

مدل‌سازی ریاضی زنجیره تأمین خدمات ارتباط ثابت ایران با استفاده از مفهوم سیستم‌های پویا

نظام‌الدین فقیه*، حبیب‌اله رعنائی کرد شولی**، علی محمدی***، علی حسین
صمدی****، محمد هاشم موسوی حقیقی*****، محمد غفورنیان*****

چکیده

در این پژوهش با استفاده از تفکر سیستم‌های پویا به مدل‌سازی ریاضی سیستم زنجیره تأمین ارتباط ثابت در شرکت مخابرات ایران پرداخته‌ایم و بدین‌منظور از اطلاعات موجود و مستند شرکت مخابرات ایران از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ و نتایج شبیه‌سازی مدل پویایی‌های سیستم تا سال ۱۴۰۴ استفاده کرده‌ایم. برای تجزیه و تحلیل و تعیین ماهیت سیستم، از مفهوم مدل‌سازی ریاضی سیستم‌های پویا استفاده کردیم. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که سیستم موردپژوهش کنترل‌پذیر و مشاهده‌پذیر است؛ یعنی ورودی‌های سیستم، متغیرهای حالت سیستم را کنترل می‌کنند و هر یک از متغیرهای حالت بر برخی از خروجی‌های سیستم تأثیر می‌گذارند و باتوجه به داده‌های شبیه‌سازی سیستم پایدار است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین؛ سیستم‌های پویا؛ کنترل‌پذیری سیستم؛ مشاهده‌پذیری سیستم؛ پایداری یا عدم‌پایداری سیستم.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۸/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۱۲/۱۱

* استاد، دانشگاه شیراز.

** استادیار، دانشگاه شیراز.

*** دانشیار، دانشگاه شیراز.

**** استادیار، دانشگاه شیراز.

***** استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس.

***** دانشجوی دکتری، دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول).

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، زنجیره تأمین به موضوعی جذاب برای محققین و مدیران تبدیل شده و بر برنامه‌ریزی در این زنجیره تأکید شده است. زنجیره تأمین شبکه‌ای از واحدها است که برای تولید و تحویل کالا و خدمات از تأمین‌کننده یا تأمین‌کنندگان شروع و به مشتری یا مشتریان ختم می‌شود [۲]. در جامعه‌ی اطلاعاتی امروز، اهمیت زنجیره تأمین ارتباطات چندین برابر نیز شده است. ارتباطات مخابراتی در قرن حاضر، زیربنای توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی تلقی می‌شود و دست راست تمدن نامگذاری شده است [۱]؛ از این رو امروزه میزان توسعه ملی هر کشور را با معیار توسعه ارتباطات مخابراتی در آن کشور ارزشیابی می‌کنند. هدف ارتباطات مخابراتی این است که در مناسب‌ترین وضعیت اقتصادی، مسافرت‌های زاید را حذف کند، مراجعات مردم را به سازمان‌های دولتی کاهش دهد و ضمن برقراری ارتباط همه‌جانبه، موجب صرفه‌جویی در اوقات و هزینه‌های جامعه شود. امروزه ضرورت و اهمیت استفاده از شبکه‌های علمی و تحقیقاتی جهانی برای بسیاری از دانش‌پژوهان در بیشتر رشته‌ها قطعی و روشن است. آنچه کارایی و بهره‌مندی از چنین شبکه‌هایی را به سرعت افزایش می‌دهد، توانایی روزافزون ارتباطات مخابراتی است که به یاری رایانه‌ها شتافته‌اند و آن‌ها را به صورت ابزاری برای جست‌وجو، جمع‌آوری، دسته‌بندی، تجزیه و تحلیل و انتقال حجم بالایی از اطلاعات در آورده است. در این راستا، توجه به زنجیره تأمین ارتباطات و ارزیابی آن در هر کشور مهم است [۱]. در این تحقیق، پس از معرفی رشته سیستم‌های پویا و پیشینه پژوهش به فرایند اصلی مقاله می‌پردازیم. ابتدا مدل سیستمی فرایند موردپژوهش را ترسیم می‌کنیم و سپس به بیان مفاهیم و محاسبه توابع خودهمبستگی، دگرهمبستگی و تابع چگالی طیفی می‌پردازیم. پس از محاسبه این توابع می‌توانیم هویت سیستم مورد مطالعه و معادله‌های حاکم بر آن را تعیین کنیم و به محاسبه شاخص‌های کنترل‌پذیری، رویت‌پذیری و دسترس‌پذیری سیستم بپردازیم و با استفاده از آن‌ها پایداری یا عدم‌پایداری سیستم را مشخص کنیم.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

سیستم‌های پویا در اواسط دهه ۱۹۵۰ میلادی توسط جی رایب فارستر^۱، استاد انستیتوی ماساچوست آمریکا، ابداع شد [۵]. این تفکر و شیوه به تدریج توسط فارستر و اساتید و متفکرین دیگر رشد، گسترش و کاربرد بیشتری در مطالعه سیستم‌های مختلف پیدا کرد [۶، ۹]. از دیدگاه و نگرش سیستم‌های پویا، موضوعات و مسائل پیچیده و پویا در ظاهر حداقل دو جنبه دارند. جنبه اول این است که این‌گونه مسائل خاصیت پویایی و ماهیتی مقداری^۲ دارند و

1. Jay Wright Forrester
2. Quantitative

مرتباً در حال تغییرند. نوسان اشتغال در یک صنعت، رابطه کاهش عوارض و مالیات شهری و کیفیت زندگی شهروندان، افزایش مستمر هزینه‌های بهداشت و سلامت جامعه، افزایش بی-رویه هزینه‌های ساختمان‌سازی، رشد نظام‌های حکومتی، رشد سلول‌های سرطانی، کاربرد نامناسب و تخریب پارک‌های ملی و فشارهای روانی از جمله مسائل پویا هستند. مهارت در تعریف مسائل پویا، اولین قدم در یادگیری تفکر و شیوه سیستم‌های پویا است [۱۵]. دومین وجه مسائل و موضوعات سیستم‌های پویا، وجود نظریه بازخور^۱ است. بازخورها در سیستم‌های مهندسی، ساختارهای فنی و سیستم‌های کنترلی، در سیستم‌های بدن انسان، علوم اجتماعی و جوامع انسانی وجود دارند. تفکر و شیوه سیستم‌های پویا درباره مسائل پویایی که حلقه بازخور دارند، کاربرد دارد [۱۶]. سازمان‌ها، اقتصاد، جوامع و همه سیستم‌هایی که به‌نوعی با انسان سروکار دارند و یا حتی سیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی و نظایر آن، سیستم‌های با حلقه بازخور به شمار می‌آیند. بررسی، مطالعه و مدل‌سازی آن‌ها، ابزاری برای درک صحیح رفتار و نتایج عملکرد آن‌ها است [۷].

