

مدل سازی پویایی های سیستم صف با استفاده از رویکرد پویایی سیستم

نویسندگان: دکتر منصور مؤمنی^۱ و علی مروتی شریف آبادی^۲

۱. استادیار دانشگاه تهران

۲. دانشجوی دکترای مدیریت گرایش تحقیق در عملیات دانشگاه تهران

چکیده

در یک تعریف ساده، تئوری صف، علم تجزیه و تحلیل و مدیریت خطوط انتظار است. تئوری صف، شاخه‌ای از علم ریاضیات است که در اوایل قرن بیستم در حین مطالعه بر روی خطوط انتظار تلفن توسعه پیدا کرد. باید توجه داشت که در تمام سیستم‌های صف، انسان حضور ندارد، ولی در سیستم‌های صفی که در آن‌ها انسان به عنوان ارائه‌دهنده خدمت فعالیت می‌کند می‌توان سیستم صف را یک سیستم پویا در نظر گرفت؛ زیرا در این گونه سیستم‌ها، اجزای سیستم با یکدیگر تعامل و بر هم کنش بیشتر دارند. در این مقاله با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، یک مدل دینامیک از پویایی‌های یک سیستم صف ارائه گردیده و سپس با بررسی اثر اجزای مختلف مدل بر دیگر اجزا به مطالعه پویایی‌های یک سیستم ساده صف پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم صف، پویایی‌های سیستم، مدل‌سازی، شبیه‌سازی

دوماهنامه علمی - پژوهشی

دانشگاه شاهد

سال سیزدهم - دوره جدید

شماره ۱۷

تیر ۱۳۸۵

۱. مقدمه

صف در ساده‌ترین شکل ممکن، مکانی است که واحدهای دریافت‌کننده خدمت منتظر می‌مانند تا نوبت به آن‌ها برسد [۱] و تئوری صف (queuing theory) مقدمتاً با سیستم‌هایی در ارتباط است که در آن‌ها، ورود مشتریان و همچنین خدمت‌دهی به آنان حالت تصادفی دارد. سیستم‌های صف را با توجه به دو ویژگی اصلی‌شان

می‌توان مورد مطالعه قرار داد؛ یکی نرخ ورود مشتریان به سیستم و دیگری نرخ ارائه خدمت توسط واحدهای ارائه‌دهنده خدمت و خروج مشتریان از سیستم [۲ و ۳]. یک سیستم صف الزاماً دارای سه جزء است [۴ و ۵]:
۱. جمعیت مشتریان مراجعه‌کننده به سیستم که این جمعیت را در سیستم‌های صف می‌توان محدود یا نامحدود در نظر گرفت. در مدل ارائه‌شده در این مقاله، جمعیت مشتریان نامحدود فرض شده است.

همچنین فشارهای کاری، خدمت دهندگان در سرعت ارائه خدمات و زمانی که برای هر مشتری صرف می کنند تغییر می دهند.

با توجه به این که سرعت ارائه خدمت کارکنان خدمت دهنده تحت تأثیر میزان فشار کاری وارد بر آنها قرار می گیرد لذا در زمان برنامه ریزی در رابطه با تعداد پرسنل خدمت دهنده و زمان کاری آنها در طول روز باید به این موضوع توجه شود. لذا «مسأله» مدیریت برای برنامه ریزی در مورد تعداد کارکنان خدمت دهنده و زمان کاری آنها در طول روز، این است که نمی تواند برای انسان ها نیز همانند ماشین های ارائه دهنده خدمت یک نرخ ارائه خدمت ثابت را در طول زمان کاری در نظر بگیرد و باید تغییرات در نرخ ارائه خدمت توسط خدمت دهندگان را در نظر داشته باشد.

در مقاله حاضر، این «مسأله» در یک سازمان ارائه دهنده خدمات پشتیبانی به خریداران نرم افزارهای مالی سازمان مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله سعی شده با استفاده از شبیه سازی، توجه مدیریت به این نکته جلب شود که نیروهای متخصص سازمان دارای نرخ ارائه خدمت ثابتی در طی زمان نیستند و این موضوع در موقع برنامه ریزی نیروی انسانی باید مورد توجه قرار گیرد.

برای شبیه سازی سیستم صف، از آن جا که تعداد اجزای متعامل و تعامل بین آنها بسیار زیاد است، نیاز به ساده سازی در مدل وجود دارد. به همین منظور در مدل ارائه شده در این مقاله، نرخ ورود مشتریان و تعداد خدمت دهندگان در ابتدا ثابت فرض شده، ولی پس از طراحی مدل می توان با تغییر این پارامترها، اثر هر یک از تغییرات را بر کل اجزای سیستم مورد مطالعه قرار داد.

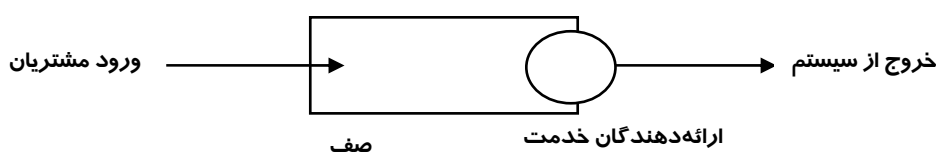
۲. سیستم ارائه دهنده خدمت که دربرگیرنده صف انتظار و تعدادی خدمت دهنده است. از ویژگی های صف انتظار می توان به طول صف، تعداد صف ها و قانون صف اشاره کرد. در مدل مورد نظر در این تحقیق، تعداد ارائه دهندگان خدمت محدود و سیستم، دربرگیرنده تنها یک صف با اندازه نامحدود و با قانون اولین وارده اولین خدمت مورد مطالعه قرار گرفته است.

۳. وضعیت خروج مشتریان بدین معنا که آیا واحدهای دریافت کننده خدمت از سیستم به جامعه برمی گردند یا خیر. در مدل مورد مطالعه در این تحقیق، مشتریان پس از دریافت خدمت به جمعیت مورد مطالعه باز می گردند.

در یک سیستم صف، زمانی که نرخ ورود مشتریان از نرخ دریافت خدمت پیش تر باشد طول صف افزایش پیدا می کند. می توان سیستم صف را در حالتی بسیار ساده همانند شکل ۱ در نظر گرفت.

تئوری صف در آغاز به عنوان یک موضوع بسیار عملی مورد توجه قرار گرفت، لکن متأسفانه قسمت اعظم نوشته های اخیر از ارزش علمی کمتری برخوردار بوده اند. اینک مجدداً تئورسین های صف به سمت کاربرد تئوری پیچیده ای که قسمت عمده آن در ۳۰ سال گذشته توسعه یافته علاقه مند شده اند [۶].

در ادبیات مربوط به تئوری صف و سیستم های صف، به سیستم صف به عنوان یک سیستم ایستا نگاه شده و در طول زمان، سرعت ورود مشتریان و سرعت ارائه خدمات در سیستم ثابت فرض گردیده است. در سیستم های خدماتی که انسان در آن ارائه دهنده خدمت است این فروض می تواند در حد نسبتاً بالا غیر واقعی باشد، زیرا در طول زمان با توجه به طول صف و



شکل ۱: سیستم صف

۲. تکنیک پویایی سیستم

رویکرد پویایی سیستم (System Dynamics)، روشی برای تجزیه و تحلیل، حل مسأله و شبیه‌سازی سیستم است [۷]. این تکنیک، روشی برای تجزیه و تحلیل سیستم‌ها و مسائل پیچیده به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری به شمار می‌رود [۸] که در دهه ۱۹۶۰ توسط فارستر (Forrester) در دانشگاه MIT توسعه پیدا کرد [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲].

