



***The Effect of Applying Combined Forecasting Methods on
Bullwhip Effect in a Multilevel Supply Chain***

Sayed Hossein Razavi Haji Agha¹✉, Hadi Akrami², Laya Olfat³

1- PhD in Production and Operation Management, Faculty of Management and Accounting,
Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

2- MSc in Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Amirkabir University of
Technology, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i
University, Tehran, Iran.

Abstract:

Nowadays, supply chain management comprises the dominant paradigm of business areas around the world and facing major challenges of this concept, is the most essential and basic topics of interest of researchers. One of the major challenges in supply chain management is bullwhip effect and the factors affecting it. An important factor that many researchers have mentioned is forecasting methods used in supply chains. In this paper, a three-level supply chain is considered in which each of the levels uses one of the forecasting methods; Moving Average, Exponential Smoothing, and Linear Regression. The results of the simulation and the comparison performed by ANOVA - respect to the assumptions - shows that the best combinations of forecasting methods are moving average - Linear regression - Exponential Smoothing and Linear regression - Exponential Smoothing - Moving average, and other combinations have less utility.

Keywords: Supply Chain, Bullwhip Effect, Forecasting Method, Simulation, ANOVA.

1. ✉Corresponding author: s_hossein_r@yahoo.com
2. h.akrami@itsr.ir
3. layaolfat@gmail.com

بررسی تاثیر کاربرد ترکیبی روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی در زنجیره‌های تامین چند سطحی

سید حسین رضوی حاجی آقا^{۱*} - هادی اکرمی^۲ - لعیا الفت^۳

(تاریخ دریافت ۱۳۹۱/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش ۱۳۹۱/۱۲/۱۷)

چکیده

زنجیره‌های تامین و مدیریت آنها پارادایم غالب بر عرصه کسب و کار امروزی بوده و مواجهه با چالش‌های این مفهوم از اساسی و ضروری‌ترین مباحث مورد توجه محققان این زمینه است. یکی از چالش‌های اساسی زنجیره تامین بحث شلاق چرمی و عوامل موثر بر آن است. یکی از این عوامل مهم که بسیاری از محققان به آن اشاره داشته‌اند، روش‌های پیش‌بینی مورد استفاده در زنجیره‌های تامین است. در این مقاله یک زنجیره تامین سه سطحی در نظر گرفته شده است که در آن هر یک از سطوح یکی از روش‌های میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و رگرسیون خطی را برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌دهند. برای این منظور نخست نسبت به شبیه‌سازی زنجیره تامین مورد نظر اقدام و سپس نتایج با استفاده از روش تحلیل واریانس مورد آزمون قرار گرفته‌اند. نتایج آزمون آماری انجام شده گویای آن است که با توجه به شرایط در نظر گرفته شده برای مسئله، بهترین ترکیب روش‌های پیش‌بینی شامل میانگین متحرک - رگرسیون خطی - هموارسازی نمایی و یا رگرسیون خطی - هموارسازی نمایی - میانگین متحرک می‌باشد و ترکیبات دیگر از مطلوبیت کمتری برخوردارند. روش‌شناسی مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند به عنوان الگویی برای بررسی مسائل مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: زنجیره تامین، اثر شلاق چرمی، روش‌های پیش‌بینی، شبیه‌سازی، تحلیل واریانس

۱- عضو هیات علمی موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، دکترای مدیریت صنعتی. s_hossein_r@yahoo.com

۲- پژوهشگر موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، فوق لیسانس مهندسی صنایع. H.akrami@itsr.ir

۳- عضو هیات علمی دانشگاه علامه طباطبایی، دکترای مدیریت صنعتی. layaolfat@gmail.com

۱. مقدمه

زنجیره‌های تامین به مرور تبدیل به پارادایم غالب در دنیای تجارت و کسب و کار شده‌اند. فارستر، که بسیاری او را بنیان گذار بحث زنجیره‌های تامین می‌دانند، در سال ۱۹۵۸ با بیان اینکه مدیریت در معرض تغییری قرار دارد که موفقیت سازمان‌ها را در گرو تعامل اثربخش جریان اطلاعات، مواد، سرمایه، نیروی انسانی و تجهیزات قرار می‌دهد. ایده‌ای را بنا نهاد که امروزه نظریه‌ای انکارناپذیر در حوزه کسب و کارهای گوناگون است [۲۴]. شاید امروز نتوان هیچ سازمانی را بدون در نظر گرفتن جایگاه آن در یک زنجیره تامین تصور نمود. توسعه مفهوم زنجیره تامین به گونه‌ای است که برخی صاحب نظران معتقدند در حال حاضر رقابت از شرکت‌ها به زنجیره‌ها انتقال یافته است. در واقع گسترش اصلی بحث زنجیره‌های تامین در دو دهه اخیر بوده است و به مرور بسیاری از سازمان‌های بزرگ بین المللی از آن بهره‌مند شده‌اند [۲۰].

در تعریف زنجیره تامین، چوپرا^۱ (۲۰۰۷) آن را به صورت کلیه اعضای می‌داند که به طور مستقیم یا غیر مستقیم در برآوردن نیاز یک مشتری دخالت دارند. معمولاً یک زنجیره تامین از پنج مرحله مشتریان، خرده فروش‌ها، عمده فروش‌ها/ توزیع کنندگان، تولید کنندگان و تامین کنندگان قطعات/ مواد اولیه تشکیل شده است [۱۷].

هدایت موفقیت آمیز هر زنجیره تامین مستلزم اقدامات گسترده مدیریتی و اتخاذ سیاست‌های گوناگونی است که مدیریت جریان‌های اصلی هر زنجیره تامین شامل مواد، سرمایه و اطلاعات را تسهیل نماید. موضوع پیش‌بینی تقاضا از موضوعات بسیار مهم در مدیریت زنجیره‌های تامین به شمار می‌رود. بنابر تعریف زنجیره تامین، هدف اصلی از هر زنجیره برآوردن نیازهای مشتریان است و لذا آگاهی حلقه‌های زنجیره تامین از تقاضای آینده از اهمیت زیادی برخوردار است. پیش‌بینی در واقع مبنایی برای کلیه برنامه‌ریزی‌های زنجیره تامین است. در یک تقسیم‌بندی متداول چهار شیوه برای پیش‌بینی وجود دارد: شیوه‌های کیفی، سری‌های زمانی، علی و شبیه‌سازی. هر یک از این شیوه‌ها در موقعیت‌های مختلفی استفاده می‌شوند و دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود می‌باشند.

یکی از مسائل مدیریتی مهم و گسترده در مدیریت زنجیره‌های تامین، مسئله اثر شلاق چرمی است. به طور خلاصه اثر شلاق چرمی اشاره به این قانون دارد که نوسانات تقاضای آخرین سطح مشتری در زنجیره تامین با حرکت در طول مراحل زنجیره تامین افزایش می‌یابد [۲۸]. این اثر را اولین بار فارستر در کتاب "پویایی صنعتی" مطرح و مثال‌هایی از آن ارائه کرد. فارستر این اثر را ناشی از تغییر در رفتار سازمان‌ها عنوان نمود [۱۸]. وجود این اثر باعث برنامه‌ریزی نادرست، افزایش سطح موجودی، کاهش سود، کاهش سطح خدمت و آثار زیانبار دیگری بر سازمان‌ها می‌شود و بر این اساس است که تحقیقات بسیاری بر روی آن انجام

شده است. محققین دلایل مختلفی را برای ایجاد این اثر ذکر کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به پیش‌بینی تقاضا، سفارش های دسته‌ای، نوسان های قیمت، تصمیم های سهمیه‌بندی، تاخیرهای زمانی و ناهماهنگی در ساختار زنجیره اشاره نمود. لی و پادماناپان (۱۹۹۷) چهار عامل اساسی را در ایجاد اثر شلاق چرمی معرفی کرده‌اند: پیش‌بینی تقاضا، سفارش دسته‌ای، نوسان های قیمت، سهمیه‌بندی و کمبود [۲۲]. پایک و باغچی (۲۰۰۵) نیز در تحقیق خود به روز رسانی پیش‌بینی تقاضا، سفارش دسته‌ای، تاخیرهای مواد اولیه، تاخیر اطلاعات، تاخیرهای خرید و تعداد سطوح زنجیره را از جمله عوامل موثر بر اثر شلاق چرمی دانسته‌اند [۲۶]. در ایران نیز مطالعات گسترده‌ای در زمینه مدیریت زنجیره تامین و همچنین بررسی اثر شلاق چرمی صورت گرفته است. به عنوان نمونه‌های مرتبط از این مطالعات می‌توان به مقاله موحدی و همکاران (۱۳۹۰) اشاره نمود که در این مطالعه به تحلیل نقش عوامل مالی در اثر شلاقی در زنجیره تامین دو سطحی پرداخته‌اند [۲]. یوسفی نوز و منهج (۱۳۹۰) تاثیر سیستم پیش‌بینی تقاضای متلاطم بر اثر شلاقی در زنجیره تامین را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند [۶]. نظری و آقایی (۱۳۹۱) نیز در مطالعه خود به اندازه‌گیری پدیده اثر شلاقی در زنجیره تامین سه سطحی با بیش از یک محصول پرداخته‌اند [۵].

