

بهبودسازی مدت انتظار مسافران در پایانه مسافربری دریایی بندر خرمشهر با استفاده از تئوری صف مبتنی بر دستگاه‌های دینامیکی

مریم براهی^{۱*}، محمدمین کوهبر^۲، مصطفی زارع‌دوست^۳، وحید زارعی^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۷

*نویسنده مسئول

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۰

© نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۴، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

چکیده

هدف از انجام این تحقیق مدل‌سازی زمان انتظار مشتریان در پایانه مسافربری دریایی بندر خرمشهر با استفاده از مفاهیم تئوری صف مبتنی بر دستگاه‌های دینامیکی می‌باشد. با توجه به وجود عامل انسانی ارائه‌دهنده خدمت، از یک الگوی پویا در ارائه روابط بین اجزای یک سیستم صف استفاده شده است. ابتدا مدل مفهومی و سیستمی تحقیق با استفاده از مطالعات قبلی و پیشینه تحقیق در زمینه تئوری صف استخراج گردید. سپس مدل جریان، طراحی و توسط نرم‌افزار ونسیم (Vensim) شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد تغییر در تعداد خدمت‌دهندگان فقط مقدار اولیه زمان انتظار را تغییر می‌دهد و تأثیری بر زمان رسیدن به تعادل منحنی‌های زمان انتظار ندارد. اما تغییر در حداقل زمان تأخیر برخلاف تغییر در پارامتر اول، در مقادیر تعادل تأثیر می‌گذارد و هر چه زمان حداقل تأخیر افزایش یابد، منحنی‌های زمان انتظار در مقادیر بالاتری به تعادل می‌رسند.

واژه‌های کلیدی: بهبودسازی، مدت انتظار، پایانه مسافربری دریایی، تئوری صف، سیستم‌های دینامیکی، شبیه‌سازی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دریانوردی، گرایش حمل‌ونقل دریایی، دانشکده پردیس خودگردان، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر،

Maryambarahi@Yahoo.Com

۲- استادیار دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، Aminkuhbor@Yahoo.Com

۳- دانشجوی دکترای دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، Zaredoost@Yahoo.Com

۴- مربی دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، V.zarei@Kmsu.ac.ir

۱- بیان مسئله

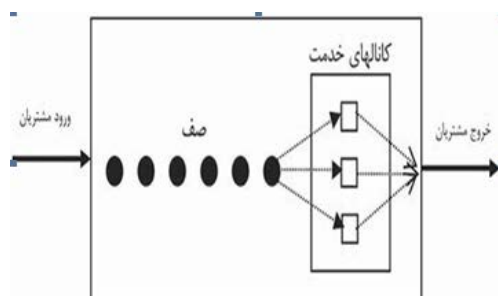
در سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی، تعیین زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌ها برای بهره‌مندی از خدمات ارائه‌شده، اهمیت فراوانی دارد؛ زیرا اگر این زمان از حد قابل‌پذیرش فراتر رود، تأثیر آن احتمالاً باعث می‌شود که بخشی از متقاضیان سیستم حمل‌ونقل همگانی در مورد استفاده از این سیستم، منصرف شوند. در میان دستگاه‌های حمل‌ونقل همگانی، حمل‌ونقل مسافربری دریایی جایگاه ویژه‌ای دارد، زیرا ایجاد سرویس مناسب و تبعیت از زمان‌بندی ثابت موجب ایجاد نظم و دقت در ترتیب سفرها می‌شود. با افزایش تجارت جهانی، چگونگی بهبود پایانه‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو می‌باشد (Yang, Q. and Zeng, 2010).

تشکیل صف پدیده‌ای است اجتناب‌ناپذیر در بسیاری از صنایع و جوامع به‌خصوص در جوامعی که در آنها امکانات و منابع توان جوابگویی به درخواست تقاضاکنندگان را ندارد، به‌طوری‌که در بعضی مواقع افراد به‌منظور تحقق تقاضایشان مجبور می‌شوند مدت‌زمان زیادی را منتظر بمانند و این می‌تواند هزینه فراوانی برای آنها به همراه داشته باشد. این پژوهش برای بررسی این پدیده در نیمه دوم سال ۹۲ در بخش بررسی گذرنامه‌های مسافران در پایانه مسافربری دریایی خلیج فارس خرمشهر انجام گردیده است.

۲- روش تحقیق

بسیاری از فن‌های بهینه‌سازی مانند مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و پویا تجزیه‌وتحلیل کمی را ارائه می‌دهند، هرچند این مدل‌های ریاضی جهت شناخت و اتخاذ تصمیم مناسب دستگاه‌های صف انتظار بسیار مفید می‌باشند، اما کافی نیستند زیرا پیش‌فرض‌هایی که این مدل‌ها بر اساس آنها طراحی شده‌اند، به‌طورکلی اثرات عدم قطعیت در پارامترها و شرایط را در نظر نمی‌گیرند و فرض می‌کنند که نتایج حاصل از تصمیم‌گیری قابل پیش‌بینی و قطعی هستند (Lakshmi, C. and Iyer, S.A., 2013). حال آنکه در دستگاه‌هایی که در آنها عامل انسانی ارائه‌دهنده خدمت مطرح می‌باشند به دلیل تغییرات ذاتی انسان به‌سادگی نمی‌توان همانند ماشین‌های ارائه‌دهنده خدمت، یک نرخ ارائه خدمت ثابت در طول زمان کاری در نظر گرفت، بنابراین در این مقاله سعی بر آن است که از فن پویایی سیستم برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم صف استفاده شود.

در نظریه صف، کل فرآیند از ورود مشتری آغاز می‌شود و شامل ورود، انتظار در صف، دریافت خدمات و سپس خروج از صف است و کل این جریان سیستم صف نام دارد (Sabbagh, M.S., 2007). شکل (۱) اجزای یک سیستم صف را نشان می‌دهد که دارای سه عنصر اصلی ورودی‌ها به سیستم صف انتظار، ویژگی‌های خط انتظار و امکانات خدمات‌دهی صف انتظار می‌باشد؛ که ورودی‌ها به صف انتظار شامل اندازه یا جمعیت ورودی‌ها، الگوی ورودی‌ها به سیستم و رفتار ورودی‌ها می‌باشد. ویژگی‌های خط انتظار شامل طول صف، نظم موجود در صف، تعداد صف‌ها و همچنین از امکانات خط انتظار می‌توان به آرایش اصلی سیستم صف و توزیع زمان خدمت‌دهی اشاره کرد (Modarress, M. and Teimoury, E., 2012). در مدل ارائه‌شده در این مقاله تعداد ارائه‌دهندگان خدمت محدودند و سیستم دربرگیرنده تنها یک صف با اندازه نامحدود و با قانون اولین وارده، اولین خدمت مورد نظر می‌باشد. جمعیت مراجعه‌کننده به این سیستم نیز نامحدود فرض شده است. در ضمن مشتریان همگی خواهان یک نوع خدمت هستند؛ یعنی بررسی و ثبت گذرنامه‌هایشان.



