دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد

ریاضی کاربردی-تحقیق در عملیات

یک مدل تخصیص ترافیک پویا برای ارزیابی تنگراه متحرک

به کوشش:

فرشته مقدس

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا ملکی

اسفند ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب فرشته مقدس (۸۹۰۷۸۲) دانشجوی رشته‌ی تحقیق در عملیات دانشگاه شیراز اظهار می‌کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی از منابع دیگران استفاده کرده‌ام نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق آیین‌نامه مالکیت فردی و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: فرشته مقدس

تاریخ و امضا:۱۳۹۱/۱۲/۱۲

به نام خدا

یک مدل تخصیص ترافیک پویا برای ارزیابی تنگراه متحرک

به کوشش:

فرشته مقدس

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

ریاضی کاربردی-تحقیق در عملیات

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

دکتر حمیدرضا ملکی، دانشیار دانشگاه صنعتی شیراز (رئیس کمیته).....

دکتر محمد باقر احمدی، دانشیار بخش ریاضی دانشگاه شیراز .....

دکتر سید مرتضی میردهقان اشکذری، استادیار بخش ریاضی دانشگاه شیراز .....

اسفند ۱۳۹۱

تقدیم به

مادر بزرگوارم

که خورشید مهربانی‌هایش روزگارم را روشن می‌کند.

سپاسگزاری

سپاسگزار پروردگاری هستم که در تنگراه زندگی هرگز مرا به که و مه وانگذاشت.

و درود می فرستم به روح پاک پدرم که همواره حضور سبزش را کنارم احساس می کنم.

و بوسه میزنم به دستان پاک مادرم که ایثار را هر روز برایم معنا می کند.

و صمیمی ترین احساساتم نثار برادرانم باد که نفس هایشان هر روز به خاطرم می آورد که این دنیا ارزش زیستن دارد.

خالص ترین سپاس ها و درودهایم نثار استادار جمندم جناب آقای دکتر حمیدرضا ملکی باد که اگر راهنمایی ها و حمایت های ایشان نبود پیمودن این مسیر برایم صعب می شد. استادار جمندی که کمک کرد تا آنچه را که طی سالها آموخته بودم، تکمیل کنم و به سرانجامی برسانم که آرزویم بود. و سپاسگذاری می کنم از اساتیدار جمندم، جناب آقای دکتر محمدباقر احمدی و جناب آقای دکتر مرتضی میردهقان اشکذری که زحمت مشاوره ی این پایان نامه را به عهده داشتند. الهی کمک کن تا بتوانم از صندوقچه لغات واژه ای درست کنم که شایسته این بزرگواران باشد.

و تا همیشه قدردان زحمات جناب آقای محمد جواد شیروانی هستم که کمک های صمیمانه شان را هرگز از من دریغ نکردند.

پیروز و سربلند باشید.

فرشته مقدس

اسفند ۹۱

چکیده

یک مدل تخصیص ترافیک پویا برای ارزیابی تنگراه متحرک

به وسیله‌ی:
فرشته مقدس

تنگراه متحرک به وضعیتی از ترافیک گفته می‌شود که یک وسیله‌ی نقلیه با حرکت آهسته یا با اندازه‌ی بیش از حد معمول وارد جریان ترافیک شده و جریان معمول ترافیک را مختل می‌کند. تأثیر تنگراه متحرک روی جریان ترافیک فاکتور مهمی برای ارزیابی کارایی شبکه‌ی حمل‌ونقل است. همچنین می‌توان از آن به عنوان روشی برای تعیین حداقل سرعت در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها استفاده نمود.

