Industrial Management Journal

Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Agent-based Simulation of National Oil Products Distribution Company's Supply Network in the Framework of a Complex Adaptive System in Order to Achieve an Optimal Inventory Level

Mahdi Homayounfar
Assistant Prof., Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Rasht Branch, Rasht, Iran. E-mail: homayounfar@iaurasht.ac.ir

Saeid Bagher-Salimi
*Corresponding author, Assistant Prof., Department of Administrative Management, Islamic Azad University, Rasht Branch, Rasht, Iran. E-mail: baghersalimi@iaurasht.ac.ir

Bijan Nahavandi
Assistant Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: bijan.nahavandi@srbiau.ac.ir

Kaveh Izadi Sheijani
M.A., Department of Executive Management, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, Rasht Branch, Rasht, Iran. E-mail: kavehizadi320@gmail.com

Abstract

Objective: One of the most important challenges of supply chains is the coordination of inventory policies among supply chain elements including suppliers, manufacturers, and distributors. Accordingly, the current study aims to investigate the achievement of the elements of the petrol distribution system to the optimal level of inventory.

Methods: At first, the supply network of National Guilan Oil Products Distribution Company is defined as a complex adaptive system and then, this network is simulated using agent-based modeling. The core component of this simulation consists of interactions between agents or members of the supply network in the context of inventory management based on the economic order quantity (EOQ).

Results: The results of simulation in Net Logo software showed that agent-based modeling of the network in the form of a complex adaptive system leads to better understanding of the behavior of supply chain agents in their achievement to the optimal inventory level and enables them to get the proper estimate of the economic order quantity, re-order point and total cost.

Conclusion: In summary, it can be seen that the agents in the supply chain have the ability to provide their customers' needs and will not face lost sales as long as they do not pay extra inventory costs.

Keywords: Complex adaptive system, Agent based simulation, Inventory management, Economic order quantity, Supply network.

Citation: Homayounfar, M., Bagher-Salimi, S., Nahavandi, B., Izadi Sheijani, K. (2018). Agent-based Simulation of National Oil Products Distribution Company's Supply Network in the Framework of a Complex Adaptive System in Order to Achieve an Optimal Inventory Level. *Industrial Management Journal*, 10(4), 607-630. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2018, Vol. 10, No.4, pp. 607- 630
DOI: 10.22059/imj.2019.259762.1007443
Received: June 08, 2018; Accepted: September 06, 2018
© Faculty of Management, University of Tehran

فصلنامه مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

شبیه‌سازی مبتنی بر عامل شبکه تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی در قالب سیستم انطباقی پیچیده به‌منظور دستیابی به سطح موجودی بهینه

مهدی همایون‌فر
استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: homayounfar@iaurasht.ac.ir

سعید باقرسلیمی
* نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت دولتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: baghersalimi@iaurasht.ac.ir

بیژن نهاوندی
استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: bijan.nahavandi@srbiau.ac.ir

کاوه ایزدی شیجانی
کارشناس ارشد، گروه مدیریت اجرایی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: kavehizadi320@gmail.com

چکیده

هدف: یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی زنجیره‌های تأمین، هماهنگی سیاست‌های موجودی عناصر زنجیره، اعم از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان است. در این رابطه، پژوهش حاضر به‌دنبال بررسی روند دستیابی عناصر شبکه تأمین نظام توزیع بنزین، به سطح موجودی بهینه است.

روش: ابتدا شبکه تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی گیلان در قالب سیستم‌های انطباقی پیچیده تعریف شد و در ادامه با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل، به شبیه‌سازی این شبکه پرداخته شد. هسته اصلی این شبیه‌سازی را تعاملات بین عامل‌ها یا اعضای شبکه تأمین در زمینه مدیریت موجودی با توجه به مقدار سفارش اقتصادی (EOQ) تشکیل داده‌اند.

یافته‌ها: نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار نت لوگو نشان می‌دهد که مدل‌سازی مبتنی بر عامل شبکه در قالب یک سیستم انطباقی پیچیده، موجب شناخت بهتر از رفتار عامل‌های شبکه تأمین در دستیابی به سطح موجودی بهینه شده و آنها را قادر می‌سازد به تخمین مناسبی از میزان سفارش اقتصادی، نقطه سفارش مجدد و هزینه کل خود، دست یابند.

نتیجه‌گیری: به‌طور خلاصه می‌توان گفت که عامل‌های موجود در شبکه تأمین، توانایی تأمین مشتریان خود را دارند و هم‌زمان با عدم پرداخت هزینه نگهداری موجودی اضافه، با فروش از دست رفته نیز مواجه نخواهند شد.

کلیدواژه‌ها: سیستم انطباقی پیچیده، شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، مدیریت موجودی، مقدار سفارش اقتصادی، شبکه تأمین.

استناد: همایون‌فر، مهدی؛ باقرسلیمی، سعید؛ نهاوندی، بیژن؛ ایزدی شیجانی، کاوه (۱۳۹۷). شبیه‌سازی مبتنی بر عامل شبکه تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی در قالب سیستم انطباقی پیچیده به‌منظور دستیابی به سطح موجودی بهینه. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۰(۴)، ۶۰۷- ۶۳۰.

فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۳۹۷، دوره ۱۰، شماره ۴، صص. ۶۰۷- ۶۳۰
DOI: 10.22059/imj.2019.259762.1007443
دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۸، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۵
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

مسئله مدیریت موجودی‌ها در زنجیره تأمین، از عمده‌ترین مسائلی است که در دهه‌های اخیر در کانون توجه محققان قرار گرفته است. مدیریت موجودی‌ها نقش مهمی در ارتباط واحدهای وظیفه‌ای مختلف در قالب یک سیستم بسیار مجتمع ایفا می‌کند (یه و یو[1]، ۲۰۱۶) و تأثیر شایان توجهی بر سطح خدمات‌دهی به مشتریان و هزینه‌های زنجیره تأمین دارد (تیموری و احمدی، ۱۳۸۸).

در طول زنجیره تأمین، موجودی‌ها در قالب‌های گوناگون و به دلایل مختلف نگهداری می‌شوند و مدیریت آنها به‌خصوص در زنجیره‌های تأمین بزرگ، مسئله بسیار پیچیده‌ای است که در مبانی نظری، از رویکردهای کیفی و کمی بررسی شده است. در مدیریت پروژه زنجیره‌های تأمین، کمبود موجودی ناشی از تأخیر در ارسال مواد/کالا از سوی تأمین‌کنندگان و مبادی ذی‌ربط زنجیرهٔ تأمین، می‌تواند به عدم اجرای پروژه در زمان مقرر منجر شود (وکیلی، نوری، یعقوبی، ۱۳۹۵). از آنجا که هزینه موجودی‌ها افزون بر ۲۰ تا ۴۰ درصد ارزش آنها در هر سال است (آذر و محمدلو، ۱۳۸۶)، بهبود شاخص‌های مدیریت موجودی، افزایش شایان توجه سودآوری شرکت‌ها را به‌دنبال خواهد داشت.

مسئله اصلی در مدیریت موجودی، هماهنگی سیاست‌های موجودی شرکت با سایر بازیگران زنجیره تأمین، اعم از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان است، به‌طوری که با کمترین هزینه، به تقاضای مشتریان پاسخ داده شود (جیانوکارا[2]، ۲۰۰۲). با توجه به این موضوع، امکان تخمین درستی از سطح موجودی بهینه در هر حلقه از زنجیره تأمین و تجزیه و تحلیل هم‌زمان سطح موجودی بهینه عناصر زنجیره، کار دشواری است. اهمیت تخمین صحیح موجودی در آن است که هرگونه تخمین بیش از اندازهٔ تقاضا، موجب تحمیل هزینه‌های ساخت و نگهداری و خرید تجهیزات و دستگاه‌های غیرضروری برای استفاده از آنها می‌شود. به علاوه، موجودی بیش از اندازه دربردارنده هزینه بالای انبارداری و خواب سرمایه در گردش شرکت خواهد شد؛ در حالی که تخمین کمتر تقاضا نیز هزینه‌های عدم تأمین به موقع تقاضای مشتریان، هزینه‌های حمل و نقل از تولیدکننده به مشتری نهایی، لجستیک و هزینه نیروی انسانی بیشتر برای انجام امور را دربر خواهد داشت (فوگیو[3]، ۲۰۱۲). هدف از بهینه‌سازی موجودی در شرایط عدم قطعیت تقاضا، حداکثرسازی عملکرد سیستم موجودی در یک محیط تصادفی با تعیین سطح بهینه پارامترهای کنترل موجودی است (یه و یو، ۲۰۱۶). از این رو، مدیران زنجیره تأمین، به‌دنبال توسعه یک ساختار شبکه‌ای و سازوکار همکارانه هستند که از طریق آن رفتارهای انطباقی، انعطاف‌پذیر و هماهنگ عناصر زنجیره در محیط پویا تسهیل شود. کلید حل موفق مسئله یاد شده، درک این است که زنجیره تأمین بایستی نوعی سیستم انطباقی پیچیده[4] در نظر گرفته شود (لی، یانگ، سان، جی، فنگ[5]، ۲۰۰۹). از آنجا که افزایش پیچیدگی مدل‌های زنجیره تأمین، موجب ناکارایی قواعد ریاضی در تبین رفتار آن می‌شود (حق‌نویس، اسکین و آرم‌بروستر[6]، ۲۰۱۶) شبیه‌سازی در این زمینه می‌تواند نقش بسیار مهمی بازی کند. شبیه‌سازی، عناصر زنجیره را به درک وابستگی‌های متقابل پیچیده و دستیابی به وضعیت بهینه خود قادر می‌سازد (پونت، سیرا، دلا فونته و لوزانو[7]، ۲۰۱۷).

1. Ye, & You
2. Giannoccarra
3. Fu-gui
4. Complex adaptive supply network (CASN)
5. Li, Yang, Sun, Ji, & Feng
6. Haghnevis, Askin, & Armbruster
7. Ponte, Sierra, de la Fuente, & Lozano

شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی استان گیلان، دارای ۹۰ میلیون لیتر ظرفیت ذخیره‌سازی فراورده بنزین در انبار نفت شهرستان رشت است که با توجه به میانگین (۲۸۸۳۰۰۰۰ لیتر) و انحراف معیار (۱۵۵۰۰۰۰۰ لیتر) موجودی و میانگین (۳۴۶۰۰۰۰ لیتر) و انحراف معیار (۳۵۳۰۰۰ لیتر) فروش روزانه بنزین در بازه زمانی یک ساله از ۹۴/۱۰/۰۱ تا ۹۵/۰۹/۳۰، این میزان ظرفیت ذخیره‌سازی زیاد و غیرضروری است (سایت شرکت ملی پخش فراورده‌های ملی ایران ـ منطقه گیلان)[1]. همچنین با مقایسه میزان میانگین موجودی و میانگین فروش روزانه، میزان ذخیره‌سازی این فراورده بسیار بیشتر از مقدار مورد نیاز بوده و هزینه‌های نگهداری غیرضروری را به سیستم تحمیل می‌کند.

از آنجا که در زنجیره‌های تأمین، میزان موجودی یک عامل با توجه به روابط آن با عامل‌های دیگر تعیین می‌شود، دستیابی به سازوکار مناسب اداره زنجیره تأمین اهمیت بسزایی دارد. بنابراین، یکی از چالش‌های اساسی مدیران زنجیره تأمین، توسعه نوعی ساختار شبکه‌ای و سازوکار همکاری است که از طریق آن رفتارهای انطباقی، انعطاف‌پذیر و هماهنگ در محیط پویا تسهیل شود. کلید حل موفق مسئله یاد شده، درک این موضوع است که زنجیره تأمین می‌بایست به‌صورت سیستم انطباقی پیچیده[2] بررسی شود (لی و همکاران، ۲۰۱۰). در همین رابطه، وایسیسک[3] (۲۰۰۸) ناهمگنی (تمایز)، تعامل، استقلال و توانایی یادگیری عامل‌ها را برخی از مشابهت‌های اساسی زنجیره‌های تأمین و سیستم‌های انطباقی پیچیده برمی‌شمارد. با توجه به اینکه شبکه تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی گیلان در قالب یک سیستم انطباقی پیچیده اداره نمی‌شود، این تحقیق قصد دارد ضمن مطالعه این شبکه در قالب سیستم انطباقی پیچیده مرکب از تأمین‌کننده (پالایشگاه)، توزیع‌کننده (انبار نفت) و خرده‌فروش (جایگاه عرضه سوخت)، به شبیه‌سازی مبتنی بر عامل آن پرداخته و با شناخت رفتار عناصر زنجیره تأمین، سطح موجودی بهینه هر یک را شبیه‌سازی کند.

