

## بررسی تأثیر ترکیب روش‌های پیش‌بینی بر کاهش اثر شلاق چرمی در یک زنجیره تامین چهار سطحی در شرایط تقاضای متغیر

مرزان بنجفی<sup>۱</sup>، مریم دانشمندمهر<sup>۲\*</sup>، رامین صادقیان<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور شمیرانات، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، گروه مهندسی صنایع، لاهیجان، ایران

۳- دانشیار، دانشگاه پیام نور مرکز شمیرانات، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱۵ خرداد ۱۳۹۶

پذیرش مقاله: ۳۱ خرداد ۱۳۹۸

### چکیده

اثر شلاق چرمی که در زنجیره اتفاق می‌افتد، باعث ناکارآمدی‌هایی همچون موجودی اضافی و سفارشات عقب افتاده در طول زنجیره می‌گردد. انجام پیش‌بینی مناسب می‌تواند تا حدود زیادی این مشکلات را مرتفع سازد. با توجه به اینکه زنجیره تامین دارای سطوح مختلفی باشد، لازم است پیش‌بینی در هر سطحی از زنجیره انجام شود. این پژوهش به بررسی مسئله‌ی ترکیب بهینه پیش‌بینی برای کاهش اثر شلاق چرمی در زنجیره‌ی تامین چهار سطحی در شرایط تقاضای متغیر می‌پردازد. برای این منظور یک زنجیره‌ی تامین چهار سطحی در نظر گرفته شده است که در هر یک از سطوح آن، یکی از روش‌های میانگین متحرک، هموارسازی نمایی، رگرسیون خطی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه را برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌دهد. برای نیل به این امر نخست نسبت به شبیه‌سازی زنجیره‌ی تامین مورد نظر اقدام صورت پذیرفت و سپس نتایج با استفاده از روش تحلیل واریانس مورد آزمون قرار گرفت. از بین ترکیبات مختلف، ترکیب روش‌های پیش‌بینی با کمترین اثر شلاق چرمی به دست آمده است که عبارتند از: میانگین متحرک، شبکه عصبی، هموارسازی نمایی و رگرسیون خطی به ترتیب برای سطح‌های خردۀ فروش، عمده‌فروش، تولیدکننده و تامین‌کننده و ترکیبات دیگر مطلوبیت کمتری دارند.

**واژگان کلیدی:** تقاضای متغیر، روش‌های پیش‌بینی، زنجیره‌ی تامین چهار سطحی، سیستم نقطه سفارش، اثر شلاق چرمی.

### ۱ مقدمه

پیش‌بینی روند تقاضای متغیر برای اتخاذ سیاست‌های مقتضی و مناسب اهمیت فراوانی دارد. به دلیل روند پرنوسان و غیرخطی تقاضا و متغیرهای موثر بر آن، قابلیت روش‌های پیش‌بینی برای پیش‌بینی تقاضای متغیر در مطالعات مختلف نمایان شده است. موضوع پیش‌بینی تقاضا از موضوعات بسیار مهم در مدیریت زنجیره‌های تامین به شمار

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: m.daneshmand@liau.ac.ir

می‌رود. عدم قطعیت مساله‌ای است که باعث پیچیدگی فعالیت‌ها در زنجیره‌تامین شده است. بدین معنا که هرچه احتمال پیش‌بینی نادرست تقاضا، تأخیر در دریافت مواد اولیه و قطعات، خرابی ماشین آلات بیشتر باشد احتمال زیادی وجود دارد که تولید محصول دچار مشکل گردد. چنین مشکلی زمانی به وجود می‌آید که هریک از اعضای درگیر در زنجیره‌تامین به صورت مستقل عمل کنند و هماهنگی بین این اعضا وجود نداشته باشد. نمونه چنین بی‌کفایتی پدیده اثر شلاقی است که از افزایش تغییرپذیری نرخ سفارش‌ها، وقتی سفارش‌ها از مراحل یک زنجیره‌تامین به سوی تولیدکنندگان و تأمینکنندگان مواد اولیه در حرکت است، ناشی می‌شود. این پدیده منجر به برنامه‌های تولید ناپایدار، افزایش و کاهش ظرفیت تولید، هزینه‌های مازاد نیروی کار و غیره می‌گردد. به طور خلاصه اثر شلاق چرمی به این قانون اشاره دارد که نوسانات تقاضای آخرین سطح مشتری در زنجیره‌ی تامین با حرکت در طول مراحل زنجیره‌تامین افزایش می‌یابد [۱]. امروزه با گسترش فضای رقابتی توجه به مدیریت زنجیره‌تامین به یک موضوع اساسی در سازمان‌های تجاری تبدیل شده است، به گونه‌ای که تمامی فعالیت‌های سازمان‌ها را تحت تأثیر قرار داده است [۲]. بنابر تعریف زنجیره‌تامین، هدف اصلی از هر زنجیره برآوردن نیازهای مشتریان است و لذا آگاهی حلقه‌های زنجیره‌تامین از تقاضای آینده از اهمیت زیادی برخوردار است. پیش‌بینی در واقع مبنایی برای کلیه برنامه‌ریزی‌های زنجیره‌تامین است [۳]. با شناخت تأثیر روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی، مطالعات گسترده‌ای برای شناسایی و بررسی این اثر انجام گرفت.

