# طراحی مدل برنامه‌ریزی شبکه حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی شهری (مورد مطالعه اردبیل و حومه)

علی‌اصغر انواری‌رستمی[1]
فرزاد ستاری‌اردبیلی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۲۳
تاریخ‌پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۱۸

## چکیده

*با توجه به گسترش شهرها، امروزه حمل‌ونقل شهری از اهمیت و در عین حال پیچیدگی‌های خاص و فراوانی برخوردار شده است. تحقیقاتی که تاکنون در این زمینه صورت پذیرفته، هر یک به برخی از زوایای مسئله حمل‌ونقل توجه کرده و سعی در بهبود و بهینه‌سازی آنها داشته‌اند.*

*این تحقیق با هدف بهینه‌سازی شبکه حمل‌ونقل شرکت اتوبوس‌رانی شهری طراحی شده است. به این منظور، ابتدا مسئله براساس معیارهای مهم زمان، هزینه، کیفیت حمل و جابه‌جایی مسافر تبیین شده و سپس به دلیل تعدد و تضاد میان اهداف مسئله، مدل برنامه‌ریزی آرمانی از نوع لکسیکوگرافیک جهت بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی شهری فرموله شده است. جهت تشریح مدل از داده‌های اتوبوس‌رانی شهری اردبیل و حومه بهره گرفته شده است. مدل یادشده توسط برنامه بهینه‌سازی به اجرا درآمده است.*

*نتایج بررسی‌ها بیانگر آن است که بهره‌گیری از این‌گونه مدل‌ها در برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل به خصوص حمل‌ونقل عمومی شهری (نظیر اتوبوس‌رانی) می‌تواند موجبات بهبود مؤثر در عملکرد این‌گونه سیستم‌ها و در نهایت رضایت مسافران را مهیا کند.*

***کلید واژه‌ها:*** *مدل ریاضی برنامه‌ریزی آرمانی، مسیریابی بهینه، شبکه حمل‌ونقل شهری*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] دانشیار رشته مدیریت بازرگانی دانشگاه تربیت مدرس
[2] دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

در حال حاضر شهرها با افزایش تراکم جمعیت و فعالیت‌ها مواجهند. این افزایش دارای آثار و تبعات نامطلوب مختلفی از جمله آلودگی هوا، آلودگی صوتی و آلودگی محیط‌زیست است بنابراین با افزایش نسبت جمعیت شهری در جهان (به عنوان مثال ۸۰ درصد جمعیت در استرالیا) لزوم توجه به سلامتی جامعه و کیفیت زندگی باعث شده تا این عوامل به طور صحیحی مدیریت شوند. [۱] در این میان سیستم‌های حمل‌ونقل در کاهش یا افزایش آثار این عوامل مؤثرند. سیستم‌های حمل‌ونقل مناسب، سیستم‌هایی جهت حمایت از حیات و قابلیت زیست در شهرها (با وجود آثار نامطلوب آن) به شمار می‌آیند هر چند که بر عوامل مختلفی نظیر کیفیت، صدا، بهداشت، بهره‌وری انرژی و... آثار جدی بر جای می‌گذارند. [۲]

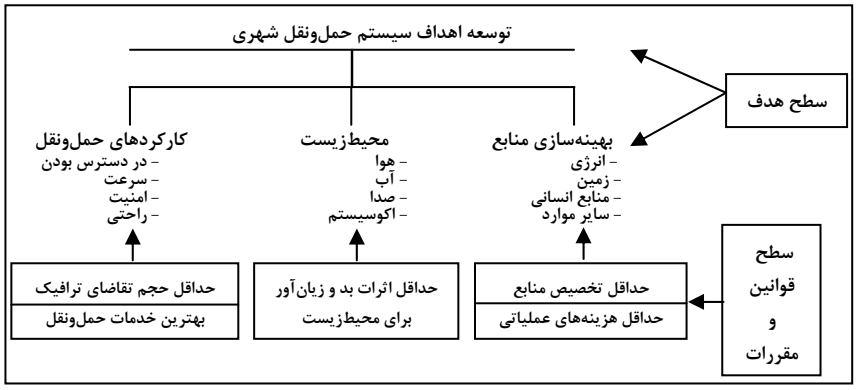
طراحی شبکه یکی از موضوعات بسیار متداول در همه سطوح تصمیم‌گیری است و از برنامه‌ریزی در سطح استراتژیک گرفته تا بررسی مالی تسهیلات عظیمی مانند زیرساختارها، کاربرد دارد. در سطح تاکتیکی نیز بارزترین کاربرد آن در تجدید سازمان خطوط حمل‌ونقل است [۳] اما اثربخشی و کارایی این سیستم‌ها مهم‌ترین فاکتورهای دخیل در اجرای آن هستند. یکی از عوامل بسیار مؤثر در اثربخشی این سیستم‌ها، مشارکت شهروندان است. نمونه مطالعه‌ای که در سانتیاگو شیلی انجام شده، اهمیت حیاتی مشارکت شهروندان را در برنامه‌ریزی شهری و حمل‌ونقل به خصوص زمانی که هدف از فرآیند، ایجاد پیامدهای عمومی در سطح وسیع باشد، نشان داده است. این مطالعه همچنین مشخص می‌کند که مشارکت به همراه آموزش عمومی به همان اندازه کاهش هزینه‌ها در بهبود کارایی برنامه‌ریزی سیستم حمل‌ونقل شهری مؤثر است. [۴]

## طراحی مسیر حمل‌ونقل

طراحی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی مبتنی بر مفروضاتی بسیار است؛ از یک طرف، انتظار می‌رود مسیرهای حمل‌ونقل از برنامه ثابتی برخوردار باشد و تمامی مسیرها را پوشش دهد و از طرف دیگر، مسافران یک مسیر (از یک مبدأ به یک مقصد معین) بسیار متفاوتند چراکه هر کدام از آنها ممکن است به مقاصد مختلفی عزیمت کنند. این در حالی است که تعداد مسافران مسیرهای مختلف نیز متفاوتند. [۵] علاوه بر موارد

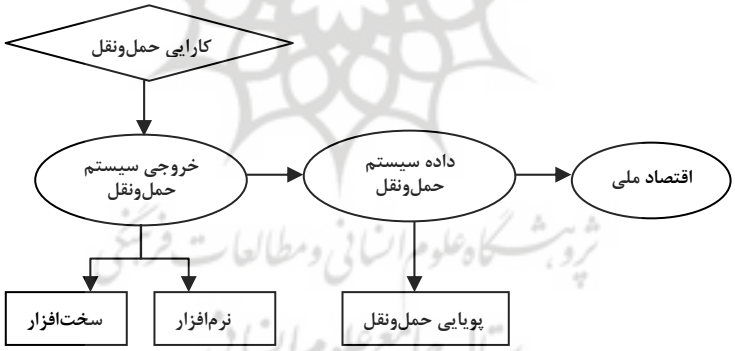
فوق، توسعه سایر اهداف نیز در این برنامه‌ریزی باید مدنظر قرار گیـرد. نمـودار یـک اهداف یک سیستم حمل‌ونقل را نشان می‌دهد. [۶]

