

تحلیل دینامیکی مسئله نوسان موجودی‌ها در زنجیره تأمین با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها

عزیزالله یعسوبی^۱، مسعود ربیعه^۲

چکیده: یکی از مسائل رایج در زنجیره‌های تأمین، نوسان موجودی در طول زنجیره است که هزینه‌های اضافی را به سازمان‌های تولیدی تحمیل می‌کند، کاهش این هزینه‌ها می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری در تولید شود. در همین رابطه در این مقاله با به‌کارگیری روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها به تحلیل دینامیکی مسئله نوسان موجودی‌ها در زنجیره تأمین شرکت ساپکو پرداخته می‌شود. به این منظور از اطلاعات موجود و مستند شرکت ساپکو در طول دوره شبیه‌سازی استفاده شده است. پویایی‌شناسی سیستم‌ها ابزار نیرومندی برای مدل‌سازی ساختارهای پیچیده‌ای همچون شبکه‌های زنجیره تأمین است و اطلاعات مفیدی درخصوص تعامل پارامترهای اصلی سیستم ارائه می‌کند. در این مقاله بر پایه اصول روش پویایی‌های سیستم، پس از بیان مسئله نوسان‌های موجودی در زنجیره تأمین، فرضیه‌های پویایی به‌وجود آورنده مسئله مد نظر تبیین شده؛ سپس مدل دینامیکی مربوط به مسئله نوسان‌ها در زنجیره تأمین ارائه می‌شود. پس از حصول اطمینان از کارکرد مدل به‌واسطه اجرای آزمون‌های اعتبارسنجی، سه سیاست (اشتراک‌گذاری اطلاعات، استفاده از بافر موجودی و ترکیبی) به‌منظور بهبود رفتار نوسانی موجودی‌ها اتخاذ شده و تأثیر اجرای آنها بر رفتار مسئله‌ساز مدل دینامیکی مشاهده می‌شود. اجرای این سیاست‌ها موجب کاهش نوسان موجودی‌ها در زنجیره تأمین مورد مطالعه شده است.

واژه‌های کلیدی: پویایی‌شناسی سیستم‌ها، زنجیره تأمین، سیاست، شبیه‌سازی، نوسانات موجودی.

۱. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۷

نویسنده مسئول مقاله: مسعود ربیعه

E-mail: M_Rabieh@sbu.ac.ir

مقدمه

یکی از معضلات مهمی که امروزه سازمان‌های صنعتی با آن مواجه‌اند، نوسان موجودی در طول زنجیره تأمین است. این مسئله که اغلب به دلیل وجود سطوحی از عدم اطمینان در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین به وجود می‌آید، هزینه‌های مختلفی را به سازمان تحمیل می‌کند. از جمله این هزینه‌ها می‌توان به هزینه نگهداری موجودی‌ها یا هزینه‌های تحمیلی به سازمان در صورت کمبود موجودی مواد اولیه اشاره کرد. با توجه به این که سازمان‌های تولیدی از یک سو همواره به دنبال کاهش هزینه‌های تمام شده تولید محصولات خود از طریق کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی‌ها هستند و از سوی دیگر نمی‌خواهند به دلیل کمبود موجودی مواد اولیه با مشکلاتی مانند توقف خط تولید یا کاهش نرخ آن مواجه شوند، کاهش نوسان موجودی‌ها به منظور برنامه‌ریزی دقیق تولید، ضروری به نظر می‌رسد. پدیده نوسان‌های موجودی که آن را اثر شلاقی^۱ نیز می‌نامند، مربوط به سازمان‌های خاصی نمی‌شود و عموم سازمان‌ها با آن روبه‌رو هستند. ایجاد نوسان در یک سر شلاق چرمی، موجب نوسان بزرگی در انتهای آن می‌شود. از این خاصیت با حفظ همان نام ساده در بحث‌های مربوط به سیستم‌های مدیریتی استفاده می‌شود. با این اصطلاح بسیار جالب به راحتی می‌توان درک کرد که کمترین نوسان و تغییر در تقاضای هر یک از اعضای زنجیره، می‌تواند باعث انباشته شدن نوسان‌ها و کمبود در سازمان شود. در ضمن اگر سیگنال وارد شده، موجب شود که هر عضو برای مبارزه با این نوسان‌ها به ذخیره موجودی اقدام کند، این ذخیره‌سازی به شکل کاذب درآمده و هزینه‌های سنگینی در کل زنجیره به وجود می‌آورد و متعاقب آن موجب کاهش کارایی کل زنجیره می‌شود (لی، پادمانابهان و وانگ، ۱۹۹۷). هدف این پژوهش، ارائه راهکارهایی به منظور کاهش یا کنترل نوسان موجودی‌ها با استفاده از مدل‌سازی پویای تعاملات به وجود آورنده نوسان‌های موجودی در یک زنجیره تأمین تولیدی است. یکی از رویکردهای متداول شبیه‌سازی، استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم (SD)^۲ است. بدین منظور مراحل این پژوهش بر مبنای گام‌های روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها تنظیم شده است. SD کمک می‌کند تا بتوانیم نسبت به سیستم دید کلی داشته باشیم و به هم پیوستگی بین کارکردها یا چرخه‌های مختلف در یک زنجیره تأمین را به عنوان یک سیستم شناسایی کنیم (تاویل، ۱۹۹۶).

ساختار مقاله بدین صورت است؛ در بخش پیشینه پژوهش روش پویایی‌های سیستم معرفی شده و به تحقیقاتی که با استفاده از این تکنیک در حوزه زنجیره تأمین انجام شده‌اند، اشاره

-
1. Bullwhip effect
 2. System Dynamics

می‌شود. در بخش روش‌شناسی پژوهش، گام‌های روش پویایی‌های سیستم معرفی شده و در ادامه به پیاده‌سازی این گام‌ها روی مسئله مورد مطالعه پرداخته می‌شود. در بخش یافته‌های پژوهش، پس از ساخت مدل دینامیکی زنجیره تأمین مورد مطالعه و صحت‌سنجی آن از طریق آزمون‌های اعتبارسنجی مدل‌های دینامیکی، سه سیاست برای بهبود رفتار مدل دینامیکی تبیین می‌شود. در پایان نیز نتایج پژوهش و پیشنهادهایی برای توسعه آن ارائه خواهد شد.

پیشینه پژوهش

رویکرد پویایی‌شناسی سیستم در اوایل دهه ۶۰ میلادی توسط جی فارستر از دانشگاه ام‌آی‌تی.^۱ معرفی شد. این تکنیک، روشی برای تجزیه و تحلیل سیستم‌ها و حل مسائل پیچیده به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری است. می‌توان گفت مهم‌ترین اصلی که دینامیک سیستم‌ها بیان می‌کند، این است که بازخوردها^۲ و تأخیرها، رفتار سیستم را می‌سازند و پویایی رفتار سیستم، نشأت گرفته از ساختار حاکم بر سیستم است (بارلاس، ۲۰۰۲).

زنجیره‌های تأمین، سیال‌اند و به‌طور پیوسته خود را با تغییرات موجود در عرضه و تقاضای محصولاتی که با آنها سروکار داریم، تنظیم می‌کنند (هوگوس، ۲۰۰۳). عواملی از قبیل پیچیدگی زنجیره‌های تأمین (پیچیدگی به معنای تعداد متغیرهای زیاد و روابط متقابل بین آنها در زنجیره) و پویایی آنها (به معنای اینکه زنجیره‌های تأمین در طول زمان‌های مختلف رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند)، موجب می‌شود روش پویایی‌های سیستم به‌عنوان یکی از روش‌های متداول در بررسی مسائل و شبیه‌سازی زنجیره‌های تأمین شمرده شود.

