دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده علوم پایه

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی

گرایش: تحقیق در عملیات

مسئله‌ی تخصیص ترافیک و بهینه سازی برخی پارامترهای شبکه‌ی حمل و نقل شهری

دانشجو:

محمد جواد شیروانی

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا ملکی

شهریورماه ۱۳۸۹

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

سپاس پروردگار بی‌همتا که نعمت دانش آموزی را نصیبم ساخت. بر خود واجب می‌دانم از کلیه عزیزانی که در تمامی مراحل این پایان‌نامه مرا راهنمایی و یاری کرده‌اند، سپاس‌گزاری نمایم.

با عرض امتنان از الطاف بی‌دریغ استاد عزیزم، جناب آقای دکتر حمیدرضا ملکی که همیشه مدیون راهنمایی‌های ایشان خواهم بود.

با تقدیم سپاس به محضر اساتید بزرگوار، جناب آقای دکتر حسام‌الدینی و جناب آقای دکتر علیرضا فخارزاده و سرکار خانم دکتر جاهدی که تا همیشه مرهون راهنمایی‌ها و زحمات ایشان خواهم بود. با تقدیر از عنایات بزرگوارانه جناب آقای دکتر حسام‌الدینی و جناب آقای دکتر مصطفی خرمی‌زاده که زحمت داوری این پایان نامه را متحمل شدند همچنین در انتها تقدیر و تشکری خالصانه از هم ترمی‌هایم ابراز می‌دارم

محمد جواد شیروانی

شهریور ماه ۱۳۸۹

چکیده

تحلیل وبهینه سازی شبکه‌ی حمل و نقل شهری از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود. اولین بخش آن، مسئله‌ی تخصیص ترافیک است، که ابزاری مهم برای پیشگویی میزان عبور و مرور روی خیابان‌های شبکه حمل و نقل شهری می‌باشد. دومین قسمت، زمان‌بندی سیگنال های چراغ راهنمایی برای بهبود خدمات است. در این پایان نامه ابتدا به معرفی مسئله‌ی تخصیص ترافیک، بررسی کارایی برخی از مدل‌ها و روش حل یکی از این مدل‌ها پرداخته شده است. در ادامه پس از تعریف پارامترهای مختلف چراغ راهنما و معرفی مدل زمان‌بندی چراغ راهنما در یک شبکه‌ی حمل و نقل شهری، نحوه‌ی محاسبه‌ی میزان تأخیر و تعداد توقف، در شبکه بررسی شده است. معرفی نرم‌افزار ترانسیت و زمان‌بندی چراغ راهنما در یکی از محدوده‌های ترافیکی شهر شیراز با استفاده از نرم افزار ترانسیت نیز از جمله مطالبی است که در این پایان نامه به آن پرداخته شده است.

فهرست مندرجات

۱ مقدمات ۱

۱.۱ تاریخچه ۲

۲.۱ نظریه‌ی احتمال ۵

۱.۲.۱ توزیع احتمال یک متغیر تصادفی ۷

۲.۲.۱ توزیع پواسون ۹

۳.۲.۱ توزیع نمایی ۹

۴.۲.۱ توزیع گامبل ۱۰

۳.۱ نظریه‌ی صف ۱۰

۱.۳.۱ معیارهای ارزیابی سیستم صف ۱۲

۲.۳.۱ دوره‌ی گذرا و دوره‌ی پایدار در صف ۱۳

۳.۳.۱ مدل های صف بندی قطعی ۱۴
۴.۳.۱ مدل های نمایی در سیستم های صف ۱۴

۴.۱ نظریه‌ی انتخاب مجزا ۱۶
۱.۴.۱ تابع انتخاب ۱۷
۲.۴.۱ چند جمله ای لاجیت ۱۸

۲ مسئله‌ی تخصیص ترافیک ۲۰

۱.۲ مقدمه ۲۱

۲.۲ مدل تعادل کاربر ۲۴

۳.۲ مسئله‌ی تعادل کاربر تصادفی ۲۸

۴.۲ یک الگوریتم برای حل مسئله‌ی تعادل کاربر تصادفی ۳۳

۵.۲ نتیجه‌گیری ۴۴

۳ مدل سازی زمان بندی چراغ راهنما ۴۶

۱.۳ چراغ‌های راهنمایی ۴۷
۱.۱.۳ زمان‌بندی چراغ راهنما ۵۲

۲.۳ شاخص های شبکه ۵۴
۱.۲.۳ محاسبه‌ی نرخ یکنواخت تأخیر و تعداد یکنواخت توقف . . ۵۷
۲.۲.۳ ضریب خینچین برای تقاطع‌های مختلف ۶۹

