بررسی اثرات واریانس زمان‌های تحویل بر عملکرد زنجیره تامین

جعفر حیدری[1]، رضا برادران کاظم‌زاده[2]، سیدکمال چهارسوقی[3]

چکیده

مدیریت موثر زنجیره تامین لازمه موفقیت کسب و کارهاست؛ امروزه رقابت بین کسب و کارها جای خود را به رقابت بین زنجیره‌های تامین داده است و هیچ کسب و کاری بدون توجه به سایر اجزای دست‌اندرکار تامین، تولید و توزیع نمی‌تواند در رقابت با سایر زنجیره‌های تامین موفقیت چندانی کسب نماید. لازمه مدیریت موثر زنجیره تامین، انجام اقدامات مناسب به صورت اثربخش است، با این حال شناخت اقدامات و فعالیت‌های مناسب خود نیازمند توجه به اثراتی است که این اقدامات برجای می‌گذارند. کاهش زمان‌های تحویل می‌تواند یک اقدام مناسب تلقی شود ولی با اینحال سنجش میزان تاثیرات ناشی از آن به طور مناسبی در ادبیات صورت نگرفته است. در این مقاله اثرات وجود واریانس در زمان‌های تحویل کلیه اعضای زنجیره در یک زنجیره تامین سریالی چهارسطحی بررسی شده است. بررسی اثرات در دو مرحله اصلی انجام شده است: ۱- شبیه‌سازی زنجیره تامین ۲- تحلیل نتایج و انجام اثرسنجی بوسیله یک مدل ساختاری. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده است که افزایش واریانس در زمان‌های تحویل منجر به افزایش واریانس سفارشات صادر شده توسط هریک از اعضای زنجیره تامین می‌شود ولیکن الزاما اثر شلاقی را افزایش نخواهد داد. در حقیقت با افزایش زمان‌های تحویل، سفارشات رسیده به هریک از اجزا ناهمگن‌تر از پیش شده اما این ناهمگنی در کلیه اعضای زنجیره به یک نسبت رخ داده و در نتیجه اثر شلاقی افزایش نمی‌یابد. از طرف دیگر نشان داده شده است که افزایش واریانس زمان‌های تحویل منجر به افزایش هزینه‌های موجودی در زنجیره تامین می‌شود. نتایج حاصل از تحقیق بر اهمیت توجه به سرمایه‌گذاری بر روی کاهش واریانس زمان‌های تحویل تاکید دارد.

کلمات کلیدی: زنجیره تامین؛ زمان تحویل؛ شبیه‌سازی؛ مدل ساختار کوواریانس

A Study of Lead time variation impact on supply chain performance

Jafar Heydari, Reza Baradaran Kazemzadeh, S. Kamal Chaharsooghi

Industrial Engineering Department, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

Abstract

Effective supply chain management (SCM) is an essential element of any successful Business System. Competition between businesses is changed to the supply chains competition which means a closer cooperation between all members in the supply chain is essential for a progressive business system. Selecting effective actions are essential to efficient SC management, but recognition of such suitable actions requires extensive knowledge of the outcomes of each action. Lead time (LT) is also the core parameter that affects all SC partners and its reduction could be desirable, but its appropriateness is not sufficiently investigated in the literature. In this paper, the effect of lead time variation in the serially connected supply chain with 4 levels, is investigated. The current research includes two main stages: 1- SC simulation 2- Development of a structural model and testing the hypotheses by applying the simulation results into the proposed structural model. Results of this study show that, increasing the lead time variance increases the order variances, but will not have any impact on the bullwhip effect. Indeed an increase in LT uncertainty uniformly increases the order variance throughout the SC, and therefore, the bullwhip effect is not changed. Furthermore the results show that an increase in the lead time variance, will lead to an increase in the inventory costs. The main recommendation of this study is to apply an investment strategy to reduce lead time uncertainty.

[1] دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس (Heidarij@modares.ac.ir)

[2] استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس(Rkazem@modares.ac.ir)

[3] دانشیار مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس (SKCH@modares.ac.ir)

Keywords: Supply chain; Lead time; Simulation; Covariance Structure Model

۱- مقدمه

زنجیره تامین یک شبکه است که از مشتری مشتریان تا تامین‌کننده تامین‌کنندگان را شامل می‌شود. هدف اصلی هر زنجیره تامین بیشینه کردن ارزش کل تولید شده[۱] است[۱]. معیار موفقیت زنجیره تامین می‌بایست بر حسب سودآوری کل زنجیره اندازه‌گیری شود و نه بر حسب سودآوری در یک مرحله خاص چراکه تمرکز بر روی سودآوری یک جزء علاوه بر اینکه الزاما منجر به سودآوری کل زنجیره نخواهد گردید، حتی در اغلب موارد می‌تواند منجر به کاهش سودآوری در کل زنجیره تامین گردد [۱]؛ با اینحال افزایش سودآوری کل نیازمند شناخت کامل از نتایج سرمایه‌گذاری‌ها و فعالیت‌های صورت‌گرفته است. به عبارت دیگر لازم است که اثرات هر فعالیت یا سرمایه‌گذاری پیش از اقدام به سرمایه‌گذاری (چه سرمایه‌گذاری مالی و چه سرمایه‌گذاری زمانی) سنجیده شده تا بیشترین اثربخشی در فعالیت‌های صورت‌گرفته حاصل شود. در این مقاله زمان‌های تحویل[۲] که یکی از مساله‌سازترین پارامترهای زنجیره تامین است، مورد بررسی قرار گرفته و اثراتی که نامعینی این پارامتر بر روی فاکتورهای عملکردی زنجیره تامین برجای می‌گذارد، اندازه‌گیری شده است.

فعالیت‌های صورت گرفته در یک زنجیره تامین در دو دسته عمده قابل تقسیم‌بندی است: ۱- فعالیت‌های فیزیکی شامل ذخیره، تبدیل و حمل کالا ۲- واسطه‌گری بازار[۳] که عبارتست از همتاسازی عرضه و تقاضا در یک محیط نامعین و پویا[۲]. در حقیقت در تئوری مدیریت زنجیره تامین فعالیت‌های مرتبط با کارایی تامین بر فعالیت‌های مرتبط با واسطه‌گری بازار مقدم هستند[۳]. ضروری به نظر می‌رسد که همگام با توجه به افزایش کارایی فعالیت‌های فیزیکی که عمدتاً در ارتباط با تامین فیزیکی محصول برای جزء پایین‌دست است، فعالیت‌های مرتبط با واسطه‌گری بازار و همتاسازی عرضه و تقاضا نیز مورد توجه قرار گیرند. پیشنهاد داده شده است که اصطلاح زنجیره تامین به زنجیره تقاضا تغییر نام داده شود تا بدینوسیله از تاکید بر کارایی تامین[۴] به سمت برآورده‌سازی نیازهای مشتریان[۵] حرکت شود[۴]. در حقیقت زنجیره تقاضا، یک زنجیره تامین است که تاکید آن بر واسطه‌گری بازار بیشتر از تاکید آن بر کارایی فیزیکی تامین است. با اینحال استثناهایی نیز مشاهده شده است به عنوان نمونه مدیریت زمان‌های تحویل در ارتباط با تامین فیزیکی محصول بوده و بنابر تئوری زنجیره تامین مقدم بر فعالیت‌های واسطه‌گری بازار است با اینحال زنجیره‌های تامین بیشتر بر فعالیت‌هایی همچون انتقال اطلاعات تقاضا که به نوعی واسطه‌گری بازار محسوب می‌شود متمرکز بوده و به مساله مدیریت زمان‌های تحویل توجه چندانی نشان نداده‌اند [۳]؛ حتی اثرات مثبت حاصل از مدیریت موثر زمان‌های تحویل به‌طور مناسبی مورد بررسی قرار نگرفته است. در این تحقیق سعی بر بررسی کمّی آثار مثبت حاصل از مدیریت موثر زمان‌های تحویل است.