**نمودار یک- توسعه اهداف سیستم حمل‌ونقل شهری**




در تحقق اهداف یادشده کارایی سیستم حمل‌ونقل حائز اهمیت است. مبنای تعریف کارایی رابطه بین داده و ستاده یا هزینه و فایده است. در سیستم حمل‌ونقل تعریـف کارایی عبارت است از بستری کـه در آن ورودی‌هـای مشـخص حمـل‌ونقـل بتوانـد تقاضای تردد افراد را در آن سیستم حمل‌ونقل جوابگو باشـد. از دیـدگاه کـلان اگـر زیرساختارهای حمل‌ونقل را بتوان به عنوان ورودی و پویایی یا ظرفیت حمل‌ونقل را بـه عنوان عنصر خروجی در نظر گرفت، آنگاه کارایی حمل‌ونقل پارامتر اعظم متأثر از نسبت ورودی-خروجی سیستم است. این موضوع در نمودار دو نشان داده شده است. [۷]

**نمودار دو- رابطه بین کارایی حمل‌ونقل، ورودی-خروجی سیستم حمل‌ونقل و اقتصاد ملی**




با توجه به نمودار دو مشخص است که در یک ورودی حمل‌ونقـل ، هـر چـه کـارایی بالاتر باشد، تحرک حمل‌ونقل بیشتر شده و به نحو مشابه نیـز توسـعه اقتصـاد ملـی

مطلوب‌تر خواهد شد. در بحث کارایی سیستم حمل‌ونقل شهری، کارایی با مقیاس «مزایای اجتماعی-هزینه‌های اجتماعی» سنجیده می‌شود که هر چه این نسبت بزرگ‌تر باشد، کارایی بیشتر است. [۸]

## استراتژی‌های حمل‌ونقل

در ۳۰ سال گذشته، اغلب استراتژی‌های عملیاتی بهبوددهنده خدمات حمل‌ونقل عمومی براساس توزیع تقاضای مقصد اولیه[1] بوده‌اند. به طور کلی مسیریابی و استراتژی‌های برنامه‌ریزی منعطف به چهار گروه کلی قابل تقسیم است: [۹]

**الف) استراتژی برنامه‌ریزی منطقه‌ای**[2]: خدمات محدود، خدمات منطقه‌ای نیمه‌محدود و خدمات منطقه‌ای با توقف محدود یا تعداد ایستگاه‌های محدود در گروه استراتژی برنامه‌ریزی منطقه‌ای جای می‌گیرند. در برنامه‌ریزی منطقه‌ای، تمامی مسیرها به چند منطقه تقسیم می‌شود و وسایل نقلیه‌ای نظیر اتوبوس‌ها تنها در مسیر خود تردد داشته و پس از رسیدن به انتهای مسیر بدون توقف به سمت نقطه شروع حرکت می‌کند. این در حالی است که اتوبوس‌های خارج از آن منطقه، روشی معکوس دارند به آن معنی که نقطه انتهایی این محدوده، ابتدای محدوده بعدی محسوب می‌شود.

**ب) استراتژی چرخش کوتاه:** معو لاً استراتژی چرخش کوتاه برای مناطقی به کار می‌رود که دارای مسافتی طولانی بوده و در ساعات خاصی از شبانه روز حرکت جمعیت از منطقه‌ای به سوی منطقه‌ای دیگر صورت می‌گیرد (مانند مسیر شهر کرج که در ساعات صبح و عصر شاهد حرکت بخش عظیمی از جمعیت به سوی تهران و بالعکس هستیم). [۱۰]

**ج) استراتژی آغاز بین راهی**[3]: در استراتژی آغاز بین راهی تعدادی از اتوبوس‌ها از طریق برخی ایستگاه‌های آغازین یا انتهایی مسیر معین، حرکت را شروع می‌کنند تا زمان رسیدن مسافر را کاهش داده و فاصله لازم برای تأخیر بین دو وسیله نقلیه را در ایستگاه‌های بعدی حفظ کنند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Origin-destination Demand Distribution
[2] Zone Scheduling
[3] Dead Heading

**د) استراتژی پویا و گذر سریع از ایستگاه‌های خلوت**[1]: استراتژی پویا و گذر سریع از ایستگاه‌های خلوت در واقع نوع استراتژی عملیاتی است که غالباً در کریدورهای بسیار پرترافیک کاربرد دارد. ایده اصلی این استراتژی کنترل، این است که به اتوبوس‌هایی که تأخیر دارند و از برنامه عقب مانده‌اند، این امکان را می‌دهد که از برخی ایستگاه‌های دارای مسافر کم، بگذرند و سرعت عملیاتی خود را افزایش دهند. برخلاف سایر استراتژی‌ها، این استراتژی، لحظه‌ای، پویا و منعطف یا آنلاین[2] است که در زمان واقعی تعیین می‌شود. ایراد این استراتژی این است که مسافران ایستگاه‌هایی که اتوبوس در آنها توقف نکرده است، مجبورند تا رسیدن اتوبوس بعدی منتظر بمانند.

ابرلین[3] مسئله گذر سریع از ایستگاه‌های خلوت[4] را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با محدودیت‌ها و تابع هدف درجه دوم فرموله کرده است. [۱۱]

در کنار این استراتژی‌ها می‌توان همانند کشور سنگاپور از تکنولوژی‌ها نیز بهره گرفت. سنگاپور یکی از کشورهایی است که در زمینه حمل‌ونقل موفق عمل کرده است. این جزیره جزو معدود شهرهای پرجمعیت دنیست که تقریباً در تمامی طول روز از ترافیک آرامی برخوردار است. [۱۲]

این کشور جهت افزایش کارایی سیستم حمل‌ونقل زمینی از سیستم طرح‌ریزی منابع سازمانی[5] استفاده می‌کند. از دیگر تکنولوژی‌های مورد استفاده در این کشور سیستم مکانیاب ماهواره‌ای[6] است. در این سیستم رانندگان به کامپیوتر مرکزی شرکت وصل هستند. این کامپیوترها از طریق ماهواره تراکم مسافر در مسیر اتوبوس و ترافیک مسیر را نشان می‌دهند. همچنین در صورت اشغال ظرفیت اتوبوس، نزدیک‌ترین اتوبوس آن مسیر در خط قرار می‌گیرد تا مسافران را جابه‌جا کند. [۱۳]

مشکل بزرگ مدیریت سیستم حمل‌ونقل، پیروی از زمان‌های حرکت و رسیدن‌های مختلف برنامه‌ریزی شده در یک شبکه حمل‌ونقل است. یک سیستم حمل‌ونقل به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد تا با توجه به موقعیت و در کمترین زمان ممکن تصمیم

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Dynamic Stop Skipping
[2] Online
[3] Eberlein
[4] Stop-Skipping
[5] Enterprise Resource Planing- ERP
[6] Global Positioning System- GPS

بگیرد. یک سیستم حمل‌ونقل شهری و پیچیدگی وظایف آن، مستلزم تجزیه و تحلیل مدولار مسئله مورد بررسی است. [۱۴]

تمامی این تلاش‌ها در صورتی مناسب و اثربخش خواهد بود که بهینه‌سازی صورت گرفته باشد. تعیین تعداد اتوبوس و مهم‌تر از آن مسیرهایی که در شرایط یکسان، بهترین مسیر برای تردد اتوبوس‌های هر خط هستند، گام اول در تعیین و به کارگیری استراتژی‌های گوناگون است. بهینه‌سازی واقعی شبکه را می‌توان برای سیستم‌های متمایزی مانند انبارداری، حمل‌ونقل و کنترل موجودی نیز به کار گرفت [۱۵].