همان طور که ملاحظه می‌شود، یکی از عوامل تاثیرگذار بر ایجاد اثر شلاقی، پیش‌بینی تقاضا بیان شده است. علت این تاثیرگذاری را می‌توان در بازی نوباره که توسط جان استرمن (۱۹۸۹) بنیانگذاری شده است، مشاهده نمود [۲۷]. این بازی در واقع زنجیره‌ای متشکل از چهار سطح است که هر یک از سطوح تصمیمات سفارش دهی خود را مستقل از سطح دیگر اتخاذ می‌کند. اصولاً تصمیم‌گیرندگان این چهار سطح بدون توجه به سطوح دیگر سیاست سفارش دهی خود را تنظیم می‌کنند. در نتیجه همواره پراکندگی سفارش ها از پایین‌ترین سطح زنجیره به بالاترین سطح آن به شدت افزایش می‌یابد. این بازی در واقع موید تاثیر روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی است.

با شناخت تاثیر روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی، مطالعات گسترده‌ای برای شناسایی و بررسی این اثر انجام گرفت. هدف از این مقاله آن است که بررسی کاربرد روش‌های مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی را در یک زنجیره تامین سه سطحی بررسی و مقایسه نماید. در بخش‌های بعدی مقاله ابتدا مروری بر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه انجام شده است. پس از آن مسئله مورد بررسی این تحقیق به طور کامل معرفی و در نهایت مراحل اجرایی تحقیق و نتایج حاصل از آن ارائه شده است.

۲. مروری بر مبانی نظری بررسی عوامل موثر بر اثر شلاق چرمی

رشد فزاینده زنجیره‌های تامین در حوزه‌های گوناگون کسب و کار با موضوعات و چالش‌های مختلفی

مواجهه بوده و توجه محققین و مدیران را به خود معطوف داشته است. همان طور که در بخش قبلی اشاره گردید، یکی از موضوعات مورد توجه محققین در زنجیره‌های تامین، مسئله اثر شلاق چرمی و عوامل موثر بر آن بوده است. باتاچاریا و باندیوپادای (۲۰۱۱) مروری بر مطالعات پیرامون عوامل تاثیرگذار بر اثر شلاق چرمی را انجام داده‌اند [۱۰]. چتفیلد و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی تاثیر زمان‌های تصادفی آماده‌سازی، تسهیم اطلاعات و کیفیت اطلاعات تسهیم شده بر اثر شلاق چرمی پرداخته‌اند [۱۴]. ماچوکا و باراخاس (۲۰۰۴) نیز با استفاده از یک نرم افزار شبیه‌سازی اینترنتی، تاثیر تبادل الکترونیکی داده‌ها بر کاهش اثر شلاق چرمی و نیز متوسط هزینه موجودی را مطالعه نمودند [۲۳]. کلپوریس و همکاران (۲۰۰۸) نحوه تاثیرگذاری پارامترهای تامین و تسهیم اطلاعات بر اثر شلاق چرمی را بررسی نمودند [۲۱]. یاکسیچ و رزجان (۲۰۰۸) نیز تاثیر سیاست‌های تامین بر این اثر را مورد مطالعه قرار دادند [۱۹]. آگراوال و همکاران (۲۰۰۹) تاثیر زمان آماده‌سازی و تسهیم اطلاعات بر اثر شلاق چرمی را بررسی نمودند [۸]. برای و مندلسون (۲۰۱۲) به بررسی تاثیر تبادل اطلاعات میان سطوح زنجیره تامین بر اثر شلاقی آن پرداخته‌اند [۱۲]. یکی از عواملی که بسیاری از صاحب نظران معتقد به تاثیر آن بر اثر شلاق چرمی می‌باشند، استفاده حلقه‌های زنجیره تامین از روش‌های مختلف پیش‌بینی بوده است. در این زمینه نیز مطالعات گسترده‌ای پیرامون تاثیر روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی صورت پذیرفته است. از آن جمله چن و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی و مقایسه تاثیر دو روش هموارسازی نمایی و میانگین متحرک بر اثر شلاق چرمی در یک زنجیره تامین ساده دو سطحی شامل یک خرده فروش و یک تولید کننده پرداخته‌اند [۱۵]. چن و همکاران (۲۰۰۰) همچنین به بررسی اثرات دو عامل پیش‌بینی تقاضا و زمان تدارک سفارش بر اثر شلاق چرمی در یک زنجیره تامین دو سطحی پرداخته و نتیجه آن را به زنجیره‌های چند سطحی تعمیم داده‌اند [۱۶]. ژانگ (۲۰۰۴) تاثیر روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی را در یک سیستم تامین موجودی ساده مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده است که روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی تاثیر دارند [۲۹]. کربنائو و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر کاربرد روش‌های یادگیرنده، نظیر شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی بازگشتی و ماشین بردارهای پشتیبان برای پیش‌بینی را بر اثر شلاق چرمی بررسی و آن را با روش‌های سنتی نظیر میانگین متحرک و رگرسیون خطی مقایسه نمودند [۱۳]. بایراکتار و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تاثیر روش هموارسازی نمایی بر اثر شلاق چرمی در مدیریت زنجیره تامین الکترونیک پرداخته‌اند. آنها یک برنامه شبیه‌سازی برای انتخاب بهترین پارامترهای هموارسازی نمایی در این زنجیره توسعه داده‌اند [۱۱]. بارلاس و گوندوز (۲۰۱۱) در تحلیل خود یکی از ریشه‌های ساختاری اثر شلاق چرمی در زنجیره‌های تامین را استفاده ناهماهنگ سطوح مختلف زنجیره از روش‌های پیش‌بینی عنوان نموده‌اند [۹]. نجفی و فراهانی (۱۳۸۶) نیز تاثیر روش‌های پیش‌بینی میانگین متحرک،

هموارسازی نمایی و رگرسیون خطی بر اثر شلاق چرمی را در یک زنجیره چهار سطحی در دو حالت تقاضای ثابت و خطی بررسی و به مقایسه آنها پرداخته‌اند [۳]. آنها در تحقیق خود چنین فرض کرده‌اند که کلیه اعضای زنجیره از روش مشابهی برای پیش‌بینی تقاضای خود استفاده می‌کنند. نخعی و همکاران (۱۳۸۶) نیز در مطالعه‌ای به بررسی اثر الگوی سفارش دهی $X+Y$ بر کاهش اثر شلاقی در زنجیره تأمین پرداخته‌اند [۴]. یوسفی زنوز و منهج (۱۳۹۰) یک چارچوب ترکیبی پیش‌بینی تقاضای متلاطم و کنترل پیش‌بین الگو به منظور کمینه‌سازی اثر شلاقی را طرح نمودند [۷]. اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر روشهای مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاقی در زنجیره تأمین را مقایسه نموده‌اند [۱]. آنها ابتدا به بررسی نقش دو روش پرکاربرد پیش‌بینی، روش میانگین متحرک و روش هموارسازی نمایی، در ایجاد یا تشدید اثر شلاقی در بخشی از یک زنجیره تأمین واقعی دو سطحی، شامل یک تأمین‌کننده و چهارخرده‌فروش، پرداخته‌اند و با در نظر گرفتن هشت الگوی مختلف برای تقاضای خرده‌فروشان، مقدار اثرشلاقی در دو روش پیش‌بینی در دوره‌های مختلف با ضرایب همبستگی متفاوت را محاسبه نموده‌اند.

