Archive of SID

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۴ ـ زمستان ۱۳۹۵
ص‌ص ۳۶ – ۹

مدل‌سازی پویایی در زنجیره تأمین یک محصول جدید مبتنی بر رویکرد پویایی‌های سیستم

علی محقر*، سید حمید هاشمی پطرودی، حمیدرضا طلایی*****

چکیده

زنجیره‌های تأمین، شامل شبکه‌ای از سازمان‌ها و افراد درگیر در برآورده‌کردن نیاز مشتری هستند. افزایش پژوهش‌ها و علایق پژوهشگران و مدیران صنعتی در حوزه زنجیره تأمین، بررسی رفتار سیستم‌های شبکه زنجیره تأمین را ضروری کرده است. در این پژوهش سعی شده است، تأثیر متغیرهای مربوط به مقدار و عدم‌قطعیت تقاضا و همچنین عدم‌اطمینان شرکای زنجیره تأمین بر عملکرد زنجیره تأمین در یک زنجیره تأمین تولید تجهیزات پزشکی دوسطحی بررسی شود. شاخص میزان برآورده‌سازی تقاضای مشتری و اثر شلاق چرمی به‌عنوان دو شاخص عملکردی زنجیره تأمین بررسی شدند. برای تحلیل رفتار سیستم نسبت به تغییر متغیرهای عدم‌قطعیت، از پویایی‌های سیستم استفاده شده است که یکی از ابزارهای نیرومند برای تحلیل و درک رفتار عملیات در زنجیره‌های تأمین است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که افزایش مقدار تقاضا، عدم‌قطعیت تقاضا، عدم‌اطمینان سیستم تولیدی و توان تأمین‌کننده اثر زیادی بر تشدید اثر شلاق چرمی و کاهش میزان برآورده‌سازی تقاضای مشتری در طول زنجیره تأمین دارد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت زنجیره تأمین؛ پویایی‌های سیستم؛ اثر شلاق چرمی؛ توسعه محصول جدید.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۷/۱۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱/۲۸.

* استاد، دانشگاه تهران.

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

E-mail: s.hamidhashemi@ut.ac.ir

*** دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه تمایل بنگاه‌های اقتصادی به رقابت مبتنی بر زنجیره تأمین (SC)[1] تبدیل شده است. بر اساس تعریف انجمن حرفه‌ای‌های مدیریت زنجیره تأمین (CSCMP)[2]، زنجیره تأمین جریانی از مواد و اطلاعات در فرایندهای لجستیکی است که از مرحله دستیابی به مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی به مشتریان نهایی وجود دارد [۶]. چاپرا و میندل (۲۰۱۳)، نیز زنجیره تأمین را به‌صورت تمام اجزایی که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در برآورده‌کردن تقاضای یک مشتری درگیر هستند، تعریف کرده‌اند. در یک زنجیره تأمین، سه نوع جریان شامل جریان مواد[3]، اطلاعات[4] و منابع پولی[5] وجود دارد [۵]؛ درنتیجه، هدف زنجیره تأمین بهبود عملکرد کل شبکه از طریق مدیریت و کنترل کارا و اثربخش مجموعه‌ای از فعالیت‌های هماهنگ‌شده و همچنین سه جریان یادشده در طول شبکه زنجیره تأمین است .

توسعه محصول جدید (NPD)[6] و نوآوری مهم‌ترین اجزای توسعه اقتصادی و رشد و بقای شرکت‌ها محسوب می‌شود [۱۳]. توسعه محصولات موفق و نوآورانه به‌شدت به دلیل و منطق وجودی شرکت‌ها وابسته است. شرکت‌ها برای اینکه موفق باشند باید محصولات و خدماتی را انتخاب کنند که بتوانند از طریق آن برای خود مزیت رقابتی ایجاد کنند و خود را از رقبا متمایز سازند. هر فرایند NPD نیازمند مدیریت ریسک‌هایی است که زنجیره تأمین را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال، باید پیش‌بینی مناسبی از تقاضای بازار و سهم بازار احتمالی شرکت در دست داشت تا بتوان بر آن اساس برنامه تولید مناسبی را اجرا کرد؛ از طرفی، خرید مواد اولیه محصول جدید، سطح موجودی اطمینان محصول کامل شده و به‌طورکلی سطح موجودی‌های هر یک از اجزای زنجیره تأمین برای پاسخگویی به تقاضای مشتری همگی بخشی از تصمیم‌هایی است که در توسعه یک محصول جدید اتخاذ می‌شود.

هدف این پژوهش، مدل‌سازی پویایی‌های یک زنجیره تأمین تولیدی در راستای توسعه یک محصول جدید است. سطح پیچیدگی زنجیره تأمین نیز با فرض سه‌سطحی‌بودن[7] برای زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است تا بتوان عملکرد زنجیره را در شرایط مختلف عملیاتی سنجید و درنهایت رفتار پویای زنجیره تأمین را شناخت و بهبود داد. یکی از رویکردهای متداول شبیه‌سازی استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم (SD)[8] است [۱۴]؛ بدین منظور از رویکرد SD برای

1. Supply chain
2. Council of SC Management Professionals
3. Material
4. Information
5. Financial
6. New product development
7. Three echelon
8. System dynamics

www.SID.ir

Archive of SID

ساخت مدل و سنجش عملکرد سیستم استفاده شده است. SD کمک خواهد کرد تا بتوان دیدی کلی از سیستم داشت و به هم پیوستگی میان کارکرد[1]های مختلف و یا چرخه‌های[2] مختلف در یک زنجیره تأمین را به‌عنوان یک سیستم شناسایی کرد [۱۵]. توانایی فهم کل سیستم به همراه تحلیل تعامل میان اجزای متنوع یک سیستم یکپارچه و درنهایت پس‌خوراند[3]، بدون شکستن سیستم به اجزای آن، SD را به یک روش‌شناسی ایده‌آل برای مدل‌سازی شبکه‌های زنجیره تأمین تبدیل کرده است. ساختاری برای تحلیل کل زنجیره تأمین یک محصول جدید در قالب یک مدل SD در این پژوهش ارائه شده است و درنهایت سناریوهای مختلفی به‌منظور شناسایی رفتار پویای سیستم ارائه و تحلیل شده است. در این پژوهش سعی بر آن است تا با استفاده از ابزار مناسب SD سناریوهای مختلف شرایط آتی ورود این محصول به بازار موردسنجش قرار گیرد و اقدامات پیشگیرانه لازم برنامه‌ریزی شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

یکی از موضوع‌های حیاتی در زنجیره تأمین اثر شلاق چرمی یا اثر تقویت است. اثر شلاق چرمی[4] توصیف می‌کند که چطور افزایش سفارش‌ها و به‌تبع آن افزایش موجودی در یک زنجیره تأمین رخ می‌دهد و این افزایش موجودی‌ها با حرکت به سمت بالادستی زنجیره، بیشتر می‌شود. فارستر (۱۹۶۱)، این پدیده را بررسی کرد [۸]. وی رفتار پویای کنترل تولید در سیستم‌های صنعتی تولید و توزیع را بررسی کرد. سیستمی که او مطالعه کرد یک زنجیره تأمین ساده شامل یک خرده‌فروش، یک مرکز توزیع، یک انبار و یک مکان تولید بود. هر موجودیت فقط می‌توانست از اطلاعات موجود در محل خود برای سفارش‌گذاری استفاده کند. مورد دیگری که او به‌عنوان پیش‌فرض سیستم موردبررسی در نظر گرفت، تأخیرهای زمانی بود که بین مراحل مختلف زنجیره وجود داشت. فارستر (۱۹۶۱)، نشان داد که اثرات ۱۰ درصد افزایش در فروش خرده‌فروش بر سطوح سفارش و موجودی کل بازیگران زنجیره اثر بسیار شدیدی دارد. تلاش برای کمّی‌سازی اثر شلاق چرمی توسط تعدادی از پژوهشگران صورت گرفته است. چن و همکاران (۲۰۰۰)، اثر شلاق چرمی را نسبت واریانس تقاضا در دو مرحله متوالی زنجیره تأمین تعریف کرده‌اند. آن‌ها یک زنجیره تأمین K مرحله‌ای را با فرض زمان تأخیر مشخص و تقاضای احتمالی در نظر گرفتند و حد پایین اثر شلاق چرمی را تعریف و نشان دادند که اثر شلاق چرمی را نمی‌توان به‌طور کامل از زنجیره تأمین حذف کرد. فقیه و همکاران (۱۳۹۳) نیز با استفاده از مدل‌سازی روس SD زنجیره تأمین خدمات ارتباط ثابت ایران را بررسی کردند [۷]. آذر و

1. Function
2. Cycle
3. Feedback
4. Bullwhip effect

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از SD تعامل بین زنجیره صنعت و دانشگاه را موردبررسی قرار دادند و بر اساس سناریوهای مختلفی وضعیت ارتباط این دو در پرتو برنامه پنجم توسعه را تبیین کردند [۲].

در سال‌های اخیر شرکت‌ها بر نحوه ورود به بازار و برآورده‌سازی الزامات مشتریان از طریق بهبود ویژگی‌ها و فرایندهای محصول با هدف افزایش سهم بازار و سوددهی تمرکز کرده‌اند؛ بنابراین طراحی و توسعه محصول به موضوعی مهم و پرطرفدار در مبانی نظری تبدیل شده است [۴].

برای بقا در محیط کسب‌وکار فعلی، زنجیره‌های تأمین به‌منظور بهبود توسعه محصول خود بر حوزه‌های مختلفی تمرکز می‌کنند که ازجمله می‌توان به شناسایی نیازهای مشتریان برای توسعه پیوسته محصول جدید، بهبود کیفیت محصول و شتاب‌بخشیدن به فرایند تجاری‌سازی اشاره کرد. مبانی نظری مدیریت زنجیره تأمین نقش همکاری با تأمین‌کنندگان و خریداران در فرایندهای توسعه محصول جدید را به‌طور عمیق بررسی کرده است. برای مثال، توینگ (۲۰۰۷)، روابط میان تولیدکننده وسایل نقلیه و شش تأمین‌کننده کلیدی که به طراحی نهایی محصول منجر می‌شود را بررسی کرده است. همان‌طور که ذکر شد، شکل‌های متفاوتی از همکاری بین تأمین‌کنندگان و مشتریان در توسعه محصول جدید تجزیه‌وتحلیل شده است ازجمله: ایجاد نوآوری تأمین‌کننده [۹]؛ درگیری زودتر تأمین‌کنندگان درNPD [۱۰]؛ مشارکت و سرمایه‌گذاری تأمین‌کننده؛ یکپارچگی تأمین‌کننده؛ توسعه تأمین‌کننده و مشارکت مشتری.