در این پایان نامه با استفاده از یک مدل تخصیص ترافیک پویای مبتنی بر شبیه‌سازی اثر یک تنگراه متحرک روی جریان ترافیک را مورد بررسی قرار می‌دهیم. این مدل مسأله‌ی ترافیک را به صورت یک مسأله‌ی برنامه‌ریزی دوسطحی فرمول‌بندی می‌کند. سپس مدل را روی یک شبکه‌ی حمل‌ونقل نمونه پیاده می‌کنیم و نتایج حاصل را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب **ه**

فهرست جدول‌ها **ز**

فهرست شکل‌ها **ح**

۱ مقدمه **۲**

۱-۱ شبکه‌ی حمل‌ونقل ۴

۱-۲ نظریه‌ی صف ۶

۱-۳ مدل‌سازی تخصیص ترافیک ۹

۱-۴ تخصیص ترافیک پویا ۱۱

۱-۵ انواع مدل‌های تخصیص ترافیک پویا ۱۳

۱-۶ مروری مختصر بر برنامه‌ریزی دو سطحی ۲۱

۲ نظریه‌ی تنگراه متحرک **۲۵**

۲-۱ مقدمه ۲۵

۲-۲ مدل LWR ۲۶

۲-۳ مدل گازیس و هرمن ۲۸

۲-۴ مدل نیوول ۳۲

۲-۵ نظریه‌ی میونوز و داگانزو بر پایه‌ی مشاهدات آزمایشی ۳۸

۳ تشریح مدل DTA **۴۳**

۳-۱ تعاریف عمومی و ساختار کلی ۴۳

۳-۲ رویه‌ی بارگذاری شبکه ۴۷

۴ مطالعه‌ی آزمایشی **۶۰**

۴-۱ تشریح آزمایش شبکه ۶۱

۵ نتیجه گیری و پیشنهادات **۷۳**

مراجع **۷۵**

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی **۸۰**

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی **۸۲**

فهرست جدول‌ها

۴-۱ جدول درصد تقاضای متناظر بین هر کدام از مبدأها و مقصدها ۶۲
۴-۲ جدول مشخصات یال ۶۲
۴-۳ جدول تخصیص تقاضا به بازه‌های زمان-تقاضا ۶۳

فهرست شکل‌ها

۲-۱ نمودار رفتار وسایل نقلیه در مجاورت تنگراه متحرک. ۲۹
۲-۲ نمودار تراکم و سرعت در دولاین، روی سه ناحیه‌ی مجزا. ۳۱
۲-۳ رابطه‌ی بین جریان و چگالی در سیستم مختصات متحرک. ۳۳
۲-۴ مسیر شاک در سیستم مختصات متحرک. ۳۵
۲-۵ رابطه‌ی بین جریان و چگالی در سیستم مختصات ثابت. ۳۶
۲-۶ مسیر شاک در سیستم مختصات ثابت. ۳۷
۲-۷ خطوط ظرفیت حاصل از داده‌های آزمایشی بر روی نمودار جریان-چگالی. ۴۰
۲-۸ نمودار جریان پایین‌دست در مقابل سرعت تنگراه. ۴۱

۳-۱ مسیر حرکت چهار بخشی ۴۹
۳-۲ یک تنگراه متحرک که در ابتدای یال a واقع شده است ۵۱
۳-۳ یک تنگراه متحرک که صف در انتهای یال a به آن می پیوندد. ۵۱

۴-۱ یک شبکه‌ی نمونه ۶۱
۴-۲ نمودار متوسط زمان سفر روی شبکه با سطوح تقاضای مختلف و تنگراه با سرعت‌های مختلف ۶۴
۴-۳ نمودار زمان تأخیر سفر روی شبکه با سطح تقاضای مختلف و تنگراه با سرعت‌های مختلف ۶۵
۴-۴ مسیرهای مختلف مورد استفاده در شبکه‌ی نمونه ۶۶