شکل (۱): اجزای یک سیستم صف

۱-۲ روش پویایی سیستم

روش پویایی سیستم^۱ برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ به وسیله یک گروه از محققان به رهبری فورستر در مؤسسه فناوری ماساچوست^۲ توسعه داده شد. پویایی سیستم بر رفتار گسترده آن و اینکه چگونه آن رفتار بر تکامل سیستم در آینده تأثیر می‌گذارد، تأکید دارد و به این ترتیب تصمیم‌گیری را تسهیل می‌کند. روش پویایی سیستم فرض می‌کند که اجزا در یک الگوی پیچیده با یکدیگر مرتبط می‌باشند و جهان از نرخ‌ها^۳، سطوح^۴ و حلقه‌های بازخورد^۵ تشکیل شده است و جریان اطلاعات از جریان فیزیکی مهم‌تر می‌باشد و غیرخطی بودن و تأخیر از اجزای مهم هر دستگاهی است و مدل‌ها همواره ابعاد ساده‌شده در واقعیت می‌باشند. هدف از مدل‌سازی سیستم پویا به دست آوردن درک و دیدگاهی در مورد روابط سیستم است تا بتوان خط‌مشی‌های ممکن برای بهبود سیستم را بررسی کرد (Lane, D.C. and Oliva, R., 1998).

مراحل مختلف مدل‌سازی با رویکرد پویایی سیستم‌ها را به صورت مراحل پنج‌گانه زیر می‌توان بیان کرد: (۱) تعریف صورت مسئله، (۲) ایجاد فرضیه دینامیکی، (۳) فرموله سازی، (۴) آزمون مدل و (۵) طراحی و ارزیابی سیاست‌ها.

۲-۲ نمودار علی - معلولی و نمودار جریان مسئله

به‌طور عمده در تفکر سیستمی برای درک بهتر ساختار یک سیستم از برخی ابزارها برای نمایش آن استفاده می‌شود. دو ابزار مهم برای تفکر سیستمی یکی نمودار حلقه‌های علی و دیگری نمودار جریان است. لازم است برای توسعه یک مدل از سیستم پویا که در عمل هم قابل استفاده باشد، نمودارهای علی - معلولی و جریان خاص آن را تهیه کرد. در مقاله حاضر، مکان تحقیق پایانه مسافری دریایی خلیج فارس خرمشهر و جامعه آماری تحقیق کلیه مسافرانی هستند که جهت ورود به/خروج از کشور از خدمات پایانه مورد مطالعه استفاده می‌کنند. داده‌های مورد نیاز برای توسعه و ارزیابی مدل با استفاده از پیمایش‌های میدانی در پایانه مورد مطالعه تهیه شده است.

۲-۲-۱ نمودار علی - معلولی مسئله

نمودار حلقه علی، عنصر اصلی مدل‌سازی پویایی‌های سیستم است. عوامل در نمودار حلقه علی به متغیرهای نرخ، سطح، ثابت‌ها و کمکی تقسیم می‌شوند. برای مسئله این تحقیق از نمودار علی - معلولی در شکل (۲) که بر مبنای مدل پویایی سیستم صف مؤمنی و مروتی شریف‌آبادی می‌باشد، استفاده شده است. در ادامه گزارش هر یک از حلقه‌های این نمودار مورد بحث قرار گرفته است:

حلقه B₁: رابطه طول صف، حداکثر نرخ ارائه خدمت، خروج مشتریان؛ در این حلقه همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش طول صف، حداکثر نرخ ارائه خدمت به مشتریان افزایش می‌یابد و افزایش حداکثر نرخ ارائه خدمت باعث افزایش خروج مشتریان از صف شده که در نتیجه باعث کاهش طول صف خواهد شد (بازخورد منفی).

حلقه B₂: رابطه طول صف، نرخ قابل قبول ارائه خدمت، فشار کاری، زمان کاری، نرخ بالقوه ارائه خدمت، خروج مشتریان؛ این حلقه در شکل نشان می‌دهد که با افزایش طول صف، نرخ قابل قبول ارائه خدمت افزایش می‌یابد، در نتیجه فشار کاری کارکنان نیز افزایش یافته، بر زمان کاری کارکنان تأثیر گذاشته و باعث می‌شود که خدمت‌دهندگان زمان کاری خود را افزایش دهند که سبب افزایش نرخ بالقوه ارائه خدمت می‌شود و آن نیز منجر به افزایش خروج مشتریان از صف شده، در نتیجه طول صف کاهش می‌یابد (بازخورد منفی).

حلقه B₃: رابطه طول صف، نرخ قابل قبول ارائه خدمت، فشار کاری، زمان صرف شده برای هر مشتری، نرخ بالقوه ارائه خدمت، خروج مشتریان؛ در این حلقه با افزایش طول صف، نرخ قابل قبول ارائه خدمت افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که فشار کاری وارد بر خدمت‌دهندگان افزایش یابد، افزایش فشار کاری بر زمانی که هر خدمت‌دهنده برای هر مشتری صرف می‌کند تأثیر گذاشته و باعث می‌شود که خدمت‌دهندگان زمان صرف شده برای هر مشتری را کاهش دهند که سبب افزایش نرخ بالقوه ارائه خدمت خواهد شد و آن نیز منجر به افزایش خروج مشتریان از صف شده و در نتیجه طول صف کاهش می‌یابد (بازخورد مثبت).