مسئله‌ای که تحقیق حاضر سعی در بررسی آن دارد، به صورت زیر بیان می‌گردد:

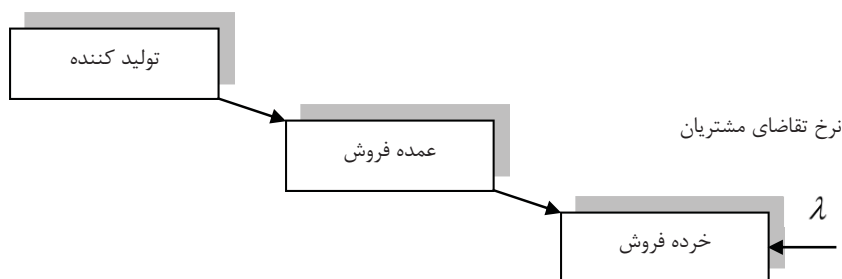
۳. بیان مسئله و فرضیات تحقیق

تحقیق حاضر به بررسی تأثیر کاربرد روش‌های مختلف پیش‌بینی در یک زنجیره تأمین چند سطحی بر اثر شلاق چرمی اختصاص دارد. اگرچه این موضوع در بسیاری از تحقیقات پیشین بررسی شده است، لیکن در این تحقیق تأثیر کاربرد ترکیبی روش‌های مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاقی بررسی شده است که با توجه به ماهیت مستقل اجزای زنجیره تأمین انطباق بیشتری با واقعیت دارد.

برای این منظور، یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل یک خرده‌فروش، یک عمده‌فروش و یک تولیدکننده مد نظر قرار گرفته است. اگرچه می‌توان زنجیره‌های تأمین مختلفی با تعداد سطوح و لایه‌های متفاوت را در نظر گرفت، هدف اصلی از این طرح ارائه رویکرد و الگویی برای تحلیل سناریوهای گوناگون و ارزیابی تأثیرات آنها بر زنجیره‌های تأمین است که در این تحقیق، اثر شلاقی به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخصهای عملکردی زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. در خصوص انتخاب زنجیره سه سطحی، از یک سو زنجیره‌های دو سطحی به دلیل سادگی بیش از حد اختلاف زیادی با واقعیت دارند و از سوی دیگر زنجیره‌های چهار سطحی بسیار پیچیده می‌باشند، به گونه‌ای که تعداد سناریوهای قابل بررسی برای یک زنجیره چهار سطحی با در نظر گرفتن چهار روش مختلف پیش‌بینی به ۲۴ سناریو افزایش می‌یابد که بررسی آن را دشوار خواهد ساخت. با توجه به هدف مقاله از ارائه الگویی برای تحلیل سناریوهای مختلف پیش‌بینی،

به نظر می‌رسد فرض یک زنجیره سه سطحی با شش سناریوی مختلف پیش‌بینی از لحاظ عملیاتی و واقعی قابلیت تجسم بیشتری داشته باشد و از این رو در مقاله حاضر به بررسی چنین زنجیره‌ای پرداخته شده است. فرض می‌شود تقاضای خرده فروش که از مشتریان نهایی دریافت می‌دارد، فرآیندی پواسون با نرخ است. انتخاب این توزیع با توجه به تحقیقات متعدد دیگری صورت گرفته است که از این توزیع به عنوان الگوی تقاضای در زنجیره تامین استفاده کرده‌اند. این انتخاب ریشه در ماهیت و ویژگی توزیع پواسون در به تصویر کشیدن فرآیندهای شمارشی دارد. در واقع نگاهی به فرآیند ورود مشتریان به سیستم و ثبت تقاضای آنها، نشان دهنده این واقعیت است که فرآیند تقاضای کالا فرآیندی شمارشی است که به خوبی توسط توزیع پواسون نشان داده می‌شود. همین ویژگی نیز باعث شده است تا بیش از نیمی از تحقیقات مرتبط با سیستم‌های چند سطحی، این توزیع را به عنوان الگوی تقاضا به کار برند. اجزای زنجیره مورد نظر از سه روش میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و رگرسیون برای پیش‌بینی تقاضای خود استفاده می‌کنند؛ با این فرض که هیچ کدام از اجزا روش مشابهی را به کار نمی‌برند. بنابراین شش ترکیب مختلف از سه روش پیش‌بینی موجود بررسی خواهد شد. همچنین از نسبت واریانس سفارشات تولید کننده به واریانس تقاضا در پایین‌ترین سطح زنجیره به عنوان معیار سنجش اثر شلاق چرمی استفاده می‌شود. مسئله مورد بررسی تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.

$$(۱) \quad \text{اثر شلاق چرمی} = \frac{\text{واریانس سفارش تامین کننده}}{\text{واریانس تقاضا در پایین زنجیره}}$$



شکل ۱- زنجیره تامین سه سطحی مورد بررسی

با توجه به شکل ۱ می توان دریافت که تنها توزیع کننده تقاضای خود را بر اساس سفارشات مشتری نهایی پیش بینی می کند و هر یک از سطوح بالاتر، بر اساس میزان سفارش سطح بعدی به پیش بینی اقدام می کنند. از این رو سیاست سفارش دهی اجزای زنجیره نیز می تواند بر اثر شلاق چرمی آن تاثیر داشته باشد. لذا در این تحقیق فرض شده است کلیه مراحل زنجیره از سیاست سفارش دهی موجودی پایه (S، S) استفاده می کنند. با توجه به این فرضیات نسبت به شبیه سازی مسئله اقدام شده است. برای این منظور ابتدا یک نمونه تقاضا با فرآیند پواسون به صورت تصادفی تولید شده است. سپس با توجه به سیاست سفارش دهی، میزان سفارشات هر سطح به عنوان تقاضای سطح بالایی به دست آمده و پیش بینی انجام شده است. در نهایت نسبت به محاسبه و مقایسه اثر شلاق چرمی اقدام شده است. شش ترکیب مختلف روش های پیش بینی نیز به شرح جدول ۱ می باشد.

جدول ۱- ترکیبات مختلف روش های پیش بینی در مراحل زنجیره عرضه

| حالت | خرده فروش | عمده فروش | تولید کننده | حالت | خرده فروش | عمده فروش | تولید کننده |
|------|-----------|-----------|-------------|------|-----------|-----------|-------------|
| ۱ | (۱) | (۲) | (۳) | ۴ | (۲) | (۲) | (۱) |
| ۲ | (۱) | (۳) | (۲) | ۵ | (۳) | (۱) | (۲) |
| ۳ | (۲) | (۳) | (۳) | ۶ | (۱) | (۲) | (۱) |

(۱) میانگین متحرک (۲) هموارسازی نمایی (۳) رگرسیون خطی

در هر دور شبیه سازی تقاضای تصادفی برای ۳۶ دوره ایجاد شده است. شایان ذکر است که در تحقیق حاضر بحث نمونه گیری به معنای عام آن در نظر نبوده است و تنها با توجه به روش تجزیه و تحلیل داده ها بر اساس تحلیل واریانس، این تعداد بر بهره گیری از قضیه حد مرکزی به عنوان یک نمونه بزرگ در نظر گرفته شده است. داده های مربوط به تقاضای تصادفی خرده فروش در اولین دور شبیه سازی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به تعریف اثر شلاقی به صورت نسبت واریانس ها و به منظور افزایش واریانس تقاضاها، نرخ تقاضا فرض شده است. همچنین سیاست سفارش دهی نیز، به عنوان یک متغیر کنترل، برای کلیه سطوح زنجیره یکسان و به صورت (۲، ۶) در نظر گرفته شده است. در کلیه روش ها، موجودی ابتدای دوره برابر صفر واحد در نظر گرفته شده و کمبود نیز مجاز است. نتایج حاصل از شبیه سازی مسئله تحت حالات گوناگون در ادامه ارائه شده است.