۳.۳ میزان توقف در حالت تصادفی و شرایط فوق اشباع ۶۹

۴.۳ تأثیر سیگنال‌های چراغ راهنما بر میزان جریان ۷۰

۴ معرفی بسته‌ی نرم افزاری ترانسیت ۷۳

۱.۴ مقدمه ۷۴

۲.۴ برخی از امکانات بسته‌ی نرم افزار ترانسیت ۷۵
۱.۲.۴ نمایش شبکه‌ی حمل ونقل شهری در نرم‌افزار ترانسیت . . ۷۵
۲.۲.۴ زمان‌بندی چراغ راهنمایی در ترانسیت۱۳ . . . . . ۸۲
۳.۲.۴ استفاده از پرده‌ی زمان‌بندی یال همراه با حافظه‌ی موقت . . ۸۴

۳.۴ تنظیم پارامترهای چراغ راهنمایی ۸۷

۴.۴ نتیجه‌گیری ۹۳

۵ مثال کاربردی و نتایج عددی ۹۴

۱.۵ مقدمه ۹۵

۲.۵ مثال ۹۵

۳.۵ نتیجه‌گیری ۱۰۴

٦ نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۵

۷ واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۱۰۹

۸ کتاب نامه ۱۱۳

فصل ۱

مقدمات

۱.۱ تاریخچه

در تجزیه و تحلیل مسائل حمل و نقل شهری، با دو مسئله‌ی تخصیص ترافیک و تنظیم پارامترهای شبکه‌ی حمل و نقل شهری سروکار داریم. مسئله‌ی تخصیص ترافیک شالوده و زیر بنای مسائل حمل و نقل شهری می‌باشد. محققین این موضوع به مطالعه و کنکاش در مورد ویژگی‌های شبکه مانند خصوصیات راه‌های شهری، رفتار کاربران شبکه‌ی حمل نقل شهری و میزان جریان روی یال‌های مختلف شبکه می‌پردازند. یکی از مهمترین و تأثیر گذارترین انواع پارامترهای شبکه، زمان‌بندی چراغ‌های راهنما می‌باشد. چراغ‌های راهنما غالباً به دو صورت زیر کنترل می‌شوند:

۱) زمان‌بندی چراغ راهنما به صورت زمان—حقیقی،

۲) زمان بندی چراغ راهنما به صورت زمان—ثابت.

در زمان‌بندی چراغ راهنما به صورت زمان—حقیقی، با استفاده از دوربین‌های خودکار، همزمان با بررسی شرایط ترافیکی، زمان‌بندی چراغ راهنما انجام می پذیرد. با توجه به اینکه در زمان‌بندی چراغ راهنما به صورت زمان—حقیقی براساس شرایط واقعی ترافیک عمل تصمیم گیری انجام می‌شود، مزیت‌های زیادی وجود دارد؛ به عنوان مثال، در هنگام استفاده از این روش‌ها در صورت وقوع تصادف، قادر به تنظیم چراغ راهنما براساس شرایط جدید ترافیکی حاصل از تصادف هستیم. همچنین سیستم‌هایی که به صورت زمان — حقیقی به تنظیم پارامترهای چراغ راهنما می‌پردازند، قابلیت کنترل عملیات اورژانسی را نیز دارند (به عنوان مثال هنگامی که یک آمبولانس به تقاطع نزدیک می‌شود، سیستم به‌صورت اتوماتیک می‌تواند تصمیم به تغییر علامت‌های چراغ راهنما، برای عبور هرچه سریع‌تر آمبولانس بگیرد).

