دانشور
رفتار

مدل‌سازي پويايي‌هاي سيستم صف با استفاده از رويكرد پويايي سيستم

نويسندگان: دكتر منصور مؤمني[1] و علي مروتي‌شريف‌آبادي[2]

۱. استاديار دانشگاه تهران
۲. دانشجوي دكتراي مديريت گرايش تحقيق در عمليات دانشگاه تهران

چكيده

در يك تعريف ساده، تئوري صف، علم تجزيه و تحليل و مديريت خطوط انتظار است. تئوري صف، شاخه‌اي از علم رياضيات است كه در اوايل قرن بيستم در حين مطالعه بر روي خطوط انتظار تلفن توسعه پيدا كرد. بايد توجه داشت كه در تمام سيستم‌هاي صف، انسان حضور ندارد، ولي در سيستم‌هاي صفي كه در آن‌ها انسان به‌عنوان ارائه‌دهنده خدمت فعاليت مي‌كند مي‌توان سيستم صف را يك سيستم پويا در نظر گرفت؛ زيرا در اين گونه سيستم‌ها، اجزاي سيستم با يكديگر تعامل و بر هم كنش بيش‌تر دارند. در اين مقاله با استفاده از رويكرد پويايي سيستم، يك مدل ديناميك از پويايي‌هاي يك سيستم صف ارائه گرديده و سپس با بررسي اثر اجزاي مختلف مدل بر ديگر اجزا به مطالعه پويايي‌هاي يك سيستم ساده صف پرداخته شده است.

واژه‌هاي كليدي: سيستم صف، پويايي‌هاي سيستم، مدل‌سازي، شبيه‌سازي

دوماهنامه علمي - پژوهشي
دانشگاه شاهد
سال سيزدهم – دوره جديد
شماره ۱۷
تير ۱۳۸۵

۱. مقدمه

صف در ساده‌ترين‌شكل‌ممكن، مكاني است‌كه واحدهاي دريافت‌كننده خدمت منتظر مي‌مانند تا نوبت به آن‌ها برسد[۱] و تئوري صف (queuing theory) مقدمتاً با سيستم‌هايي در ارتباط است كه در آن‌ها، ورود مشتريان و همچنين خدمت‌دهي به آنان حالت تصادفي دارد. سيستم‌هاي صف را با توجه به دو ويژگي اصلي‌شان مي‌توان مورد مطالعه قرار داد؛ يكي نرخ ورود مشتريان به سيستم و ديگري نرخ ارائه خدمت توسط واحدهاي ارائه‌دهنده خدمت و خروج مشتريان از سيستم[۲و۳]. يك سيستم صف الزاماً داراي سه جزء است [۴و۵]:

۱. جمعيت مشتريان مراجعه‌كننده به سيستم كه اين جمعيت را در سيستم‌هاي صف مي‌توان محدود يا نامحدود در نظر گرفت. در مدل ارائه‌شده در اين مقاله، جمعيت مشتريان نامحدود فرض شده است.

۲. سيستم ارائه‌دهنده خدمت كه دربرگيرنده صف انتظار و تعدادي خدمت‌دهنده است. از ويژگي‌هاي صف انتظار مي‌توان به طول صف، تعداد صف‌ها و قانون صف اشاره كرد. در مدل مورد نظر در اين تحقيق، تعداد ارائه‌دهندگان خدمت محدود و سيستم، دربرگيرنده تنها يك صف با اندازه نامحدود و با قانون اولين وارده اولين خدمت مورد مطالعه قرار گرفته است.

۳. وضعيت خروج مشتريان بدين‌معنا كه آيا واحدهاي دريافت‌كننده خدمت از سيستم به جامعه برمي‌گردند يا خير. در مدل مورد مطالعه در اين تحقيق، مشتريان پس از دريافت خدمت به جمعيت مورد مطالعه باز مي‌گردند.

در يك سيستم صف، زماني كه نرخ ورود مشتريان از نرخ دريافت خدمت بيش‌تر باشد طول صف افزايش پيدا مي‌كند. مي‌توان سيستم صف را در حالتي بسيار ساده همانند شكل ۱ در نظر گرفت.

تئوري صف در آغاز به‌عنوان يك موضوع بسيار عملي موردتوجه قرار گرفت، لكن متأسفانه قسمت اعظم نوشته‌هاي اخير از ارزش علمي كم‌تري برخوردار بوده‌اند. اينك مجدداً تئوريسين‌هاي صف به سمت كاربرد تئوري پيچيده‌اي كه قسمت عمده آن در ۳۰ سال گذشته توسعه يافته علاقه‌مند شده‌اند[۶].

در ادبيات مربوط به تئوري صف و سيستم‌هاي صف، به سيستم صف به‌عنوان يك سيستم ايستا نگاه شده و در طول زمان، سرعت ورود مشتريان و سرعت ارائه خدمات در سيستم ثابت فرض گرديده است. در سيستم‌هاي خدماتي كه انسان در آن ارائه‌دهنده خدمت است اين فروض مي‌تواند در حد نسبتاً بالا غيرواقعي باشد، زيرا در طول زمان با توجه به طول صف و همچنين فشارهاي كاري، خدمت‌دهندگان در سرعت ارائه خدمات و زماني كه براي هر مشتري صرف مي‌كنند تغيير مي‌دهند.

با توجه به اين كه سرعت ارائه خدمت كاركنان خدمت‌دهنده تحت تأثير ميزان فشار كاري وارد بر آن‌ها قرار مي‌گيرد لذا در زمان برنامه‌ريزي در رابطه با تعداد پرسنل خدمت‌دهنده و زمان كاري آن‌ها در طول روز بايد به اين موضوع توجه شود. لذا «مسأله» مديريت براي برنامه‌ريزي در مورد تعداد كاركنان خدمت‌دهنده و زمان كاري آن‌ها در طول روز، اين است كه نمي‌تواند براي انسان‌ها نيز همانند ماشين‌هاي ارائه‌دهنده خدمت يك نرخ ارائه خدمت ثابت را در طول زمان كاري در نظر بگيرد و بايد تغييرات در نرخ ارائه خدمت توسط خدمت‌دهندگان را در نظر داشته باشد.

در مقاله حاضر، اين «مسأله» در يك سازمان ارائه‌دهنده خدمات پشتيباني به خريداران نرم‌افزارهاي مالي سازمان مورد مطالعه قرار گرفته است. در اين مقاله سعي شده با استفاده از شبيه‌سازي، توجه مديريت به اين نكته جلب شود كه نيروهاي متخصص سازمان داراي نرخ ارائه خدمت ثابتي در طي زمان نيستند و اين موضوع در موقع برنامه‌ريزي نيروي انساني بايد مورد توجه قرار گيرد.

براي شبيه‌سازي سيستم صف، از آن‌جا كه تعداد اجزاي متعامل و تعامل بين آن‌ها بسيار زياد است، نياز به ساده‌سازي در مدل وجود دارد. به همين‌منظور در مدل ارائه شده در اين مقاله، نرخ ورود مشتريان و تعداد خدمت‌دهندگان در ابتدا ثابت فرض شده، ولي پس از طراحي مدل مي‌توان با تغيير اين پارامترها، اثر هر يك از تغييرات را بر كل اجزاي سيستم مورد مطالعه قرار داد.

شكل ۱ : سيستم صف

۲. تكنيك پويايي سيستم

رويكرد پويايي سيستم (System Dynamics)، روشي براي تجزيه و تحليل، حل مسأله و شبيه‌سازي سيستم است [۷]. اين تكنيك، روشي براي تجزيه و تحليل سيستم‌ها و مسائل پيچيده به كمك شبيه‌سازي كامپيوتري به‌شمار مي‌رود [۸] كه در دهه ۱۹۶۰ توسط فارستر (Forrester) در دانشگاه MIT توسعه پيدا كرد [۹،۱۰،۱۱و۱۲].