جدول ۲- داده‌های تقاضای تصادفی برای نرخ تقاضای $\lambda = 4$

| دوره | تقاضا | دوره | تقاضا | دوره | تقاضا | دوره | تقاضا |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| ۱ | ۳ | ۱۰ | ۶ | ۱۹ | ۳ | ۲۸ | ۵ |
| ۲ | ۳ | ۱۱ | ۴ | ۲۰ | ۰ | ۲۹ | ۳ |
| ۳ | ۳ | ۱۲ | ۶ | ۲۱ | ۶ | ۳۰ | ۳ |
| ۴ | ۶ | ۱۳ | ۱ | ۲۲ | ۴ | ۳۱ | ۶ |
| ۵ | ۳ | ۱۴ | ۲ | ۲۳ | ۱ | ۳۲ | ۷ |
| ۶ | ۳ | ۱۵ | ۴ | ۲۴ | ۱ | ۳۳ | ۷ |
| ۷ | ۳ | ۱۶ | ۱ | ۲۵ | ۳ | ۳۴ | ۰ |
| ۸ | ۱ | ۱۷ | ۱ | ۲۶ | ۵ | ۳۵ | ۶ |
| ۹ | ۱ | ۱۸ | ۳ | ۲۷ | ۴ | ۳۶ | ۶ |

بررسی اثر شلاق چرمی در زنجیره تامین سه سطحی در سناریوی ۱

همان طور که در جدول ۱ ذکر شده است، در این سناریو خرده فروش، عمده فروش و تولید کننده به ترتیب از روش‌های میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و رگرسیون برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند. بر این اساس مقادیر پیش‌بینی خرده فروش با روش میانگین متحرک با و نیز مقادیر سفارش دهی آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

مقادیر سفارش خرده فروش، تقاضای عمده فروش را شکل می‌دهند که نسبت به پیش‌بینی تقاضا اقدام می‌کند. جداول ۴ و ۵ به ترتیب مقادیر پیش‌بینی عمده فروش و تولید کننده با روش‌های هموارسازی نمایی و رگرسیون و مقادیر سفارش آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تقاضا و سفارش خرده فروش با روش میانگین متحرک

| دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش |
|------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|
| ۱ | ۳ | ۹ | ۱۰ | ۲ | ۴/۵ | ۱۹ | ۲/۲۵ | ۶/۲۵ | ۲۸ | ۳/۲۵ | ۵/۷۵ |
| ۲ | ۳ | ۰ | ۱۱ | ۲/۷۵ | ۰ | ۲۰ | ۲ | ۰ | ۲۹ | ۴/۲۵ | ۴/۲۵ |
| ۳ | ۳ | ۶ | ۱۲ | ۳ | ۵/۷۵ | ۲۱ | ۱/۷۵ | ۰ | ۳۰ | ۴/۲۵ | ۴/۲۵ |
| ۴ | ۶ | ۶ | ۱۳ | ۴/۲۵ | ۴/۲۵ | ۲۲ | ۳ | ۶/۷۵ | ۳۱ | ۳/۷۵ | ۰ |
| ۵ | ۳/۷۵ | ۰ | ۱۴ | ۴/۲۵ | ۴/۲۵ | ۲۳ | ۳/۲۵ | ۰ | ۳۲ | ۴/۲۵ | ۸ |
| ۶ | ۳/۷۵ | ۷/۵ | ۱۵ | ۳/۲۵ | ۰ | ۲۴ | ۲/۷۵ | ۶ | ۳۳ | ۴/۷۵ | ۴/۷۵ |
| ۷ | ۳/۷۵ | ۰ | ۱۶ | ۳/۲۵ | ۶/۵ | ۲۵ | ۳ | ۰ | ۳۴ | ۵/۷۵ | ۵/۷۵ |
| ۸ | ۳/۷۵ | ۷/۵ | ۱۷ | ۲ | ۰ | ۲۶ | ۲/۲۵ | ۵/۲۵ | ۳۵ | ۵ | ۵ |
| ۹ | ۲/۵ | ۰ | ۱۸ | ۲ | ۰ | ۲۷ | ۲/۵ | ۰ | ۳۶ | ۵ | ۵ |

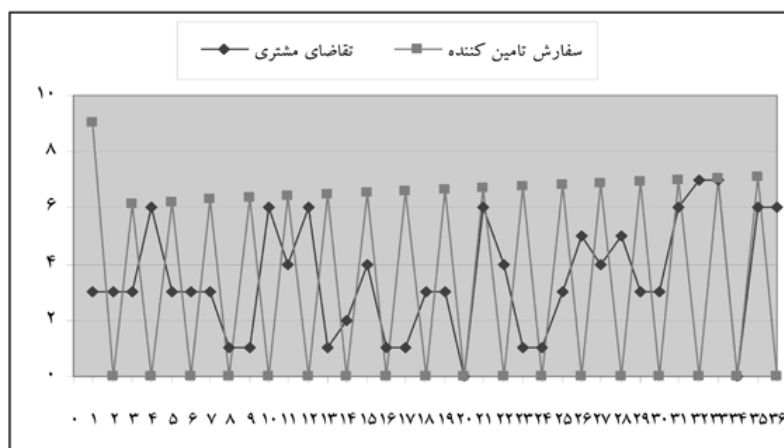
جدول ۴- تقاضا و سفارش عمده فروش با روش هموارسازی نمایی

| دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش |
|------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|
| ۱ | ۰ | ۶/۰۰ | ۱۰ | ۲/۹۶ | ۰ | ۱۹ | ۶/۲۵ | ۴/۳۳ | ۲۸ | ۵/۷۵ | ۰ |
| ۲ | ۳/۰۰ | ۰ | ۱۱ | ۳/۴۸ | ۶/۴۴ | ۲۰ | ۰ | ۰ | ۲۹ | ۴/۲۵ | ۵/۵۵ |
| ۳ | ۲/۰۰ | ۵/۰۰ | ۱۲ | ۲/۳۲ | ۰ | ۲۱ | ۰ | ۵/۴۰ | ۳۰ | ۴/۲۵ | ۰ |
| ۴ | ۳/۳۳ | ۰ | ۱۳ | ۳/۴۶ | ۵/۷۸ | ۲۲ | ۶/۷۵ | ۰ | ۳۱ | ۰ | ۷/۵۲ |
| ۵ | ۴/۲۲ | ۷/۵۶ | ۱۴ | ۳/۷۲ | ۰ | ۲۳ | ۰ | ۴/۶۵ | ۳۲ | ۸ | ۰ |
| ۶ | ۲/۸۱ | ۰ | ۱۵ | ۳/۹۰ | ۷/۶۲ | ۲۴ | ۶ | ۰ | ۳۳ | ۴/۷۵ | ۶/۹۵ |
| ۷ | ۴/۳۸ | ۷/۱۹ | ۱۶ | ۲/۶۰ | ۰ | ۲۵ | ۰ | ۵/۵۷ | ۳۴ | ۵/۷۵ | ۴/۵۰ |
| ۸ | ۲/۹۲ | ۰ | ۱۷ | ۳/۹۰ | ۶/۵۰ | ۲۶ | ۵/۲۵ | ۰ | ۳۵ | ۵ | ۴/۹۲ |
| ۹ | ۴/۴۵ | ۷/۳۶ | ۱۸ | ۲/۶۰ | ۰ | ۲۷ | ۰ | ۵/۵۶ | ۳۶ | ۵ | ۴/۹۵ |