اساساً در اغلب زنجیره‌های تامین دو نوع نامعینی عمده وجود دارد: ۱- تقاضای مشتری نهایی ۲- زمان‌های تحویل. زمان‌های تحویل عبارتست از فاصله زمانی بین صدور یک سفارش توسط یک جزء زنجیره و دریافت کالا سفارش داده شده توسط همان جزء زنجیره. واضح است که زمان‌های تحویل می‌توانند تحت تاثیر فاکتورهای بسیار قرار داشته باشند؛ علاوه بر این فاکتورهای تاثیرگذار بر زمان‌های تحویل خود می‌توانند قابل کنترل یا غیرقابل‌کنترل باشند. فاکتورهایی همچون ناکارایی شیوه‌های حمل، عدم کارایی سیستم‌های اطلاعاتی مرتبط با ارسال کالا، تاخیر زمانی بین وصول سفارش و برنامه‌ریزی برای برآوردن آن و ... را می‌توان جزو عوامل کنترل‌پذیر دانست که هریک می‌توانند منجر به افزایش زمان‌های تحویل گردند، از طرف دیگر فاکتورهایی مانند شرایط جوی در حمل و نقل، حوادث غیرمترقبه، مسایل گمرکی و ... نیز جزو فاکتورهای غیرقابل کنترل هستند. در مجموع کلیه عوامل فوق‌الذکر می‌توانند منجر به نامعینی فوق‌العاده بالایی در زمان‌های تحویل گردند. نامعینی زمان‌های تحویل بین سطوح زنجیره تامین در تحقیقات بسیاری مورد توجه قرار گرفته است و مدل‌ها و شیوه‌های بسیاری برای غلبه بر نامعینی‌ها از طریق کاهش تاثیر آنها در برنامه‌ریزی‌ها صورت گرفته است ولی همانطور که پیشتر نیز اشاره شد به دلیل عدم وضوح نتایج مثبت ناشی از مدیریت موثر زمان‌های تحویل این مبحث چه در حوزه اجرایی و چه در حوزه تحقیقاتی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. در حقیقت می‌توان گفت که تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با چگونگی مواجهه با نامعینی‌های زمان‌های تحویل است و نه مدیریت موثر آنها. در این مقاله با بررسی و کشف آثار مثبت حاصل از مدیریت موثر زمان‌های تحویل - یا به عبارتی کاهش نامعینی زمان‌های تحویل- سرمایه‌گذاری بر روی کاهش عوامل قابل‌کنترل ایجاد نامعینی در زمان‌های تحویل به عنوان یک راهبرد در مدیریت زنجیره تامین پیشنهاد شده است.

به منظور سنجش میزان اثرات حاصل از مدیریت موثر زمان‌های تحویل بر عملکرد زنجیره تامین، با توجه به ادبیات موضوع و توجه به وجود یک پشتیبان تئوریک مستحکم، ارتباط بین واریانس زمان‌های تحویل با واریانس سفارشات و همچنین اثر شلاقی در زنجیره تامین مورد بررسی قرار گرفته و در مرحله بعد ارتباطات بین این متغیرها با سطح موجودی‌های نگهداری شده و همچنین میزان کمبودها مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور انجام

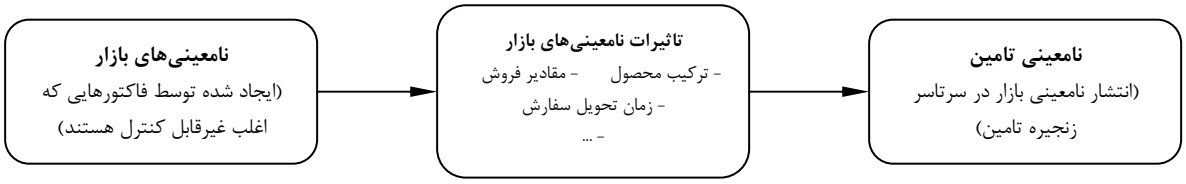
تحقیق از یک شیوه دو مرحله‌ای استفاده شده است. در اولین مرحله زنجیره تامین شبیه‌سازی شده است و در مرحله بعد با استفاده از مدل‌های تحلیل ساختار کوواریانس[۶] ارتباط بین متغیرها اندازه‌گیری شده است. شبیه‌سازی زنجیره تامین، داده‌های موردنیاز به منظور استفاده در مدل تحلیل ساختار کوواریانس را تولید نموده و این امکان را ایجاد کرده است که سایر عوامل موثر بر متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق ثابت[۷] شده و تنها روابط علت و معلولی خالص متغیرهای مورد بررسی در نظر گرفته شوند. در گام بعدی به منظور سنجش ارتباطات متغیرهای تحقیق یک مدل ساختاری[۸] (یا مدل مسیر[۹]) به منظور تحلیل ساختار کوواریانس استفاده شده است.

در بخش دوم این مقاله مرور ادبیات حوزه تحقیق ارایه شده است. در بخش سوم مدل زنجیره تامین مورد بررسی و پارامترهای مرتبط با شبیه‌سازی زنجیره تامین ارایه شده است. در بخش چهارم فرضیه‌های مورد مطالعه و همچنین مدل ساختاری ارایه شده است. آزمایشات و بررسی فرضیه‌ها در بخش پنجم مقاله آورده شده است و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی شکل‌دهنده آخرین بخش این مقاله است.

۲- مرور ادبیات

نامعینی در زنجیره تامین از جمله مهمترین مشکلاتی است که توجه محققان بسیاری در این حوزه را به خود جلب نموده است. نامعینی‌ها اغلب در دو پارامتر اصلی زنجیره مدنظر قرار گرفته است: ۱- تقاضای مشتری نهایی ۲- زمان‌های تحویل. زمان‌های تحویل احتمالی یکی از مباحثی است که توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است و تحقیقات بسیاری در ارتباط با برنامه‌ریزی و مدیریت زنجیره تامین در حالت نامعینی زمان‌های تحویل انجام شده است.

یک فرض اساسی در مدیریت کارای زنجیره تامین آنست که خریداران و تامین‌کنندگان تمایل دارند با نامعینی‌ها و واریانس‌های سایر کسب و کارهای شریک در زنجیره تامین تطبیق یابند، با اینحال مقادیر سفارش و زمان‌های تحویل دو پارامتر هستند که معمولا در زنجیره تامین تغییر نموده و عامل نارضایتی خریدار- فروشنده هستند [۵]. یک مدل مفهومی در ارتباط با تاثیر نامعینی‌های محیط فعالیت زنجیره بر فعالیت‌های زنجیره تامین در ادبیات ارایه شده است؛ شکل ۱ نشان‌دهنده مدل مذکور است.



شکل ۱- مدل نامعینی‌های زنجیره تامین[۵]

بنابر شکل ۱ نامعینی‌های محیط فعالیت زنجیره که عمدتا در تقاضای مشتریان بیرونی و زمان‌های تحویل نمود پیدا می‌کند، منجر به ایجاد نامعینی در پارامترهای داخلی زنجیره همچون ترکیب محصول، زمان تحویل سفارش و ... شده و با انتشار نامعینی‌های بازار در سرتاسر زنجیره تامین، تاثیرات نامطلوبی بر تقاضا برای تامین مواد اولیه به جای می‌ماند.