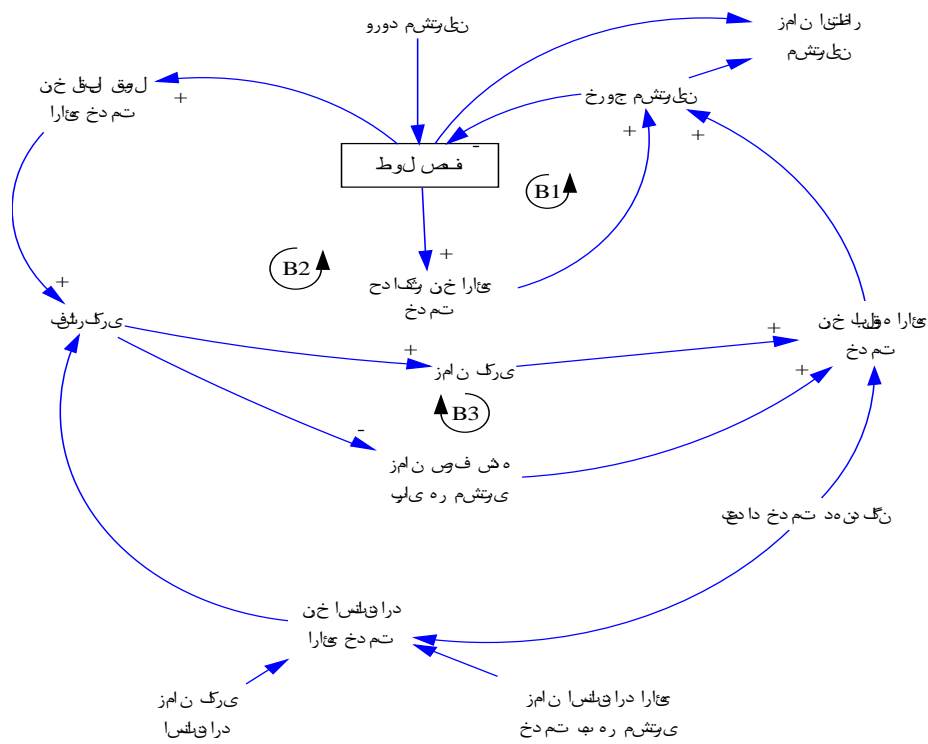
¹ System Dynamics

² Massachusetts Institute of Technology (M.I.T).

³ Rates

⁴ Levels, Stocks

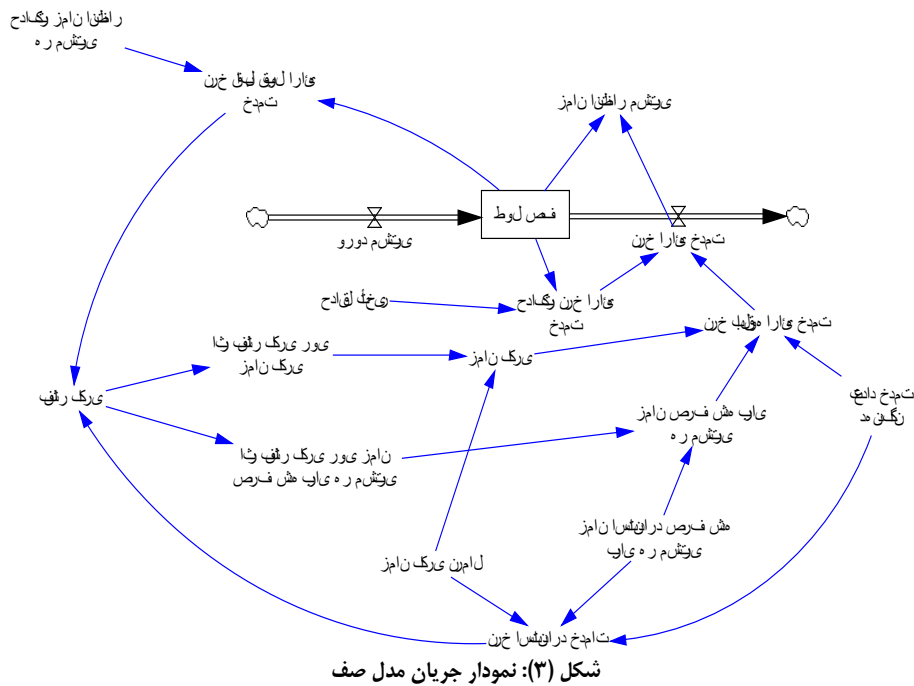
⁵ Feedback Loops



شکل (۲): نمودار علی- معلولی روابط بین اجزای سیستم صف

۲-۲-۲ نمودار جریان

نمودارهای علی - معلولی بر ساختار بازخورد سیستم تأکید دارند ولی هرگز نمی‌توانند در مفهوم‌سازی ساختار به ما کمک کنند، این نمودارها را باید به نمودارهای جریان که بر ساختار فیزیکی به وجود آورنده آن ساختار بازخوردی تأکید دارند تبدیل کنیم. نمودار جریان یک سیستم صف را می‌توان با استفاده از ادبیات موضوع و داده‌های جمع‌آوری شده به صورت میدانی استخراج کرد. شکل (۳) نمودار جریان مربوط به سیستم صف مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



۲-۳ تعریف متغیرهای کلیدی به کار گرفته شده در مدل

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 می‌کند که به طور طبیعی مقدار ثابتی است.

نرخ استاندارد ارائه خدمت، به این معنا است که اگر زمان کاری هر یک از خدمت‌دهندگان در حالت عادی مقدار ثابتی در نظر گرفته شود، آنگاه هر یک از

خدمت‌دهندگان با توجه به اینکه ارائه خدمت به هر مشتری دارای یک زمان استاندارد است، بنابراین به صورت استاندارد در یک دوره زمانی معین به تعداد مشخصی از مشتریان، خدمت ارائه می‌دهد.

نرخ بالقوه ارائه خدمت نشان می‌دهد که خدمت‌دهندگان بدون توجه به طول صف یا نرخ ورود مشتریان، به صورت بالقوه توان خدمت‌دهی به چند مشتری را

در یک واحد زمانی مشخص مثل یک روز دارند.