به طور مختصر مي‌توان گفت كه روش پويايي سيستم، يك روش فرموله‌شدة مناسب براي تجزيه و تحليل اجزاي سيستمي است كه داراي روابط علّي- معلولي، زيربناي منطقي و رياضي، تأخيرات زماني و حلقه‌هاي بازخور هستند [۱۳]. اين تكنيك در جهان صنعت و تجارت شكل گرفت، ولي امروزه در بسياري از عرصه‌هاي علمي وارد شده است[۱۴]. بسياري از افراد امروزه از توانايي اين تكنيك براي ايجاد نظم در سيستم‌هاي پيچيده و كمك به ديگران براي فهم و يادگيري چنين سيستم‌هايي استفاده مي‌كنند [۱۵].

مزاياي استفاده از رويكرد ديناميكي سيستم‌ها را به اين شرح مي‌توان برشمرد:

۱. به دليل رويكرد تحليلي و انتقادي در فرايند مدل‌سازي، اين فرايند درك بهتري از ساختار سيستم فراهم مي‌كند.
۲. مدل‌هاي پويايي سيستم امكان وارد كردن متغيرهاي كيفي و كمي را به‌صورت همزمان در سيستم فراهم مي‌آورند [۱۶].

دو ابزاري كه براي فهم بهتر مدل‌سازي سيستم‌هاي پويا (Dynamic Systems) مورد استفاده قرار مي‌گيرد نمودار علّي- معلولي (Causal Diagram) و نمودار جريان (Flow Diagram) است كه در ادامه به توضيح آن‌ها مي‌پردازيم.

۳. نمودار علّي- معلولي

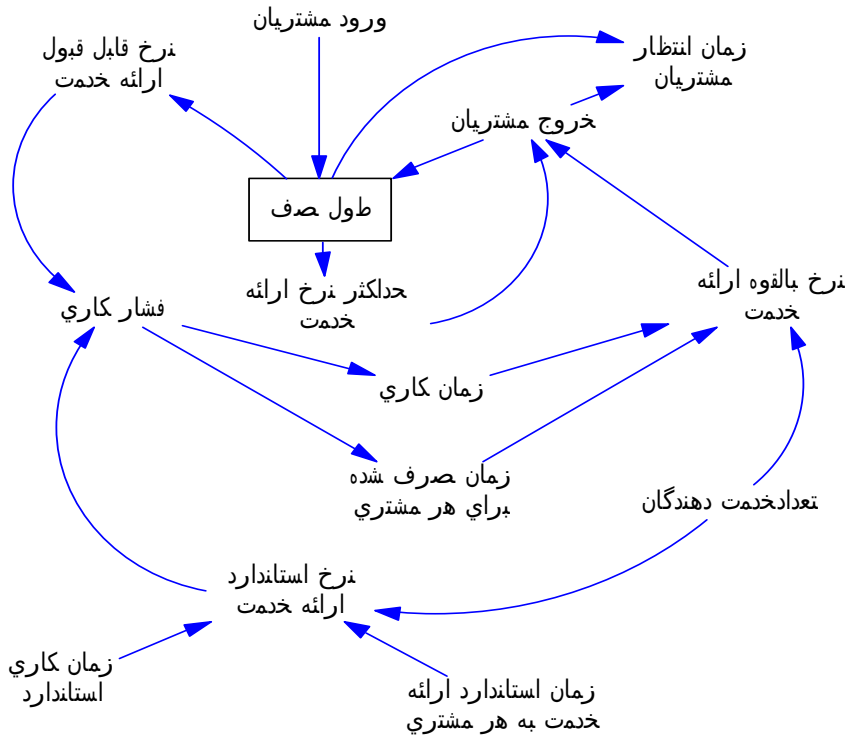
نمودار علّي- معلولي نموداري است كه روابط علّي بين متغيرهاي سيستم را به سادگي نشان مي‌دهد. با اين ابزار، مدل‌هاي ذهني افراد ساده‌تر درك مي‌شود. رابطه بين علّت و معلول در يك سيستم از طريق يك خط منحني كه داراي يك فلش براي نشان دادن جهت عمليات است ترسيم مي‌شود. بايد به خاطر داشت كه حلقه‌هاي علّي، ساختار يك سيستم را ترسيم مي‌كنند.

براي ساختن يك مدل و جمع‌آوري اطلاعات، روش‌هاي مختلف تحقيق قابل استفاده است؛ اما يكي از بهترين روش‌ها به‌كارگيري روش مصاحبه نيمه‌ساخت يافته است، زيرا داده‌هاي به‌دست‌آمده از مصاحبه غني هستند و بايد با داده‌هاي كمي تكميل گردند. البته تنوع افراد مصاحبه‌شونده، شرط اصلي در به‌كارگيري موفق اين روش است[۱۷].

براي مدل‌سازي سيستم صف مورد مطالعه از نمودار علّي- معلولي شكل ۲ و براي استخراج پارامترهاي عمدة اثرگذار بر سيستم و روابط بين آن‌ها به‌منظور رسم نمودار علّي- معلولي از نظرهاي خبرگان سيستم مورد مطالعه و ادبيات و پيشينه موضوع استفاده شده است.

نمودار علّي- معلولي در شكل ۲، اجزاي يك سيستم صف را كه با يكديگر رابطه متقابل دارند به تصوير مي‌كشد. لازم است در اين‌جا تعدادي از متغيرهاي كليدي به‌كار گرفته شده در مدل معرفي شوند. البته از تعريف مجدد متغيرهايي چون نرخ ورود مشتريان، نرخ دريافت خدمت توسط مشتريان، طول صف، تعداد خدمت‌دهندگان و... كه قبلاً بيان شده‌اند يا از بديهيات محسوب مي‌شوند خودداري شده است.

- زمان صرف‌شده براي هر مشتري، مدت زماني است كه فرد ارائه‌دهنده خدمت در عمل براي ارائه خدمت به هر مشتري صرف مي‌كند.
- زمان استاندارد ارائه خدمت، مدت زماني است كه وقتي فشار كاري بر روي خدمت‌دهندگان سيستم نباشد به‌صورت استاندارد، هر يك از خدمت‌دهندگان براي ارائه خدمت به هر يك از مشتريان صرف مي‌كنند كه طبيعتاً مقدار ثابتي است.



شكل ۲ : نمودار علّي – معلولي سيستم صف

- نرخ استاندارد ارائه خدمت، بدين‌معنا كه اگر زمان كاري هر يك از خدمت‌دهندگان در حالت عادي مقدار ثابتي در نظر گرفته شود، آن‌گاه هر يك از خدمت‌دهندگان با توجه به اين كه ارائه خدمت به هر مشتري داراي يك زمان استاندارد است به‌صورت استاندارد در يك دوره زماني معين به تعداد مشخصي مشتري خدمت ارائه مي‌دهد. اين مقدار در مدل با عنوان «نرخ استاندارد ارائه خدمت» در نظر گرفته شده است.
- نرخ بالقوه ارائه خدمت كه نشان مي‌دهد خدمت‌دهندگان بدون توجه به طول صف يا نرخ ورود مشتريان، به‌صورت بالقوه توان خدمت‌دهي به چند مشتري را در يك واحد زماني مشخص مثل يك روز دارند.
- نرخ قابل قبول ارائه خدمت: نكته‌اي كه بايد در اين مدل به آن توجه داشت اين است كه در اين سيستم قاعدتاً زماني كه مشتري وارد سيستم مي‌شود بايد مدت زماني منتظر بماند تا نوبت به او برسد. مدت زمان انتظاري كه مشتري با آن مواجه مي‌شود ممكن است با توجه به نرخ ورود مشتريان و نرخ دريافت خدمت توسط آن‌ها متغير باشد. از طرف ديگر، مديريت سازمان نيز مدت زماني را به‌عنوان حداكثر زمان انتظار هر مشتري منظور مي‌كند. بنابراين در هر لحظه از زمان از تقسيم طول صف بر حداكثر زمان انتظار هر مشتري، نرخ قابل قبول ارائه خدمت به‌دست مي‌آيد.
- حداكثر نرخ ارائه خدمت كه نشان مي‌دهد در سيستم با فرض نبودن محدوديت تعداد خدمت‌دهندگان، حداكثر تعداد مشتري كه سيستم مي‌تواند در واحد زمان به آن‌ها سرويس بدهد چند مشتري است؟ با توجه به اين كه براي خدمت به مشتريان، در هر حال، حداقل زماني مورد نياز است، مقدار حداكثر نرخ ارائه خدمات از تقسيم طول صف بر حداقل زمان ارائه خدمت به هر مشتري به‌دست مي‌آيد.