در تمامی این موارد، نکته مهم هزینه ارسال یک واحد جریان است که به صورت حرکت یک وسیله نقلیه با جابه‌جایی وسایل، نمود عینی پیدا می‌کند. در این نوع بهینه‌سازی به طور کلی با دو نوع روش مواجهیم؛ حالت اول، تعیین کوتاه‌ترین مسیر و حالت دوم تعیین بیشترین درخت دربرگیرنده. [۱۷و۱۶] هر دو این حالات براساس برنامه‌ریزی خطی بوده که جواب بهینه‌ای را براساس متغیر موردنظر ارائه می‌دهد. اینکه تا چه حد می‌توان متغیرهای دیگری را در بهینه‌سازی دخالت داد امری است که هنوز راه بسیاری تا رسیدن به آن وجود دارد. الگوریتم منطقی که در این مقاله مورد توجه قرار می‌گیرد این است که براساس حداقل هزینه جریان و برنامه‌ریزی آرمانی، مسیرهای رسیدن از یک ایستگاه به ایستگاه بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در بهینه‌سازی یک مسیر، عوامل بسیاری مانند تراکم جمعیت، ترکیب جمعیت هر منطقه، نوع پراکنش محیط‌های پرتجمع شهری در مناطق مختلف، میزان متوسط درآمد افراد هر منطقه و بسیاری از عوامل شناخته و ناشناخته دیگر دخالت دارند. بسیاری از این عوامل نیز در سال‌ها و ماه‌های مختلف و حتی در ساعات مختلف شبانه روز ثابت نبوده و متغیرند. به عنوان مثال، در مورد بهینه‌سازی مسیر اتوبوس‌های بعضی از شهرهای سردسیری، برخی از خیابان‌ها در فصول زمستان به علت بارش برف دچار راهبندان می‌شوند که عاملی مهم در تأخیر بیش از حد انتظار وسایل نقلیه به شمار می‌آید. برای به تصویر کشیدن این مشکلات و برنامه‌ریزی برای آنها می‌توان از مدل‌های ریاضی بهره جست. استفاده از مدل‌های ریاضی در ترسیم دنیای واقعی کمک بسیاری کرده تا با تغییر آسان پارامترهای مورد نظر به نتایج و پیامدهایی دست یافته و تا حدودی آینده را بتوان بهتر پیش‌بینی و برنامه‌ریزی کرد.

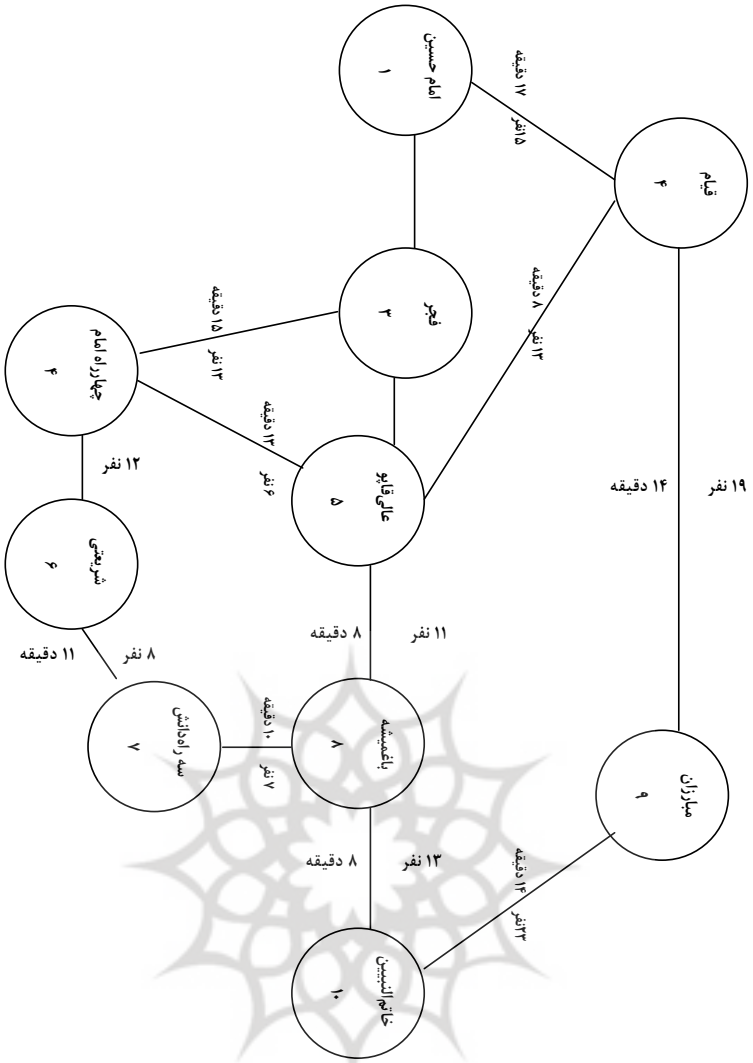
**مروری بر روش انجام تحقیق**

در این تحقیق برای جمع‌آوری داده‌ها، کاربرگ‌هایی تهیه شد. در این کاربرگ‌ها زمان‌های رسیدن اتوبوس از یک ایستگاه مبدأ به یک ایستگاه مقصد و تعداد مسافران جابه‌جا شده در این فاصله در ساعات کاری اتوبوس‌های شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل ثبت شد. سپس این ایستگاه‌ها به میادینی مجازی تبدیل شدند که شامل یک یا چند ایستگاه بودند. در واقعیت، میان این میادین هیچ راه یا مسیر دیگری وجود نداشته و مسیر حرکت از یک میدان به‌میدان دیگر دقیقاً طبق نمودارهای سه تا نه بوده است.