کاربرد مدل‌سازی پویایی‌های سیستم در مدیریت زنجیره تأمین (SCM)[1] ریشه در پویایی‌های صنعتی دارد. نخستین کار انجام شده در مدل‌سازی SD مرتبط با SCM توسط فارستر (۱۹۵۸) است. امروزه کاربرد مدل‌سازی SD در مدیریت زنجیره تأمین در حوزه‌های مختلفی ازجمله مدیریت زنجیره تأمین سبز بین‌المللی، مدیریت موجودی سبز، طراحی زنجیره تأمین سبز، نوسانات تقاضا، پدیداری اطلاعات، تصمیم‌گیری در مدیریت موجودی، بازمهندسی زنجیره تأمین و رویکرد یکپارچه پویایی‌های سیستم مطرح شده است.

مینگیشی و تیِل (۲۰۰۰)، SD را بهبود درک بهتر از رفتار لجستیک پیچیده یک صنعت غذایی یکپارچه و جامع استفاده کردند. آن‌ها یک مدل کلی ارائه دادند؛ سپس نتایج شبیه‌سازی قابل‌استفاده کاربردی در زمینه محصولات و پردازش ماکیان را عرضه کردند. استرمن (۲۰۰۰)، یک مدل SD کلی از ساختار مدیریت انبار را معرفی کرد که برای توضیح‌دادن منابع نوسان، تقویت و تأخیر مشاهده‌شده در زنجیره تأمین استفاده می‌شود. حافظ و همکاران (۱۹۹۶)، تحلیل و مدل‌سازی یک زنجیره تأمین صنعتی دوسطحی مواجه شده در صنعت ساختمان را با استفاده از

1. Supply chain management

www.SID.ir

Archive of SID

یک ساختار پویایی سیستم جامع شرح دادند؛ به‌علاوه از نتایج شبیه‌سازی برای مقایسه استراتژی‌های مهندسی مجدد مختلف استفاده کردند.

در پژوهشی در صنعت گوشت، مدل SD به‌منظور ابزاری برای مصورکردن حرکات کل زنجیره استفاده شد. مدیران زنجیره‌های تأمین گوشت باید انتظار تغییرات و اختلالات زنجیره را پیش‌بینی و توانایی مدیریت مؤثر زنجیره را داشته باشند. ابزار مدل‌سازی پویای زنجیره، انسجام و یکپارچگی عوامل مهم در هر سطح زنجیره را فراهم می‌کند [۱۲].

پژوهش حاضر برخلاف پژوهش‌های پیشین بر شبیه‌سازی شرایط آتی زنجیره تأمین یک محصول جدید متمرکز شده است؛ ضمن اینکه از روش‌های سناریوسازی اوزبایراک نیز بهره گرفته شده است [۱۱]. این پژوهش شرایط آتی را در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی مدل‌سازی کرده است؛ درحالی‌که در گذشته اغلب شبیه‌سازی‌ها در یک زنجیره تأمین یک و دوسطحی انجام شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

زمانی که یک سیستم پیچیده است، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به‌دلایل متعددی مرجح بر سایر روش‌های حل است [۱]. زمان موردنیاز برای یافتن راه‌حلی برای یک مدل تحلیلی[1] ممکن است بیش‌ازحد طولانی شود و مدل‌ساز به این جمع‌بندی برسد که یک راه‌حل تحلیلی به دلیل دشواری‌های واضح ریاضیاتی به‌سختی به‌دست می‌آید؛ علاوه بر این، مدل‌ساز ممکن نیست بتواند جنبه‌های رفتاری سیستم موردبررسی را در قالب یک مدل تحلیلی فرمول‌بندی کند. در مقابل، مدل‌سازی شبیه‌سازی می‌تواند به‌طور مجازی هر سیستمی را با لحاظ مجموعه‌ای از مفروضات در نظر بگیرد. دلیل اساسی آن است که شبیه‌سازی برای مدل‌سازی پیچیدگی مناسب است؛ درحالی‌که مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند مدل‌های پیچیده‌تری را با لحاظ سایر بازیگران زنجیره تأمین نیز مدل‌سازی کند. درنظرگرفتن همه پیچیدگی‌ها می‌تواند مفاهیم اصلی موردنظر در این پژوهش را پنهان کند.

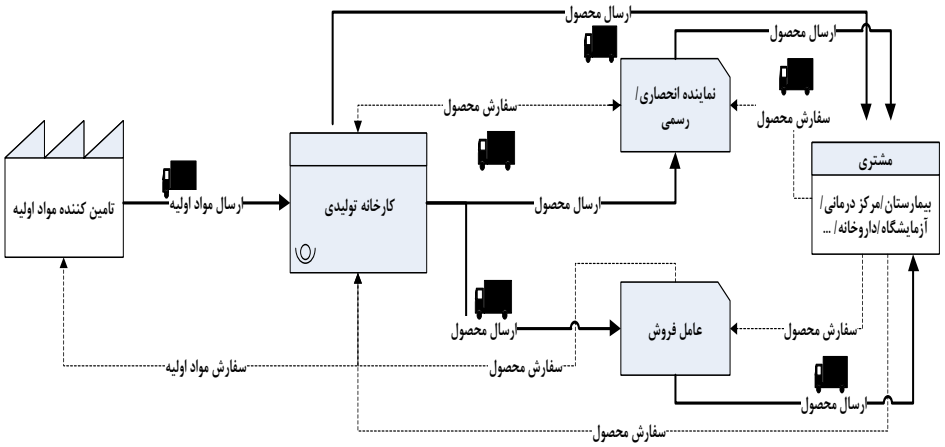
توصیف مدل زنجیره تأمین. زنجیره تأمینی که در این مقاله به آن اشاره شده است، مربوط به یک سیستم ترکیبی ساخت برای سفارش (MTO)[2] و ساخت برای انبار (MTS)[3] است. مدل زنجیره تأمین در این مقاله سه‌سطحی است. یک سطح مربوط به تولیدکننده، یک سطح مربوط به تأمین‌کننده و یک سطح مربوط به نمایندگان فروش (توزیع‌کننده) است و پویایی‌های سیستم

1. Analytical model
2. Make to order
3. Make to stock

www.SID.ir

Archive of SID

در سطح عملیاتی[1] بررسی شده است. تقاضا در سطح توزیع‌کنندگان بر اساس پیش‌بینی تقاضای یک‌ساله که به روش هموارسازی نمایی[2] هموار شده، در نظر گرفته شده است؛ درحالی‌که تقاضای مربوط به تولیدکننده بر اساس سفارش‌های بازپرسازی[3] نمایندگان فروش و سفارش‌های خرید به تأمین‌کننده نیز بر اساس تقاضای تولیدکننده مشخص می‌شود. شکل ۱، ساختار عمومی زنجیره تأمین محصولات تجهیزات پزشکی در ایران را نمایان می‌سازد. در این پژوهش یکی از محصولاتی که اخیراً توسط یکی از شرکت های تولیدی تجهیزات پزشکی یکبار مصرف توسعه یافته است به نام «لوله خلأ خون‌گیری (BCT)[4] » در نظر گرفته شده است؛ ضمن اینکه BCTها انواع مختلفی دارند که در این پژوهش یک نوع خاص آن لحاظ شده است؛ از طرفی از منظر تأمین نوع خاصی از مواد اولیه که ژل[5] است در نظر گرفته شده است. با توجه به محرمانه‌بودن اطلاعات موردنظر، داده های ممکن در این پژوهش ارائه شده است.



شکل ۱. ساختار عمومی زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی در ایران

مدل حاضر، جریان مواد و اطلاعات را نشان می‌کند. جریان مالی به‌منظور جلوگیری از پیچیدگی مدل در نظر گرفته نشده است. زمان شبیه‌سازی، یک سال در نظر گرفته شده بود و نرم‌افزار VENSIM به کار رفت. نمودار جریان و انباشت (SFD)[6] سیستم تولیدی می‌تواند

1. Operational level
2. Exponential smoothing method
3. Replenishment orders
4. Blood collection tube
5. Gel
6. Stock and Flow Diagram

www.SID.ir

Archive of SID

به‌منظور شبیه‌سازی پویایی سیستم تولیدی به‌کار گرفته شود. SFD به‌کارگرفته‌شده این پژوهش، در شکل ۲ آورده شده است. نمودار شکل ۲، متغیرهای مورداستفاده در مدل‌سازی سیستم و روابط میان آن‌ها را نشان می‌دهد. این روابط به‌منظور برقراری معادلات ریاضی برای انجام شبیه‌سازی‌های مختلف و تحلیل رفتار پویای سیستم تعریف شده‌اند. مستطیل‌ها در شکل ۲، نمایانگر متغیرهای سطح[1] یا انباشت و شیرها[2] نشان‌دهنده متغیرهای جریانی هستند که در افزایش یا کاهش متغیرهای سطح نقش ایفا می‌کنند. جریان فیزیکی مواد از طریق کمان‌های دو خط و جریان اطلاعات با کمان‌های تک خط نشان داده شده‌اند. متغیرهای کمکی[3] نیز در شکل ۲ با حروف بزرگ نمایش داده شده‌اند. بازه زمانی[4] نیز باتوجه به پیشنهاد استرمن برابر کوچک‌ترین بازه زمانی در مدل، برابر ۰/۰۵ ماه در نظر گرفته شده است. فرض‌های مدل SD این پژوهش عبارت‌اند از:

ـ نمایندگان فروش اگر پاسخگوی تقاضایی به‌طور کامل نباشند، تقاضا از بین نمی‌رود و به‌صورت سفارش‌های پاسخ‌داده‌نشده[5] برای ارسال در دوره ارسال بعدی در نظر گرفته می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر امکان برآورده‌کردن ناکامل تقاضا از سوی نمایندگان وجود دارد؛

ـ با توجه به اینکه محصول جدید بوده است، بر اساس تجربه‌های پیشین و پژوهش بازاری که انجام شده بود، تخمین تقاضای یک‌ساله ولی به‌طور ماهانه از خرداد ۱۳۹۴ تا خرداد ۱۳۹۵ برای محصول جدید در نظر گرفته شده است؛

ـ علی‌رغم اینکه امکان برآورده‌کردن ناکامل تقاضا توسط نمایندگان وجود دارد؛ بااین‌حال رضایت مشتریان نیز بر اساس نسبت برآورده‌شدن تقاضا اندازه‌گیری می‌شود؛

ـ زمانی که سفارش‌های بازپرسازی نمایندگان برای تولیدکننده ارسال می‌شود، با کمی تأخیر، سفارش‌های رسیده از کل نمایندگان تجمیع می‌شود و بر اساس سفارش‌های تجمیع‌شده و مقداری موجودی اطمینان موردنظر واحد فروش شرکت تولیدی، سفارش تولید بارگزاری می‌شود؛