اندرسون، فاین و پارکر (۱۹۹۷)، به بررسی تشدید تقاضا در زنجیره‌های تأمین پرداختند. آنها یک مدل دینامیکی را به‌منظور بررسی تشدید تقاضا در زنجیره‌های تأمین تجهیزات سرمایه‌ای توسعه داده و با آزمایش سیاست‌های مختلف، عملکرد این صنعت را بهبود دادند. دیزنی و تاویل (۲۰۰۳)، تأثیر سیاست مدیریت انبار فروشنده^۳ را بر دینامیک زنجیره مطالعه کردند. در استراتژی مدیریت انبار فروشنده، عرضه‌کننده مسئولیت انبار مشتری خود را برعهده دارد. در مطالعات صورت‌گرفته مشاهده می‌شود که طراحی سیستم با این استراتژی موجب می‌شود قله‌های سفارش‌دهی در این زنجیره‌ها نسبت به زنجیره‌های تأمین سنتی بسیار هموارتر شود. دیجونکهر، دیزنی، لامبرجت و تاویل (۲۰۰۴) با استفاده از روش سیستم‌های پویا، تأثیر غنی‌سازی اطلاعات را بر اثر شلاق چرمی مطالعه کردند. این مقاله نشان می‌دهد در یک زنجیره تأمین متمرکز، به

1. Massachusetts Institute of Technology
2. Feedbacks
3. Vendor Managed Inventory

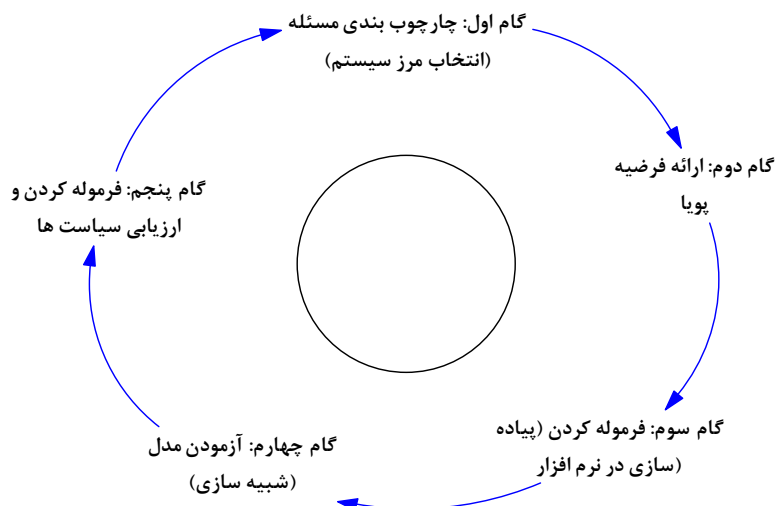
اشتراک‌گذاری اطلاعات تقاضا در طول زنجیره، اثر شلاق چرمی را بر سیاست‌های سفارش‌دهی کاهش می‌دهد، اما از بین نمی‌برد.

هیگچی و تروت (۲۰۰۳) زنجیره تأمین محصولی را با چرخه حیات کوتاه به صورت پویا شبیه‌سازی کردند و به بررسی تعامل اثر شلاقی و نوسان‌های زنجیره تأمین با سایر عوامل تأثیرگذار بر زنجیره تأمین پرداختند. آنها از شبیه‌سازی‌های پویا بر مبنای سناریو در شرکت تاماگوچی استفاده کردند. مدل آنها دارای سه جزء بازار، خرده‌فروش و کارخانه بود. پولس چئونگ (۲۰۰۸) از دیدگاه پویایی‌های سیستم به منظور کنترل و یافتن مقدار بهینه سفارش در زنجیره تأمین استفاده کرد. دلیل استفاده از این روش، وجود متغیرها و عوامل متعدد در این فرایند بوده است؛ بنابراین برای مشاهده تجمع اثرات این عوامل بر فرایند، دیدگاه یاد شده به کار رفته است. اوزبایراک و همکارانش بیان کردند که هدف اصلی در مدیریت زنجیره تأمین، بهینه‌کردن عملکرد زنجیره‌هاست و بر این اساس چارچوبی را برای مدل‌سازی زنجیره تأمین ارائه کردند. مدل آنها چهار ستون اصلی را در برمی‌گرفت و برای سازمان‌های با اندازه متوسط و پیچیدگی نرمال طراحی شده بود. آنها در طراحی مدل خود دیدگاه پویایی‌های سیستم را به کار بردند و مدل مد نظر را به لحاظ عملکردی تحت هشت سناریو ارزیابی کردند و به بررسی عملکرد متغیرهای اصلی زنجیره تأمین از قبیل موجودی، سطوح کار در حال اجرا، سفارش‌های عقب‌افتاده و... تحت سناریوهای گوناگون پرداختند (اوزبایراک، پاداپولو و آکگان، ۲۰۰۷). هونگ‌مین و استراکر (۲۰۰۲) با استفاده از دیدگاه پویایی‌های سیستم به مدل‌سازی زنجیره تأمین ساخت واحدهای مسکونی در بریتانیا پرداختند. در این تحقیق با مروری بر مسائل و متغیرهای تأثیرگذار در این صنعت، مدلی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی ساخت در این صنعت ارائه شده است. در این مدل سیاست‌های قبلی صنعت بار دیگر مهندسی شده‌اند و نشان داده شده است که فرایند حاکم بر آن، فرایند غیرخطی و پویاست. در پژوهش دیگری یوان و همکارانش به بررسی کاربرد رویکرد پویایی سیستم‌ها در کنترل و بهبود زنجیره تأمین به منظور توسعه یک محصول جدید پرداختند. این پژوهش سعی دارد سیاست‌هایی را در جهت کاهش هزینه‌های موجودی محصولاتی با چرخه عمر کوتاه که معمولاً در آنها درصد رشد و کاهش تقاضا با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد، ارائه کند. در این پژوهش میزان نوسان تقاضاها برای هریک از اعضای زنجیره تأمین، شاخصی به منظور ارزیابی عملکرد این زنجیره در نظر گرفته شده است (یوان، شن و عشایری، ۲۰۱۰). یانگ و همکارانش در پژوهش دیگری با استفاده از روش سیستم دینامیک و ساخت یک مدل دینامیکی، تأثیر ضریب همبستگی تقاضا، زمان‌های تأخیر و اطلاعات را بر اثر شلاق چرمی بررسی کردند؛ سپس پیشنهادهایی را برای کاهش این عارضه ارائه دادند (یانگ، ژانگ و سو، ۲۰۱۳). خاتمی فیروزآبادی، الفت، امیری و شریفی (۱۳۹۶) در پژوهشی به اولویت‌بندی

پیشران‌های پیچیدگی زنجیره تأمین با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی پرداختند. آنها پس از مرور ادبیات و شناسایی پیشران‌های پیچیدگی زنجیره تأمین بر مبنای مصاحبه با خبرگان، متغیرهای اصلی زنجیره تأمین بخش تولید لوازم خانگی را استخراج کرده و به اولویت‌بندی آنها پرداختند.

روش‌شناسی پژوهش

با توجه به ماهیت مسئله بررسی شده در این پژوهش، از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم که نوعی رویکرد کیفی - کمی است، استفاده می‌شود (مینجرز، ۲۰۰۴). مراحل فرایند مدل‌سازی رویکرد پویایی‌های سیستم بر اساس روش‌شناسی استرمن مطابق شکل ۱ است.



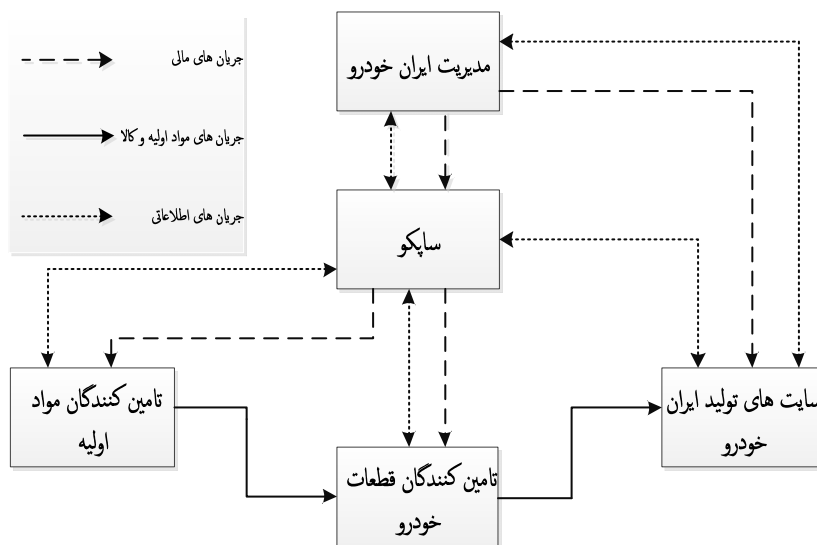
شکل ۱. فرایند مدل‌سازی رویکرد پویایی‌شناسی سیستم
منبع: استرمن (۲۰۰۰)

در ادامه پژوهش، براساس هر یک از گام‌های ذکر شده در شکل ۱ به مدل‌سازی سیستم مرتبط با مسئله مد نظر پرداخته می‌شود.

