مهندسی صنایع و مدیریت شریف
دوره‌ی ۱-۲۸، شماره‌ی ۲، ص. ۱۴۱-۱۴۶، (یادداشت فنی)

Research Note

ارائه یک مدل ساختاری برای عملکرد سیستم آژانس هواپیمایی با رویکرد نظریه‌ی صف

سید محمدتقی فاطمی‌قمی * **(استاد)**
مصطفی اسدی بکلوئی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

درخصوص توسعه‌ی شرکت‌های هواپیمایی و برنامه‌ریزی خطوط پروازی مدل‌های زیادی ارائه شده است. در توسعه‌ی این مدل‌ها نیز از رویکردهای مختلف ــ نظیر برنامه‌ریزی ریاضی، روش‌های تشریحی، شبیه‌سازی با توجه به نظریه‌ی صف ــ و نیز از مدل‌های ابتکاری استفاده شده است. رویکرد مورد استفاده در توسعه‌ی مدل‌ها براساس کارکرد مدل‌ها در برآورد و تقاضای سفر، زمان‌بندی عملیات، نحوه‌ی ارائه‌ی سرویس و خدمات به مشتری، تعیین ظرفیت، و... تعیین می‌شود. در این نوشتار با استفاده از رویکرد نظریه‌ی صف، یک مدل شبیه‌سازی سیستم صف برای تعیین ظرفیت شرکت‌های هواپیمایی ارائه شده است. این مدل با استفاده از نرم‌افزار SLAM توسعه یافته و برای تحلیل یک شرکت هواپیمایی به‌کار رفته است. نتایج حاصل از این مدل با مدل شبکه‌ی باز جکسون مقایسه شده و از این حیث کارایی و اعتبار آن تأیید شده است.

واژگان کلیدی: مدل‌های صف، شبیه‌سازی، تعیین ظرفیت، شرکت هواپیمایی، شبکه‌ی باز جکسون.

fatemi@aut.ac.ir
asadyir@yahoo.com

۱. مقدمه

تعیین تعداد صندلی مورد نیاز برای اختصاص به آژانس‌ها و شرکت‌های فروش بلیط در پروازهای هوایی ازجمله عوامل مشخص‌کننده‌ی میزان مراجعات متقاضیان به‌صورت فیزیکی یا خرید الکترونیکی به‌صورت آنلاین و تشکیل صف وابسته است. برای پاسخ‌گویی به این مراجعات اجاره یا خرید هواپیما با بررسی امکان‌پذیری طرح از نقطه‌نظر اقتصادی،[۱و۲] مالی و مکان‌یابی[۳] از مباحث مهم و اساسی است. لذا قبل از شروع این بررسی‌ها، برآورد ظرفیت مورد نیاز برای احداث شرکت هواپیمایی ضرورت می‌یابد. با تعیین این مشخصه می‌توان نسبت به تدوین برنامه‌ریزی‌های راهبردی در ابعاد مختلف به‌منظور بقای شرکت اقدام کرد. لذا تعیین ظرفیت می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد.

با مروری بر روش‌های تعیین ظرفیت ــ از قبیل بازاریابی، ارزیابی اقتصادی و نقطه‌ی سربه‌سر،[۲] همانندسازی از شرکت‌های مشابه و غیره ــ می‌توان گفت که این روش‌ها تعاملات هم‌زمانِ ورود افراد به سیستم و تشکیل صف یا انصراف از سرویس ارائه‌شده را جایی ثبت نمی‌کنند و امکانات موجود در سیستم را به‌صورت جامع در نظر نمی‌گیرند. لذا باید در استفاده از این روش‌ها تجدید نظر کرد.[۴و۵]

مدل‌سازی تعیین ظرفیت به‌عنوان فرایندی برای پیش‌بینی سنجش میزان کارایی، میزان بارآتی در یک سیستم، و نیز تعیین روش بهینه برای انجام این فرایند تعریف شده است. طراحی ظرفیت، نوعی فرایند برای پیش‌بینی زمان اشباع سطوح فراخوانی و تا حد امکان، تعیین اقتصادی‌ترین روشِ به تأخیرانداختن اشباع در سیستم‌هاست. این فرایند باید شامل گنجایش حجم کارِ ناشی از برنامه‌های فعلی و جدید و سطوح سرویس مطلوب باشد. هدف ما پیش‌بینی زمان پاسخ برای حالتی است که تعداد زیادی تقاضا از سوی کاربران به‌طور همزمان وارد سیستم شده است. در این مقاله براساس یک نمونه‌ی واقعی کاربردی از شرکت‌های نمایندگی فروش بلیط‌های هواپیمایی، و تعمیم آن برای تعیین ظرفیت با استفاده از شیوه‌های موجود در مدل صف و شبیه‌سازی، دست‌یابی به این هدف تسهیل شده است. در تعیین ظرفیتِ شرکت‌های هواپیمایی، دو دسته عوامل داخلی و عوامل خارجی مد نظر قرار می‌گیرد. در توسعه‌ی شرکت باید به عوامل خارجی توجه داشت، اما عوامل داخلی یک شرکت به استفاده از نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌هایی درخصوص کاهش یا افزایش امکانات و تسهیلاتِ مورد استفاده مربوط می‌شود. لذا یکی از ویژگی‌های روش حل این مسئله، در مقایسه با سایر روش‌ها، در نظرگرفتن توأم عوامل محیطی خارجی و داخلیِ مرتبط با شرکت است.