در این نمودارها، مسیرها به صورت میادین مرتبط به هم و متصل تبیین شده‌اند. در هر نمودار، داده‌های مربوط به تعداد مسافر حمل شده و زمان حمل وجود دارد. اعدادی که در مقابل آنها دقیقه نوشته شده (مانند عدد هفت دقیقه در نمودار پنج مسیر امام حسین- وحدت بین میدان آزادی و میدان جهاد) نشانگر میانگین فاصله زمانی است که طول می‌کشد تا مسافر این فاصله را طی کند. این داده در واقع شامل تمام زمان‌هایی است که اتوبوس در این فاصله صرف می‌کند. همچنین شامل توقف‌هایی است که در ایستگاه‌های بین این میادین انجام شده یا تأخیرهایی که ممکن است به علت ترافیک یا پیاده شدن مسافر خارج از ایستگاه صورت گیرد. به عبارت دیگر، این عدد در واقع مجموع زمان‌های صرف شده اتوبوس در ایستگاه‌های مختلف بین میدان آزادی و جهاد است. عدد دوم روی این گراف، یعنی هشت نفر میانگین تعداد مسافری است که در ساعات مختلف بین این دو میدان تردد دارند. این تعداد مسافر در ساعاتی از روز که ترافیک افزایش می‌یابدمسلماً افزایش می‌یابد. برای تعیین این تعداد مسافر، تعداد مسافرانی را که در ایستگاه‌های مختلف در طول ساعات خدمت‌دهی اتوبوس‌های شرکت سوار اتوبوس می‌شوند، شمارش شده و حاصل جمع تعداد مسافران ایستگاه‌های بین این دو میدان به عنوان تعداد کل مسافران این مسیر تلقی شده است. از کل این حاصل جمع‌ها، میانگین‌گیری به عمل آمده و سپس میانگین کل روی نمودار درج شده است، سپس تعداد مسافران و زمان حرکت آنها از یک میدان به میدان دیگر برابر حاصل جمع ایستگاه‌های بین آنها محاسبه شد که در نمودارهای مربوطه آمده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**نمودار سه- مسیر امام حسین-حافظ**

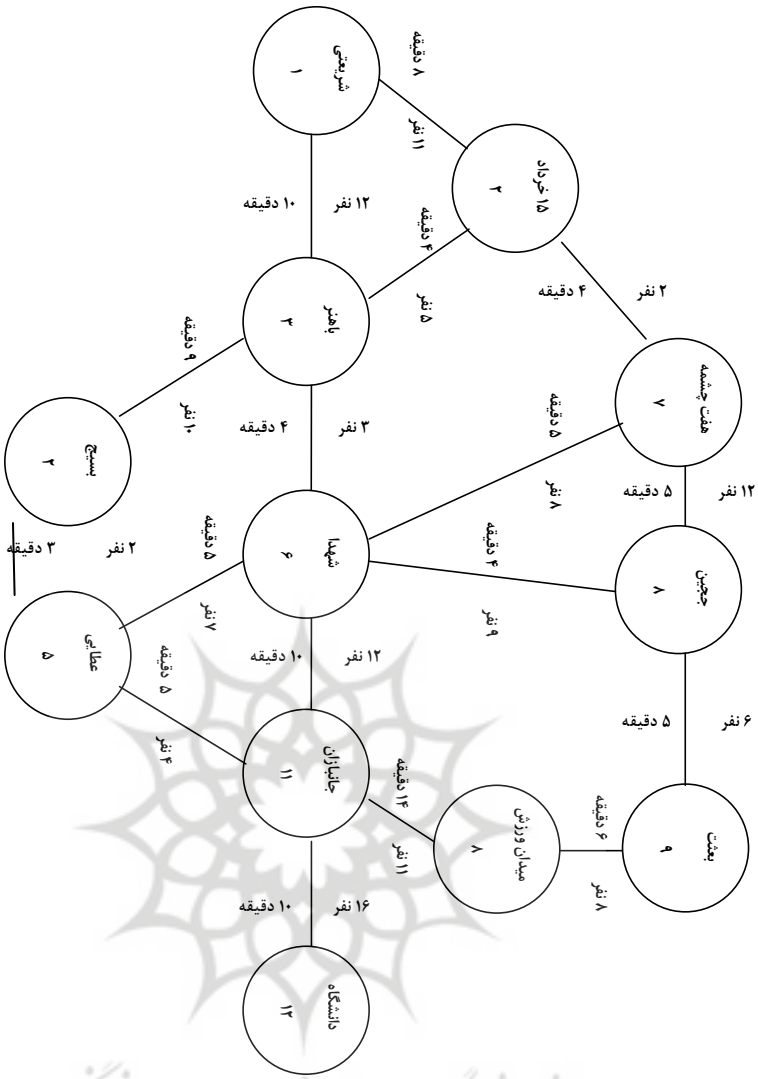



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**نمودار چهار- مسیر امام حسین- خاتم‌النبیین**

نمودار پنج- مسیر امام حسین- وحدت

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

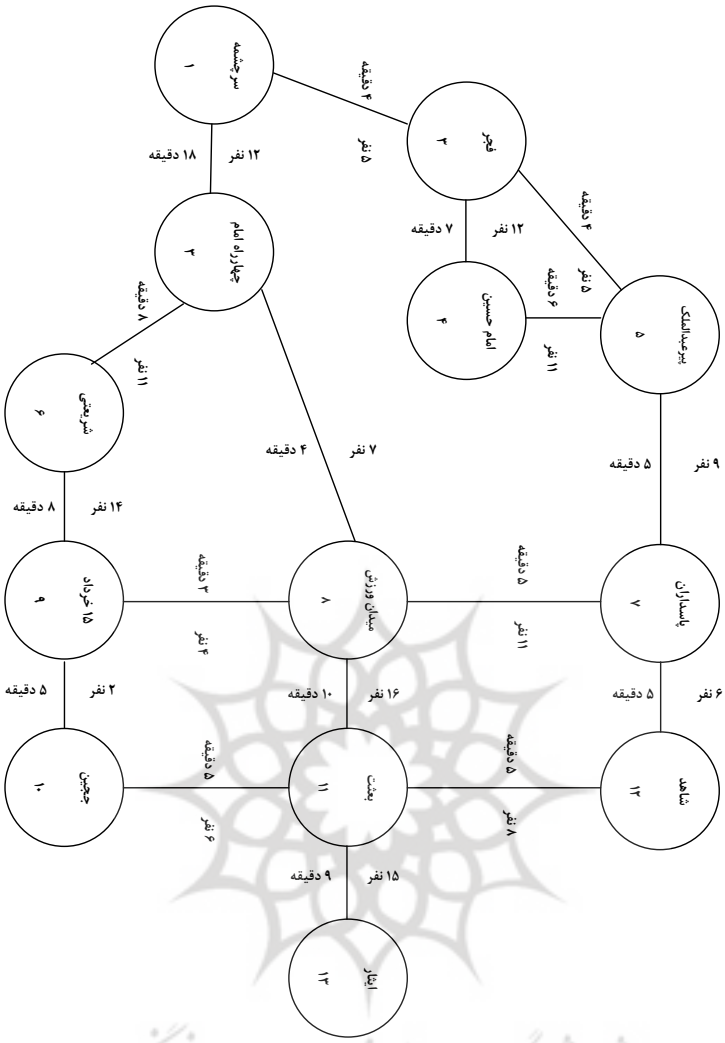



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**نمودار شش- مسیر شریعتی- دانشگاه**