بیان مسئله پویا

در این مطالعه مسئله پویای نوسان‌های موجودی مواد اولیه در زنجیره تأمین شرکت ساپکو تشریح می‌شود. همچنین هدف از این پژوهش، تبیین سیاست‌های بهبود عملکرد زنجیره تأمین

شرکت ساپکو از طریق کاهش نوسان‌های موجودی است. شکل ۲ ارتباط بین بخش‌های مختلف زنجیره تأمین شرکت ساپکو را نشان می‌دهد. تأمین‌کنندگان در این زنجیره به دو گروه تأمین‌کنندگان مواد اولیه^۱ و تأمین‌کنندگان قطعات^۲ دسته‌بندی می‌شوند. ساپکو با خرید مواد اولیه لازم برای تولید قطعات، آنها را در اختیار تأمین‌کنندگان قطعات قرار داده و مطابق با تقاضای ایران خودرو، برنامه تولید قطعات خودرو را برای آنها تهیه و ابلاغ می‌کند. به بیان دیگر، در این پژوهش دسته‌ای از تأمین‌کنندگان قطعات مد نظرند که مواد اولیه آنها توسط ساپکو تأمین می‌شود و برنامه‌ریزی تولید آنها نیز به وسیله ساپکو صورت می‌پذیرد؛ بنابراین می‌توان گفت کاملاً به شرکت ساپکو وابسته‌اند و هر گونه نوسان موجودی در انبارهای قطعات و مواد اولیه مربوط به آنها؛ به‌طور مستقیم بر عملکرد زنجیره تأمین ساپکو اثرگذار است. از این رو کنترل یا کاهش نوسان‌ها در قسمت‌های مختلف این زنجیره تأمین، به‌طور مستقیم بر عملکرد ساپکو تأثیر می‌گذارد.

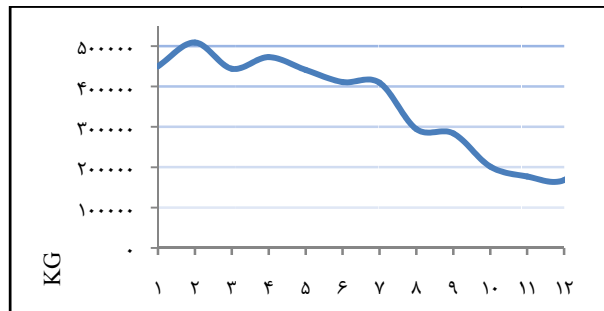


شکل ۲. ارتباطات بین بخش‌های مختلف در زنجیره تأمین ساپکو

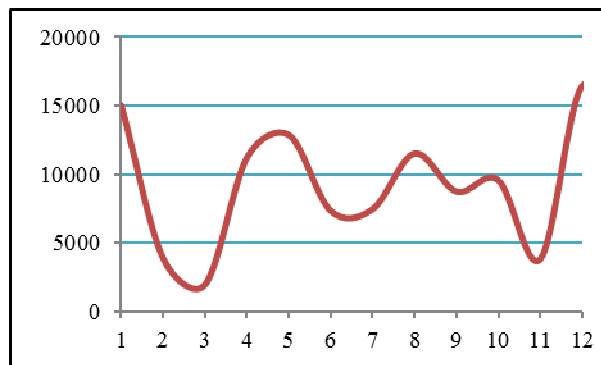
هر یک از نمودارهای زیر (شکل‌های ۳ و ۴) وضعیت موجودی یکی از انواع مواد اولیه مورد استفاده تولیدکنندگان قطعات و موجودی تعدادی از قطعات خودروی ساخته‌شده توسط این

1. Materials Supplier (MS)
2. Parts Supplier (PS)

تأمین کنندگان را در زنجیره تأمین شرکت ساپکو نشان می‌دهد. این نمودارها نشان‌دهنده میزان نوسان موجودی‌ها در زنجیره تأمین طی ماه‌های مختلف سال هستند.



شکل ۳. میزان موجودی ورق رول آهنی در شش ماهه پایانی ۱۳۹۴ و شش ماهه نخست ۱۳۹۵



شکل ۴. میزان موجودی قطعات خودرو در شش ماهه پایانی ۱۳۹۴ و شش ماهه نخست ۱۳۹۵

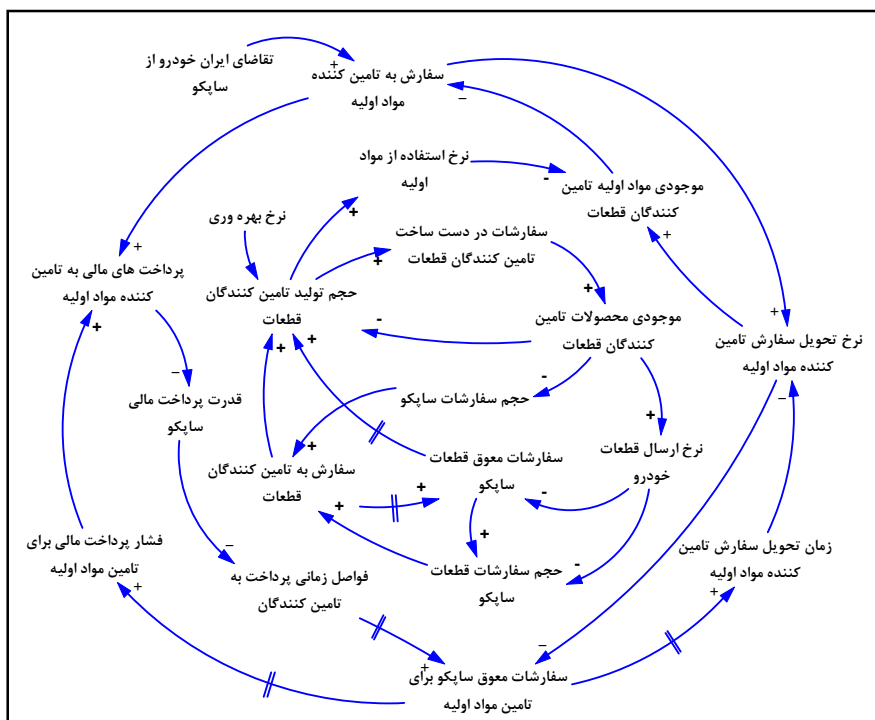
تعیین مرز مدل

نمودار مرز مدل، قلمرو مدل را از طریق فهرست کردن متغیرهایی که درون مدل قرار دارند (درون‌زا)، متغیرهایی که بیرون از مدل قرار دارند (برون‌زا) و متغیرهایی که اصلاً مدل شامل آنها نمی‌شود^۱، تعیین می‌کند. جدول ۱، برخی از متغیرهای مرز مدل دینامیکی ساخته شده برای زنجیره تأمین شرکت ساپکو را نشان می‌دهد.

1. Excluded

جدول ۱. نمودار مرز مدل برای زنجیره تأمین ساپکو

| درون‌زا | برون‌زا | خارج از مرز مدل |
|---------------------------------|--|-------------------|
| موجودی مواد اولیه | بودجه | وضعیت اقتصاد کلان |
| تأمین مالی سفارش مواد اولیه | نرخ سفارش مشتری | وضعیت رقبا |
| نرخ تولید قطعات | زمان چرخه تولید کنندگان | تصمیم‌های سیاسی |
| سفارش‌های عقب‌افتاده | قیمت مواد اولیه | محیط کسب‌وکار |
| میزان استفاده از مواد اولیه | زمان‌های مربوط به تنظیم موجودی‌ها | تحقیق و توسعه |
| ارزش مالی سفارش‌های مواد اولیه | زمان معمولی پرداخت‌های مالی | قیمت قطعات خودرو |
| موجودی در جریان ساخت | میزان ذخیره احتیاطی مواد اولیه و محصولات | کیفیت قطعات خودرو |
| موجودی محصولات | | منابع انسانی |
| نرخ تکمیل تولید | | تکنولوژی تولید |
| موجودی مطلوب قطعات و مواد اولیه | | |