ـ برای ارسال کالا به نمایندگان، زمان تأخیر حمل‌ونقل لحاظ شده است؛

ـ برای تولید طبق سفارش واحد فروش، زمان تأخیری برای تولید کل سفارش موردنظر وجود دارد؛

ـ برای دریافت مواد اولیه از تأمین‌کننده از زمان ارسال سفارش تا زمان دریافت آن زمانی به‌عنوان تأخیر وجود دارد؛

1. Level variable
2. Valves
3. Auxiliary variable
4. Time step
5. Backlogged orders

www.SID.ir

Archive of SID

ـ نمایندگان فروش مقداری موجودی اطمینان (SS)[1] به‌منظور مواجهه با سفارش‌های غیرپیش‌بینی‌شده نگهداری می‌کنند؛
ـ با توجه به جدیدبودن محصول، هنوز ظرفیت تولید واقعی به ظرفیت تولید اسمی نزدیک نشده است و بر اساس منحنی یادگیری‌ای که درخصوص خطوط تولید مشابه از قبل به‌دست‌آمده است و فشاری که از سوی واحد بازرگانی برای برآورده‌کردن سفارش‌ها صورت می‌گیرد، ظرفیت تولید با گذشت زمان افزایش می‌یابد؛
ـ با توجه به سیاست مدیریت مجموعه، در هر ماه تحت هر شرایطی یک میزان حداقل از محصول جدید به‌منظور یادگیری و تولید دانش فنی و همچنین جلوگیری از بیکاری کارکنان تولید می‌شود.

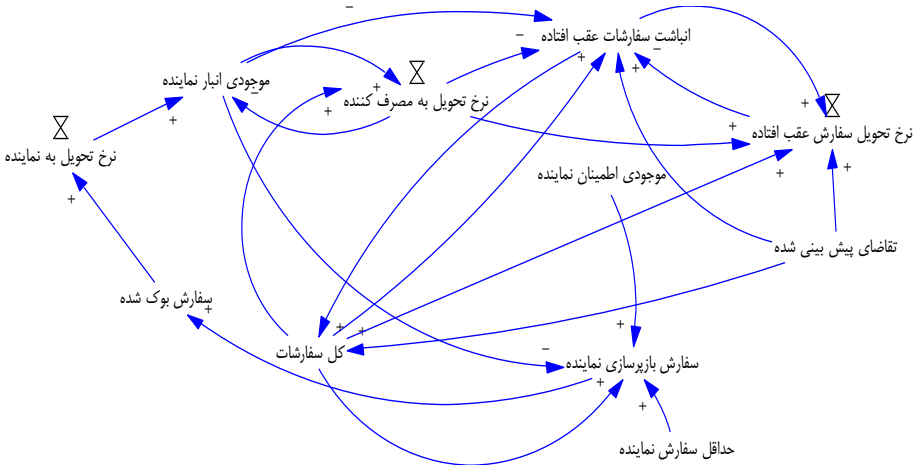
نمودار علّی معلولی. به‌ندرت اتفاق می‌افتد که متغیرهای یک سیستم برهم اثرگذار نباشند؛ بنابراین مفید است که قبل از ترسیم نمودار انباشت و جریان (SFD) حلقه‌های اصلی مدل و نمودار علّی معلولی (CLD[2]) تشریح شوند؛ بدین منظور، سه حلقه اصلی شامل حلقه توزیع‌کننده، حلقه تولیدکننده و حلقه تأمین بررسی شده‌اند. نوع اثر میان متغیرها در بخش توزیع‌کنندگان (مثبت یا منفی) نیز روی شکل ۲، نشان داده شده است. در قسمت توزیع‌کننده ۹ حلقه (۵ حلقه مثبت و ۴ حلقه منفی) وجود دارد که درنهایت تعامل میان این ۹ حلقه، یک حلقه مثبت به وجود می‌آورد.

یکی از حلقه‌های اصلی CLD توزیع‌کنندگان مربوط به حلقه منفی شامل سفارش بازپرسازی نماینده، سفارش تایید شده، نرخ تحویل به نماینده و موجودی انبار نماینده است. زمانی که نمایندگان سفارش خود را اعلام می‌کنند، مقادیر سفارش تایید شده در واحد فروش مشخص می‌شود؛ سپس بر اساس روش MTO ساخت صورت گرفته و نرخ تحویل به نماینده بر اساس موجودی موردنظر و توان تولید مشخص می‌شود. در مرحله بعدی موجودی نمایندگان پر می‌شود و مقدار موجودی نمایندگان بر مقدار سفارش جدید آن‌ها نیز اثرگذار خواهد بود؛ در نتیجه هرچه نمایندگان سفارش بیشتری می‌دهند، در دفعات بعدی سیکل سفارش خود (با فرض مشخص بودن تقاضا) با توجه به حجم بالاتری از موجودی، سفارش کمتری را ارائه خواهند داد.

1. Safety stock
2. Casual loop diagram

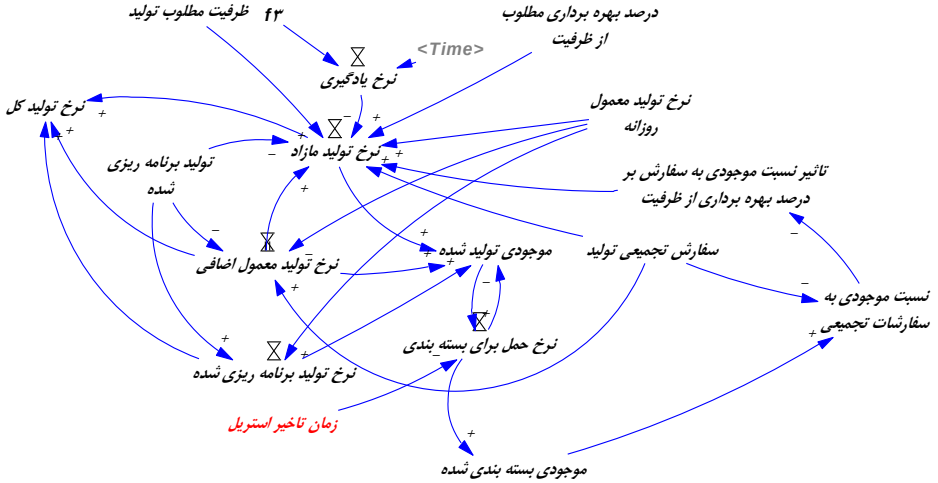
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نمودار علی معلولی توزیع‌کنندگان

حلقه مربوط به تولیدکننده نیز در شکل ۳، آورده شده است و مثبت و منفی بودن روابط نیز تعیین شده است. یکی از حلقه‌های اصلی بخش تولیدکننده، حلقه شامل نسبت موجودی به سفارش‌های تجمیعی، تأثیر نسبت موجودی به سفارش بر درصد بهره‌برداری از ظرفیت، نرخ تولید مازاد، نرخ تولید معمول اضافی، موجودی تولیدشده، نرخ حمل برای بسته‌بندی و موجودی بسته‌بندی شده است که یک حلقه منفی است. این حلقه نشان می‌دهد که هر چه مقدار موجودی فعلی نسبت به تقاضا یا سفارش واقعی بیشتر باشد نیاز به تولید کمتر خواهد شد و برعکس.

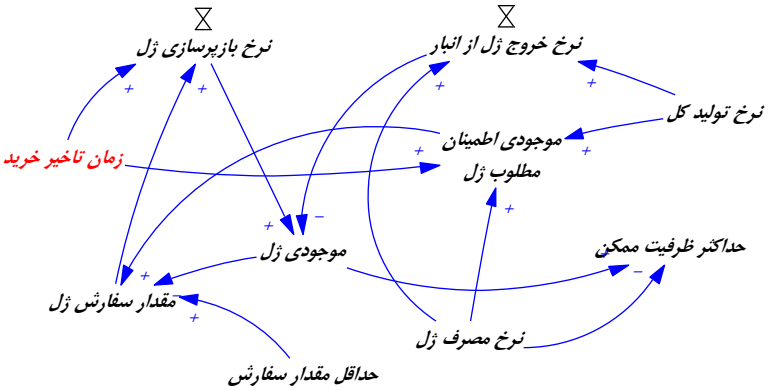


شکل ۳. نمودار علّی معلولی تولیدکنندگان

www.SID.ir

Archive of SID

حلقه مربوط به تأمین‌کننده نیز به همراه روابط مثبت و منفی در شکل ۴، مشخص است. در این بخش نیز یک حلقه اصلی شامل مجودی ژل، مقدار سفارش ژل و نرخ بازپرسازی ژل است. این حلقه منفی به‌طور خلاصه نشان می‌دهد که هرچه موجودی ژل بیشتر باشد، مقدار سفارش موردنیاز ژل کمتر است و هرچقدر مقدار سفارش کمتر باشد، نرخ بازپرسازی موجودی نیز کاهش می‌یابد و برعکس.



شکل ۴. نمودار علّی معلولی تأمین‌کننده

متغیرهای مدل. در مدل‌های SD، متغیرهای انباشت تجمیع یا انتگرال متغیرهای جریان است؛ خالص جریان در انباشت درواقع همان نرخ تغییر متغیر انباشت است. این نوع ساختار از طریق رابطه ۱ و معادله انتگرال نشان داده می‌شود:

$$stock(t) = \int_{t_0}^{t} [inflow(s) - outflow(s)]\, ds + stock(t_0) \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، $inflow(s)$ نشان‌دهنده ارزش نرخ ورودی در هر زمانی مانند s بین زمان اولیه (t_0) و زمان فعلی (t) است. متغیرهای انباشتی که در این مدل استفاده شده‌اند به همراه روابط ریاضی هر یک در ادامه آمده است:

ـ سفارش‌های عقب‌افتاده نمایندگان (DBO)[1]: اگر موجودی انبار نمایندگان بیشتر از مقدار سفارش‌های دریافتی آن‌ها باشد، سفارشی بی‌پاسخ نمی‌ماند؛ ولی اگر موجودی نمایندگان کمتر از مقدار سفارش دریافتی آن‌ها باشد، خود دو حالت دارد: اگر نرخ تحویل کالا به مشتریان کمتر از تقاضای پیش‌بینی‌شده باشد، تقاضای پیش‌بینی‌شده منهای نرخ تحویل کالا به مشتری (آن مقدار

1. Dealers backlogged orders

www.SID.ir

Archive of SID

از تقاضا که پاسخ داده نشده) به‌عنوان سفارش عقب‌افتاده انباشت می‌شود و درصورتی‌که نرخ تحویل کالا به مشتری بیشتر از تقاضای آن‌ها باشد، بدیهی است که مقدار سفارش عقب‌افتاده وجود نخواهد داشت؛ همچنین همواره نرخ تحویل سفارش‌های عقب‌افتاده نیز باید از این مقدار کسر شود تا مقدار خالص انباشت سفارش‌های عقب‌افتاده به‌دست آید؛ درنتیجه، رابطه ریاضی این متغیر انباشت به‌صورت زیر تعریف شده است. در نرم‌افزار VENSIM برای بیان عبارات شرطی دوحالته از فرمول IF THEN ELSE استفاده می‌شود.