نرخ قابل قبول ارائه خدمت: نکته‌ای که باید در این مدل به آن توجه داشت این است که در این سیستم قاعده‌تاً زمانی که مشتری وارد سیستم می‌شود باید

مدت زمانی منتظر بماند تا نوبت به او برسد. مدت زمان انتظاری که مشتری با آن مواجه می‌شود ممکن است با توجه به نرخ ورود مشتریان و نرخ دریافت خدمت توسط آنها متغیر باشد. از طرف دیگر، مدیریت سازمان نیز مدت زمانی را به عنوان حداکثر زمان انتظار هر مشتری منظور می‌کند؛ بنابراین در هر لحظه از زمان از

تقسیم طول صف بر حداکثر زمان انتظار هر مشتری، نرخ قابل قبول ارائه خدمت به دست می‌آید.

حداکثر نرخ ارائه خدمت: نشان می‌دهد در سیستم با فرض نبودن محدودیت تعداد خدمت‌دهندگان، حداکثر تعداد مشتری که سیستم می‌تواند در واحد زمان به

آنها سرویس بدهد چند مشتری است؟ با توجه به اینکه 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 می‌آید.

فشار کاری: نسبت نرخ قابل قبول ارائه خدمت تقسیم بر نرخ استاندارد ارائه خدمت است. هرگاه این نسبت بزرگ‌تر از یک باشد بر خدمت‌دهندگان فشار وارد

می‌شود که باید یا زمان کاری خود را افزایش دهند یا زمان صرف شده برای هر مشتری را کاهش دهند.

طول صف: متغیری است که تحت تأثیر نرخ ورود مشتریان و نرخ خروج آنها (نرخ ارائه خدمت) است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود طول صف 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.

زمان انتظار مشتریان: نشان دهنده 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 می آید. محاسبه این متغیر صرفاً برای نشان دادن زمان انتظار مشتری در سیستم است و تأثیری بر سایر متغیرهای مدل نخواهد داشت.

نرخ ارائه خدمت: 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" بستگی دارد.

۴-۲ اعتبارسنجی مدل

آزمودن مدل و اعتبار آن قابلیت اعتماد به مدل را افزایش می دهد و اعتماد به کاربردی بودن مدل را بالا می برد. برای اینکه یک مدل ساخته شده در تجزیه و تحلیل سیاست‌ها مفید باشد باید آن مدل برای افرادی که درگیر موقعیت مربوطه می باشند، قابل اعتماد باشد. به شکل سنتی مدل به کمک توانایی آن در شبیه سازی رفتار تجربی سیستم مورد آزمون قرار می گیرد. بعد از آنکه مدل تست های اعتبار را پشت سر گذاشت، می توان از آن برای بررسی اثر سیاست های مختلف بر سیستم استفاده کرد و یا سناریوهای «چه می شود- اگر» را مطرح کرد یا به کمک آن تصمیمات کلیدی را بهینه کرد. در این تحقیق آزمون های مختلفی که برای ارزیابی اعتبار مدل استفاده شدند عبارتند از:

آزمون حد نهایی: در این آزمون مقدار چند متغیر اصلی مدل (نرخ ورود مشتریان، تعداد خدمت دهندگان، حداکثر زمان انتظار مشتری و ...) در حالت های حدی مختلف (بسیار زیاد و بسیار کم) تغییر داده شده و میزان حساسیت مدل در برابر این تغییرات بررسی شد. نتایج نشان دهنده رفتار منطقی مدل در حالات حدی است.

آزمون حالت تعادل: برای بررسی منطقی بودن تعریف متغیرها و ساختارها، به صورت دستی مقدار تمام متغیرها در حالت تعادل منطقی مدل محاسبه شد. با مشخص کردن مقادیر تعادلی تمام متغیرها و وارد کردن آن در مدل، رفتار مدل شبیه سازی شد و رفتار منطقی از آن مشاهده شد.

آزمون تحلیل حساسیت: تجزیه و تحلیل حساسیت معمولاً به صورت یکسری از آزمایش ها که مدل کننده مقادیر مختلف پارامتر را برای دیدن اینکه تغییر در پارامتر چه تغییری در رفتار دینامیکی سیستم می گذارد انجام می پذیرد. در این تست ۶ پارامتر و طول اولیه صف در مقادیر متعدد تغییر داده شد و رفتار سیستم در وضعیت های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد پارامترها برای استفاده در مدل، منطقی و قابل قبول هستند و تغییر پارامترها مقداری تغییر در ظاهر رفتار سیستم ایجاد می کنند، ولی در مدل رفتار تغییری ایجاد نمی کنند.

۳- تجزیه تحلیل داده ها

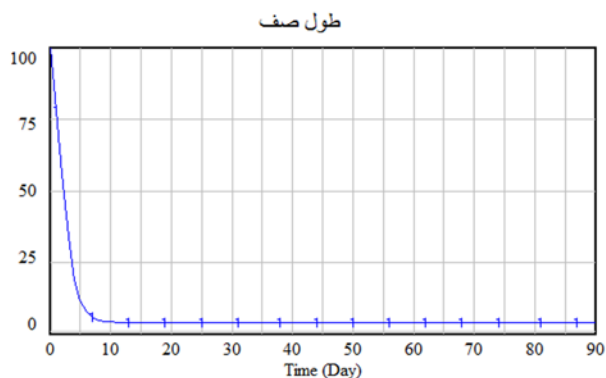
۳-۱- نتایج شبیه سازی با فرض ثابت بودن متغیرهای برونزا

شبیه سازی انجام گرفته مربوط به سیستم صف در قسمت بررسی گذرنامه ها در پایانه مورد مطالعه می باشد. در مدل ارائه شده این مقاله، تعداد خدمت دهندگان و حداقل زمان تأخیر در ابتدا ثابت فرض شد، ولی در ادامه جهت بهینه سازی زمان انتظار با تغییر این پارامترها، اثر هر یک از تغییرات بر کل اجزای سیستم مورد مطالعه قرار گرفت. وضعیت سازمان مورد مطالعه که برای شبیه سازی مدل از اطلاعات آن استفاده شده به این شرح است: تعداد خدمت دهندگان سیستم ۲ نفر، حداکثر زمان انتظار هر مشتری از دیدگاه مدیریت ۱۲۰ دقیقه، زمان استاندارد صرف شده برای هر مشتری ۱۰ دقیقه، زمان کاری هر خدمت دهنده ۱۲۰ دقیقه، نرخ ورود مشتریان ۲ مشتری در دقیقه و حداقل تأخیر ۲ دقیقه می باشد. همچنین طول اولیه صف به صورت فرضی ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. به علت محدودیت نرم افزار در شبیه سازی نمی توان طول صف را در ابتدا صفر در نظر گرفت. در اینجا تنها به نمایش رفتار چند مورد از متغیرهای کلیدی پرداخته شده است. اولین متغیری که رفتارش مورد توجه قرار می گیرد طول صف است که در شکل (۴) نشان داده شده است.