شکل ۵. نمودار علت و معلولی جامع زنجیره تأمین ساپکو

نمودار علت و معلولی جامع

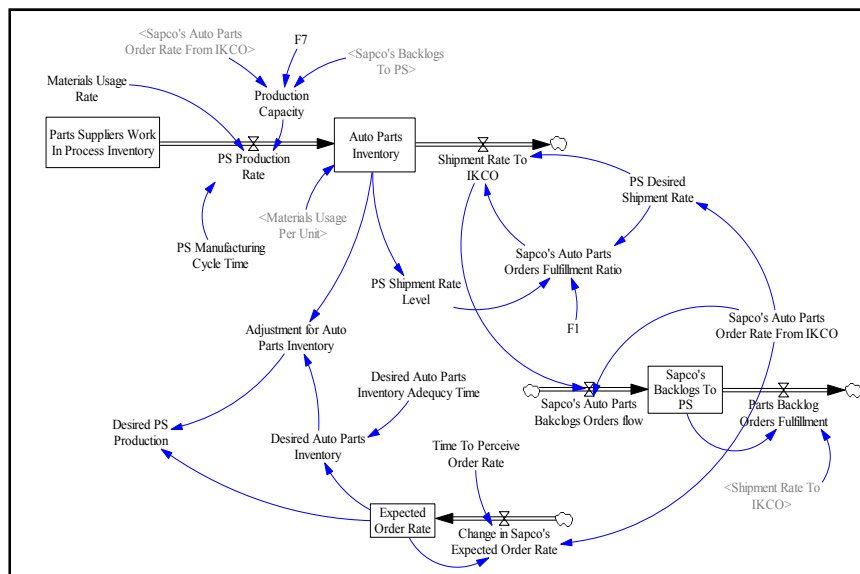
شکل ۵ نمودار علت و معلولی جامع شرکت ساپکو را نشان می‌دهد. این شکل در برگیرنده روابط علی میان عناصر تأثیرگذار بر مسئله نوسان‌های موجودی در شرکت ساپکو است.

نمودار انباره و جریان و فرموله‌بندی

در این بخش نمودار انباشت و جریان زنجیره تأمین ساپکو در قالب چهار بخش مختلف ارائه می‌شود و ضمن تشریح روابط ریاضی میان متغیرها، به بیان نحوه عملکرد مدل پرداخته خواهد شد.

نمودار انباره و جریان بخش تأمین‌کننده قطعات

شکل ۶ نشان‌دهنده نمودار انباره و جریان بخش تأمین‌کنندگان قطعات خودرو است. مطابق این شکل، نرخ تولید تأمین‌کنندگان قطعات یک متغیر جریان محسوب می‌شود که از موجودی قطعات در دست ساخت نشئت گرفته و به موجودی محصولات ختم می‌شود.



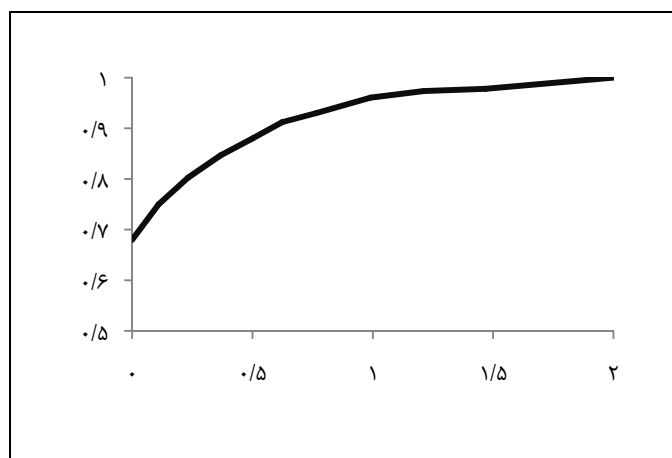
شکل ۶. نمودار انباشت و جریان بخش تأمین‌کننده قطعات

نرخ تولید در نمودار انباشت و جریان به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{PS Production Rate} && \text{رابطه ۱)} \\ & = \text{DELAY1}(\text{Materials Usage Rate, PS Manufacturing Cycle Time}) \\ & \times \text{Production capacity} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Production Capacity} = && \text{رابطه ۲)} \\ & F7(\text{Sapco's Backlogs To PS} \\ & / \text{Sapco's Auto Parts Order Rate From IKCO} \end{aligned}$$

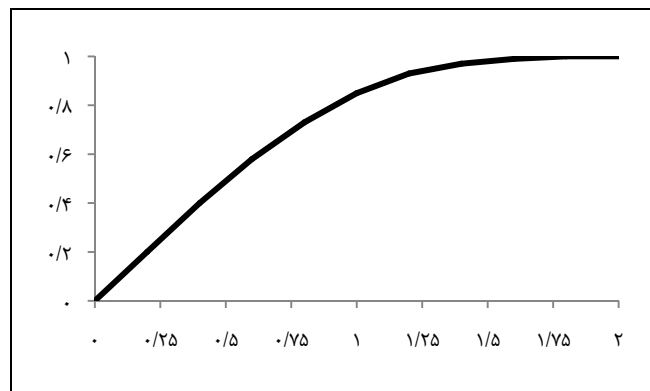
بر اساس رابطه ۱ نرخ تولید تأمین‌کنندگان قطعات به صورت تابعی از ضریب بهره‌وری و یک تابع تأخیر درجه اول که بیان‌کننده تأخیری به اندازه زمان چرخه تولید در تبدیل مواد اولیه به قطعات است، ساخته می‌شود. میزان ظرفیت تولید نیز به صورت تابعی از یک نسبت بین جریان سفارش‌های عقب‌افتاده قطعات خودرو به نرخ سفارش قطعات از ایران خودرو است. تابع غیرخطی F7 مطابق شکل زیر بر نرخ تولید تأمین‌کنندگان قطعات تأثیر می‌گذارد.



شکل ۷. تابع غیرخطی تأثیر نسبت سفارشات عقب‌افتاده به نرخ ارسال بر نرخ تولید قطعات خودرو

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت جریان سفارش‌های عقب‌افتاده قطعات خودرو به نرخ سفارش قطعات از ایران خودرو، تأثیر تابع غیرخطی F7 بزرگ‌تر خواهد شد، به طوری که وقتی هیچ سفارش عقب‌افتاده‌ای نداریم، خروجی تابع ۰/۶۸ خواهد بود و با افزایش این نسبت اعداد بزرگ‌تری در نرخ تولید ضرب می‌شوند. در ادامه نرخ تولید، انباره

موجودی قطعات خودرو را خواهد ساخت که از یک سو به منظور اصلاح نرخ موجودی قطعات با موجودی مطلوب مقایسه می شود و از سوی دیگر به واسطه تابع غیر خطی F1، مشخص کننده میزان پاسخگویی به سفارش هاست. شکل ۸ نحوه تأثیر گذاری تابع غیر خطی F1 را نشان می دهد.

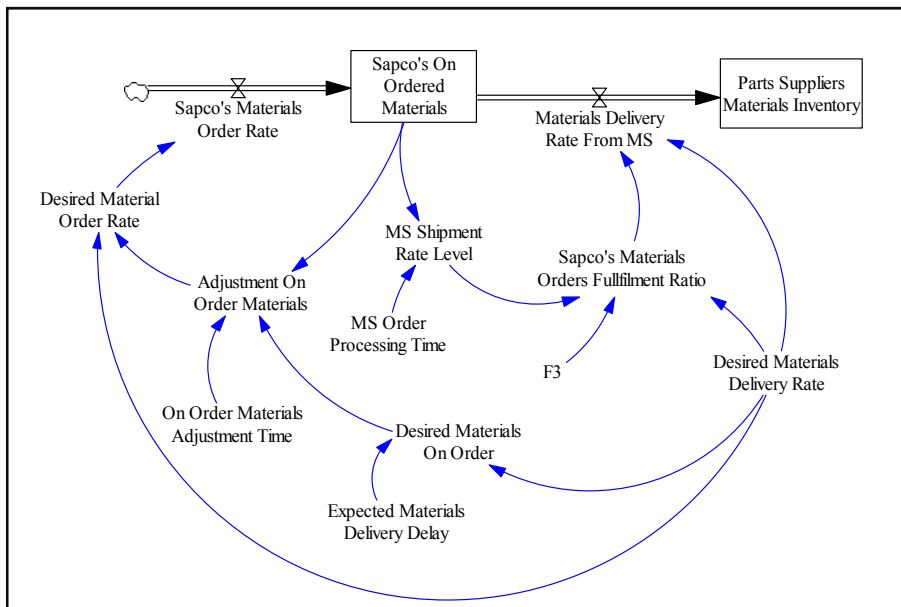


شکل ۸. تابع غیر خطی تأثیر نسبت نرخ مطلوب ارسال به نرخ ارسال واقعی بر نرخ تکمیل سفارش های ساپکو