با این وجود، پیاده‌سازی روش‌های زمان—حقیقی نیازمند صرف هزینه‌های زیاد می‌باشد. همچنین ایجاد هماهنگی بین تقاطع‌های یک شبکه در این روش تقریباً غیرممکن است. در این روش به علت مشخص نبودن زمان‌بندی ثابت برای چراغ راهنما، قادر به پیشگویی شرایط ترافیک نیستیم.

در زمان‌بندی چراغ راهنما به صورت زمان—ثابت، برنامه‌ی زمان‌بندی چراغ‌های راهنما برای یک مدت زمانی معین، از قبل مشخص می‌شود. دراین نوع زمان‌بندی، معمولاً براساس داده‌های قبلی، برای زمان‌بندی چراغ‌های راهنما تصمیم‌گیری می‌شود. در روش زمان—ثابت می‌توان بین تقاطع‌های شبکه هماهنگی ایجاد کرد. همچنین استفاده از این روش کم هزینه است و به‌علت مشخص بودن زمان‌بندی چراغ راهنما، پیشگویی زمان سفر و سایر شرایط که معمولاً در سیستم‌های اطلاعاتی سفر به کار می‌رود آسان است.

بهینه‌سازی پارامترهای شبکه‌ی حمل و نقل شهری بدون توجه به مسئله‌ی تخصیص ترافیک، عملاً غیر ممکن است. اولین بار در سال ۱۹۵۲ واردراپ[۱] [۱۳]، مدل خود را برای حل مسائل تخصیص ترافیک ارائه کرد؛ مدل واردراپ که به مدل تعادل کاربر نیز معروف است، توسط محققین دیگر اصلاح شد [۱۳، ۲۶]. مدل تعادل کاربر تصادفی فرم تکامل یافته مدل تعادل کاربر است. یکی از پرکاربردترین مدل‌های تعادل کاربر تصادفی، مدل تعادل کاربر تصادفی لاجیت است [۲۳]. از طرف دیگر، برخی از محققین اقدام به یافتن روشی برای بهینه‌سازی پارامترهای مختلف چراغ راهنما با استفاده از نتایج مسئله‌ی تخصیص ترافیک نموده‌اند [۷، ۸، ۹، ۱۰]. بیشتر این افراد براساس میانگین جریان پیدا شده از مسئله‌ی

[۱] Wardrap

تخصیص ترافیک، به زمان بندی چراغ راهنما اقدام کرده‌اند. در سال ۱۹۶۹ روبرتسون[۲] مدل خود را برای در نظر گرفتن تأثیر زمان‌بندی چراغ راهنما بر میزان جریان به‌کار گرفت [۲۵]. بعد از آن، روبرتسون و همکارانش [۲۵] روشی را برای بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ راهنما براساس کمترین میزان تأخیر و تعداد توقف معرفی نمودند. این مدل به مدل ترافیکی ترانسیت معروف است. به دنبال آن، سایر محققین اقدام به اصلاح مدل ترافیکی ترانسیت کردند که مهمترین آن توسط کیمبر[۳] و هولیس[۴] [۱۶] انجام گرفت. از کارهای مشابه انجام شده در زمینه‌ی زمان‌بندی چراغ راهنما، می‌توان به تنظیم پارامترهای مختلف چراغ راهنما بر اساس کمترین زمان کل مسافرت درشبکه، توسط مارکوتی[۵] [۲۱] اشاره کرد. به عنوان یکی دیگر از کارهای انجام شده در زمینه‌ی تنظیم پارامترهای چراغ راهنما می توان به مسئله ترکیبی تنظیم چراغ راهنما و تخصیص ترافیک که توسط سیلان[۶] و بل[۷] [۷، ۸] در سال های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ انجام شد، اشاره کرد. آن‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک به یافتن زمان‌بندی بهینه برای چراغ راهنما اقدام کردند.

برای یافتن الگوی جریان بر اساس میزان تقاضای سفر و ویژگی‌های شبکه، همچنین محاسبه و بهینه سازی شاخص های شبکه‌ی حمل نقل شهری، نیاز گسترده به مفاهیم گوناگون ریاضی می باشد. طیف گسترده‌ای از مفاهیم ریاضی مانند نظریه‌ی احتمال، نظریه‌ی صف و مسئله‌ی انتخاب در بحث بهینه‌سازی شبکه‌ی حمل و نقل شهری کاربرد دارند. در

---

[۲] Robertson

[۳] Kimber

[۴] Hollis

[۵] Marcotti

[۶] Ceylan

[۷] Bell

این فصل خلاصه‌ای از این مفاهیم را بیان می‌کنیم.