در ادامه، به پیشینه مطالعات انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی زنجیره تأمین می‌پردازیم:

راو^۲ در مقاله «مدیریت زنجیره تأمین مالی»^۳ (FSCM) به مدل‌سازی زنجیره تأمین مالی برای مدیریت مؤثر فرآیند مالی شرکت‌ها، پیش‌بینی مالی و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و چگونگی تعامل این زنجیره با زنجیره تأمین فیزیکی و نقش تکنولوژی در برقراری این تعامل می‌پردازد. وی در این مقاله از روش پویایی‌های سیستم استفاده می‌کند و نتیجه می‌گیرد که مدیریت زنجیره تأمین مالی در صورتی مؤثر است که با زنجیره تأمین فیزیکی تعامل مناسب داشته باشد و عامل کلیدی که این نقش را در سازمان ایفا می‌کند تکنولوژی اطلاعات است [۱۴].

هیگاشی^۴ زنجیره تأمین محصولی با چرخه حیات کوتاه به صورت شبیه‌سازی پویا و تعامل اثر شلاقی و فرازونشیب‌های زنجیره تأمین را با عوامل تأثیرگذار دیگر بر زنجیره تأمین بررسی کرده است. او از شبیه‌سازی‌های پویا بر مبنای سناریو در شرکت تاماگوچی استفاده کرد. مدل دارای سه جزء بازار، خرده‌فروش و کارخانه بود. مدلی که وی ارائه داد، مدلی بسیار مفید برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزانی است که با محصولاتی با چرخه عمر مشابه سروکار دارند [۸].

پیتی^۵ و همکاران به مدل‌سازی ریاضی یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای زنجیره تأمین پالایشگاه در کشور سنگاپور پرداختند و با به‌کارگیری شبیه‌سازی دینامیکی تحت پنج سناریوی گوناگون، مدل شبیه‌سازی خود را موردآزمون قرار دادند. آن‌ها با آزمون سیاست‌ها و

-
1. Feedback
 2. Rao
 3. Financial Supply Chain Management
 4. Higuchi
 5. Pitty

استراتژی‌های گوناگون توانستند به یک مدل پشتیبانی تصمیم‌گیری کارا و مناسب با شرایط پالایشگاه دست یابند [۱۳].

لای^۱، وانگ و لیانگ مقاله‌ای با نام «یک رویکرد تصادفی (استوکستیک)^۲ برای بهینه‌سازی درآمد شرکت‌های خدماتی تخصصی» در حوزه مدیریت درآمد^۳ (RM) ارائه کرده‌اند. هدف ایشان ساخت یک مدل بهینه‌سازی استوار برای شرکت‌های خدمات تخصصی در محیط نامطمئن است. این مدل از نوع برنامه‌ریزی تصادفی است که تصادفی بودن تقاضای ناشناخته را مدنظر قرار داده است. ایشان در این تحقیق از رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو استفاده کرده‌اند و مدل را یک‌بار برای مطالعه موردی در حالت تک‌سناریو (حالت قطعی) و یک‌بار برای حالت چندسناریو حل کرده‌اند [۱۰].

پیدای^۴ در مقاله «شبیه‌سازی زنجیره تأمین و تقاضا در صنعت مخابرات» به مدل‌سازی و شبیه‌سازی زنجیره تأمین در صنایع مخابراتی با استفاده از دیدگاه سیستم‌های تخصصی چنددرختی پرداخته است. هدف از این تحقیق افزایش کارایی زنجیره، کاهش موجودی، کاهش زمان‌های تأخیر، کاهش هزینه‌ها و کاهش زمان ارسال محصول به مشتریان است. در این تحقیق، از دیدگاه پویایی‌های سیستم نیز برای شبیه‌سازی سیاست‌ها استفاده شده است [۱۲].

اوزبایراک^۵ و همکاران بیان کردند که هدف اصلی در مدیریت زنجیره تأمین، بهینه کردن عملکرد زنجیره‌ها است و براین اساس، چارچوبی را برای مدل‌سازی زنجیره تأمین ارائه کردند. آن‌ها مدلی پیشنهاد کردند که شامل چهار ستون اصلی بود و برای سازمان‌های با اندازه متوسط و پیچیدگی نرمال طراحی شده بود. آن‌ها در طراحی مدل خود از دیدگاه پویایی‌های سیستم استفاده کردند. هدف اصلی از مدل‌سازی این نوع از زنجیره تأمین تولیدی، دستیابی به یک دید صحیح از رفتارهای آن بود. همچنین آن‌ها مدل موردنظر را به لحاظ عملکردی تحت هشت سناریو ارزیابی کردند و عملکرد متغیرهای اصلی زنجیره تأمین، از قبیل موجودی، سطوح کار در حال اجرا، سفارشات عقب‌افتاده و ... را تحت سناریوهای گوناگون مورد بررسی قرار دادند [۱۱].

با مرور تحقیقات انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی زنجیره تأمین درمی‌یابیم که بیشتر تحقیقات در سازمان‌های تولیدی انجام شده است و به مدل‌سازی زنجیره تأمین در سازمان‌های خدماتی کمتر توجه شده است. همچنین بیشتر تکنیک‌های مورد استفاده رفتار سیستم را مدل‌سازی می‌کنند و کمتر به ماهیت درونی سیستم می‌پردازند؛ درحالی‌که سرچشمه رفتار از ماهیت سیستم است. تکنیک مدل‌سازی سیستم‌های پویا ابزاری بسیار قوی در درک توابع ریاضی حاکم بر

1. Li
2. Stochastic
3. Revenue Managment
4. Pedai
5. Ozbayrak

سیستم و ماهیت آن است؛ بنابراین در این پژوهش برای رفع خلأهای موجود، به مدل‌سازی ریاضی فرایند موردپژوهش از طریق این تکنیک و تعیین ماهیت سیستمی فرایند می‌پردازیم.

۳. روش‌شناسی پژوهش

شاخص مالی بسیار مهمی که پس از خصوصی‌سازی شرکت مخابرات ایران مطرح شده است و توجه بسیاری از مدیران شرکت را به خود جلب کرده است و شاید از مهم‌ترین شاخص‌های چالش‌برانگیز باشد که هم‌اکنون در شرکت مخابرات ایران مطرح است، شاخص میانگین درآمد هر مشتری^۱ است. در این راستا ابتدا مقایسه‌ای بین شرکت مخابرات ایران و شرکت‌های مخابراتی فعال منطقه انجام می‌دهیم؛ زیرا بررسی میزان موفقیت شرکت‌های فعال در یک حوزه با مقایسه این شرکت‌ها با همتایان خود در بازارهای مشابه همراه است؛ بنابراین مقایسه شاخص‌های عملکرد اپراتورهای مخابراتی کشورها با یکدیگر نیز می‌تواند شاخصی از میزان موفقیت به دست دهد. در این بخش برخی از شاخص‌های عملکردی شرکت مخابرات ایران را به‌عنوان بازیگر غالب مخابراتی در ایران با برخی همتایان خاورمیانه‌ای خود در منطقه که مانند شرکت مخابرات ایران اپراتور غالب کشور خود محسوب می‌شوند، مقایسه می‌کنیم. ملاک این مقایسه، نتایج عملکرد اپراتورهای ارتباطات سعودی عربستان، ترک‌تلکام ترکیه و اتصالات امارات در سال ۲۰۱۲ است. مقایسه شاخص‌های عملکردی شرکت مخابرات ایران با اپراتورهای دیگر که در جدول شماره ۱ بدان‌ها اشاره کرده‌ایم، نشان‌دهنده جایگاه مناسبی برای اپراتور ایرانی نیست. مقایسه درآمد شرکت مخابرات ایران با سه اپراتور دیگر، اپراتور ایرانی را در مکان آخر قرار می‌دهد.