نمودار انباره و جریان بخش تأمین کننده مواد اولیه

شکل ۹ نمودار انباره و جریان تأمین کننده مواد اولیه را نشان می دهد. در این نمودار انباره سفارش های مواد اولیه در دست اجرای ساپکو، از یک سو موجب اصلاح نرخ سفارش مواد اولیه شده و از سوی دیگر با تعیین نرخ ارسال مواد اولیه از سوی تأمین کنندگان، به واسطه یک تابع غیر خطی که نسبت نرخ ارسال مواد اولیه به نرخ مطلوب تحویل مواد اولیه را به عنوان ورودی دریافت می کند (مانند آنچه در شکل ۸ نشان داده شده است) عمل کرده و مطابق رابطه ۳ مقدار نرخ تحویل مواد اولیه را مشخص می کند. بر اساس رابطه ۳، متغیر نرخ تحویل مواد اولیه از سوی تأمین کنندگان با استفاده از یک تابع تأخیر درجه اول که میزان مثبت حاصل ضرب نرخ مطلوب تحویل قطعات و ضریب تکمیل سفارش ها را با زمان تأخیر در تحویل مواد اولیه به عنوان ورودی دریافت می کند؛ تعیین می شود.

$$\begin{aligned} \text{Materials Delivery Rate From MS} & \quad \text{رابطه ۳)} \\ & = \text{DELAY1}(\text{MAX}(0, \text{Desired Materials Delivery Rate} \\ & \quad * \text{Sapco's Materials Orders Fullfilment Ratio}), \\ & \quad \text{Materials Delivery Time}) \end{aligned}$$



شکل ۹. نمودار انبار و جریان بخش تأمین‌کننده مواد اولیه

نمودار انبار و جریان بخش کنترل موجودی مواد اولیه تأمین‌کنندگان قطعات

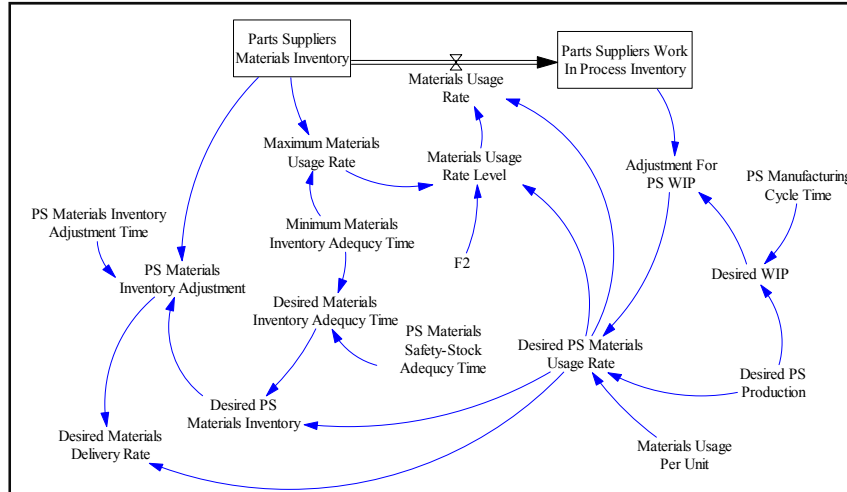
شکل ۱۰ نشان دهنده سازوکار کنترل موجودی مواد اولیه تأمین‌کنندگان قطعات است. در این شکل نرخ مطلوب استفاده از مواد اولیه توسط تأمین‌کنندگان قطعات با استفاده از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$\text{Desired PS Materials Usage Rate} = \frac{(\text{Adjustment For PS WIP} + \text{Desired PS Production})}{\text{Materials Usage Per Unit}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

همچنین نرخ استفاده از مواد اولیه نیز مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$\text{Materials Usage Rate} = \text{Materials Usage Rate Level} \times \text{Desired PS Materials Usage Rate} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در عبارت فوق سطح استفاده از مواد اولیه یک تابع غیرخطی است که نسبت دو متغیر نرخ بیشینه استفاده از مواد اولیه به نرخ مطلوب استفاده تأمین‌کنندگان قطعات از مواد اولیه را به نوان ورودی دریافت کرده و مطابق شکل ۸ خروجی می‌دهد.



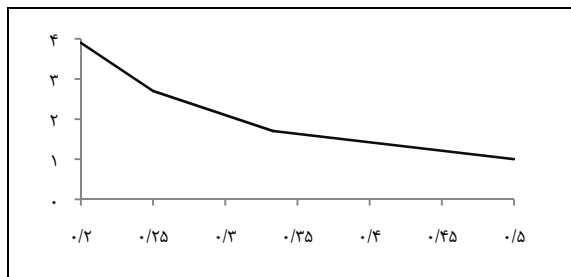
شکل ۱۰. نمودار انبار و جریان بخش کنترل موجودی مواد اولیه تأمین کنندگان قطعات

نمودار انبار و جریان بخش تأمین مالی سفارش‌های مواد اولیه

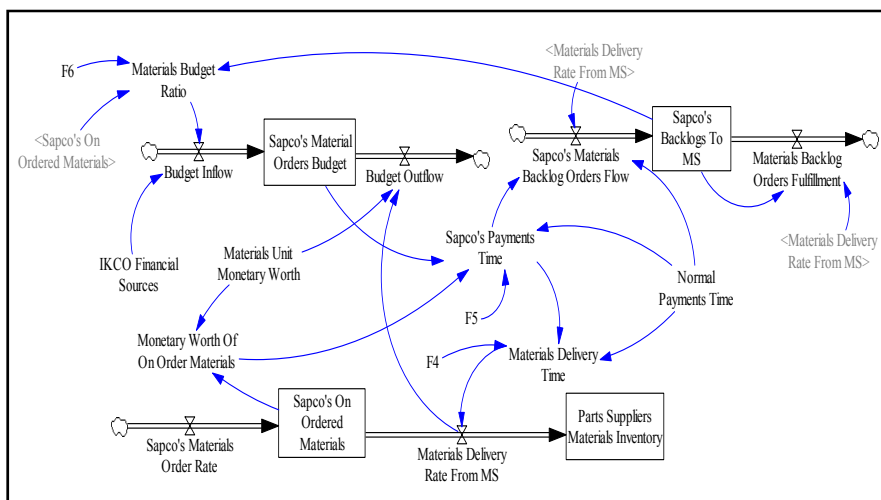
این بخش مربوط به سازوکار تأمین مالی سفارش‌های مواد اولیه ایران خودرو است. شیوه عملکرد مدل در این بخش به این صورت است که ابتدا ارزش کلی مواد اولیه سفارش‌ها محاسبه شده و با میزان بودجه ساپکو مقایسه می‌شود، در ادامه به وسیله تابع غیر خطی F5 (نسبت ارزش مالی سفارش‌ها به انبار بودجه ساپکو را به عنوان ورودی دریافت می‌کند) و متغیر برون‌زای زمان نرمال پرداخت، با استفاده از رابطه ۶ می‌توان مقدار متغیر زمان پرداخت ساپکو را محاسبه کرد.

$$\text{Sapco's Payments Time} = \text{رابطه ۶} \\ \text{IF THEN ELSE}(\text{Sapco's Material Orders Budget} \geq \\ \text{Monetary Worth Of On Order Materials, Normal Payments Time} \\ , \text{Normal Payments Time} + \text{F5}(\text{Sapco's Material Orders Budget}/ \\ \text{Monetary Worth Of On Order Materials}))$$

مفهوم عبارت شرطی فوق این است که چنانچه بودجه شرکت ساپکو بیشتر از ارزش مالی سفارش‌های در دست اجرا باشد، پرداخت مالی در زمان مقرر انجام شده و این زمان برابر با زمان نرمال است. در مقابل، چنانچه ارزش مالی سفارش‌ها بیش از بودجه ساپکو باشد، افزایش زمان پرداخت مالی را در پی خواهد داشت. این افزایش زمان با استفاده از تابع غیر خطی F5 که مطابق شکل ۱۱ عمل می‌کند، در مدل اعمال می‌شود.