به طور مختصر می‌توان گفت که روش پویایی سیستم، یک روش فرموله‌شده مناسب برای تجزیه و تحلیل اجزای سیستمی است که دارای روابط علی-معلولی، زیربنای منطقی و ریاضی، تأخیرات زمانی و حلقه‌های بازخور هستند [۱۳]. این تکنیک در جهان صنعت و تجارت شکل گرفت، ولی امروزه در بسیاری از عرصه‌های علمی وارد شده است [۱۴]. بسیاری از افراد امروزه از توانایی این تکنیک برای ایجاد نظم در سیستم‌های پیچیده و کمک به دیگران برای فهم و یادگیری چنین سیستم‌هایی استفاده می‌کنند [۱۵].

مزایای استفاده از رویکرد دینامیکی سیستم‌ها را به این شرح می‌توان برشمرد:

۱. به دلیل رویکرد تحلیلی و انتقادی در فرایند مدل‌سازی، این فرایند درک بهتری از ساختار سیستم فراهم می‌کند.
۲. مدل‌های پویایی سیستم امکان وارد کردن متغیرهای کیفی و کمی را به صورت همزمان در سیستم فراهم می‌آورند [۱۶].

دو ابزاری که برای فهم بهتر مدل‌سازی سیستم‌های پویا (Dynamic Systems) مورد استفاده قرار می‌گیرد نمودار علی-معلولی (Causal Diagram) و نمودار جریان (Flow Diagram) است که در ادامه به توضیح آن‌ها می‌پردازیم.

۳. نمودار علی-معلولی

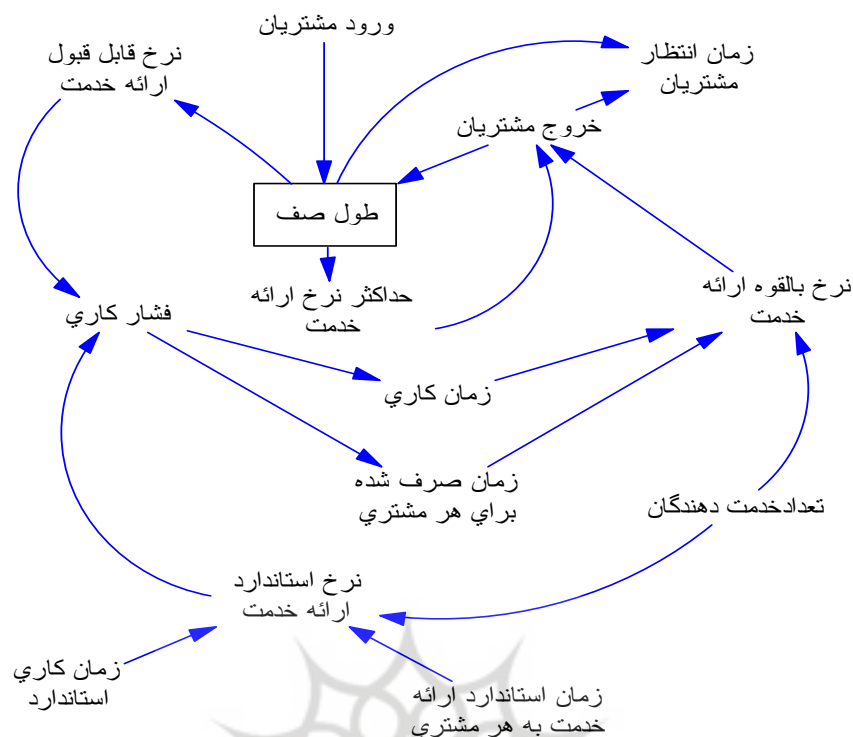
نمودار علی-معلولی نموداری است که روابط علی بین متغیرهای سیستم را به سادگی نشان می‌دهد. با این ابزار، مدل‌های ذهنی افراد ساده‌تر درک می‌شود. رابطه

بین علت و معلول در یک سیستم از طریق یک خط منحنی که دارای یک فلش برای نشان دادن جهت عملیات است ترسیم می‌شود. باید به خاطر داشت که حلقه‌های علی، ساختار یک سیستم را ترسیم می‌کنند. برای ساختن یک مدل و جمع‌آوری اطلاعات، روش‌های مختلف تحقیق قابل استفاده است؛ اما یکی از بهترین روش‌ها به کارگیری روش مصاحبه نیمه‌ساخت یافته است، زیرا داده‌های به دست آمده از مصاحبه غنی هستند و باید با داده‌های کمی تکمیل گردند. البته تنوع افراد مصاحبه‌شونده، شرط اصلی در به کارگیری موفق این روش است [۱۷].

برای مدل‌سازی سیستم صف مورد مطالعه از نمودار علی-معلولی شکل ۲ و برای استخراج پارامترهای عمده اثرگذار بر سیستم و روابط بین آن‌ها به منظور رسم نمودار علی-معلولی از نظرهای خیرگان سیستم مورد مطالعه و ادبیات و پیشینه موضوع استفاده شده است.

نمودار علی-معلولی در شکل ۲، اجزای یک سیستم صف را که با یکدیگر رابطه متقابل دارند به تصویر می‌کشد. لازم است در این جا تعدادی از متغیرهای کلیدی به کار گرفته شده در مدل معرفی شوند. البته از تعریف مجدد متغیرهایی چون نرخ ورود مشتریان، نرخ دریافت خدمت توسط مشتریان، طول صف، تعداد خدمت‌دهندگان و... که قبلاً بیان شده‌اند یا از بدیهیات محسوب می‌شوند خودداری شده است.

- زمان صرف شده برای هر مشتری، مدت زمانی است که فرد ارائه‌دهنده خدمت در عمل برای ارائه خدمت به هر مشتری صرف می‌کند.
- زمان استاندارد ارائه خدمت، مدت زمانی است که وقتی فشار کاری بر روی خدمت‌دهندگان سیستم نباشد به صورت استاندارد، هر یک از خدمت‌دهندگان برای ارائه خدمت به هر یک از مشتریان صرف می‌کنند که طبیعتاً مقدار ثابتی است.



شکل ۲: نمودار علی - معلولی سیستم صف

زمان انتظاری که مشتری با آن مواجه می شود ممکن است با توجه به نرخ ورود مشتریان و نرخ دریافت خدمت توسط آن ها متغیر باشد. از طرف دیگر، مدیریت سازمان نیز مدت زمانی را به عنوان حداکثر زمان انتظار هر مشتری منظور می کند. بنابراین در هر لحظه از زمان از تقسیم طول صف بر حداکثر زمان انتظار هر مشتری، نرخ قابل قبول ارائه خدمت به دست می آید.

- **حداکثر نرخ ارائه خدمت** که نشان می دهد در سیستم با فرض نبودن محدودیت تعداد خدمت دهندگان، حداکثر تعداد مشتری که سیستم می تواند در واحد زمان به آن ها سرویس بدهد چند مشتری است؟ با توجه به این که برای خدمت به مشتریان، در هر حال، حداقل زمانی مورد نیاز است، مقدار حداکثر نرخ ارائه خدمات از تقسیم طول صف بر حداقل زمان ارائه خدمت به هر مشتری به دست می آید.

- **نرخ استاندارد ارائه خدمت**، بدین معنا که اگر زمان کاری هر یک از خدمت دهندگان در حالت عادی مقدار ثابتی در نظر گرفته شود، آن گاه هر یک از خدمت دهندگان با توجه به این که ارائه خدمت به هر مشتری دارای یک زمان استاندارد است به صورت استاندارد در یک دوره زمانی معین به تعداد مشخصی مشتری خدمت ارائه می دهد. این مقدار در مدل با عنوان «نرخ استاندارد ارائه خدمت» در نظر گرفته شده است.