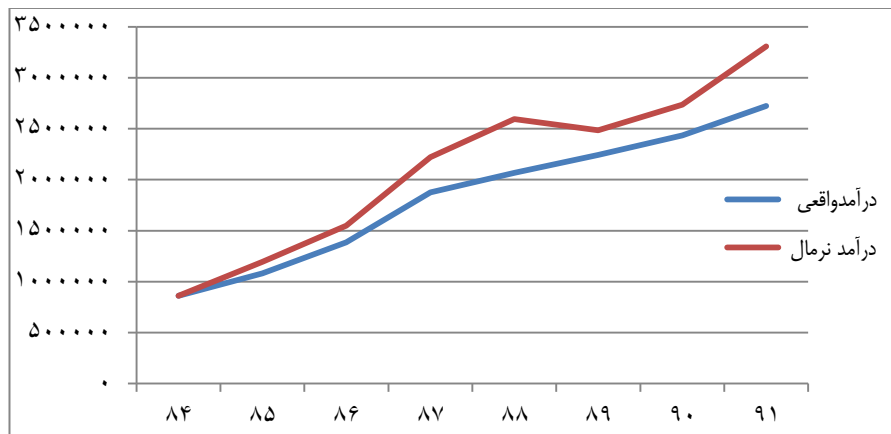
جدول ۱. برخی شاخص‌های مالی اپراتورهای پیشرو منطقه در سال ۲۰۱۲

اپراتور	تعداد مشترک (میلیون)	درآمد (میلیارد دلار)	سود (میلیارد دلار)	متوسط درآمد هر مشتری (دلار)
TCI	۷۴/۷	۶/۲	۲/۳	۸۳
STC	۱۴۲	۱۳/۸	۲/۵	۹۷/۱۸
ترک‌تلکام	۳۴/۳	۶/۷	۱/۱۵	۱۹۵/۳۳
اتصالات	۱۰۲	۸/۷	۲/۱	۸۵/۲۹

مقایسه شاخص متوسط درآمد هر مشتری که در ستون سمت چپ جدول ۱ نشان داده شده است، شرکت مخابرات ایران را در رتبه آخر منطقه قرار می‌دهد.

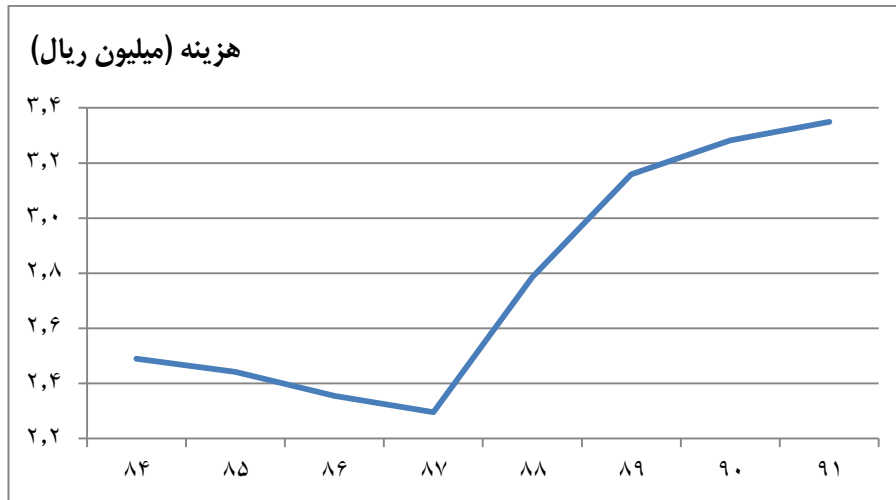
1. Revenue per User

بررسی روند تغییرات درآمد هر مشتری در خدمات تلفن ثابت از سال ۱۳۸۴ تاکنون نیز این مسئله را تأیید می‌کند. نمودار شماره ۱ روند افزایش درآمدهای واقعی و درآمدهای نرمال‌ایز شده براساس نرخ تورم را نشان می‌دهد. چنانکه می‌بینیم، هرچند درآمد واقعی هر مشتری در سال، روند صعودی دارد، در مقایسه با نمودار نرمال آن می‌توانیم نتیجه بگیریم که این روند باتوجه به نرخ‌های تورم در هر سال کاهشی بوده است.



شکل ۱. روند تغییرات درآمد هر مشتری تلفن ثابت (ریال)

مسئله دیگری که شرکت مخابرات ایران با آن مواجه است، افزایش بهای تمام‌شده خدمات ارائه‌شده به مشتریان است. این افزایش، هم به دلیل افزایش قیمت خرید تجهیزات موردنیاز در بخش‌های مختلف و هم به دلیل افزایش هزینه‌های نصب و راه‌اندازی آن تجهیزات است. نمودار شماره ۲ روند افزایشی نهاده‌های تولید خدمات تلفن ثابت در طول چند سال اخیر را نشان می‌دهد.