۴-۵ درصد توزیع سفرها روی سه مسیر مختلف با شروع از مبدأ ۱، روی شبکه‌ی پایه . . ۶۷
۴-۶ درصد توزیع سفرها روی سه مسیر مختلف با شروع از مبدأ ۱، روی شبکه‌ی دارای تنگراه متحرک ۶۷
۴-۷ درصد توزیع سفرها از مبدأ ۲ به مقصد ۳،در شبکه‌ی پایه ۶۸
۴-۸ درصد توزیع سفرها از مبدأ ۲ به مقصد ۳،در شبکه‌ی دارای تنگراه متحرک ۶۹
۴-۹ درصد توزیع سفرها از مبدأ ۲ به مقصد ۴،در شبکه‌ی پایه ۷۰
۴-۱۰ درصد توزیع سفرها از مبدأ ۲ به مقصد ۴،در شبکه‌ی دارای تنگراه متحرک ۷۰

فصل اول

۱

مقدمه

با توجه به افزایش چشمگیر مسیرهای شهری طی چند دهه‌ی اخیر، رشد سریع میزان وسایل نقلیه‌ی در حال تردد در سطح شهرها و همچنین اهمیت روزافزون مسأله زمان در دنیای امروز، ترافیک و بررسی معضلات و پیامدهای ناشی از آن، از جمله مسائلی است که در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. علاوه براین افزایش آمار تصادفات، هرج و مرج‌ها و زیان‌های اقتصادی و فجایع انسانی به بار آمده ناشی از ترافیک از قبیل مرگ و میرها و همچنین مسائل روانی، موجبات نگرانی مدیران و مسئولان ترافیک را فراهم آورده است. بنابراین می‌توان گفت که اهمیت بررسی معضلات ترافیکی با توجه به حجم انبوه وسایل نقلیه انکار ناپذیر است.

یکی از وضعیت‌هایی که می‌تواند در جریان وسایل نقلیه موجود در یک شبکه‌ی ترافیکی تأثیر نامطلوبی داشته باشد وجود وسایل نقلیه سنگین، یا وسایل نقلیه‌ای است که با سرعتی پایین‌تر از سرعت جریان معمول ترافیک حرکت می‌کنند. وجود چنین وسایلی باعث ایجاد یک ناپیوستگی در جریان معمول ترافیک می‌شود. در جریان‌های ترافیکی چنین وضعیتی **تنگراه متحرک** نامیده می‌شود. یعنی زمانی که در یک بزرگراه، یک وسیله‌ی نقلیه‌ی سنگین، با حرکت آهسته و مدت زمان انتقال طولانی، جریان عمومی ترافیک را مختل می‌کند. این موضوع به نوبه‌ی خود باعث تأخیر در حرکات ترافیکی شده و کارایی شبکه کاهش می‌یابد. بنابراین توانایی ارزیابی اثر تنگراه متحرک روی کارایی شبکه و پیدا کردن مسیرهای بهینه برای برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت و تخصیص ترافیک، فاکتور بسیار مهمی است. در حقیقت، یکی از عوامل تأثیرگذار در یافتن مسیرهای بهینه وجود تنگراه متحرک می‌باشد. لذا تحلیل و بررسی این وضعیت بر روی مدت زمان سفر و همچنین در

افزایش کارایی شبکه نیز تأثیرگذار است.

در این پایان‌نامه هدف ما ارزیابی و تسهیل اثر تنگراه متحرک روی کارایی شبکه، در قالب تعیین زمان حرکت و مسیرحرکت، با استفاده از یک مدل تخصیص ترافیک پویا[1] (DTA) می‌باشد. نتایج این تحلیل می‌تواند جهت یافتن یک مجموعه از مسیرهای بهینه (که میزان تأخیر وسایل نقلیه در شبکه حمل و نقل در حضورتنگراه متحرک را کمینه می‌کند) مناسب باشد.

پیش از آنکه وارد بحث تنگراه متحرک و بررسی اثر آن بر جریان ترافیک شویم به مفاهیمی نیازمندیم که در این بخش به آنها می‌پردازیم.