- **نرخ بالقوه ارائه خدمت** که نشان می دهد خدمت دهندگان بدون توجه به طول صف یا نرخ ورود مشتریان، به صورت بالقوه توان خدمت دهی به چند مشتری را در یک واحد زمانی مشخص مثل یک روز دارند.

- **نرخ قابل قبول ارائه خدمت**: نکته ای که باید در این مدل به آن توجه داشت این است که در این سیستم قاعدتاً زمانی که مشتری وارد سیستم می شود باید مدت زمانی منتظر بماند تا نوبت به او برسد. مدت

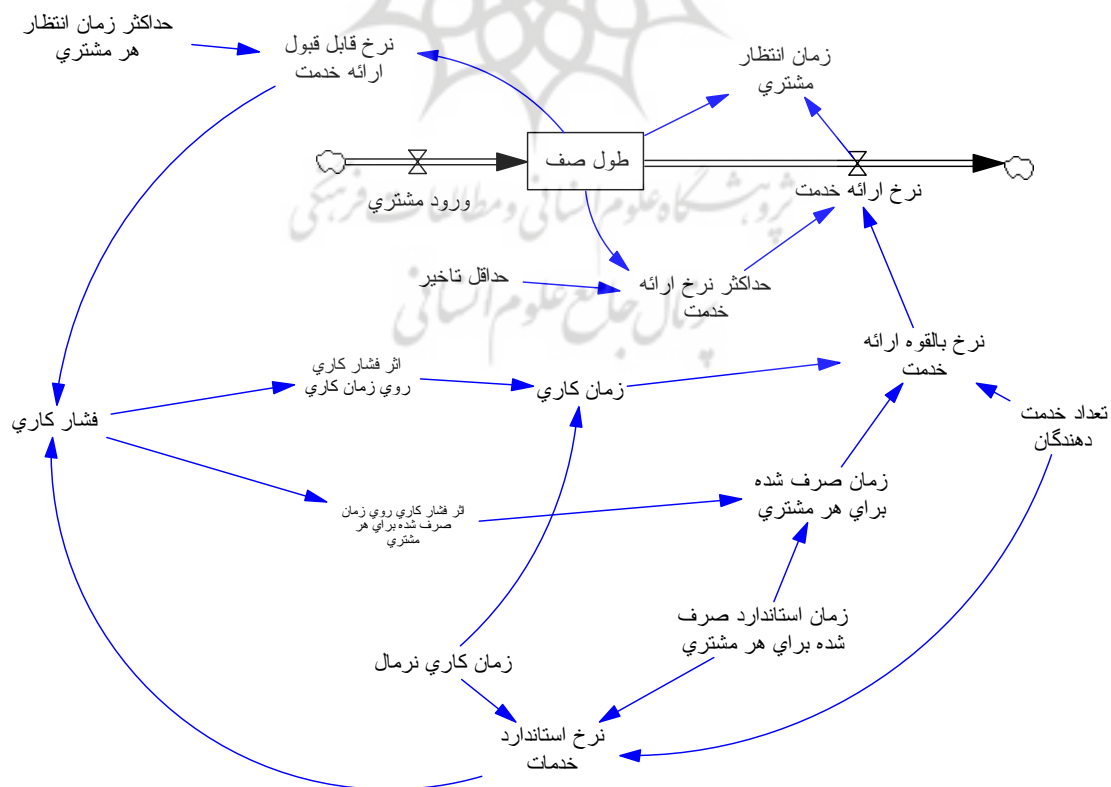
۴. نمودار جریان

این نمودار، نحوه تعامل بین متغیرهای یک سیستم با یکدیگر را نشان می‌دهد و می‌تواند مبنایی برای توسعه یک مدل کمی باشد [۱۸]. در ترسیم نمودار جریان، آشنایی با دو مفهوم انبار (Stock) و جریان (Flow) ضروری است.

در هر سیستم مقدار برخی متغیرها افزایش و یا کاهش می‌یابد که به آن‌ها «متغیرهای انباره‌ای (ذخیره)» گفته می‌شود. نرخ افزایش یا کاهش این متغیرها «جریان» خوانده می‌شود.

نمودار جریان یک سیستم صف را می‌توان با استفاده از ادبیات موضوع و نظر خبرگان و اطلاعاتی که از نمونه‌گیری در بازه‌های مختلف زمانی به دست می‌آید، استخراج کرد. در جریان ساخت این نمودار از فرمول‌های کمی، روابط کیفی و توابع عددی استفاده شده است. شکل ۳ نمودار جریان مربوط به سیستم صف مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

- فشار کاری که منظور از آن، نسبت نرخ قابل قبول ارائه خدمت تقسیم بر نرخ استاندارد ارائه خدمت است. هرگاه این نسبت بزرگ‌تر از یک باشد بر خدمت‌دهندگان فشار وارد می‌آید که یا زمان کاری خود را افزایش دهند یا زمان صرف‌شده برای هر مشتری را کاهش دهند.
- زمان انتظار مشتریان، نشان‌دهنده مدت زمانی است که مشتریان از لحظه ورود به سیستم تا لحظه خروج از سیستم باید منتظر بمانند. این مدت زمان از تقسیم طول صف بر نرخ ارائه خدمت به مشتریان به دست می‌آید. برای مثال اگر طول صف ۲۰ باشد و نرخ ارائه خدمت، ۲ مشتری در واحد زمان باشد، هر مشتری که به سیستم وارد می‌شود باید به مدت ۱۰ واحد زمانی (۲۰ تقسیم بر ۲) منتظر بماند. همان‌طور که در نمودار ۲ نشان داده شده طول صف، متغیری است که تحت تأثیر نرخ ورود مشتریان و نرخ خروج آن‌ها (نرخ ارائه خدمت) است.



شکل ۳: نمودار جریان سیستم صف

موضوع پرداخته شده که نرخ ارائه خدمت توسط خدمت‌دهندگان با توجه به فشار کاری وارد بر آن‌ها تغییر می‌کند که این تغییر می‌تواند از طریق تغییر زمان کاری خدمت‌دهندگان و یا تغییر زمان صرف‌شده برای هر مشتری رخ دهد. بنابراین به این نکته اشاره شد که در سیستم‌های صفی که انسان به‌عنوان ارائه‌دهنده خدمت فعالیت می‌کند، در نظر گرفتن زمان ثابتی به‌عنوان زمان ارائه خدمت، می‌تواند غیرواقعی باشد. در ادامه مقاله، سیستم صف فوق‌الذکر به کمک تکنیک پویایی سیستم شبیه‌سازی شده و در حالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

اکنون می‌توان با در دست داشتن مدلی از سیستم، اجزای مختلف آن را تغییر داد، اثر تغییرات را بر سایر اجزای مدل مطالعه کرد. البته برای انجام این مطالعه لازم است که از قابل اعتماد بودن مدل اطمینان حاصل شود.

۵. تست مدل و اعتبار آن

تست مدل و اعتبار آن، قابلیت اعتماد به مدل را افزایش می‌دهد و اعتماد به کاربردی بودن آن را بالا می‌برد. اعتبار ساختاری مدل بر اعتبار رفتاری آن اولویت دارد و تنها زمانی که ساختار مدل دارای اعتبار است می‌توان اعتبار رفتاری مدل را مورد بررسی قرار داد [۱۹]. مدل‌های پویایی سیستم را می‌توان به کمک داده‌های جمع‌آوری شده به‌صورت میدانی و با استفاده از ادبیات موجود به شکلی تعدیل کرد و اعتبار بخشید و مآلاً ابزاری را برای تست کردن سناریوها و شبیه‌سازی‌های مختلف توسعه داد [۲۰].