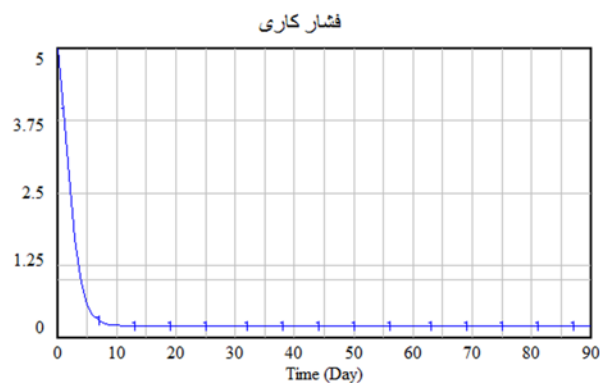
در شکل (۴) از آنجا که طول اولیه صف ۱۰۰ مشتری در نظر گرفته شده و نرخ ورود ۲ مشتری در دقیقه است، با توجه به نرخ ارائه خدمت، این مقدار صف غیرطبیعی است، سیستم از زمان صفر شروع به کاهش طول صف می کند و در نهایت با ۴ مشتری صف به تعادل می رسد. دومین متغیری که رفتار آن در مدل مورد ملاحظه قرار گرفته است، فشار کاری می باشد.

در شکل (۵) زمانی که فشار کاری بزرگتر از یک باشد به این معنا است که خدمت دهندگان برای اتمام هر چه سریع تر کارهایشان تحت فشار کاری قرار دارند با توجه به طولانی بودن صف در لحظه شروع شبیه سازی، نرخ قابل قبول ارائه خدمت بالا بوده، در نتیجه، فشار کاری بالا می باشد ولی در ادامه با توجه به

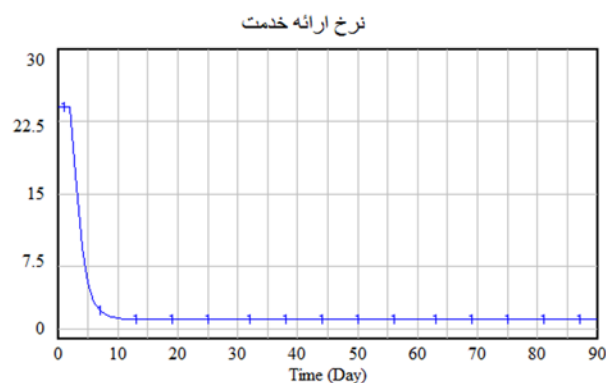
کاهش طول صف، نرخ قابل قبول ارائه خدمت کاهش یافته، در نتیجه فشار کاری وارد بر خدمت دهندگان نیز کاهش می‌یابد و از حد آستانه پایین تر رفته و در مقدار 0.2 به ثبات می‌رسد. سومین متغیری که رفتار آن در سیستم مورد توجه قرار گرفته است، نرخ ارائه خدمت می‌باشد. همان طور که شکل (۶) نشان می‌دهد به علت طولانی بودن طول 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 حداقل مقدار حداکثر نرخ ارائه خدمت و نرخ بالقوه ارائه خدمت محسوب می‌شود برابر با حداکثر نرخ ارائه خدمت است که البته این مقدار نیز مرتب با کاهش طول صف کاهش می‌یابد و با ثابت شدن طول صف، نرخ ارائه خدمت نیز ثابت می‌شود.



شکل (۴): طول صف در حالت پایه

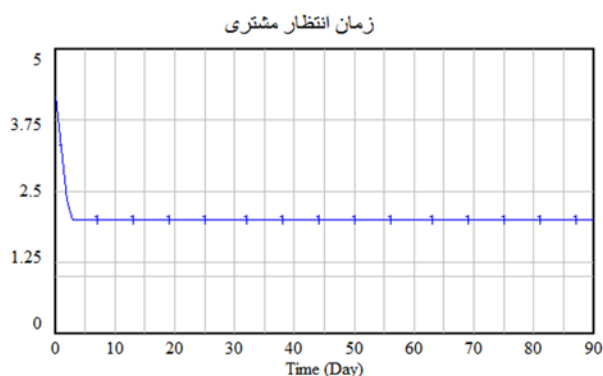


شکل (۵): فشار کاری در حالت پایه



شکل (۶): نرخ ارائه خدمت در حالت پایه

با در نظر گرفتن تمام فرض‌های گفته‌شده و مشاهده رفتار اجزای مختلف مدل، زمان انتظار برای هر مشتری به صورت شکل (۷) است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با توجه به طولانی بودن صف در شروع کار و کاهش آن در طی زمان، زمان انتظار مشتریان به شکل خطی کاهش می‌یابد تا اینکه در مقدار پایین‌تری به ثبات می‌رسد.



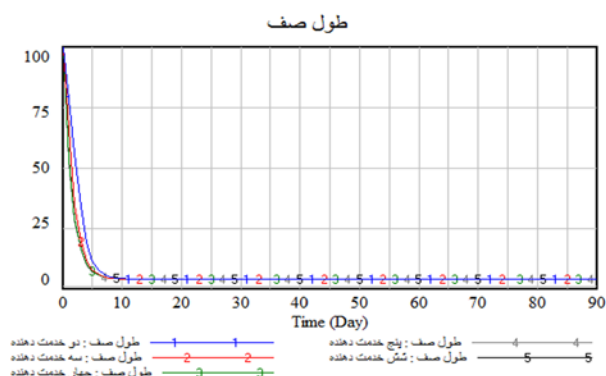
شکل (۷): زمان انتظار در حالت پایه

۳-۲- نتایج شبیه‌سازی با تغییر متغیرهای ثابت

در از بخش با تغییر متغیرهای ثابت مدل، اثر تغییرات بر سایر متغیرهای مدل مورد بررسی قرار گرفته است.