سؤال اصلی تحقیق این گونه مطرح می‌شود که اگر شبکه توزیع بنزین، در قالب سیستم انطباقی پیچیده بررسی شود، چه تأثیری بر دستیابی همه عناصر زنجیره تأمین آن در دسترسی به سطح موجودی بهینه خواهد داشت؟ به علاوه، سؤال‌های فرعی زیر نیز مطرح می‌شود: ۱. در صورت تعریف زنجیره تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی گیلان در قالب سیستم انطباقی پیچیده، آیا عامل‌های شبکه به تخمین درستی از نقطه سفارش مجدد خواهند رسید؟ ۲. در صورت تعریف شبکه تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی گیلان در قالب سیستم انطباقی پیچیده، آیا عامل‌های شبکه به تخمین درستی از هزینه کل موجودی خواهند رسید؟ ۳. در صورت تعریف شبکه تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی گیلان در قالب سیستم انطباقی پیچیده، آیا عامل‌های شبکه توانایی تأمین به‌طور دائم تقاضای مشتریان را خواهند داشت یا با فروش از دست رفته مواجه خواهند شد.

بر این اساس، ساختار مقاله حاضر به این صورت تدوین شده است: در ادامه، پیشینه نظری تحقیق بررسی شده است، بدین صورت که پس از اشاره به مدیریت موجودی، مدل‌سازی مبتنی بر عامل، سیستم‌های انطباقی پیچیده و مبانی و مصادیق یک سیستم انطباقی پیچیده در زنجیره تأمین شرکت ملی فراورده‌های نفتی، به بررسی پژوهش‌های پیشین پرداخته شده است. در بخش بعد، روش‌شناسی پژوهش و فرایند شبیه‌سازی معرفی شده و دستورهای لازم برای

1. https://gilan.niopdc.ir
2. Complex adaptive supply network (CASN)
3. Wycisk

اجرای مدل پژوهش تشریح می‌شود. بخش بعد به اجرا و اعتبارسنجی مدل و نتایج شبیه‌سازی اختصاص داده شده و در نهایت این نوشتار با بیان نتایج و پیشنهادها پایان می‌یابد.

پیشینه نظری پژوهش

مدیریت موجودی

طی چند دهه اخیر، تحقیقات بسیاری در رابطه با مدیریت زنجیره تأمین انجام گرفته است. هدف بسیاری از این تحقیقات، ارائه سازوکارهایی مانند مدیریت موجودی و تدارکات پیوسته بوده (حجی، معارف‌دوست و ابراهیمی، ۱۳۸۸) که تأثیر شایان توجهی بر سطح ارائه خدمات به مشتری و هزینه‌های زنجیره تأمین دارد (تیموری و احمدی، ۱۳۹۲). موجودی در طول زنجیره تأمین در قالب‌های گوناگون و به دلایل مختلف نگهداری می‌شود و از آنجا که هزینه سالانه موجودی می‌تواند افزون بر ۲۰ تا ۴۰ درصد ارزش آن باشد، مدیریت آنها به‌صورت علمی برای نگهداری حداقل موجودی، پیامدهای مناسبی به‌دنبال خواهد داشت (آذر و محمدلو، ۱۳۸۵).

سفارش موجودی به‌صورت یک‌جا و به مقدار زیاد، موجب صرفه‌جویی در هزینه سفارش‌ها می‌شود؛ اما در مقابل، هزینه نگهداری زیادی را به‌دلیل بالا بودن میانگین موجودی به‌دنبال خواهد داشت. برعکس، در صورتی که موجودی در دفعات زیاد و طی سال سفارش داده شود، در هزینه‌های نگهداری صرفه‌جویی می‌شود؛ ولی هزینه‌های سفارش‌دهی، به‌دلیل تعدد دفعات سفارش بسیار افزایش می‌یابد (جعفرنژاد و عموزاد، ۱۳۹۲). بنابراین، ضروری است که مقدار اقتصادی سفارش (EOQ) را به نحوی به‌دست آوریم که به ازای آن، جمع هزینه‌های سفارش‌دهی و نگهداری کالا در ظرف سال حداقل باشد (حاج شیرمحمدی، ۱۳۹۳). هنگام برنامه‌ریزی موجودی در هر زنجیره تأمین، سطح مناسب موجودی که باید نگهداری شود و اقدامات انجام‌پذیر برای بهبود سطح دسترسی به محصول و در عین کاهش موجودی، اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش به دسترسی عناصر شبکه توزیع بنزین (به‌منزلهٔ نوعی سیستم انطباقی پیچیده) به سطح موجودی بهینه با توجه به EOQ پرداخته شده است.

مدل‌سازی مبتنی بر عامل

شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، رویکرد شبیه‌سازی نسبتاً جدیدی به‌شمار می‌رود که در خلق نتایج محسوس و درک‌پذیر برای مدیران در سیستم‌های پیچیده مفید است (نیلسون و دارلی[1]، ۲۰۰۶) و می‌توان آن را در بررسی رفتار هر یک از اعضای سیستم‌های پیچیده به‌کار برد (نورث، ماکال و کمپل[2]، ۲۰۰۵). مبنای این نوع شبیه‌سازی، عامل‌های هوشمند نرم‌افزاری‌ای هستند که به‌صورت کنش‌گرا و مستقل برنامه‌ریزی شده‌اند و قادر به برقراری ارتباط با یکدیگر و درک محیط خود هستند (گیلبرت[3]، ۲۰۰۸).

زنجیره‌های تأمین گرایش دارند که مانند سیستم‌هایی غیرمتمرکزی که بر اساس منافع خود عملکرد مستقلی دارند،

1. Nilsson, & Darely
2. North, Macal, & Campbell
3. Gilbert

رفتار کنند که این ویژگی متناسب با پارادایم شبیه‌سازی مبتنی بر عامل است (دومینگوئز، کانلا و فرامینان[1]، ۲۰۱۵). عامل‌های هوشمند برای بهبود هماهنگی و عملکرد زنجیره تأمین پتانسیل بالایی دارند و به‌کارگیری آنها موجب افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره و افزایش قدرت پاسخگویی هر یک از اجزای این زنجیره به تغییرات می‌شود. این مسئله، تأثیر مثبتی بر بهبود زمان سفارش‌دهی، زمان فرایندهای انسانی، سطح موجودی و دفعات کمبود موجودی به همراه دارد. عامل‌ها می‌توانند به نمایندگی از اعضای زنجیره تأمین و با استفاده از ویژگی‌های استقلال و قدرت تصمیم‌گیری ایفای نقش کنند. از توانمندی‌های دیگر عامل‌های هوشمند، می‌توان به قدرت واکنش[2]، قدرت پویشگری[3] و توانایی اجتماعی اشاره کرد (ولدریج[4]، ۲۰۰۹).

در این تحقیق از تعریف نیلسون و دارلی (۲۰۰۶) بهره برده شده است. این دو محقق عامل‌ها را مؤلفه‌های زندگی واقعی در زمینه‌های تحقیق تعریف کرده‌اند و درجه‌های مختلفی از خودگردانی و ویژگی‌های مبتنی بر خط‌مشی‌ها، رفتارها، حالت‌ها و محدودیت‌ها را برای آنها قائل شده‌اند. همچنین برای دستیابی به پاسخ مناسبی برای پرسش‌های تحقیق در راستای تحلیل هم‌زمان موجودی یک زنجیره تأمین سه سطحی، شامل چندین جایگاه سوخت، چندین انبار نفت و چندین پالایشگاه که تعداد هر یک از این عامل‌ها توسط کاربر مشخص خواهد شد، برنامه‌نویسی با نرم‌افزار مبتنی بر عامل نت لوگو[5] و در قالب سیستم‌های انطباقی پیچیده صورت خواهد گرفت.

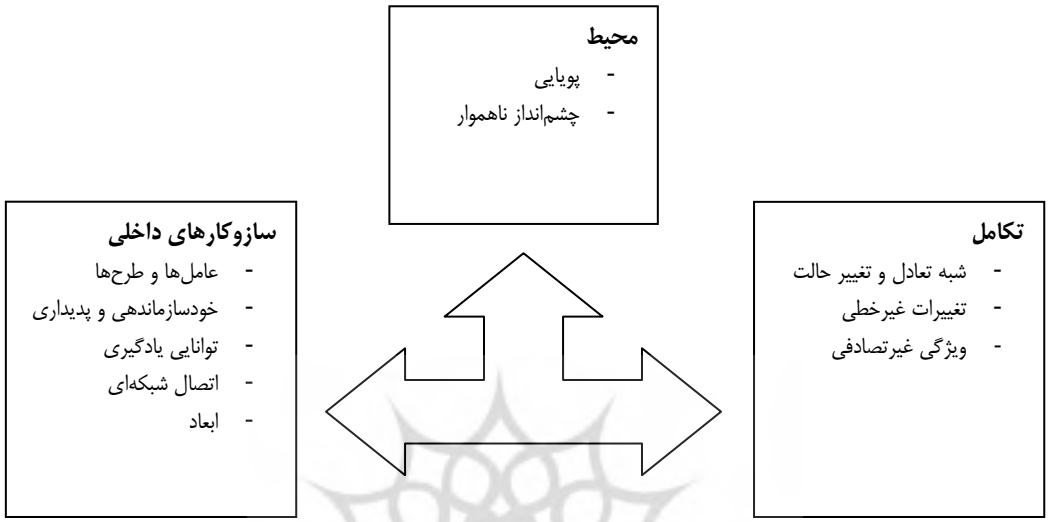
شبکه‌های تأمین انطباقی پیچیده

اگرچه رویکرد «سیستم ساده» برای توصیف رفتار برخی از سیستم‌ها مناسب است، رویکرد دیگری در علوم مختلف از جمله زیست‌شناسی، شیمی، اقتصاد و مدیریت وجود دارد که به نوع دومی از سیستم‌ها می‌پردازد که در تعادل عمل نمی‌کنند (ایسن‌هارت و پیزونکا[6]، ۲۰۱۱). سیستم‌های انطباقی پیچیده، دسته‌ای از این سیستم‌ها هستند که با استفاده از نظریه عمومی سیستم‌ها توصیف نمی‌شوند (روندی، برادشا و بروکمن[7]، ۲۰۱۸). سیستم‌های انطباقی پیچیده، سیستم‌هایی با تعداد زیادی عامل انطباق‌پذیر و دارای تعامل هستند (ژو، یائو، تانگ و تانگ[8]، ۲۰۱۷) که از توانایی تغییر آگاهانه و تأثیرگذاری بر بقای حال و آینده خود برخوردارند (مک‌کارتی[9]، ۲۰۰۳). تئوری سیستم‌های انطباقی پیچیده، از طریق تعامل عامل‌ها و اینکه چگونه در نتیجه تعامل بین عامل‌ها نظم در سیستم پدیدار می‌شود، روش جدیدی برای تفکر در خصوص سیستم‌ها ارائه می‌دهد که در محیط‌های پویا بسیار مفید است (اونیک فایلت، گیبل[10]، ۲۰۱۶). در هر سیستم انطباقی پیچیده، عامل‌های مختلف با اهداف محلی، دید محلی خود از محیط و تحت محدودیت‌های مختلف، اقدامات خود را انجام می‌دهند.