- فشار كاري كـه منظور از آن، نسبت نرخ قابل قبـول ارائه خدمت تقسيم بر نرخ استاندارد ارائـه خـدمت است. هرگاه اين نسبت بزرگ‌تر از يـك باشـد بـر خدمت‌دهندگان فشار وارد مي‌آيد كه يا زمان كاري خود را افزايش دهند يا زمان صرف‌شده بـراي هـر مشتري را كاهش دهند.
- زمان انتظار مشتريان، نشان‌دهنده مدت زماني است كه مشتريان از لحظـه ورود بـه سيسـتم تـا لحظـه خروج از سيستم بايد منتظر بمانند. اين مدت زمـان از تقسيم طول صف بر نرخ ارائه خدمت به مشتريان به‌دست مي‌آيد. براي مثال اگر طول صف ۲۰ باشـد و نرخ ارائه خدمت، ۲ مشتري در واحد زمان باشد، هر مشتري كه به سيستم وارد مي‌شود بايد به مـدت ۱۰ واحد زماني (۲۰ تقسيم بر ۲) منتظر بماند.

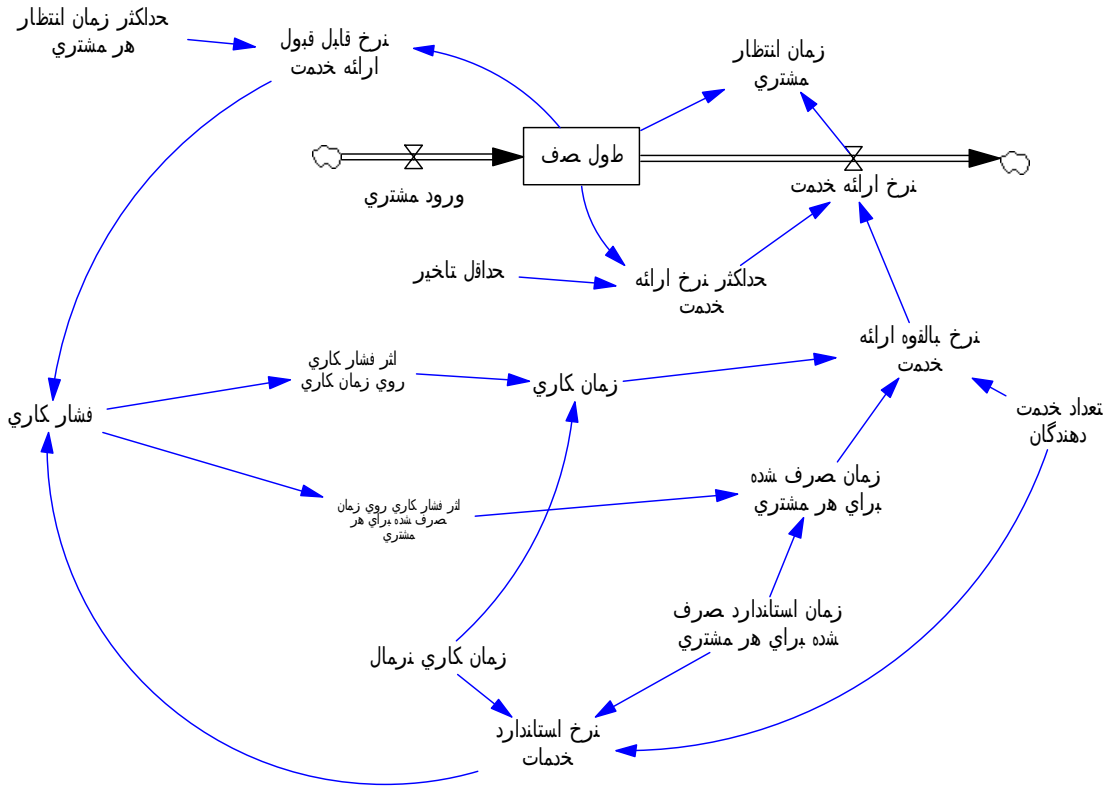
همان‌طور كه در نمـودار ۲ نشـان داده شـده طـول صف، متغيري است كه تحت تأثير نرخ ورود مشـتريان و نرخ خروج آن‌ها (نرخ ارائه خدمت) است.

۴. نمودار جريان

اين نمودار، نحوه تعامل بين متغيرهاي يـك سيسـتم بـا يكديگر را نشان مي‌دهد و مي‌تواند مبنايي براي توسـعه يك مدل كمي باشد [۱۸]. در ترسـيم نمـودار جريـان، آشنايي بـا دو مفهـوم انبـاره (Stock) و جريـان (Flow) ضروري است.

در هر سيستم مقدار برخـي متغيرهـا افـزايش و يـا كاهش مي‌يابد كه به آن‌ها «متغيرهاي انباره‌اي (ذخيره)» گفته مي‌شود. نـرخ افـزايش يـا كـاهش ايـن متغيرهـا «جريان» خوانده مي‌شود.

نمودار جريان يك سيسـتم صـف را مـي‌تـوان بـا استفاده از ادبيات موضوع و نظر خبرگـان و اطلاعـاتي كه از نمونه‌گيري در بازه‌هاي مختلف زمـاني بـه‌دسـت مي‌آيد، استخراج كرد. در جريان ساخت اين نمودار از فرمول‌هاي كمي، روابط كيفي و توابع عـددي اسـتفاده شده است. شكل ۳ نمودار جريان مربـوط بـه سيسـتم صف مورد مطالعه را نشان مي‌دهد.



شكل ۳ : نمودار جريان سيستم صف

همان‌طور كه در شكل ۳ ديده مي‌شود، صف در اين مدل يك انباره است كه مقدار آن با جرياني به نام «ورود مشتري» افزايش مي‌يابد و با جريان ديگري به نام «ارائه خدمت» (خروج مشتري) كاهش پيدا مي‌كند. براي سادگي مدل ورود مشتريان به سيستم صف در اين مدل يك متغير برون‌زا در نظر گرفته شده است. هرچند مي‌توان نرخ ورود مشتريان را به نوعي تحت تأثير نرخ ارائه خدمت و طول صف دانست، ولي براي ممانعت از پيچيدگي بيش از حد مدل از اين كار اجتناب شده است.