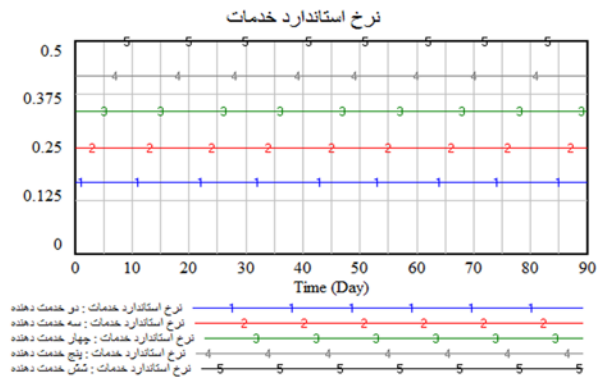
۳-۲-۱- وضعیت ۱: تغییر در تعداد خدمت‌دهندگان

در وضعیت اول با تغییر تعداد خدمت‌دهندگان آثار تغییرات بر روی متغیرهای کلیدی نشان داده شد. شکل (۸) نشان‌دهنده طول صف با اعمال وضعیت ۱ است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با تغییر تعداد خدمت‌دهندگان تغییر محسوسی در طول صف ایجاد نمی‌شود.

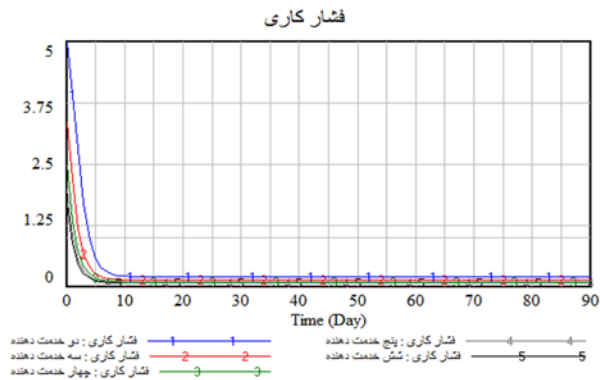


شکل (۸): طول صف در وضعیت ۱

در شکل‌های (۹) و (۱۰) نرخ استاندارد خدمات و فشار کاری با تغییر در تعداد خدمت‌دهندگان نشان داده می‌شود. فشار کاری برابر با نسبت نرخ قابل‌قبول ارائه خدمت به نرخ استاندارد خدمات می‌باشد. با توجه به اینکه افزایش تعداد خدمت‌دهندگان تأثیری بر نرخ قابل‌قبول ارائه خدمت ندارد و این نرخ در تمامی مقادیر یکسان می‌باشد، بنابراین با افزایش نرخ استاندارد خدمات در اثر افزایش تعداد خدمت‌دهندگان، فشار کاری وارد بر خدمت‌دهندگان کاهش می‌یابد و به ترتیب تعداد خدمت‌دهندگان فشار کاری در ابتدای شبیه‌سازی ۵، ۳/۳۳، ۲/۵، ۲ و ۱/۶۶ می‌باشد. نکته‌ای که باید در اینجا به آن توجه شود این است که با افزایش تعداد خدمت‌دهندگان از ۲ نفر به ۳ نفر، فشار کاری از ۵ به ۳/۳۳ کاهش می‌یابد ولی در ادامه با افزایش بیشتر تعداد خدمت‌دهندگان فشار کاری تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد.

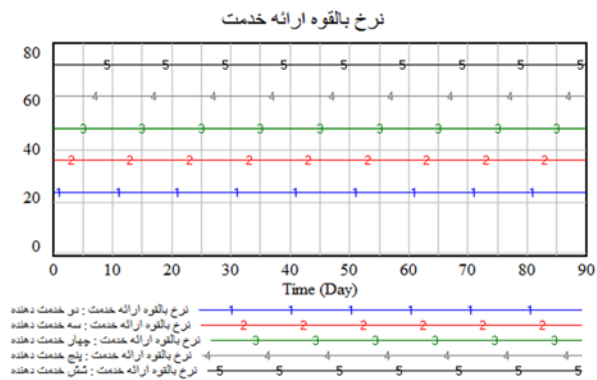


شکل (۹): نرخ استاندارد خدمات در وضعیت ۱

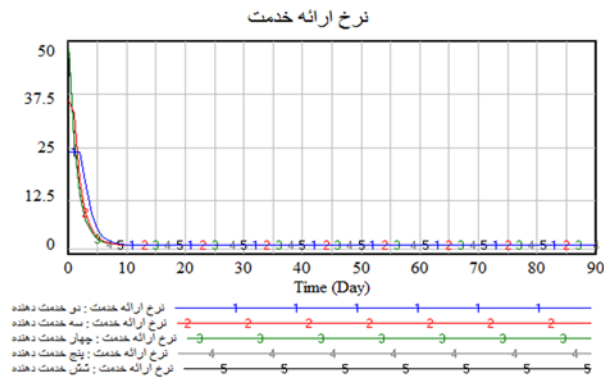


شکل (۱۰): فشار کاری در وضعیت ۱

رفتار متغیرهای نرخ بالقوه ارائه خدمت و نرخ ارائه خدمت در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد خدمت‌دهندگان نرخ بالقوه ارائه خدمت نیز افزایش می‌یابد. اما به دلیل طولانی بودن صف در ابتدای شبیه‌سازی و بیشتر بودن حداکثر نرخ ارائه خدمت نسبت به نرخ بالقوه ارائه خدمت، نرخ ارائه خدمت برابر با نرخ بالقوه ارائه خدمت بوده و در ادامه با کاهش طول صف، حداکثر نرخ ارائه خدمت وجود دارد و هم‌راستا با آن تغییر می‌کند.