سیستم‌های انطباقی پیچیده، فارغ از تفاوت در ساختار، مقیاس و عامل‌هایشان، ویژگی‌های مشترکی دارند (روندی و همکاران، ۲۰۱۸). هنگام بررسی سیستم انطباقی پیچیده، منظرهای سه‌گانه‌ای شامل سازوکار داخلی، محیط و تکامل، در

1. Dominguez, Cannella, & Framinan
2. Reactivity
3. Proactivity
4. Wooldridge
5. NET LOGO
6. Eisenhardt, & Piezunka
7. Roundy, Bradshaw, & Brockman
8. Zhu, Yao, Tang, & Tang
9. McCarthy
10. Onik, Fielt, & Gable

کانون توجه قرار می‌گیرد (چوی، دولی، رانگتوساناثام[1]، ۲۰۰۱). همان‌طور که چوی و همکارانش (۲۰۰۱) بر ضرورت بررسی شبکه‌های تأمین به‌عنوان سیستم‌های انطباقی پیچیده تأکید کرده‌اند، در این تحقیق از این دیدگاه به تعریف شبکه تأمین پرداخته می‌شود.



شکل ۱. منظرهای سیستم انطباقی پیچیده

در دهه‌های اخیر، رویکردهای بسیاری به‌منظور ایجاد همکاری در زنجیره تأمین و تعیین مقادیر بهینه موجودی و قیمت برای سطوح مختلف زنجیره استفاده شده است که در میان آنها، رویکرد سیستم انطباقی پیچیده با توجه به ویژگی‌های آن، ابزار مناسبی برای ایجاد تعامل پویا در زنجیره‌های تأمین، به‌ویژه زنجیره‌های تأمین بزرگ و پیچیده است (لی و همکاران، ۲۰۰۹؛ چتفیلد، هاریسون و هایا[2]، ۲۰۰۶). شبکه تأمینی که در این پژوهش مطالعه شده است، شبکه‌ای بزرگ، پیچیده و پویاست؛ به‌طوری که نمی‌توان مرزی برای آن ترسیم کرد. با در نظر گرفتن زنجیره تأمین به‌عنوان سیستم انطباقی پیچیده، رویکرد مدل‌سازی مبتنی بر عامل برای تحلیل رفتار زنجیره تأمین ابزار مناسبی خواهد بود (گربر، راس، کلاش[3]، ۲۰۰۳). در مدل‌سازی مبتنی بر عامل، بر عامل‌ها و روابطشان با سایر عوامل یا نهادها تمرکز می‌شود (اسمیت و سمین[4]، ۲۰۰۴). در جدول ۱، به منظرهای سه‌گانه سیستم‌های انطباقی پیچیده در شبکه تأمین انطباقی پیچیده شرکت پخش فراورده‌های نفتی گیلان اشاره شده است.

1. Choi, Dooley, & Rungtusanatham
2. Chatfield, Harrison, & Hayya
3. Gerber, Russ, & Klusch
4. Smith, & Semin

جدول ۱. مصادیق سیستم‌های انطباقی پیچیده در شبکه تأمین شرکت پخش فراورده‌های نفتی گیلان

سازوکارهای داخلی
عامل‌ها و طرح‌ها: در این برنامه، تمام عامل‌ها از نرم‌ها، رویه‌های کاری و زبان مشترک تعریف شده در برنامه، برای تأمین، سفارش‌دهی، ارسال، تعامل و اثرگذاری بر یکدیگر استفاده می‌کنند که از الزامات اجرای برنامه هستند. **خودسازماندهی و پدیداری** - **خودسازماندهی:** اینکه کدام پالایشگاه تأمین‌کننده کدام انبار نفت، کدام انبار تأمین‌کننده، کدام جایگاه و کدام جایگاه پاسخگوی کدام مشتری باشد، اختیاری است. هر یک از این عامل‌ها با توجه به صلاح‌دید، دلایل و منافع خود، نسبت به انتخاب یا تعویض تأمین‌کننده خود اقدام می‌کنند. از این رو، تعیین ساختار در این برنامه تشخیصی است، نه تعیینی و این به‌معنای خودسازماندهی است. - **پدیداری:** در این زنجیره تأمین، همکاری از پایین به بالا شکل گرفته است، یعنی جایگاه‌ها با توجه به نیاز مشتریان و صرفه اقتصادی میزان و زمان تقاضای خود را به انبارهای نفت ارائه داده و انبارها در تعامل با پالایشگاه‌ها همین روند را ادامه می‌دهند. بر اساس ویژگی خودسازماندهی و همکاری از پایین به بالا، از تعاملات بین شرکت‌ها الگویی خودبه‌خود و بدون دخالت خارجی شکل گرفته که مصداق پدیداری است. **توانایی یادگیری:** مصداق توانایی یادگیری از تجربه‌های گذشته، بررسی آمار و ارقام فروش‌های گذشته، پیش‌بینی میزان موجودی مورد نیاز بهینه و تعیین نقطه سفارش مجدد برای عامل‌های موجود در شبکه تأمین مورد بررسی است. **اتصال شبکه‌ای:** عامل‌ها به‌عنوان گره‌های شبکه، برای دستیابی به منابع مورد نیاز خود، در حین اجرای برنامه (با توجه به اهداف محلی خود، مانند: در نظر گرفتن بعد مسافت و ...) به‌صورت شبکه‌ای با تأمین‌کنندگان و مشتریان خود اتصال برقرار می‌کنند و ممکن است بنا به دلیلی که در این برنامه عدم موجودی کافی است، نسبت به اتصال به گره دیگر اقدام کنند. **ابعاد:** پالایشگاه‌ها، انبارهای نفت و جایگاه‌های عرضه سوخت در این برنامه به‌عنوان موجودیت‌هایی تعریف شده‌اند که ماهیت ناهمگون داشته، به‌صورت یکپارچه مدیریت نشده‌اند و هریک دارای مدیریت خودمختار هستند که در مواردی مانند: میزان تولید، زمان سفارش‌دهی، مقدار سفارش‌دهی و ... خود تصمیم‌گیرنده هستند. از سوی دیگر، تمام عامل‌ها به اشکال گوناگون با یکدیگر تعامل دارند، به‌طور مثال، اگر میزان فروش یک دسته از عامل‌ها، مانند: جایگاه‌های عرضه سوخت افزایش یابد، انبارهای نفت میزان موجودی خود را افزایش داده و سعی در تأمین جایگاه‌ها می‌کنند یا در صورت عدم تأمین یک جایگاه توسط یک انبار نفت، انبار نفت دیگری به تأمین جایگاه اقدام می‌کند.
محیط
پویایی محیط: هنگام اجرای این برنامه، مکان جغرافیایی مشتریان (خودروها) به‌صورت تصادفی تعیین شده و تعداد دقیق مشتریان هر جایگاه مشخص نیست. بدین صورت که امکان دارد خودروهای زیادی در یک روز به یک جایگاه خاص مراجعه کنند یا برعکس. **چشم‌انداز ناهموار:** هر یک از عامل‌های این برنامه به‌صورت مجزا سعی در یافتن قله‌های بهینه (مقدار بهینه موجودی) برای خود هستند و چشم‌انداز هموار و کلی برای کل شبکه وجود ندارد.
تکامل
شبه توازن و تغییر حالت: در قسمت خروجی‌های برنامه از یک زمان خاص به بعد مشاهده می‌شود. میانگین و انحراف معیار تمام متغیرهای مربوط به عملکرد عامل‌ها، مانند میزان موجودی، مقدار سفارش اقتصادی، نقطه سفارش مجدد و... تغییر ناچیزی می‌کنند که این حالت همان حالت شبه توازن یا لبه آشوب در سیستم‌های انطباقی پیچیده است. هر گونه تغییر در میزان تقاضا از محیط، به خارج شدن شبکه از حالت شبه تعادل منجر شده و عامل‌های شبکه به‌سرعت موجودی خود را چنان تنظیم می‌کنند که به حالت شبه تعادل برگردند. **تغییرات غیرخطی:** هر گونه تغییر در ورودی‌های برنامه، مانند هزینه سفارش‌دهی، هزینه نگهداری و ... موجب مشاهده تغییر غیرخطی نتایج می‌شود. **ویژگی غیرتصادفی:** با اینکه رفتارهای تصادفی زیادی مانند تعداد مشتریان هر جایگاه یا میزان مواجه‌شدن هر عامل با کمبود و ... در مدل‌سازی شبکه تأمین مورد بررسی وجود دارد، ویژگی‌های غیرتصادفی که معمولاً جزء قوانین شبکه‌های تأمین به‌شمار می‌روند در آن قابل مشاهده است. به‌طور مثال، در صورت تغییر در پایین‌دست زنجیره تأمین، تأثیرات آن را می‌توان در بالادست مشاهده کرد.

پیشینهٔ تجربی پژوهش

پس از اینکه فاکس، چیونگلو و باربوسینو[1] (۱۹۹۳) زنجیره تأمین را به‌عنوان شبکه‌ای از عامل‌های هوشمند معرفی کردند، مطالعات دیگری در ادامه کار آنها انجام گرفت که به چند مورد اشاره می‌شود. استرادر، لین و شاو[2] (۱۹۹۸) از شبیه‌سازی مبتنی بر عامل برای بررسی تأثیر تسهیم اطلاعات در سطح خدمات استفاده کردند. لیانگ و هوانگ[3] (۲۰۰۶) از این رویکرد برای ارائه یک سیستم پیش‌بینی تقاضا بهره بردند. لائو، آگوسورجا و ثانگاراجو[4] (۲۰۰۸) از یک سیستم چند عامله برای کنترل زمان واقعی زنجیره‌های تأمین استفاده کردند که هدف از آن، حفظ سازگاری و بهینگی کلی سیستم بود. پاثاک، دی، نایر، ساوایا و کریستال[5] (۲۰۰۷) ضمن بررسی نقش سیستم‌های انطباقی پیچیده در یکپارچه‌سازی تحقیقات زنجیره تأمین، نشان دادند که چگونه دیدگاه سیستم‌های انطباقی پیچیده می‌تواند در توانمندسازی مدیریت زنجیره تأمین مفید باشد.

چتفیلد و همکارانش (۲۰۰۶) با توسعه یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر عامل (SISCO) در برنامه جاوا که کاربرد آن در تحلیل شبیه‌سازی زنجیره‌های تأمین است، گام بزرگی در توسعه این زمینه مطالعاتی برداشتند. چتفیلد، هایا و کوک[6] (۲۰۱۳) SISCO2 که نسخه دوم سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر عامل در محیط نت لوگو است را ارائه دادند. دومینگوئز و همکارانش (۲۰۱۵) با استفاده از معماری مبتنی بر جاوا، چارچوب دو لایه‌ای برای تمایز میان ارتباطات بین شرکتی و ارتباط عملکردهای سازمانی ارائه کردند. کستاس، پونت، د لا فونته، پینو و پوچ[7] (۲۰۱۵) نیز از معماری مشابهی در نرم‌افزار نت لوگو برای ایجاد یک زنجیره تأمین مبتنی بر عامل استفاده کردند.

حق‌نویس و همکارانش (۲۰۱۶) مدلی یکپارچه مبتنی بر عامل (در بخش انرژی) ارائه کردند که مدیران را قادر به پیش‌بینی و کنترل الگوهای رفتاری در برخی از سیستم‌های انطباقی پیچیده می‌سازد. پونت و همکارانش (۲۰۱۷) با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل برای حداقل‌سازی اثر شلاق چرمی[8]، تعامل میان چهار مدل موجودی پرکاربرد را در پنج حوزه مختلف، با توجه به تغییرات تقاضای مشتریان و ذخیره ایمنی در زنجیره تأمین بررسی کردند. لی و همکارانش (۲۰۱۰) یک مدل تکامل‌یافته شبکه‌های تأمین انطباقی پیچیده چند عامله را برای درک اصول کلی تکامل شبکه‌ها پیشنهاد کردند. یه و یو (۲۰۱۶) از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های موجودی تصادفی در زنجیره تأمین تحت شرایط عدم اطمینان استفاده کردند. روندی، برادشا و بروکمن[9] (۲۰۱۸) به بررسی اکوسیستم‌های کارآفرینی در قالب سیستم‌های انطباقی پیچیده پرداختند. ژو و همکارانش[10] (۲۰۱۵) یک مدل تخصیص بهینه چندهدفه برای سیستم‌های انطباقی پیچیده مدیریت منابع آب پیشنهاد داده‌اند. ژو و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل سلسله‌مراتبی ترکیبی سه سطحی برای مدل‌سازی رفتار سیستم‌های انطباقی پیچیده به‌کار بردند که یکپارچگی مدل‌های فرعی را ممکن می‌سازد.