شکل ۱۱. تابع غیرخطی تأثیر نسبت بودجه ساپکو به ارزش مالی سفارش‌ها بر افزایش زمان پرداخت مالی



شکل ۱۲. نمودار انباره و جریان بخش تأمین مالی سفارش‌های مواد اولیه

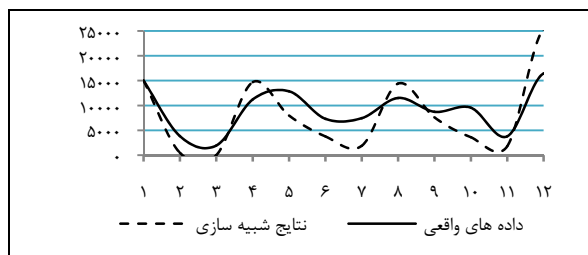
اعتبار سنجی مدل

به منظور استفاده کاربردی از مدل پویایی‌های سیستم، این مدل باید تعیین اعتبار شود. اعتبارسنجی مدل‌های پویایی‌های سیستم، فرایندی برای ایجاد اطمینان نسبت به درستی و سودمندی مدل به عنوان نوعی ابزار سیاست‌گذاری است. البته باید توجه داشت اعتبارسنجی در اینجا با انگاره اعتبار به مثابه حقیقت مطلق^۱ در تضاد است (سوشیل، ۱۳۸۷). برای آزمون مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. در این بخش به منظور اطمینان از کارکرد مدل دینامیکی و میزان توانایی مدل در بازتاب رفتار واقعی سیستم مورد مطالعه، از مهم‌ترین آزمون‌ها برای اعتبارسنجی مدل ساخته شده استفاده می‌شود.

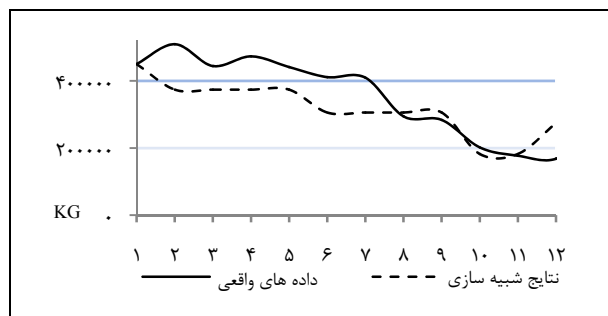
1. Validity as Absolute Truth

آزمون بازتولید رفتار سیستم^۱

هدف از انجام آزمون بازتولید رفتار، مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی برای اطمینان از صحت عملکرد رفتار الگو است. آنچه در اینجا اهمیت دارد، توانایی مدل در ایجاد مشخصه‌های رفتاری مشابه سیستم واقعی است. به بیان دیگر، در این حالت رفتار شبیه‌سازی شده برای الگو بازتولید می‌شود تا با داده‌های واقعی مقایسه شود. برای مثال در دو شکل ۱۳ و ۱۴، رفتار متغیر موجودی مواد اولیه تأمین‌کنندگان قطعات و موجودی قطعات خودرو در حالت واقعی سیستم و حالت شبیه‌سازی شده آمده است. محور افقی نمودار بیان‌کننده افق زمانی شبیه‌سازی است که شامل شش ماهه پایانی سال ۹۴ و شش ماهه نخست سال ۱۳۹۵ می‌شود، همچنین محور عمودی نیز موجودی یکی از اقلام مواد اولیه مورد استفاده تأمین‌کنندگان قطعات یا موجودی قطعات خودرو را در طول دوره شبیه‌سازی نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. موجودی ورقه رول آهنی در شش ماهه پایانی ۹۴ و شش ماهه نخست ۱۳۹۵



شکل ۱۴. موجودی قطعات خودرو در شش ماهه پایانی ۹۴ و شش ماهه نخست ۱۳۹۵

معیارهای ارزیابی خطاهای آماری

توجه اصلی این آزمون‌ها معطوف است به این که آیا رفتار مدل از لحاظ آماری شبیه به داده‌های سیستم واقعی است یا خیر؟ در ادامه دو نمونه از آزمون‌های آماری ارائه می‌شود (استرمن، ۲۰۰۰).

محاسبه درصد خطای مجذورات (RMSPE)^۱

بر اساس این شاخص، هرچه میزان تفاوت بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده کمتر باشد، بیشتر می‌توان به نتایج شبیه‌سازی اعتماد کرد. میزان خطا در این روش بر اساس رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{\theta} \sum_{j=1}^{\theta} \left(\frac{y_{T+i}^s - y_{T+i}^a}{y_{T+i}^a} \right)^2} \times 100 \quad \text{رابطه ۷}$$

در این رابطه y_{T+i}^s نتایج شبیه‌سازی متغیر الگو، y_{T+i}^a داده‌های واقعی و θ نشان‌دهنده تعداد مشاهدات است.

ضریب نابرابری (IT)^۲

محاسبه ضریب نابرابری یکی دیگر از روش‌های سنجش میزان خطای داده‌های شبیه‌سازی شده از داده‌های واقعی است. میزان IT بین ۰ تا ۱ قرار می‌گیرد. اگر IT برابر با صفر باشد، به معنای برابر بودن مقادیر پیش‌بینی شده در الگو با مقدار واقعی است و اگر IT برابر ۱ باشد، به این مفهوم است که عملکرد الگو در ارزیابی رفتار سیستم واقعی مناسب نیست. میزان این خطا بر اساس رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$IT = \frac{\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2}{\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (y_{T+i}^s)^2 + \frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (y_{T+i}^a)^2} \quad \text{رابطه ۸}$$

نتایج هر یک از آزمون‌های آماری اعتبارسنجی برای متغیر کلیدی موجودی مواد اولیه و قطعات خودرو تولیدکنندگان قطعات، در جدول ۲ خلاصه شده است. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که رفتار مدل تا حد قابل قبولی از نظر آماری به رفتار واقعی متغیرهای کلیدی زنجیره تأمین نزدیک است.

1. Root Mean Square Percent Error
2. Inequity Thei's

جدول ۲. نتایج آزمون آماری اعتبارسنجی

| زمان (ماه) | موجودی مواد اولیه تأمین کنندگان قطعات* | موجودی مواد اولیه تأمین کنندگان قطعات** | موجودی قطعات خودرو* | موجودی قطعات خودرو** |
|-------------|---|--|------------------------|-------------------------|
| مهر ۹۴ | ۴۵۰۰۰ | ۵۰۹۰۳۴ | ۴۷۷ | ۳۸۵۰ |
| آبان ۹۴ | ۳۷۳۸۱۱ | ۴۴۴۰۲۴ | ۰ | ۱۹۵۰ |
| آذر ۹۴ | ۳۷۳۸۱۱ | ۴۷۳۸۰۰ | ۱۴۷۰۰ | ۱۱۲۰۰ |
| دی ۹۴ | ۳۷۳۸۱۱ | ۴۴۱۲۳۱ | ۷۹۷۱ | ۱۲۸۵۰ |
| بهمن ۹۴ | ۳۷۳۸۱۱ | ۴۱۱۱۱۶ | ۳۷۶۲ | ۷۳۲۰ |
| اسفند ۹۴ | ۳۰۵۶۶۳ | ۴۰۹۴۷۸ | ۱۸۸۱ | ۷۴۵۰ |
| فروردین ۹۵ | ۳۰۵۶۶۳ | ۲۹۴۲۸۵ | ۱۴۴۰۰ | ۱۱۵۰۰ |
| اردیبهشت ۹۵ | ۳۰۵۶۶۳ | ۲۸۳۶۹۰ | ۷۶۱۵ | ۸۷۲۵ |
| خرداد ۹۵ | ۳۰۵۶۶۳ | ۲۰۱۷۲۳ | ۳۶۰۰ | ۹۵۵۰ |
| تیر ۹۵ | ۱۸۲۱۲۸ | ۱۷۷۱۶۶ | ۱۸۰۰ | ۳۸۰۰ |
| مرداد ۹۵ | ۱۸۲۱۲۸ | ۱۶۸۱۷۹ | ۲۵۲۹۹ | ۱۶۴۲۰ |
| شهریور ۹۵ | ۲۷۴۱۰۹ | ۲۵۱۹۴۰ | ۱۶۳۵۹ | ۱۱۰۸۰ |
| RMSPE | ۱۹/۷۲ | | ۵۸/۲۲ | |
| IT | ۰/۱۳ | | ۰/۳۱ | |

* نتایج شبیه‌سازی؛ ** آمار واقعی

یافته‌های پژوهش

با توجه به فهمی که از این سیستم به عمل آمده، نوسان موجودی‌ها در طول زنجیره تأمین بیشتر از عواملی چون تأخیرات اطلاعاتی در طول زنجیره و عدم پرداخت‌های به موقع مالی به تأمین کنندگان مواد اولیه نشئت می‌گیرد. بنابراین سیاست‌هایی که به منظور حل مشکل نوسان در زنجیره تأمین مورد بررسی به کار گرفته می‌شود، در راستای حل یا کاهش اثر این عوامل هستند. سیاست‌هایی که در این پژوهش به منظور کاهش نوسان موجودی‌ها در زنجیره تأمین پیشنهاد شده‌اند، در ادامه بیان شده است.