جدول ۵- تقاضا و سفارش تولید کننده با روش رگرسیون

| دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش | دوره | پیش‌بینی | سفارش |
|------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|
| ۱ | ۳/۰۶ | ۹/۰۶ | ۱۰ | ۳/۱۹ | ۰ | ۱۹ | ۳/۳۲ | ۶/۶۳ | ۲۸ | ۳/۴۶ | ۰ |
| ۲ | ۳/۰۷ | ۰ | ۱۱ | ۳/۲۱ | ۶/۴۰ | ۲۰ | ۳/۳۴ | ۰ | ۲۹ | ۳/۴۷ | ۶/۹۳ |
| ۳ | ۳/۰۹ | ۶/۱۶ | ۱۲ | ۳/۲۲ | ۰ | ۲۱ | ۳/۳۵ | ۶/۶۹ | ۳۰ | ۳/۴۹ | ۰ |
| ۴ | ۳/۱۰ | ۰ | ۱۳ | ۳/۲۴ | ۶/۴۶ | ۲۲ | ۳/۳۷ | ۰ | ۳۱ | ۳/۵۰ | ۶/۹۸ |
| ۵ | ۳/۱۲ | ۶/۲۲ | ۱۴ | ۳/۲۵ | ۰ | ۲۳ | ۳/۳۸ | ۶/۷۵ | ۳۲ | ۳/۵۱ | ۰ |
| ۶ | ۳/۱۳ | ۰ | ۱۵ | ۳/۲۶ | ۶/۵۱ | ۲۴ | ۳/۴۰ | ۰ | ۳۳ | ۳/۵۳ | ۷/۰۴ |
| ۷ | ۳/۱۵ | ۶/۲۸ | ۱۶ | ۳/۲۸ | ۰ | ۲۵ | ۳/۴۱ | ۶/۸۱ | ۳۴ | ۳/۵۴ | ۰ |
| ۸ | ۳/۱۶ | ۰ | ۱۷ | ۳/۲۹ | ۶/۵۷ | ۲۶ | ۳/۴۳ | ۰ | ۳۵ | ۳/۵۶ | ۷/۱۰ |
| ۹ | ۳/۱۸ | ۶/۳۴ | ۱۸ | ۳/۳۱ | ۰ | ۲۷ | ۳/۴۴ | ۶/۸۷ | ۳۶ | ۳/۵۷ | ۰ |

با توجه به تعریف اثر شلاق چرمی، رابطه (۱) و این نکته که تقاضای مشتریان فرآیندی پواسون با $\lambda = 4$ در نظر گرفته شده است، لذا اثر شلاق چرمی ایجاد شده در سناریوی اول روش‌های پیش‌بینی برابر است با $99/5 = 2 \div 97/11$. شکل ۲ روند تغییرات تقاضای پایین زنجیره و سفارش تأمین کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- روند تغییرات تقاضای مشتری و سفارش تامین کننده

محاسبات مشابهی نیز در ۵ سناریوی دیگر پیش‌بینی، مطابق جدول ۱، انجام شده است. جدول ۶ مقادیر اثر شلاق چرمی برآورده شده در هر یک از شش سناریو را نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقادیر اثر شلاق چرمی سناریوهای مختلف پیش‌بینی

| سناریو | اثر شلاق چرمی | سناریو | اثر شلاق چرمی |
|--------|---------------|--------|---------------|
| ۱ | ۵/۹۹ | ۴ | ۶/۵۴ |
| ۲ | ۵/۹۷ | ۵ | ۴/۸۴ |
| ۳ | ۵/۲۵ | ۶ | ۵/۸۸ |

۴. تجزیه و تحلیل نتایج

نتایج ارائه شده در قسمت قبل در واقع نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل یک مجموعه از داده‌های تصادفی تولید شده تحت سناریوهای مختلف پیش‌بینی را نشان می‌دهد. در این تحقیق و به منظور مقایسه اثر شلاق چرمی حاصل از شش سناریوی مختلف، با استفاده از نرم افزارهای MINITAB 15 و EXCEL نسبت به شبیه‌سازی فرآیند فوق در ۵۰ دور اقدام گردید که جدول ۷ مقادیر اثر شلاق چرمی هر یک از سناریوهای مختلف تحت این ۵۰ اجرا را نشان می‌دهد. نحوه انجام شبیه‌سازی به این صورت است که از نرم افزار MINITAB 15 برای تولید اعداد تصادفی طبق توزیع پواسون استفاده شده است. سپس منطق زنجیره تامین مورد نظر در نرم افزار EXCEL طراحی شده است و اعداد تصادفی در خصوص میزان تقاضا به عنوان ورودی در الگو طراحی شده وارد شده و الگو به اجرا در آمده است. نهایتاً طبق تعریف اثر شلاق چرمی نسبت

به محاسبه این اثر در هر یک از آزمایش‌ها اقدام شده است. در ادامه تحقیق به آزمون این فرض پرداخته شده است که آیا "میانگین اثر شلاق چرمی سناریوهای مختلف پیش‌بینی تفاوت معنی‌دار با یکدیگر دارند یا خیر؟". اگر میانگین اثر شلاق چرمی سناریوی پیش‌بینی ام باشد، در واقع این تحقیق به دنبال آزمون فرض زیر است:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 \\ H_1 : \mu_i \neq \mu_j, \forall i, j \in (1, 2, 3, 4, 5, 6), i \neq j \end{cases}$$

برای آزمون فرض فوق با توجه به داده‌های جدول ۷ از روش تحلیل واریانس تک عاملی (با استفاده از نرم افزار SPSS16) استفاده شده است. نتایج این آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد، فرض صفر برابری میانگین اثر شلاق چرمی در ۶ سناریوی پیشنهادی در سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته نمی‌شود و می‌توان گفت که اختلاف معنی‌داری میان سناریوهای مختلف وجود دارد. برای تشخیص این اختلاف از آزمون مقایسه چندگانه کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شده است. بر اساس نتایج آزمون LSD، در سطح معنی‌داری ۹۵٪ و بر اساس شرایط و فرضیات در نظر گرفته شده مسئله، نتایج زیر به دست می‌آید.

بهترین سناریو (کمترین میزان اثر شلاقی) مربوط به سناریوهای ۲ و ۵ می‌باشد که اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند. سناریوهای ۵ و ۱ نیز اختلاف معنی‌داری ندارند. پس از آن نیز سناریوهای ۱، ۳ و ۶ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند و در نهایت سناریوی ۴ با تمام سناریوهای دیگر اختلافی معنی‌دار را نشان می‌دهد. این نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. لذا می‌توان بهترین سناریو را سناریوی دوم دانست. در واقع بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل فوق می‌توان چنین اظهار داشت که اگر در سیستم سه سطحی مورد بررسی با فرضیات مورد نظر، خرده فروش، عمده فروش و تولید کننده به ترتیب از روش‌های میانگین متحرک، رگرسیون خطی و هموارسازی نمایی برای پیش‌بینی تقاضاهای خود استفاده کنند، با توجه به عدم امکان حذف خطا در نتایج پیش‌بینی، میزان شلاق چرمی حاصل از این ترکیب روش‌های پیش‌بینی کمتر از هر ترکیب دیگری خواهد بود و در نتیجه این ترکیب به کاهش این اثر و تأثیرات منفی آن بر زنجیره تأمین کمک می‌کند.