1. Fox, Chionglo, & Barbuceanu
2. Strader, Lin, & Shaw
3. Liang, & Huang
4. Lau, Agussurja, & Thangarajoo
5. Pathak, Day, Nair, Sawaya, & Kristal
6. Chatfield, Hayya, & Cook
7. Costas, Ponte, de la Fuente, Pino, & Puche
8. Bullwhip Effect
9. Roundy, Bradshaw, & Brockman
10. Zhou & et al.

با بررسی تحقیقات انجام شده، مشاهده می‌شود که بهینه‌سازی موجودی عناصر زنجیره تأمین در قالب یک سیستم انطباقی پیچیده، از خلأهای تحقیقاتی است که پاسخگویی به آن اهمیت زیادی دارد. ضمن اینکه استفاده از شبیه‌سازی مبتنی بر عامل در سیستم‌های انطباقی پیچیده از ضرورت‌های مدل‌سازی به‌شمار می‌رود که پیش‌تر به آن پرداخته نشده است.

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش از رویکرد شبیه‌سازی مبتنی بر عامل برای مدل‌سازی شبکه تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی گیلان در قالب سیستم‌های انطباقی پیچیده استفاده شده است. بر اساس طبقه‌بندی واکر[1] (۱۹۹۸)، روش پژوهش حاضر به‌طور خاص، تحلیلی ـ ریاضی و از نظر هدف کاربردی است. برای جمع‌آوری داده‌ها از بانک‌های اطلاعاتی شرکت پخش فراورده‌های نفتی استان گیلان استفاده شده و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل زنجیره تأمین در قالب سیستم‌های انطباقی پیچیده، در نرم‌افزار نت لوگو انجام گرفته است. متغیرهای اجرای برنامه عبارت‌اند از: تعداد پالایشگاه‌ها (تولیدکننده یا تأمین‌کننده)، تعداد انبارهای نفت (توزیع‌کننده)، تعداد جایگاه‌های عرضه سوخت (خرده‌فروش)، تعداد وسایل نقلیه (مشتری)، میانگین تقاضای هفتگی وسایل نقلیه (مشتری)، انحراف معیار تقاضای هفتگی وسایل نقلیه (مشتری)، زمان عرضه پالایشگاه به انبار نفت، زمان عرضه انبار نفت به جایگاه، هزینه نگهداری، هزینه سفارش‌دهی و هزینه خرید هر واحد از محصول. پس از تعیین متغیرها، برنامه در دو مرحله SET UP و GO اجرا می‌شود.

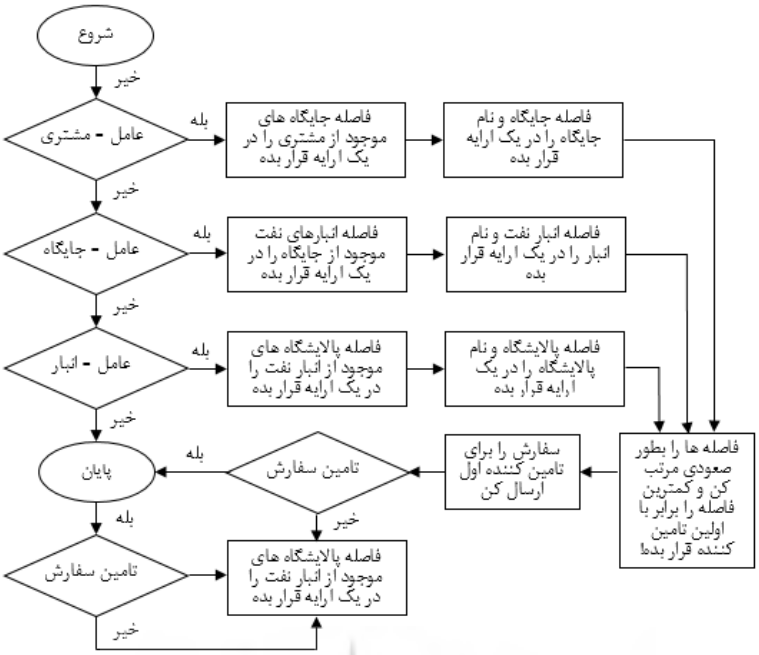
فرایند شبیه‌سازی

اجرای دستور SET UP

با اجرای دستور SET UP، با توجه به اطلاعاتی که کاربر در ابتدا وارد کرده، نمای گرافیکی هر یک از عامل‌ها ایجاد شده و مکان جغرافیایی هر یک به شکل کاملاً تصادفی توسط سیستم انتخاب می‌شود؛ سپس هر یک از عامل‌ها به غیر از پالایشگاه‌ها (تولیدکنندگانی که تأمین‌کنندگان آنها خارج از سیستم انتخاب می‌شوند)، فاصله خود را از تأمین‌کنندگان در زنجیره سنجیده و کد و فاصله هر یک از آنها را در یک بردار یا آرایه ذخیره می‌کند. در ادامه، با مقایسه فاصله‌های ثبت شده، نزدیک‌ترین تأمین‌کننده مشخص می‌شود. از آنجا که قیمت و کیفیت هر لیتر فراورده در همه جایگاه‌ها یکسان است، فرض می‌شود که مشتریان به نزدیک‌ترین جایگاه محل استقرار مراجعه می‌کنند و چنانچه تقاضای آنها برای دریافت مقدار مدنظر سوخت برآورده نشود، به نزدیک‌ترین جایگاه بعدی مراجعه خواهند کرد. در این برنامه، روند یاد شده برای هر یک از عوامل زنجیره تأمین به‌جز پالایشگاه‌ها که نقش تولیدکننده دارند، مشابه است (شکل ۲).

در این شبیه‌سازی، موجودی اولیه برای هر یک از عامل‌ها به‌غیر از مشتریان (جایگاه‌های سوخت، انبارهای نفت و پالایشگاه‌ها) مقداری فرضی است که به‌ترتیب با توجه به میزان تقاضای مشتریان، مجموع موجودی جایگاه‌های سوخت و مجموع موجودی‌های انبار نفت تعیین شده است.

1. Wacker

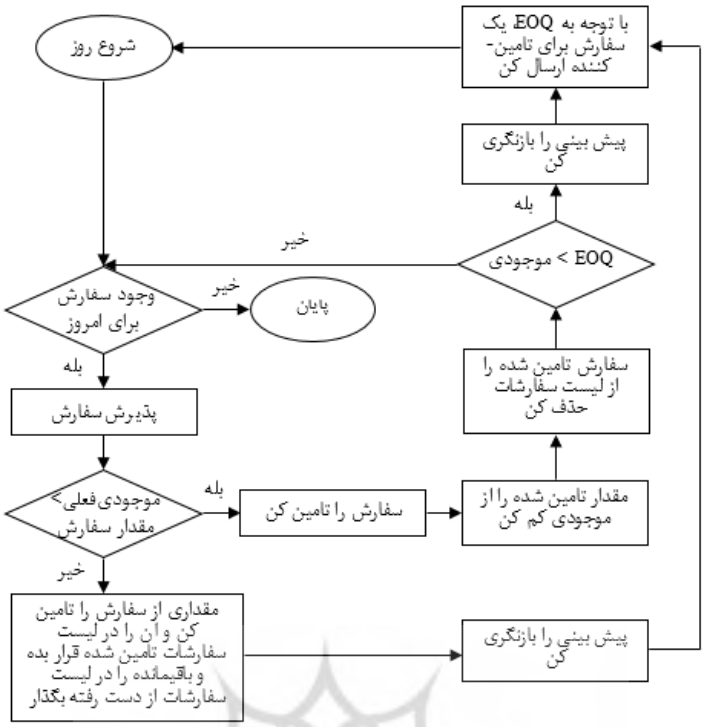


شکل ۲. رفتار کاربران (به‌جز پالایشگاه‌ها) در یافتن نزدیک‌ترین تأمین‌کننده

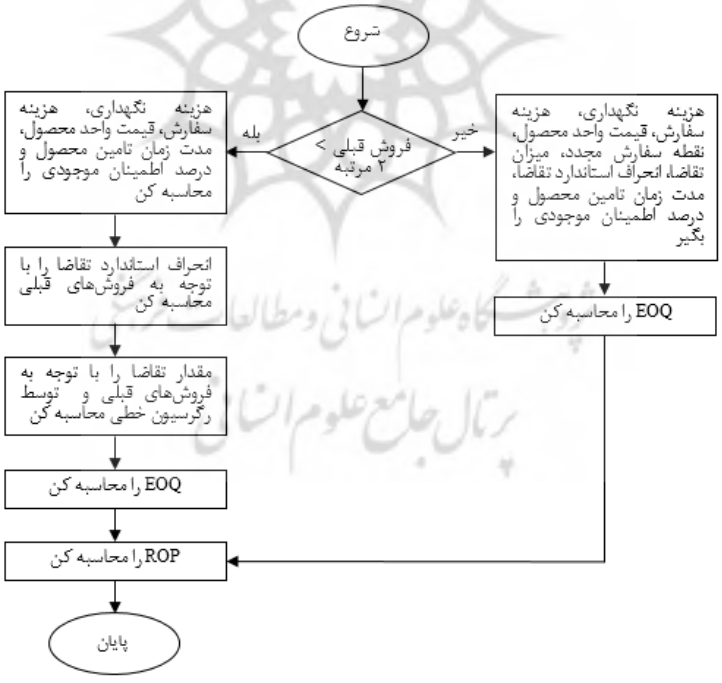
اجرای دستور GO

با اجرای دستور GO، بخش پویای روند شبیه‌سازی آغاز می‌شود. تمام عامل‌ها به‌جز مشتریان، از ابتدای روز به بررسی درخواست‌های سفارش عامل‌های پایین‌دست خود پرداخته و اگر سفارشی وجود داشته باشد، با توجه به میزان موجودی خود، تمام یا بخشی از آن را تأمین می‌کنند یا نمی‌توانند آن را تأمین کنند. برای پیش‌بینی میزان تقاضا در این تحقیق، از رگرسیون خطی استفاده شده است که مبتنی بر آمار و ارقام گذشته است. از آنجا که در ابتدای فعالیت زنجیره، داده‌های گذشته موجود نیست، در دو مرتبه اول فروش، مقدار تقاضای به‌کار رفته در تعیین مقدار سفارش اقتصادی، معادل میزان تقاضای هفتگی است که در تعداد هفته‌های سال ضرب می‌شود. نرم‌افزار با دریافت متغیرهای هزینه نگهداری، هزینه سفارش‌دهی، هزینه خرید، میانگین تقاضا، انحراف معیار تقاضا، درصد اطمینان موجودی و مدت زمان تأمین محصول (مطابق نظر کاربر وارد شده است)، میزان سفارش اقتصادی بهینه را تعیین کرده و بعد نقطه سفارش مجدد را محاسبه می‌کند.

واضح است که به‌دلیل در دسترس نبودن اطلاعات تاریخی، پیش‌بینی‌های اولیه با خطاهای زیادی همراه می‌شوند که با گذشت زمان و افزایش داده‌های آماری، این خطاها کاهش می‌یابد. با شروع مرحله سوم، میزان تقاضا با توجه به فروش‌های قبلی توسط برنامه محاسبه شده و همراه با متغیرهای هزینه نگهداری، هزینه سفارش‌دهی، هزینه خرید، درصد اطمینان از موجودی، و مدت زمان تأمین محصول که مطابق نظر کاربر است، برای محاسبه میزان سفارش اقتصادی و نقطه سفارش مجدد به‌کار گرفته خواهد شد (شکل ۴).