افزایش واریانس سفارشات در خلاف جهت جریان در زنجیره تامین به عنوان اثر شلاقی شناخته شده است[۶]. اثر شلاقی منجر به افزایش هزینه‌های زنجیره تامین و کاهش سطح خدمات‌رسانی به مشتری خواهد شد. در حقیقت اثر شلاقی منجر به دور شدن سطح فعالیت همه بخش‌های زنجیره از مرز کارایی می‌شود و نتیجه آن، کاهش سطح رضایتمندی مشتریان و سودآوری زنجیره خواهد بود. اثرات مشخص اثر شلاقی بر زنجیره تامین عبارتند از: افزایش هزینه‌های ساخت[۱۰]، افزایش هزینه‌های موجودی، افزایش زمان‌تحویل دوباره‌پرسازی، افزایش هزینه‌های حمل و نقل، افزایش هزینه‌های نیروی کار به منظور حمل و دریافت، کاهش سطح در دسترس بودن محصول و صدمه به ارتباط بین اجزای زنجیره[۱]. ۵ علت اصلی برای پدیده شلاقی وجود دارد: زمان‌های تحویل غیر صفر، پردازش سیگنال تقاضا، تغییرات قیمت، سهمیه بندی[۱۱] و مساله وجود ظرفیت و دسته‌بندی حجمی سفارشات[۶]. همانطور که مشخص است زمان‌های تحویل نیز به عنوان یکی از عوامل ایجاد اثر شلاقی معرفی شده است؛ با اینحال بررسی‌های کمّی به منظور اندازه‌گیری تاثیر نامعینی‌های زمان تحویل بر اثر شلاقی ارایه نشده است و اغلب تحقیقات این حوزه در ارتباط با اندازه‌گیری کمّی اثر

شلاقی است. یک تحقیق در ارتباط با کمی‌سازی اثر شلاقی در حالتیکه زمان‌های تحویل احتمالی است، ارایه شده است[۷]. مولفان با استفاده از تحلیل‌های آماری مقدار اثر شلاقی در یک زنجیره تامین را که دارای زمان‌های تحویل احتمالی است، در دو حالت با وجود به اشتراک‌گذاری اطلاعات و بدون به اشتراک‌گذاری اطلاعات، کمی‌سازی نموده‌اند. در تحقیق مذکور علاوه بر نامعینی‌های زمان تحویل، نامعینی‌های تقاضای مشتری نیز در نظر گرفته شده است و از یک سیاست *(R,S)* به منظور سفارش‌دهی استفاده شده است[۷] با این‌حال در تحقیق مذکور تنها مقدار اثر شلاقی اندازه‌گیری شده است و اثرات هریک از متغیرهای فوق‌الذکر به طور مشخص بر مقدار اثر شلاقی اندازه‌گیری نشده است.

کاهش زمان‌های تحویل در زنجیره تامین از اهمیت بالایی برخوردار است چراکه تغییرات زمان‌های تحویل بین مراحل متوالی زنجیره تامین در اغلب موارد تاثیرات بسیاری بر هماهنگی زنجیره تامین به جا می‌گذارد[۸]. کاستن از زمان‌های تحویل به عنوان یک مدل سرمایه‌گذاری در برخی تحقیقات مدنظر قرار گرفته است[۸و۹]. در یک تحقیق یک زنجیره تامین دو سطحی دو منبعی با تقاضای ثابت مدنظر قرار گرفته که در آن زمان‌های تحویل که متغیرهایی درون‌زاد[۱۲] می‌باشند با هزینه مشخصی که می‌تواند به عنوان سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شود، قابل کاهش می‌باشند. توزیع زمان‌های تحویل هریک از دو تامین‌کننده در تحقیق مذکور نمایی با پارامترهای λ_1 و λ_2 فرض شده است که این پارامترها می‌توانند بواسطه فاکتورهای تسریع[۱۳] کاهش یابند. با استفاده از فاکتورهای تسریع در این حالت علاوه بر کاهش میانگین زمان‌های تحویل، واریانس آنها نیز به طور همزمان کاهش می‌یابد[۸]. تحقیق مذکور به بررسی میزان کاهش هزینه‌ها در یک مدل با وجود هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های سفارش‌دهی و هزینه‌های کمبود موجودی (حالت پس‌افت) در حالت کاهش میانگین و واریانس زمان‌های تحویل به طور همزمان، پرداخته است. با اینحال در مدل مذکور میزان کاهش هزینه‌ها ناشی از کاهش واریانس زمان‌های تحویل قابل محاسبه نیست چراکه بنابر فرضیات تنها کاهش میانگین و واریانس زمان‌های تحویل به طور همزمان امکان‌پذیر است و علاوه بر این وجود متغیرهای دیگری (مانند دسته‌بندی سفارشات)، که بر کاهش هزینه‌ها تاثیرگذارند امکان بررسی تاثیر زمان‌های تحویل بر هزینه‌های زنجیره را سلب نموده است؛ همچنین مدل محدود به زنجیره‌های تامین دوسطحی دو منبعی با توزیع نمایی زمان‌های تحویل و سیاست سفارش‌دهی *(Q,r)* است.

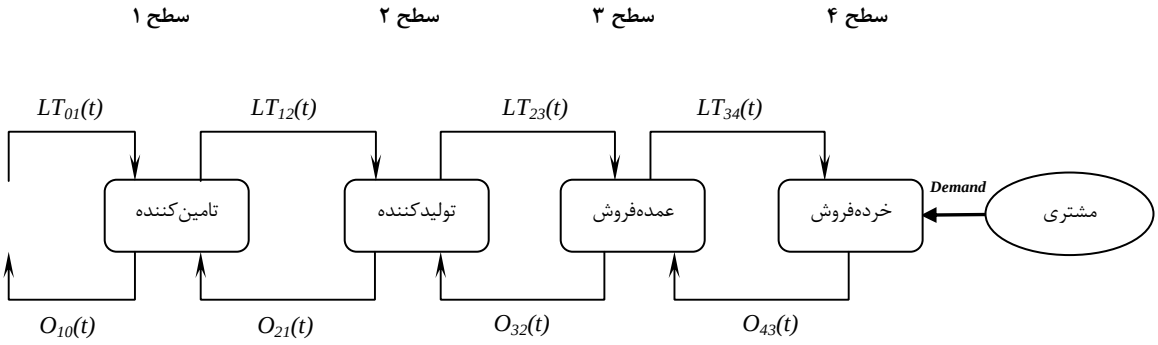
در یک تحقیق، یک مدل زنجیره تامین دو سطحی به منظور بررسی چگونگی تاثیرگذاری زمان‌های تحویل متغیر تامین‌کننده و همبستگی تقاضای بیرونی بر تشدید نوسانات سفارشات جزء پایین‌دست مورد مطالعه قرار گرفته است. در حقیقت هدف تحقیق مذکور، بررسی چگونگی تاثیرگذاری زمان‌تحویل تامین‌کننده بر نوسانات مقادیر سفارش خرده‌فروش است. بررسی انجام شده در حالتیکه زمان‌های تحویل متغیر و وابسته به میزان سفارشات عقب‌افتاده تامین‌کننده (یا به عبارتی وابسته به مقادیر سفارش خرده‌فروش) هستند، انجام شده است. نشان داده شده است درحالتیکه زمان تحویل تامین‌کننده متاثر از مقادیر سفارش خرده‌فروش است، نوسانات مقادیر سفارش خرده‌فروش افزایش یافته است [۱۰]. در حقیقت در مدل مذکور زمان تحویل متغیری درون‌زاد و تابعی از سفارشات صادر شده است. تحقیقات دیگری نیز وجود دارند که در آن زمان‌های تحویل درون‌زاد و تابعی از مقادیر سفارش جزء پایین‌دست زنجیره تامین است به عنوان یک نمونه در یک تحقیق نشان داده شده است که سفارشات ملایم‌تر از سوی خرده‌فروش منجر به کاهش واریانس زمان‌های تحویل می‌شود [۱۱].