در فصل بعد به معرفی مسئله‌ی تخصیص ترافیک، ارتباط این مسئله با طرز انتخاب مسیر کاربران در شبکه‌ی حمل و نقل شهری و سپس استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی برای تخمین میزان جریان در یال‌های شبکه‌ی حمل و نقل شهری خواهیم پرداخت. مفاهیم مربوط به پارامترهای مختلف چراغ راهنما و ارتباط پارامترهای چراغ راهنما با میزان تأخیر و تعداد توقف در تقاطع‌های شبکه در فصل سه بیان می‌شود. معرفی نرم‌افزار ترانسیت، برخی امکانات این نرم افزار و ارائه‌ی یک زمان‌بندی پیشنهادی برای چراغ‌های راهنمایی مربوط به قسمتی از شبکه‌ی حمل و نقل شهر شیراز براساس اطلاعات جمع‌آوری شده تا سال ۱۳۸۰ از جمله‌ی مطالب بیان شده در فصول چهار و پنج خواهد بود. در پایان به نتایج این پایان‌نامه و ارائه‌ی پیشنهادهایی برای کارهای آتی در یک فصل جداگانه خواهیم پرداخت.

۲.۱ نظریه‌ی احتمال

در زندگی روزمره با تجربیات و آزمایش‌هایی مواجه می‌شویم که نتایج حاصل از تکرار آن‌ها همواره یکسان نمی‌باشد؛ به عبارت دیگر نتیجه‌ی (برآمد) حاصل از یک آزمایش دقیقاً قابل پیش بینی نیست. با این حال مجموعه‌ی نتایج حاصل از آن تجربه، بطور کامل مشخص است؛ این مجموعه را فضای نمونه می‌گویند و با حرف S نمایش می‌دهند. هر زیر مجموعه از فضای نمونه یک پیشامد نامیده می‌شود. در اینگونه موارد، وقوع یک پیشامد شانسی است (هنگامی که نتیجه‌ی آزمایش متعلق به یک پیشامد باشد می‌گوییم آن پیشامد به وقوع پیوسته است). برای محاسبه‌ی میزان شانس یک پیشامد از مفهوم احتمال استفاده می‌شود.

احتمال پیشامد A را با نماد $P(A)$ نمایش می‌دهیم. احتمال‌ها، مقادیر یک تابع مجموعه‌ای که اندازه‌ی احتمال هم خوانده می‌شود، هستند. در حقیقت، این تابع اعداد حقیقی را به پیشامدها نسبت می‌دهد. در این پایان‌نامه، منظور از یک فضای نمونه‌ی گسسته، فضای نمونه‌ای است که عناصر آن حداکثر شمارش‌پذیر باشند. اگر مجموعه‌ی S، از یک فاصله یا اجتماع چندین (به تعداد حداکثر شمارا) فاصله تشکیل شده باشد S را یک فضای نمونه‌ی پیوسته می‌گویند. همچنین دو پیشامد را ناسازگار می گویند، اگر اشتراک آنها تهی باشد.

احتمال‌ها علاوه بر اینکه مقادیر یک تابع مجموعه‌ای هستند باید در اصول مشخصی به نام اصول موضوعه‌ی احتمال نیز صادق باشند. در زیر اصول موضوعه‌ی احتمال، زمانی که فضای نمونه گسسته باشد، آورده شده است[۳۱]:

اصل ۱) احتمال هر پیشامد، عددی حقیقی و نامنفی است.

اصل ۲) $P(S) = ۱$.

اصل ۳) اگر $\{A_i\}_{i\in I}$ دنباله‌ای متناهی یا نا متناهی از پیشامدهای دوبه‌دو ناسازگار از S باشند، آنگاه $P(\cup_{i\in I} A_i) = \sum_{i\in I} P(A_i)$

البته اصول یاد شده زمانی که فضای نمونه غیرگسسته باشد الزاماً برقرار نیست. با تغییر مناسب در تعریف پیشامد، اصول فوق در حالت پیوسته نیز صادق می‌باشند[۳۱].