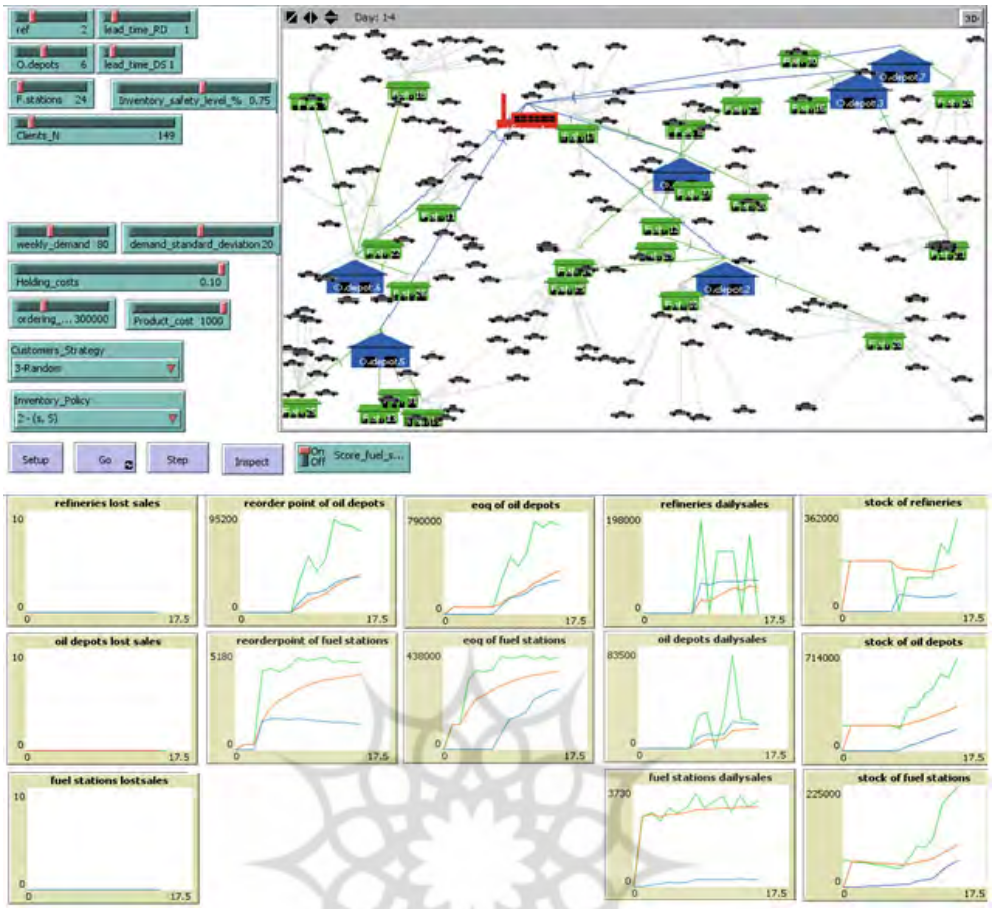


شکل ۳. روش ثبت و تأمین سفارش توسط تأمین‌کنندگان



شکل ٤. روش پیش‌بینی تقاضا، محاسبه مقدار اقتصادی سفارش و نقطه سفارش مجدد

پس از اجرای دستور GO قسمت پویای برنامه شکل می‌گیرد و فرایند سفارش‌دهی، خرید، پیش‌بینی و بازنگری، بازپرسازی مخازن و ... به‌صورت هم‌زمان برای عامل‌های زنجیره صورت گرفته و نتایج برای هر دسته از عوامل در واحد زمان (روز)، ثبت و نمودار آن ترسیم می‌شود. شکل ۵ نمای کلی شبیه‌سازی را در روز چهاردهم نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمای کلی برنامه شبیه‌سازی: ورودی‌ها، ارتباطات، نمودارها (روز ۱۴)

خروجی‌های در نظر گرفته شده برای عامل‌های مختلف عبارت‌اند از: ۱. پالایشگاه‌ها: میانگین و انحراف معیار موجودی، میانگین و انحراف معیار فروش روزانه برآورده شده و میانگین و انحراف معیار فروش از دست رفته، ۲ و ۳ انبارهای نفت و جایگاه‌های عرضه سوخت: میانگین و انحراف معیار موجودی، میانگین و انحراف معیار مقادیر سفارش اقتصادی، میانگین و انحراف معیار نقاط سفارش مجدد، میانگین و انحراف معیار تقاضا، میانگین و انحراف معیار فروش برآورده شده روزانه، میانگین و انحراف معیار فروش از دست رفته و میانگین و انحراف معیار هزینه کل.

یافته‌های پژوهش

اجرای مدل پژوهش

در این تحقیق، برای محاسبه خروجی‌های مدل از ورودی‌های مختلف استفاده شده است. برای آزمون پایداری روند، برای هر مورد، برنامه دو بار اجرا شد و در هر بار، تا ۲ هزار واحد زمان (روز) ادامه یافت. نتایج، نمودارهای میان برنامه و نمودارهای پایان برنامه ثبت شدند که در ادامه، ضمن ارائهٔ یک مورد برای نمونه، به بررسی و تحلیل آن پرداخته می‌شود.

متغیرهایی که در هر بار اجرای برنامه بررسی شده‌اند، عبارت‌اند از:

- پالایشگاه‌ها به‌عنوان تولیدکننده: میزان موجودی، میزان فروش روزانه، میزان فروش از دست رفته، هزینه کل.

- انبارهای نفت به‌عنوان توزیع‌کنندگان: میزان موجودی، مقادیر سفارش بهینه اقتصادی، نقاط سفارش مجدد، میزان تقاضا، میزان فروش روزانه، میزان فروش از دست رفته و هزینه کل.
- جایگاه‌های عرضه سوخت به‌عنوان خرده‌فروشان: میزان موجودی، مقادیر سفارش بهینه اقتصادی، نقاط سفارش مجدد، میزان تقاضا، میزان فروش روزانه، میزان فروش از دست رفته و هزینه کل.

داده‌های ورودی در هر بار اجرای برنامه در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲. داده‌های ورودی برای اجرای برنامه

عنوان	مقدار	عنوان	مقدار
پالایشگاه	۳	تقاضای هفتگی هر مشتری	۱۰۰ لیتر
انبار نفت	۷	انحراف معیار تقاضای هفتگی هر مشتری	۳۰ لیتر
جایگاه سوخت	۸۰	درصد هزینه نگهداری یک واحد فراورده	۲ درصد
مشتری	۱۰۰۰خودرو	هزینه هر بار سفارش	۴۰۰۰۰۰ تومان
زمان تأمین پالایشگاه به انبار نفت	۲ روز	هزینه تولید یک واحد از فراورده	۱۰۰۰ تومان
زمان تأمین انبار نفت به جایگاه سوخت	یک روز	استراتژی خرید مشتری	اتفاقی
درصد موجودی اطمینان	۷۵	استراتژی بازپرسازی مخازن	ذخیره احتیاطی

برنامه‌نویسی مدل در نرم افزار نت لوگو انجام گرفته است که به‌دلیل طولانی بودن برنامه (۲۹ صفحه) به بخشی از آن (به‌روزرسانی مراجعه‌کنندگان[1]) اشاره می‌شود:

```
to update_clients [flag]
 ifelse flag = 0
 [ask turtles with [breed != refineries] [
 let m min(supplier_score)
 let p position m supplier_score
 set first_suplier first(item p suppliers) ]
 ask turtles with [breed != customers] [
 let n [who] of self
 set clients sort([who] of turtles with [(breed = fuel_stations or breed = oil_depots or breed = customers) and first_suplier = n]) ]
 ask turtles with [breed = oil_depots or breed = refineries] [
 foreach clients [set orders lput [0 0] orders] ] ]
 [ask customers [
 let m min(supplier_score)
let p position m supplier_score
set first_suplier first(item p suppliers)]
ask fuel_stations [
let n [who] of self
set clients sort([who] of turtles with [(breed = fuel_stations or breed = oil_depots or breed = customers) and first_suplier = n])]]
end
```

1. Clients

اعتبارسنجی مدل

برای دستیابی به قابلیت اطمینان بالا در مدل شبیه‌سازی و نتایج آن، معمولاً رفتار مدل در شبیه‌سازی خروجی‌ها با شرایط تجربی مقایسه می‌شود. روش‌های مختلفی از جمله آزمایش شرایط حدی، روایی داده‌های تاریخی، تحلیل حساسیت، روایی ظاهری و... برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی ارائه شده‌اند (سارجنت[1]، ۲۰۰۷) که در این تحقیق از روش تحلیل حساسیت استفاده شده است. این روش شامل ایجاد تغییر و دستکاری مقادیر ورودی مدل برای مشخص شدن اثر آنها بر رفتار مدل یا خروجی‌های برنامه شبیه‌سازی است. بدین منظور، با تغییر برخی متغیرهای تأثیرگذار ورودی، مانند هزینه سفارش‌دهی، هزینه نگهداری، میزان موجودی اطمینان و زمان تدارک یا تأمین، خروجی‌های مدل ثبت و بررسی شد که با مباحث تئوریک و نظر خبرگان صنعت هم‌خوانی داشت.

- **تغییر در هزینه سفارش‌دهی:** در این بخش هزینه سفارش‌دهی از ۴۰ هزار تومان (هزینه سفارش ۱) به یک میلیون تومان (هزینه سفارش ۲) افزایش داده شد. از دیدگاه منطقی با افزایش هزینه سفارش‌دهی و ثابت ماندن هزینه نگهداری، عامل‌ها سعی خواهند کرد که تعداد سفارش‌های خود را کاهش داده و در هر بار سفارش، اندازه دسته بزرگ‌تری را درخواست کنند. از دیدگاه نظری نیز با توجه به رابطه میزان سفارش اقتصادی با افزایش هزینه سفارش‌دهی، مقدار سفارش اقتصادی نیز افزایش خواهد یافت که صحت این امر در برنامه شبیه‌سازی در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۳. تغییرات موجودی عامل‌ها در اثر تغییر در هزینه سفارش‌دهی

عامل	روز	موجودی/ لیتر – هزینه سفارش ۱	موجودی/ لیتر – هزینه سفارش ۲
پالایشگاه	۱۰۰۰	۲۰۶۴۸۶۶	۳۸۹۶۰۱۱
	۲۰۰۰	۱۸۹۷۸۱۶	۲۹۶۹۱۷۹
انبار نفت	۱۰۰۰	۴۶۳۳۷۷	۴۶۴۱۷۲۵
	۲۰۰۰	۴۲۹۴۳۶	۳۳۷۳۹۱۸
جایگاه عرضه سوخت	۱۰۰۰	۸۴۵۴۵۱	۴۳۸۰۸۵۲
	۲۰۰۰	۸۴۳۸۴۰	۴۲۲۵۷۵۱

جدول ٤. تغییرات میزان سفارش اقتصادی عامل‌ها در اثر تغییر در هزینه سفارش‌دهی

عامل	روز	موجودی/ لیتر – هزینه سفارش ۱	موجودی/ لیتر – هزینه سفارش ۲
انبار نفت	۱۰۰۰	۴۹۳۹۹۰	۲۱۵۵۴۸۳
	۲۰۰۰	۴۹۵۲۱۴	۲۲۲۱۷۴۲
جایگاه عرضه سوخت	۱۰۰۰	۱۶۶۸۰۴۸	۸۳۲۲۲۱۴
	۲۰۰۰	۱۶۶۶۹۸۴	۸۳۳۳۱۶۷

1. Sargent

- **تغییر در هزینه نگهداری:** در این بخش درصد هزینه نگهداری از ۲ درصد هزینه خرید یا تولید به ۴۰ درصد هزینه خرید یا تولید تغییر داده شد. به‌صورت منطقی با بالا رفتن هزینه نگهداری فراورده و ثابت ماندن هزینه سفارش‌دهی، عامل‌ها سعی می‌کنند که موجودی کمتری را نگهداری کرده و در فواصل زمانی کمتری درخواست سفارش‌های خود را ارسال کنند. از دیدگاه نظری نیز با توجه به رابطه میزان سفارش اقتصادی، با افزایش هزینه نگهداری میزان سفارش اقتصادی کاهش خواهد یافت که صحت این مسئله در برنامه شبیه‌سازی مشاهده می‌شود.
- **تغییر در درصد موجودی اطمینان:** در این بخش درصد موجودی اطمینان از ۷۵ درصد به ۹۵ درصد تغییر یافته است که با توجه به مبانی نظری، با افزایش درصد موجودی اطمینان و ثابت ماندن زمان تأمین، نقطه سفارش مجدد افزایش خواهد یافت که صحت این مطلب در برنامه شبیه‌سازی مشاهده می‌شود، به علاوه، نظر خبرگان نیز این مسئله را تأیید می‌کند.
- **تغییر در زمان تدارک یا تأمین:** با توجه به مبانی نظری با افزایش زمان تأمین و ثابت ماندن درصد موجودی اطمینان، نقطه سفارش مجدد افزایش خواهد یافت، بنابراین با افزایش زمان تأمین به ۷ روز، نتایج همچنان منطبق بر مبانی نظری و نظر خبرگان است.