در نهایت می‌توان گفت که تحقیقات بسیاری در ارتباط با زمان‌های تحویل احتمالی در زنجیره تامین انجام شده است ولی در ارتباط با اندازه‌گیری اثرات ناشی از واریانس زمان‌های تحویل و در نتیجه ارایه یک راهبرد مدیریتی در زنجیره تامین در ارتباط با سرمایه‌گذاری بر روی کاهش نامعینی‌های زمان تحویل تحقیقات مناسبی ارایه نشده است. اندازه‌گیری اثرات ناشی از واریانس زمان‌های تحویل در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-مدل زنجیره تامین بررسی شده

زنجیره تامین مورد مطالعه در این تحقیق یک زنجیره تامین چهارسطحی سریالی است. شکل ۲ نشان‌دهنده زنجیره تامین مورد بررسی است. همانطور که از شکل مشخص است خرده‌فروش پس از برآوردن سفارش مشتری با توجه به تخمینی که از زمان تحویل جزء بالادست خود دارد و همچنین نرخ ورود سفارشات مشتری، سفارشات دوباره‌پرسازی[۱۴] انبار خود را به عضو بالادست صادر نموده و با توجه به زمان تحویل نامعین، کالا را دریافت خواهد نمود. فرآیند دوباره‌پرسازی انبار برای هر چهار سطح زنجیره مشابه است. در این زنجیره سفارشات در صورت برآورده نشدن از دست رفته[۱۵] محسوب می‌شوند؛ بنابراین درصورتیکه در زمان صدور سفارش توسط پایین‌دست، کالا به اندازه کافی در انبار بالادست وجود نداشته باشد، سفارش از دست رفته محسوب می‌شود با اینحال درصورتیکه موجودی انبار بالادست کمتر از سفارش صادر شده توسط پایین‌دست باشد، این امکان برای بالادست وجود دارد که درصدی از سفارش رسیده را برآورده نماید؛ در این حالت درصدی از سفارش که برآورده نشده است، از دست رفته تلقی

می‌شود. قابل ذکر است که ظرفیت جزء بالادست تامین‌کننده (بالادست سطح ۱ زنجیره) نامحدود در نظر گرفته شده است به این معنی که هر سفارش صادر شده توسط تامین‌کننده، پس از طی فاصله زمانی تحویل، دریافت خواهد شد و هیچ سفارشی در این سطح از دست‌رفته نخواهد بود.



شکل ۲- زنجیره تامین مورد بررسی در این تحقیق

در مدل زنجیره تامین مورد بررسی هزینه‌های سفارش‌دهی در نظر گرفته نشده است تا بدینوسیله اثرات دسته‌بندی سفارشات که از جمله عوامل ایجاد اثر شلاقی و افزایش واریانس سفارشات است، از مدل حذف شود. با حذف هزینه‌های سفارش‌دهی از مدل، این امکان ایجاد شده است که با کاهش حجم سفارش یا اندازه انباشته در هریک از سطوح زنجیره، فرکانس سفارش‌دهی افزایش یافته و درنتیجه سفارشات صادر شده از این لحاظ کاملاً هموار گردیده و در نتیجه واریانس سفارشات ناشی از دسته‌بندی، از مدل حذف گردد.

وارایانس تقاضای مشتری نهایی خود منجر به ایجاد واریانس در سفارشات صادر شده توسط اجزای زنجیره تامین می‌شود. بنابراین به منظور حذف اثر واریانس سفارش مشتری، در مدل زنجیره تامین مورد بررسی سفارش مشتری نهایی ثابت و دانسته شده در نظر گرفته شده است. از طرفی به منظور حذف اثر پیش‌بینی تقاضا که منجر به بایاس شدن اطلاعات تقاضای مشتری - خصوصا در سطوح با فاصله زیاد از مشتری نهایی- می‌شود، فرض شده است که کلیه اعضای زنجیره بواسطه استفاده از ابزارهای فناوری اطلاعات و به اشتراک‌گذاری اطلاعات از مقدار تقاضای ثابت مشتری مطلع هستند.

با توجه به کلیه فرضیات ارایه شده، اعضای زنجیره این امکان را دارند که با استفاده از یک سیاست سفارش‌دهی ساده، انبارهای خود را دوباره‌پرسازی نمایند. سیاست سفارش‌دهی برای کلیه سطوح زنجیره مشابه درنظر گرفته شده است. بر طبق این سیاست هریک از سطوح زنجیره با توجه به موجودی در دست، موجودی در راه، مقدار سفارش مشتری نهایی و تخمینی که از زمان تحویل خود دارند سفارش را به نحوی صادر می‌نمایند که در طول زمان تحویل با کمبود مواجهه نشوند. در این سیاست سفارش‌دهی، موجودی اطمینان درنظر گرفته نشده است. رابطه ۱ نشان‌دهنده مقدار سفارش صادر شده است.

$$O_{it}=D\times ESL_{it}-(OH_{it}+SR_{it}) \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

(O=Order, D=Demand, ESL=ESStimated Lead-time, OH=On Hand Inventory, SR=Scheduled Receipt)

که در آن:

O_i: مقدار سفارش صادر شده توسط سطح i زنجیره در پریود t

D: تقاضای مشتری نهایی (ثابت و معین)

ESL_{it}: زمان تحویل پیش‌بینی شده توسط سطح i در پریود t

OH_{it}: موجودی در دست سطح i در پریود t

SR_{it}: موجودی در راه برای سطح i در دوره t

قابل ذکر است که با توجه به نامعینی زمان تحویل، هریک از اجزای زنجیره می‌بایست به منظور صدور سفارش خود بر طبق (۱) مقدار زمان تحویل را پیش‌بینی نمایند (محاسبه مقدار ESL_{it}). در (۱) به منظور محاسبه مقدار ESL_{it} از روش میانگین متحرک ساده دو دوره‌ای استفاده شده است. زمان تحویل پیش‌بینی شده در سطح i برای پریود t با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$ESL_{it} = \frac{\sum_{T=t-2}^{T=t-1} LT_{iT}}{2} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن LT_{iT} عبارتست از زمان تحویل سطح i در پریود T.

در این سیستم زمان‌های تحویل یک متغیر خارجی محسوب می‌شود. به عبارتی هریک از اجزای زنجیره با توجه به تقاضای بیرونی مشتری نهایی و همچنین تخمینی که از زمان‌های تحویل نامعین خود دارند، سفارشات خود را صادر می‌نمایند. حال یک سوال کلیدی مطرح می‌شود که واریانس زمان‌های تحویل چه اثراتی بر این سیستم خواهد داشت؟ با پاسخ به این سوال می‌توان معیار مناسبی جهت تصمیم‌گیری مناسب در ارتباط با سرمایه‌گذاری بر روی کاهش واریانس زمان‌های تحویل بدست آورد.

۴- مدل ساختاری و فرضیه‌های مطرح

همانطور که گفته شد تاثیرات نامطلوب نامعینی‌های زمان‌های تحویل به طور ضمنی مورد توجه بسیاری از محققان بوده است با اینحال اندازه‌گیری تاثیرات این نامعینی‌ها به طور واضح انجام نشده است. در این قسمت متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق تعریف شده، فرضیه‌ها طرح شده و در نهایت مدل ساختاری بر طبق فرضیه‌های مطرح شده ارایه می‌شود. در بخش بعدی با استفاده از نتایج شبیه‌سازی زنجیره تامین فرضیه‌های مطرح شده در این بخش مورد آزمون قرار گرفته و نتایج حاصل از بررسی فرضیه‌ها و مدل ساختاری ارایه خواهد شد.

در اولین گام هدف بررسی تاثیرات پراکندگی زمان‌های تحویل بر پراکندگی سفارشات زنجیره تامین است. به این منظور با توجه به ادبیات مرور شده دو فرضیه مطرح می‌شود:

فرضیه الف- واریانس زمان‌های تحویل و واریانس سفارشات صادر شده به طور مثبت با یکدیگر مرتبط هستند.