جدول ۷- مقادیر اثر شلاق چرمی حاصل از شبیه‌سازی

| دور | سناریوی پیش‌بینی | | | | | | دور | سناریوی پیش‌بینی | | | | | |
|-----|------------------|------|------|------|------|------|-----|------------------|------|------|------|------|------|
| | (۱) | (۲) | (۳) | (۴) | (۵) | (۶) | | (۱) | (۲) | (۳) | (۴) | (۵) | (۶) |
| ۱ | ۵/۹۹ | ۵/۹۷ | ۵/۲۵ | ۶/۵۴ | ۴/۸۴ | ۵/۸۸ | ۲۶ | ۷/۹۴ | ۴/۱۱ | ۷/۲۶ | ۸/۱۳ | ۵/۴۷ | ۷/۲۷ |
| ۲ | ۳/۷۲ | ۱/۵۱ | ۴/۹۶ | ۵/۷۵ | ۰/۰۸ | ۲/۶۲ | ۲۷ | ۴/۷۱ | ۶/۸۰ | ۶/۹۵ | ۶/۰۱ | ۶/۴۶ | ۷/۰۲ |
| ۳ | ۳/۷۳ | ۲/۳۷ | ۴/۰۸ | ۶/۷۶ | ۵/۵۴ | ۵/۵۴ | ۲۸ | ۵/۷۵ | ۴/۳۷ | ۶/۵۵ | ۸/۱۳ | ۵/۹۹ | ۷/۲۶ |
| ۴ | ۴/۱۳ | ۳/۲۴ | ۴/۲۵ | ۸/۹۶ | ۳/۱۸ | ۴/۳۲ | ۲۹ | ۷/۳۵ | ۵/۱۳ | ۶/۳۰ | ۷/۸۲ | ۶/۹۶ | ۷/۵۰ |
| ۵ | ۷/۷۴ | ۴/۳۶ | ۷/۱۰ | ۸/۳۳ | ۴/۷۴ | ۷/۶۲ | ۳۰ | ۵/۶۹ | ۵/۴۷ | ۴/۸۹ | ۶/۴۲ | ۵/۰۹ | ۵/۹۷ |
| ۶ | ۲/۷۰ | ۰/۴۵ | ۳/۱۵ | ۵/۶۲ | ۰/۰۸ | ۲/۲۲ | ۳۱ | ۰/۵۶ | ۰/۵۴ | ۱/۳۶ | ۲/۰۳ | ۰/۱۰ | ۱/۴۲ |
| ۷ | ۳/۰۲ | ۲/۱۱ | ۸/۱۴ | ۶/۹۴ | ۴/۵۲ | ۸/۶۵ | ۳۲ | ۶/۳۰ | ۴/۱۶ | ۶/۹۰ | ۸/۰۰ | ۷/۳۵ | ۷/۶۳ |
| ۸ | ۵/۰۸ | ۶/۱۰ | ۴/۸۴ | ۷/۲۱ | ۵/۴۰ | ۵/۸۰ | ۳۳ | ۵/۸۴ | ۳/۸۳ | ۷/۱۷ | ۷/۸۲ | ۶/۸۲ | ۷/۰۶ |
| ۹ | ۰/۴۹ | ۰/۴۷ | ۲/۲۴ | ۳/۷۳ | ۰/۰۶ | ۱/۲۲ | ۳۴ | ۵/۹۷ | ۵/۹۹ | ۵/۶۱ | ۶/۹۱ | ۵/۷۵ | ۶/۷۷ |
| ۱۰ | ۶/۲۵ | ۴/۰۲ | ۶/۹۷ | ۷/۹۰ | ۵/۴۱ | ۷/۴۲ | ۳۵ | ۱/۵۰ | ۲/۹۵ | ۰/۵۴ | ۲ | ۰/۰۹ | ۱/۴۳ |
| ۱۱ | ۳/۶۴ | ۱/۳۱ | ۴/۱۹ | ۵/۴۹ | ۲/۸۳ | ۳/۶۰ | ۳۶ | ۶/۸۲ | ۶/۵۰ | ۶/۵۴ | ۷/۵۳ | ۶/۷۲ | ۷/۲۳ |
| ۱۲ | ۰/۵۰ | ۱/۷۶ | ۰/۴۷ | ۱/۹۹ | ۰/۰۹ | ۱/۲۴ | ۳۷ | ۵/۱۳ | ۳/۷۸ | ۷/۳۷ | ۸/۴۱ | ۴/۵۸ | ۷/۹۱ |
| ۱۳ | ۳/۳۲ | ۰/۸۵ | ۴/۱۴ | ۶/۱۱ | ۲/۰۳ | ۲/۶۳ | ۳۸ | ۷/۶۹ | ۱/۳۰ | ۷/۴۷ | ۶/۰۳ | ۴/۲۸ | ۴/۸۲ |
| ۱۴ | ۶/۹۲ | ۲/۳۳ | ۷/۶۴ | ۷/۸۵ | ۳/۱۹ | ۵/۳۳ | ۳۹ | ۷/۲۷ | ۴/۳۴ | ۶/۷۵ | ۸/۰۰ | ۷/۱۴ | ۷/۳۷ |
| ۱۵ | ۰/۴۹ | ۱/۷۲ | ۰/۵۰ | ۱/۹۴ | ۰/۱۱ | ۱/۲۵ | ۴۰ | ۲/۹۳ | ۰/۴۴ | ۳/۰۰ | ۴/۹۱ | ۰/۰۶ | ۲/۸۷ |
| ۱۶ | ۳/۴۱ | ۳/۲۱ | ۵/۱۲ | ۸/۹۰ | ۳/۹۴ | ۶/۰۹ | ۴۱ | ۳/۳۹ | ۱/۵۰ | ۳/۶۱ | ۵/۳۸ | ۳/۱۸ | ۳/۷۳ |
| ۱۷ | ۰/۹۶ | ۲/۱۵ | ۰/۸۹ | ۴/۹۱ | ۲/۵۵ | ۳/۶۸ | ۴۲ | ۰/۵۱ | ۰/۴۹ | ۰/۵۰ | ۵/۱۷ | ۰/۰۵ | ۳/۰۰ |
| ۱۸ | ۰/۵۳ | ۰/۴۹ | ۱/۴۴ | ۴/۵۹ | ۱/۱۴ | ۲/۲۷ | ۴۳ | ۳/۰۳ | ۳/۲۵ | ۳/۸۳ | ۷/۳۴ | ۳/۵۴ | ۴/۴۴ |
| ۱۹ | ۰/۹۳ | ۲/۹۰ | ۲/۳۲ | ۶/۲۲ | ۲/۳۵ | ۴/۰۴ | ۴۴ | ۳/۶۱ | ۰/۷۳ | ۳/۲۲ | ۵/۲۷ | ۳/۰۱ | ۴/۲۳ |
| ۲۰ | ۶/۷۰ | ۷/۱۲ | ۶/۱۹ | ۷/۰۸ | ۵/۳۰ | ۵/۵۸ | ۴۵ | ۵/۱۱ | ۳/۷۹ | ۵/۸۰ | ۷/۹۹ | ۵/۹۲ | ۷/۱۹ |
| ۲۱ | ۴/۵۲ | ۵/۳۹ | ۴/۸۸ | ۶/۵۸ | ۴/۵۲ | ۵/۵۹ | ۴۶ | ۴/۴۹ | ۳/۶۹ | ۶/۸۹ | ۸/۶۶ | ۴/۱۸ | ۵/۱۰ |
| ۲۲ | ۳/۱۱ | ۲/۹۲ | ۳/۹۳ | ۶/۰۰ | ۲/۹۵ | ۴/۰۸ | ۴۷ | ۶/۲۰ | ۶/۰۳ | ۵/۶۶ | ۶/۸۷ | ۵/۷۸ | ۶/۴۶ |
| ۲۳ | ۲/۵۰ | ۲/۵۶ | ۲/۳۳ | ۵/۱۴ | ۳/۰۵ | ۳/۶۰ | ۴۸ | ۰/۴۸ | ۰/۴۹ | ۰/۴۸ | ۴/۰۱ | ۰/۰۳ | ۲/۱۱ |
| ۲۴ | ۶/۱۷ | ۶/۷۰ | ۵/۸۲ | ۷/۵۹ | ۶/۶۷ | ۷/۲۰ | ۴۹ | ۴/۹۹ | ۴/۱۱ | ۴/۹۷ | ۵/۷۱ | ۴/۷۴ | ۶/۰۱ |
| ۲۵ | ۴/۸۶ | ۳/۵۱ | ۴/۶۳ | ۵/۶۴ | ۵/۰۸ | ۶/۰۳ | ۵۰ | ۶/۷۴ | ۴/۶۵ | ۶/۳۲ | ۷/۵۸ | ۵/۴۰ | ۶/۶۸ |

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|--------|------|
| Between Groups | ۲۸۵/۱۶۴ | ۵ | ۵۷/۰۳۳ | ۱۲/۴۳۹ | ۰/۰۰ |
| Within Groups | ۱۳۴۸/۰۲۶ | ۲۹۴ | ۴/۵۸۵ | | |
| Total | ۱۶۳۳/۱۹۰ | ۲۹۹ | | | |