برای دستیابی به این اطمینان از مدل می‌توان از آزمون‌های زیر استفاده کرد:

۱. آزمون حد نهایی: در این آزمون، مقدار چند متغیر اصلی مدل (نرخ ورود مشتریان، تعداد خدمت‌دهندگان، حداکثر زمان انتظار مشتری و...) در حالت‌های حدی مختلف (بسیار زیاد و بسیار کم) تغییر داده شده، میزان حساسیت مدل در برابر

همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، صف در این مدل یک انباره است که مقدار آن با جریانی به نام «ورود مشتری» افزایش می‌یابد و با جریان دیگری به نام «ارائه خدمت» (خروج مشتری) کاهش پیدا می‌کند. برای سادگی مدل ورود مشتریان به سیستم صف در این مدل یک متغیر برون‌زا در نظر گرفته شده است. هرچند می‌توان نرخ ورود مشتریان را به نوعی تحت تأثیر نرخ ارائه خدمت و طول صف دانست، ولی برای ممانعت از پیچیدگی بیش از حد مدل از این کار اجتناب شده است.

اما نرخ ارائه خدمت در مدل یک متغیر درون‌زا است که در این مدل به میزان حداقل دو مقدار «حداکثر نرخ ارائه خدمت» و «نرخ بالقوه ارائه خدمت» است، یعنی:

$$\text{نرخ ارائه خدمت} =$$

حداقل {نرخ بالقوه ارائه خدمت، حداکثر نرخ ارائه خدمت}

همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، طول صف با اعمال فشار کاری بر خدمت‌دهندگان باعث تغییر در زمان کاری و زمان صرف‌شده برای هر مشتری می‌شود و به این ترتیب بر نرخ بالقوه ارائه خدمت تأثیر می‌گذارد. البته باید به این نکته توجه داشت که زمانی فشار کاری بر زمان کاری خدمت‌دهندگان و زمان صرف‌شده برای هر مشتری تأثیر می‌گذارد که مقدار فشار کاری حاصل از تقسیم نرخ قابل قبول ارائه خدمت بر نرخ استاندارد ارائه خدمت، از یک بزرگ‌تر شود.

زمان انتظار مشتری در این مدل از رابطه طول صف، تقسیم بر نرخ ارائه خدمت به‌دست می‌آید. محاسبه این متغیر صرفاً برای نشان دادن زمان انتظار مشتری در سیستم است و اثری بر سایر متغیرهای مدل نخواهد داشت.

البته نوآوری مدل پیشنهاد شده در این مقاله این است که در این جا به سیستم صفی که در آن عامل انسانی ارائه‌دهنده خدمت است به‌عنوان یک سیستم پویا نگریسته می‌شود. در مدل ارائه شده در این مقاله به این

مشتریان ۱۰ مشتری در روز و حداقل تأخیر ۲ ساعت. طول صف نیز در ابتدا به صورت فرضی ۱۰۰ مشتری در نظر گرفته شده است. به علت محدودیت‌های نرم‌افزار در شبیه‌سازی نمی‌توان طول صف را در ابتدا صفر در نظر گرفت.

سازمان فوق، یک سازمان ارائه‌دهنده خدمات پشتیبانی به نرم‌افزارهای مالی است که در آن ۲۰ نفر از مهندسين نرم‌افزار به متقاضیان خدمت پشتیبانی، ارائه خدمت می‌کنند. در حالت عادی برای ارائه خدمت به هر مشتری به طور متوسط ۵ ساعت زمان صرف می‌شود، ولی خدمت‌دهندگان می‌توانند در صورت فشار کاری، این زمان را تا حدی نرخ ورود مشتریان ثابت است و خدمات پشتیبانی به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده که هر یک از ۲۰ خدمت‌دهنده می‌تواند به تمام مشتریان خدمت ارائه دهد. مشتریان نیز همه خواهان یک نوع خدمت هستند: یعنی پشتیبانی از نرم‌افزارهای مالی. در ادامه مقاله، شبیه‌سازی سیستم صف سازمان مورد مطالعه ارائه شده است.

با توجه به این که مقدار بعضی از پارامترهای مدل برون‌زا است و تحت تأثیر تعامل بین اجزای مدل قرار نمی‌گیرد بلکه توسط عوامل بیرونی تعیین می‌شود از ترسیم نمودار مربوط به رفتار آن متغیرها اجتناب شده است.

چون نمودار مربوط به این گونه متغیرها نظیر تعداد کارکنان، میزان تأخیر مطلوب، نرخ ورود مشتریان، زمان کاری استاندارد و زمان استاندارد صرف شده برای هر مشتری در طول زمان ثابت است. به رفتار متغیرهایی چون طول صف، نرخ دریافت خدمت توسط مشتریان و زمان انتظار مشتری که می‌تواند برای مدیریت سازمان حائز اهمیت باشد پرداخته شده است.

در ادامه، رفتار سیستم در سه وضعیت ممکن مورد مطالعه قرار گرفته است. البته هر محقق می‌تواند سایر وضعیت‌های ممکن را نیز بررسی کند.

این تغییرات بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده رفتار منطقی مدل در حالات حدی است.

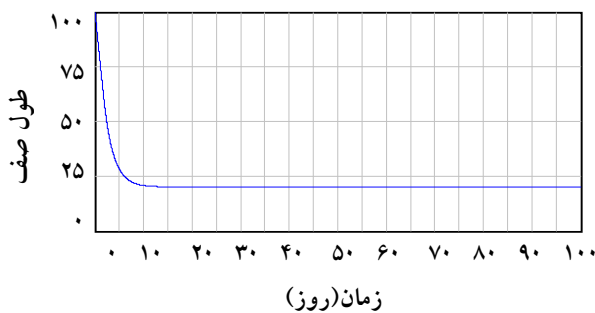
۲. آزمون‌های بخشی اجزای مدل: در این آزمون، مدل به زیر مدل‌های ساده‌تر تقسیم شده، سپس تست‌های مختلفی (از جمله تست‌های حد نهایی) روی هر یک از زیرمدل‌ها انجام گرفته، نهایتاً زیرمدل‌ها در مدل نهایی قرار داده شده است.

۳. آزمون سازگاری جدول‌های عددی: برای بررسی اثر فشار زمانی بر زمان صرف‌شده برای هر مشتری و زمان کاری روزانه خدمت‌دهندگان، مجموعه‌ای از توابع یا جداول عددی که طبق نظر خبرگان به دست می‌آید، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آزمون سازگاری باید مقادیر این جداول عددی را مورد بررسی قرار داد و در صورتی که مقادیری دیده شوند که باعث رفتار غیرمنطقی مدل می‌شوند به‌عنوان داده‌های پرت از بین داده‌ها حذف گردند.

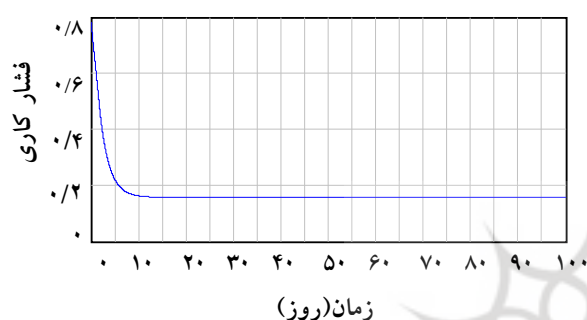
۶. شبیه‌سازی مدل

با توجه به نمودار جریان فوق که یک مدل از روابط اجزای یک سیستم صف است اکنون می‌توان اثر تغییرات اجزای مختلف سیستم را بر دیگر اجزای سیستم مطالعه کرد. برای شبیه‌سازی مدل تشریح شده از سیستم صف و بررسی تأثیر خط‌مشی‌های مختلف مدیریت یا تغییر در متغیرهای برون‌زا بر سیستم از نرم‌افزار ونسیم کمک گرفته شده است. البته برای شبیه‌سازی کامپیوتری رفتارهای پویا نرم‌افزارهای متعددی ارائه شده که هر یک ویژگی‌هایی دارند، اما از این میان، نرم‌افزار ونسیم از بهترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی محسوب می‌گردد [۲۱].