نمودار هفت- مسیر شریعتی- باکری

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی




پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**نمودار هشت- مسیر سرچشمه- ایثار**

**نمودار نه- مسیر قیام- کلخوران**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## وضعیت فعلی شرکت اتوبوس‌رانی و داده‌های مسیرهای آن

**الف) توصیف وضعیت شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل و حومه**

شهرستان اردبیل با داشتن بافت سنتی و تراکم بالای جمعیت- به خصوص در میادین اصلی شهر- دارای ترافیکی سنگین است. در این میان حرکت اتوبوس‌های درون‌شهری هم بر ترافیک این شهر افزوده و هم با کاهش بار ترافیکی ناشی از جابه‌جایی مسافر از ترافیک آن کاسته است. خیابان‌های باریک که اغلب در مرکز شهر قرار دارند با تردد بسیاری مواجهند. این وضعیت به نحوی است که اتلاف وقت و انرژی بسیاری را بر اهالی تحمیل کرده و ضرورت بهینه‌سازی در یکی از مهم‌ترین بخش‌های حمل‌ونقل شهری، یعنی حمل‌ونقل عمومی را ایجاب کرده است.

شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل و حومه از بدو تأسیس خود در سال ۱۳۷۱ همواره با امکانات محدود خود سعی کرده خدمات قابل توجهی را به شهروندان ارائه کند. در حال حاضر با در نظر گرفتن ازدیاد تأسیس مراکز علمی و دانشگاهی و تشکیل ادارات کل مختلف در اردبیل (که هر کدام در جای خود منجر به مهاجرت بی‌رویه و افزایش جمعیت شهری شده‌اند) خدمات‌رسانی به کل شهروندان با مشکلات عدیده‌ای مواجه شده به طوری که میانگین جابه‌جایی مسافر در شهر اردبیل به چیزی حدود یک میلیون نفر در روز رسیده است.

در حال حاضر، شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل و حومه ۹۴ دستگاه اتوبوس فعال دارد که در هفت مسیر اصلی شهری به ارائه خدمات می‌پردازند. ساعت کار اتوبوس‌ها ۶:۳۰ صبح تا ۲۰:۳۰ است و بهای بلیت هر نفر آن ۲۰۰ ریال است. این در حالی است که طبق برآورد مسئولان شرکت، قیمت تمام شده هر مسافر بالغ بر ۹۰۰ ریال برآورد شده که البته بیشتر این هزینه‌ها به علت هزینه‌های بالای تعمیرات و نگهداری و اداری است.

**ب) مسیرهای حمل‌ونقل شرکت اتوبوس‌رانی**

همانگونه که قبلاً ذکر شد، نمودار سه تا نه، مسیرهای حمل‌ونقل شهری اردبیل را نشان می‌دهند. هر مسیر به صورت جداگانه و بر حسب زمان رسیدن از میدان I به j تعداد مسافر موجود در اتوبوس آن مسیر (از ایستگاه i به j) مشخص شده است.

استفاده از میادین به جای ایستگاه‌ها، تأثیری در جواب بهینه نخواهد داشت چراکه در محاسبه زمان بین میادین و تعداد مسافر جابه‌جا شده، تمامی ایستگاه‌های مابین

لحاظ شده است. حتی در صورت وجود خیابان فرعی بین دو میدان، انشعاب مربوط به آن خیابان به صورت یک مبدأ و مقصد مجزا در نظر گرفته شده است.
از آنجا که ساعاتی چون ۷:۳۰ و ۲:۳۰ به علت آنکه نیمه اول این ساعات معمولاً دارای ترافیک بسیار کم و نیمه دوم به علت شروع ساعت کاری و مدارس دارای بار ترافیکی بسیاری است و همچنین مشکل تقسیم‌بندی این ساعات به صورت کم‌تردد یا پرتردد از میانگین ساده آن استفاده کرده و ساعت شروع فعالیت ۶ صبح و ساعت پایان کار ۲۱ در نظر گرفته شده است.
همچنین طبق نظر مسئولان شرکت، ترجیح ساعات برای یک برنامه‌ریزی منعطف مدنظر نبوده و مسیر بهینه می‌تواند به عنوان یک مسیر ثابت در تمام ساعات جوابگو باشد. تعداد مسافران، تعداد افرادی است که در یک ایستگاه سوار اتوبوس شده‌اند و مقصد موردنظر آنها نامعلوم است. مقصد این مسافران می‌تواند از یک ایستگاه به هر ایستگاه دیگری باشد. میانگین تعداد مسافر به دست آمده، میانگین تعداد مسافر در آن مسیر است که از طریق میانگین ساده محاسبه شده است. در واقع در ابتدای کار تعداد مسافران تمامی ایستگاه‌های موجود شمارش شد، سپس این ایستگاه‌ها به گروه‌هایی تبدیل شدند که همان میادین موردنظر در شبکه هستند. بین دو میدان هیچ انشعاب دیگری وجود ندارد و اتوبوس نمی‌تواند از مسیر دیگری برای عبور استفاده کند.
زمان‌های ثبت شده روی نمودارهای سه تا نه نشانگر میانگین زمان‌های به دست آمده از ایستگاه‌های مختلف در مسیر موردنظر است که از شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل به دست آمده است اما زمان‌های مربوط به سایر گره‌ها که اتوبوس‌های شرکت در مسیرشان از آنها عبور نمی‌کنند از زمان‌گیری به وسیله کورنومتر حاصل شد. این زمان‌ها در طول سه ماه شهریور، مهر و دی به دست آمدند. برای هر مسیر ۱۸ بار زمان محاسبه شده و میانگین گرفته شد.

### فرموله کردن و مدل‌سازی مسئله

برای فرموله کردن یک مسئله، ابتدا باید از اهداف آن آگاهی کامل به دست آورد تا بتوان در قالب یک مدل به بررسی و بهینه‌سازی آن اقدام کرد. در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل معمولاً ابعاد و جنبه‌های بسیاری وجود دارد که پرداختن به همه آنها از حیطه این مقاله خارج است اما برخی از جنبه‌های مهم آن در اولویت است که می‌توان با مدل‌سازی تا حدی وضعیت موجود را بهبود بخشید.

مسئله اصلی در شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل و حومه عبارت است از تعیین مسیرهای بهینه به گونه‌ای که کمترین هزینه کل صورت را به همراه داشته و در عین حال بیشترین مسافر نیز جابه‌جا شوند. در اینجا، کمترین هزینه با کمترین زمان جابه‌جایی مترادف است که با توجه به عواملی متعدد نظیر شرایط فصل، اولویت مسیرها، میزان تردد و ساعات پرترافیک تعیین می‌شود.