[1] Dynamic Traffic Assignment

مفاهیم مقدماتی

۱-۱ شبکه‌ی حمل‌ونقل

یک شبکه می‌تواند زیربنای نقل و انتقال افراد، کالاها و خدمات را فراهم آورد. شبکه‌ها به اشکال مختلف از جمله شبکه‌های حمل‌ونقل (راه‌های هوایی، راه‌های آبی، خطوط راه‌آهن و جاده‌ها)، شبکه‌های ارتباطی (اینترنت)، شبکه‌های وابسته به انرژی (قدرت برق، گاز و نفت) و زنجیره‌های عرضه در زندگی بشر ظاهر می‌شود [۳۳]. اگرچه شبکه‌ها در طول تاریخ دچار تغییر و تحول بوده‌اند، با این وجود همواره راه‌های عبوری را برای بشر فراهم آورده‌اند که از طریق آن افراد با هم در ارتباط بوده و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی خود را هدایت کرده‌اند.

پیدایش و تحول شبکه‌های فیزیکی در طول زمان، منجر به افزایش تئوری‌های جالب و روش‌های علمی برای مدل‌سازی و تحلیل مسائل شبکه و حل این مسائل شده است. از نقطه‌نظر ریاضی، مسائل شبکه با استفاده از گراف‌ها مدل‌سازی و مطالعه می‌شوند که در این صورت گراف را می‌توان نمودی از شبکه‌ی واقعی در نظر گرفت که در آن گره‌ها به عنوان مراکز و یال‌ها به عنوان راه‌های ارتباطی بین آن مراکز در نظر گرفته می‌شود. وقتی که شبکه‌ی مورد بحث یک شبکه‌ی حمل و نقل باشد، گره‌ها نمایشگر مبدأ و مقصد و تقاطع‌هاست. یال‌های متناظر نیز بسته به نوع شبکه‌ی حمل و نقل می‌توانند جاده‌ها، خطوط راه‌آهن، مسیر حرکت کشتی‌ها و غیره باشد. همچنین شبکه‌ها شامل جریان‌هایی است که این جریان‌ها می‌تواند ترافیک وسایل نقلیه، هواپیماها و غیره باشد. شبکه‌های حمل و نقل در واقعیت می‌توانند چندگانه باشند. مثلاً شبکه‌ی حمل و نقل شهری می‌تواند شامل حمل و نقل شخصی و عمومی باشد. در مورد یال‌ها عموماً بحث هزینه مطرح می‌شود که این هزینه نشان دهنده‌ی میزان تراکم است.

شبکه‌ها را می‌توان به روش متمرکز[۲] یا غیرمتمرکز [۳] مدیریت کرد. برای حل یک مسأله‌ی

[۲] Centralized

[۳] Decentralized

سیستم بهینه[۴] (SO) از روش متمرکز و برای حل یک مسأله‌ی **کاربر بهینه**[۵] (UO) از روش غیرمتمرکز استفاده می‌شود.

در مسائل UO که عمدتاً در مباحث حمل و نقل با سطح تراکم بالا مطرح می‌شود، ابتدا باید جریان‌های مسیرها و یال‌ها را طوری مشخص کنیم که سطح تقاضا برای هر جفت مبدأ-مقصد[۶] (O/D) از گره‌ها و همه‌ی مسیرهای مورد استفاده را برآورده کند. این مسیرها شامل دنباله‌ی یال‌هایی است که هر جفت O/D را به هم متصل می‌کند و دارای هزینه‌های سفر (یا زمان سفر) کمینه و مساوی با هم هستند. در عین حال، این فرآیند به گونه‌ای صورت می‌گیرد که پس از تخصیص این جریان‌ها روی مسیرها، هیچ‌کدام از کاربران شبکه تمایلی به تغییر دادن مسیر خود ندارند. این وضعیت عموماً به **تعادل شبکه‌ی حمل و نقل**[۷] اشاره دارد. در یک مسأله‌ی SO در عین حال که باید تقاضا برآورده شود هزینه‌ی کل شبکه نیز باید کمینه شود.