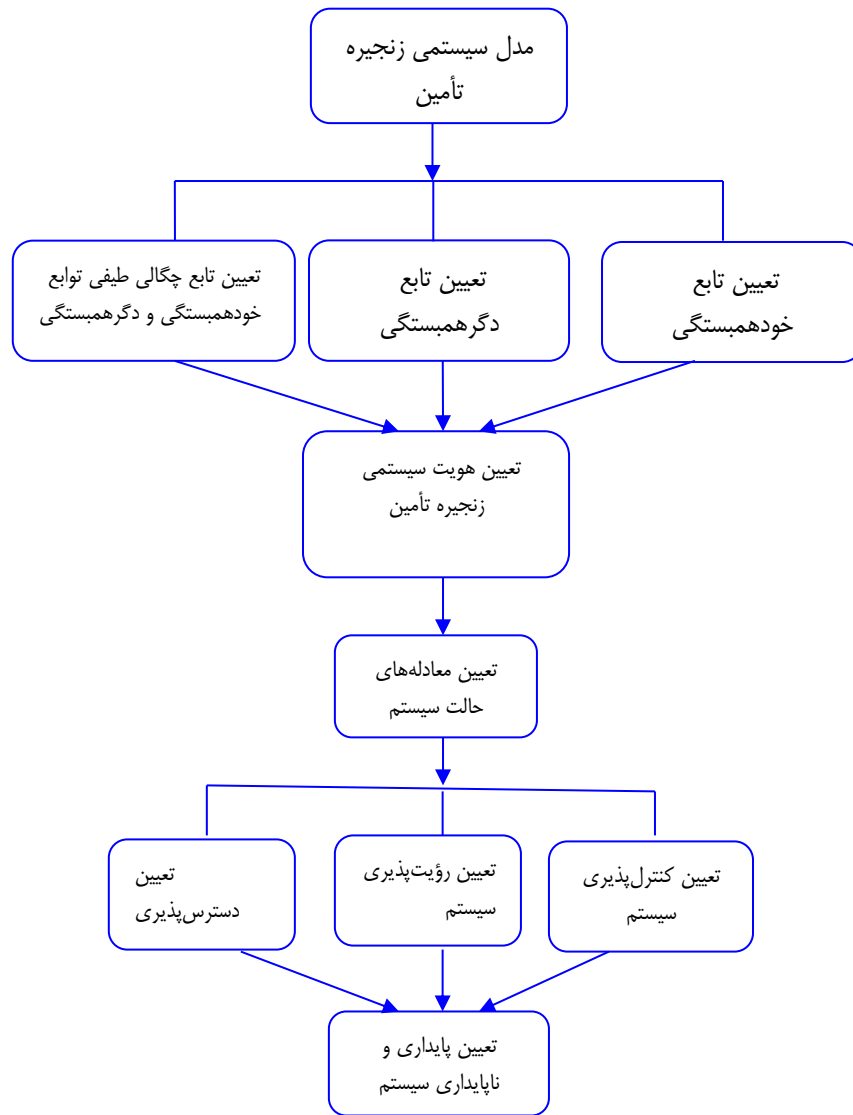
شکل ۲. روند تغییرات بهای تمام‌شده هر خط تلفن ثابت

شرکت مخابرات ایران با دو مسئله اساسی روبه‌رو است:

۱. افزایش در بهای تمام‌شده نهاده‌ها در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین خدمات (سرمایه‌گذاری در خدمات مختلف)؛

۲. عدم تناسب شاخص‌های درآمد و درآمد هر مشتری در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین خدمات، در مقایسه با اپراتورهای مخابراتی منطقه.

در این راستا، دو دسته داده که در ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین تأثیر بسزایی دارند و از مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی‌های زنجیره هستند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دسته اول داده‌ها، میزان سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات تلفن ثابت در هر سال است که ورودی سیستم زنجیره تأمین ارتباط ثابت است و دسته دوم، میزان درآمد شرکت در بخش تلفن ثابت در هر سال است که خروجی زنجیره تأمین ارتباط ثابت به شمار می‌رود. در این تحقیق، از اطلاعات موجود و مستند در بخش ارتباط ثابت شرکت مخابرات ایران از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ و داده‌های شبیه‌سازی آن با استفاده از مدل پویایی‌های سیستم تا سال ۱۴۰۴ استفاده کردیم [۱]. برای تجزیه و تحلیل و تعیین هویت سیستم با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی، از مفهوم سیستم‌های پویا استفاده کردیم. گفتنی است که برای رسم جدول‌ها و نمودارها و محاسبه توابع مختلف همبستگی، دگرهمبستگی و تابع چگالی طیفی، از نرم‌افزار متلب استفاده کرده‌ایم. فرایند کلی تحقیق را در شکل شماره ۳ نشان داده‌ایم.

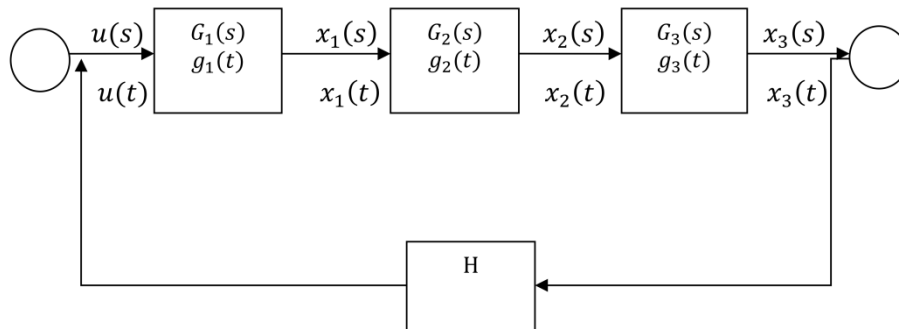


شکل ۳. فرآیند پژوهش

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مدل سیستمی زنجیره تأمین ارتباط ثابت شرکت مخابرات ایران. مدل سیستمی زنجیره تأمین مورد پژوهش را در شکل شماره ۴ نشان داده‌ایم. G_1 تابع تبدیل مرحله اول سیستم (نصب و راه‌اندازی تجهیزات جدید)، G_2 تابع تبدیل مرحله دوم (واگذاری خدمات به مشتریان) و G_3 تابع تبدیل مرحله نهایی سیستم (مرحله استفاده از خدمات و نگهداری) است؛ بنابراین متغیر u ورودی یا انگیزش سیستم (سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات جدید)، x_1 خروجی مرحله اول (ظرفیت قابل

واگذاری)، x_2 خروجی مرحله دوم (تعداد مشتریان) و x_3 خروجی سیستم (حاشیه سود) است. فیدبک H نیز به معنی برگشت سود حاصل از خدمات به سیستم با سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات جدید است. اندیس t نشانگر توابع و متغیرهای سیستم در حوزه زمان و اندیس s نمایانگر حوزه لاپلاس است.



شکل ۴. مدل سیستمی زنجیره تأمین شرکت مخابرات ایران

تابع خودهمبستگی. تابع خودهمبستگی ارتباط کلی مقادیر فرایند (جریان) در یک لحظه از زمان را با مقادیر فرایند در دیگر لحظات می‌سنجد؛ به عبارت دیگر تابع خودهمبستگی ارتباط متقابل و درونی تغییرات یک فرایند پویا را در طی زمان توصیف می‌کند [۳]. تخمین تابع خودهمبستگی از ارتباط مقادیر $x(t)$ در لحظات t و $t+\tau$ تعیین می‌شود. این خودهمبستگی بین مقادیر $x(t)$ را در دو لحظه t و $t+\tau$ ارائه خواهد کرد؛ بنابراین می‌توان حاصل ضرب مقادیر $x(t)$ در دو لحظه t و $t+\tau$ را در طول مدت مشاهده T اندازه‌گیری و میانگین‌گیری کرد و در نهایت با میل T به سمت بی‌نهایت، میانگین به دست آمده به سمت مقدار حقیقی تابع خودهمبستگی میل خواهد کرد. پس اگر برای فرایندی مانند $x(t)$ تابع خودهمبستگی را با $R_x(\tau)$ نشان دهیم، محاسبه آن به قرار زیر خواهد بود:

$$R_x(\tau) = R(r\Delta\tau) = \frac{\frac{1}{N-r} \sum_{n=1}^{n-r} x_n x_{n+r}}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \cdot x_n} \quad \text{رابطه ۱: تابع خودهمبستگی}$$