سیاست اول - کاهش تأخیرهای زمانی از طریق به اشتراک‌گذاری اطلاعات: در مدل زنجیره تأمین ارائه شده، تأخیرهای زمانی مربوط به پردازش و اصلاح موجودی‌ها، یکی از عوامل به وجود آورنده نوسان در زنجیره تأمین است. با کاهش یا حذف این زمان‌ها، موجودی‌ها اصلاح شده و برآورده‌سازی سفارش‌ها افزایش می‌یابد؛ به دنبال آن، علاوه بر کاهش نوسان موجودی‌ها در قسمت‌های مختلف زنجیره تأمین، سفارش‌های عقب‌افتاده نیز کاهش خواهد یافت. به منظور اعمال چنین سیاستی در زنجیره تأمین، باید سطوح مختلف یک زنجیره را با حذف برخی

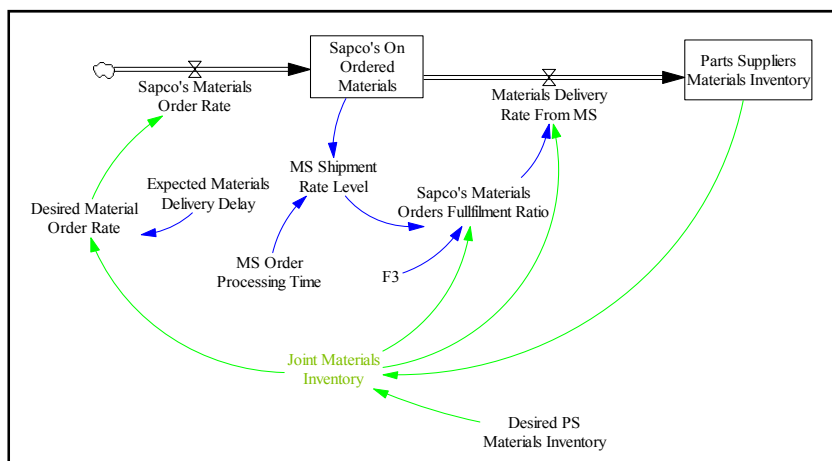
واسطه‌ها به صورت مستقیم به هم ارتباط داد، این کار را می‌توان از طریق راه‌اندازی یک سیستم اطلاعاتی مناسب پی‌گیری کرد.

سیاست دوم - افزایش حاشیه امنیت در زنجیره تأمین با استفاده از بافر موجودی: یکی دیگر از سیاست‌هایی که در این پژوهش به منظور کاهش نوسان‌های زنجیره تأمین انتخاب شده، استفاده از بافر قطعات است. موجودی‌های بافر، موجودی‌هایی در قسمت‌های مختلف زنجیره تأمین هستند که به منظور کنترل تأثیرات ناشی از تغییرات ناگهانی در تقاضا، نگهداری می‌شوند. وظیفه اصلی بافرها خنثی‌سازی یا کاهش این آثار است. نحوه اعمال این سیاست بدین صورت است که موجودی قطعات به اندازه مشخصی به عنوان بافر در انتهای زنجیره تأمین نگهداری می‌شود و در مواقعی که تقاضا دچار نوسان شدید شد تا حدی از اثرهای این نوسان‌ها کاسته و دامنه آنها را کم می‌کند.

سیاست سوم - سیاست ترکیبی: در این سیاست، سیاست‌های اول و دوم به طور همزمان روی مدل اعمال می‌شوند تا تأثیرات غیرخطی آنها بر رفتار مدل مشاهده شود. در ادامه چگونگی اعمال سیاست‌ها و رفتار متغیرهای کلیدی مدل پس از اعمال هر یک از سیاست‌های فوق مشاهده می‌شود.

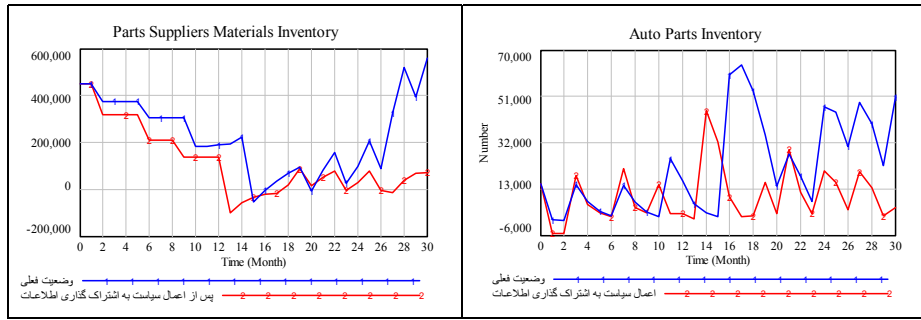
ساختار و رفتار سیاست اول

ساختار سیاست کاهش تأخیرهای زمانی از طریق به اشتراک‌گذاری اطلاعات و رفتار ناشی از اعمال سیاست در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.



شکل ۱۵. نحوه اجرای سیاست به اشتراک‌گذاری اطلاعات در مدل انبار و جریان

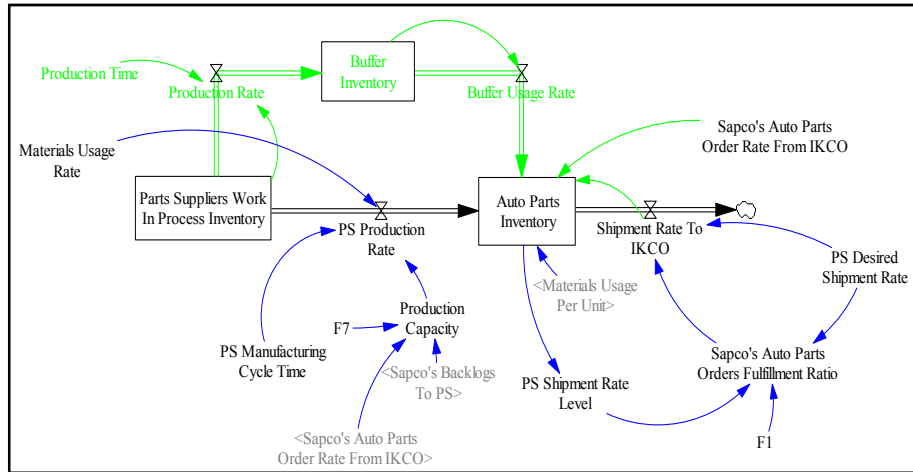
شکل ۱۶ نیز، رفتار دو متغیر کلیدی موجودی قطعات خودرو و مواد اولیه تأمین کنندگان قطعات را در طول زنجیره تأمین نشان می‌دهد.



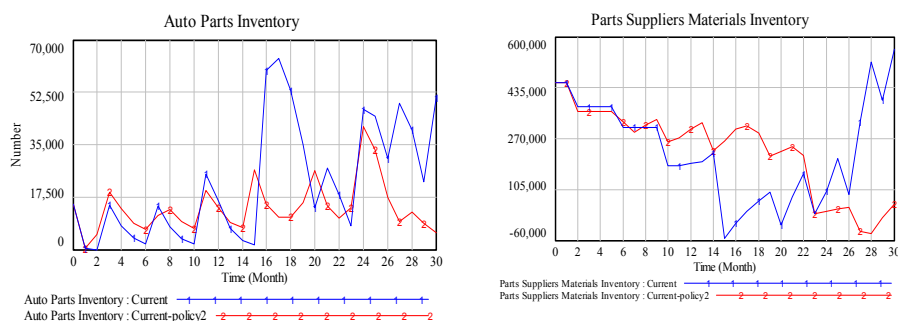
شکل ۱۶. موجودی مواد اولیه تأمین کنندگان قطعات و قطعات خودرو قبل و بعد از اعمال سیاست به اشتراک گذاری اطلاعات

ساختار و رفتار سیاست دوم

شکل ۱۷ ساختار سیاست افزایش حاشیه امنیت در زنجیره تأمین و شکل ۱۸ استفاده از بافر موجودی و رفتار ناشی از اعمال سیاست را نشان می‌دهد.