نتایج شبیه‌سازی

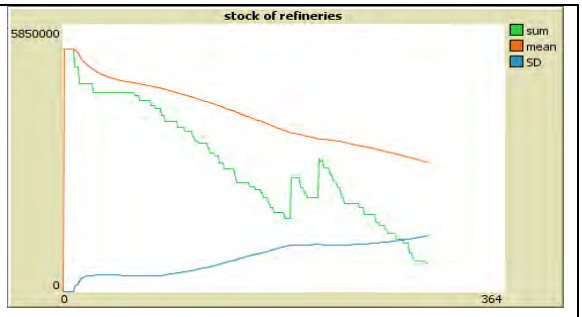
در این بخش، خروجی‌های برنامه برای پالایشگاه‌ها، انبارهای نفت و جایگاه‌های عرضه سوخت ارائه و تحلیل می‌شوند.

پالایشگاه‌ها

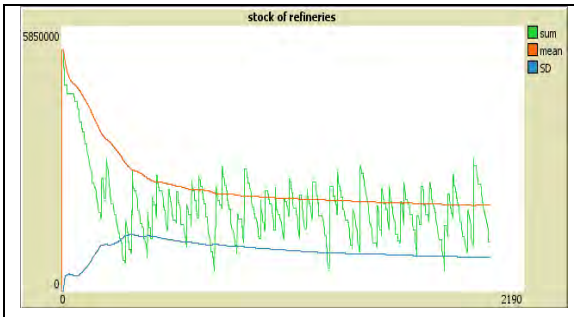
با توجه به خروجی شبیه‌سازی، مشاهده می‌شود که میزان تغییرات میانگین موجودی پالایشگاه‌ها از روز نخست تا پانصدمین روز ۲۹۵۱۰۵۸ لیتر؛ از روز پانصد تا روز هزارم ۳۰۱۲۷۶ لیتر؛ از روز هزارم تا هزاروپانصدم ۱۰۶۰۵۰ لیتر و از روز هزاروپانصدم تا دوهزارم ۶۱۰۰۰ لیتر بوده که نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میانگین موجودی است. همان‌گونه که در شکل‌های ۶ و ۷ مشخص است، منحنی میانگین موجودی پس از طی مسیر نزولی، روند تقریباً پایداری به‌خود گرفته و با تغییرات اندک مسیر خود را ادامه می‌دهد. میزان تغییرات انحراف معیار موجودی پالایشگاه‌ها نیز از روز نخست تا روز پانصد ۱۱۴۳۲۸۴ لیتر؛ از روز پانصد تا هزار ۲۲۰۸۲۸ لیتر، از روز هزار تا هزاروپانصد ۷۶۰۹۲۹ لیتر و از روز هزاروپانصد تا دوهزار ۶۳۵۲۴ لیتر بوده که نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میزان انحراف معیار موجودی است.

نتایج خروجی پالایشگاه‌ها نشان می‌دهد که میزان تغییرات میانگین فروش روزانه پالایشگاه‌ها، از روز نخست تا روز پانصد ۲۴۱۳۴ لیتر؛ از روز پانصد تا هزارم ۷۴۰ لیتر، از روز هزارم تا هزاروپانصدم ۴۴۷ لیتر و از روز هزاروپانصد تا دوهزار ۲۱۹ لیتر بوده است که نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میزان میانگین فروش روزانه است. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، منحنی میانگین فروش روزانه برآورده شده، پس از طی مسیر نزولی، روند نسبتاً پایداری به خود گرفته و با تغییرات اندک به مسیر خود ادامه می‌دهد. روند تغییرات انحراف معیار فروش روزانه برآورده شده از روز نخست تا روز پانصد ۵۲۶۶۰ لیتر؛ از روز پانصد تا هزارم ۱۹۷ لیتر؛ از روز هزارم تا هزاروپانصد ۵۹۳ لیتر و از روز هزاروپانصد تا دوهزار ۸ لیتر بوده است که نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میزان میانگین فروش روزانه است. می‌توان استنباط کرد که انبارهای نفت به‌عنوان مشتریان پالایشگاه، توانسته‌اند به روند پایداری در این زمینه نائل شوند.

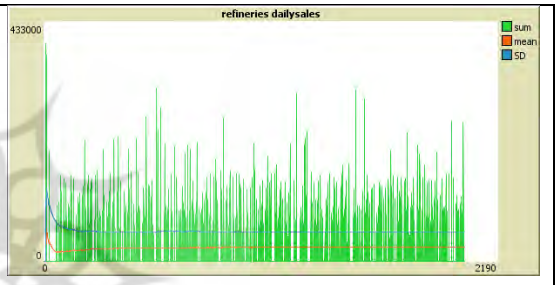
همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است، از روز نخست تا روز ۲۰۰۰، هیچ‌گونه فروش از دست‌رفته‌ای در پالایشگاه‌ها مشاهده نمی‌شود.



شکل ٦. میانگین و انحراف معیار موجودی پالایشگاه‌ها (تا روز ٣٦٤)



شکل ۷. میانگین و انحراف معیار موجودی پالایشگاه‌ها (تا روز ۲۱۹۰)



شکل ۸. مجموع فروش برآورده شده روزانه پالایشگاه‌ها (تا روز ۲۱۹۰)

شکل ۹. مجموع فروش از دست رفته پالایشگاه‌ها (تا روز ۲۱۹۰)

منحنی‌های میانگین و انحراف معیار فروش روزانه برآورده شده نیز، پس از طی مسیر نزولی تقریباً روند پایداری به خود گرفته و با تغییرات اندک مسیر خود را ادامه می‌دهند.

به علاوه، بر اساس خروجی‌های مدل، از روز نخست تا روز ۲۰۰۰، فروش از دست‌رفته‌ای برای پالایشگاه‌ها مشاهده نمی‌شود.

انبارهای نفت

نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میانگین و انحراف معیار موجودی است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشخص است، منحنی میانگین و انحراف معیار موجودی انبارهای نفت از روز ۱۵۰۰ روند پایداری به‌خود گرفته و با تغییرات اندک به مسیر خود ادامه می‌دهد.

نتایج خروجی‌ها نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میانگین مقادیر و انحراف معیار سفارش اقتصادی است. روند پایدار میانگین و انحراف معیار مقدار سفارش‌های اقتصادی پس از طی مسیر نزولی از روز ۱۰۰۰ به بعد (شکل ۱۱) قابل مشاهده است.

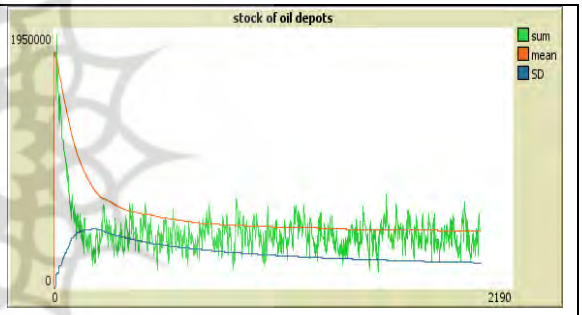
نتایج خروجی شبیه‌سازی وضعیت انبارهای نفت نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میانگین و انحراف معیار مقادیر نقطه سفارش مجدد است (شکل ۱۲) که از روز ۱۰۰۰ به بعد روند پایداری به خود می‌گیرد.

تغییرات میانگین و انحراف معیار تقاضا در انبارهای نفت نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میزان میانگین تقاضاست. مطابق شکل ۱۳ منحنی میانگین و انحراف معیار تقاضا در انبارهای نفت از روز ۱۵۰۰ روند پایداری به خود گرفته است.

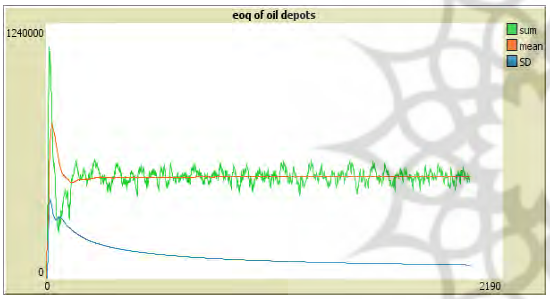
نتایج خروجی انبارهای نفت نشان می‌دهد که میزان تغییر میانگین و انحراف معیار فروش برآورده شده در انبارهای نفت با کاهش همراه است. با توجه به شکل ۱۴، میانگین و انحراف معیار مقادیر فروش برآورده شده انبارهای نفت، از روز ۵۰۰ روند پایداری به خود گرفته است.

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، از روز نخست تا ۲۰۰۰ فروش از دست‌رفته‌ای مشاهده نمی‌شود.

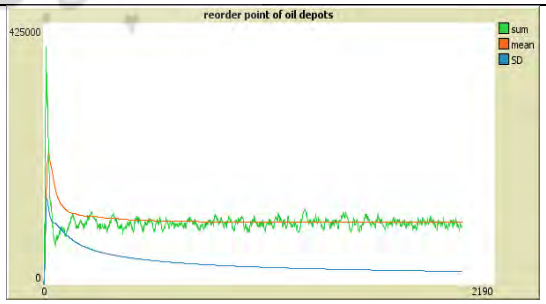
در نهایت، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میزان تغییرات میانگین و انحراف معیار مقادیر هزینه کل در انبارهای نفت دارای روند نزولی است (شکل ۱۵) و پس از طی مسیر نزولی، از روز ۱۵۰۰ روند تقریباً پایداری به خود می‌گیرد.



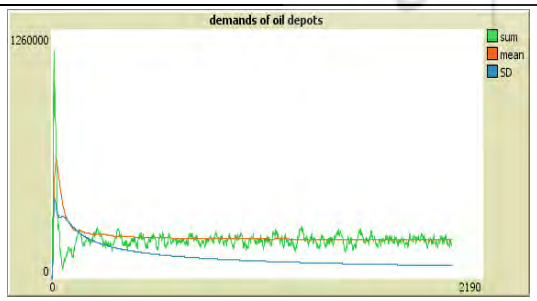
شکل ۱۰. میانگین و انحراف معیار موجودی انبارهای نفت (تا روز ۲۱۹۰)



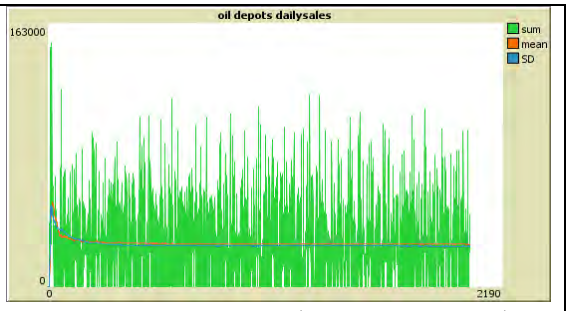
شکل ۱۱. مقادیر سفارش اقتصادی (EOQ) انبارهای نفت (تا روز ۲۱۹۰)



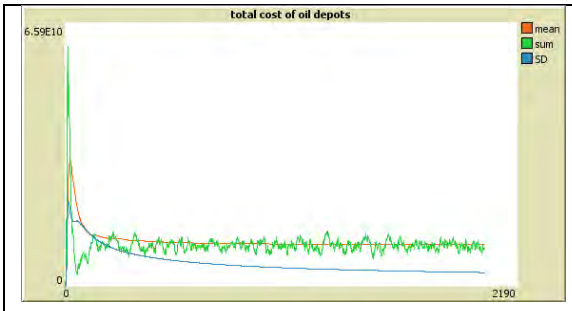
شکل ۱۲. مقادیر نقطه سفارش مجدد انبارهای نفت (تا روز ۲۱۹۰)



شکل ۱۳. مقادیر تقاضای انبارهای نفت (تا روز ۲۱۹۰)



شکل ١٤. مقادیر فروش‌های روزانه انبارهای نفت (تا روز ٢١٩٠)



شکل ١٥. مقادیر هزینه کل انبارهای نفت (تا روز ٢١٩٠)

جایگاه‌های عرضه سوخت

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میزان تغییرات میانگین و انحراف معیار موجودی جایگاه‌های عرضه سوخت از روند نزولی برخوردار است و از روز ٥٠٠ به پایداری می‌رسد (شکل ١٦).