اما نرخ ارائه خدمت در مدل يك متغير درون‌زا است كه در اين مدل به ميزان حداقل دو مقدار «حداكثر نرخ ارائه خدمت» و «نرخ بالقوه ارائه خدمت» است، يعني:

نرخ ارائه خدمت=

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

همان‌طور كه در شكل ۳ ديده مي‌شود، طول صف با اعمال فشار كاري بر خدمت‌دهندگان باعث تغيير در زمان كاري و زمان صرف شده براي هر مشتري مي‌شود و به اين ترتيب بر نرخ بالقوه ارائه خدمت تأثير مي‌گذارد. البته بايد به اين نكته توجه داشت كه زماني فشار كاري بر زمان كاري خدمت‌دهندگان و زمان صرف‌شده براي هر مشتري تأثير مي‌گذارد كه مقدار فشار كاري حاصل از تقسيم نرخ قابل قبول ارائه خدمت بر نرخ استاندارد ارائه خدمت، از يك بزرگ‌تر شود.

زمان انتظار مشتري در اين مدل از رابطه طول صف، تقسيم بر نرخ ارائه خدمت به‌دست مي‌آيد. محاسبه اين متغير صرفاً براي نشان دادن زمان انتظار مشتري در سيستم است و اثري بر ساير متغيرهاي مدل نخواهد داشت.

البته *نوآوري مدل پيشنهاد شده* در اين مقاله اين است كه در اين‌جا به سيستم صفي كه در آن عامل انساني ارائه‌دهنده خدمت است به‌عنوان يك سيستم پويا نگريسته مي‌شود. در مدل ارائه شده در اين مقاله به اين موضوع پرداخته شده كه نرخ ارائه خدمت توسط خدمت‌دهندگان با توجه به فشار كاري وارد بر آن‌ها تغيير مي‌كند كه اين تغيير مي‌تواند از طريق تغيير زمان كاري خدمت‌دهندگان و يا تغيير زمان صرف‌شده براي هر مشتري رخ دهد. بنابراين به اين نكته اشاره شد كه در سيستم‌هاي صفي كه انسان به‌عنوان ارائه‌دهنده خدمت فعاليت مي‌كند، در نظر گرفتن زمان ثابتي به‌عنوان زمان ارائه خدمت، مي‌تواند غيرواقعي باشد. در ادامه مقاله، سيستم صف فوق‌الذكر به كمك تكنيك پويايي سيستم شبيه‌سازي‌شده و در حالات مختلف مورد بررسي قرار گرفته است.

اكنون مي‌توان با در دست داشتن مدلي از سيستم، اجزاي مختلف آن را تغيير داده، اثر تغييرات را بر ساير اجزاي مدل مطالعه كرد. البته براي انجام اين مطالعه لازم است كه از قابل اعتماد بودن مدل اطمينان حاصل شود.

۵. تست مدل و اعتبار آن

تست مدل و اعتبار آن، قابليت اعتماد به مدل را افزايش مي‌دهد و اعتماد به كاربردي بودن آن را بالا مي‌برد. اعتبار ساختاري مدل بر اعتبار رفتاري آن اولويت دارد و تنها زماني كه ساختار مدل داراي اعتبار است مي‌توان اعتبار رفتار مدل را مورد بررسي قرار داد [۱۹]. مدل‌هاي پويايي سيستم را مي‌توان به كمك داده‌هاي جمع‌آوري‌شده به‌صورت ميداني و با استفاده از ادبيات موجود به شكلي تعديل كرد و اعتبار بخشيد و مآلاً ابزاري را براي تست كردن سناريوها و شبيه‌سازي‌هاي مختلف توسعه داد[۲۰].

براي دستيابي به اين اطمينان از مدل مي‌توان از آزمون‌هاي زير استفاده كرد:

۱. آزمون حد نهايي: در اين آزمون، مقدار چند متغير اصلي مدل (نرخ ورود مشتريان، تعداد خدمت‌دهندگان، حداكثر زمان انتظار مشتري و...) در حالت‌هاي حدي مختلف (بسيار زياد و بسيار كم) تغيير داده شده، ميزان حساسيت مدل در برابر

اين تغييرات بررسي شد. نتايج نشان‌دهنده رفتار منطقي مدل در حالات حدي است.

۲. آزمون‌هاي بخشي اجزاي مدل: در اين آزمون، مدل به زير مدل‌هاي ساده‌تر تقسيم شده، سپس تست‌هاي مختلفي (از جمله تست‌هاي حد نهايي) روي هر يك از زيرمدل‌ها انجام گرفته، نهايتاً زيرمدل‌ها در مدل نهايي قرار داده شده است.

۳. آزمون سازگاري جدول‌هاي عددي: براي بررسي اثر فشار زماني بر زمان صرف‌شده براي هر مشتري و زمان كاري روزانه خدمت‌دهندگان، مجموعه‌اي از توابع يا جداول عددي كه طبق نظر خبرگان به‌دست مي‌آيد، مورد استفاده قرار مي‌گيرد. در آزمون سازگاري بايد مقادير اين جداول عددي را مورد بررسي قرار داد و در صورتي كه مقاديري ديده شوند كه باعث رفتار غيرمنطقي مدل مي‌شوند به‌عنوان داده‌هاي پرت از بين داده‌ها حذف گردند.

۶. شبيه‌سازي مدل

با توجه به نمودار جريان فوق كه يك مدل از روابط اجزاي يك سيستم صف است اكنون مي‌توان اثر تغييرات اجزاي مختلف سيستم را بر ديگر اجزاي سيستم مطالعه كرد. براي شبيه‌سازي مدل تشريح‌شده از سيستم صف و بررسي تأثير خط‌مشي‌هاي مختلف مديريت يا تغيير در متغيرهاي برون‌زا بر سيستم از نرم‌افزار ونسيم كمك گرفته شده است. البته براي شبيه‌سازي كامپيوتري رفتارهاي پويا نرم‌افزارهاي متعددي ارائه شده كه هر يك ويژگي‌هايي دارند، اما از اين ميان، نرم‌افزار ونسيم از بهترين نرم‌افزارهاي شبيه‌سازي محسوب مي‌گردد[۲۱].

وضعيت سازمان مورد مطالعه كه براي شبيه‌سازي مدل از اطلاعات آن استفاده شده به شرح زير است: تعداد خدمت‌دهندگان سيستم ۲۰ نفر، حداكثر زمان انتظار هر مشتري از ديدگاه مديريت ۱۰ ساعت، زمان استاندارد صرف شده براي هر مشتري ۵ ساعت، زمان كاري نرمال هر نفر ۸ ساعت در روز، نرخ ورود مشتريان ۱۰ مشتري در روز و حداقل تأخير ۲ ساعت. طول صف نيز در ابتدا به‌صورت فرضي ۱۰۰ مشتري در نظر گرفته شده است. به علت محدوديت‌هاي نرم‌افزار در شبيه‌سازي نمي‌توان طول صف را در ابتدا صفر در نظر گرفت.

سازمان فوق، يك سازمان ارائه‌دهنده خدمات پشتيباني به نرم‌افزارهاي مالي است كه در آن ۲۰ نفر از مهندسين نرم‌افزار به متقاضيان خدمت پشتيباني، ارائه خدمت مي‌كنند. در حالت عادي براي ارائه خدمت به هر مشتري به طور متوسط ۵ ساعت زمان صرف مي‌شود، ولي خدمت‌دهندگان مي‌توانند در صورت فشار كاري، اين زمان را تا حدي نرخ ورود مشتريان ثابت است و خدمات پشتيباني به‌گونه‌اي در نظر گرفته شده كه هر يك از ۲۰ خدمت‌دهنده مي‌تواند به تمام مشتريان خدمت ارائه دهد. مشتريان نيز همه خواهان يك نوع خدمت هستند: يعني پشتيباني از نرم‌افزارهاي مالي. در ادامه مقاله، شبيه‌سازي سيستم صف سازمان مورد مطالعه ارائه شده است.