روند طی‌شده در این مقاله براساس روش‌های متداول تحقیق است؛ بدین‌ترتیب که پس از آگاهی از اهداف، به‌منظور آمادگی ذهنی در ابتدا مروری بر این موضوع صورت گرفت. سپس برای بررسی سیستم نظریه‌ی صف، «آژانس مسافرتی صراط» به‌عنوان مطالعه‌ی موردی انتخاب شد. پس از طی فرایند تحلیل سیستم و شناخت آن، با در نظرگرفتن فرضیات ساده‌کننده‌یی، مدل عمومی صف این آژانس ارائه شد. شرکت آژانس مسافرتی صراط یکی از چندین شرکت بزرگ نماینده‌ی هواپیمایی

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۸۹/۱۰/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۰/۶/۱۹، پذیرش ۱۳۹۰/۸/۲.

کشوری است که عهده‌دار مسئولیت فروش بلیط‌های پرواز در تمام نقاط کشور است.

۲. مرور ادبیات موضوع

رویکردهای مختلفی در توسعه‌ی مدل‌های مربوط به تعیین ظرفیت در شرکت‌های هواپیمایی به‌کار رفته که اهم آن‌ها عبارت است از: برنامه‌ریزی ریاضی، پیش‌بینی، برآورد تقاضا و مدل‌های شبیه‌سازی؛ اگرچه از روش‌های ابتکاری در این خصوص نیز نام برده می‌شود. در این قسمت خلاصه‌یی از مطالعات و کارهای انجام‌شده درخصوص کاربردهای نظریه‌ی صف ارائه می‌شود.

به‌طورکلی شبکه‌های حمل‌ونقل نوعی سیستم صف محسوب می‌شوند. خدمتی که در این سیستم عرضه می‌شود، حمل بار و مسافر از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر است. از جمله‌ی خادمان این سیستم می‌توان به وسایل حمل‌ونقل و شبکه‌ی راه‌های کشور اشاره کرد. محدودبودن این خدمات به ایجاد صف می‌انجامد؛ مثلاً در یک شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهری، اتوبوس‌ها به‌مثابه خادمان هستند که به‌علت محدودیت تعداد آن‌ها، صف مشتری‌های ــ در اینجا شهروندان ــ تشکیل می‌شود. مثال دیگر، تراکم اتومبیل‌های پشت چراغ قرمز است. در این مورد، اتومبیل‌ها مشتری سیستم و فضای چهارراه خدمت‌دهنده محسوب می‌شود. مطالعه‌ی حمل‌ونقل و ترافیک از دیدگاه‌های مختلف، یکی از عمده‌ترین کاربردهای نظریه‌ی صف است.

در مطالعه‌یی درخصوص کاربرد نظریه‌ی صف در صنعت برق (۱۳۸۳)، با استفاده از نظریه‌ی صف‌بندی تعیین شد که آیا تعداد اکیپ‌های تعمیراتی در هر شهرستان کافی است یا باید اضافه و تقویت شود. در این خصوص در فصل‌هایی که احتمال قطعی برق بیشتر است (مثل زمستان)، می‌توان چنان مدیریت کرد که کم‌ترین زمان خاموشی‌ها را داشت.[۶]

فراهم‌کردن کیفیت سرویس یکی از مهم‌ترین نیازهای اینترنت است. مسیریاب‌ها نقش اساسی در پیاده‌کردن کیفیت سرویس به عهده دارند. مدیریت صف از مهم‌ترین بخش‌های مسیریاب است؛ حفظ عدالت در تقسیم فضای صف میان جریان‌های مختلف، پارامتری مهم در کارایی الگوریتم مدیریت صف است.[۷]

از دیگر کاربردهای استفاده از نظریه‌ی صف، ایجاد الگوریتمی برای مدیریت پویای صف در استفاده از firewall برای ایمن‌سازی یک شبکه‌ی محلی در مقابل حملاتی است که از خارج به آن صورت می‌گیرد. در این نوشتار پس از تبیین مسئله‌ی ازدحام جمعیت و اهمیت کنترل آن، با استفاده از شیوه‌های نظریه‌ی صف به مرور روش‌هایی پرداخته می‌شود که برای مقابله با این مسئله معرفی شده‌اند.[۸]

از دیگر کاربردهای نظریه‌ی صف تخمین اسکله‌های کانتیری مورد نیاز شهید رجایی است. در این نوشتار با استفاده از آمار نرخ متوسط سالانه‌ی ورود کشتی‌ها و نیز نرخ متوسط ارائه‌ی سرویس‌دهنده‌های بندر، ظرفیت مورد نیاز اسکله‌ها محاسبه می‌شود.[۹]

از جمله کاربردهای نظریه‌ی صف می‌توان به مقاله روبرت (۲۰۰۶) اشاره کرد که از تجزیه و تحلیل پارامترهای مهم در نرخ ورود و سرویس، کیفیت سرویس‌دهی به توریسم‌ها را در یک شرکت هواپیمایی اندازه‌گیری می‌کند.[۱۱]