یک مثال عالی از تفاوت بین رفتار UO و رفتار SO در **پارادوکس برائس**[۸] است که طبق این پارادوکس، اضافه کردن یک جاده یا یال جدید (با فرض رفتار UO)) باعث افزایش هزینه برای همه‌ی کاربران شبکه می‌شود. این در حالی است که اکنون رانندگان یک مسیر جدید برای رفتن از مبدأ به مقصد خود در اختیار دارند. چنین پارادوکسی توجه بسیاری در علوم کامپیوتر در زمینه‌ی اینترنت، که یک شبکه‌ی غیرمتمرکز در مقیاس بزرگ است را به خود جلب کرده است.

به منظور تغییر رفتار کاربران، سیاست‌های مختلف از جمله دریافت عوارض، می‌تواند به شبکه‌ی حمل و نقل و دیگر شبکه‌ها تحمیل شود. اعمال چنین سیاست‌هایی می‌تواند جواب مسائل UO و SO را برهم منطبق کند. به وضوح هر بهبود یا پیشرفت به وجود آمده برای یک شبکه، حتماً باید رفتار کاربران شبکه را مورد توجه قرار دهد.

شبکه‌های مختلف می‌توانند به هم مرتبط باشند؛ به عنوان مثال اینترنت با شبکه‌ی حمل و نقل، در بحث تجارت الکترونیکی و یا اینترنت با سیستم‌های اقتصادی در یک سرمایه‌گذاری اقتصادی می‌توانند در هم آمیخته شوند. شبکه‌ها می‌توانند دارای جریان‌های متعدد باشند. سطح تقاضا می‌تواند ثابت یا متغیر باشد، جایی که میزان جذب تخصیص داده شده به حرکت بین یک جفت مبدأ-مقصد (O/D)، به میزان تقاضای متناظر آن بستگی دارد.

---

[۴] System Optimized

[۵] User Optimized

[۶] Origin/Destination

[۷] Transportation network equilibrium

[۸] Braess paradox

مفهوم تعادل شبکه که از مفاهیم اصلی در موضوع حمل و نقل می‌باشد، در سایر شبکه‌ها نیز قابل استفاده می‌باشد؛ از جمله در تجارت بین منطقه‌ای کالا، شبکه‌های زنجیره‌ای عرضه و شبکه‌های تولید و توزیع قدرت برق، و همچنین در جریان بودجه‌ی مالی. اخیراً نشان داده شده است که مسائل شبکه‌ی مالی را با کمی کوشش می‌توان اصلاح کرد و به عنوان یک مسأله‌ی تعادل شبکه‌ی حمل و نقل حل کرد [۵].

در اولین مدل‌های ریاضی که شبکه‌ی حمل و نقل را مورد بررسی قرار می‌دادند، فرض بر این بود که هزینه‌ی تخصیص داده شده به حمل و نقل یک واحد کالا روی هر یال، ثابت و مستقل از حجم جریان روی آن یال است. مدل‌های متناظر با این دسته از مسائل حمل و نقل، از نوع مدل‌های برنامه‌ریزی خطی هستند و برای حل این مسائل از الگوریتم‌های خاص استفاده می‌شود که اساس آنها ساختار شبکه می‌باشد. مدل‌های تعمیم‌یافته برای این دسته از مسائل، دارای فرمول‌بندی مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی درجه دوم است.

مسائل تعادل روی شبکه با تأکید بر حمل و نقل، اساساً به صورت مسائل بهینه‌سازی غیرخطی فرمول‌بندی می‌شوند. همچنین برای حل مسائل تعادل شبکه‌های ترافیکی چندگانه با سطح تقاضای ثابت یا متغیر از فرمول بندی نامساوی‌های متغیر[۹] (VI) استفاده می‌شود. برای مطالعه‌ی بیشتر در این زمینه می‌توانید به مرجع [۳۲] مراجعه کنید.