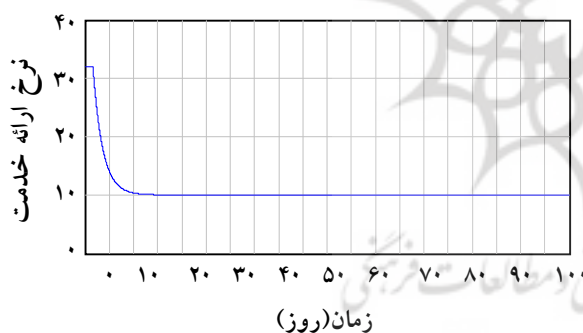
وضعیت سازمان مورد مطالعه که برای شبیه‌سازی مدل از اطلاعات آن استفاده شده به شرح زیر است: تعداد خدمت‌دهندگان سیستم ۲۰ نفر، حداکثر زمان انتظار هر مشتری از دیدگاه مدیریت ۱۰ ساعت، زمان استاندارد صرف شده برای هر مشتری ۵ ساعت، زمان کاری نرمال هر نفر ۸ ساعت در روز، نرخ ورود



شکل ۴: طول صف



شکل ۵: فشار کاری



شکل ۶: نرخ ارائه خدمت

مقدار نیز مرتب با کاهش طول صف کاهش می یابد تا این که در زمان تقریبی ۱۵ با ثابت شدن طول صف، نرخ ارائه خدمت نیز ثابت می شود.

با در نظر گرفتن تمام فرضیات گفته شده و مشاهده رفتار اجزای مختلف مدل، زمان انتظار برای هر مشتری به صورت شکل ۷ است.

همان طور که دیده می شود با توجه به طولانی بودن صف در شروع کار و کاهش آن در طی زمان، زمان انتظار مشتریان نیز به شکلی خطی کاهش می یابد تا این که در مقدار پایین تری به ثبات می رسد.

وضعیت ۱: شبیه سازی مدل در حالت ثابت بودن متغیرهای برون زا

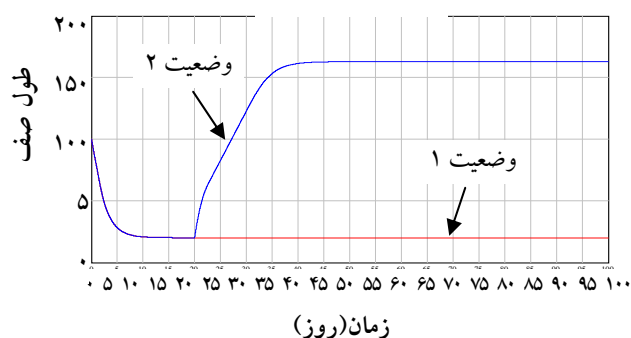
پس از شبیه سازی مدل با مفروضات فوق، با فرض ثابت ماندن متغیرهای برونزا، مدل مطالعه شد. اولین تغییری که رفتارش مورد توجه قرار می گیرد طول صف است که در شکل ۴ نشان داده شده است.

همان طور که در این شکل دیده می شود از آنجا که طول اولیه صف ۱۰۰ مشتری در نظر گرفته شده و نرخ ورود مشتریان ۱۰ نفر در روز است، چون با توجه به نرخ ارائه خدمت، این مقدار صف غیرطبیعی است از زمان صفر، سیستم شروع به کاهش طول صف می کند و نهایتاً در تعداد ۲۰ مشتری در صف به تعادل می رسد. دومین تغییری که رفتارش در سیستم می تواند جالب توجه باشد فشار کاری وارد بر خدمت دهندگان است. رفتار این متغیر در وضعیت ۱ در شکل ۵ نشان داده شده است.

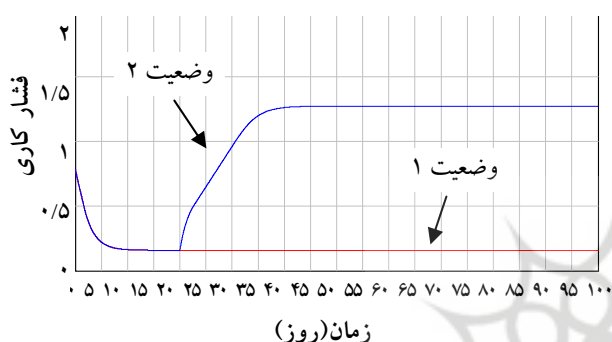
همان طور که ملاحظه می شود مقدار فشار کاری، پایین تر از مقدار یک باقی می ماند. زمانی که فشار کاری برابر و یا کم تر از یک باشد به این معنا است که کارکنان برای اتمام هرچه سریع تر کارهای شان تحت فشار کاری نیستند. با توجه به طولانی بودن صف در لحظه شروع شبیه سازی، نرخ قابل قبول ارائه خدمت بالا بوده، در نتیجه، فشار کاری در حد ۰/۸ قرار دارد؛ ولی با توجه به کاهش طول صف در طی زمان، از نرخ قابل قبول ارائه خدمت کاسته شده، فشار کاری نیز تا مقدار کم تر از ۰/۲ کاهش یافته است.

متغیر بعدی که رفتارش در مدل مورد توجه قرار گرفت نرخ ارائه خدمت است. شکل ۶ وضعیت نرخ ارائه خدمت در طول زمان را نشان می دهد.

همان طور که نمودار نشان می دهد به علت طولانی بودن صف در زمان صفر، نرخ ارائه خدمت برابر با نرخ بالقوه ارائه خدمت بوده که مقدار ثابتی است، ولی با کاهش طول صف و نیز مقدار حداکثر نرخ ارائه خدمت، این نرخ که مینیمم دو مقدار حداکثر نرخ ارائه خدمت و نرخ بالقوه ارائه خدمت محسوب می شود برابر با حداکثر نرخ ارائه خدمت شده است که البته این



شکل ۸: طول صف با فرض تغییر در نرخ ورود مشتریان



شکل ۹: فشار کاری

همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود با تغییر در نرخ ورود مشتریان در زمان ۲۰ و افزایش طول صف، نرخ قابل قبول ارائه خدمت و در نتیجه، فشار کاری خدمت‌دهندگان شروع به افزایش می‌کند و در زمان ۳۰ از حد یک نیز بالاتر می‌رود که این لحظه دقیقاً زمانی است که خدمت‌دهندگان در زمان کاری خود و زمان صرف‌شده برای هر مشتری تجدیدنظر می‌کنند. شکل ۱۰ «الف» زمان کاری خدمت‌دهندگان و شکل ۱۰ «ب» زمان صرف‌شده برای هر مشتری را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود دقیقاً از زمانی که فشار کاری از مقدار یک بالاتر می‌رود خدمت‌دهندگان شروع به کاهش زمان صرف‌شده برای هر مشتری و افزایش زمان کاری روزانه خود می‌کنند. در ادامه، نرخ ارائه خدمت، با فرض تغییر در نرخ ورود مشتریان مورد توجه قرار گرفته است. نحوه تغییرات در نرخ ارائه خدمت در وضعیت ۲ در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