$$r = 0, 1, 2, \dots, m$$

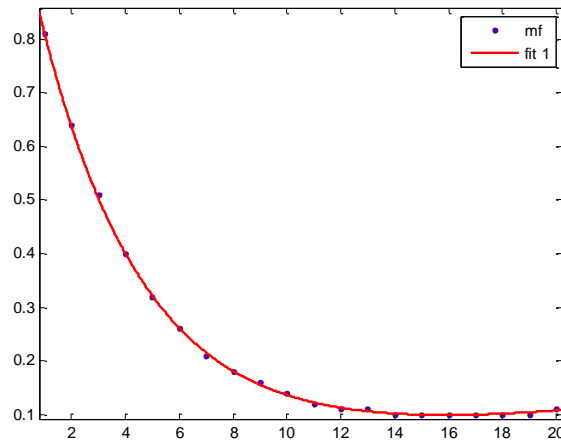
$$T = n\Delta T$$

$$\Delta\tau = \Delta T$$

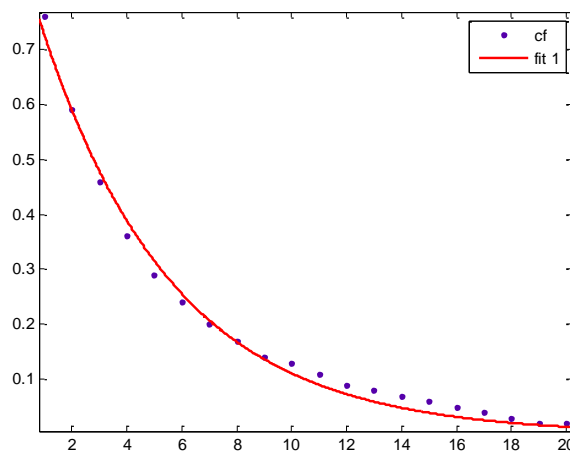
معمولاً $R(r\Delta\tau)$ به صورت $R(r)$ نشان داده می‌شود. نمایش ترسیمی $R(r)$ در قبال r

$(\tau = r\Delta\tau)$ اتوکریلوگرام یا پیکره خودهمبستگی نامیده می‌شود.

در این مطالعه تابع خودهمبستگی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها با استفاده از رابطه تابع خودهمبستگی به ازای I های مختلف محاسبه شده است. شکل‌های شماره ۵ و ۶ و اعداد ستون اول و دوم جدول ۲ نشان‌دهنده ضرایب خودهمبستگی ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم به ازای I های مختلف است. معادله ریاضی این نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار متلب محاسبه شده است که در سطر اول و دوم جدول ۳ نشان داده شده است. باتوجه به نمودار و معادله آن، واضح است که رابطه بین ضرایب همبستگی و مقدار I در هر دو نمودار نمایی منفی است.



شکل ۵. نمودار ضرایب همبستگی ورودی تلفن ثابت



شکل ۶. نمودار ضرایب همبستگی خروجی تلفن ثابت

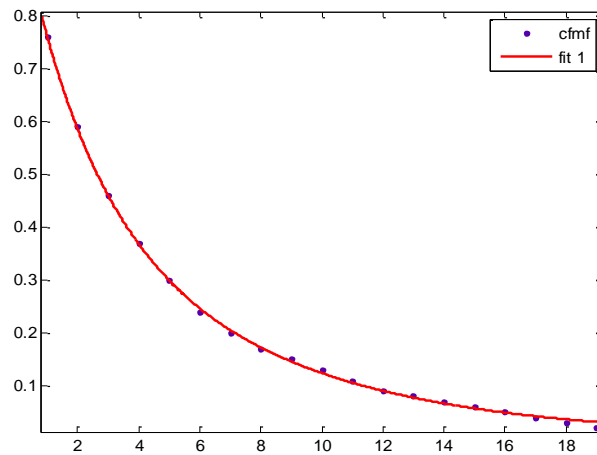
تابع دگرهمبستگی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها. تابع دگرهمبستگی یا همبستگی تقاطعی دو فرایند ارتباط کلی و متقابل مقادیر و عناصر آن دو فرایند را توصیف می‌کند. این روش مشابه تخمین تابع خودهمبستگی است و با میل T یعنی زمان مشاهده به سمت بی‌نهایت، تابع دگر-همبستگی (محاسبه شده) به سمت مقدار حقیقی تابع خود میل می‌کند؛ یعنی:

$$R_{ux}(r\Delta\tau) = \frac{\frac{1}{N-r} \sum_{n=1}^{n-r} u_n x_{n+r}}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n \cdot x_n} \quad r=0,1,2,\dots,m \quad \text{رابطه ۲: تابع دگرهمبستگی}$$

$$T = n\Delta T$$

$$\Delta\tau = \Delta T$$

شکل شماره ۷ و اعداد ستون سوم جدول ۲ نشان‌دهنده ضرایب دگرهمبستگی ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم به‌ازای r های مختلف است. معادله ریاضی این نمودار نیز با استفاده از نرم‌افزار متلب محاسبه شده است که در سطر سوم جدول ۳ دیده می‌شود. باتوجه به نمودار و معادله آن واضح است که رابطه بین ضرایب همبستگی و مقدار r در این نمودار نیز نمایی منفی است.



شکل ۷. نمودار ضرایب دگرهمبستگی تلفن ثابت

نتایج ضرایب همبستگی و دگرهمبستگی بین ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. ضرایب خودهمبستگی و دگرهمبستگی ورودی‌ها و خروجی‌ها

متغیر r	ضرایب همبستگی ورودی	ضرایب همبستگی خروجی	ضرایب دگرهمبستگی
r=1	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۷۶
r=2	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۵۹
r=3	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۴۶
r=4	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۳۷
r=5	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۳۰
r=6	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۴
r=7	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۰
r=8	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۷
r=9	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۵
r=10	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۳
r=11	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۱
r=12	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۹
r=13	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۸
r=14	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۷
r=15	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۶
r=16	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۵
r=17	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۴
r=18	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۳
r=19	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۲
r=20	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۳

جدول ۳ نشان‌دهنده معادلات خودهمبستگی و دگرهمبستگی ورودی‌ها و خروجی‌های

سیستم است.