شکل ۳- نتایج تحلیل واریانس

۲ ۵ ۱ ۳ ۶ ۴

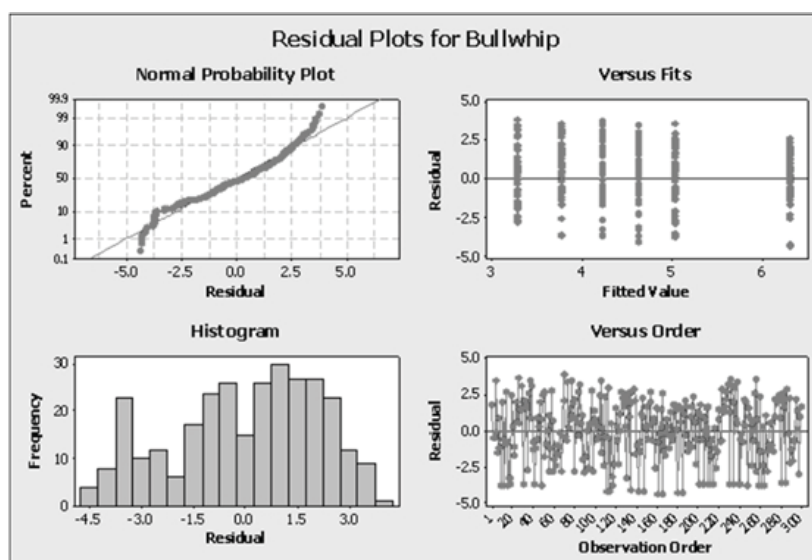
شکل ۴- نتایج آزمون مقایسه چندگانه

آخرین مسئله مربوط به بررسی صحت فرضیات الگو تحلیل واریانس می باشد. در واقع روش تحلیل واریانس مبتنی بر فرضیاتی است که برقرار نبودن آن باعث بی اعتباری نتایج می شوند. فرضیات اساسی تحلیل واریانس عبارتند از آن که خطاهای الگو متغیرهای تصادفی مستقل برخوردار از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس مشترک هستند. این فرضیات در شکل ۵ بررسی شده است. در این شکل، اولین نمودار (گوشه سمت چپ - بالا)، نمودار احتمال نرمال مانده‌ها است که نشان می دهد مانده‌ها با تقریب رضایت بخشی از توزیع نرمال برخوردارند. نمودار احتمال نرمال روشی ترسیمی برای بررسی نرمال بودن مجموعه‌ای از داده‌ها است که مشاهدات را در برابر فراوانی تجمعی آنها در صفحه‌ای با عنوان صفحه احتمال نرمال ترسیم می نماید. اگر مشاهدات در این صفحه حول یک خط مستقیم متراکم باشند، نشان دهنده نرمال بودن مجموعه داده‌های مورد نظر است. همان طور که ملاحظه می شود، مانده‌های تحلیل واریانس با درصد بسیار خوبی حول خط مستقیم در نمودار احتمال نرمال متراکم شده‌اند که گواهی بر نرمال بودن مانده‌ها می باشد.

در خصوص برابری واریانس خطاها نیز از نمودار مانده‌ها نسبت به مقادیر برازش شده (گوشه سمت راست - بالا) استفاده می شود. اگر این نمودار الگوی غیر تصادفی مشخصی را از خود نشان ندهد، حاکی از برابری واریانس خطاها می باشد. همان طور که در نمودار مورد نظر ملاحظه می گردد، در آزمون حاضر این نمودار گویای ثابت بودن واریانس خطاها است.

آخرین نمودار (گوشه سمت راست - پایین) نیز نمودار مانده‌ها نسبت به زمان جمع‌آوری داده‌ها را نشان می دهد که حاکی از الگوی تصادفی است. در واقع این نمودار نیز نباید نشان دهنده هیچ گونه الگوی مشخصی نظیر روند، سیکل و ... باشد که این شرایط در نمودار شکل ۴ برقرار است و نشان دهنده تصادفی

بودن جمع‌آوری داده‌ها می‌باشد. این شیوه‌ها در کتاب مونته‌گومری^۱ (۲۰۰۸) به طور کامل ارائه شده‌اند [۲۵]. بر این اساس در تحقیق حاضر فرضیات تحلیل واریانس نیز برقرار و نتایج آن معتبر می‌باشند.



شکل ۵- بررسی فرضیات تحلیل واریانس

۵. نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به بررسی تاثیر کاربرد روش‌های متفاوت پیش‌بینی در سطوح مختلف زنجیره تامین بر اثر شلاق چرمی آن اختصاص داشت. در بسیاری از تحقیقات پیشین چنین فرض شده است که کلیه سطوح از روش یکسانی برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند. بر این اساس در تحقیق حاضر یک زنجیره تامین سه سطحی در نظر گرفته شده است که هر یک از اجزای آن یکی از روش‌های میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و یا رگرسیون خطی را مورد استفاده قرار می‌دادند. با توجه به فرضیات بیان شده مسئله، از طریق شبیه‌سازی ۵۰ سری تقاضای تصادفی برخوردار از یک توزیع پواسون تولید و تحت سناریوهای مختلف (جدول ۱) اثر شلاق چرمی آن برآورد گردید (مجموعاً ۱۸۰۰ آزمایش شبیه‌سازی شده‌اند). در نهایت مقایسه‌های انجام شده نشان داد که تحت فرضیات مسئله، بهترین ترکیب روش‌های پیش‌بینی (از پایین به بالای زنجیره) شامل روش میانگین متحرک - رگرسیون خطی - هموارسازی نمایی (سناریو ۲) و رگرسیون خطی - هموارسازی نمایی - میانگین متحرک (سناریو ۵) می‌باشد. ضمن آن که بدترین ترکیب روش‌های هموارسازی نمایی - میانگین متحرک - رگرسیون خطی (سناریو ۴) می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند راهگشای

تصمیم‌گیرندگان زنجیره‌های تأمین برای اتخاذ تصمیم در زمینه نحوه پیش‌بینی و برنامه‌ریزی مشارکتی باشد. در سال‌های اخیر و با گرایش مدیران صنایع کشور به سمت تشکیل شبکه‌های کسب و کار و شکل‌گیری زنجیره‌های تأمین در صنایع گوناگون، بهره‌مندی از روشهای علمی جهت برنامه‌ریزی هرچه بهتر در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. با وجود آن که این جهت‌گیری منافع بالقوه‌ای را به همراه خواهد داشت، با این وجود عدم برنامه‌ریزی و حرکت صحیح در این مسیر حتی باعث زیان مضاعفی برای شرکتهای تولیدی کشور خواهد شد. از این رو روش مورد استفاده در تحقیق حاضر را می‌توان به عنوان الگویی برای تصمیم‌سازی صحیح مدیران صنایع در زنجیره‌های تأمین به کار برد. در واقع این الگو می‌تواند رویکردی برای تحلیل سناریوهای مختلف در زنجیره‌های تأمین به شمار آید. وجود عوامل متعدد تاثیرگذار بر عملکرد زنجیره‌های تأمین، بررسی تحلیلی آنها در چارچوب الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی را دشوار می‌سازد. با این وجود تحلیل آماری و تجربی زنجیره‌های تأمین چند سطحی در چارچوب طرح‌های آزمایشی طراحی شده است و به طور منطقی می‌تواند گزینه مناسبی برای تجزیه و تحلیل تاثیر تصمیمات بر شاخصهای عملکرد زنجیره‌های تأمین باشد. نرخ رو به رشد شکل‌گیری و توسعه زنجیره‌های تأمین به گونه‌ای است که شاید تصور هیچ شرکتی خارج از یک زنجیره امکان‌پذیر نباشد. این امر را می‌توان در توسعه و شکل‌گیری شبکه‌های تولید و توزیع محصولات مختلف در کشور مشاهده نمود. این در حالی است که اثر شلاق چرمی به مفهوم تشدید نوسانات تقاضای مشتریان در طول زنجیره زیانهای بسیاری را از محل افزایش هزینه‌های موجودی و کاهش رضایت مشتریان به دنبال خواهد داشت. از این رو لازم به نظر می‌رسد که مدیران شبکه‌ها و زنجیره‌های کسب و کار شرکت نسبت به شناسایی و کنترل عوامل موثر بر این اثر اقدام لازم را به عمل آورند. روش‌شناسی مورد استفاده در تحقیق حاضر یک الگوی پیشنهادی و علمی برای چنین مطالعاتی به شمار می‌رود. بهره‌گیری از مبانی طراحی آماری آزمایش‌ها در ترکیب با شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج با روشهای تحلیل واریانس را می‌توان جنبه متمایز روش‌شناسی مورد استفاده در این مطالعه دانست. برخی محققان در مطالعات خود تاثیر روشهای پیش‌بینی بر اثر شلاقی را مورد بررسی قرار داده‌اند که مواردی از آنها در مرور ادبیات این مقاله اشاره شده است. با این وجود طرح آماری به کار رفته در این تحقیق را می‌توان جنبه متمایز آن به شمار آورد. برای مثال نجفی و زنجیرانی فراهانی (۱۳۸۶) در بررسی تاثیر روشهای پیش‌بینی میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و رگرسیون در یک زنجیره چهار سطحی با سه الگوی تقاضا، از آزمون مقایسات زوجی برای تحلیل نتایج خود استفاده نموده‌اند. همچنین اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تاثیر دو روش میانگین متحرک و هموارسازی نمایی بر روی هشت الگوی تقاضا در یک زنجیره دو سطحی پرداخته‌اند. آنها در تحلیل نتایج خود از آزمون مقایسه زوجی میانگین‌ها استفاده نموده‌اند. بر این اساس می‌توان شیوه مبتنی