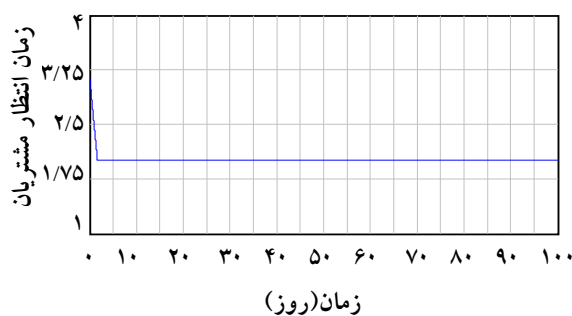
وضعیت ۲: تغییر در نرخ ورود مشتریان

در وضعیت ۲ فرض شده که در زمان ۲۰ از زمان شروع، نرخ ورود مشتریان از مقدار اولیه که ۱۰ مشتری در روز در نظر گرفته شده به ۴۰ مشتری در روز افزایش می‌یابد. در دنیای واقعی، این تغییر می‌تواند ناشی از مسائل برون‌سازمانی، نظیر تعطیلی یک سازمان رقیب یا تغییر در الگوی مصرف جمعیت مشتریان باشد. اکنون رفتار پارامترهای مورد مطالعه مجدد مورد توجه قرار می‌گیرد. در نمودارهای مربوط به این وضعیت و همچنین وضعیت ۳ نمودارهای تمام وضعیت‌ها نشان داده می‌شود تا مقایسه رفتار متغیرها در وضعیت‌های مختلف ممکن باشد.

شکل ۸ نشان‌دهنده طول صف با اعمال وضعیت ۲ است.

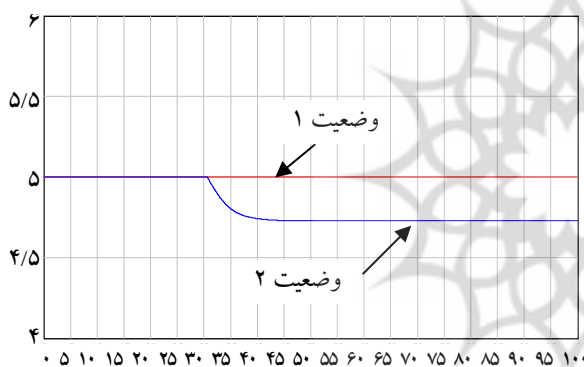
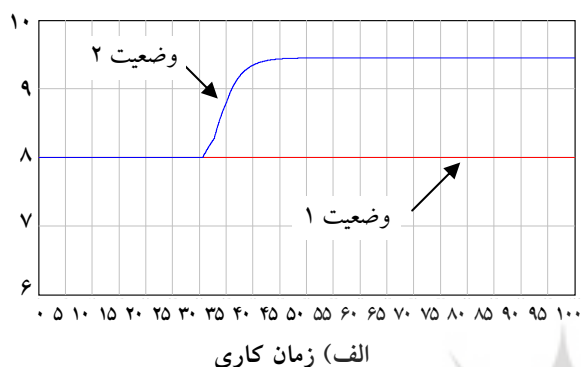
همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود در زمان ۲۰ با افزایش یافتن نرخ ورود مشتریان، طول صف نیز شروع به افزایش می‌کند. از آنجا که بلافاصله پس از افزایش نرخ ورود مشتریان، نرخ ارائه خدمت توسط خدمت‌دهندگان افزایش نمی‌کند و برای افزایش فشار کاری بر خدمت‌دهندگان و در نتیجه افزایش زمان کاری آن‌ها یا کاهش زمان صرف‌شده برای هر مشتری، زمان لازم است، دیده می‌شود که با ۴ برابر شدن نرخ ورود مشتریان، طول صف تا حدود ۸ برابر افزایش پیدا می‌کند.

شکل ۹ نشان‌دهنده فشار کاری وارد بر خدمت‌دهندگان با تغییر در نرخ ورود مشتریان در زمان ۲۰ است.

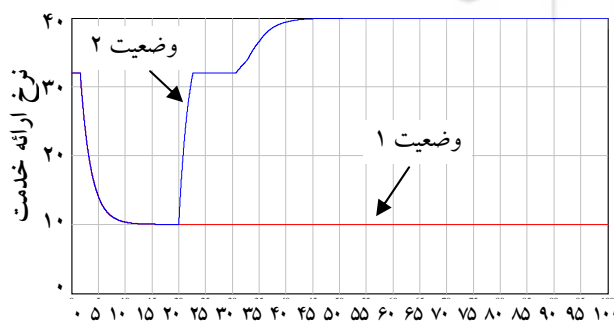


شکل ۱۱: زمان انتظار مشتریان

پرسنل وارد می شود که آنگاه خدمت دهندگان زمان صرف شده برای هر مشتری را کاهش و زمان کاری خود را افزایش می دهند و بدین ترتیب، مانع از افزایش بیش از حد زمان انتظار مشتریان از حد تعیین شده می شوند.



شکل ۱۰: تغییرات در زمان کاری و زمان صرف شده برای هر مشتری با فرض تغییر در نرخ ورود مشتریان



شکل ۱۱: نرخ ارائه خدمت به مشتریان با فرض تغییر در نرخ ورود مشتریان

همان طور که در شکل ۱۱ دیده می شود نرخ ارائه خدمت به مشتریان در زمان ۲۰ با افزایش طول صف، شروع به افزایش می کند؛ ولی نکته در خور توجه این است که با افزایش نرخ ارائه خدمت در مدتی حدود دو روز، نرخ ارائه خدمت به مدت ۸ روز ثابت باقی می ماند و مجدد شروع به رشد می کند. دلیل این اتفاق را می توان این گونه بیان کرد که نرخ ارائه خدمت مینیمم دو متغیر حداکثر نرخ ارائه خدمت و نرخ بالقوه ارائه خدمت است. در روز بیستم با افزایش نرخ ورود مشتریان، و با افزایش طول صف، حداکثر نرخ ارائه خدمت افزایش می یابد و از آن جا که در ابتدا این مقدار از نرخ بالقوه ارائه خدمت کم تر و در نتیجه نرخ ارائه خدمت برابر آن است نرخ ارائه خدمت به حدی می یابد. اما زمانی که حداکثر نرخ ارائه خدمت به حدی افزایش پیدا کرد که از نرخ بالقوه ارائه خدمت بزرگ تر شد آنگاه نرخ ارائه خدمت برابر با نرخ بالقوه ارائه خدمت می شود. از آن جا که نرخ بالقوه ارائه خدمت تا زمانی که فشار کاری از یک بالاتر نرود ثابت می ماند، بنابراین برای مدتی، نرخ ارائه خدمت ثابت می ماند تا این که نرخ بالقوه ارائه خدمت تحت تأثیر فشار کاری افزایش می یابد و باعث افزایش نرخ ارائه خدمت می شود.

در پایان، رفتار متغیر زمان انتظار مشتریان در مدل مورد توجه قرار گرفته است. رفتار این متغیر در شکل ۱۲ دیده می شود.