نتایج مربوط به جایگاه‌های عرضه سوخت نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات در میزان میانگین و انحراف معیار مقادیر سفارش بهینه اقتصادی است. روند تغییرات در میانگین و انحراف معیار مقادیر سفارش بهینه اقتصادی از روز ٥٠٠ دارای روند پایداری است (شکل ١٧).

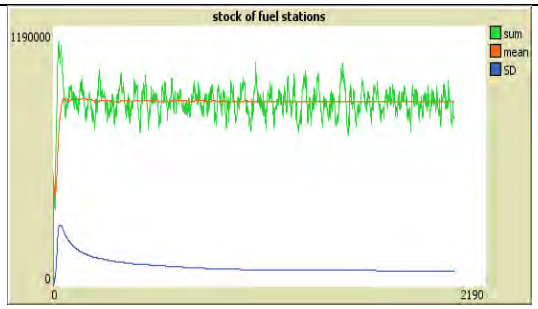
بر اساس نتایج، میزان تغییرات میانگین و انحراف معیار مقادیر نقاط سفارش مجدد در جایگاه‌ها از روز نخست تا ٢٠٠٠، نشان‌دهنده کاهش روند تغییرات است که از روز ١٠٠ روند تغییرات در میانگین موجودی پایدار است (شکل ١٨).

خروجی شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تغییرات در میانگین و انحراف معیار مقادیر تقاضا در جایگاه‌ها پس از طی روند کاهشی، از روز ١٠٠ به پایداری نسبی می‌رسد (شکل ١٩).

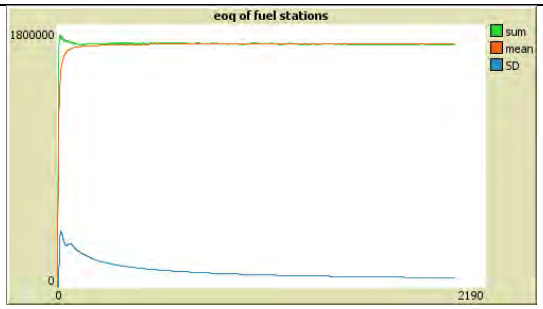
به علاوه، نتایج نشان می‌دهد که تغییرات میانگین و انحراف معیار مقادیر فروش برآورد شده در جایگاه‌ها از روز نخست تا روز ١٠٠ روند کاهشی داشته، سپس به پایداری نسبی می‌رسد (شکل ٢٠).

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، از روز نخست تا روز ٢٠٠٠ فروش از دست‌رفته‌ای مشاهده نمی‌شود.

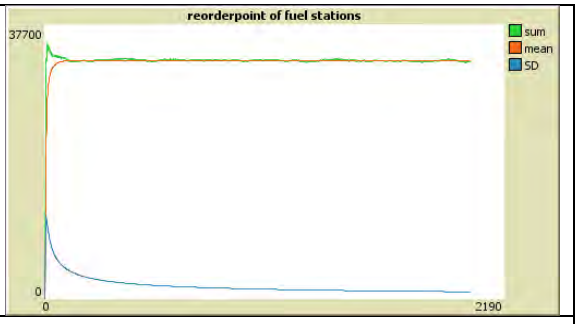
در نهایت، تغییرات میانگین و انحراف معیار مقادیر هزینه کل در جایگاه‌ها پس از طی سیر نزولی، از روز ٥٠٠ به بعد در مقدار تقریبی ٩/٦٥ E٩ روند نسبتاً پایداری به خود می‌گیرند.



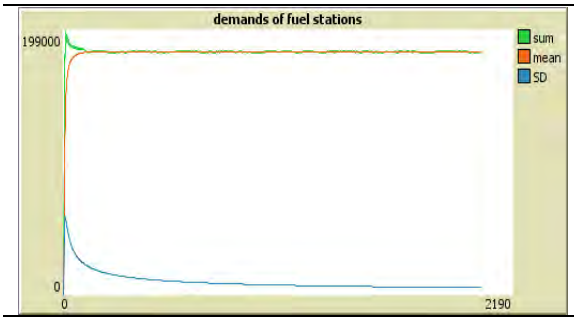
شکل ١٦. مقدار موجودی جایگاه‌های عرضه سوخت (تا روز ٢١٩٠)



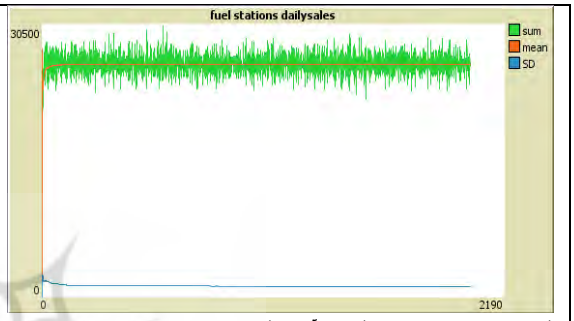
شکل ١٧. مقدار سفارش‌های اقتصادی جایگاه‌های عرضه سوخت (تا روز ٢١٩٠)



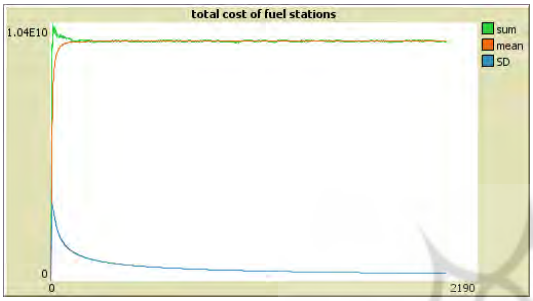
شکل ۱۸. مقادیر نقطه سفارش مجدد جایگاه‌های عرضه سوخت (تا روز ۲۱۹۰)



شکل ۱۹. مقادیر تقاضای جایگاه‌های عرضه سوخت (تا روز ۲۱۹۰)



شکل ۲۰. مقادیر فروش برآورد شده جایگاه‌های عرضه سوخت (تا روز ۲۱۹۰)



شکل ۲۱. مقادیر هزینه کل جایگاه‌های عرضه سوخت (تا روز ۲۱۹۰)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق به بررسی زنجیره تأمین شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی گیلان، در قالب یک سیستم انطباقی پیچیده پرداخته شده است تا وضعیت دستیابی عوامل این زنجیره به سطح موجودی بهینه بررسی شود. بر این اساس، ضمن شبیه‌سازی مبتنی بر عامل این شبکه، با توجه به تعامل عامل‌ها، به بررسی روند تغییرات سطح موجودی و متغیرهای مربوط به آن (نقطه سفارش مجدد، میزان سفارش اقتصادی، میزان فروش‌های برآورده شده، میزان فروش‌های از دست رفته، هزینه کل و ...) با یکدیگر بر مبنای میزان سفارش اقتصادی، پرداخته شده است. در این شبیه‌سازی، تأخیرات زمانی در بررسی زمان تأمین در نظر گرفته نشده و فرض بر آن است که زمان تأمین مشخص شده توسط کاربر، قطعی است.

در پاسخ به سؤال اصلی پژوهش باید گفت که میزان تغییرات میانگین و انحراف معیار موجودی پالایشگاه‌ها، انبارهای نفت و جایگاه‌های عرضه سوخت، در ابتدای دوره شبیه‌سازی به‌دلایلی همچون در دست نبودن داده‌های آماری کافی برای پیش‌بینی و ناتوانایی در تخمین مناسب میزان تقاضای مشتریان، وجود تغییرات زیاد در میزان تقاضای مشتریان پایین دست که موجب سردرگمی عامل سطح بالاتر می‌شود و در نهایت عدم شکل‌گیری پدیده ظهور یا پدیداری بسیار زیاد است، ولی در انتهای دوره به دلایلی همچون کسب اطلاعات بیشتر از داده‌های تاریخی مرتبط با میزان تقاضا، میزان فروش، تعداد مشتریان و کسب آگاهی از روند ارتباطات بین شبکه‌ای، این تغییرات به‌شدت کاهش یافته و حالت نسبتاً پایدار به خود می‌گیرند. این مسئله نشان‌دهنده آن است که میزان موجودی مورد نیاز هر دسته از عوامل شبکه تأمین با انحراف معیاری تقریباً ثابت (با تغییرات بسیار اندک) مشخص شده است. نظر به اینکه هیچ‌یک از

عامل‌ها، فروش از دست‌رفته‌ای نداشتند و همچنین، میزان سفارش آنها بر اساس میزان سفارش اقتصادی بوده، بدیهی است که میزان موجودی تعیین شده، بهینه است.

در پاسخ به سؤال فرعی اول باید گفت که در این شبیه‌سازی تأخیرات زمانی در مدل‌سازی لحاظ نشده و زمان تأمین مشخص شده توسط کاربر، قطعی فرض شده است. انحراف معیار زیاد میزان فروش روزانه به‌دلیل تخمین اشتباه خریداران از میزان خریدشان در ابتدای شبیه‌سازی، موجب تعیین نامناسب نقطه سفارش مجدد توسط عامل‌های تأمین‌کننده می‌شود و این مسئله تغییرات زیاد نقطه سفارش مجدد عامل فروشنده یا تأمین‌کننده را به‌دنبال دارد. با گذشت زمان و دستیابی به روند پایدار میانگین و انحراف معیار خرید عامل‌های خریدار، عامل‌های فروشنده نیز قادر خواهند بود به تخمین نسبتاً دقیقی از نقطه سفارش مجدد خود دست یابند. نمودارها و جدول‌های خروجی نیز مؤید این موضوع هستند که در انتهای دوره شبیه‌سازی، میزان تغییرات نقطه سفارش مجدد عامل‌ها و انحراف معیار آن ناچیز بوده و حالت پایدار به خود می‌گیرد.

در پاسخ به سؤال فرعی دوم می‌توان گفت از آنجا که هزینه کل، برابر با مجموع هزینه سفارش‌دهی، هزینه نگهداری و هزینه تولید یا خرید فراورده است، در فواصل انتهای شبیه‌سازی، عامل‌ها با دستیابی به سطح موجودی بهینه و میزان سفارش اقتصادی خود، به تخمین درستی از میزان هزینه کل خود دست می‌یابند و با کاهش تغییرات در سطح موجودی و میزان سفارش اقتصادی تغییرات، هزینه کل و انحراف معیار آن نیز کاهش یافته و باز هم عامل‌ها به تخمین درستی از هزینه کل خود دست خواهند یافت.

در پاسخ به سؤال فرعی سوم باید گفت با توجه به نتایج، در دورهٔ شبیه‌سازی، فروش از دست‌رفته‌ای از هیچ عامل مشاهده نشد. البته ممکن است که در صورت تعریف شرایط اولیه (موجودی اولیه هر عامل که به‌شکل تصادفی تعیین شده) در ابتدای شبیه‌سازی، فروش از دست‌رفته مشاهده شود، اما با توجه به دستیابی عامل‌ها به تخمین دقیقی از نقطه سفارش مجدد و میزان موجودی خود در انتهای شبیه‌سازی، فروش از دست‌رفته‌ای مشاهده نشده و عامل‌ها از توانایی تأمین کامل مشتریان خود برخوردارند. هرچند، در سیستم انطباقی تعریف شده، در صورت عدم تأمین یک مشتری توسط عامل تأمین‌کننده، مشتری به عامل تأمین‌کننده دیگر مراجعه کرده و تقاضای خود را برآورده می‌سازد. بر این اساس، بر خلاف زنجیره‌های تأمینی که در آنها تأمین‌کننده هر مشتری از ابتدا مشخص است و عدم تأمین توسط منبع مد نظر موجب اخلال در زنجیره می‌شود، هیچ‌گونه اختلالی در شبکه تأمین ایجاد نخواهد شد.