Dealers backlogged orders =IF THEN ELSE (dealers inventory>=Total orders, 0, IF THEN ELSE (delivery rate to consumers<forecasted Demand, forecasted Demand– delivery rate to consumers, 0))-backlogged orders delivery rate (۲)

ـ موجودی نمایندگان (DI)[1]: موجودی نمایندگان خالص جریان ورودی کالا به انبار نمایندگان است، یعنی کل ورودی کالا منهای خروجی کالا از انبار:

Dealers inventory= delivery rate to dealer-delivery rate to consumers (۳)

ـ موجودی تولیدشده (MI)[2]: با توجه به اینکه مقدار تولیدشده با کمی تأخیر وارد انبار می‌شود که به میزان زمان موردنیاز برای تولید است، رابطه ریاضی زیر تعریف شده است. برای درنظرگرفتن تأخیر از تابع DELAY FIXED در نرم‌افزار VENSIM برای نرخ‌های تولید استفاده شده است. با توجه به اینکه موجودی یک متغیر انباشت است، جریان ورودی آن نرخ تولید در شرایط معمولی و نرخ تولید اضافه است و جریان خروجی انبار برای بسته‌بندی به‌عنوان نرخ خروجی نیز در نظر گرفته شده است.

Manufactured inventory= planned production rate +production rate+ surplus production rate-shipment rate for packaging (۴)

1. Dealers inventory
2. Manufactured inventory

www.SID.ir

Archive of SID

ـ موجودی بسته‌بندی‌شده (PI)[1]: موجودی بسته‌بندی‌شده بر اساس نرخ ورودی محصولات استریل‌شده و نرخ خروجی کالاهای ارسال‌شده برای نمایندگان محاسبه می‌شود. رابطه ریاضی آن نیز به‌صورت رابطه ۵ است:

Packed inventory=shipment rate to packing-delivery rate to dealer (۵)

ـ موجودی مواد اولیه (ژل) (GI)[2]: موجودی ژل نیز بر اساس نرخ ورودی بازپرسازی موجودی و نرخ خروجی ژل که برای تولید مصرف می‌شود، محاسبه می‌گردد. رابطه ریاضی آن به صورت زیر است:

Gel inventory=replenishment rate-outflow rate (۶)

با توجه به اینکه، محصول جدید است در خصوص تقاضای آن داده‌های تاریخی وجود ندارد و بر اساس کل اندازه بازار، سهم بازار پیش‌بینی‌شده و نوسانات فصلی تقاضای واقعی برآورد شده است؛ همچنین، از تابع Random Normal برای مدل‌سازی رفتار عمومی تقاضا استفاده شده است.

در این سیستم، تقاضا ورودی کل سیستم خواهد بود و محرک[3] رفتار کل سیستم محسوب می‌شود. در مدل پیشنهادی فرض شده است، تقاضاهایی که امکان پاسخگویی به آن وجود ندارد، به‌عنوان سفارش‌های عقب‌افتاده در سیستم ذخیره و در دفعات بعدی ارسال می‌شوند. انعکاس این دیدگاه، در رابطه ۱ آمده است. تقاضاهای اعلام‌شده و سفارش‌های عقب‌افتاده، کل سفارش‌ها (TO)[4] را تشکیل می‌دهند. ضمن اینکه تقاضای پیش‌بینی‌شده در نرخ تحویل سفارش‌های عقب‌افتاده و همچنین کل سفارش‌های عقب‌افتاده نیز اثرگذار است؛ به‌نحوی‌که نرخ تحویل سفارش‌های عقب‌افتاده (BODR)[5] به‌صورت رابطه ریاضی ۷ تعریف شده است:

Backlogged orders delivery rate = IF THEN ELSE (delivery rate to consumers<=Total orders, dealers backlogged orders, IF THEN ELSE (delivery rate to consumers>forecasted Demand, delivery rate to consumers-forecasted Demand, 0)) (۷)

1. Packed inventory
2. Gel Inventory
3. Driver
4. Total Orders
5. Backlogged Orders Delivery Rate

www.SID.ir

Archive of SID

از تابع IF THEN ELSE در ساخت رابطه ریاضی استفاده شده است. به‌طور خلاصه، اگر نرخ تحویل محصول کمتر از کل سفارش باشد؛ یعنی امکان ارسال سفارش‌های عقب‌افتاده وجود دارد؛ در غیر این صورت اگر نرخ تحویل محصول به مصرف‌کنندگان بیشتر از تقاضا باشد، مقدار نرخ تحویل سفارش عقب‌افتاده می‌تواند برابر مازاد نرخ تحویل محصول به مشتری و تقاضای پیش‌بینی‌شده باشد؛ در غیر این صورت نیز امکان ارسال سفارش عقب‌افتاده وجود ندارد.

در قسمت نمایندگان، یک متغیر بسیار مهم به نام سفارش بازپرسازی نمایندگان (DRO[1]) وجود دارد. این متغیر خود تابعی از موجودی اطمینان نماینده، حداقل مقدار سفارش نماینده (بر اساس سیاست شرکت تولیدکننده مشخص شده است)، موجودی انبار نماینده و کل سفارش محاسبه می‌شود. رابطه ریاضی ۸، آن را تشریح می‌کند:

Dealers replenishment order= IF THEN ELSE (dealers inventory<Total orders, MAX (Total orders-dealers inventory + DEALER SAFETY STOCK, DEALERS MINIMUM ORDER), MAX ((Total orders+ DEALER SAFETY STOCK), DEALERS MINIMUM ORDER)) (۸)

مقدار سفارش بازپرسازی بر اساس یک تابع شرطی ساخته شده است. این شیوه سفارش‌گذاری پس از مصاحبه‌های انجام‌شده با نمایندگان لحاظ شده است.

در قسمت نمایندگان، کل سفارش‌های دریافت و موجودی نمایندگان، نرخ تحویل به مصرف‌کنندگان[2] را مشخص می‌کند. این نرخ از نظر ریاضی به‌صورت رابطه ۹ تعریف شده است:

Delivery rate to consumers=IF THEN ELSE (dealers inventory>Total orders, Total orders, dealers inventory) (۹)

قسمت بعدی این زنجیره تأمین، جریان‌های مواد و اطلاعات شرکت تولیدکننده است. بر اساس سفارش بازپرسازی نماینده و زمان موردنیاز برای جمع‌بندی و مدیریت سفارش‌ها (THDO)[3]، مقدار سفارش‌های نهایی شده (BDO)[4] به‌دست می‌آید. برای جلوگیری از طولانی شدن متن مقاله، از ارائه روابط ریاضی برای برخی از متغیرهای جریان، کمکی و ثابت امتناع و به روابط ریاضی متغیرهای نرخ پرداخته می‌شود[5].

1. Dealers Replenishment Order
2. Delivery Rate to Consumers
3. Time to Handle Dealers' Order
4. Booked Dealers' Order

۵. علاقه‌مندان می‌توانند از طریق مکاتبه با نویسندگان، اطلاعات مربوط به روابط ریاضی مدل را دریافت کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

در شرکت تولیدی، چند متغیر جریان به نام‌های نرخ تولید معمولی اضافی (SRPR)[۱]، نرخ تولید مازاد ظرفیت (SPR)[۲]، نرخ تولید برنامه‌ریزی‌شده (PPR)[۳] نرخ حمل برای استریل (SRS)[۴]، نرخ حمل برای بسته‌بندی (SRP)[۵]، نرخ یادگیری (LR)[۶]، نرخ خروج ژل (GOR)[۷] و نرخ بازپرسازی ژل (GRR)[۸].

PPR به اندازه ۸۰۰۰۰ عدد در ماه برنامه‌ریزی شده است. در معادله SRPR، سفارش تولید، بر اساس سفارش تجمیعی تولید (APO[۹]) که توسط واحد فروش مشخص می‌شود، ظرفیت اولیه تولید (IPC)[۱۰] و PPR به‌دست می‌آید. PPR به مقدار ۸۰۰۰۰ عدد در ماه تعیین شده است که ناشی از سیاست‌های حفظ و نگهداری نیروی انسانی و اکتساب دانش فنی تولید در شرکت تولیدکننده است؛ بنابراین اگر در یکی از ماه‌ها سفارش‌هایی حتی کمتر از ۸۰۰۰۰ عدد توسط نمایندگان دریافت شود، تولید به میزان ۸۰۰۰۰ عدد خواهد بود. IPC نیز به مقدار تولید معمول مطلوب (DRP)[۱۱] در نظر گرفته شده است که ۱۳۰۰۰۰ عدد در ماه است؛ البته درصورتی‌که موجودی مواد اولیه (ژل) امکان تولید کمتری را فراهم کند، این ظرفیت بر اساس حداکثر امکان تولید (MPC)[۱۲] بر اساس مواد اولیه تعدیل میشود. SPR نیز در صورتی فعال می‌شود که تقاضا از نرخ تولید معمولی پیشی بگیرد. رابطه ریاضی SPR به‌دلیل حجم بالا حذف شده است.

در این معادله نرخ تولید مازاد بر اساس متغیرهای مختلفی به‌دست می‌آید. سه متغیر جدید در این رابطه ریاضی وجود دارد. متغیر زمان موردنیاز برای تعدیل ظرفیت اضافی (TASC)[۱۳] برابر ۲/۵ روز در نظر گرفته شده است. متغیر بعدی درصد بهره‌برداری مطلوب از ظرفیت (DUC)[۱۴] است که معادل ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است. تأثیر نرخ نسبت موجودی به سفارش بر بهره‌برداری از ظرفیت (EIOCU)[۱۵] و LO نیز بر کوتاه‌شدن زمان دستیابی به تولید مازاد اثرگذار است. زمانی که مقدار سفارش‌ها نسبت به موجودی بیشتر شود، واحد فروش برای دستیابی به ظرفیت بیشتر بر واحد تولید فشار وارد می‌کند. این فشار، به کوتاه‌ترشدن زمان دستیابی به نرخ تولید اضافی منجر می‌شود. متغیر EIOCU بر اساس تابع جدول محاسبه می‌شود. LO نیز

1. Surplus Regular Production Rate
2. Surplus Production Rate
3. Planned Production Rate
4. Shipment Rate for Sterile
5. Shipment Rate for Packaging
6. Learning Rate
7. Gel Outflow Rate
8. Gel Replenishment Rate
9. Aggregate Production Orders
10. Initial Production Capacity
11. Desired Regular Production
12. Maximum Possible Capacity
13. Time to Adjust Surplus Capacity
14. Desired Utilization% of Capacity
15. Effect of Inventory/Order on Capacity Utilization

www.SID.ir

Archive of SID

ضریبی بین صفر و یک است که در طول زمان کاهش می‌یابد و در کمترین مقدار به ۰/۶۲می‌رسد.