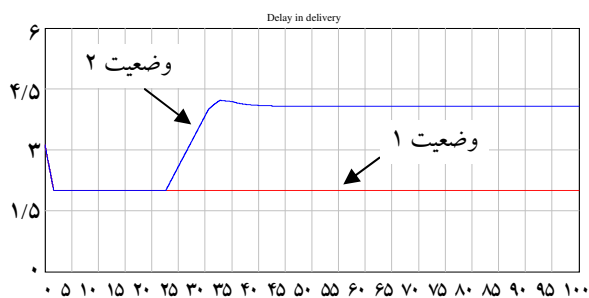
همان طور که در شکل ۱۲ دیده می شود زمان انتظار مشتریان به محض افزایش نرخ ورود مشتریان شروع به افزایش نمی کند، زیرا تعداد خدمت دهندگان به حدی است که توان خدمت دهی به تعداد مشتریان بیش تر را برای مدتی داشته باشند؛ ولی پس از گذشت مدتی، طول صف به حدی می رسد که دیگر خدمت دهندگان نمی توانند با زمان کاری فعلی و زمان استاندارد خدمت به مشتری، زمان انتظار مشتری را در سطح قبلی حفظ کنند و زمان انتظار مشتری شروع به افزایش می کند. با رسیدن زمان انتظار مشتری به حدی که از حداکثر تعیین شده توسط مدیریت بیش تر است، فشار کاری بر

که حاصل تقسیم نرخ قابل قبول ارائه خدمت بر نرخ استاندارد ارائه خدمت است به شکل ناگهانی کاهش پیدا می‌کند. پس از آن نیز بر اثر کاهش طول صف و در نتیجه، کاهش نرخ قابل قبول ارائه خدمت در طول زمان، فشار کاری باز هم کاهش می‌یابد. پس اگر فشار کاری برابر نرخ قابل قبول ارائه خدمت تقسیم بر نرخ استاندارد ارائه خدمت در نظر گرفته شود، می‌توان این گونه بیان کرد که کاهش ناگهانی اولیه در فشار کاری ناشی از افزایش ناگهانی، مخرج کسر و کاهش تدریجی بعد از آن ناشی از کاهش تدریجی صورت کسر است.

شکل ۱۳ «ج» نشان می‌دهد که به محض افزایش تعداد خدمت‌دهندگان، نرخ ارائه خدمت به شکل ناگهانی افزایش می‌یابد که این افزایش در نرخ ارائه خدمت ناشی از افزایش ناگهانی نرخ بالقوه ارائه خدمت است؛ ولی پس از مدتی با کاهش طول صف و برداشته شدن فشار کاری از روی خدمت‌دهندگان، نرخ بالقوه ارائه خدمت و در نتیجه نرخ ارائه خدمت به مقدار اولیه که مقداری برابر با نرخ ورود مشتریان است می‌رسد؛ یعنی نرخ ارائه خدمت برابر با حداکثر نرخ ارائه خدمت می‌شود.

در شکل ۱۳ «د» زمان انتظار مشتریان در زمان ۵۰ کاهش ناگهانی را نشان می‌دهد و پس از آن کاهش تدریجی در زمان انتظار مشتریان نیز دیده می‌شود. همان‌طور که قبلاً هم گفته شد زمان انتظار مشتریان از تقسیم طول صف بر نرخ ارائه خدمت به دست می‌آید. کاهش اولیه زمان انتظار مشتریان ناشی از افزایش ناگهانی نرخ ارائه خدمت، و کاهش تدریجی بعد از آن ناشی از کاهش تدریجی طول صف است.

شکل ۱۳ «ه» زمان صرف شده برای هر مشتری را نشان می‌دهد که بر اثر افزایش نرخ ورود مشتریان در زمان ۲۰ کاهش یافته بود و با افزایش تعداد خدمت‌دهندگان و کاهش فشار کاری وارد بر خدمت‌دهندگان به مقدار کم‌تر از یک به شکل ناگهانی به مقدار استاندارد اولیه برمی‌گردد.



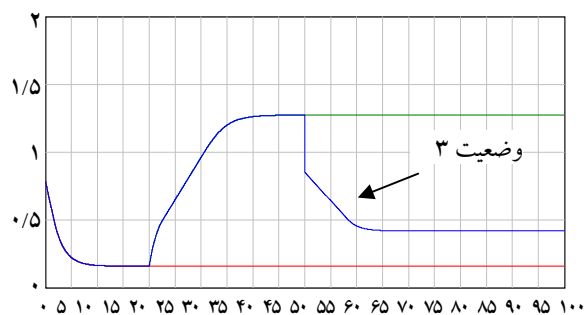
شکل ۱۲ زمان انتظار مشتریان با افزایش نرخ ورودی سیستم

وضعیت ۳: تغییر در تعداد خدمت‌دهندگان

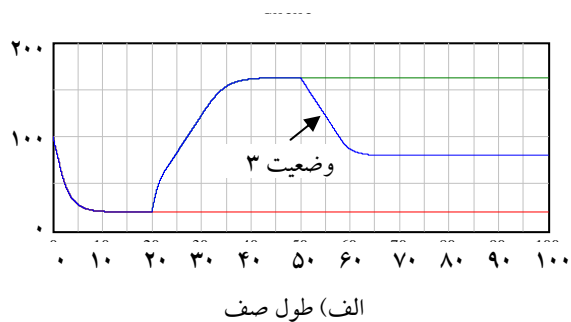
در این قسمت با فرض این که مدیریت با افزایش نرخ ورود مشتریان در زمان ۲۰ اقدام به افزایش تعداد خدمت‌دهندگان در زمان ۵۰ می‌کند مدل‌سازی ادامه پیدا کرده است. مدیریت سازمان می‌تواند نتایج شبیه‌سازی را به عنوان ابزار مناسبی برای تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار دهد. در این جا تغییر ذکر شده در بخش قبل در زمان ۲۰ همچنان حفظ شده، ولی در زمان ۵۰ تعداد خدمت‌دهندگان با ۵۰ درصد افزایش به ۳۰ نفر رسیده است. رفتار متغیرهایی چون طول صف، زمان تأخیر، نرخ ارائه خدمت، زمان کاری خدمت‌دهندگان، زمان صرف شده برای هر مشتری و فشار زمانی می‌تواند جالب توجه باشد. تغییرات این متغیرها در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در این شکل‌ها، نمودارهای مربوط به وضعیت ۱ و ۲ نیز حفظ شده که همانند شکل‌های ۸ تا ۱۲ است، اما تغییراتی که صرفاً به دلیل اعمال وضعیت ۳ در مدل رخ داده مورد تأکید است.

شکل ۱۳ «الف» نشان می‌دهد که طول صف با افزایش تعداد خدمت‌دهندگان کاهش پیدا می‌کند، ولی این مقدار کاهش به حدی نیست که افزایش ناشی از ۴ برابر شدن نرخ ورود مشتریان را جبران کند و با وجود کاهش طول صف از زمان ۵۰، همچنان نسبت به وضعیت یک صف طولانی‌تری وجود دارد.

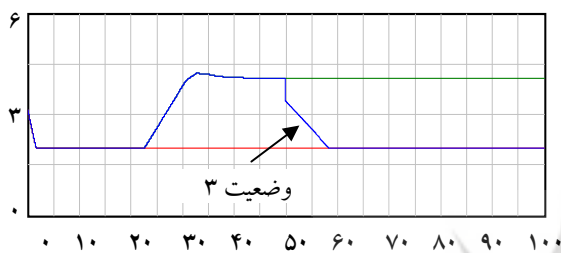
شکل ۱۳ «ب» نشان‌دهنده این است که در زمان ۵۰ به محض ۱/۵ برابر شدن تعداد خدمت‌دهندگان و در نتیجه افزایش نرخ استاندارد ارائه خدمت، فشار کاری