با توجه به اين‌كه مقدار بعضي از پارامترهاي مدل برون‌زا است و تحت تأثير تعامل بين اجزاي مدل قرار نمي‌گيرد بلكه توسط عوامل بيروني تعيين مي‌شود از ترسيم نمودار مربوط به رفتار آن متغيرها اجتناب شده است.

چون نمودار مربوط به اين گونه متغيرها نظير تعداد كاركنان، ميزان تأخير مطلوب، نرخ ورود مشتريان، زمان كاري استاندارد و زمان استاندارد صرف‌شده براي هر مشتري در طول زمان ثابت است. به رفتار متغيرهايي چون طول صف، نرخ دريافت خدمت توسط مشتريان و زمان انتظار مشتري كه مي‌تواند براي مديريت سازمان حائز اهميت باشد پرداخته شده است.

در ادامه، رفتار سيستم در سه وضعيت ممكن مورد مطالعه قرار گرفته است. البته هر محقق مي‌تواند ساير وضعيت‌هاي ممكن را نيز بررسي كند.

وضعيت ۱: شبيه‌سازي مدل در حالت ثابت بودن متغيرهاي برون زا

پس از شبيه‌سازي مدل با مفروضات فوق، با فرض ثابت ماندن متغيرهاي برون‌زا، مدل مطالعه شد. اولين متغيري كه رفتارش مورد توجه قرار مي‌گيرد طول صف است كه در شكل ۴ نشان داده شده است.

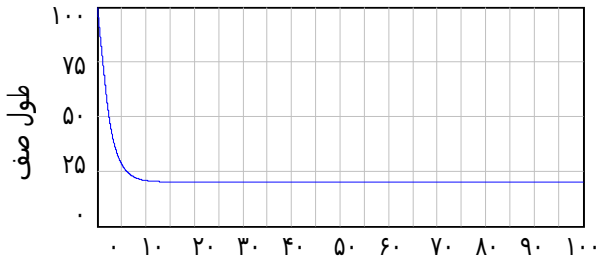
همان‌طور كه در اين شكل ديده مي‌شود از آن‌جا كه طول اوليه صف ۱۰۰ مشتري در نظر گرفته شده و نرخ ورود مشتريان ۱۰ نفر در روز است، چون با توجه به نرخ ارائه خدمت، اين مقدار صف غيرطبيعي است از زمان صفر، سيستم شروع به كاهش طول صف مي‌كند و نهايتاً در تعداد ۲۰ مشتري در صف به تعادل مي‌رسد.

دومين متغيري كه رفتارش در سيستم مي‌تواند جالب توجه باشد فشار كاري وارد بر خدمت‌دهندگان است. رفتار اين متغير در وضعيت ۱ در شكل ۵ نشان داده شده است.

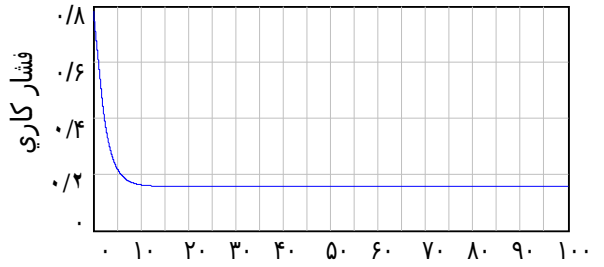
همان‌طور كه ملاحظه مي‌شود مقدار فشار كاري، پايين‌تر از مقدار يك باقي مي‌ماند. زماني كه فشار كاري برابر و يا كم‌تر از يك باشد به اين معنا است كه كاركنان براي اتمام هرچه سريع‌تر كارهاي‌شان تحت فشار كاري نيستند. با توجه به طولاني بودن صف در لحظه شروع شبيه‌سازي، نرخ قابل قبول ارائه خدمت بالا بوده، در نتيجه، فشار كاري در حد ۰/۸ قرار دارد؛ ولي با توجه به كاهش طول صف در طي زمان، از نرخ قابل قبول ارائه خدمت كاسته شده، فشار كاري نيز تا مقدار كم‌تر از ۰/۲ كاهش يافته است.

متغير بعدي كه رفتارش در مدل مورد توجه قرار گرفت نرخ ارائه خدمت است. شكل ۶ وضعيت نرخ ارائه خدمت در طول زمان را نشان مي‌دهد.

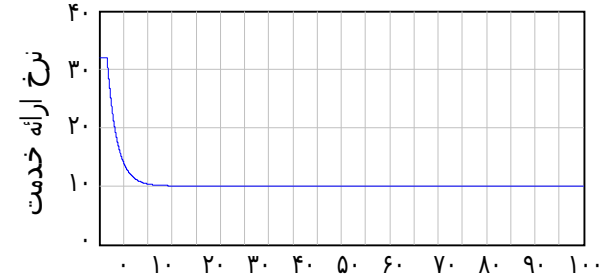
همان‌طور كه نمودار نشان مي‌دهد به علت طولاني بودن صف در زمان صفر، نرخ ارائه خدمت برابر با نرخ بالقوه ارائه خدمت بوده كه مقدار ثابتي است، ولي با كاهش طول صف و نيز مقدار حداكثر نرخ ارائه خدمت، اين نرخ كه مينيمم دو مقدار حداكثر نرخ ارائه خدمت و نرخ بالقوه ارائه خدمت محسوب مي‌شود برابر با حداكثر نرخ ارائه خدمت شده است كه البته اين



شكل ۴ : طول صف



شكل ۵ : فشار كاري



شكل ۶ : نرخ ارائه خدمت

مقدار نيز مرتب با كاهش طول صف كاهش مي‌يابد تا اين‌كه در زمان تقريبي ۱۵ با ثابت شدن طول صف، نرخ ارائه خدمت نيز ثابت مي‌شود.

با در نظر گرفتن تمام فرضيات گفته شده و مشاهده رفتار اجزاي مختلف مدل، زمان انتظار براي هر مشتري به‌صورت شكل ۷ است.

همان‌طور كه ديده مي‌شود با توجه به طولاني بودن صف در شروع كار و كاهش آن در طي زمان، زمان انتظار مشتريان نيز به شكلي خطي كاهش مي‌يابد تا اين‌كه در مقدار پايين‌تري به ثبات مي‌رسد.

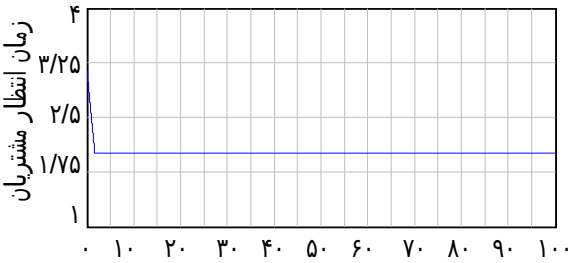
وضعيت۲: تغيير در نرخ ورود مشتريان

در وضعيت ۲ فرض شـده كـه در زمـان ۲۰ از زمـان شروع، نرخ ورود مشتريان از مقدار اوليه كه ۱۰ مشتري در روز در نظـر گرفتـه شـده بـه ۴۰ مشـتري در روز افزايش مي‌يابد. در دنياي واقعي، اين تغييـر مـي‌توانـد ناشي از مسائل برون‌سازماني، نظير تعطيلي يك سازمان رقيب يا تغيير در الگوي مصرف جمعيت مشتريان باشد. اكنون رفتار پارامترهاي مورد مطالعه مجدد مورد توجـه قرار مي‌گيرد. در نمودارهاي مربوط به ايـن وضـعيت و همچنين وضعيت ۳ نمودارهاي تمام وضعيت‌هـا نشـان داده مي‌شود تا مقايسه رفتار متغيرها در وضـعيت‌هـاي مختلف ممكن باشد.