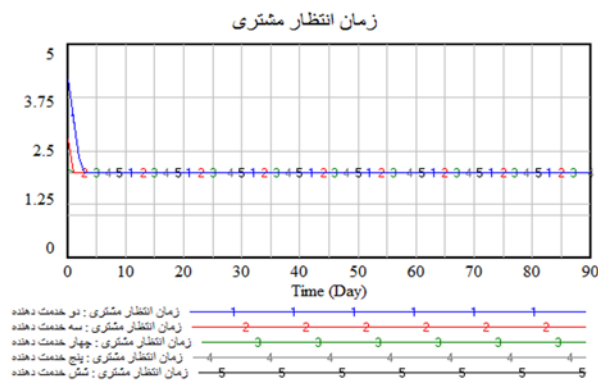


شکل (۱۱): نرخ بالقوه ارائه خدمت در وضعیت ۱



شکل (۱۲): نرخ ارائه خدمت در وضعیت ۱

در پایان، رفتار متغیر زمان انتظار مشتریان در مدل مورد توجه قرار گرفته است. رفتار این متغیر در شکل (۱۳) دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود به ترتیب تعداد خدمت‌دهندگان زمان انتظار هر مشتری ۴/۱۶، ۲/۷۷، ۲/۸، ۲ و ۲ می‌باشد. تغییر تعداد خدمت‌دهندگان از ۲ نفر به ۳ نفر سبب می‌شود زمان انتظار مشتریان از ۴/۱۶ به ۲/۷۷ کاهش یابد ولی در ادامه افزایش تعداد خدمت‌دهندگان تغییر محسوسی را در زمان انتظار مشتریان به وجود نخواهد آورد، بنابراین تعداد ۳ خدمت‌دهنده سبب می‌شود منحنی زمان انتظار مشتریان رفتار بهینه‌تری را نشان دهد.

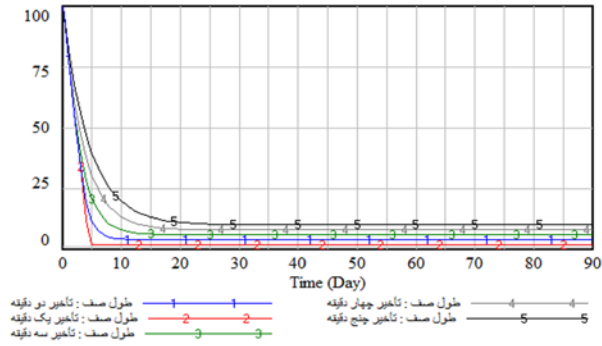


شکل (۱۳): زمان انتظار در وضعیت ۱

۲-۲-۳- وضعیت ۲: تغییر در حداقل زمان تأخیر

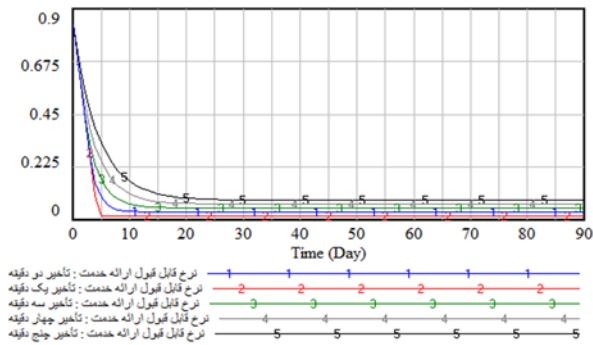
در این قسمت اقدام به تغییر حداقل زمان تأخیر نموده و تأثیر آن را بر دیگر متغیرهای مدل مورد توجه قرار داده‌ایم. همان‌طور که در شکل (۱۴) منحنی‌های طول صف نشان می‌دهند رفتار عمومی سیستم تغییر نکرده است فقط منحنی‌ها در زمان رسیدن به تعادل متفاوت هستند. شکل (۱۵) نشان می‌دهد که نرخ قابل قبول ارائه خدمت نیز در تمامی مقادیر حداقل زمان تأخیر از یک مقدار شروع شده و شروع به کاهش می‌کند فقط منحنی‌ها در زمان رسیدن به تعادل متفاوت می‌باشند. شکل (۱۶) نشان‌دهنده این است که فشار کاری وارد بر خدمت‌دهندگان در تمام مقادیر حداقل زمان تأخیر ۵ بوده و سپس همه منحنی‌ها شروع به کاهش نموده و به ترتیب حداقل زمان تأخیر در مقادیر ۰/۲، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ به ثبات رسیده‌اند. شکل (۱۷) متغیر حداکثر نرخ ارائه خدمت را نشان می‌دهد. حداکثر نرخ ارائه خدمت برابر با نسبت طول صف بر حداقل زمان تأخیر می‌باشد که به ترتیب مقادیر حداقل تأخیر ۵۰، ۱۰۰، ۳۳/۳۳، ۲۵ و ۲۰ می‌باشد که در طول شبیه‌سازی شروع به کاهش کرده و همگی در مقدار ۲ به ثبات می‌رسند. رفتار متغیر زمان انتظار مشتریان مدل در شکل (۱۸) مورد توجه قرار گرفته است. همان‌طور که منحنی‌ها نشان می‌دهند حداقل زمان تأخیر در مدت زمان انتظار مشتریان در صف تأثیرگذار می‌باشد و هر چه حداقل زمان تأخیر مشتریان کمتر باشد مدت زمان انتظار مشتریان در صف کمتر خواهد بود و با افزایش این زمان منحنی‌های زمان انتظار مشتریان در مقادیر بالاتری به تعادل خواهند رسید. همچنین زمان تأخیر ۱ دقیقه سبب رفتار مطلوب‌تر منحنی زمان انتظار مشتریان خواهد شد.

طول صف



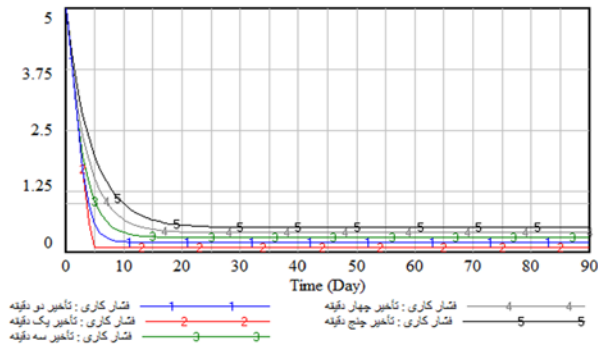
شکل (۱۴): طول صف در وضعیت ۲

نرخ قابل قبول ارائه خدمت



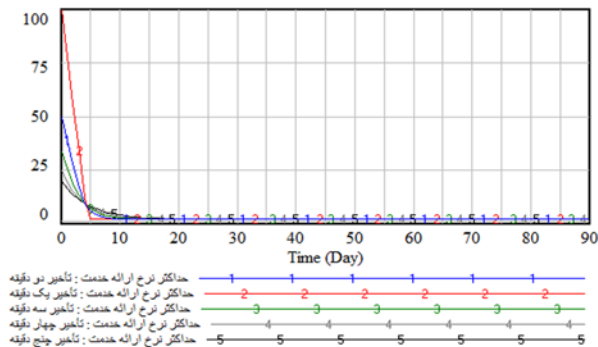
شکل (۱۵): نرخ قابل قبول ارائه خدمت در وضعیت ۲