هدف از این مقاله بررسی تأثیر ترکیب روش‌های پیش‌بینی بر کاهش اثر شلاق چرمی در یک زنجیره‌تامین چهار سطحی در شرایط تقاضای متغیر می‌باشد. در بخش‌های بعدی مقاله ابتدا مروایت بر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه صورت می‌گیرد. پس از آن مساله مورد بررسی این تحقیق به طور کامل معرفی و در نهایت مراحل اجرایی تحقیق و نتایج حاصل از آن ارایه می‌شود.

## ۲ پیشینه تحقیق

زنジره‌تامین، نگرشی است که در سال‌های اخیر مورد توجه سازمان‌ها و شرکت‌ها قرار گرفته است. در این نگرش کلیه اجزا که برای ارایه محصول و یا خدمت به مشتری در کنار هم قرار دارند، مورد توجه قرار می‌گیرد و سعی می‌شود تصمیمات راهبردی به گونه‌ای اتخاذ گردد که کل زنجیره‌تامین در مقابل زنجیره‌های رقیب از کارایی و اثر بخشی بیشتری برخوردار باشد [۴]. یکی از موضوعات مورد توجه محققان در زنجیره‌های تامین، مساله اثر شلاق چرمی و عوامل موثر بر آن بوده است. چن و همکاران به بررسی و مقایسه تأثیر دو روش هموارسازی نمایی و میانگین متحرک بر اثر شلاق چرمی در یک زنجیره‌تامین ساده‌ی دو سطحی شامل یک خرده‌فروش و یک تولیدکننده پرداختند [۵]. چن و همکاران همچنین به بررسی اثرات دو عامل پیش‌بینی تقاضا و زمان تدارک سفارش بر اثر شلاق چرمی در یک زنجیره‌تامین دو سطحی پرداختند و نتیجه آن را به زنجیره‌های چند سطحی تعمیم دادند [۶]. ژانگ تأثیر روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی را در یک سیستم تامین موجودی ساده مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی تأثیر دارند [۷]. کربنائو و همکاران تأثیر کاربرد روش‌های یادگیرنده، نظیر شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی

بازگشتی و ماشین بردارهای پشتیبان را برای پیش‌بینی بر اثر شلاق چرمی بررسی و آن را با روش‌های سنتی نظری میانگین متحرک و رگرسیون خطی مقایسه کردند [۸]. بایراکتار و همکاران به بررسی تاثیر روش هموارسازی نمایی بر اثر شلاق چرمی در مدیریت زنجیره‌تأمین الکترونیک پرداخته‌اند. آن‌ها یک برنامه‌سازی برای انتخاب بهترین پارامترهای هموارسازی نمایی در این زنجیره توسعه دادند [۹]. بارلاس و همکاران در تحلیل خود یکی از ریشه‌های ساختاری اثر شلاق چرمی در زنجیره‌های تأمین را استفاده ناهمانگ سطوح مختلف زنجیره از روش‌های پیش‌بینی عنوان کردند [۱۰]. باکمیستر و همکاران زنجیره‌های تأمین را برای تجزیه و تحلیل اثر شلاق چرمی مورد مطالعه قرار دادند [۱۱]. وانگ و همکاران در تحقیق خود یافته‌های تحقیقات تجربی و آزمایشی با نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی شده را مقایسه کردند [۱۲].