بر اساس نرخ کل تولید (TPO)[1] مقدار مواد اولیه موردنیاز به‌دست می‌آید. اگر موجودی ژل ناکافی باشد بر اساس رابطه ۱۰، مقدار سفارش ژل (GOQ)[2] محاسبه می‌شود:

Gel order quantity= IF THEN ELSE (Gel inventory<Gel desired safety stock, MINIMUM ORDER QUANTITY, IF THEN ELSE (Gel inventory-Gel desired safety stock>MINIMUM ORDER QUANTITY, 0, MINIMUM ORDER QUANTITY)) (۱۰)

با توجه به هزینه‌های سفارش دهی و انبارداری و الزام تأمین‌کننده، حداقل مقدار سفارش برای ژل معادل ۵۰۰ کیلو در نظر گرفته شده است. موجودی اطمینان مطلوب ژل (GDSS)[3] بر اساس رابطه ۱۱ به دست می‌آید

*Gel desired safety stock= GEL CONSUMPTION RATE*PURCHASING LEAD TIME*total production rate* (۱۱)

متغیرهای تأخیر اطلاعات (ID)[4]. در واقعیت، به‌دلیل کمبود تسهیلات ارتباطی و برخی مسائل انسانی همواره تأخیر اطلاعات وجود دارد؛ بااین‌حال، در طی زمان با افزایش سرمایه‌گذاری روی فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی (ICT)[5] و ارتقای سطح هماهنگی میان بازیگران زنجیره تأمین، ID کاهش می‌یابد. افزایش در زمان تأخیر، به ایجاد نوسان در سطوح موجودی در مراحل مختلف زنجیره تأمین منجر می‌شود. در این مقاله، زمان‌های تأخیر مقدار ثابت در نظر گرفته شده‌اند و از تابع Delay Fixed استفاده شده است. متغیرهای تأخیری که در مدل این پژوهش به‌کار رفته‌اند، عبارت‌اند از:

- زمان حمل‌ونقل محصول برای نمایندگان؛
- زمان مدیریت سفارش‌های دریافتی از نمایندگان؛
- زمان تجمیع‌کردن سفارش‌های دریافتی از نمایندگان؛
- زمان استریل‌شدن محصولات؛

1. Total Production Order
2. Gel Order Quantity
3. Gel Desired Safety Stock
4. Information Delay
5. Information and Communication Technology

www.SID.ir

Archive of SID

ـ زمان تعدیل ظرفیت تولید اضافی؛
ـ فاصله زمان بین سفارش و تحویل مواد اولیه؛
ـ زمان موردنیاز برای تولید محصول با ظرفیت بالاتر (زمان موردنیاز یادگیری).

اعتبارسنجی مدل. قبل از ارائه هر گونه تحلیل، از چندین آزمون برای اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده استفاده شده است. بر اساس پیشنهاد بارلاس (۱۹۹۶)، در این پژوهش از آزمون‌هایی ازجمله روش تحلیل حساسیت برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد؛ در واقع الگوهای تغییر رفتار متغیرهای اصلی بر اساس تغییر پارامترهای مدل موردبررسی قرار گرفت. به پیشنهاد فارستر (۱۹۶۱) از آزمون حدی مدل و نظر خبرگان نیز برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. با توجه به جدیدبودن محصول و نبود داده‌های تاریخی برای آن نمی‌شد از داده‌های تاریخی به‌منظور آزمون مدل استفاده کرد [۳]. درخصوص آزمون مناسب‌بودن مفاهیم[1] [۱۴] استفاده‌شده و برازش مدل ساخته‌شده نیز از نظر خبرگان استفاده شد که مدل را تأیید کردند. به‌منظور استخراج حساسیت مدل به پارامترها سعی شد حساسیت مدل نسبت به تغییر مقادیر ورودی متغیرهای اصلی مدل در نظر گرفته شود. مشاهده شد که متغیرهای تقاضا، موجودی نماینده و موجودی تولیدشده به‌ترتیب بیشتری اثر را بر نرخ تحویل داشته‌اند. پس از آزمون‌های انجام‌شده، به نظر می‌رسد که مدل رفتار منطقی‌ای از سیستم را نمایان می‌سازد و از اعتبار مناسبی برخوردار است.

شرایط اولیه و عملکرد سیستم. در این پژوهش عملکرد سیستم با دو عامل اثر شلاق چرمی (BA)[2] و نرخ برآورده‌سازی تقاضای مشتریان (CDFR)[3] مشخص شده است. در ادامه به معرفی هر یک از این دو شاخص پرداخته می‌شود.

پژوهشگران بسیاری از نسبت واریانس به‌عنوان سنجه اثر شلاق چرمی استفاده کرده‌اند. یکی از روش‌های موردقبول برای محاسبه اثر شلاق چرمی، محاسبه انحراف معیار است. اثر شلاق چرمی، به‌طور خلاصه بیان می‌کند که با تغییر در تقاضا در زنجیره تأمین پایین‌دستی، تقاضا در زنجیره تأمین بالادستی چقدر تغییر می‌کند. نخستین بار، فارستر (۱۹۵۸) با استفاده از SD توانست وجود اثر شلاق چرمی را نمایان سازد. پس از وی، استرمن (۱۹۸۲)، به دلایل وقوع این اثر پرداخت. چن و همکاران (۲۰۰۰)، جزو نخستین پژوهشگرانی بودند که روشی برای اندازه‌گیری اثر شلاق چرمی پیشنهاد کردند. آن‌ها پیشنهاد کردند که از نسبت واریانس بین جریان‌های ورودی و خروجی در هر فعالیت در زنجیره تأمین (درصورتی‌که فقط همان یک مرحله

1. Suitability of concepts
2. Bullwhip Effect
3. Customers Demand Fill Rate

www.SID.ir

Archive of SID

در زنجیره تأمین وجود داشته باشد) می‌توان به‌عنوان شاخص اثر شلاق چرمی استفاده کرد. در این پژوهش از محاسبه انحراف معیار سه متغیر جریان نرخ تحویل به مصرف‌کنندگان (DRC) و نرخ تحویل به نماینده (DRD) و نرخ کل تولید (TPR)[1] برای محاسبه BE استفاده شد. مربع تغییرات DRC و DRD و مربع تغییرات DRC و DRD به‌طور جداگانه با متغیر حالت Devsquare محاسبه شدند. مجموع مربع تغییرات نیز در یک متغیر حالت به نام tdsq محاسبه شده است؛ سپس انحراف معیار هریک از دو tdsq با یک متغیر کمکی به نام std اندازه‌گیری شده است. درنهایت نیز اثر شلاق چرمی بر اساس نسبت دو std محاسبه می‌شود. کلیه این روابط، به همراه محاسبه اثر شلاق چرمی در روابط ۱۲– ۱۹ آمده است.

$$Devsquare1 = (DRD-TPR)^2 \quad (۱۲)$$

$$Devsquare2 = (DRC-DRD)^2 \quad (۱۳)$$

$$tdsq1 = \sum devsquare1 \quad (۱۴)$$

$$tdsq2 = \sum devsquare2 \quad (۱۵)$$

$$std1 = \sqrt{\frac{tdsq1}{DT}} \quad (۱۶)$$

$$std2 = \sqrt{\frac{tdsq2}{DT}} \quad (۱۷)$$

$$std1 = \sqrt{\frac{tdsq1}{DT}} \quad (۱۸)$$

$$bullwhip\ effect = \frac{std1}{std2} \quad (۱۹)$$

شاخص دیگری که در تحلیل نتایج موردنظر قرار گرفته است، شاخص برآورده‌سازی تقاضای مشتریان (CDFR) است. این شاخص بر اساس نسبت نرخ تحویل محصول به مصرف‌کنندگان (DRC) به کل سفارش (TO) محاسبه می‌شود.

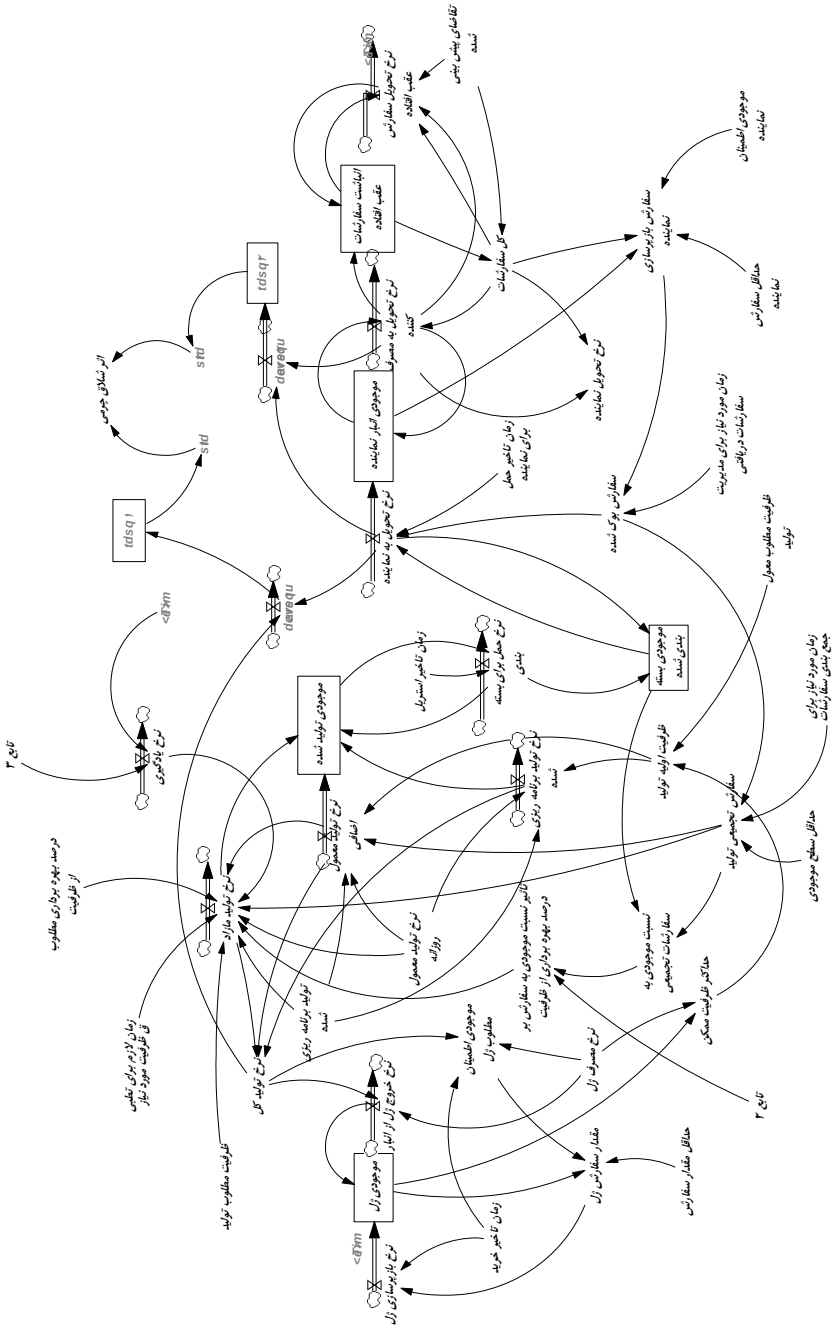
سیستم معرفی‌شده ابتدا در شرایط معمولی شبیه‌سازی شد که در آن تقاضای مشتری به‌صورت یک تابع نرمال پیش‌بینی شده بود. زمان موردنیاز برای تولید نیز به‌صورت ثابت در نظر گرفته شده بود. نتایجی که از مدل اولیه به‌دست آمد، به‌عنوان مبنای مقایسه عملکرد سیستم در