**الف) اهداف اصلی مسئله بهینه‌سازی حمل‌ونقل شرکت واحد اتوبوس‌رانی**

در این بررسی«هدف» تعیین مسیرهای بهینه برای حرکت اتوبوس‌های شرکت است

دارای کمترین زمان ممکن باشد و بیشترین تعداد مسافر جابه‌جا شود. بدیهی است هر دو حالت فوق، موردنظر و مطلوب مسافر و شرکت واحد اتوبوس‌رانی است. در یک مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ساده برای رسیدن به اهداف فوق می‌توان از دو تابع ریاضی زیر استفاده کرد:

$$MinZ = \sum_i \sum_{i \neq j} t_{ij} x_{ij}$$

$$MaxZ = \sum_i \sum_{i \neq j} u_{ij} x_{ij}$$

که $t_{ij}$ مدت زمان رسیدن از ایستگاه i به j یا فاصله زمانی میان دو گروه i و j، $x_{ij}$ متغیر دو وضعیتی صفر و یک که حرکت از یک مسیر را ممکن یا غیر ممکن می‌سازد و $u_{ij}$ تعداد مسافر جابه‌جا شده از گروه i به j است. از آنجایی که دو هدف یادشده متضاد هم هستند (اولی در پی حداقل‌سازی و دومی در پی حداکثرسازی است) ضروری است در مواقع تضاد میان دو این هدف از تکنیک خاصی به نام «برنامه‌ریزی آرمانی[1]» بهره گرفت.

**ب) مدل برنامه‌ریزی آرمانی مسئله**

برای اینکه بتوان دو هدف حداقل‌سازی و حداکثرسازی را در قالب یک مدل نهایی بررسی کرد از مدل برنامه‌ریزی آرمانی استفاده می‌کنیم. برنامه‌ریزی آرمانی یکی از روش‌های برنامه‌ریزی با اهداف چندگانه و به خصوص متضاد با هم است که اولین بار در دهه ۶۰ توسط «چارنز و کوپر» ابداع شد و بعد از آن به وسیله «لی» توسعه داده شد. [۴] انواع مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی اثربخش مدل لکسیکو گرافیکی، مدل

[1] Goal Programming

وزنی، مدل ترکیبی و مدل جامع تابع ارزشی است. (برای کسب اطلاعات بیشتر به منبع ۱۸ مراجعه شود.)

**ب-۱) تابع هدف مسئله**

با بررسی‌های به عمل آمده، مشخص شد تابع هدف موردنظر با مدنظر قرار دادن دو هدف فوق در قالب یک برنامه‌ریزی آرمانی لکسیکو گرافیکی غیرجبرانی نرمال شده به صورت ذیل تبیین می‌شود:

$$Min\ Z = p_1 d_u^- + p_2 d_t^+ + p_2 d_3^+$$

**ب-۲) محدودیت‌های سیستمی**

هر کدام از دو هدف فوق دارای محدودیت‌هایی بوده که خاص خود مسئله است و به آنها محدودیت‌های سیستمی گویند. محدودیت‌های سیستمی مرتبط با محدودیت‌های هدفی اول عبارتند از:

۱) محدودیت در انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با فرض اینکه گروه j گروه مبدأ است.

$$(\sum_{i \neq j} x_{ij} = 1)$$

۲) محدودیت در انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با این شرط که j نه گروه مبدأ و نه گروه مقصد باشد.

$$\sum_{i \neq j} x_{ij} - \sum_{i \neq j} x_{JI} = 0$$

۳) محدودیت جهت انتخاب کوتاه‌ترین مسیر اگر j مقصد باشد.

$$x_{ij} = 0,1 \quad \text{و} \quad \sum_{i \neq j} x_{ij} = -1$$

**ج) پیش‌فرض‌های مدل**

هر مدل برنامه‌ریزی دارای پیش‌فرض‌هایی است که خاص خود آن مدل است. در ساخت این مدل نیز پیش‌فرض‌هایی به کار رفته است که عبارتند از:

* جریان در مسیر رفت و برگشت یکسان در نظر گرفته شد. هر چند تعداد مسافر در مسیر رفت یا مسیر برگشت یکسان نبوده اما به علت محدودیت زمانی تحقیق یکسان درنظر گرفته شده‌اند بنابراین در هر مسیر، کل مدت زمان بین ایستگاه‌ها برای حالت رفت محاسبه شده است.

* با توجه به مفروضات یادشده می‌توان مدل حمل‌ونقل را به صورت حداکثر جریان در شبکه در نظر گرفت چرا که با افزایش جریان در شبکه و کاهش زمان (هزینه) درآمد بیشتری عاید شرکت خواهد شد.

* هرچند در بین محدودیت‌های مدل با توجه به الزامات شهری و الزامات خدمات‌رسانی، محدودیتی طبق نظر صاحبنظران شرکت وضع شده است اما طبق نظر مسئولان شرکت اتوبوس‌رانی، حداکثر ظرفیت اتوبوس برابر ۶۴ نفر است و افزایش مازاد بر آن کیفیت مطلوبی نداشته به نحوی که رضایت مشتری جلب نمی‌شود. این محدودیت به صورت ذیل در نظر گرفته شد و برای تمامی مسیرها برقرار بود:

$$\sum x_{ij}u_{ij} + d_3^- - d_3^+ = 64$$

**د) محدودیت‌های آرمانی مدل**

محدودیت‌های مدل شامل دو نوع محدودیت‌های سیستمی و محدودیت‌های هدفی است. در حالت آرمانی، دو محدودیت هدفی نیز (که برگرفته از توابع هدف اولیه مسئله بوده‌اند) به عنوان آرمان به مسئله اصلی اضافه می‌شود.

$$\sum_i \sum_j x_{ij}t_{ij} + d_t^- - d_t^+ = 100$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij}u_{ij} + d_u^- - d_u^+ = 64$$

آرمان‌های مربوطه توسط مسئولان شرکت و صاحبنظران آن تعیین شده است. آنها معتقد بودند که آرمان‌های فوق خواسته‌های شرکت را نیز برآورده می‌سازد.

**و) مدل نهایی مسئله**

$$MinZ = p_1 d_u^- + p_1 d_t^+ + p_2 d_3^+$$

St:

$$\sum_{i \neq j} x_{ij} = 1$$

$$\sum_{i \neq j} x_{ij} - \sum_{i \neq j} x_{ij} = 0$$

$$-\sum_{i \neq j} x_{ij} = 1$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij}t_{ij} + d_t^- - d_t^+ = 100$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij}u_{ij} + d_u^- - d_u^+ = 64$$

$$\sum x_{ij}u_{ij} + d_3^- - d_3^+ = 64$$

$$x_{ij} = 0,1$$

این مدل برای تمامی مسیرها به اجرا درآمده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## نتایج اجرای مدل

در این تحقیق برای حل مسئله از برنامه خاصی که توسط مؤلفان تدوین شده استفاده شد. متن برنامه به زبان C++ بوده که در آن از الگوریتم فلوید استفاده شده است. این برنامه، مسیر بهینه رسیدن از هر گره به تمامی گره‌های دیگر را بررسی می‌کند.