در مقایسه نتایج پژوهش با پژوهش‌های مشابه نیز می‌توان گفت که در مطالعه پونت و همکارانش (۲۰۱۷)، عملکرد هر عامل نه تنها به محیط خارجی، بلکه به جایگاه آن در سیستم و تصمیم سایر عامل‌ها بستگی دارد. چارچوب پیشنهاد شده در پژوهش یه و یو (۲۰۱۶) نیز قادر به حل مسائل عمومی زنجیره با چند منبع، سفارش‌دهی نامتقارن، تقاضای غیرقطعی است.

در خصوص پیشنهادهای حاصل از تحقیق، به شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی توصیه می‌شود:

۱. به‌منظور تعیین موجودی هر عامل بر اساس میزان مورد نیاز و واقعی آن، احتمال کم برآورده نشدن تقاضای مشتریان به‌دلیل امکان مراجعه به تأمین‌کنندگان متعدد، سرعت بالا و انطباق عامل‌ها با تغییرات در تقاضای

محیط سیستم و تغییرات درون سیستمی و آزادی جایگاه‌ها در دریافت فراورده از نزدیک‌ترین انبار نفت، صرف‌نظر از قرار داشتن آن در استان مجاور (صرفه‌جویی در زمان و هزینه)، از زنجیره تأمین انطباقی پیچیده استفاده کند.

۲. قبل از ورود هر عامل به یک زنجیره تأمین انطباقی پیچیده، زنجیره تأمین شبیه‌سازی (عامل محور) شود تا توان انبارش و ذخیره‌سازی عامل ورودی تعیین شود و در عین حال بتوان از میزان هزینه کلی خرید و نگهداری سالانه فراورده برآورد نسبتاً دقیقی انجام داد.

۳. از آنجا که پدیده ظهور یا پدیداری از تعامل بین عامل‌ها شکل می‌گیرد، هرچه عامل‌ها دارای توانایی یادگیری بیشتری در زمینه‌های مختلف باشند، بهتر و سریع‌تر می‌توانند با عامل‌های دیگر تعامل کنند تا الگوی کاراتری پدیدار شود. از این رو، پیشنهاد می‌شود که هر یک از عامل‌ها در فرایند یادگیری خود از روش‌ها و فناوری‌های نوین و نیروهای متخصص استفاده کند.

برای انجام تحقیقات آتی، موضوعات زیر به پژوهشگران توصیه می‌شود:

۱. بررسی راهکارهایی که شرکت‌های دارای سیستم‌های انطباقی پیچیده با استفاده از آنها، قابلیت بقا در لبه آشوب را افزایش دهند یا در صورت خروج از حالت شبه تعادل، بتوانند هرچه سریع‌تر به این حالت بازگردند؛

۲. تعیین سطح بهینه موجودی برای زنجیره‌های تأمینی که در آنها تخفیف‌های مقداری وجود دارد؛

۳. مدل‌سازی پدیده اثر شلاق چرمی در زنجیره‌های تأمین پیچیده انطباقی.

منابع

آذر، عادل؛ علی‌محمدلو، مسلم (۱۳۸۶). طراحی مدل ریاضی مدیریت موجودی زنجیره تأمین. *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ۱۱ (۳)، ۱-۲۸.

تیموری، ابراهیم؛ احمدی، مهدی (۱۳۸۸). *مدیریت زنجیره تأمین*. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

جعفرنژاد، احمد؛ عموزاد مهدیرجی، حنان (۱۳۹۲). *طراحی و کنترل زنجیره تأمین: رویکردی کمی*. تهران: مهربان نشر.

حاج شیر محمدی، علی (۱۳۹۳). *اصول برنامه‌ریزی و کنترل تولید و موجودی‌ها*. اصفهان: انتشارات ارکان دانش.

حجی، رسول؛ معارف دوست، محمد محسن؛ ابراهیمی، سید بابک (۱۳۸۸). محاسبه هزینه سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده تحت سیاست تولید سفارشی. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۱ (۳)، ۲۱ -۳۶.

صائبی، علیرضا؛ هاشمی گلپایگانی، سید علیرضا (۱۳۸۹). *مدیریت زنجیره تأمین مبتنی بر عامل (مروری بر عامل‌های هوشمند و مدیریت زنجیره تأمین)*. تهران: انتشارات ناقوس.

وکیلی، محمدرضا؛ نوری، سیامک؛ یعقوبی، سعید (۱۳۹۵). ارائه مدل موجودی ـ زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین ساخت‌وساز. *نشریه مدیریت صنعتی*. ۸ (۱)، ۱۱۳-۱۴۰.

References

Azar, A. & Alimohammadlou, M. (2007). Supply Chain Inventory Management: A Mathematical Modeling. *Quarterly Journal of MRI*, 11 (3), 1-28. (*in Persian*)

Chatfield, D. C., Harrison, T. P. & Hayya, J. C. (2006). SISCO: an object-oriented supply chain simulation system. *Decision Support Systems*, 42(1), 422–434.

Chatfield, D. C., Hayya, J. C. & Cook, D. P. (2013). Stockout propagation and amplification in supply chain inventory systems. *International Journal of Production Research*, 51(5), 1491–1507.

Choi, T. Y., Dooley, K. J. & Rungtusanatham, M. (2001). Supply networks and complex adaptive systems: Control versus emergence. *Journal of Operations Managemen*, 19, 351-366.

Costas, J., Ponte, B., de la Fuente, D., Pino, R. & Puche, J. (2015). Applying Goldratt's Theory of Constraints to reduce the Bullwhip Effect through agent-based modeling. *Expert Systems with Applications*, 42 (4), 2049–2060.

Dominguez, R., Cannella, S., Framinan, J. M. (2015). SCOPE: a multi-agent system tool for supply chain network analysis. *Proceedings of the EUROCON 2015-international conference on computer as a tool*, 1–15.

Eisenhardt, K. M. & Piezunka, H. (2011). Complexity theory and corporate strategy. In P. Allen, S. Maguire, & B. McKelvey (Eds.). *The SAGE handbook of complexity and management* (pp. 506–523). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

Fox, M. S., Chionglo, J. F. & Barbuceanu, M. (1993*). The integrated supply chain management system.* Department of Industrial Engineering (University of Toronto): Internal Report.

Fu-gui, D. (2012). Agent-based Simulation Model of Single Point Inventory System. *Systems Engineering*, 4, 298-304.

Gerber, A., Russ, C. & Klusch, M. (2003). Supply web co-ordination by an agent-based trading network with integrated logistics services. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2 (2), 133-146.

Giannoccarra, L. (2002). Inventory management in supply chains: reinforcementlearning approach. *International Journal of Production Economics*, 78, 153-161.

Gilbert, N. (2008). *Agent-based models*. London, Sage Publications.

Haghnevis, M., Askin, R. G. & Armbruster, D. (2016). An agent-based modeling optimization approach for understanding behavior of engineered complex adaptive systems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 56, 67-87.

Haj Shir Mohammadi, A. (2014). *The principals of inventory and production planning and control*. Arken-e Danesh Publication, Isfahan. (*in Persian*)

Haji, R. Moarefdoost, M. M. & Ebrahimi, S. B. (2010). Finding the Cost of Inventory in Make to Order Supply Chain under Vendor Managed Inventory Program. *Journal of Industrial Management*, 1 (3), 21-36. (*in Persian*)

Jafarnejad, A. & Amouzad Mahdirji, H. (2013). *Designing and controlling the supply chain: A quantitative approach*. Mehraban Publication, Tehran. (*in Persian*)

Lau, H. C. Agussurja, L. & Thangarajoo, R. (2008). Real-time supply chain control via multiagent adjustable autonomy. *Computers & Operations Research*, 35 (11), 3452–3464.

Li, G., Yang, H., Sun, L., Ji, P. & Feng, L. (2010). The evolutionary complexity of complex adaptive supply networks: A simulation and case study. *International Journal of Production Economics*, 124 (2), 310-330.

Liang, W. Y. & Huang, C. C. (2006). Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain. *Decision Support Systems*, 42 (1), 390-407.

McCarthy, I. P. (2004). Manufacturing strategy: Understanding the fitness landscape. *International Journal of Operations & Production Management*, 24 (2), 124-150.

Nilsson, F. & Darely, V. (2006). On complex adaptive systems and agent-based modelling for improving decision-making in manufacturing and logistics settings Experiences from a packaging company. *International Journal of Operations & Production Management*, 26 (12), 1351-1373.

North, M. Macal, C. & Campbell, P. (2005). Oh behave! Agent-based behavioral representations in problem solving environments. *Future Generation Computer Systems*, 21 (7), 1192-1198.

Onik, M. F. A. Fielt, E. G. & Gable, G. G. (2016). Complex adaptive systems theory in information systems research: A systematic literature review. *Twenty-Fourth European Conference on Information Systems (ECIS)*, İstanbul, Turkey.

Pathak, S. D., Day, J. M., Nair, A., Sawaya, W. J. & Kristal, M. M. (2007). Complexity and Adaptivity in Supply Networks: Building Supply Network Theory Using a Complex Adaptive Systems Perspective. *Decision Sciences*, 38 (4), 547-580.

Ponte, B., Sierra, E., de la Fuente, D. & Lozano, J. (2017). Exploring the interaction of inventory policies across the supply chain: An agent-based approach. *Computers & Operations Research*, 78, 335–348.

Roundy, P. T., Bradshaw, M. & Brockman, B. K. (2018). The emergence of entrepreneurial ecosystems: A complex adaptive systems Approach. *Journal of Business Research*, 86, 1–10.

Saebi, A. R. & Hashemi Golpayegani, S. A. R. (2010). *Agent based supply chain management (A review on intelligent agents and supply chain management).* Naghoos Press, Tehran. (*in Persian*)

Sargent, R. G. (2007). Verification and validation of simulation models. *Simulation conference*, Washington, DC, USA.

Smith, E. R. & Semin, G. R. (2004). Socially situated cognition: Cognition in its social context. *Advances in Experimental Social Psychology*, 36, 53-117.

Strader, T. J., Lin, F. R. & Shaw, M. J. (1998). Simulation of order fulfillment in divergent assembly supply chains. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(2), 1-5.

Teimouri, A. & Ahmadi, M. (2009). *Supply chain management*. Publication of Iran University of science & Technology, Tehran. (*in Persian*)

Vakili, M. R., Nori, S., Yaghobi, S. (2016). An Inventory– Scheduling Model for Supply Chain of Construction Project. *Journal of Industrial Management*, 8 (1), 113-140. (*in Persian*)

Wacker, J. G. (1998). A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. *Journal of Operations Management*, 16, 361–385.

Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multi agent systems*. 2nd edition. John Wiley and Sons Ltd, London.

Wycisk, C. (2008). "Smart parts" supply networks as complex adaptive systems: analysis and implications. *International Journal of Physical, Distribution & Logistics Management*, 38, 108-125.

Ye, W. & You, F. (2016). A computationally efficient simulation-based optimization methodwith region-wise surrogate modeling for stochastic inventorymanagement of supply chains with general networkstructures. *Computers and Chemical Engineering*, 87 (2016) 164–179.

Zhou, Y. Guo, S. Xu, C. Y. Liu, D. Chen, L. & Ye, Y. (2015). Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (I): Methodologies. *Journal of Hydrology*, 531, 964–976.

Zhu, F. Yao, Y. Tang, W. & Tang, J. (2017). A hierarchical composite framework of parallel discrete event simulation for modelling complex adaptive systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 77, 141–156.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی