامه ریزی حمل و نقل است. در مطالعات طرح جامع حمل و نقل، پس از ساخت شبکه معابر و همچنین شبکه حمل و نقل همگانی، ماتریس های ترافیک حاصل از مدل های تقاضا، در افق های زمانی کوتاه و بلند مدت، روی شبکه پیشنهادی بارگذاری شده و نتایج اجرای راهکارهای مورد نظر ارزیابی شده اند.

د) بارگذاری تقاضا در نرم افزار TransCAD و انتخاب خطوط برتر

در مطالعات طرح جامع حمل و نقل کلان شهر قم، پس از انجام برداشت های لازم در سال پایه و جمع آوری سایر منابع اطلاعاتی از گذشته، اقدام به ساخت مدل های ریاضی برآورد تقاضا شده است. بعلاوه به منظور پیش بینی عرضه تسهیلات حمل و نقل و نحوه تقابل آن با تقاضا، نیاز به شبیه سازی شبکه معابر با تمام ویژگی های عملکردی و فیزیکی آن بوده است. در مطالعات فوق به منظور شبیه سازی جریان ترافیک در شبکه معابر (مرحله تخصیص ترافیک) از نرم افزار TransCAD استفاده شده است که



شکل ۵- نمایی از محیط مدل کلان شهر قم در نرم افزار TransCAD

در این جدول مشخصات ۱۵ خط برتر منتخب مشاهده می شوند (ای خطوط رفت و برگشت به صورت مجزا مشخص شده اند برای مثال خط ۷۱ مسیر برگشت خط ۱۷ است).

در این قسمت از پژوهش با استفاده از مدل‌های تقاضای موجود در طرح جامع کلان شهر قم، و اجرای سامانه تندرود در هرکدام از ۳۰ خط منتخب نحوه عملکرد آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در جدول ذیل مشخصات ۱۵ خط برتر از ۳۰ خط پیشنهادی اولیه مشاهده می شوند.