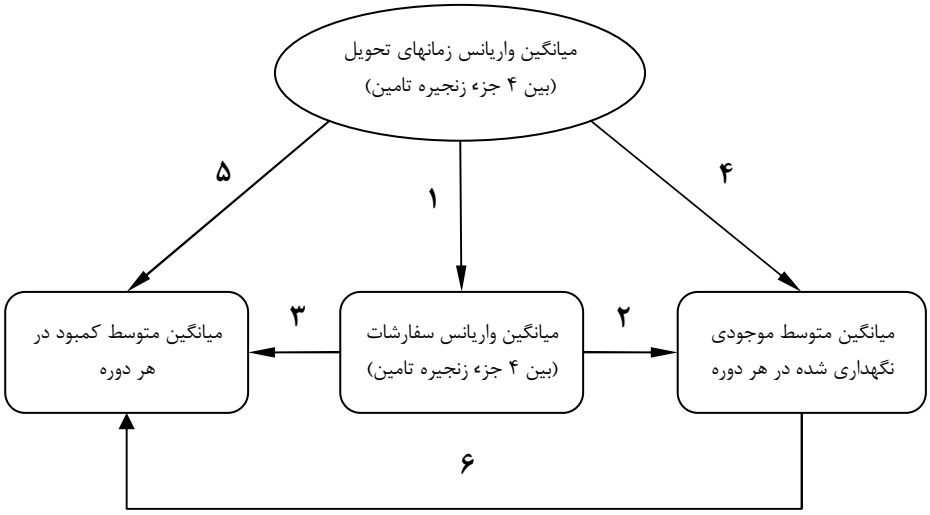
فرضیه ب- واریانس زمان‌های تحویل و اثر شلاقی به طور مثبت با یکدیگر در ارتباط هستند.

قابل توجه است که دو فرضیه فوق‌الذکر با یکدیگر متفاوتند در حقیقت فرضیه الف بیان می‌کند که با افزایش واریانس زمان‌های تحویل، سفارشات صادر شده توسط هریک از اجزای زنجیره تامین نیز پراکنده می‌شود با اینحال در این فرضیه ذکر نشده است که آیا این پراکندگی در طول زنجیره و حرکت از سطوح نزدیک به مشتری نهایی به سطوح بالای زنجیره افزایش می‌یابد یا خیر که این موضوع در ارتباط با فرضیه ب است. در حقیقت در فرضیه ب افزایش واریانس سفارشات در حرکت از سطوح پایین زنجیره به سطوح بالای زنجیره مورد نظر است. قابل ذکر است که این دو فرضیه مستقل از هم بوده و درست بودن یکی الزامی برای درست بودن دیگری را ایجاد نمی‌نماید؛ به عنوان نمونه این امکان وجود دارد که در عین افزایش یافتن واریانس‌های سفارشات صادر شده با افزایش واریانس زمان‌های تحویل، اثر شلاقی افزایش نیابد چراکه اثر شلاقی نسبت واریانس‌های سفارشات جزء بالادست به پایین‌دست است. در حقیقت درصورتیکه افزایش واریانس‌های سفارشات صادر شده در سطوح مختلف به یک نسبت باشد در عین افزایش واریانس سفارشات، اثر شلاقی افزایش نخواهد یافت.

تاثیرات نامعینی‌های زمان‌های تحویل بر ایجاد تغییر در سیاست‌های کنترل موجودی و به تبع آن مقادیر سفارش در ادبیات مورد تاکید قرار گرفته است ولی با اینحال به طور مشخص بیان نشده است که کدامیک از فرضیه‌های الف یا ب مدنظر بوده است. در بخش بعد نشان داده می‌شود که «فرضیه الف» قابل قبول بوده ولیکن «فرضیه ب» رد می‌شود به عبارتی افزایش واریانس زمان‌های تحویل منجر به افزایش واریانس سفارشات می‌شود ولیکن نسبت این افزایش‌ها در طول زنجیره تامین (از سطوح پایین به سمت سطوح بالا) افزایشی نیست.

در مرحله بعد با توجه به ارتباط مثبت بین واریانس زمان‌های تحویل و واریانس سفارشات، مدل اصلی که بیانگر ارتباط بین واریانس زمان‌های تحویل و عملکرد زنجیره تامین است، ارایه می‌شود. در مرحله دوم به منظور بررسی تاثیرات واریانس زمان‌های تحویل بر عملکرد زنجیره تامین از یک مدل ساختاری استفاده شده است. مدل با توجه به ارتباط مثبت بین واریانس زمان‌های تحویل و واریانس سفارشات که حاصل از پذیرش فرضیه ۱ است،

ارایه شده است. این مدل بر مبنای فرضیه‌هایی بنا شده است که با توجه به ادبیات مرور شده بوده و هدف از آن بررسی ارتباطات و تاثیرات علت و معلولی در ارتباط با عواقب وجود واریانس زیاد در زمان‌های تحویل بر سطح موجودی‌های زنجیره تامین است. شکل ۳ نشان‌دهنده چارچوب مدل اولیه است.



شکل ۳- چارچوب مدل مورد بررسی و فرضیه‌های مطرح

همانطور که از شکل ۳ مشخص است در مدل مورد بررسی ۶ فرضیه اصلی وجود دارد که از طریق آنها واریانس زمان‌های تحویل به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد سیستم موجودی زنجیره تامین که بواسطه متوسط مقدار موجودی نگهداری شده کل و متوسط مقدار کمبود موجودی کل قابل اندازه‌گیری است، تاثیرگذار است.

طریقه محاسبه مقادیر متغیرهای تعریف شده و شش فرضیه مطرح شده در شکل ۳ در ادامه تشریح می‌گردد. میانگین واریانس زمان‌های تحویل زنجیره تامین که به عنوان متغیر برون‌زاد[۱۶] در این ساختار ارایه شده است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(رابطه ۳) $$\text{میانگین واریانس زمان‌های تحویل} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{i=4} \text{(واریانس زمان تحویل در سطح i)}$$

به همین صورت سایر متغیرهای مورد مطالعه قابل تعریف می‌باشند:

(رابطه ۴) $$\text{میانگین واریانس سفارشات} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{i=4} \text{(واریانس سفارشات در سطح i)}$$

(رابطه ۵) $$\text{میانگین متوسط موجودی نگهداری شده در هر دوره} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{i=4}\left(\frac{1}{T}\sum_{t} \text{موجودی نگهداری شده در سطح i در دوره t}\right)$$

(رابطه ۶) $$\text{میانگین متوسط موجودی نگهداری شده در هر دوره} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{i=4}\left(\frac{1}{T}\sum_{t} \text{کمبود در سطح i در دوره t}\right)$$

که در آن T کل پریود زمانی مورد مطالعه است.

بنابر ادبیات مرور شده در حوزه زمان‌های تحویل، مشخص است که نامعینی زمان‌های تحویل تاثیرات نامطلوبی بر عملکرد سیستم موجودی در زنجیره تامین دارد به منظور تعیین چگونگی تاثیرگذاری در ساختار نشان داده شده در شکل ۳ فرضیه‌هایی مطرح شده است که به صورت ساده در زیر تعریف شده‌اند:

فرضیه۱- واریانس زمان تحویل هریک از اجزاء و واریانس سفارشات صادر شده به طور مثبت با یکدیگر در ارتباط هستند.

این فرضیه در بخش‌های قبلی به طور دقیقً تشریح گردید. بنابر این فرضیه با افزایش نامعینی‌های زمان‌های تحویل، پراکندگی سفارشات صادر شده توسط هریک از اجزای زنجیره تامین افزایش می‌یابد. همانطور که پیشتر اشاره شد این پدیده معادل با افزایش اثر شلاقی نمی‌باشد.

فرضیه۲- واریانس سفارشات صادر شده و متوسط موجودی نگهداری شده در زنجیره تامین به طور مثبت با یکدیگر در ارتباط هستند.

بنابر این فرضیه افزایش واریانس سفارشات که خود یک متغیر درون‌زاد و تحت تاثیر واریانس زمان‌های تحویل است دارای اثر افزایشی بر میانگین سطح موجودی‌های زنجیره تامین است و در نتیجه هزینه‌های نگهداری موجودی را افزایش خواهد داد.

فرضیه۳- واریانس سفارشات صادر شده و متوسط کمبودها در زنجیره تامین به طور مثبت با یکدیگر در ارتباط هستند.

بنابر این فرضیه افزایش واریانس‌های زمان‌های تحویل منجر به افزایش سطح متوسط کمبودها می‌شود. لازم به ذکر است که فرضیه‌های ۲ و ۳ مانع‌الجمع نبوده و الزماً با درست بودن هریک، دیگری نقض نمی‌شود چراکه این امکان وجود دارد که یک پدیده به طور همزمان علاوه بر افزایش متوسط سطح موجودی‌های نگهداری شده، سطح کمبودها را نیز افزایش دهد و این به معنی نوسان موجودی‌ها بین مقادیر مثبت و منفی خواهد بود.

فرضیه۴- واریانس زمان تحویل هریک از اجزاء به طور مستقیم بر متوسط موجودی نگهداری شده در زنجیره تامین موثر است.

این فرضیه نیز مطرح شده است که واریانس زمان‌های تحویل علاوه بر اثر غیرمستقیمی که از طریق افزایش واریانس سفارشات بر متوسط موجودی‌های نگهداری شده در زنجیره تامین دارد، یک اثر مستقیم بر سطح این موجودی‌ها داشته باشد بنابر این فرضیه با اینکه سطح موجودی‌ها در اثر افزایش واریانس زمان‌های تحویل متورم می‌شود ولیکن این اثر به دلیل تاثیری که افزایش واریانس زمان‌های تحویل بر واریانس سفارشات صادر شده می‌گذارد نبوده و یک اثر مستقیم محسوب می‌شود.

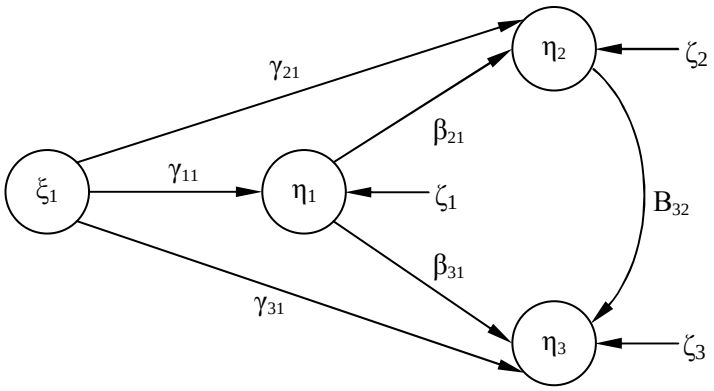
فرضیه۵- واریانس زمان تحویل هریک از اجزاء به طور مستقیم بر متوسط کمبودها در زنجیره تامین موثر است.

این فرضیه نیز مشابه با فرضیه ۴ ولی در ارتباط با متوسط کمبودهاست. بنابر دلایلی مشابه با دلایل ذکر شده در توضیحات فرضیه ۳ می‌توان نشان داد که فرضیه ۴ و فرضیه ۵ مانع‌الجمع نمی‌باشند و این امکان وجود دارد که به طور همزمان هر دو صحیح باشند.

فرضیه ۶- میانگین موجودی‌های نگهداری شده و کمبودها در زنجیره تامین به طور مثبت با یکدیگر در ارتباط هستند.

ایده مورد نظر در این فرضیه عبارتست از اینکه با افزایش موجودی‌ها در یک زنجیره تامین سیستم سفارش‌دهی به نحوی عمل می‌نماید که در دوره‌های بعدی سیستم با کمبود مواجه خواهد شد. به عبارتی موجودی‌های زنجیره تامین حول مقدار صفر نوسان می‌نماید و هرگاه که موجودی‌های نگهداری شده بیش از حد لازم باشد سیستم بیش از حد نسبت به موجودی اضافه حساس شده و سفارشات خود را کاهش می‌دهد که در نتیجه دوره‌های بعدی با کمبود مواجه می‌شود و پس از آن مجدداً سفارشات بیش از حد منجر به نگهداری موجودی اضافه شده و سیکل تکرار می‌شود. بنابراین فرضیه ۶ بیان می‌کند که در صورتیکه متوسط مقدار موجودی‌ها در زنجیره افزایش یابد، متوسط مقدار کمبودها نیز افزایش خواهد یافت.

در نهایت مدل در قالب استاندارد مدلهای ساختاری [۱۲] به صورت شکل ۴ قابل نمایش است. شایان ذکر است که مدل مورد بررسی یک مدل ساختاری با متغیرهای قابل مشاهده[۱۷] است.



شکل ۴- مدل ساختاری تاثیر واریانس زمان تحویل بر زنجیره تامین

که در آن:

ξ_1: میانگین واریانس زمان‌های تحویل در بین چهار عضو زنجیره

η_1: میانگین واریانس سفارشات در بین چهار عضو زنجیره

η_2: میانگین متوسط موجودی نگهداری شده در هر دوره

η_3: میانگین متوسط مقادیر کمبود در هر دوره

با توجه به شکل ۳ مشخص است که مدل ارایه شده دارای یک متغیر برون‌زاد (ξ_1) و سه متغیر درون‌زاد (η_1 و η_2 و η_3) است. فرض شده است که متغیر برون‌زاد دارای تاثیر مستقیم بر هر سه متغیر درون‌زاد است (مسیرهای γ_{11} وγ_{21} وγ_{31}) که به ترتیب معرف فرضیه‌های ۱، ۴و ۵ می‌باشند.. از طرف دیگر بنا بر مدل ساختاری مورد بررسی متغیر درون‌زاد η_1 نیز بر دو متغیر η_2 و η_3 تاثیرگذار است (مسیرهای β_{21} و β_{31}) که به ترتیب معرف فرضیه‌های ۲ و ۳ هستند و متغیر درون‌زاد η_2 بر متغیر η_3 تاثیرگذار است (مسیر β_{32}) که بیانگر فرضیه ۶ است. ساختار نشان داده شده در شکل ۴ بوسیله معادلات ساختاری[۱۸] زیر قابل نمایش است:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{11} \\ \gamma_{21} \\ \gamma_{31} \end{pmatrix} \times x_1 + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \beta_{21} & 0 & 0 \\ \beta_{31} & \beta_{32} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \zeta_3 \end{pmatrix} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

مقادیر ζ_1، ζ_2 و ζ_3 عبارتند از مقادیر خطا که بیانگر مقادیر ارتباطات تشریح نشده توسط ضرایب بدست آمده برای هر معادله است [۱۲]. هدف حل مدل ساختاری ارایه شده در شکل ۴ و بدست آوردن ضرایب تاثیر با استفاده از داده‌های بدست آمده به ازای هریک از چهار متغیر (یک متغیر برون‌زاد و سه متغیر درون‌زاد) ساختار مذکور - حاصل از مدل شبیه‌سازی شده زنجیره تامین- است. در بخش بعدی جزئیات شبیه‌سازی، اجرای مدل، مقادیر حاصل شده برای هریک از متغیرهای مدل ساختاری و نتایج حاصل ارایه شده است.

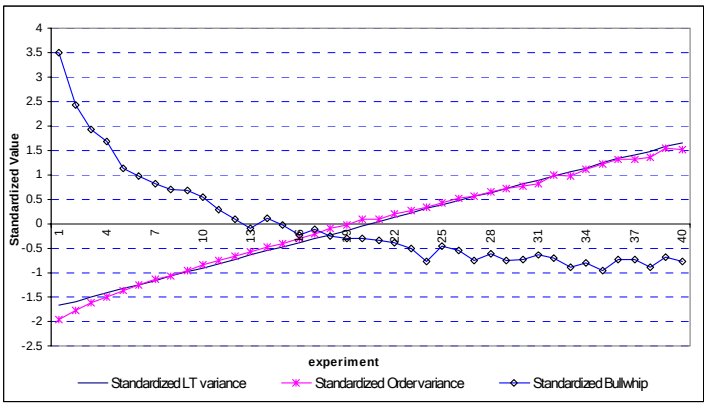
۵- آزمایشات

همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، به منظور انجام این تحقیق دو مرحله اصلی طی شده است: ۱- شبیه‌سازی زنجیره تامین ۲- آزمون فرضیه‌های مطرح شده در قالب یک مدل ساختاری و با داده‌های حاصل شده از طریق شبیه‌سازی.

یک زنجیره تامین چهار سطحی -که با احتساب مشتری نهایی و تامین‌کننده تامین‌کنندگان یک زنجیره ۶ سطحی به شمار می‌رود- شبیه‌سازی شده است. ورود سفارشات به زنجیره تامین از سوی مشتری نهایی دارای نرخ ثابت و یکنواختی معادل با ۴۰ واحد به ازای هر دوره زمانی است. زمان‌های تحویل، نامعین و واریانس آنها در آزمایشات مختلف بین ۰،۵ تا ۲۰ و با فواصل ۰،۵ واحدی در نظر گرفته شده است. به منظور تولید زمان‌های تحویل تصادفی با میانگین و واریانس مشخص از اعداد تصادفی تولید شده از توزیع نرمال با میانگین ۱۵ و واریانس فوق‌الذکر استفاده شده است، بنابراین می‌توان گفت که توزیع زمان‌های تحویل هریک از اجزا دارای توزیع نرمال با میانگین ۱۵ است. در هریک از واریانس‌های فوق، زنجیره تامین ۱۰ بار شبیه‌سازی شده است و بنابراین در مجموع ۴۰۰ اجرای شبیه‌سازی به ازای واریانس‌های مختلف انجام شده است. زنجیره تامین شبیه‌سازی شده دارای ۵۰۰۰ دوره زمانی بوده و به منظور جلوگیری از ورود داده‌های غیرپایدار در محاسبه متغیرها، ۵۰۰ دوره ابتدایی هر اجرای شبیه‌سازی در محاسبه مقدار متغیرها در نظر گرفته نشده است. به منظور تحلیل ساختار کوواریانس متغیرها همانطور که در مدل ساختاری مطابق با شکل ۴ نشان داده شده است، داده‌هایی که بر طبق روابط ۳ تا ۵ حاصل از خروجی مدل شبیه‌سازی محاسبه شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در اولین مرحله "فرضیه الف" و "فرضیه ب" مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور انجام این مرحله از داده‌های استاندارد شده حاصل از میانگین‌گیری از هر ۱۰ اجرای مشابه شبیه‌سازی استفاده شده است. استفاده از داده‌های استاندارد امکان مقایسه روند سه متغیر واریانس زمان تحویل، اثر شلاقی و واریانس سفارشات را در حالیکه داده‌های مزبور دارای مقیاس‌های به شدت متفاوتی می‌باشند امکان‌پذیر نموده است. شکل ۵ نشان‌دهنده روند تغییر این سه متغیر نسبت به یکدیگر است.

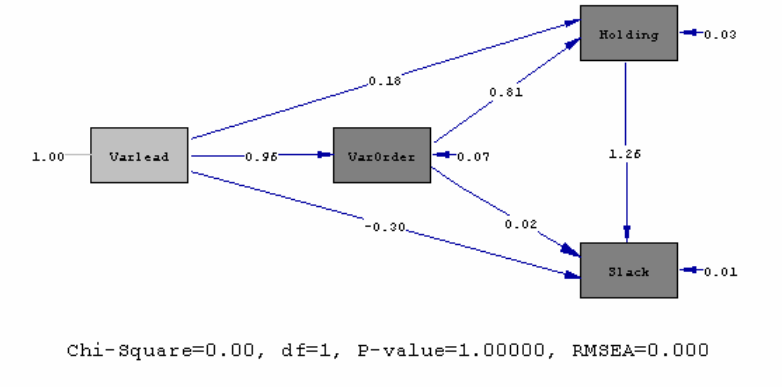
همانطور که از شکل ۵ مشخص است، تغییرات واریانس زمان تحویل و واریانس سفارشات وابسته به یکدیگرند و این در حالیست که به نظر می‌رسد که تغییرات اثر شلاقی دارای ارتباط مثبتی با واریانس زمان‌های تحویل نیست. به عبارت دیگر با تغییر مقادیر واریانس زمان تحویل در طی آزمایشات مختلف، اثر شلاقی تغییرات سیستماتیکی از خود نشان نمی‌دهد در حالیکه مشخص است تغییرات واریانس سفارشات دارای یک ارتباط قوی با تغییرات واریانس زمان تحویل است که همبستگی بالای واریانس زمان تحویل و واریانس سفارشات (۰،۹۹۶۲) تاییدی بر نمودار نشان داده شده در شکل ۵ است.



شکل ۵- روند تغییرات سه متغیر واریانس زمان تحویل، واریانس سفارشات و اثر شلاقی نسبت به یکدیگر

در مجموع با توجه به این قسمت از بررسی‌ها می‌توان گفت که واریانس زمان‌های تحویل دارای ارتباط مثبت با مقدار اثر شلاقی نیست، به عبارت دیگر «فرضیه ب» رد می‌شود. به منظور اجرای این مدل از داده‌های خام[۱۹] حاصل از شبیه‌سازی استفاده شده است.

در مرحله بعدی، مدل اصلی (شکل ۴) مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور اجرای این مدل از داده‌های استاندارد شده[۲۰] حاصل از میانگین‌گیری داده‌های خام شبیه‌سازی در هر ۱۰ تکرار مشابه استفاده شده است چراکه به دلیل ناهمسطح بودن داده‌ها امکان استفاده از داده‌های خام وجود ندارد. مدل شامل یک متغیر برون‌زاد و سه متغیر درون‌زاد است که با استفاده از نرم‌افزار *LISREL 8.53* [۱۳] اجرا شده است. شکل ۶ نشان‌دهنده نتایج حاصل از اجرای مدل است.



شکل ۶- نتایج حاصل از اجرای مدل

جدول ۱ نیز نشان‌دهنده پارامترهای مدل است. قابل ذکر است که به دلیل استانداردسازی داده‌ها واریانس متغیر برون‌زاد برابر با یک قرار گرفته است و در مدل نیز ثابت[۲۱] شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از اجرای مدل

مسیر	پارامتر	مقدار	t-value
واریانس سفارشات ← واریانس زمان تحویل	γ_{11}	۰،۹۶	۲۱،۶۹
متوسط موجودی ← واریانس زمان تحویل	γ_{21}	۰،۱۸	۱،۸۰
متوسط کمبود ← واریانس زمان تحویل	γ_{31}	-۰،۳	-۶،۷۱
متوسط موجودی ← واریانس سفارشات	β_{21}	۰،۸۱	۸،۰۴
متوسط کمبود ← واریانس سفارشات	β_{31}	۰،۰۲	۰،۳۳
متوسط کمبود ← متوسط موجودی	β_{32}	۱،۲۶	۱۸،۰۰

$\chi^2 = 0.00$ d.f.=1 ; RMSEA=0.00

همانطور که از مقادیر آماره χ^2 و معیار RMSEA مشخص است، مدل کاملاً متناسب[۲۲] است.

آزمون معنی‌داری مقادیر محاسبه شده برای پارامترها با استفاده از t-value انجام می‌گردد. مقادیر محاسبه شده برای t-value در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که از مقادیر محاسبه شده مشخص است، در سطح ۰،۰۵ می‌توان گفت که به جزء دو پارامتر γ_{21} و β_{31} بقیه پارامترها به طور معنی‌داری مخالف صفر هستند. به عبارت دیگر فرضیه‌های ۳ و ۴ رد می‌شوند. از طرفی با توجه به مقدار ضریب منفی حاصل شده برای پارامتر γ_{31} نیز می‌توان گفت که فرضیه ۵ نیز قابل پذیرش نیست. سایر فرضیه‌ها شامل فرضیه‌های ۱ و ۲ و ۶ قابل پذیرش می‌باشند؛ در مورد این فرضیه‌ها با استفاده از معیار SMR[23] که تفسیر آن مشابه با ضریب تعیین (R^2) در رگرسیون است، مشخص شده است که چه مقدار از واریانس هر متغیر درون‌زاد ناشی از متغیرهای موثر بر آن است و چه مقدار آن مربوط به واریانس خطاست. محاسبه مقادیر SMR برای هریک از معادلات ساختاری (رابطه ۷) به صورت زیر است:

$$SMR_{\text{var}\,Order} = \frac{Var(\text{var}-Order) - ErrorVariance(\text{var}-Order)}{Var(\text{var}-Order)} = \frac{1-0.07}{1} = 0.93$$

$$SMR_{Holding} = \frac{Var(Holding) - ErrorVariance(Holding)}{Var(Holding)} = \frac{1-0.03}{1} = 0.97$$

$$SMR_{Slack} = \frac{Var(Slack) - ErrorVariance(Slack)}{Var(Slack)} = \frac{1-0.01}{1} = 0.99$$

با توجه به مقادیر حاصل شده برای SMR می‌توان گفت که کلیه مسیرهای ساختاری از قدرت بالایی برخوردار هستند.