در بسیاری از مسائل مربوط به نظریه‌ی احتمال، ما تنها به جنبه‌ای خاص(یا دو یا چند جنبه‌ی خاص) از نتیجه‌های یک آزمایش توجه داریم. برای مثال، در برخی موارد وقتی یک جفت تاس را پرتاب می‌کنیم، تنها مجموع دو شماره‌ای که ظاهر می‌شوند مورد توجه است. در این مثال توجه ما به اعدادی است که با نتیجه‌های یک آزمایش شانسی همراه هستند.

بنابراین، توجه ما به مقادیری است که آنچه اصطلاحاً متغیر تصادفی خوانده می‌شود، اختیار می‌کند.

تعریف ۱.۲.۱: اگر S یک فضای نمونه‌ای با یک اندازه‌ی احتمال و $\mathbf{x}$ یک تابع حقیقی مقدار باشد که روی عناصر S تعریف شده است، آنگاه $\mathbf{x}$ یک متغیر تصادفی نامیده می‌شود.

تعریف ۲.۲.۱: مجموعه‌ی تمام مقادیری که متغیر تصادفی $\mathbf{x}$ اختیار می‌کند، تکیه گاه $\mathbf{x}$ نامیده می‌شود و با $S_{\mathbf{x}}$ نمایش داده می‌شود.

تعریف ۳.۲.۱: متغیر تصادفی $\mathbf{x}$ را گسسته گویند اگر $S_{\mathbf{x}}$ گسسته باشد.

تعریف ۴.۲.۱: اگر $S_{\mathbf{x}}$ پیوسته باشد؛ آنگاه $\mathbf{x}$ را یک متغیر تصادفی پیوسته گویند.

۱.۲.۱ توزیع احتمال یک متغیر تصادفی

با توجه به تعریف اندازه‌ی احتمال، اندازه‌ی احتمال مربوط به یک فضای نمونه‌ی گسسته، احتمال هر یک از مقادیر متغیر تصادفی را مشخص می‌کند.

تعریف ۵.۲.۱: اگر $\mathbf{x}$ یک متغیر تصادفی گسسته باشد، تابعی که برای هر مقدار x متعلق به تکیه‌گاه $\mathbf{x}$ به‌صورت $f(x) = P(\mathbf{x} = x)$ نشان داده می‌شود، چگالی احتمال $\mathbf{x}$ نامیده می‌شود.

نظر به اهمیت متغیرهای تصادفی پیوسته و توسیع مفهوم توزیع احتمال برای حالت پیوسته، تعریف زیر می‌تواند راهگشا باشد.

تعریف ۱.۲.۶: تابع $f(x)$، که به ازای هر x متعلق به R مقدار آن نامنفی است، چگالی احتمال یک متغیر تصادفی پیوسته‌ی $\mathbf{x}$ خوانده می‌شود اگر و تنها اگر:

الف) به ازای هر دو عدد حقیقی a و b داشته باشیم $P(a \leq \mathbf{x} \leq b) = \int_a^b f(x)dx$،

ب) $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = ۱$.

از جمله پارامترهایی که می‌تواند برای مقایسه‌ی دو متغیر تصادفی مورد استفاده قرار گیرد، میانگین و یا امید ریاضی یک متغیر تصادفی است.

امید ریاضی یک متغیر تصادفی

اگر$\mathbf{x}$ یک متغیر تصادفی گسسته با تکیه‌گاه $S_{\mathbf{x}} = \{x_۱, x_۲, ...\}$ باشد آنگاه امید ریاضی $\mathbf{x}$ را با $E[\mathbf{x}]$ نشان داده و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E(\mathbf{x}) = \sum_{x_i \in S_{\mathbf{x}}} x_i P(\mathbf{x} = x_i). \qquad (۱.۲.۱)$$

همچنین برای متغیر تصادفی پیوسته $\mathbf{x}$ داریم:

$$E(\mathbf{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x)dx. \qquad (۲.۲.۱)$$

اگر $\mathbf{x}$ یک متغیر تصادفی با امید ریاضی μ باشد. آنگاه واریانس متغیر تصادفی$\mathbf{x}$ که با $Var(\mathbf{x})$ نشان داده می شود، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Var(\mathbf{x}) = E[(\mathbf{x} - \mu)^۲]. \qquad (۳.۲.۱)$$

در ادامه این بخش، به بررسی برخی چگالی های احتمال که نمود بسیار بارزی در نظریه‌ی احتمال و همچنین در مسائل کاربردی از جمله امور حمل نقل و تصادفات رانندگی دارند، می‌پردازیم.