فشار کاری

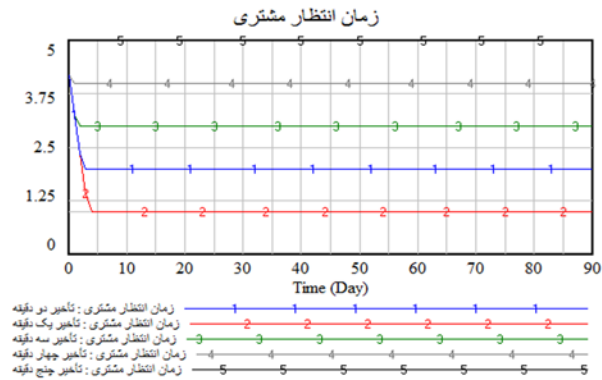


شکل (۱۶): فشار کاری در وضعیت ۲

حداکثر نرخ ارائه خدمت



شکل (۱۷): حداکثر نرخ ارائه خدمت در وضعیت ۲



شکل (۱۸): زمان انتظار در وضعیت ۲

۴- نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد یک مدل پویا از ارتباط بین اجزای یک سیستم صف که در آن عامل انسانی به عنوان ارائه دهنده خدمت فعالیت می کند، ارائه شود. پس از شبیه سازی سیستم صف به کمک روش پویایی سیستم و با استفاده از نرم افزار ونسیم، آثار تغییر در متغیرهای تعداد خدمت دهندگان و حداقل زمان تأخیر بر متغیرهای کلیدی مدل بررسی شد که نتایج به دست آمده را به شرح زیر می توان بیان کرد: (۱) با افزایش تعداد خدمت دهندگان، مشخص شد اگرچه این افزایش بر روی زمان رسیدن به تعادل زمان انتظار سیستم تأثیری ندارد اما باعث می شود از فشار کاری وارد بر خدمت دهندگان کاسته شود و منحنی زمان انتظار مشتریان نیز رفتار بهینه تری را نشان دهد و (۲) با تغییر در متغیر حداقل زمان تأخیر مشاهده می شود که این تغییر در مقادیر به تعادل رسیدن منحنی های زمان انتظار تأثیر گذار است و هرچه زمان تأخیر بیشتر باشد، سبب می شود منحنی زمان انتظار هر مشتری در سیستم در مقادیر بالاتری به تعادل برسد و هرچه زمان تأخیر کمتر باشد سبب می شود منحنی زمان انتظار مشتریان رفتار بهینه تری را نشان دهد.

با توجه به نتیجه به دست آمده، پیشنهاد می شود مدیریت سازمان اقدامات مؤثرتری در جهت توسعه امکانات موجود در این پایانه یعنی افزایش تعداد خدمت دهندگان انجام دهند. از طرف دیگر روش شد که علی رغم استفاده از سیستم الکترونیکی، خدمت دهی به مسافران به دلایلی از جمله کُندی و یا قطعی سیستم با تأخیر مواجه است، بنابراین برای کاهش این تأخیر اقداماتی از جمله اصلاح شبکه داخلی و یا استفاده از پهناهای باند بالاتر می تواند راهگشا باشد.

به سایر محققین پیشنهاد می شود با تغییر سایر متغیرهای کلیدی به مطالعه اثرات این تغییرها بر کل سیستم بپردازند و یا سعی کنند چندین پارامتر را همزمان تغییر داده و رفتار ایجاد شده را مورد مطالعه قرار دهند.

مراجع

1. Yang, Q. and Zeng, C., (2010), "Chaos in Fractional Conjugate Lorenz System and Its Scaling Attractors", Commun Nonlinear Sci Number Simulate, 15: pp. 4041-4051.
2. Lakshmi, C. and Iyer, S.A., (2013), "Application of Queuing Theory in Health Care: A Literature Review", Operations Research for Health Care, 2: pp. 25-39.
3. Sabbagh, M.S., (2007), Queuing Systems Notes.
4. Modarress, M. and Teimoury, E., (2012), Queuing Theory, 2nd edition, Academic Press, Tehran.
5. Jifeng, W., Huapu, L. and Hu, P., (2008), "System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application", Journal of Transportation, 8: 83-89.
6. Lai, C.L., Lee, W.B. and Ip, W.H., (2003), "A Study of System Dynamics in Just-in-time Logistics", Materials Processing Technology, 135: 265-269.
7. Lane, D.C. and Oliva, R., (1998), "The Greater Wholes: Towards a Synthesis of System Dynamics and Soft Systems Methodology", Theory and Methodology, 107: 214-235.
8. Shi, T. and Gill, R., (2005), "Developing Effective Policies for the Sustainable Development of Ecological Agriculture in China: The Case Study of Jinshan County with a Systems Dynamics Model", Ecological Economics, 53:223-246.
9. Zaim, S., Bayyurt, N., Tarim, M., Zaim, H. and Guc, Y., (2013), "System Dynamics Modeling of a Knowledge Management Process: A Case Study in Turkish Airlines", Social and Behavioral Sciences, 9th International Strategic Management Conference, 99: 545-552.
10. Dyson, B. and Chang B., (2004), "Forecasting Municipal Solid Waste Generation in a Fast-growing Urban Region with System Dynamics Modeling", Waste Management, 25: 669-679.
11. Tesfamariam, D. and Lindberg, B., (2005), "Aggregate Analysis of Manufacturing Systems Using System Dynamics and ANP", Computers and Industrial Engineering, 49: 98-117.
12. Momeni, M. and Morovati Sharifabadi, A., (2005), "Queuing System Dynamics Modeling Using System Dynamics Approach", Journal Of Shahed University, 17: 1-14.

13. Suryani, E., Chou, S.Y. and Chen, C.H., (2010), "Air Passenger Demand Forecasting and Passenger Terminal Capacity Expansion: A System Dynamics Framework", *Expert Systems with Applications*, 37: 2324-2339.
14. Morecroft, J.D.W., (1988), "System Dynamics and Microworlds for Policymakers", *European Journal of Operational Research*, 35: 301-320.