جدول ۳. معادلات خودهمبستگی و دگرهمبستگی ورودی‌ها و خروجی‌ها

	معادله خودهمبستگی / دگرهمبستگی	SSE	R-S	A.R-S	RMSE
ورودی	$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x)$ b = -0/208 a = 0/8954	0/002	0/9921	0/9916	0/01868
خروجی	$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$ d = 0/051 C = 0/036 b = -/259 a = 1/003	0/0002	0/9998	0/9997	0/00342
مقاطع	$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$ d = -0/149 C = 0/53 b = -0/461 a = 0/4834	0/000381	0/9995	0/9994	0/0050

تابع چگالی طیفی جهت توابع خودهمبستگی و دگرهمبستگی. تابع چگالی طیفی توان یا تابع چگالی طیف انرژی به تابع چگالی خودطیفی نیز موسوم است. تابع چگالی طیفی، ترکیب بسامدی (فرکانسی) یک فرایند را به صورت چگالی طیف مقادیر میانگین مجذورات فرایند (شدت فرایند) در بسامدهای مختلف ارائه می‌کند [۳]. فرض کنیم در یک سیستم پیامی با باند بسامدی محدود در فاصله f و $f + \Delta f$ عبور می‌کند. اکنون چنانچه فرایند یا جریانی از این سیستم یا فیلتر عبور کند، خروجی فیلتر یا سیستم، مؤلفه جریان در فاصله بسامدی f و $f + \Delta f$ خواهد بود. با محاسبه میانگین مجذورات جریان خروجی فیلتر یا سیستم تابع طیفی توان یا طیف انرژی فرایند موردنظر در فاصله f و $f + \Delta f$ به دست می‌آید [۳]. یکی از خواص عمده تابع چگالی طیفی، ارتباط آن با تابع خودهمبستگی است. می‌توان نشان داد که تابع چگالی طیفی تبدیل فوریه تابع خودهمبستگی است؛ یعنی:

$$S_u(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_u(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad \text{رابطه ۳: تابع چگالی طیفی تابع خودهمبستگی}$$

$$S_{ux}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{ux}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad \text{رابطه ۴: تابع چگالی طیفی تابع دگرهمبستگی}$$

با استفاده از روابط بالا و نرم‌افزار متلب، تبدیل فوریه تابع خودهمبستگی $R_u(t)$ و تابع دگرهمبستگی $R_{ux}(t)$ (که قبلاً محاسبه شده‌اند)، توابع چگالی طیفی $S_u(\omega)$ و $S_{ux}(\omega)$ به شرح ذیل محاسبه می‌شوند:

$$S_u(\omega) = \frac{2a_1}{b_1 - j\omega} + \frac{2c_1}{d_1 - j\omega}$$

$$S_{ux}(\omega) = \frac{2a_3}{b_3 - j\omega} + \frac{2c_3}{d_3 - j\omega}$$

تعیین هویت سیستمی زنجیره تأمین ارتباط ثابت. رابطه زیر بین تابع چگالی طیفی ضرایب دگرهمبستگی، تابع چگالی طیفی ضرایب همبستگی و تابع انتقال سیستم برقرار است:

رابطه ۵: رابطه بین تابع چگالی طیفی و تابع انتقال سیستم
 $S_{ux}(\omega) = G(j\omega)S_u(\omega)$
 با توجه به مقادیر توابع $S_u(\omega)$ و $S_{ux}(\omega)$ از بخش قبل داریم:

$$G(j\omega) = \frac{S_{ux}(\omega)}{S_u(\omega)} = \frac{a_3(d_3 - j\omega) + c_3(b_3 - j\omega)}{(b_3 - j\omega)(d_3 - j\omega)} \cdot \frac{a_1(d_1 - j\omega) + c_1(b_1 - j\omega)}{(b_1 - j\omega)(d_1 - j\omega)}$$

باتوجه به مقادیر به‌دست‌آمده برای متغیرهای مسئله، می‌توانیم مقدار تابع $G(j\omega)$ را به دست آوریم که همان تابع انتقال سیستم است؛ بنابراین می‌توانیم نتیجه بگیریم که چنانچه انگیزش سیستم شناخته‌شده باشد، می‌توان تابع خودهمبستگی را حساب کرد، تبدیل فوریه کرد، $S_u(\omega)$ را به‌دست آورد و سپس با استفاده از داده‌های رفتار سیستم تابع دگرهمبستگی را محاسبه کرد و از تقسیم آن بر تابع $S_u(\omega)$ ، تابع $G(j\omega)$ را به‌دست آورد؛ بنابراین تمام ویژگی‌های سیستم را می‌توان به‌دست آورد.

و با قراردادن $S = j\omega$ در تابع بالا و ساده‌کردن و قراردادن معادل‌های ذیل، تابع انتقال لاپلاسی سیستم به‌دست می‌آید:

$$A_1 = -a_3 - c_3$$

$$B_1 = a_3d_3 + a_3b_1 + a_3d_1 + c_3b_3 + c_3b_1 + c_3d_1$$

$$C_1 = a_3d_3b_1 - a_3d_3d_1 - a_3b_1d_1 - c_3b_3b_1 - c_3b_3d_1 - c_3b_1d_1$$

$$D_1 = a_3d_3b_1d_1 + c_3b_3b_1d_1$$

$$A_2 = -a_1 - c_1$$

$$B_2 = b_3a_1 + b_3c_1 + b_3a_1 + b_3c_1 + a_1d_1 + c_1b_1$$

$$C_2 = -b_3d_3a_1 - b_3d_3c_1 - b_3a_1d_1 - b_3c_1b_1 - d_3a_1d_1 - b_3c_1b_1$$

$$D_2 = b_3d_3a_1d_1 + b_3d_3c_1b_1$$

$$G(s) = \frac{x(s)}{u(s)} = \frac{A_1S^3 + B_1S^2 + C_1S + D_1}{A_2S^3 + B_2S^2 + C_2S + D_2}$$

تعیین معادله‌های حالت سیستم. با استفاده از تابع انتقال لاپلاسی سیستم از بخش قبل و استفاده از روش تجزیه مستقیم، معادله‌های حالت سیستم به دست می‌آید. روش تجزیه مستقیم در جایی به کار می‌رود که تابع تبدیل به صورت حاصل ضرب عوامل نباشد. هدف، به دست آوردن نمودار حالت یا معادله‌های حالت سیستم است [۴]. معادله‌های حالت حاصل از این روش برای سیستم مورد مطالعه به شکل زیر است:

$$\begin{bmatrix} \frac{dy_1(t)}{dt} \\ \frac{dy_2(t)}{dt} \\ \frac{dy_3(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{D_2}{A_2} & -\frac{C_2}{A_2} & -\frac{B_2}{A_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ A_2 \end{bmatrix} U(t)$$

معادله خروجی سیستم به صورت زیر است:

$$X(t) = \left[D_1 - \frac{D_2 A_2}{A_2} \right] y_1 + \left[C_1 - \frac{C_2 A_1}{A_2} \right] y_2 + \left[B_1 - \frac{B_2 A_1}{A_2} \right] y_3 + \frac{A_1}{A_2} u(t)$$

در حالت کلی، مدل فضای حالت یک سیستم را می‌توان به شکل زیر نوشت [۴]:

رابطه ۶: مدل فضای حالت یک سیستم

$$\underline{X} = \underline{A}\underline{X} + \underline{B}\underline{u}$$

$$\underline{Y} = \underline{C}\underline{X} + \underline{D}\underline{u}$$

\underline{X} بردار حالت، \underline{A} ماتریس سیستم یا ماتریس همراه، \underline{Y} بردار خروجی یا بردار رفتار، \underline{u} بردار ورودی، \underline{B} ماتریس توزیع، \underline{C} ماتریس خروجی یا ماتریس رفتار و \underline{D} ماتریس انتقال سیستم است. باتوجه به روابط بالا و معادلات فضای حالت به دست آمده از این تحقیق، نتیجه می‌گیریم:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{D_2}{A_2} & -\frac{C_2}{A_2} & -\frac{B_2}{A_2} \end{bmatrix} \quad \underline{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ A_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C} = \left[D_1 - \frac{D_2 A_1}{A_2} \quad C_1 - \frac{C_2 A_1}{A_2} \quad B_1 - \frac{B_2 A_1}{A_2} \right] \quad \underline{D} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ A_1 \\ A_2 \end{bmatrix}$$

کنترل‌پذیری سیستم. برای بررسی کنترل‌پذیری سیستم باید ماتریس کنترل‌پذیری Q_c را تشکیل دهیم. در صورتی سیستم موردنظر کنترل‌پذیر است که بردارهای ماتریس Q_c دارای استقلال خطی از یکدیگر باشند. این ماتریس به شکل زیر است [۴]:

$$Q_c = [\underline{BABA^2B} \dots A^{n-1}\underline{B}] \quad \text{رابطه ۷: ماتریس کنترل‌پذیری سیستم}$$

در ماتریس بالا A ماتریس همراه و B ماتریس توزیع سیستم است که در بخش قبل محاسبه شد؛ بنابراین با توجه به آن، ماتریس Q_c برای این مسئله به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_c = [B \mid AB \mid A^2B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{A_2} \\ 0 & \frac{1}{A_2} & \frac{-B_2}{A_2^2} \\ \frac{1}{A_2} & -B_2 & \frac{B_2^2 - A_2 C_2}{A_2^2} \end{bmatrix}$$

اگر مقادیر عددی متغیرها که قبلاً محاسبه شدند در ماتریس بالا جایگذاری شود، خواهیم داشت:

$$Q_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & .98 \\ 0 & -.98 & 1/2 \\ -.98 & 1/26 & 1/33 \end{bmatrix}$$

با توجه به اینکه ماتریس Q_c حداقل سه ستون مستقل خطی دارد، یعنی رتبه ماتریس بزرگ‌تر مساوی با ۳ است، نتیجه می‌گیریم که سیستم موردنظر کنترل‌پذیر است [۳].

رؤیت‌پذیری (مشاهده‌پذیری). برای بررسی رؤیت‌پذیری سیستم باید ماتریس رؤیت‌پذیری را تشکیل دهیم. شرط لازم و کافی برای رؤیت‌پذیری یک سیستم این است که بردارهای ماتریس رؤیت‌پذیری استقلال خطی داشته باشند. این ماتریس به شکل زیر است [۳]:

$$Q_c = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۸: ماتریس رؤیت‌پذیری سیستم}$$

A و C به ترتیب ماتریس‌های همراه و ماتریس رفتار سیستم هستند. این ماتریس برای سیستم مورد مطالعه به شکل زیر است:

$$Q_c = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \end{bmatrix}$$

پس از قراردادن مقادیر ماتریس C و A خواهیم داشت:

$$Q_c = \begin{bmatrix} 0 & .07 & .38 \\ -.01 & -.01 & -.4 \\ .01 & .1 & .39 \end{bmatrix}$$

باتوجه به اینکه ماتریس بالا مستقل خطی است، نتیجه می‌گیریم که سیستم موردنظر مشاهده‌پذیر است.

دسترسی‌پذیری. کنترل‌پذیری عبارت از این است که در مدت محدود بتوان از حالت اولیه X_0 به مبدأ فضای حالت، یعنی بردار صفر (۰) رسید و دسترسی‌پذیری عبارت از این است که در مدت محدود بتوان از حالت اولیه X_0 به یک حالت دلخواه مانند $X(t)$ رسید [۳].

مانند کنترل‌پذیری، برای دسترس‌پذیر بودن یک سیستم باید بردارهای ماتریس Q_c استقلال خطی داشته باشند.

$$Q_c = [B|AB|A^2B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & .98 \\ 0 & -.98 & 1/2 \\ -.98 & 1/26 & 1/33 \end{bmatrix}$$

چنانکه قبلاً نیز در بحث کنترل‌پذیری گفتیم، بردارهای ماتریس Q_c استقلال خطی دارند و همان‌طور که سیستم کنترل‌پذیر است، دسترس‌پذیر است؛ بنابراین شرط دسترس‌پذیری مشابه کنترل‌پذیری است؛ یعنی اگر سیستم کنترل‌پذیر باشد، دسترس‌پذیر نیز خواهد بود [۳].

تعیین پایداری یا ناپایداری سیستم. باتوجه به اینکه تابع انتقال سیستم به شکل زیر است، ریشه‌های مخرج کسر تابع انتقال، تعیین‌کننده وضعیت پایداری سیستم است که این ریشه‌ها همان قطب‌های تابع انتقال هستند؛ بنابراین برای تعیین پایداری سیستم باید قطب‌های سیستم را محاسبه کنیم و مشخص کنیم که ریشه‌ها حقیقی هستند یا مختلط.

$$G(s) = C(SI - A)^{-1} B \quad \text{رابطه ۹: تابع انتقال سیستم}$$

$$G(s) = \frac{CA \text{adj}(SI - A)B}{\det(SI - A)}$$

چنانچه قسمت حقیقی ریشه‌ها منفی باشد، سیستم پایدار خواهد بود؛ بنابراین:

$$(SI - A_f) = \begin{bmatrix} S & -1 & 0 \\ 0 & S & -1 \\ ./.021 & ./.26 & S + 1/23 \end{bmatrix}$$