شماره خط	طول خط (متر)	تعداد ناوگان	ظرفیت هر اتوبوس	گل مسافر - کیلومتر	هدوی خط (دقیقه)	زمان در حال حرکت (دقیقه)	سرعت عملکردی ناوگان
۱۵	۱۵/۴۱۱	۱۲	۷۰	۵,۱۶۹/۳	۸/۶	۳۵/۳	۱۹/۶
۵۱	۱۴/۷۸۱	۱۲	۷۰	۲,۷۰۱/۴	۸/۷	۴۰/۷	۱۶/۷
۱۷	۱۱/۵۳۴	۱۰	۷۰	۲,۵۴۲/۱	۸/۴	۲۵/۱	۱۹/۰
۷۰	۱۱/۶۸۵	۱۰	۷۰	۱,۳۳۹/۵	۸/۳	۳۳/۵	۱۵/۷
۱۸	۰۱۸/۱۰	۱۰	۷۰	۲,۶۴۸/۵	۷/۲	۲۲/۴	۱۸/۳
۸۱	۹/۹۹۹	۱۰	۷۰	۷۵۹/۹	۷/۱	۲۶/۶	۱۶/۳
۵۸	۱۴/۱۸۴	۱۱	۷۰	۱,۹۱۲/۸	۹/۰	۳۷/۲	۱۷/۲
۸۵	۱۳/۹۱۷	۱۱	۷۰	۱,۶۸۸/۸	۹/۰	۳۴/۷	۱۷/۹
۱۴	۲۲/۹۴۵	۱۷	۷۰	۶,۲۸/۳	۹/۱	۵۷/۱	۱۹/۶
۴۱	۲۲/۸۹۴	۱۷	۷۰	۳,۲۷۲/۹	۹/۱	۶۳/۸	۱۷/۸
۲۴	۲۲/۳۹۴	۱۷	۷۰	۲,۲۵/۵	۹/۵	۶۱/۲	۱۸/۱
۴۲	۲۲/۳۵۷	۱۷	۷۰	۱,۵۷۲/۲	۹/۵	۶۵/۷	۱۶/۹
۲۵	۱۴/۸۹۳	۱۳	۷۰	۱,۹۷۹/۳	۸/۴	۳۹/۴	۱۷/۵
۵۲	۱۴/۲۶۵	۱۳	۷۰	۲,۲۵۹/۲	۸/۵	۴۲/۶	۱۵/۶
۱۶	۱۱/۲۹۸	۱۰	۷۰	۲,۷۵۹/۱	۸/۸	۲۹/۰	۱۷/۳
۶۱	۱۱/۲۵۰	۱۰	۷۰	۲,۴۴۳/۶	۸/۸	۳۴/۵	۱۵/۰
۳۴	۱۹/۷۷۱	۱۶	۷۰	۵,۰۶/۳	۸/۸	۶۴/۸	۱۷/۷
۴۳	۱۹/۷۷۶	۱۶	۷۰	۸۵۵/۰	۸/۸	۵۴/۳	۱۷/۹
۳۷	۱۰/۵۸۲	۱۱	۷۰	۴,۸۸۱/۵	۸/۳	۲۹/۵	۱۴/۸
۷۳	۱۰/۸۱۸	۱۱	۷۰	۱,۰۶۰/۸	۸/۲	۳۴/۰	۱۴/۰
۲۷	۱۱/۰۷۴	۱۰	۷۰	۱,۲۶۱/۸	۹/۰	۲۹/۴	۱۶/۳
۷۲	۱۱/۲۰۹	۱۰	۷۰	۱,۲۲۲/۴	۹/۰	۳۵/۵	۱۴/۵
۴۸	۲۱/۳۶۱	۱۶	۷۰	۲,۰۶۷/۱	۹/۳	۵۶/۲	۱۸/۵
۸۴	۲۱/۸۱۲	۱۶	۷۰	۳,۱۳۹/۱	۹/۴	۵۹/۷	۱۷/۵
۳۵	۱۲/۲۶۰	۱۰	۷۰	۳,۰۹۰/۲	۸/۹	۳۳/۱	۱۶/۷
۵۳	۱۱/۶۸۸	۱۰	۷۰	۸۷۱/۹	۸/۹	۳۱/۲	۱۶/۷
۴۷	۲۲/۹۲۰	۱۷	۷۰	۲,۴۴۱/۵	۹/۴	۶۲/۷	۱۸/۰
۷۴	۲۳/۴۰۷	۱۷	۷۰	۳,۹۸۳/۶	۹/۵	۶۲/۶	۱۸/۲
۶۸	۹/۷۷۱	۱۰	۷۰	۵۲۶/۹	۸/۳	۲۸/۳	۱۵/۰
۸۶	۱۰/۲۰۷	۱۰	۷۰	۲,۸۵۵/۹	۸/۴	۳۰/۵	۱۴/۷

جدول ۱- مشخصات عملکردی (تعداد ناوگان، سرعت، هدوی، زمان سفر) خطوط پیشنهادی قم

خروجی (TransCAD)



پیشنهادی	عدم انجام کار	پارامترهای مورد بررسی نام سناریو
۵۶	۸۰	تعداد خطوط
۵۲۸	۳۰۳	تعداد ناوگان
۹۸۴	۹۵۰	تعداد ایستگاه
۱۲۰۵	۹۶۹	طول خط (مجموع رفت و برگشت به کیلومتر)
۲۳۸۱	۲۳۴۶	کل زمان سفر و تاخیرهای خط در ساعت اوج (دقیقه)
۷/۱۳	۱۷/۳۳	میانگین سرفاصله زمانی (دقیقه)
۰/۵۴	۰/۵۳	زمان توقف در ایستگاه (دقیقه)
۴۸۲۲۸	۲۷۱۴۸	تعداد مسافر سوار شده
۴۸۲۲۸	۲۷۱۴۸	تعداد مسافر پیاده شده
۱۵۷۱	۱۴۲۸	زمان در حال حرکت (دقیقه)
۳۶۰۶۹۰	۱۵۰۵۳۳	جمع مسافر سگمنتها
۳۵۴	۱۷۸	حجم میانگین سگمنتها
۱۸۳۶	۹۹۶	حجم سگمنت ماکزیمم
۲۰۲۱۵۶	۸۲۵۱۳	کل مسافر-کیلومتر
۹۱۵۹	۴۲۷۷	کل مسافر ساعت در حال حرکت
۰/۷	۰/۶۳	میانگین load factor
۱۳/۸۳	۱۱/۸۲	سرعت عملکردی ناوگان (کیلومتر بر ساعت)
۲۵	۱۶	سهم از سفرهای شهری (درصد)