چون شبکه‌ها اساس رویکرد جامعه و اقتصاد ما را فراهم می‌کند، لازم است که قادر باشیم آسیب‌پذیری آنها (به عنوان مثال بلایای طبیعی، خسارت ناشی از فرسودگی، یا تعمیر و نگهداری نامناسب و غیره) را مشخص کنیم. در واقع تشخیص مهم‌ترین گره‌ها و یال‌ها به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند که بداند کدام مؤلفه‌های شبکه باید بیشتر حفظ و نگهداری شوند. چون اختلال در این مؤلفه‌ها ممکن است بزرگترین آسیب را به شبکه بزند. در نهایت لازم به تأکید است که مفاهیم شبکه و مدل‌ها، همچنین برای تصمیم‌گیری روی شبکه و درک شباهت‌ها و تفاوت‌های سیستم و شبکه‌های حمل و نقل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲ نظریه‌ی صف

به بیان ساده، **صف** در یک شبکه‌ی حمل و نقل زمانی شکل می‌گیرد که تقاضا بیشتر از ظرفیت باشد. مثلاً زمانی که اتومبیل‌ها در یک کارواش منتظر دریافت سرویس یا پشت چراغ قرمز منتظر

[۹] Variational Inequality

سبز شدن چراغ هستند، زمانی که هواپیماها روی باند منتظر اجازه‌ی پرواز هستند، تماس‌های تلفنی که در مراکز تلفن منتظر پاسخ هستند و یا افرادی که منتظر بررسی اطلاعات امنیتی برای ورود به یک شبکه‌ی اطلاعاتی خاص هستند. به عبارت دیگر، **تراکم** زمانی رخ می‌دهد که نرخ سرویس‌دهی در یک بازه‌ی زمانی کمتر از نرخ ورود باشد. از طرف دیگر، تا زمانی که نرخ سرویس‌دهی در یک بازه‌ی زمانی بزرگ‌تر از نرخ ورود نباشد، صف از هم گسیخته نمی‌شود. در اینجا ورود به صف به عنوان ورودی یا **تقاضا** برای یک صف نامیده می‌شود. در حالی که سرویس، با خروجی موجودی، ترخیص، تخلیه یا **ظرفیت** مشخص می‌شود. در اصل، در تحقیقات آنالیزی نظریه‌ی صف شکل‌گیری و رفتار و دنباله‌ی صف‌ها را مطالعه می‌کند.

تحلیل صف دو خط مشی را در بر می‌گیرد: ماکروسکوپیک[۱۰] و میکروسکوپیک[۱۱]. روش ماکروسکوپیک فرض می‌کند که جریان ورودی و سرویس‌ها پیوسته هستند و یک مجموعه از وسایل نقلیه را آنالیز می‌کند که در آن میزان جریان از نرخ بالایی برخوردار است. از طرف دیگر یک روش میکروسکوپیک، ورودی و سرویس گسسته و وسایل نقلیه‌ی فردی، وقتی که نرخ جریان پایین باشد را تحلیل می‌کند. آنالیز میکروسکوپیک معمولاً به خط سیر ورود گسسته و سرویس وسایل نقلیه‌ی فردی نیاز دارد. نمودار جریان به صورت بصری به فهم و تحلیل سیستم صف قطعی کمک می‌کند. اطلاعات دیگر از قبیل روش سرویس‌دهی نیز به عنوان نظم صف شناخته می‌شود. **FIFO**[۱۲] سیستم صف بر مبنای نوبت، بدین‌معنی‌که وسیله‌ی نقلیه‌ای که زودتر وارد صف شده زودتر خارج می‌شود، **FILO**[۱۳] بدین معنی که وسیله‌ی نقلیه‌ای که زودتر وارد صف شده دیرتر از آن خارج می‌شود و **SIRO**[۱۴] سرویس‌دهی به ترتیب تصادفی است. نوع دیگری از سرویس‌دهی نیز موجود است که در آن سرور تشخیص می‌دهد که کدام وسیله‌ی نقلیه در اولویت سرویس‌دهی است.