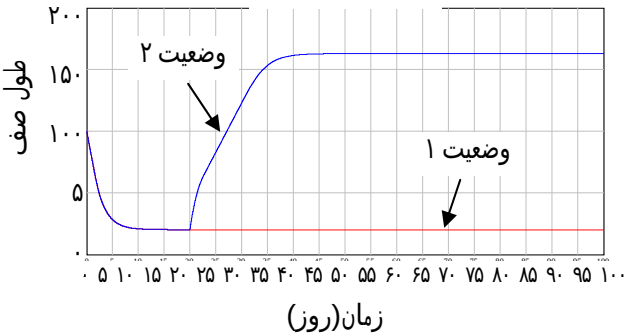
شكل ۸ نشان‌دهنده طول صف با اعمال وضـعيت ۲ است.

همان‌طور كه در شكل ۸ ديده مي‌شود در زمـان ۲۰ با افزايش يافتن نرخ ورود مشـتريان، طـول صـف نيـز شروع به افزايش مي‌كند. از آن‌جا كه بلافاصله پـس از افزايش نرخ ورود مشتريان، نرخ ارائه خـدمت توسـط خدمت‌دهندگان افزايش پيدا نمي‌كند و بـراي افـزايش فشار كاري بر خدمت‌دهندگان و در نتيجه افزايش زمان كاري آن‌ها يا كاهش زمان صرف‌شده براي هر مشتري، زمان لازم است، ديده مي‌شود كه با ۴ برابر شدن نـرخ ورود مشتريان، طول صف تا حدود ۸ برابر افزايش پيدا مي‌كند.

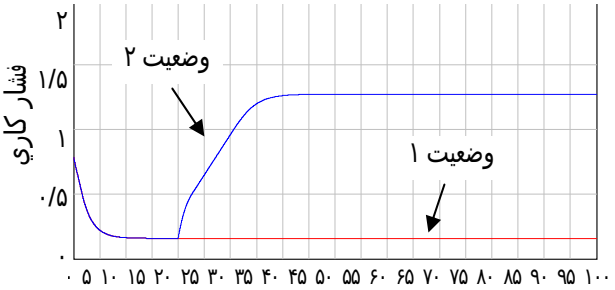
شـكل ۹ نشـان‌دهنـده فشـار كـاري وارد بـر خدمت‌دهندگان با تغيير در نرخ ورود مشتريان در زمان ۲۰ است.



شكل ۷ : زمان انتظار مشتريان



شكل ۸ : طول صف با فرض تغيير در نرخ ورود مشتريان



شكل ۹ : فشار كاري

همان‌طور كه در شكل ۹ ديده مي‌شود بـا تغييـر در نرخ ورود مشتريان در زمان ۲۰ و افزايش طول صـف، نرخ قابل قبول ارائه خدمت و در نتيجـه، فشـار كـاري خدمت‌دهندگان شروع به افزايش مي‌كنـد و در زمـان ۳۰ از حد يك نيز بالاتر مي‌رود كه ايـن لحظـه دقيقـاً زماني است كه خدمت‌دهندگان در زمان كاري خـود و زمان صرف‌شده براي هر مشتري تجديدنظر مي‌كنند.

شكل ۱۰ «الف» زمـان كـاري خـدمت‌دهنـدگان و شكل ۱۰ «ب» زمان صرف‌شده براي هر مشتري را نشان مي‌دهد.

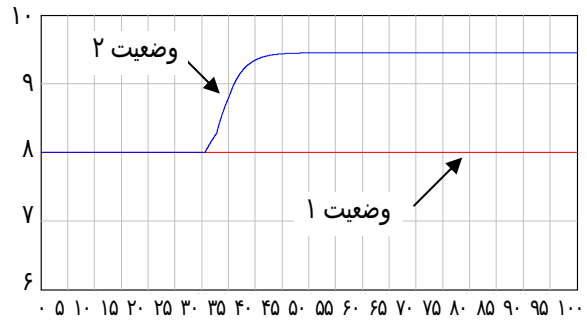
همان‌طور كه در شكل ۱۰ ديده مـي‌شـود دقيقـاً از زماني كه فشار كـاري از مقـدار يـك بـالاتر مـي‌رود خدمت‌دهندگان شروع به كاهش زمان صرف شده براي هر مشتري و افزايش زمان كاري روزانه خود مي‌كنند.

در ادامه، نرخ ارائه خدمت، با فرض تغيير در نـرخ ورود مشتريان مورد توجـه قـرار گرفتـه اسـت. نحـوه تغييرات در نرخ ارائه خدمت در وضـعيت ۲ در شـكل ۱۱ نشان داده شده است.

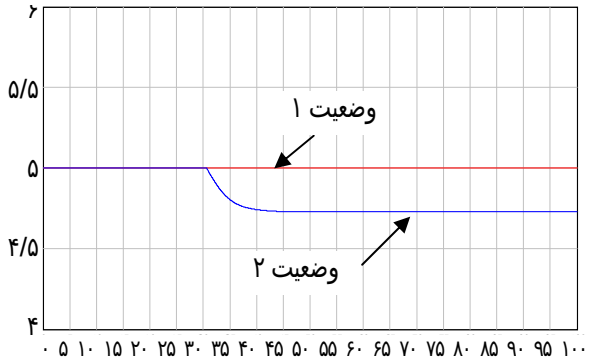
همان‌طور كه در شكل ۱۱ ديده مي‌شود نـرخ ارائـه خدمت به مشتريان در زمان ۲۰ با افزايش طول صـف، شروع به افزايش مي‌كند؛ ولي نكته در خور توجه ايـن است كه با افزايش نرخ ارائه خدمت در مـدتي حـدود دو روز، نرخ ارائه خدمت به مدت ۸ روز ثابـت بـاقي مي‌ماند و مجدد شروع به رشد مي‌كند. دليل اين اتفـاق را مي‌توان اين‌گونه بيان كرد كـه نـرخ ارائـه خـدمت مينيمم دو متغير حداكثر نرخ ارائه خدمت و نرخ بـالقوه ارائه خدمت است. در روز بيستم با افزايش نـرخ ورود مشتريان، و با افزايش طول صف، حـداكثر نـرخ ارائـه خدمت افزايش مي‌يابد و از آن‌جا كه در ابتدا اين مقدار از نرخ بالقوه ارائه خدمت كم‌تر و در نتيجه نـرخ ارائـه خدمت برابر آن است نرخ ارائـه خـدمت نيـز افـزايش مي‌يابد. اما زماني كه حداكثر نرخ ارائه خدمت به حدي افزايش پيدا كرد كه از نرخ بالقوه ارائه خدمت بزرگ‌تر شد آنگاه نرخ ارائه خدمت برابر بـا نـرخ بـالقوه ارائـه خدمت مي‌شود. از آن‌جا كه نرخ بالقوه ارائه خدمت تـا زماني كه فشار كاري از يك بالاتر نرود ثابت مي‌مانـد، بنابراين براي مدتي، نرخ ارائه خدمت ثابت مي‌ماند تـا اين‌كه نرخ بالقوه ارائه خدمت تحت تأثير فشار كـاري افزايش مي‌يابد و باعـث افـزايش نـرخ ارائـه خـدمت مي‌شود.

در پايان، رفتار متغيرِ زمان انتظار مشتريان در مـدل مورد توجه قرار گرفته است. رفتار اين متغير در شـكل ۱۲ ديده مي‌شود.