جدول ۲- بررسی سامانه اتوبوسرانی قم در حالات وضع موجود و وضع پیشنهادی (خروجی TransCAD)

۶- منابع

- 1) Ardila-Gomez, A., (2004) Transit Planing in Bogota and Curitiba: Roles in interaction, risk, and Change. PHD Thesis in Urban and transportation Planing at the Massachusetts Institute of Technology (MIT). Boston: MIT.
- 2) Aunurrohman, C. (2005), Problems in reforming transportation and parking: A Case study in Yogyakarta. New York: ITDP.
- 3) Custodio, P. (2005), BRT planning and operation. Presentation at the International Forum on bus rapid transit development, China. Levinson, H.S. et al.,
- 4) Bus Use of Highways: Planning and Design Guidelines, National Highway Cooperative Research Program, (1975) Report 155, Transportation Research Board, Washington D.C.

جدول ۲ به مقایسه خطوط اتوبوسرانی در وضعیت موجود و طرح پیشنهادی می پردازد و همانطور که در این جدول دیده میشود، با طراحی جدید علاوه بر این که میزان پوشش خطوط اتوبوس در شهر افزایش یافته، پارامترهایی از جمله زمان سفر، سرعت عملکردی ناوگان نیز افزایش چشم گیری داشته‌اند. بهبود این پارامترها نیز باعث رشد بالابیکل مسافری در حال حرکت داشته است. همچنین سهم اتوبوس نیز از سفرهای شهری از ۱۶ درصد به ۲۵ درصد افزایش یافته است.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش برای از بین بردن مسائلی همچون مشکلات ترافیکی موجود در مرکز شهر، عدم اقبال مردم به حمل و نقل عمومی و در نتیجه سهم کم اتوبوس از سفرهای شهری به باطراحی خطوط اتوبوس کلان شهر قم بر اساس طرح خلاقانه ترکیب خط و مسیر صورت گرفت. این طراحی و نحوه ترکیب خطوط مزایایی زیر را برای شبکه کلان شهر قم به همراه دارد:

- ۱) توقف ۱۰ دقیقه ای اتوبوس در مرکز شهری ضمن ایجاد اثرات نامطلوب بر سیمای شهر باعث انتشار غیرضروری آلودگی در این مکانها می شود چرا که معمولاً مراکز شهری با مشکل غلظت آلاینده های جوی مواجه هستند.
- ۲) برخی از مسافرین قصد عبور از مرکز شهر را دارند که الزاماً مجبور به تعویض خط در این مکان های عمدتاً شلوغ و پر ازدحام می شوند. این اجبار به تغییر خط نه تنها عدم مطلوبیت زیادی برای مسافرین ایجاد می نماید. بلکه در پایانه های مرکز شهر مشکل ازدحام، اختلال در حرکت سواره و پیاده و مشکلات ایمنی و امنیتی به وفور مشاهده می شود.
- ۳) در ایستگاه های پایانی، اتوبوس ها اجباراً باید دور بزنند، گردش این خودروهای بزرگ در ترافیک مرکز شهر همواره مساله ساز است.
- ۴) حاصل شدن خطوط با انعطاف پذیری بالا.
- ۵) به دلیل وجود مسیر ویژه جداسازی شده در ۶ کریدور از ۸ کریدور و حاصل شدن خطوط از ترکیب این کریدورها، تمامی خطوط در تمامی طول خود و یا بخشی از آن دارای مسیر ویژه می باشند و بنابراین زمان سفر کاهش خواهد یافت.
- ۶) کاهش زمان سفر در کل شبکه.
- ۷) تولید ۱۵ خط ویژه در سرتاسر شهر با صرف هزینه پایین جهت احداث زیرساخت (جداساز مسیر) در ۶ کریدور.
- ۸) کاهش زمان تواتر در هر کریدور به ۲ دقیقه.
- ۹) حفظ دسترسی به مرکز شهر و حرم، با خدمات بهتر، سرعت بیشتر و در عین حال حذف معضلات و مشکلاتی که خطوط شعاعی با آن روبرو هستند.