۲.۲.۱ توزیع پواسون

متغیر تصادفی گسسته $\mathbf{x}$ دارای توزیع پواسون با پارامتر λ است، اگر و تنها اگر تابع چگالی احتمال آن به صورت

$$p(\mathbf{x},\lambda)=\frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!},\quad x=۰,۱,۲,...$$

باشد. امید ریاضی و واریانس توزیع پواسون، هر دو برابر با λ می‌باشند.

۳.۲.۱ توزیع نمایی

یکی از مهمترین توزیع های آماری، توزیع نمایی می باشد. متغیر تصادفی $\mathbf{x}$، دارای توزیع نمایی با میانگین λ است، اگر تابع چگالی آن به صورت زیر باشد:

$$f_{\mathbf{x}}(x)=\begin{cases}\lambda e^{-\lambda x} & x\geq ۰\\ ۰ & \text{سایر جاها.}\end{cases}$$

امید ریاضی و واریانس توزیع نمایی به ترتیب برابر با $۱/\lambda$ و $۱/\lambda^۲$ می‌باشد. گاهی اوقات، λ را پارامتر مدل می‌نامند. از مهمترین خواص توزیع نمایی، خاصیت عدم حافظه این توزیع می‌باشد، که در تفسیر بسیاری از پدیده‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد[۳۰]. اگر یک واقعه‌ی تصادفی دارای خاصیت عدم حافظه باشد گذشت زمان در وقوع این حادثه نقشی ندارد؛ به عنوان مثال اگر طول عمر یک مهتابی دارای توزیع نمایی باشد به علت خاصیت عدم حافظه، خراب شدن مهتابی مستقل از زمانی است که مهتابی عمر کرده است. لازم به ذکر است که توزیع نمایی تنها توزیع پیوسته‌ای است که دارای خاصیت عدم حافظه می‌باشد[۳۰].

۴.۲.۱ توزیع گامبل

تابع چگالی احتمال مربوط به متغیر تصادفی $\mathbf{w}$ که دارای توزیع گامبل باشد، به‌صورت زیر است:

$$f_{\mathbf{w}}(w) = \frac{1}{\beta} exp(-\frac{w-\alpha}{\beta}) exp(-exp(-\frac{w-\alpha}{\beta})), \qquad (۴.۲.۱)$$

جایی که $w \in (-\infty, \infty)$، $\alpha \in (-\infty, \infty)$ و $\beta \geq 0$، α و β ثابت می‌باشند. امید ریاضی و واریانس مربوط به توزیع گامبل به ترتیب عبارتند از: $E(\mathbf{w}) = \alpha + \beta\gamma$ و $Var(\mathbf{w}) = \frac{\pi^2\beta^2}{6}$ در رابطه‌ی مربوط به امید ریاضی $\mathbf{w}$، γ را ثابت اولر می‌نامند و مقدار آن برابر است با ۰/۵۷۷۲۱۶. این توزیع از کارایی مناسبی برای مدل سازی فرایندهایی مانند پیش بینی تصادفات رانندگی برخوردار است [۱۱].

۳.۱ نظریه‌ی صف

سیستم‌های صف بندی در بسیاری از امور روزمره مانند بخش اورژانس بیمارستان‌ها، نانوایی‌ها، ترافیک و غیره به وضوح قابل مشاهده است [۳۰]. استفاده از نظریه‌ی صف، روش موثری برای مطالعه‌ی این پدیده‌ها است. یک سیستم صف بندی را می توان چنین توصیف کرد؛ متقاضیان برای اخذ سرویس مراجعه می‌کنند اگر توانایی ارائه‌ی خدمت، در همان لحظه وجود نداشته باشد، متقاضیان در صف منتظر می مانند. در فرایند صف‌بندی، مشخصه‌های متعددی مورد نظر محققین است. از بین این مشخصه‌ها، پنج مشخصه‌ی اصلی که مورد توافق همه‌ی محققین قرار دارد، به شرح زیر است.