بر طراحی آزمایش‌ها و تحلیل واریانس مورد استفاده در تحقیق حاضر را جنبه متمایز آن نسبت به مطالعات پیشین در نظر گرفت که ثبات بیشتری به نتایج آن می‌بخشد. به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی نیز محققان می‌توانند به بررسی تاثیر تغییرات نرخ و نوع تقاضا بر ترکیب روش‌های پیش‌بینی، تاثیر تعداد سطوح زنجیره و اثر متقابل آن با روش‌های پیش‌بینی و نیز بررسی حالت چند محصولی بپردازند.

References

منابع

- [۱] اسمعیلی. مریم رویا تات. مریم اکبرزاده (۱۳۹۱)، مقایسه تاثیر روشهای مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاقی در زنجیره تامین. تهران: هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. ۸۸-۱۰۲.
- [۲] موحدی. یاسر. روح ا... ذوالفقاری. فریبرز جولای (۱۳۹۰). تحلیل نقش عوامل مالی در «اثر شلاقی» در زنجیره تامین دو رده‌ای. نشریه مهندسی صنایع. سال چهارم و پنجم، شماره ۲، ۱۹۹-۲۰۸.
- [۳] نجفی. مهدی. رضا زنجیرانی فراهانی (۱۳۸۶). مقایسه تاثیر روش‌های مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاق گاوی. تهران: پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. ۲۴-۳۶.
- [۴] نخعی کمال آبادی. عیسی. جعفر حیدری. محسن کیوانلو شهرستانکی. مجتبی صفریان (۱۳۸۶). بررسی اثر الگوی سفارش دهی $X+Y$ بر کاهش اثر شلاقی در زنجیره تامین. فصلنامه مدیریت صنعتی، شماره ۱، ۱۹-۲۷.
- [۵] نظری. لیلا. عبدالله آقایی (۱۳۹۱). اندازه‌گیری پدیده شلاقی در زنجیره تامین سه مرحله‌ای با بیش از یک محصول. نشریه مهندسی صنایع، سال چهارم و ششم، شماره ۱، ۱۰۵-۱۱۳.
- [۶] یوسفی زنوز. رضا. محمدباقر منهاج (۱۳۹۰). تاثیر سیستم پیش‌بینی تقاضای متلاطم بر اثر شلاقی در زنجیره تامین: یک رویکرد مقایسه‌ای. فصلنامه چشم‌انداز مدیریت صنعتی، شماره ۳، ۲۹-۲۷.
- [۷] یوسفی زنوز. رضا. محمدباقر منهاج (۱۳۹۰). طرح یک چارچوب ترکیبی پیش‌بینی تقاضای متلاطم و کنترل پیش‌بین الگو به منظور کمینه‌سازی اثر شلاقی. نشریه مدیریت صنعتی، سال سوم، شماره ۶، ۱۷۱-۱۷۸.

[8] Agrawal. Sunil. Raghu Nandan Sengupta. Kripa Shanker (2009) Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory. European Journal of Operational Research. Vol. 192. Issue 2. pp 576-593.

[9] Barlas. Y. B. Gunduz (2011). Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and bullwhip effect in supply chains. Journal of the Operational Research Society. Vol 62. pp 458-473.

[10] Battacharya. Ranjan. Susmita Bandyopadhyay (2011). A review of the causes

of bullwhip effect in a supply chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 54. Issue 9-12. pp 1245-1261.

[11] Bayraktar. Erkan. S.C. Lenny Koh. A. Gunasekaran. Kazim Sari. Ekrem Tatoglu (2008). The role of forecasting on bullwhip effect for E-SCM applications. *International Journal of Production Economics*. Vol. 113. Issue 1. pp 193-204.

[12] Bray. Robert L. Haim Mendelson (2012). Information transmission and the bullwhip effect: an empirical investigation. *Management Science*. Vol. 58, No. 5. pp 860-875.

[13] Carbonneau. Réal. Kevin Laframboise. Rustam Vahidov (2006). Application of machine learning technique for supply chain demand forecasting. *European Journal of Operational Research*. Vol. 184. Issue 3. pp 1140-1154.

[14] Chatfield. Dean C. Jeon G. Kim. Terry P. Harrison. Jack C. Hayya (2004). The Bullwhip Effect - Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality, and Information Sharing: A Simulation Study. *Productions and Operations Management*. Vol 13. Issue 4. pp 340-353.

[15] Chen. Frank. Jennifer K. Ryan. David Simchi-Levi (2000a). The Impact of Exponential Smoothing Forecasts on the Bullwhip Effect. *NAVAL RESEARCH LOGISTICS*. VOL 47. PART 4. pp 269-286.

[16] Chen. Frank. Zvi Drezner. Jennifer K. Ryan. David Simchi-Levi (2000b). Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information. *Management Science*. VOL 46. PART 3. pp 436-443.

[17] Chopra. Sunil. Peter Meindel (2007). *Supply Chain Management*. 3rd edition. New York: Prentice Hall.

[18] Forrester. Jay. Wright (1961) *Industrial dynamics*. Pegasus Communications

[19] Jakšič. Marko. Borut Rusjan (2008) The effect of replenishment policies on the bullwhip effect: A transfer function approach. *European Journal of Operational Research*. Vol. 184. Issue 3. pp 946-961.

[20] Jespersen. Brigit Dam. Tage Skjoett-larsen (2005). *Supply chain management: in theory and practice*. Copenhagen Business School Press.

[21] Kelepouris. Thomas. Panayiotis Miliotis. Katerina Pramataris (2008) The impact of replenishment parameters and information sharing on the bullwhip effect: A computational study. *Computers and Operations Research*. Vol.35. Issue 11. pp 3657-3670.

- [22] Lee. Hau L. V. Padmanabhan (1997). The Bullwhip Effect in Supply Chain. Sloan Management Review. Vol. 38. No. 3. Spring 1997. pp 93-102.
- [23] Machuca. José A.D. Rafael P. Barajas (2004) The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs. Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review. Vol 40. Issue 3. pp 209-228.
- [24] Mentzer. John T (2001). Supply chain management. 2nd edition. California: Thousand Oaks: Sage Publication.
- [25] Montgomery. D. C (2008). Design and analysis of experiments. 7th edition. New York: John Wiley.
- [26] Paik. Seung-Kuk. Prabir K. Baghchi (2005) Understanding the causes of the bullwhip effect in a supply chain. International Journal of Retail and Distribution Management. Vol. 35. No. 4. pp 308-324.
- [27] Sterman. John D (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. Management Science. Vol. 35. No. 3. pp 321-339.
- [28] Xu. Rui. Xiaoli Ri. Xiaoming Song. Gang Liu (2007). The Analysis of Bullwhip Effect in Supply Chain Based on Strategic Alliance. IFIP International Federation for Information Processing. Vol. 251. pp 452-458
- [29] Zhang. Xiaolong (2004). The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. International Journal of Production Economics. Vol. 88. Issue 1. pp 15-27.