علامت‌گذاری A/S/N که توسط کندال[۱۵] معرفی شد به عنوان علامت‌گذاری استاندارد برای دسته‌بندی و آنالیز صف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این علامت گذاری A به عنوان ورودی، S به عنوان روند سرویس یا توزیع زمانی و N به عنوان تعداد سرویس‌ها (به عنوان مثال تعداد شمارنده‌ها

---

[۱۰] Macroscopic

[۱۱] Microscopic

[۱۲] First In First Out

[۱۳] First In Last Out

[۱۴] Servis In Random Order

[۱۵] Kendall

برای بررسی تعداد ورود و خروج، یا تعداد گیشه‌های دریافت عوارض) می‌باشد. (درواقع یک سیستم صف را در حالت کلی به طور قراردادی به صورت A/S/N/K/Z نشان می‌دهند که در این حالت K ظرفیت صف و Z نظم سیستم را نشان می‌دهد. در علامت‌گذاری کندال فرض می‌شود که ظرفیت صف بینهایت است و همچنین نظم سیستم بر مبنای نوبت، یعنی FIFO است لذا حروف K و Z حذف شده است). توزیع‌های معمول برای نرخ ورود و سرویس، شامل توزیع مارکوف[۱۶] (که با M نشان داده می‌شود)، توزیع ارلانگ[۱۷] (که با E نشان داده می‌شود)، وتوزیع قطعی[۱۸] (که با D نشان داده می‌شود) می‌باشد. به عنوان مثال ساده‌ترین سیستم صف تصادفی M/M/1 است که نشان می‌دهد یک سرور نرخ ورود و سرویس‌دهی که هر دو از فرایند مارکوف پیروی می‌کند را، چک می‌کند. با وجود اینکه اکثر سیستم‌های صف در جهان واقعی تصادفی هستند و باید با استفاده از روش‌های آنالیزی احتمال تحلیل شود، اما تعدادی از مسائل صف‌های حمل‌ونقل را می‌توان با این فرض که ورودی و توزیع سرویس روی آنها قطعی هستند ساده کرد که از آنها به عنوان سیستم صف D/D/n یاد می‌شود. در این موارد تحلیل‌گر فرض می‌کند که زمان دقیق توزیع‌های ورود و سرویس‌دهی مشخص است. به عنوان مثال، برای ساده کردن آنالیز فرض می‌شود تعداد ورودی و سرویس دهی در تقاطعات ثابت است و افزایش و کاهش نرخ ورود برای زمان اوج بار ترافیک روی بزرگراه به صورت خطی تغییر می‌کند.

تقریباً نیم قرن است که نظریه‌ی صف در حمل و نقل به کار برده می‌شود و هنوز یک ابزار گرانبها برای کمک به حمل و نقل حرفه‌ای برای تطبیق تقاضای روزافزون ترافیک است. تحقیقات حمل‌ونقل معمولاً با وضعیت‌های صف زیادی برخورد می‌کنند. از قبیل تقاطعات، تسهیلات عوارض امکانات پارکینگ‌های عمومی، تنگراه‌های آزادراه‌ها، مکان‌های حوادث ترافیکی و نواحی اتصال و پخش مسیرها. این وضعیت‌ها می‌توانند اثر زیادی روی پویایی و امنیت راه‌ها بگذارد. یک آنالیز صف مناسب می‌تواند یک برنامه‌ریزی موثر، طراحی یک شبکه‌ی حمل‌ونقل و تحقیق روی آن را تسهیل کند. به عنوان مثال کارائی تنوع تکنولوژی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند[۱۹] (ITS) شامل کنترل سیگنال هوشمند، مجموعه‌ی عوارض الکتریکی، تحقیقات وسایل نقلیه‌ی تجاری پیشرفته. مدیریت اتفاقات و کاهش ازدحامات ترافیکی، می‌تواند صورت تحلیلی صف را مورد مطالعه قرار دهد و به مدیریت و کنترل جریان وسایل نقلیه و افراد به روش مؤثر و کارامدی کمک کند. برای

[۱۶] Markov

[۱۷] Erlang

[۱۸] Deterministic

[۱۹] Intelligent Transportation System