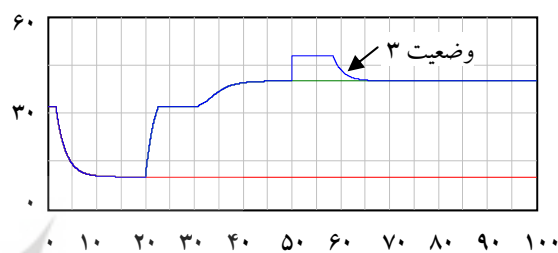
(ب) فشار کاری



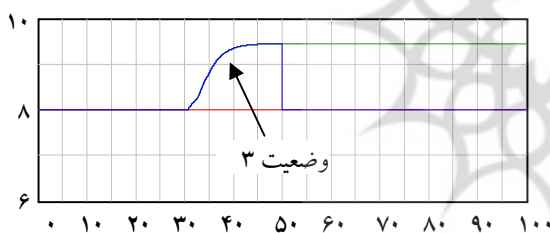
(الف) طول صف



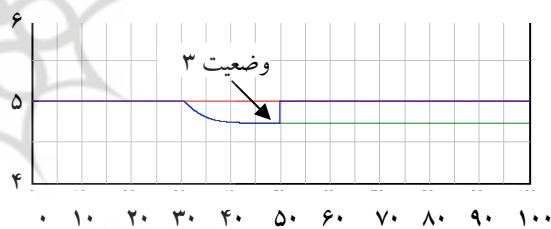
(د) زمان انتظار مشتریان



(ج) نرخ ارائه خدمت



(و) زمان کاری خدمت دهندگان



(ه) زمان صرف شده برای هر مشتری

شکل ۱۳: طول صف، فشار کاری، نرخ ارائه خدمت، زمان انتظار مشتریان، زمان صرف شده برای هر مشتری و زمان کاری با فرض تغییر در تعداد خدمت دهندگان

۷. نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد یک مدل پویا از روابط بین اجزای یک سیستم صف که در آن عامل انسانی به عنوان ارائه دهنده خدمت فعالیت می کند ارائه شود. پس از تهیه مدل که با استفاده از رویکرد پویایی سیستم تهیه گردید و توسط نرم افزار و نسیم شبیه سازی کامپیوتری شد، مدل مورد آزمون قرار گرفت. پس از این که مدل آزمون های مربوط را با موفقیت پشت سر گذاشت مدل در سه وضعیت مختلف شبیه سازی شد.

شکل ۱۳ «و» زمان کاری روزانه خدمت دهندگان است. همان طور که در وضعیت ۲ مشاهده شد زمان کاری خدمت دهندگان بر اثر افزایش نرخ ورود مشتریان، پس از مدتی تأخیر به شکل تدریجی افزایش یافته است. اینک با افزایش تعداد خدمت دهندگان و از بین رفتن ناگهانی فشار کاری، زمان کاری خدمت دهندگان، به شکل لحظه ای، کاهش یافته و به مقدار استاندارد خود یعنی ۸ ساعت در روز رسیده است.

منابع

1. Davis, Mark, U.M, Heineke, Janelle. (1994) Understanding the Roles of the Customer and the Operation for Better Queue Management, Journal: International Journal of Operations & Production Management, no 14, pp21-34.
2. Russel, R. & Taylor, B. (2000) Operations management, new jersey: Prentice Hall.
3. ایروانی، محمدرضا (۱۳۷۲) سیستم‌های صف، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
4. Chase, R.B and Jacobs, F.R and Aquilano, N.J, (2004) Operations management for competitive advantage, New York: Mc Grow Hill.
5. مدرس یزدی، محمد (۱۳۷۰) نظریه صف، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
6. گراس، دونالد؛ هاریس، کارلام (۱۳۸۰) مبانی و اصول نظریه صف، ترجمه سید محمد فاطمی قمی، تهران: انتشارات دانشگاه امام حسین.
7. Barlas, Y. (2002) System dynamics: systemic feedback modeling for policy analysis in knowledge for sustainable development—an insight into the encyclopedia of life support systems. Paris, France, Oxford, UK: UNESCO Publishing—Eolss Publishers.
8. Alessi, S. (2003) Designing educational support in system-dynamics-based interactive learning environments, Simulation & Gaming, Vol. 31, No. 2, 178-196.
9. Forrester, J. W. (1961) Industrial dynamics. New York: John Wiley & Sons, Inc.
10. Forrester, J. W. (1968) Principles of systems (Second preliminary edition). Cambridge, MA: Wright-Allen Press, Inc.
11. Forrester, J. W. (1969) Urban dynamics. Cambridge, MA: The M.I.T. Press.
12. Forrester, J. W. (1971) World dynamics. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, Inc.
13. chen, ching ho; Liu, Wei-lin; Liaw, Shu-liang; yu, Chien-Hwa, (2005) Development of a dynamic strategy planning theory and system for sustainable river basin land use management, Science of the Total Environment, 17, pp1-21.
14. Berends, P., Romme, A.G.L, (1999) Simulation as a research tool in management studies. European Management Journal; 17: 576-83.
15. Bruckman, Gerhart (2001) Global modeling, Futures, no 33, pp 13-20.
16. Lane D.C & Oliva, R, (1998) The greater whole: Towards a synthesis of system dynamics and soft systems methodology, European Journal of Operational Research, no 107, pp214-235.

در وضعیت ۱ بدون تغییر متغیرهای برونزا و در وضعیت ۲ با تغییر در نرخ ورود مشتریان، و در وضعیت ۳ با تغییر در تعداد خدمت‌دهندگان. نتایج شبیه‌سازی و آثار تغییرات روی متغیرهای کلیدی نشان داده شد.

با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در این مقاله، می‌توان به نتایج زیر در مورد سیستم صف اشاره کرد:

۱. با افزایش نرخ ورود مشتریان انتظار می‌رود طول صف به نسبت بیش‌تر افزایش یابد؛ به این معنا که برای مثال با دو برابر شدن نرخ ورود مشتریان، طول صف به مقداری بیش از دو برابر افزایش می‌یابد.
۲. با افزایش نرخ ورود مشتریان و طول صف تا زمانی که فشار کاری وارد بر خدمت‌دهندگان به یک حد آستانه‌ای نرسد، آن‌ها در زمان صرف‌شده برای هر مشتری و زمان کاری روزانه خود تغییری نمی‌دهند.
۳. با شبیه‌سازی وضعیت ۳ دیده شد که با افزایش ۱/۵ برابری تعداد خدمت‌دهندگان ۴ برابر شدن نرخ ورود مشتریان تا حد قابل ملاحظه‌ای جبران شد. بنابراین در سیستم‌های صفی که عامل انسانی ارائه‌دهنده خدمت است با افزایش نرخ ورود مشتریان نباید لزوماً تعداد خدمت‌دهندگان را به همان نسبت افزایش داد.

مدیریت سازمان و یا سایر محققین می‌توانند با تغییر سایر متغیرهای کلیدی به مطالعه اثر این تغییرات بر کل سیستم بپردازند. این مدل می‌تواند با نشان دادن اثر تصمیمات مختلف مدیریت بر رفتار متغیرهای سیستم، مدیریت را در امر تصمیم‌گیری یاری دهد.

لازم به یادآوری است در مدل فوق، فروض بسیاری برای ساده‌سازی مدل در نظر گرفته شده و مجموعه‌ای از متغیرها یا عوامل اثرگذار بر بعضی متغیرها مورد توجه قرار نگرفت. بنابراین به سایر محققین پیشنهاد می‌شود با توسعه مدل و اضافه کردن سایر متغیرهای کلیدی به آن به مدل واقعی‌تری دست یابند یا این که این مدل را در سایر سازمان‌های مشابه که شرایط مفروض برای این مدل را دارند به کار گیرند و مدل ارائه‌شده در این مقاله را مورد آزمون قرار دهند.

- China: the case study of Jinshan County with a systems dynamics model, Ecological Economics, 53, pp223-246.
20. Evans, T.P., Manire, A., de Castro, F., Brondizio, E., McCrachen, S. (2001) A dynamic model of household decision-making and parcel level landcover change in the eastern Amazon. Ecol. Model. no 143, pp95-113.
21. Raczynski, Tanislaw (1996) A small Tool for Complex System Simulation niversidad panamericana.
17. Sterman JD. (2000) Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. New York: McGraw-Hill.
18. Kirkwood (1998) System dynamics method: a quick introduction.
19. Shi, T & Gill, R. (2005) Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in