مهم‌ترین مشکل تحلیل شبکه‌ها یا تعیین ظرفیت، زمان‌های ورود بسته پس از پیمایش اولین صف مرتبط با طول بسته‌هاست. این نکته مشخص می‌کند که اگر به‌طریقی این ارتباط متقابل حذف شود و روند تصادفی برای تعیین ظرفیت استفاده شود، می‌توان میانگین تعداد بسته‌ها در سیستم اگر هر صف در شبکه M/M/۱ باشد، به دست آورد. این موضوع بسیار مهم به «قضیه‌ی جکسون» معروف است.[۱۲]

۳. تبیین مسئله

سیستم جریان عملیات در شرکت‌های هواپیمایی، با ورود متقاضیان به‌عنوان مشتری در داخل شرکت شروع می‌شود. سپس هریک از متقاضیان بسته به نوع سرویسی که درخواست می‌کنند (اعم از پروازهای داخلی یا پروازهای خارجی) در داخل سیستم تقسیم‌بندی می‌شوند. البته با توجه به رفتار متقاضیان ورودی به سیستم، نوع سرویس و رفتار سرویس‌دهندگان نیز تغییر خواهد کرد، به‌گونه‌یی که مثلاً می‌توان با توجه به این رفتار، تعداد سرویس‌دهندگان و کیفیت سرویس را تعیین کرد. نظر به این که در دنیای رقابتی رضایت مشتری به‌عنوان فاکتور مهمی در بقای شرکت است، تجزیه و تحلیل سیستم اهمیت خاصی خواهد یافت.

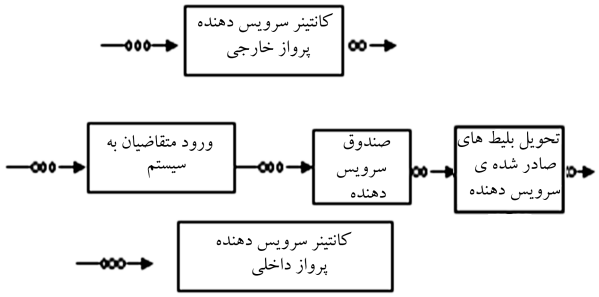
معیارهای ارزیابی یک سیستم به کمیت‌هایی همچون متوسط طول صف برای متقاضی، مدت زمان انتظار متقاضی برای دریافت سرویس، و درصد اشتغال سرویس‌دهنده وابسته است. با معیار اشتغال سرویس‌دهنده می‌توان ظرفیت متقاضی در سیستم را برآورد کرد. همچنین با معیارهایی همچون طول صف، مدت زمان انتظار متقاضی می‌توان در ارتقاء کیفیت سرویس‌دهی قضاوت کرد و راهکارهای اجرایی درخصوص حل معضل پیشنهاد کرد.

۴. تطبیق شرایط با مدل‌های صف

هر متقاضی برای اخذ سرویس به سیستم مراجعه می‌کند و اگر ارائه‌ی سرویس بلافاصله مقدور نباشد، منتظر می‌ماند و بعد از اخذ سرویس سیستم را ترک می‌کند. نظر به این که ورود متقاضیان به سیستم و نحوه‌ی سرویس آنان از یک الگوی مشخص پیروی می‌کند و اولین ورودی به‌عنوان اولین فردی است که سرویس می‌گیرد، و نیز با توجه به شرایط و امکانات می‌توان برای سیستم محدودیت ظرفیت مشخص کرد.

۵. طراحی مدل صف

ساختار اساسی مدل با توجه به توضیحات یادشده مطابق شکل ۱ است. در این مدل پس از ارزیابی و تصمیم‌گیری محیط داخلی نیز لحاظ شده است. لذا می‌توان اظهار کرد که متقاضیان پس از ورود به سیستم به دو قسمت متقاضیان پروازهای خارجی و پروازهای داخلی تقسیم شده و پس از اخذ سرویس از هر قسمت وارد یک



شکل ۱. طراحی مدل.

سرویس‌دهنده صندوق برای واریزکردن صورتحساب صادره خواهند شد. متقاضیان پس از گذراندن این قسمت و پرداخت صورتحساب به قسمتی که بلیط‌های صادر شده را پس از رؤیت و اخذ فیش‌های صندوق به متقاضیان تحویل می‌دهند، وارد می‌شوند. در این قسمت نیز پس از اخذ سرویس، متقاضیان می‌توانند برای استفاده از سرویس نهایی که همان هواپیما باشد وارد فرودگاه شوند.