همان‌طور كه در شكل ۱۲ ديده مي‌شود زمان انتظار مشتريان به محض افزايش نرخ ورود مشتريان شروع به افزايش نمي‌كند، زيرا تعداد خدمت‌دهندگان بـه حـدي است كه توان خدمت‌دهي به تعداد مشتريان بيش‌تـر را براي مدتي داشته باشند؛ ولي پـس از گذشـت مـدتي، طول صف به حدي مي‌رسد كه ديگر خدمت‌دهنـدگان نمي‌توانند با زمان كاري فعلي و زمان استاندارد خدمت به مشتري، زمان انتظار مشتري را در سطح قبلي حفـظ كنند و زمان انتظار مشتري شروع به افزايش مي‌كند. بـا رسيدن زمان انتظار مشتري بـه حـدي كـه از حـداكثر تعيين شده توسط مديريت بيش‌تر است، فشار كاري بر پرسنل وارد مي‌شود كه آنگاه خـدمت‌دهنـدگان زمـان صرف‌شده براي هر مشتري را كـاهش و زمـان كـاري خود را افزايش مي‌دهند و بدين‌ترتيب، مانع از افـزايش بيش از حد زمان انتظار مشـتريان از حـد تعيـين‌شـده مي‌شوند.

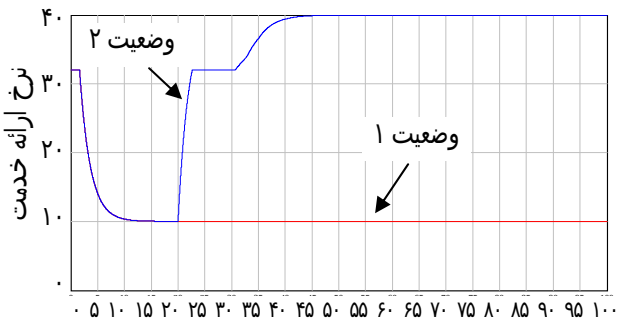


الف) زمان كاري

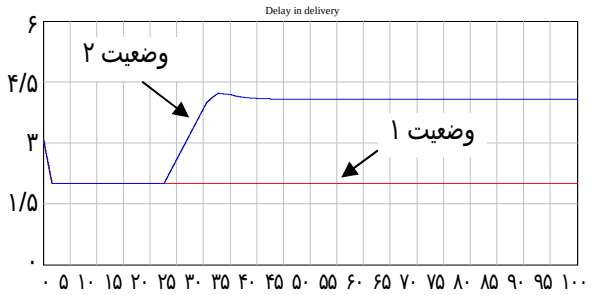


ب) زمان صرف شده براي هر مشتري

شكل ۱۰: تغييرات در زمان كاري و زمان صرف شده براي هر مشتري با فرض تغيير در نرخ ورود مشتريان



شكل ۱۱: نرخ ارائه خدمت به مشتريان با فرض تغيير در نرخ ورود مشتريان



شکل ۱۲ زمان انتظار مشتريان با افزايش نرخ ورودي سيستم

وضعيت ۳: تغيير در تعداد خدمت دهندگان

در اين قسمت با فرض اين كه مديريت با افزايش نرخ ورود مشتريان در زمان ۲۰ اقدام به افزايش تعداد خدمت‌دهندگان در زمان ۵۰ مي‌كند مدل‌سازي ادامه پيدا كرده است. مديريت سازمان مي‌تواند نتايج شبيه‌سازي را به‌عنوان ابزار مناسبي براي تصميم‌گيري مورد استفاده قرار دهد. در اين‌جا تغيير ذكر شده در بخش قبل در زمان ۲۰ همچنان حفظ شده، ولي در زمان ۵۰ تعداد خدمت‌دهندگان با ۵۰ درصد افزايش به ۳۰ نفر رسيده است. رفتار متغيرهايي چون طول صف، زمان تأخير، نرخ ارائه خدمت، زمان كاري خدمت‌دهندگان، زمان صرف‌شده براي هر مشتري و فشار زماني مي‌تواند جالب توجه باشد. تغييرات اين متغيرها در شكل ۱۳ نشان داده شده است. در اين شكل‌ها، نمودارهاي مربوط به وضعيت ۱ و ۲ نيز حفظ شده كه همانند شكل‌هاي ۸ تا ۱۲ است، اما تغييراتي كه صرفاً به دليل اعمال وضعيت ۳ در مدل رخ داده مورد تأكيد است.

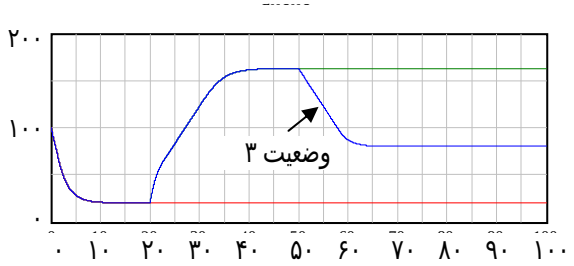
شكل ۱۳ «الف» نشان مي‌دهد كه طول صف با افزايش تعداد خدمت‌دهندگان كاهش پيدا مي‌كند، ولي اين مقدار كاهش به حدي نيست كه افزايش ناشي از ۴ برابر شدن نرخ ورود مشتريان را جبران كند و با وجود كاهش طول صف از زمان ۵۰، همچنان نسبت به وضعيت يك صف طولاني‌تري وجود دارد.

شكل ۱۳ «ب» نشان‌دهنده اين است كه در زمان ۵۰ به محض ۱/۵ برابر شدن تعداد خدمت‌دهندگان و در نتيجه افزايش نرخ استاندارد ارائه خدمت، فشار كاري كه حاصل تقسيم نرخ قابل قبول ارائه خدمت بر نرخ استاندارد ارائه خدمت است به شكل ناگهاني كاهش پيدا مي‌كند. پس از آن نيز بر اثر كاهش طول صف و در نتيجه، كاهش نرخ قابل قبول ارائه خدمت در طول زمان، فشار كاري باز هم كاهش مي‌يابد. پس اگر فشار كاري برابر نرخ قابل قبول ارائه خدمت تقسيم بر نرخ استاندارد ارائه خدمت در نظر گرفته شود، مي‌توان اين گونه بيان كرد كه كاهش ناگهاني اوليه در فشار كاري ناشي از افزايش ناگهاني، مخرج كسر و كاهش تدريجي بعد از آن ناشي از كاهش تدريجي صورت كسر است.

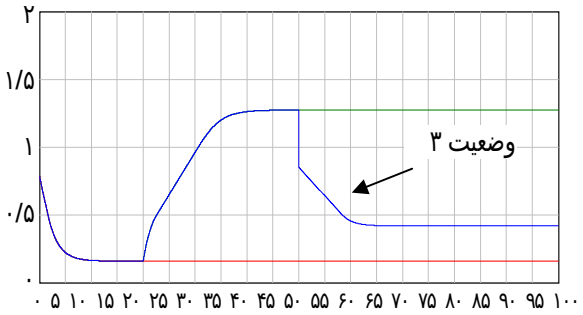
شكل ۱۳ «ج» نشان مي‌دهد كه به محض افزايش تعداد خدمت‌دهندگان، نرخ ارائه خدمت به شكل ناگهاني افزايش مي‌يابد كه اين افزايش در نرخ ارائه خدمت ناشي از افزايش ناگهاني نرخ بالقوه ارائه خدمت است؛ ولي پس از مدتي با كاهش طول صف و برداشته شدن فشار كاري از روي‌خدمت‌دهندگان، نرخ بالقوه ارائه خدمت و در نتيجه نرخ ارائه خدمت به مقدار اوليه كه مقداري برابر با نرخ ورود مشتريان است مي‌رسد؛ يعني نرخ ارائه خدمت برابر با حداكثر نرخ ارائه خدمت مي‌شود.