- هنگامی که متقاضیان برای دریافت خدمتی وارد صف می‌شوند، مدت زمان بین دو ورود متوالی به صف اغلب یکسان نیست، بلکه دارای ماهیت تصادفی است. بر اساس نوع توزیع احتمالی حاکم بر مدت زمان بین دو ورود متوالی، الگوی ورود نام گذاری می‌شود؛ مثلاً، الگوی ورود پواسون، به الگوی ورود نوعی از صف گفته می شود که مدت زمان بین دو ورودی متوالی به آن صف، دارای توزیع احتمال پواسون باشد.

- علاوه بر مدت زمان بین دو ورود متوالی در یک صف، زمان بین دو سرویس‌دهی متوالی (الگوی سرویس) نیز گاهی دارای ماهیت تصادفی است. براساس نوع توزیع احتمالی حاکم بر زمان بین دو سرویس دهی متوالی آن، الگوی سرویس نیز نام‌گذاری می‌شود.

- به روشی که براساس آن افراد حاضر در صف، برای سرویس دهی انتخاب می‌شوند، نظم صف می‌گویند؛ مثلاً، در صف نانوایی هر کس زودتر وارد شود زودتر هم سرویس می‌گیرد. در حالی که در قسمت اورژانس یک بیمارستان، چنانچه یک مورد تصادفی وارد شود، قبل از سایر بیماران سرویس‌های لازم را دریافت می‌کند.

- برخی ازصف‌ها(معمولاً به علت محدودیت مکان) برای قراردادن افراد در صف، دارای طول محدودی هستند به این معنی که طول صف نمی تواند از حد مشخصی تجاوز کند، این حد را ظرفیت سیستم می‌گویند؛ به عنوان مثال، قسمت چاپ در یک مرکز کامپیوتر که به‌صورت شبکه کار می‌کند را در نظر بگیرید. فرض کنید که این سیستم دارای یک پرینتر است و کاربران از طریق کامپیوتر خود می‌توانند اقدام به گرفتن پرینت کنند. این کامپیوترها درخواست کاربر خود را به پردازنده پرینتر می‌فرستند. اگر در یک

بازه‌ی زمانی کوتاه چندین نفر درخواست گرفتن پرینت کنند، درخواست آنها به‌صورت صف ذخیره می‌شود. در حالی که تعداد حافظه‌ی تعریف شده برای صف پرینتر عدد مشخصی است و بنابراین طول صف برای پرینتر محدود می‌باشد.

- تعداد سرویس دهندگانی که می توانند بطور هم زمان(موازی) به متقاضیان سرویس ارائه کنند را تعداد باجه‌های صف می‌نامند.

براساس مشخصه‌های ذکر شده، یک صف را با استفاده از نماد $A/B/X/Y/Z$ نمایش می‌دهند. در این نماد گذاری، A نوع توزیع احتمالی حاکم بر مدت زمان بین دو ورود متوالی و B توزیع احتمالی سرویس می‌باشد. همچنین Y, X و Z بترتیب تعداد باجه های موازی صف، ظرفیت سیستم صف و نظم صف را مشخص می‌کنند. اگرصفی را به فرم $A/B/X$ نمایش دهند منظور صفی با ظرفیت سیستم نامتناهی و نظم صف براساس حق تقدم ورود می‌باشد[۳۰].

۱.۳.۱ معیارهای ارزیابی سیستم صف

معیارهای اصلی که برای ارزیابی یک سیستم صف در دراز مدت مورد استفاده قرار می گیرند، عبارتند از:

- ρ: درصدی از زمان که سیستم کار می‌کند، ضریب بهره‌وری نامیده می‌شود. مقدار ρ از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho = \frac{\text{میانگین تقاضای سرویس}}{\text{میانگین کل ظرفیت ارائه‌ی خدمت سیستم}}. \qquad (۵.۳.۱)$$