1. Total Production Rate

www.SID.ir

Archive of SID

سناریوهای ساخته‌شده مدنظر قرار گرفت؛ به همین منظور، وضعیت شاخص‌های عملکردی در هر سناریو نسبت به سناریو اولیه و شرایط معمولی نمایش داده شده‌اند (شکل ۵).



شکل ۵. SFD سیستم تولیدی موردمطالعه

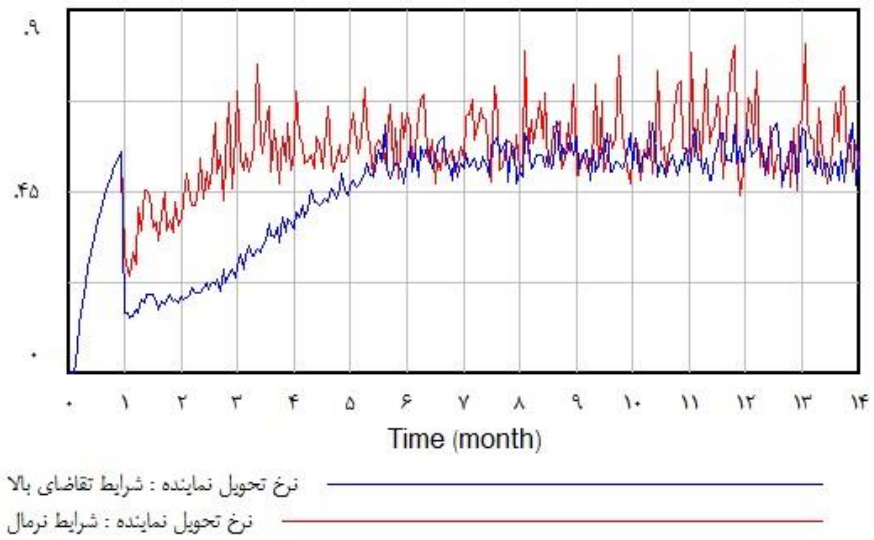
www.SID.ir

Archive of SID

سناریوسازی. با توجه به اینکه تقاضا یکی از مهم‌ترین تصمیم‌های اثرگذار بر عملکرد زنجیره است، چهار سناریو از هشت سناریو متمرکز بر تقاضای مشتری است. دو سناریوی اول اثر کاهش/افزایش تقاضا و دو سناریوی دوم اثر کاهش/افزایش تغییرپذیری تقاضا بر عملکرد سیستم را می‌سنجد. سطح تقاضا در دو سناریوی اول با تغییر میانگین، حد پایین و حد بالای تابع نرمال، در دو سناریوی دوم با تغییر انحراف معیار تابع نرمال دستکاری شده است. سناریوی پنجم مربوط به خرابی ماشین‌آلات تولیدی است. در سناریوی شش عدم‌اطمینان به زمان تحویل تأمین‌کننده در نظر گرفته شده است.

نتایج آزمایش‌ها

سناریو ۱: تقاضای بالا. در این سناریو، تقاضای محصول به اندازه ۵۰ درصد افزایش یافته و تأثیر آن بر CDFR و BE بررسی شده است. در شکل ۶، وضعیت CDFR مشاهده می‌شود. طبق این نمودار به‌دلیل نبود موجودی اطمینان مناسب برای نماینده و کمبود ظرفیت تولید، امکان برآورده‌سازی ۱۰۰ درصدی نیاز مشتریان در این شرایط وجود ندارد. این نمودار به‌خوبی رابطه میان تقاضای بالا و CDFR را نشان می‌دهد. در شرایط نرمال CDFR بالاتر از CDFR در سناریوی ۱ است.

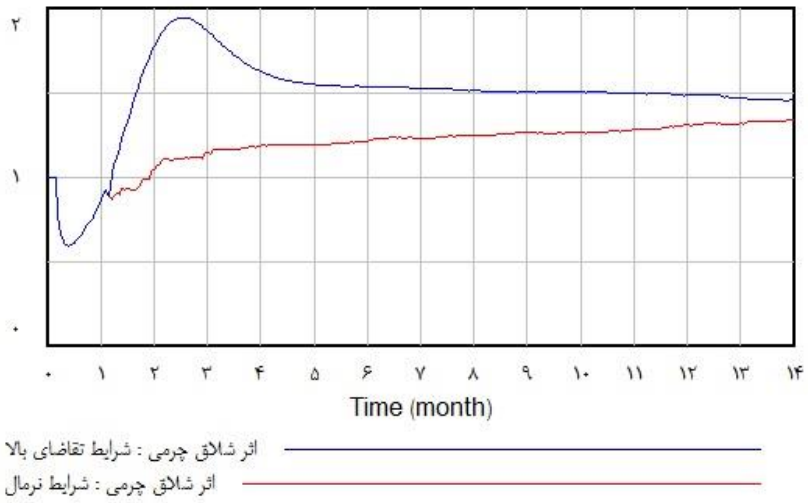


شکل ۶. مقایسه CDFR وضعیت معمولی و سناریوی «تقاضا بالا»

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۷، اثر شلاق چرمی در دو شرایط معمولی و «تقاضا بالا» مشاهده می‌شود. اثر شلاق چرمی در شرایطی که تقاضا بالاست بیشتر از شرایط معمولی است.

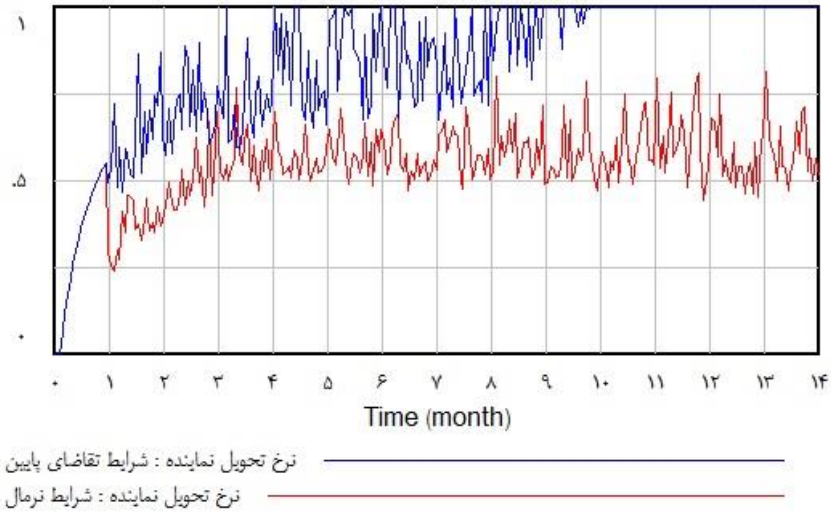


شکل ۷. مقایسه BE در شرایط معمولی و سناریوی «تقاضا بالا»

سناریو ۲: تقاضا پایین. در این سناریو، مقادیر میانگین، حد بالا و پایین تابع نرمال تقاضا به مقدار ۵۰ درصد کاهش یافته است. طبق شکل ۸، در شرایطی که تقاضا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد، امکان برآورده سازی ۱۰۰ درصدی تقاضای مصرف‌کنندگان وجود دارد و CDFR در سناریوی «تقاضا پایین» به‌طور معناداری بالاتر از شرایط معمول سیستم است.

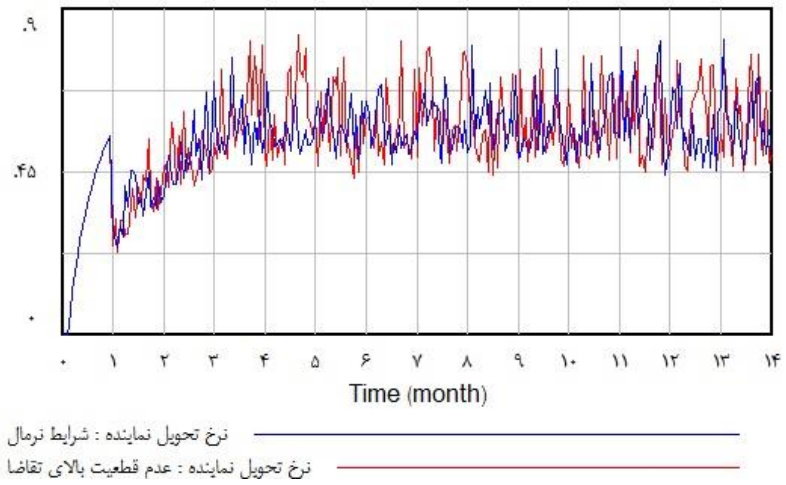
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. مقایسه CDFR در شرایط معمولی و سناریوی «تقاضا پایین»

سناریو ۳: افزایش عدم‌قطعیت تقاضا. این سناریو اثر افزایش در عدم‌قطعیت تقاضا را بر CDFR و BE می‌سنجد. طبق شکل ۹، با ۲/۵ برابرشدن انحراف معیار تقاضا، CDFR تغییر چندانی نکرده است.