$$\text{Det}(SI - A_f) = S^3 + 1/23199S^2 + ./.26373S + ./.021318 = 0$$

$$S_f = \sigma + j\omega$$

$$S_{1f} = -./9866$$

$$S_{2f} = -./1227 + ./0809j$$

$$S_{3f} = -./1227 - ./0809j$$

چون قسمت حقیقی تمامی ریشه‌ها منفی است، نتیجه می‌گیریم که سیستم پایدار است. این وضعیت باعث می‌شود رفتار سیستم با گذر زمان نوسانات پایدار داشته باشد. نتایج شبیه‌سازی پویایی‌شناسی سیستم نیز پایداری سیستم در این بخش‌ها را تأیید می‌کنند. روند نمایی مثبت شاخص‌های خروجی کلیدی زنجیره در راستای پایداری سیستم است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با وقوع تغییرات فنی، اجتماعی و اقتصادی، مسائل مدیریتی در حال پیچیده شدن است. غلبه بر این پیچیدگی با کمک رویکرد مدیریت سنتی مبتنی بر مدل‌های ذهنی، شهود، تجربه و قضاوت، مدیران را با مشکل مواجه خواهد کرد؛ بنابراین باید با استفاده از ابزارهای انتخاب و ساختاردهی اطلاعات موجود، دانش مدیر شکل یابد، منسجم شود و با کمک مدل‌های رسمی، پیامدها و نتایجی به دست آید که با استفاده از آن مدیر بتواند کارکرد سیستم را بهتر درک کند و سیاست‌ها را بهبود دهد. در رشته سیستم‌های پویا این باور وجود دارد که تغییرات و تحولات قانونمندی‌هایی دارند که می‌توان آن‌ها را شناخت و براساس آن‌ها مسیر تحولات را به جهت مطلوب سوق داد. بدون شناخت قانونمندی‌های حاکم بر یک پدیده، ورود به عرصه کار و مدیریت و سیاستگذاری و به‌طور کلی اتخاذ هر نوع تصمیم در آینده دور از واقعیت خواهد بود. در راستای رسیدن به این اهداف، برای شناخت پیچیدگی حاکم بر سیستم مورد تحقیق و مدیریت و کنترل آن، از روش‌های مطرح در این رشته استفاده شده است؛ برای نمونه مفاهیم کنترل‌پذیری و مشاهده‌پذیری در رشته سیستم‌های پویا که نخستین بار توسط کالمن مطرح شد، در هر دو ساحت نظری و عملی کنترل نوین نقش دارند. شرایط کنترل‌پذیری و مشاهده‌پذیری غالباً اساس وجود راه‌حل برای یک مسئله کنترل بهینه هستند. فرآیندی کاملاً کنترل‌پذیر است که هر متغیر حالت آن را بتوانیم کنترل کنیم یا بر آن تأثیر بگذاریم تا در مدت معین به هدف معین برسیم. در سیستمی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، نشان داده شد که سیستم کنترل‌پذیر است؛ یعنی ورودی‌های سیستم، متغیرهای حالت سیستم را کنترل می‌کنند؛ برای نمونه در سیستم مورد

تحقیق، ظرفیت منصوبه تلفن ثابت، به‌عنوان یک متغیر حالت، توسط سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات جدید، به‌عنوان متغیر ورودی، کنترل می‌شود. مفهوم مشاهده‌پذیری نیز کاملاً شبیه مفهوم کنترل‌پذیری است. سیستمی کاملاً مشاهده‌پذیر است که هر یک از متغیرهای حالت آن بر برخی از خروجی‌ها تأثیر بگذارد؛ به‌عبارت‌دیگر با اندازه‌گیری خروجی‌ها، اطلاعاتی درباره متغیرهای حالت به‌دست آید. اگر با اندازه‌گیری خروجی‌ها نتوان همه حالت‌ها را مشاهده کرد، حالت موجود را مشاهده‌ناپذیر می‌نامند و اصطلاحاً سیستم مشاهده‌ناپذیر می‌شود. چنانکه قبلاً نیز نتیجه گرفتیم، سیستم مورد مطالعه مشاهده‌پذیر است و بنابراین با اندازه‌گیری خروجی سیستم می‌توانیم متغیرهای حالت سیستم را اندازه‌گیری کنیم؛ برای نمونه می‌توانیم با اندازه‌گیری حاشیه سود، به‌عنوان خروجی سیستم، ظرفیت منصوبه، به‌عنوان یک متغیر حالت را اندازه‌گیری کنیم. همچنین سیستم مورد نظر یک سیستم دسترس‌پذیر است؛ یعنی می‌توانیم سیستم را در مدت زمان محدود از حالت اولیه به یک حالت دلخواه تغییر دهیم. سیستمی که کنترل‌پذیر باشد، دسترس‌پذیر نیز است؛ اما در تعیین وضعیت پایداری سیستم نتیجه گرفتیم که قسمت حقیقی تمامی ریشه‌های مخرج کسر تابع انتقال منفی است و در نتیجه، سیستم پایدار است. این وضعیت باعث می‌شود رفتار سیستم با گذر زمان نوسانات پایدار داشته باشد. لازم به توضیح است که رویکرد سیستم‌های پویا نه تنها ابزارهای لازم برای کشف این قانونمندی‌ها را در اختیار مدیر قرار می‌دهد، بلکه می‌تواند با استفاده از ابزار شبیه‌سازی، امکان ساختن مدل مطلوب را نیز فراهم آورد؛ بنابراین در تحقیقات آتی با استفاده از این ابزار و با انتخاب ورودی معین، می‌توان قطب‌های سیستم را به نقاط مطلوب و مورد نظر انتقال داد. با انجام این کار، ماتریس سیستم تغییر می‌یابد؛ بنابراین قطب‌های سیستم به نقاط جدیدی انتقال می‌یابند و در نتیجه وضعیت پایداری سیستم نیز تغییر می‌کند.

منابع

۱. پایگاه اطلاعاتی شرکت مخابرات ایران (WWW.tci.ir).
۲. ربیع، مسعود. (۱۳۸۹). طراحی مدل ریاضی استوار زنجیره تأمین. رساله دکتری مدیریت (گرایش تحقیق در عملیات). دانشگاه تربیت مدرس.
۳. فقیه، نظام‌الدین. (۱۳۸۳). سیستم‌های پویا: اصول و تعیین هویت. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
۴. کو، بنجامین. (۱۳۸۷). سیستم‌های کنترل. ترجمه علی کافی. تهران: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
5. Avigad, J. (2008). The metamathematics of ergodic theory, department of philosophy and department of mathematical sciences carnegie mellon university. *Pitrsburgh*, 15213.
6. Brin, M. Stuck, G. (2000). Introduction to dynamical systems, *Cambridge University Press*.
7. Gray, R. M. (2010). Probability, random processes and ergodic properties, *Information Systems Laboratory Electreical*, engineering department, stanford university.
8. Higuchi, T., D. Troutt, M. (2004). Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product- lessons from the tamagotchi case. *Computers & Operations Research*, 31, 1097-1114.
9. Huang, W. Day, R.H. (2000). On the statistical properties of ergodic economic systems. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 6, 181-189.
10. Lai, K. K. Wang, M. Liang, L. Wu, Y. (2007). A stochastic approach to professional services firms revenue optimization. *European Journal of Operational Research*, 182, 971-982.
11. Ozbayrak, M. Papadopoulou, C. (2007). Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, 1338-1355.
12. Pedai, A. I, Astrov. (2008). Demand and supply chain simulation in telecommunication industry by multi-rate expert systems. world academy of science, *Engineering and Technology*, Vol. 41.
13. Pitty, S. Adhitya, A. Srinivasan, R. Karimi, I, A. (2008). Decision support for integrated refinery supply chains part 1. dynamic simulation. *Computers and Chemical Engineering*, 32, 2767-2786.
14. Rao, G. Lakshminarasimba, A. (2006). Financial supply chain management. *the Icfai Journal of Supply Chain Management*, 3(4).
15. Young, L .S. (1997). Ergodic theory of chaotic dynamical systems. department of mathematics, university of california.
16. Zweimuller, R. (2009). Survey notes on infinite ergodic theory. *Ergodic Theory and Dynamic Systems*, 20, 1519-1549.