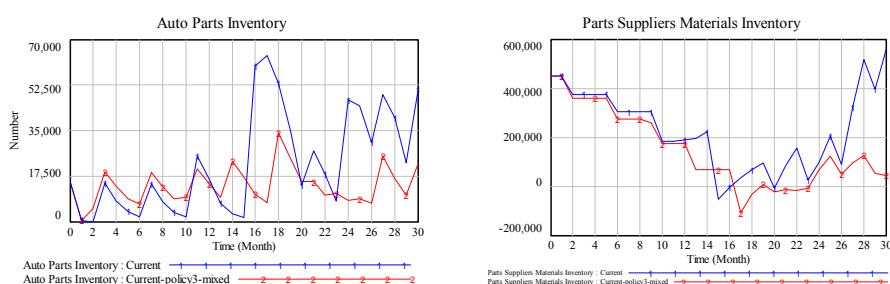
شکل ۱۷. نحوه اعمال سیاست افزایش قابلیت اطمینان با استفاده از بافر موجودی



شکل ۱۸. موجودی مواد اولیه و قطعات خودرو قبل و بعد از اعمال سیاست افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تأمین

رفتار سیاست سوم

رفتار متغیرهای کلیدی پس از اعمال سیاست ترکیبی مطابق شکل ۱۹ است.



شکل ۱۹. موجودی مواد اولیه و قطعات خودرو، قبل و بعد از اعمال سیاست ترکیبی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از مسائل مهم در زنجیره تأمین نوسان موجودی‌ها این است که سازمان‌های تولیدی را با مشکلات زیادی از قبیل افزایش هزینه تولید و افزایش ریسک در تصمیم‌گیری‌ها مواجه می‌کند. بدین ترتیب کنترل یا کاهش نوسان موجودی‌ها در زنجیره تأمین می‌تواند نقش مهمی در افزایش توان رقابتی سازمان‌های تولیدی ایفا کند. در این مقاله، زنجیره تأمین شرکت ساپکو به‌منظور درک پویایی‌های پدیدآورنده مسئله نوسان در طول این زنجیره با استفاده از SD مدل‌سازی شد.

پژوهش حاضر بر اساس گام‌های رویکرد پویایی‌های سیستم، پس از طرح مسئله نوسان‌های موجودی، به تبیین روابط علت و معلولی بین اجزای مختلف زنجیره تأمین مورد بررسی پرداخت و

و در ادامه، مدل انباره و جریان زنجیره تأمین در چهار بخش مجزا را ارائه داد. پس از ارائه مدل انباره و جریان، به منظور اعتبارسنجی مدل از چند روش معمول در اعتبارسنجی مدل‌های دینامیکی استفاده شد. با مشاهده نتایج آزمون‌های مختلف اعتبارسنجی مشخص شد که مدل ساخته شده تا حد قابل قبولی رفتار سیستم واقعی را بازتولید می‌کند؛ بنابراین می‌توان گفت از اعتبار کافی برخوردار است. پس از حصول اطمینان از کارآمدی مدل در بازتولید رفتار سیستم واقعی، سه سیاست به اشتراک‌گذاری اطلاعات، استفاده از بافر موجودی و ترکیبی که بیان‌کننده اجرای همزمان دو سیاست قبلی است، به منظور بهبود رفتار مسئله‌ساز مدل تبیین شد و پس از اعمال، تأثیر آنها روی رفتار مسئله‌ساز مدل مشاهده گردید. نتایج به دست آمده از اعمال این سه سیاست، حاکی از بهبود وضعیت نوسان‌های زنجیره تأمین شرکت ساپکو است، به طوری که دامنه نوسان‌های موجودی پس از اعمال هر یک از این سیاست‌ها کاهش یافت. بنابراین می‌توان گفت با اتخاذ تدابیری که به کاهش زمان‌های تأخیر و به دنبال آن افزایش قابلیت اطمینان در زنجیره تأمین منجر می‌شود، می‌توان نوسان‌های موجودی در طول این زنجیره را کاهش داد. این نتیجه با یافته‌های محققانی چون دیزنی و تاویل (۲۰۰۳)، دیجونکهر و همکاران (۲۰۰۴) و مدرس یزدی، صفری و اژدری (۲۰۱۴) مطابقت دارد؛ به طوری که تحقیقات اشاره شده نیز به اشتراک‌گذاری اطلاعات را از مهم‌ترین عوامل بهبود شاخص‌های عملکردی زنجیره تأمین معرفی کرده‌اند.

در خصوص پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود محققان علاقه‌مند، به گسترش مرزهای مدل اقدام کرده و بخش‌های بیشتری را به مدل وارد کنند. برای مثال مدل‌سازی بخش‌هایی چون تحقیق و توسعه یا اعمال تأثیر شرایط اقتصاد کلان بر مدل، می‌تواند گام مؤثری در جهت تکمیل آن باشد. همچنین در بخش سیاست‌ها نیز می‌توان با پیشنهاد سیاست‌های دیگری، در جهت رفع یا کاهش مسئله نوسان‌های موجودی گام برداشت.

فهرست منابع

خاتمی فیروزآبادی، ع.؛ الفت، ل.؛ امیری، م. و شریفی، ح. (۱۳۹۶). اولویت‌بندی پیشران‌های پیچیدگی زنجیره تأمین با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۹(۱)، ۷۹-۱۰۲.

مدرس یزدی، م.؛ صفری، ح.؛ اژدری، ب. (۱۳۹۳). نگاهت ادراکی روابط علی میان فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین، توانمندسازها و عملکرد زنجیره تأمین با رویکرد فازی. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۶(۳)، ۶۳۴-۶۱۵.

- Anderson, E. G. Fine, C. H. & Parker, G. G. (1997). *Upstream Volatility in the Supply Chain: The Machine Tool Industry as a Case Study*, Austin (TX): Department of Management, University of Texas.
- 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.
- Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R. & Towill, D.R. (2004). The Impact of Information Enrichment on the Bullwhip Effect in Supply Chains: a Control Engineering Perspective. *European Journal of Operational Research*, 153(3), 727-50.
- Disney, S. M. & Towill, D. R. (2003). The Effect of Vendor Managed Inventory (VMI) Dynamics on the Bullwhip Effect in Supply Chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199-215.
- 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(7), 1097-1114.
- Hong-Minh, S., & Strohhecker, J. (2002). A system dynamics model for the UK private house building supply chain. *Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society*, Palermo, Italy.
- Hugos, M. (2003). *Essentials of supply chain management*. Wiley, Hoboken.
- Khatami Firoozabadi, M., Olfat, L., Amiri, M. & Sharifi, H. (2016). Prioritizing Supply Chain Complexity Drivers using Fuzzy Hierarchical Analytical Process. *Journal of industrial management*, 9(1), 79-102.
- Lee, H., Padmanabhan, V. & Whang, S. (1997). Information transformation in a supply chain: the bullwhip effect. *Management Science*, 43(4), 546-580.
- Mingers, J. (2004). Real-izing information systems: critical realism as an underpinning philosophy for information systems. *Information and Organization*, 14(2), 87-103.
- Modarres Yazdi, M., Safari, H. & Ajdari, B. (2014). A cognitive map of causal relationship between supply chain management practices, supply chain enablers and supply chain performance: a fuzzy approach. *Journal of industrial management*, 6(3), 615-634.
- Ozbayrak, M., Papadopoulou, C. & Akgun, M. (2007). Systems dynamics modeling of a manufacturing supply chain system, *Simulation Modeling Practice and Theory*, 15(10), 1338-1355.

- Poles, P. & Cheong, F. (2008). *Inventory Control In Closed Loop Supply Chain Using System Dynamics*. Pmit University, School Of Business Information Technology.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw-Hill, Boston.
- Towill, D.R. (1996). Industrial dynamics modelling of supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 26(2), 23-42.
- Yang, F., Zhang, B. & Su, Z. (2013). Analysis and Verification of Bullwhip Effect based on System Dynamics. *Applied Mechanics and Materials*, 340 (7), 312-319.
- Yuan, X., Shen, L., & Ashayeri, J. (2010). Dynamic simulation assessment of collaboration strategies to manage demand in gap in high-tech product diffusion. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 26(6), 647-657.