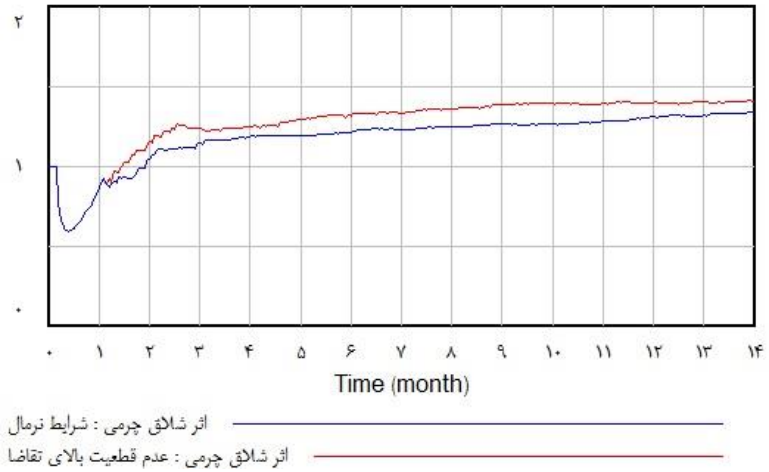


شکل ۹. مقایسه CDFR در شرایط معمولی و سناریوی «عدم‌قطعیت بالای تقاضا»

با افزایش تغییرپذیری و عدم‌قطعیت تقاضا، اثر شلاق چرمی نسبت به شرایط معمولی افزایش یافته است.

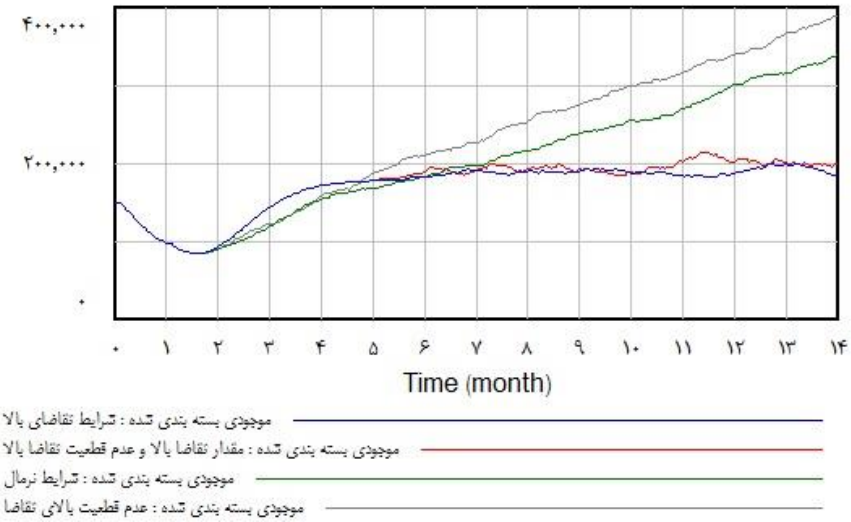
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. مقایسه BE در شرایط معمولی و سناریوی «عدم‌قطعیت بالای تقاضا»

با توجه به تحلیل‌های صورت‌گرفته روی موجودی محصول نهایی، در سناریویی که مقدار تقاضا یا عدم‌قطعیت تقاضا افزایش می‌یابد، مقدار موجودی محصول نهایی نیز به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا می‌کند؛ ضمن اینکه اثر عدم‌قطعیت تقاضا بر موجودی محصول نهایی، بیشتر از اثر مقدار تقاضا است (شکل ۱۱).

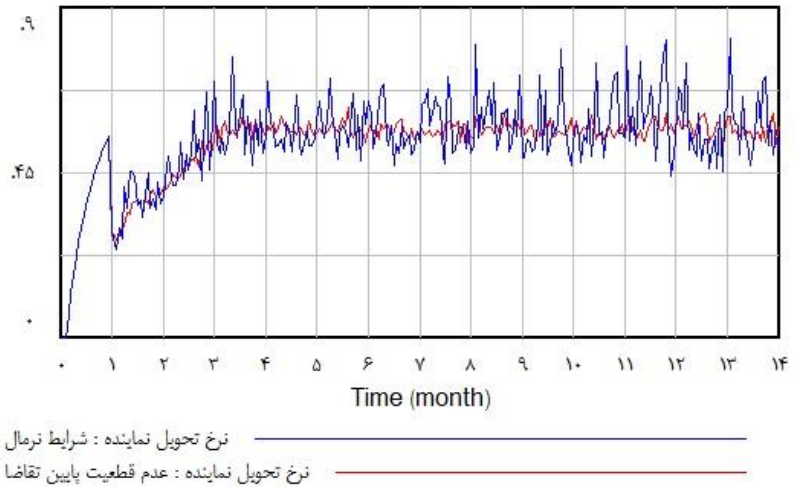


شکل ۱۱. مقایسه موجودی محصول نهایی در سناریوهای مرتبط با تقاضا

www.SID.ir

Archive of SID

سناریو ٤: کاهش عدم‌قطعیت تقاضا. در این سناریو، مقدار انحراف معیار تقاضا ۷۵ درصد کاهش یافته است و اثر این کاهش تغییرپذیری بر CDFR و BE در نظر گرفته شده است. طبق شکل ۱۲، تغییرپذیری CDFR در شرایطی که عدم‌قطعیت تقاضا کاهش یافته، بسیار ناچیز است. نمودار نشان می‌دهد در شرایطی که پیش‌بینی تقاضا با اطمینان و عدم‌قطعیت پایین‌تری صورت گیرد، به ایجاد نوعی پایداری در CDFR منجر خواهد شد.



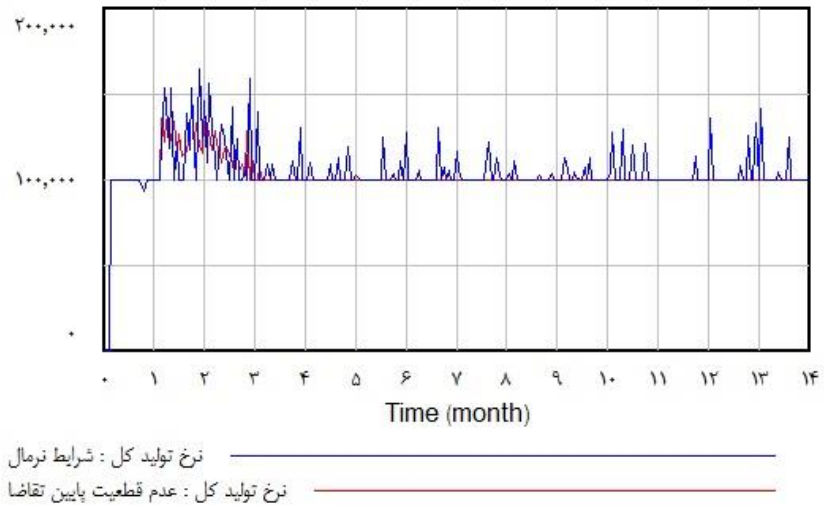
شکل ۱۲. مقایسه CDFR در شرایط معمولی و سناریوی «عدم‌قطعیت پایین تقاضا»

با کاهش عدم‌قطعیت تقاضا، اثر شلاق چرمی نیز کاهش می‌یابد. این سناریو به همراه سناریوی «افزایش عدم‌قطعیت تقاضا» به‌خوبی نظریه‌های مرتبط با اثر شلاق چرمی را تأیید می‌کند. زمانی که عدم قطعیت در تقاضا کاهش می‌یابد، سیستم تولیدی بیشتر متمایل به سیستم‌های تولید برای انبار (MTS)[1] می‌شود و نرخ تولید هموار شده و قابلیت برنامه‌ریزی بالا می‌رود. به‌منظور درک بهتر این مسئله، نمودار نرخ تجمیعی تولید در حالت معمولی و سناریوی ۴ در شکل ۱۳، ارائه شده است.

1. Make to Stock

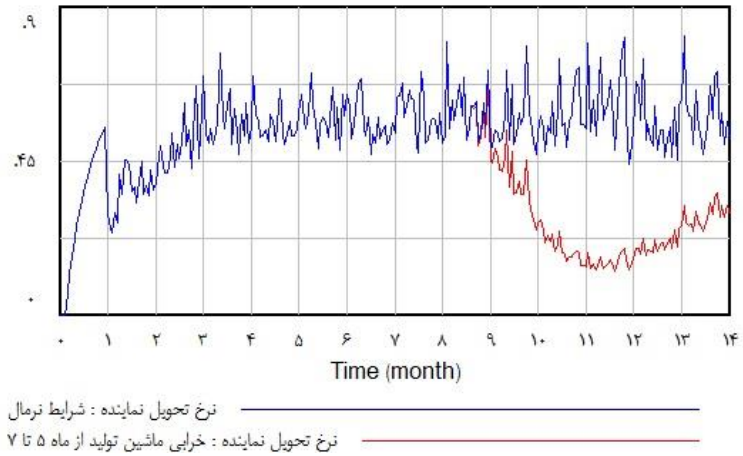
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳. مقایسه نرخ تجمیعی تولید در حالت معمولی و سناریوی «عدم قطعیت پایین تقاضا»

سناریو ۵: خرابی ماشین‌آلات و عدم‌اطمینان خط تولید. در این سناریو، فرض شده است که از ماه پنجم تا هفتم با توجه به خرابی‌های ماشین‌آلات، ظرفیت تولید ۵۰۰۰۰ عدد کمتر شده است. با توجه به اینکه کاهش ظرفیت تقاضا به افزایش زمان تحویل محصول منجر خواهد شد، پیش‌بینی می‌شود که CDFR در این حالت کاهش زیادی یابد. با توجه به شکل ۱۴، CDFR از ماه نهم کاهش زیادی یافته است. فاصله زمانی بین خرابی ماشین‌آلات و کاهش CDFR به دلیل موجودی محصول نهایی و زمان سفارش تا تحویل به نماینده است.