در شكل ۱۳ «د» زمان انتظار مشتريان در زمان ۵۰ كاهش ناگهاني را نشان مي‌دهد و پس از آن كاهش تدريجي در زمان انتظار مشتريان نيز ديده مي‌شود. همان‌طور كه قبلاً هم گفته شد زمان انتظار مشتريان از تقسيم طول صف بر نرخ ارائه خدمت به‌دست مي‌آيد. كاهش اوليه زمان انتظار مشتريان ناشي از افزايش ناگهاني نرخ ارائه خدمت، و كاهش تدريجي بعد از آن ناشي از كاهش تدريجي طول صف است.

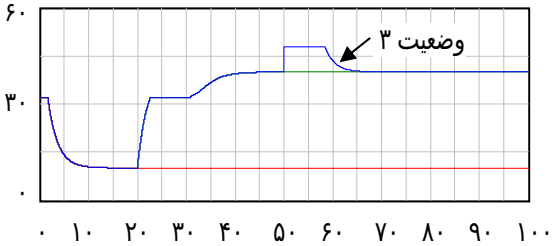
شكل ۱۳ «ه» زمان صرف شده براي هر مشتري را نشان مي‌دهد كه بر اثر افزايش نرخ ورود مشتريان در زمان ۲۰ كاهش يافته بود و با افزايش تعداد خدمت‌دهندگان و كاهش فشار كاري وارد بر خدمت‌دهندگان به مقدار كم‌تر از يك به شكل ناگهاني به مقدار استاندارد اوليه برمي‌گردد.



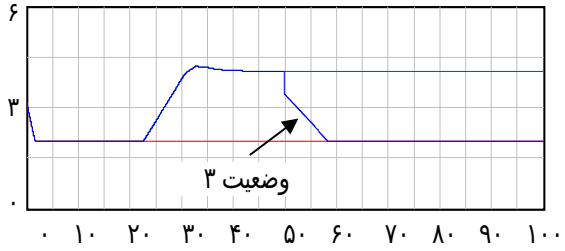
الف) طول صف



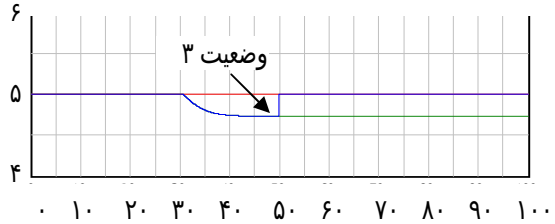
ب) فشار كاري



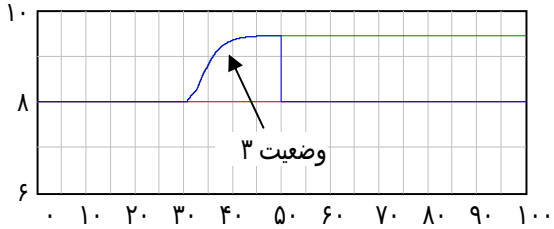
ج) نرخ ارائه خدمت



د) زمان انتظار مشتريان



ه(زمان صرف‌شده براي هر مشتري



و) زمان كاري خدمت‌دهندگان

شكل ۱۳: طول صف، فشار كاري، نرخ ارائه خدمت، زمان انتظار مشتريان، زمان صرف‌شده براي هر مشتري و زمان كاري با فرض تغيير در تعداد خدمت‌دهندگان

شكل ۱۳ «و» زمان كاري روزانه خدمت‌دهندگان است. همان‌طور كه در وضعيت ۲ مشاهده شد زمان كاري خدمت‌دهندگان بر اثر افزايش نرخ ورود مشتريان، پس از مدتي تأخير به شكل تدريجي افزايش يافته است. اينك با افزايش تعداد خدمت‌دهندگان و از بين رفتن ناگهاني فشار كاري، زمان كاري خدمت‌دهندگان، به شكل لحظه‌اي، كاهش يافته و به مقدار استاندارد خود يعني ۸ ساعت در روز رسيده است.

۷. نتيجه‌گيري

در اين مقاله سعي شد يك مدل پويا از روابط بين اجزاي يك سيستم صف كه در آن عامل انساني به‌عنوان ارائه‌دهنده خدمت فعاليت مي‌كند ارائه شود. پس از تهيه مدل كه با استفاده از رويكرد پويايي سيستم تهيه گرديد و توسط نرم‌افزار و نسيم شبيه‌سازي كامپيوتري شد، مدل مورد آزمون قرار گرفت. پس از اين كه مدل آزمون‌هاي مربوط را با موفقيت پشت سر گذاشت مدل در سه وضعيت مختلف شبيه‌سازي شد.

در وضـعيت ۱ بـدون تغييـر متغيرهـاي بـرون‌زا و در وضـعيت ۲ بـا تغييـر در نـرخ ورود مشـتريان، و در وضعيت ۳ با تغيير در تعـداد خـدمت‌دهنـدگان. نتـايج شبيه‌سازي و آثار تغيرات روي متغيرهاي كليدي نشـان داده شد.

با توجه به شبيه‌سازي‌هاي انجام‌گرفته در اين مقاله، مي‌توان به نتايج زير در مورد سيستم صف اشاره كرد:

۱. با افزايش نرخ ورود مشتريان انتظار مـي‌رود طـول صف به نسبت بيش‌تر افزايش يابد؛ به اين معنا كـه براي مثال با دو برابر شدن نرخ ورود مشتريان، طول صف به مقداري بيش از دو برابر افزايش مي‌يابد.
۲. با افزايش نرخ ورود مشتريان و طول صف تا زماني كه فشار كاري وارد بر خدمت‌دهندگان به يك حـد آستانه‌اي نرسد، آن‌ها در زمان صرف‌شده براي هـر مشتري و زمان كاري روزانه خود تغييري نمي‌دهند.
۳. با شبيه‌سازي وضعيت ۳ ديده شد كه با افزايش ۱/۵ برابري تعداد خدمت‌دهندگان ۴ برابـر شـدن نـرخ ورود مشتريان تا حد قابل ملاحظه‌اي جبـران شـد. بنابراين در سيستم‌هـاي صـفي كـه عامـل انسـاني ارائه‌دهنده خـدمت اسـت بـا افـزايش نـرخ ورود مشتريان نبايد لزوماً تعداد خـدمت‌دهنـدگان را بـه همان نسبت افزايش داد.

مديريت سازمان و يا ساير محققين مي‌توانند با تغيير ساير متغيرهاي كليدي به مطالعه اثر اين تغييرات بر كل سيستم بپردازند. اين مدل مي‌تواند بـا نشـان دادن اثـر تصميمات مختلف مديريت بر رفتار متغيرهاي سيسـتم، مديريت را در امر تصميم‌گيري ياري دهد.

لازم بـه يـادآوري اسـت در مـدل فـوق، فـروض بسياري براي ساده‌سازي مـدل در نظـر گرفتـه شـده و مجموعه‌اي از متغيرها يـا عوامـل اثرگـذار بـر بعضـي متغيرها مورد توجه قـرار نگرفـت. بنـابراين بـه سـاير محققين پيشنهاد مي‌شود با توسعه مدل و اضافه كـردن ساير متغيرهاي كليدي به آن به مدل واقعي‌تـري دسـت يابند يا اين كه اين مدل را در ساير سازمان‌هاي مشـابه كه شرايط مفروض براي اين مدل را دارند به‌كار گيرند و مدل ارائه‌شده در اين مقاله را مورد آزمون قرار دهند.

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.**

۳. ايروانـي، محمدرضـا(۱۳۷۲) سيسـتم‌هـاي صـف، تهـران: 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.**

۵. مدرس‌يزدي، محمد(۱۳۷۰) نظريه صف، تهران: مركـز نشـر دانشگاهي.

۶. گراس، دونالد؛ هـاريس، كـارل‌ام (۱۳۸۰) مبـاني و اصـول نظريه صف، ترجمه سيد محمد فاطمي قمي، تهران: انتشارات دانشگاه امام حسين.

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.**

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 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.**