این روش دستیابی به نتیجه از این نظر حائز اهمیت است که شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل و حومه به راحتی می‌تواند در صورت تغییر مسیر یا تعریف مسیر یا مسیرهای جدید، برآوردهای لازم را انجام داده و مسیر بهینه جدید را در اختیار داشته باشد. برای مثال، در مسیر امام حسین- وحدت در اصل گره ۱ «امام حسین» گره مبدأ و گره ۱۰ «وحدت» مقصد است.

نتیجه به دست آمده نه تنها مسیر بهینه‌ای را که اتوبوس باید حرکت کند، نمایان می‌سازد بلکه نشان می‌دهد در صورت تعریف مسیر جدیدی (از میادین موجود در یک مسیر) مانند میدان قیام به میدان خاتم‌النبیین، اتوبوس‌های شرکت باید از کدام میادین عبور کنند و چه نتیجه‌ای از حیث زمان و تعداد مسافر جابه‌جا شده حاصل می‌شود.

استفاده از نتایج حاصل تنها به یک مسیر محدود نمی‌شود بلکه می‌توان در صورت تلفیقی از مسیرها نیز از آن استفاده کرد. به عنوان مثال، اگر شرکت خواهان راه‌اندازی مسیر اتوبوس‌رانی جدیدی از میدان قیام (واقع در مسیر امام حسین- وحدت) به میدان کاشانی (واقع در مسیر حرکت امام حسین- حافظ) است، بهترین مسیر حرکت «قیام- امام حسین- پیرعبدالملک- کاشانی» خواهد بود. همچنین می‌توان نتیجه حاصل از نظر تعداد مسافر و زمان لازم را نیز برآورد کرد که در تحلیل هزینه- فایده راهگشای شرکت خواهد بود.

دو جدول یک و دو به مقایسه مسیرهای فعلی با مسیرهای بهینه از نظر معیار زمان و تعداد مسافر با توجه به محدودیت ظرفیت پرداخته است. در واقع این مسیرها همان مبادی و مقاصدی هستند که شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل و حومه انتخاب کرده و به خدمت‌دهی می‌پردازد.

**جدول یک - وضع موجود**

| نام مسیر | مسیر حرکت | زمان حمل (دقیقه) | تعداد مسافر (نفر) |
|---|---|---|---|
| حافظ- امام حسین | V1-V3-V7-V10-V11-V15-V16 | ۵۴ | ۶۶ |
| کلخوران- قیام | V1-V3-V5-V8-V10 | ۲۹ | ۳۴ |
| باکری- شریعتی | V1-V3-V6-V11-V12-V13 | ۲۸ | ۴۰ |
| دانشگاه- شریعتی | V1-V3-V6-V11-V12 | ۳۴ | ۴۴ |
| امام‌حسین-خاتم‌النبیین | V1-V3-V4-V6-V7-V8-V10 | ۶۸ | ۶۵ |
| سرچشمه- ایثار | V1-V3-V8-V11-V13 | ۲۸ | ۴۰ |
| امام‌حسین- وحدت | V1-V4-V8-V10 | ۳۸ | ۴۴ |

**جدول دو- وضع بهینه**

| نام مسیر | مسیر حرکت | زمان حمل (دقیقه) | تعداد مسافر (نفر) |
|---|---|---|---|
| حافظ- امام حسین | V1-V2-V6-V11-V15-V16 | ۴۷ | ۵۹ |
| کلخوران- قیام | V1-V3-V4-V8-V10 | ۲۳ | ۴۲ |
| باکری- شریعتی | V1-V2-V7-V11-V12-V13 | ۲۳ | ۳۸ |
| دانشگاه- شریعتی | V1-V3-V4-V5-V6 | ۴۷ | ۶۰ |
| امام‌حسین-خاتم‌النبیین | V1-V2-V9-V10 | ۴۵ | ۵۷ |
| سرچشمه- ایثار | V1-V2-V5-V8-V11-V13 | ۳۹ | ۶۷ |
| امام‌حسین- وحدت | V1-V4-V8-V10 | ۳۸ | ۴۴ |

نتایج حاصل به ترتیب به صورت مسیر بهینه حرکت از گره Vi به Vj، زمان صرف شده در مسیر و تعداد مسافر جابه‌جا شده است که در جدول آمده است. از مقایسه دو جدول می‌توان دریافت که تنها مسیر امام حسین- وحدت بهینه و سایر مسیرها همگی غیر بهینه هستند. با نگاهی به این دو جدول همچنین متوجه می‌شویم که در برخی مسیرها، زمان و تعداد مسافر هر دو بهبود نشان می‌دهند اما در برخی دیگر، یکی از آنها بهبود یافته و معیار دوم تغییر بهبودی نداشته است. به عنوان مثال، در مسیر کلخوران- قیام در وضع فعلی زمان رسیدن از ایستگاه مبدأ به ایستگاه مقصد برابر ۲۹ دقیقه و تعداد مسافر برابر ۳۴ نفر است و این در حالی است که در وضع بهینه این میزان به ۲۳ دقیقه و ۴۲ نفر بالغ شده است بنابراین مشاهده می‌شود در هر دو معیار، بهبود صورت گرفته است اما در برخی دیگر از مسیرها این وضع حکمفرما نیست. به عنوان مثال، در مسیر باکری- شریعتی مدت زمان از ۲۸ دقیقه در وضع فعلی به ۲۳ دقیقه در حالت بهینه کاهش یافته و این کاهش در تعداد مسافران از ۴۰ نفر به ۳۸ نفر نیز مشاهده می‌شود. از آنجا که در تابع هدف میزان

ترجیح این دو معیار برابر هم است بنابراین به ازای کاهش مسافر به میـزان دو نفـر، زمان حمل مسافر به میزان پنج دقیقه کاهش و در کل، تابع هدف بهبود یافته است. این تغییرات در صورت تعیین میزان تأثیر هر معیار در میزان درآمد یا هزینه شرکت می‌تواند تأثیرات خود را به نحو مطلوب‌تری نشان دهد.

## نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف طراحی مدل بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقـل شـهری طراحـی شده است. معیارهای مهم در این مدل عبارت بودند از زمان، هزینه و کیفیت حمل و جابه‌جایی مسافر. بـه دلیـل تعـدد و تضـاد میـان معیارهـا و اهـداف مسـئله، مـدل برنامه‌ریزی آرمانی جهت بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی شهری فرمولـه شد. جهت تست مدل نیز از داده‌های واقعی شرکت اتوبوس‌رانـی شـهری اردبیـل و حومه بهره گرفته شد. سپس توسط برنامه بهینه‌سازی به اجرا درآمد. نتایج بررسی‌ها بیانگر بهبود حاصله بر حسب معیارهای اصلی مدل بوده اسـت. نتیجـه ایـن بررسـی نشانگر آن است که بهره‌گیری از ایـن‌گونـه مـدل‌هـا در برنامـه‌ریـزی سیسـتم‌هـای حمل‌ونقل به خصوص حمل‌ونقل عمومی شهری (نظیر اتوبوس‌رانی) می‌تواند زمینـه بهبودی مؤثر در عملکرد ایـن‌گونـه سیسـتم‌هـا و رضـایت مسـافران را فـراهم کنـد. بهره‌گیری از مدل‌های یادشده امکان تحلیل و بهره‌گیری از فنون تحلیل حساسیت را فـراهم کرده و برنامه‌ریزی بهتر وضعیت آتی سیستم‌های حمل‌ونقل را میسر خواهند کرد به نحـوی که در آینده برای تحلیل تغییر مسیر می‌توان از این‌گونه مدل‌ها بهره جست.

پس از بررسی‌های به عمل آمده می‌توان پیشنهادهای زیر را مدنظر قرار داد:

* مناسب است شرکت اتوبوس‌رانی اردبیل و حومه و حتی سایر شرکت‌های حمل‌ونقل از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی حمل‌ونقل جهت بهینه‌سازی سیستم‌های خود استفاده کنند.
* تجهیز ناوگان حمل‌ونقل به اتوبوس‌هایی با گنجایش بیشتر، می‌تواند موجب شود محدودیت ظرفیت مدل مورد بررسی ما توسعه یافته و به مسافران بیشتری خدمات ارائه شود.
* ایجاد خطوط ویژه برای حرکت اتوبوس‌ها در سطح شهر می‌توانـد موجـب کـاهش مدت زمان رسیدن از مبدأ به مقصد شود.
* انجام تحقیقات بیشتر با تمرکز روی پراکندگی جمعیت در نقاط مختلـف شـهری، توزیع درآمد افراد و مسیرهای رفت و آمد افراد در ساعات مختلف از سوی شرکت.

* از لحاظ مفهومی شرکت اتوبوس‌رانی می‌تواند برای ساعت مختلف کاری مسیرهای حرکت متفاوتی را تنظیم کند، اطلاعات آن را از طریق تابلوهای الکترونیکی در ایستگاه‌های اتوبوس به مسافر انتقال دهد و زمان‌های دقیق‌تری را برای محاسبات و بهینه‌سازی تکمیلی به کار گیرد.

* مناسب است شرکت به تهیه مدل‌های بهینه‌ای بر اساس سایر معیارهای مهم اقدام کند تا بتواند در آینده در تصمیم‌گیری‌های شهری مؤثرتر عمل کرده و خدمات بیشتر و بهتری را به شهروندان ارائه دهد.

* به دلیل امکانپذیر بودن تحلیل حساسیت در صورت تغییر اهداف و آرمان‌ها و حتی نوع ساختار رحجان‌های شرکت و مسافران به راحتی می‌توان این تغییرات را مورد بررسی قرار داده و در صورت لزوم از انواع مختلف دیگر مدل‌های آرمانی بهره گرفت.

## منابع


[1] Vivian Salami, Gerardo Trinidad, nereid smith and leary marquez (2002) a meta data based system for urban Ttransportation data provision and analysis. http://www.iemss.org/iemss2002/proceedings/pdf/volume%20tre/219salim.pdf, accessed 31 august 2009

[2] ANZLIC metadata guideliens: core metadata elements for geographic data in Australia and new Zealand version 2 february 2001, ANZILIC metadata working group http://www.anzlic.org.au/asdi/metgidv2.pdf, accessed 31 agust 2009

[3] M. Bielli, P. Carotenuto (1998) A new approach for transportation network design and optimization. iItalian project on transportation-national research council, 38th congress of the european regional science association, 13 august.

[4] Sagaris, lake and Patricio, lanfranco (2004) citizens' participation in urban transportation planning and its impacts on costs: the case of ciudad viva, Santiago, chilc, paper presenled at the societe de transport de montreal conference, November 2004. www.stcum.ge.ca/transportsejc2004/resumes/ resume sagaris.pdf. accessed 31 august 2009

[5] Furth, P. G., Day F.B. (1985) Transit routing and scheduling strategies for heavy-demand corridors. in transportation research record 1011, TRB, national research council, washington d.c., pp.23-26.

[6] Hong Yuan, Huapu L. (2003) Evaluation and analysis of urban transportation efficiency in china, beijing institute of transportation engineering, tsinghua university, Beijing, china
[7] Zhou, T. (1997) Efficiency and supply-side economics. Economy and sciences publishing company, beijing, china.
[8] Song, B., Zhang, Y., and Bu, G.(1999) Grey comprehensive evaluation method for optimal value in fuzzy optimization problem, theory and practice of systems engineering, vol. 7, no.5 , pp. 100-104.
[9] Turnquist, M. A. (1979) Zone scheduling of urban bus route. journal of transportation engineering, vol. 105, no.1, pp.1-13.
[10] Turnquist, M. A., (1981) Strategies for improving reliability of bus transit service. in transportation research record 818, TRB, national research council, washington d.c. pp.7-13.
[11] Eberlin, X.J. (1995), Real time control strategies in transit operations: models anda", Ph.D. dissertation, department of civil and environmental engineering, massachusetts institute of technology.
[12] Sing M. K., (2000) An intelligent traffic monitoring system for expressways, proceeding 6th international conference on application of advanced technologies in transportation engineering, 28-30 june, singapore.
[13] Prakasam S.and Wang A.,[2004] Implementing vehicle location sSystem for public buses in singapore, journal of the institution of engineers, singapore, vol. 44, no. 2, pp.103-105
[14] Karim Bouamrane, Christian Tahin, Bouziane Beldjilali., A making-decision system for an urban transportation network. journal of computer science. vol. .5 no 3. october 2005.
[15] Dekhne Ashutosh, Real-world network optimization focusing on hard questions- not just collection data- yields better solutions. http://usco.kuehne-nagel.com/pdf/KN_wp_network_optimazation_021004.pdf. accessed 31 august 2009.
[16] Fu, Liping, Liu, Qing and Calamai, Paul (2003) Real-time optimization model for dynamic scheduling of transit operations, transportation research record, 1857, working paper no. 03-3697, committee on transportation network modeling
[17] Schrijver, A., (2002) On the history of the transportation and maximum flow problems. mathematical program. vol. 91, no.3, pp. 437-445.
[18] Anvary Rostamy, A. A. and Tabata, Y., (1998) Appraising the effectiveness of GP in incorporating the decision Maker's preferences. journal of operations research society of japan, vol. 41 no 2, pp. 279-288.