در نهایت با توجه به تحلیل‌های انجام شده و با توجه به فرضیه‌های پذیرفته شده (فرضیه‌های ۱و۲و۶) می‌توان گفت که واریانس زمان تحویل در زنجیره تامین دارای تاثیرات مثبت قوی بر واریانس سفارشات صادر شده بوده و واریانس سفارشات صادر شده خود بر موجودی‌های نگهداری شده موثر است و در نهایت موجودی‌های نگهداری شده بر مقدار کمبودها در زنجیره تامین موثر بوده و در نتیجه منجر به یک حالت نوسانی در سطح موجودی‌ها همانطور که در توضیحات فرضیه ۶ بیان شد، می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

نامعینی زمان‌های تحویل یکی از مساله‌سازترین پارامترهای موثر بر برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت‌های هریک از اجزای زنجیره تامین است. یکی از اهداف اصلی این مقاله بررسی تاثیراتی است که نامعینی‌های زمانهای تحویل بر عملکرد زنجیره تامین دارد. به منظور بررسی تاثیرات، از یک مدل ساختاری شامل فرضیه‌هایی که اغلب دارای پشتیبان تئوریک در ادبیات موضوع بوده، استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده برای اجرای مدل ساختاری با

استفاده از شبیه‌سازی زنجیره تامین حاصل شده است. در اولین مرحله تاثیر واریانس زمان‌های تحویل بر اثر شلاقی بررسی شد و نشان داده شد که واریانس زمان‌های تحویل با اینکه منجر به افزایش واریانس سفارشات می‌شود ولیکن این افزایش در واریانس سفارشات در بین اجزای زنجیره و با حرکت به سمت سطوح بالای زنجیره افزایشی نبوده و در نتیجه اثر شلاقی را افزایش نمی‌دهد. در مرحله بعدی مدل اصلی تاثیرگذاری واریانس زمان‌های تحویل بر عملکرد زنجیره تامین شامل ۶ فرضیه در ارتباط با تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم واریانس زمان‌های تحویل بر عملکرد زنجیره مورد آزمون قرار گرفته است: ۱- تاثیر مستقیم بر واریانس سفارشات ۲- تاثیر غیرمستقیم از طریق واریانس سفارشات بر متوسط موجودی‌های نگهداری شده ۳- تاثیر غیرمستقیم از طریق واریانس سفارشات بر متوسط مقادیر کمبودها ۴- تاثیر مستقیم بر مقدار متوسط موجودی نگهداری شده ۵- تاثیر مستقیم بر متوسط مقادیر کمبودها ۶- تاثیر غیرمستقیم از طریق متوسط موجودی نگهداری شده بر متوسط مقادیر کمبود. در این بین فرضیه‌های اول، دوم و ششم بر اساس نتایج حاصل از تحلیل مدل ساختاری پذیرفته شده است. عمده‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

- افزایش در واریانس زمان‌های تحویل منجر به افزایش در واریانس سفارشات صادر شده توسط اعضای زنجیره می‌شود ولیکن الزاماً اثر شلاقی را افزایش نمی‌دهد.
- وجود پراکندگی در سفارشات صادر شده ناشی از نامعینی زمان‌های تحویل منجر به افزایش سطح موجودی‌ها در زنجیره تامین می‌شود.
- یکی از آثار مهم افزایش در واریانس زمان‌های تحویل ایجاد نوسانات زیاد در سطح موجودی‌هاست به نحوی که علاوه بر افزایش متوسط سطح موجودی‌های نگهداری شده، متوسط مقادیر کمبود نیز افزایش می‌یابد.

در نهایت می‌توان گفت که نامعینی‌های زمان‌های تحویل یکی از پارامترهایی است که به شدت بر عملکرد زنجیره تامین تاثیر گذاشته و هزینه‌های بسیاری را بر زنجیره تحمیل می‌نماید. صرف هزینه‌هایی به منظور کاهش زمان‌های تحویل می‌تواند به عنوان یک سرمایه‌گذاری انگاشته شود که سودآوری بسیاری را برای زنجیره تامین خواهد داشت.

انجام تحقیقاتی در ارتباط با شیوه‌های کارا در راستای کاهش نامعینی‌ها و همچنین میانگین زمان‌های تحویل، بررسی اثر کاهش میانگین زمان‌های تحویل و تاثیر همزمان کاهش میانگین و واریانس زمان‌های تحویل از جمله مواردی است که می‌تواند در ادامه این تحقیق مدنظر قرار گیرد.

مراجع و منابع

[1] Chopra, S.; Meindl P.; *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations*, 3rd Edition, Prentice-Hall, Inc., 2006.

[2] Herer, Y.T.; Tzur, M.; Yucesan, E.; "*Transshipments: An emerging inventory recourse to achieve supply chain leagility*", Int. J. Production Economics, 80, 201–212, 2002

[3] Treville, S.d.; Shapiro, R.D.; Hameri, A.P.; "*From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance*", Journal of Operations Management, 21, 613–627, 2004.

[4] Vollmann, T.E.; Cordon, C.; Heikkilä, J.; "*Teaching supply chain management to business executives*", Production and Operations Management 9 (1), 81–90, 2000.

[5] Das, S.K.; Abdel-Malek, L.; "*Modeling the flexibility of order quantities and lead-times in supply chains*", Int. J. Production Economics, 85, 171–181, 2003.

[6] Lee, H.; Padmanabhan, V.; Whang, S.; "*Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect*", Management Science 43 (4) 546-558, 1997.

[7] Kim, J.G.; Chatfield, D.; Harrison, T.P.; Hayya, J.C.; "*Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time*", European Journal of Operational Research, 173, 617–636, 2006.

[8] Ryu, S.W.; Lee, K.K.; "*A stochastic inventory model of dual sourced supply chain with lead-time reduction*", Int. J. Production Economics, 81–82, 513–524, 2003.

[9] Bookbinder, J.H.; Cakanyildirim, M.;. "*Random lead times and expedited orders in (Q, r) inventory systems*", European Journal of Operational Research 115, 300–313, 1999.

[10] So, K.C.; Zheng, X.; "*Impact of supplier's lead time and forecast demand updating on retailer's order quantity variability in a two-level supply chain*", Int. J. Production Economics, 86, 169–179, 2003.

[11] Boute, R.N.; Disney, S.M.; Lambrecht, M.R.; Houdt B.V.; "*An integrated production and inventory model to dampen upstream demand variability in the supply chain*", European Journal of Operational Research, 178, 121–142, 2007.

[12] Sharma, S.; *Applied Multivariate Techniques*, John Wiley & Sons, Inc. 1996.

[13] Joreskog, K.G.; Sorbom, D.; "*LISREL 8.53: User's Reference Guide*", Scientific Software International, Chicago, 2002.

---

1 Overall Value Generated
2 Lead time
3 Market mediation
4 Efficient supply
5 Meeting the needs of the customer
6 Covariance Structure Models
7 Fixed
8 Structural Model
9 Path Model
10 Manufacturing
11 Rationing and Gaming
12 Endogenous
13 expediting factors
14 Replenishment
15 Lost
16 Exogenous
17 Observable
18 Structural Equation
19 Raw Data
20 Standardized Data
21 Fix
22 Perfect Fit
23 Squared Multiple Correlation (SMR)