در این نوشتار تصمیم‌گیری مشتریان در سیستم‌های صف مورد مطالعه قرار گرفته است. مشتریان می‌توانند وارد سیستم شده و به صف اضافه شوند، یا از ورود امتناع ورزیده و در زمانی دیگر به سیستم مراجعه کنند. مشتریانی که به سیستم وارد می‌شوند نیز می‌توانند از ادامه ایستادن در صف انصراف داده، پیش از دریافت خدمت سیستم را ترک کرده و در زمانی دیگر به سیستم مراجعه کنند. در اینجا هدف تعیین این مهم است که آیا مشتریان از الگوهای به دست آمده توسط نظریه‌ی صف تبعیت می‌کنند یا این که مواردی چون هزینه‌های روان‌شناسی و مشاهدات زمانی، نتایج این الگوها را از بین می‌برد. وقوع انصراف پس از ورود بسیار نادر است، اما اکثر مراجعان از قاعده‌ی ثابتی برای امتناع از ورود به سیستم پیروی می‌کنند. آن‌ها در صورتی که مشاهده کنند طول صف از یک مقدار بحرانی بیشتر است از ورود به سیستم خودداری می‌کنند و ترجیح می‌دهند در زمان دیگری مراجعه کنند. البته زمانی که مشتریان غیریکنواختی موجود در تخمین زمانِ انتظار را مورد توجه قرار دهند، مقدار بحرانی بزرگ‌تر از حالتی خواهد بود که تخمین مربوطه یکسان در نظر گرفته شود. مقادیر بحرانیِ بزرگ ممکن است بر اثر مغایرت ریسک یا تخمین بیش از اندازه‌ی هزینه‌ی تغییر وضعیت محاسبه شوند. نتایج تجربه‌ی اول به‌وسیله‌ی ارائه‌ی تجربه‌یی دیگر با پارامترهای متفاوت مورد تأیید واقع می‌شوند. اطلاعات درمورد پارامترهای مسئله، تصمیم‌گیری را برای اغلب مشتریان از طریق افزایش دقت در تخمین زمانِ انتظار، بهبود می‌بخشد. در مجموع، اطلاعات به مشتریانی که زمان انتظار را کم‌تر یا بیشتر از میزان واقعی تخمین می‌زنند کمک می‌کند تا به‌درستی صف را ترک یا در صف باقی بمانند.[۱۳]

۶. حل مدل

به‌منظور کسب اطمینان از اعتبار مدل شبیه‌سازی در بخش قبل، نتایج حاصل از این مدل با مدل جکسون مقایسه شد. چنان‌که اشاره شد مدل جکسون از مدل‌های معتبر موجود در نظریه‌ی صف است و شرایط موجود در شبکه شبیه‌سازی طراحی‌شده با مدل باز جکسون هم‌خوانی دارد. به‌منظور فراهم‌سازی شرایط یکسان مدل شبیه‌سازی و مدل جکسون، فرض بر آن است که ورودی‌های از توزیع پوآسون، و زمان‌های سرویس از توزیع نمایی تبعیت کنند و از یکدیگر مستقل در نظر گرفته شده‌اند. با فرضیات مذکور مدل‌های شبیه‌سازی و مدل بازِ جکسون در شرایط یکسان قرار دارند و پس از طراحی این مدل‌ها و اجرای آن‌ها با انجام محاسبات لازم نتایج حاصله با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۱.۶. پردازش داده‌ها

از آنجا که مشخصه‌ی ورودی‌های مدل شبکه‌ی باز جکسون باید به‌صورت تابع پوآسون، و نرخ سرویس به‌صورت تابع توزیع نمایی باشد، اطلاعات موجود با استفاده از نرم‌افزار STATGRAF برای مدل مذکور پردازش شد. نرخ ورود متقاضیان کلی به آژانس از توزیع پوآسون با پارامتر $\frac{1}{\lambda}$ و نرخ سرویس برای پروازهای خارجی از توزیع نمایی با پارامتر $\frac{1}{\mu_1} = ۴۸/۸$، نرخ سرویس برای پروازهای داخلی نیز توزیع نمایی با پارامتر $\frac{1}{\mu_2} = ۱۱/۷۴$ و نرخ سرویس برای صندوق با پارامتر $\frac{1}{\mu_3} = ۶/۴۵$ و برای سرویس‌دهنده‌ی تحویل بلیط نیز توزیع نمایی با پارامتر $\frac{1}{\mu_4} = ۲/۸۷$ محاسبه شده است.

۲.۶. نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی

مدل شبیه‌سازی شده توسط داده‌های پردازش‌شده مجدداً اجرا شد و خلاصه‌ی نتایج حاصل از آن عبارت است از: متوسط طول صف متقاضیان پروازهای خارجی ۰/۰۰۷۱؛ متوسط زمان انتظار در صف ۴/۲۵۶ دقیقه؛ متوسط طول صف متقاضیان پروازهای داخلی ۰/۲۲۴؛ متوسط زمان انتظار در صف پروازهای داخلی ۶/۹۲۶ دقیقه؛ متوسط طول صف متقاضیان صندوق ۰/۰۵۱؛ متوسط زمان انتظار در صف صندوق ۱/۹۰۲ دقیقه؛ متوسط طول صف متقاضیان تحویل بلیط ۰/۰۰۸۹؛ متوسط زمان انتظار در صف تحویل بلیط ۰/۲۷۴ دقیقه. در ضمن درصد اشتغال ایستگاه پروازهای خارجی ۰/۰۷۹، ایستگاه پروازهای داخلی ۰/۲۲۵، ایستگاه صندوق ۰/۱۰۳ و ایستگاه تحویل بلیط ۰/۳۹۸ است.

۷. اعتبارسازی مدل

برای اطمینان از نحوه‌ی ساختارِ مدل شبیه‌سازی شده با واقعیت و اعتبارسازی آن از دو طریق استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا مدل مورد نظر با شرایط شبکه‌ی باز جکسون مطابقت داده شد و نتایج مقایسه‌ی آن‌ها برای معتبرسازی مدل طراحی‌شده ارائه شد.[۱۴]

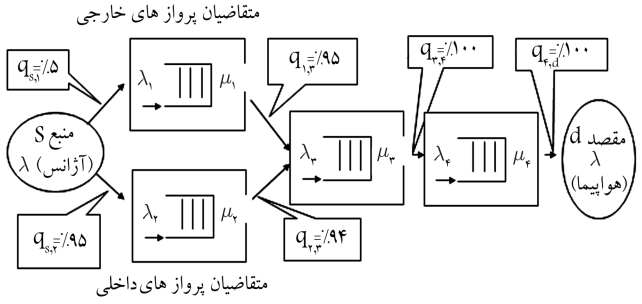
۱.۷. اعتبارسازی مدل طراحی‌شده با استفاده از ساختارمدل شبکه‌ی باز جکسون

با توجه به مدل مفهومی شکل ۲ برای معتبرسازی ــ با توجه به منطق حاکم در مدل‌های شبکه‌یی باز جکسون ــ و ایده‌گرفتن از شبکه‌ی SLAM می‌توان پارامترهای مدل را چنین در نظر گرفت:[۱۰]

الف) متقاضیان: ورودی‌های باید براساس فرایند پوآسون مراجعه کنند. در اینجا میانگین نرخ ورود را با پارامتر λ_i نمایش می‌دهیم.

ب) سرویس‌دهندگان: تمام سرویس‌دهندگان در مقطع iام براساس توزیع نمایی با میانگین μ_i عمل می‌کنند.

ج) احتمال ورود متقاضی از یک ایستگاه به ایستگاه بعدی: در اینجا احتمال r_{ij} (مستقل از حالت سیستم) وجود دارد که متقاضی وقتی در ایستگاه iام سرویس‌اش کامل شد، به ایستگاه jام برود. چنان‌که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، نرخ ورود



شکل ۲. ساختار مفهومی مدل شبکه جکسون.

کلیه‌ی افراد به آژانس از توزیع پوآسون با پارامتر $\lambda = ۰/۰۳۴۵$ نفر در دقیقه، ورود افراد به صف متقاضیان پروازهای خارجی نیز از توزیع پوآسون (با احتمال این که ۰/۰۵ ورودی‌های به این دستگاه می‌پیوندند) با پارامتر $\lambda_۱ = ۰/۰۰۱۷۲۵$ نفر در دقیقه، و نرخ ورود متقاضیان پروازهای داخلی (با احتمال ۰/۹۵ ورودی‌های به این صف وارد می‌شوند) از توزیع پوآسون با پارامتر $\lambda_۲ = ۰/۰۳۲۷$ نفر در دقیقه تبعیت می‌کند. با توجه به این که ۰/۹۷ متقاضیان پروازهای خارجی و ۰/۹۴ متقاضیان پروازهای داخلی موفق می‌شوند به مرحله‌ی صندوق راه یابند، نرخ ورودی نیز از توزیع پوآسون با پارامتر $\lambda_۳ = ۰/۰۳۲۴$ نفر در دقیقه پیروی می‌کند. نظر به این که تمامی این افراد وارد صف طویل بلیط‌های صادرشده می‌شوند، این صف نیز همان پارامتر $\lambda_۴ = ۰/۰۳۲۴$ نفر در دقیقه را به خود اختصاص می‌دهد.

زمان‌های سرویس برای متقاضیان پروازهای خارجی در ایستگاه مربوطه از توزیع نمایی و با میانگین $\mu_۱ = ۰/۰۲$ نفر در دقیقه، برای متقاضیان پروازهای داخلی از توزیع نمایی با پارامتر $\mu_۲ = ۰/۰۸۵$ نفر در دقیقه، برای صندوق از توزیع نمایی با میانگین $\mu_۳ = ۰/۱۵۵$ نفر در دقیقه، و برای ایستگاه تحویل بلیط از توزیع نمایی با پارامتر $\mu_۴ = ۰/۳۴۸$ نفر در دقیقه پیروی می‌کند.

۱.۱.۷. نتایج حاصل از حل مدل شبکه‌ی باز جکسون

معیارهای ارزیابی این مدل در سه قسمت تقسیم‌بندی شده است:

الف) معیار کارایی کشش ترافیک (ضریب بهره‌گیری)

این معیار با نماد ρ که برابر $\frac{\lambda}{\mu}$ تعریف می‌شود برای صف‌های تک‌سرویس‌دهنده نشان‌گر نسبتی از زمان است که سرویس‌دهنده کار می‌کند. معیار مذکور برای ایستگاه‌های سرویس به‌صورت زیر محاسبه شده است:

نسبت زمان اشتغال ایستگاه سرویس‌دهنده‌ی صدور بلیط پروازهای خارجی $\rho_۱ = \frac{\lambda_۱}{\mu_۱} = ۰/۰۸۶۲۵$؛

نسبت زمان اشتغال ایستگاه سرویس‌دهنده‌ی صدور بلیط پروازهای داخلی $\rho_۲ = \frac{\lambda_۲}{\mu_۲} = ۰/۳۸۴۷$؛

نسبت زمان اشتغال ایستگاه صندوق $\rho_۳ = \frac{\lambda_۲}{\mu_۳} = ۰/۲۰۹$؛

نسبت زمان اشتغال ایستگاه تحویل بلیط‌های صادر شده به متقاضیان $\rho_۴ = \frac{\lambda_۴}{\mu_۴} = ۰/۰۹۳$.

ب) معیار کارایی متوسط تعداد متقاضیان در صف

این معیار که به‌صورت $\overline{L}_q = \frac{\lambda^۲}{\mu(\mu-\lambda)}$ تعریف می‌شود نشان‌دهنده‌ی متوسط تعداد متقاضیانی است که در صف منتظر دریافت سرویس هستند.

تعداد متقاضیان در صف صدور بلیط پروازهای خارجی $\overline{L}_{q۱} = \frac{\lambda_۱^۲}{\mu_۱(\mu_۱-\lambda_۱)} = ۰/۰۰۷۷۵$؛

تعداد متقاضیان در صف صدور بلیط پروازهای داخلی $\overline{L}_{q۲} = \frac{\lambda_۲^۲}{\mu_۲(\mu_۲-\lambda_۲)} = ۰/۲۴۰۵$؛

تعداد متقاضیان در صف صندوق $\overline{L}_{q۳} = \frac{\lambda_۲^۲}{\mu_۳(\mu_۳-\lambda_۲)} = ۰/۰۵۵$؛

تعداد متقاضیان در صف تحویل بلیط‌های صادر شده $\overline{L}_{q۴} = \frac{\lambda_۴^۲}{\mu_۴(\mu_۴-\lambda_۴)} = ۰/۰۰۹۶$.

ج) معیار کارایی متوسط زمان انتظار متقاضیان در صف

این معیار نیز با توجه به رابطه‌ی $\overline{W}_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$ تعریف می‌شود و نشان‌دهنده‌ی متوسط زمان انتظار متقاضی در صف است.

متوسط زمان انتظار متقاضی در صف صدور بلیط پرواز خارجی $\overline{W}_{q۱} = \frac{\lambda_۱}{\mu_۱(\mu_۱-\lambda_۱)} = ۴/۷۱$؛

جدول ۱. مقایسه‌ی نتایج سیستم شبیه‌سازی و مدل شبکه باز جکسون برای معیارهای کارایی مختلف.

معیارهای کارایی	سیستم شبیه‌سازی	مدل شبکه باز جکسون
۱. متوسط طول صف		
الف) متقاضیان پروازهای خارجی	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۷۷۵
ب) متقاضیان پروازهای داخلی	۰/۲۲۴	۰/۲۴۰۵
ج) متقاضیان صندوق	۰/۰۵۱	۰/۰۵۵
د) متقاضیان تحویل بلیط	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۹۶
۲. متوسط زمان انتظار		
الف) متقاضیان صف پروازهای خارجی	۴/۲۵۶	۴/۷۱
ب) متقاضیان صف پروازهای داخلی	۶/۹۲۶	۷/۳۵۵
ج) متقاضیان صف صندوق	۱/۹۰۲	۱/۷۰۴
د) متقاضیان صف تحویل بلیط	۰/۲۷۴	۰/۲۹۴
۳. نسبت زمان اشتغال		
الف) ایستگاه پرواز خارجی	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶۲۵
ب) ایستگاه پرواز داخلی	۰/۳۹۸	۰/۳۸۴۷
ج) ایستگاه صندوق	۰/۲۲۵	۰/۲۰۹
د) ایستگاه پرواز تحویل بلیط	۰/۱۰۳	۰/۰۹۳

متوسط زمان انتظار متقاضی در صف صدور بلیط پرواز داخلی $\overline{W}_{q۲} = \frac{\lambda_۲}{\mu_۲(\mu_۲-\lambda_۲)} = ۷/۳۵۵$؛

متوسط زمان انتظار متقاضی در صف صندوق $\overline{W}_{q۳} = \frac{\lambda_۲}{\mu_۳(\mu_۳-\lambda_۲)} = ۱/۷۰۴$؛

متوسط زمان انتظار متقاضی در صف تحویل بلیط $\overline{W}_{q۴} = \frac{\lambda_۴}{\mu_۴(\mu_۴-\lambda_۴)} = ۰/۲۹۴$.

۲.۱.۷. مقایسه‌ی نتایج مدل طراحی‌شده با مدل شبکه‌ی باز جکسون

با استفاده از نتایج حاصل از مدل جکسون می‌توان درصد مشغول بودن ایستگاه‌ها، متوسط تعداد متقاضیان در صف، و نیز متوسط زمان انتظار متقاضیان در صف را به دست آورد. در مقایسه با نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار SLAM مشاهده می‌شود که نتایج مدل طراحی‌شده و مدل شبکه‌ی باز جکسون تقریباً با هم برابرند. اختلاف اندک نیز ناشی از تعداد اجراهای مدل شبیه‌سازی است که هرچه این تعداد بیشتر باشد مدل جکسون با شبیه‌سازی تفاوت کم‌تری خواهد داشت. اما، چنان که توضیح داده شد، محدودیت مدل جکسون در تعریف پارامترها و لزوم رعایت توزیع احتمالی ورودی و زمان‌های سرویس است. در جدول ۱ نتایج حاصل از مقایسه‌ی بین دو نوع مدل با توجه به معیارهای کارایی مختلف ارائه شده است. ارقام این جدول نحوه‌ی شبکه‌بندی و طراحی مدل توسط شبیه‌سازی را تأیید می‌کنند.

۸. نتیجه‌گیری

برای تدوین و اجرای مدل شبیه‌سازی، لازم بود ابتدا اطلاعات مورد نیاز تهیه شود. در این رابطه پاره‌یی از مشخصه‌ها، توزیع‌ها و پارامترها از طرق مختلف تعیین شد. پس از آن برای تدوین مدل شبیه‌سازی از نرم‌افزار SLAM استفاده شد و نتایج آن در قالب معیارهای ارزیابی در دو قسمت محیط داخلی و خارجی آژانس تقسیم شد. در محیط خارجی با استفاده از درصد اشتغال هر ایستگاه ظرفیت خالی آژانس

مشخص شد، و در محیط داخلی با توجه به درصد کارایی می‌توان در بهینه‌سازی خطوط داخلی اظهار نظر کرد.

در ادامه برای تعیین اعتبار مدل شبیه‌سازی طراحی‌شده ــ پس از اندکی تغییرات در نوع ورودی و نحوه‌ی سرویس‌دهی ــ آن را با مدل جکسون مقایسه کردیم. نتیجه‌ی حاصل مؤید صحت مدل طراحی‌شده است.

۹. پیشنهادها

فرایند تطبیق مدل برنامه‌ریزی خطی با نظریه‌ی صف اولین قدمی است که در راستای پژوهش صورت گرفته باید انجام گیرد. درمورد سایر فعالیت‌ها و زمینه‌های تحقیقاتی که در رابطه با پژوهش مذکور مطرح‌اند می‌توان مباحث اقتصاد مهندسی را برای ظرفیت‌سنجی، و مباحث مکان‌یابی را برای یافتن مکان با توجه به تعریف مجدد مسئله، اهداف و مدل مفهومی آن دنبال کرد.

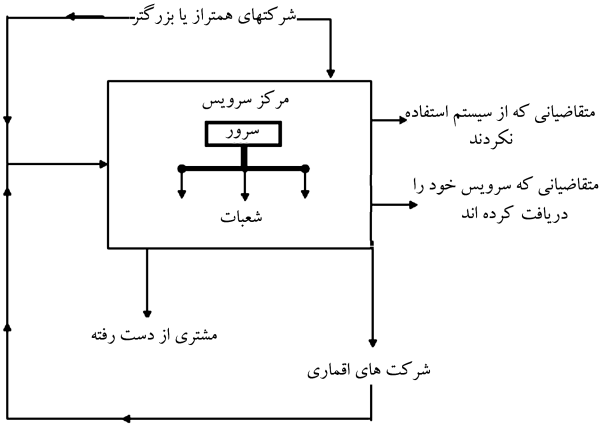
الف) مدل مفهومی گردش متقاضی در شرایط توسعه‌ی شرکت

در این حالت کلیه‌ی شعبات تحت پوشش و سایر شرکت‌های هم‌تراز مطابق شکل ۳ در نظر گرفته می‌شود.

ب) اهداف مدل در شرایط توسعه

- تعیین ظرفیت سرویس‌دهی به مشتریانی که مستقیماً به سرویس‌دهنده مراجعه می‌کنند.
- تعیین ظرفیت سرویس‌دهی به مشتریانی که به شعبات مراجعه می‌کنند.
- تعیین ظرفیت سرویس‌دهی به مشتریانی که به شرکت‌های اقماری مراجعه می‌کنند.
- تعیین حجم و ظرفیت خدمات ویژه به مشتریان.
- تعیین تعداد شعبات و پراکندگی آن در سه استانی که فرودگاه بین‌المللی دارند.
- تعیین نوع خدمات جنبی و تکمیلی.

تصمیم‌گیری درمورد حجم عملیات شامل: خرید هواپیما؛ اجاره‌ی هواپیما؛ استفاده از خدمات شرکت‌های هم‌تراز.



شکل ۳. مدل مفهومی گردش متقاضی در شرایط توسعه.

ج) عوامل تأثیرگذار در رفتار مشتری

- تنوع خدمات (صدور بلیط، رزرو هتل، خدمات جهانگردی، تورهای مسافرتی، تورهای ویژه)؛
- تخفیف (در فصول خاص و به‌طور کلی در مقابل رقبا)؛
- کیفیت سرویس (محیط فیزیکی، سرعت کار، وضعیت پرسنل)؛
- موقعیت مکانی (محل دفتر فروش، محل شعبات)؛
- وضعیت و توانایی (کوچک، بزرگ، داشتن خط پرواز مستقل، داشتن امتیاز سایر خطوط).

د) گردش شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری در روند اجرای مدل

این فرایند با لحاظ‌کردن شیوه‌های تصمیم‌گیری و ارزیابی مدل عمومیت می‌یابد (شکل ۴).

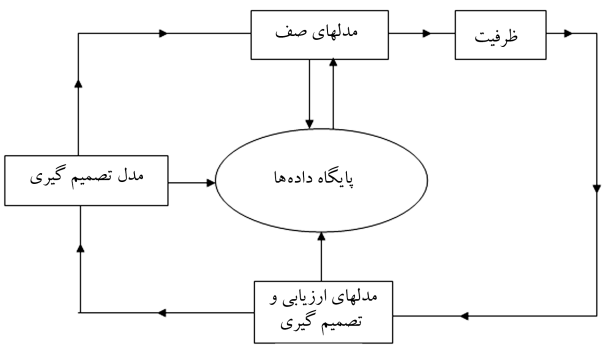
۱. **خروجی‌های مدل صف شامل:**
- تعیین ظرفیت سرویس‌دهنده‌ی مرکزی شعبات؛
- تعیین تعداد شعبات؛
- اثر تخفیف روی رفتارمتقاضی (نقطه تعادلی)؛
- تعیین امکانات پروازی.

۲. **رویکرد مدل صف شامل:**
- شبیه‌سازی؛
- ترکیبی از مدل‌های صف.

۳. **پایگاه داده‌ها شامل:**
- آمار متقاضیان به‌تفکیک نوع درخواست و نوع مشتری؛
- نقاط تقاضا، مقاصد متقاضی؛
- مدت اعتبار داده‌ها؛
- هزینه‌های مختلف (سرمایه‌گذاری و عملیات)؛
- هزینه‌های متقاضی؛
- درآمد حاصل از خدمات به متقاضی.

۴. **مدل ارزیابی**

فرضیات مدل:



شکل ۴. گردش شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری در روند اجرای مدل.

-- ظرفیت در سرویس مرکزی و شعبات معلوم است.

-- هزینه‌های احداث ظرفیت و بهره برداری معلوم است.

-- تعداد شعبات محدود است.

۵. **رویکرد مدل تصمیم‌گیری**

مدل‌های تصمیم‌گیری:

-- ارزیابی اقتصادی پروژه

-- بهینه‌سازی

-- مدل‌های AHP

-- مدل‌های MCDM

۶. **اهداف مدل ارزیابی**

مقایسه‌ی بین سایر مراکز با مرکز مورد بررسی با توجه به عوامل مختلف:

-- هزینه‌ی سرویس‌دهی

-- قیمت بلیط

-- سرعت کار

-- درآمد

-- کیفیت خدمات

-- تعداد مشتری

-- تعداد پرواز در یک دوره‌ی مشخص

-- تنوع مقاصد

در پایان یکی دیگر از معیارهای کارایی مدل، استفاده از برنامه‌ریزی و کنترل پروژه و استفاده از نمودارها و روابط مربوطه در آن است که با توسعه‌ی آن می‌توان به نتایج ارزش‌مند دست یافت.

منابع (References)

1. Donald Gross and M.Harris,"Fundamentals of queuing theory",Translated by Seyed Mohammad Taghi Fatemi Ghomi,Published by publication center of Imam Hussein Uniyersity,First edition,(In Persain) (2001).
2. Mehdi Oskounejad;Engineering economy or economic evaluation of industrial projects;Published by Amirkabir University of Technology,(In Persain) (1991).
3. Facility Layout Planning,Apple,Translated by Industrial Engineering Group,Published by ACECR Sharif University Branch,(In Persain)(1984).
4. Mir Bahadorgholi Aryanejad,Linear programming and Karmarkar's algorithm,Published by Iran University of Science and Technology,(In Persain)(1993).
5. Abd-al-Hossein Khodayvandi,Demand forecasting and application of queuing theory in air transportation industry,Iran University of science and Technology,Department of civil Engineering,(In persain)(1996).
6. Seyyed kamran khavasi,Application of queuing theory in the optimum utilization of the electric power distribution,the 9th conference of Electric Power Distribution,Zanjan University.(In Persain)(2005).
7. Amirhossein Mohajerzadeh,Queueing Management Algorithm,the 3rd International Conference of Information Technology and Knowledge,(In Persain)(2008).
8. Rasoul Jalili,An Algorithm For Active Queue Management For Firewalls,The 8th Conference of Iran Computer Association,(in Persain)(2003).
9. Mehrdad Najafi,Application of queuing theory in estimation of Shahid Rajaee quay container,the 7th Conference of Traffic and Transportation Engineering in Iran,(In Persain)(2006).
10. Mohammad Aghdasi,Computer simulation and SLAM language,ACECR Sharif University Branch,(In Persain)(1994).
11. Rendeiro Rendeiro,"Tourism service quality begins at the airport", *Journal of Tourism Management,* **27**(5), pp. 874-877 (October 2006).
12. Peterson, M.D. and Bertsimas, D.J. "Models and algorithms for transient queueing congestion at airports", *Journal of Managemant Science,* **41**(8), pp. 1279-1295 (August 1995).
13. Amit I. pazgal and Sonja Radas, "Comparison of Customer balking and reneging behavior to queueing theory predictions: An experimental study" ,Computers and Operations Research 35, pp.2537-2548 (2008).
14. Eugene P.Gilbo,"Optimizing airport capacity utilization in air traffic flow management subject to constraints at arrival and departure fixes", *IEEE Transactions On Control Systems Technology,* **5**(5),pp. 490-503 (September 1997).