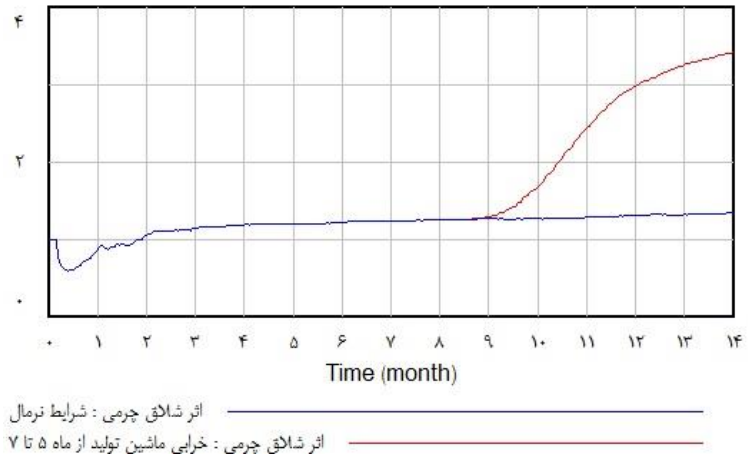


شکل ۱۴. مقایسه CDFR در شرایط معمولی و سناریوی خرابی ماشین‌آلات

www.SID.ir

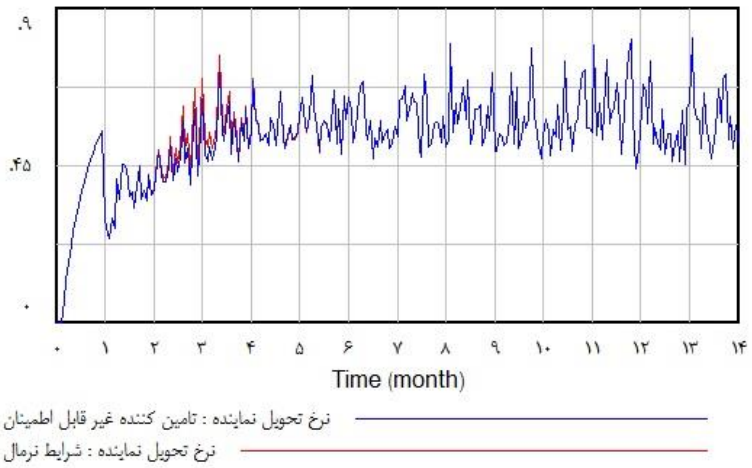
Archive of SID

مطابق شکل ۱۵، خرابی ماشین‌آلات اثر زیادی بر اثر شلاق چرمی گذاشته و منجر شده است تا در دوره‌های بعدی، نرخ تولید بالاتری برنامه‌ریزی شود.



شکل ۱۵. مقایسه BE در شرایط معمولی و سناریوی خرابی ماشین‌آلات

سناریو ٦: تأمین‌کننده غیرقابل‌اطمینان. در این سناریو، زمان سفارش تا دریافت مواد اولیه دوبرابر شده است که نشان از عدم‌پاسخگویی سریع تأمین‌کننده دارد. مطابق نتایج، CDFR در این شرایط در دوره‌های اول کاهش زیادی یافته است؛ ولی پس از یک دوره مشخص، واحد خرید بر اساس سیاست‌های مبتنی بر شرایط تأمین‌کننده توانسته برنامه‌ریزی صحیحی داشته باشد. در شکل ۱۶، این اثر ملاحظه می‌شود.

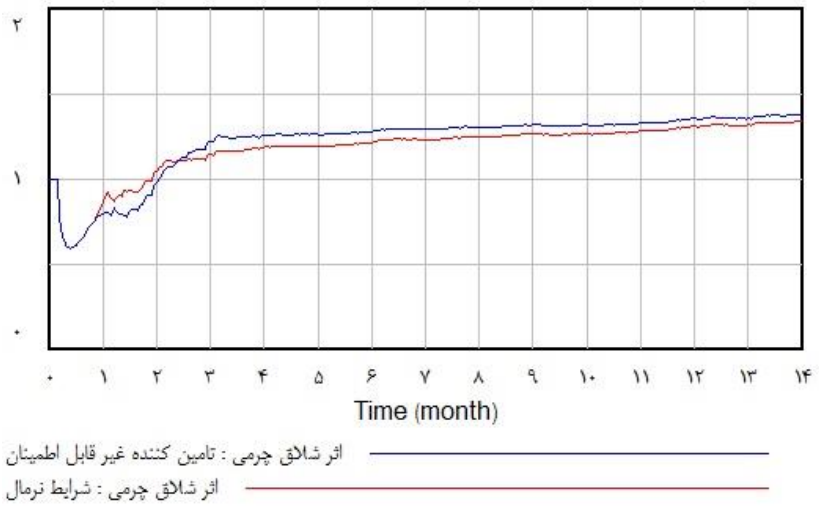


شکل ۱۶. مقایسه CDFR در شرایط معمولی و سناریوی «تأمین‌کننده غیرقابل‌اطمینان»

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به افزایش زمان تحویل تأمین‌کننده، اثر شلاق چرمی نیز افزایش زیادی یافته است. این مورد در شکل ۱۷، مشاهده می‌شود.



شکل ۱۷. مقایسه BE در شرایط معمولی و سناریوی «تأمین‌کننده غیرقابل‌اطمینان»

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، زنجیره تأمین دوسطحی یک محصول جدید با استفاده از SD مدل‌سازی شد. SD ابزار نیرومندی برای مدل‌سازی ساختارهای پیچیده‌ای همچون شبکه‌های زنجیره تأمین است و اطلاعات مفیدی درخصوص تعامل پارامترهای اصلی سیستم ارائه می‌کند. مدل‌سازی این ارتباطات و تعاملات برای درک عمیق رفتار سیستم‌های پیچیده امری ضروری است و کمک شایانی به تصمیم‌گیری به‌منظور بهینه‌سازی سیستم‌ها می‌کند.

در این پژوهش، یکی از محصولات جدید یک زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی برای مطالعه مدنظر قرار گرفت. با توجه به جدیدبودن محصول، دو متغیر نرخ یادگیری و فشار واحد بازرگانی بر واحد تولید برای دستیابی و نزدیک‌شدن به ظرفیت اسمی تولید به‌کار رفت. شش سناریو بر اساس شرایط تقاضا، تأمین‌کننده و تولیدکننده نیز مدنظر قرار گرفتند و در هر سناریو، وضعیت معمولی به‌عنوان مدل مبنای مقایسه مدنظر قرار گرفت.

چهار سناریو از شش سناریو متمرکز بر اثر تغییرات تقاضا بر عملکرد سیستم طراحی شدند. تغییرات تقاضا مربوط به تغییر مقدار تقاضا و تغییرپذیری تقاضا (انحراف معیار تقاضا) است. در دو سناریو اثر کاهشی و در دو سناریو اثر افزایشی مقدار و انحراف معیار تقاضا در نظر گرفته شد. نتایج در دو سناریوی مرتبط با افزایش مقدار و انحراف معیار تقاضا، به‌وضوح نشان می‌دهد که اثر

www.SID.ir

Archive of SID

معکوسی بین افزایش مقدار یا انحراف معیار تقاضا و CDFR وجود دارد. مطابق نتایج، افزایش مقدار یا انحراف معیار تقاضا به افزایش اثر شلاق چرمی در زنجیره تأمین بالادستی منجر شده است. این نتایج با نتایج بسیاری از پژوهش‌های پیشین که درخصوص اثر تغییرات در مقدار و تغییر تقاضا بر اثر شلاق چرمی بوده‌اند، سازگار است. همان‌طور که پیش‌تر نیز در این خصوص بحث شد، کاهش عدم‌قطعیت تقاضا به هموارشدن نرخ تولید و درنتیجه نزدیک‌شدن به سیستم تولیدی MTS منجر خواهد شد؛ علاوه بر این، نشان داده شد که افزایش عدم‌قطعیت در تقاضا به افزایش قابل‌توجه موجودی محصول نهایی منجر می‌شود. این رفتار سیستم، یکی از اصول بدیهی در حوزه مدیریت موجودی‌ها است و اغلب سعی می‌شود با نگهداری مقدار مشخصی موجودی اطمینان بر این عدم‌قطعیت‌ها غلبه شود.

دو سناریوی دیگر مرتبط با عدم‌قطعیت عملکرد شرکای زنجیره تأمین که در این پژوهش تولیدکننده و تأمین‌کننده بودند، طراحی شده بود. طبق نتایج، عدم‌اطمینان و هرگونه اخلال در شرکت تولیدکننده و تأمین‌کننده به کاهش CDFR و تشدید BE منجر خواهد شد.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، پژوهشگران درخصوص اثر تغییر تابع پیش‌بینی تقاضا، همچون توابع نمایی، میانگین متحرک و سایر توابع و مقادیر آن‌ها بر CDFR و BE پژوهش‌هایی را در صنایع مختلف دنبال کنند؛ همچنین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثر شلاق چرمی با لحاظ بیش از یک محصول و در یک زنجیره تأمین بیش از دو سطح بررسی شود و اثر شلاق چرمی بر مقدار موجودی در هر یک از سطوح زنجیره تأمین موردبررسی دقیق قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Altiok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation modeling and analysis with Arena*. Academic Press.

2. Azar, A., Gholamrezayi, D., Danayifard, H., & Khodadad-Hosseini, H. (1392). Dynamic analysis of relationships between industry and university with considering higher education policies in fifth development plan by using system dynamics. *Journal of Industrial Management Perspective*, *3(9)*, 79–115.

3. Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, *12*(3), 183–210.

4. Chan, S. L., & Ip, W. H. (2011). A dynamic decision support system to predict the value of customer for new product development. *Decision Support Systems*, *52(1)*, 178–188.

5. Chopra, S. & Meindl, P. (2013). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (5th Editio). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

6. CSCMP. (2010). *Glosario de te´rminos del 'Council of Supply Chain Management Professionals*.

7. Faghih, N., Kordshooli, H. R., Mohammadi, A., Samadi, A. H., Musavi-Haghighi, M. H., & Ghafurnian, M. (1393). Mathematical modeling of service supply chain of Iran's landline by using systems dynamics. *Jouranl of Industrial Management Perspective*, *4(13)*, 31–50.

8. Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Waltham, MA: M.I.T. Press.

9. Jean, R., Kim, D., & Sinkovics, R. R. (2012). Drivers and Performance Outcomes of Supplier Innovation Generation in Customer–Supplier Relationships: The Role of Power-Dependence. *Decision Sciences*, *43(6)*, 1003–1038.

10. Johnsen, T. E. (2009). Supplier involvement in new product development and innovation: Taking stock and looking to the future. *Journal of Purchasing and Supply Management*, *15(3)*, 187–197.

11. Özbayrak, M., Papadopoulou, T. C., & Akgun, M. (2007). Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *15*(10), 1338–1355. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2007.09.007

12. Piewthongngam, K., Vijitnopparat, P., Pathumnakul, S., Chumpatong, S., & Duangjinda, M. (2014). System dynamics modelling of an integrated pig production supply chain. *Biosystems Engineering*, *127*, 24–40.

13. Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development*. Cambridge: MA: Harvard University Press.

14. Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world* (Vol. 19). Irwin/McGraw-Hill Boston.

15. Towill, D. R. (1996). Industrial dynamics modelling of supply chains. *Logistics Information Management*, *9*, 43–56.

www.SID.ir