در ایران نیز مطالعات گسترهای در زمینه‌ی مدیریت زنجیره‌تأمین و همچنین بررسی اثر شلاق چرمی صورت گرفته است. نجفی و همکاران تأثیر روش‌های پیش‌بینی میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و رگرسیون خطی بر اثر شلاق چرمی در یک زنجیره‌ی چهار سطحی را در دو حالت تقاضای ثابت و خطی بررسی کردند [۱۳]. موحدی و همکاران به تحلیل نقش عوامل مالی در اثر شلاقی در زنجیره‌تأمین دو سطحی پرداختند [۱۴]. اسماعیلی و همکاران در مقاله‌ی خود با عنوان «مقایسه تأثیر روش‌های مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاقی در زنجیره‌تأمین» تأثیر روش‌های مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاقی در زنجیره‌تأمین را مقایسه کردند [۱۵]. رضوی و همکاران به بررسی تأثیر شلاق چرمی در زنجیره‌تأمین سه سطحی پرداختند [۱۶]. عظیمی در پژوهشی روش‌هایی برای کاهش اثر شلاقی در زنجیره‌تأمین شرکت ایران خودرو از طریق پیش‌بینی مقدار صحیح تقاضای مشتریان با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین (الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان) ارایه داد که در این روش‌ها با استفاده از تقاضای سابق مشتری، تقاضای آینده او پیش‌بینی شده است [۱۷]. لطفی و همکاران تأثیر شلاق چرمی در زنجیره‌تأمین چهار سطحی را مورد مطالعه قرار دادند [۱۸]. بدخشنان و پیشوایی به بررسی اثر شلاق چرمی و شلاق چرمی جریان نقدینگی در یک زنجیره‌تأمین چهار سطحی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که کاهش زمان تدارک تنها باعث کاهش اثر شلاق چرمی می‌شود؛ درحالی که تسهیم اطلاعات نرخ فروش علاوه بر اثر شلاق چرمی اثر شلاق چرمی جریان نقدینگی را نیز کاهش می‌دهد [۱۹]. اهم تحقیقات انجام گرفته به صورت جدول مقایسه‌ای، در جدول ۱ آمده است.

در این جدول تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق فعلی آمده است تا وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات مشابه به سهولت قابل مشاهده باشد. با در نظر گرفتن مساله مورد بحث در این مقاله شکاف‌های تحقیقاتی ذیل مورد توجه است:

- (۱) تحقیقات زیادی برای تعیین ترکیب بهینه روش‌های پیش‌بینی در زنجیره‌های تأمین با درنظر گرفتن سطوح مختلف برای زنجیره انجام شده است تا این روش‌ها در هریک از سطوح طوری درنظر گرفته شود که اثر شلاق چرمی را در طول زنجیره کاهش دهد؛ ولی این تحقیقات در شرایط تقاضای ثابت انجام شده است و با توجه به ماهیت تقاضا که در دنیای واقعی متغیر است و می‌تواند تغییرات ناگهانی تقاضا کل زنجیره را دچار التهاب سازد، بررسی‌ای صورت نگرفته است.

- ۲) در بسیاری از تحقیقات انجام شده، زنجیره‌تامین را سه سطحی در نظر گرفته‌اند؛ لذا در این تحقیق در شرایطی که تقاضاً متغیر است ترکیبی از روش‌های پیش‌بینی برای سطوح زنجیره‌تامین چهار سطحی ارایه می‌شود تا کمترین اثر شلاق چرمی در طول زنجیره ایجاد شود و التهاب عناصر زنجیره تا حد امکان کمینه گردد.
- ۳) نوع سیستم سفارش دهی آن سیستم نقطه سفارش می‌باشد که در بسیاری از تحقیقات به این مهم پرداخته نشده است.

#### جدول ۱. اهم تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی روش‌های پیش‌بینی در زنجیره‌تامین

(سال) نویسنده	نوع تقاضاً	روش‌های پیش‌بینی	تعداد سطوح زنجیره	نوع سفارش	توجه به کاهش
Zhang Xiaolong (2004) [۷]	تقاضاً معلوم	هموارسازی نمایی و میانگین متغیر ک	x	x	✓
Bayraktar et al (2008) [۹]	تقاضاً خطی	هموارسازی نمایی	دو سطحی	دوره سفارش	✓
Barlas (2011) [۱۰]	تقاضاً ثابت	x	x	sse سطحی	✓
Buchmeister et al (2014) [۱۱]	تقاضاً ثابت و خطی	x	✓	sse سطحی	x
Xun Wang et al (2016) [۱۲]	تقاضاً ثابت و خطی	x	✓	x	x
نجفی و همکاران (۱۳۸۶) [۱۳]	تقاضاً ثابت و خطی	میانگین متغیر ک، هموارسازی نمایی و رگرسیون خطی	sse سطحی	x	✓
لطفی و همکاران (۱۳۹۴) [۱۸]	تقاضاً ثابت و خطی	میانگین متغیر ک، هموارسازی نمایی، شبکه عصبی و رگرسیون خطی	چهار سطحی	دو ظرفی	✓
تحقیق پیش رو	تقاضاً متغیر	هموارسازی نمایی، رگرسیون خطی، میانگین متغیر ک، شبکه عصبی	چهار سطحی	سیستم نقطه سفارش	✓

### ۳ بیان مساله

یکی از اساسی‌ترین موضوعات مطرح در زنجیره‌ی تامین که همواره دغدغه‌های اصلی مدیریت آن محسوب می‌شود، بحث پیش‌بینی تقاضاً است. شرکت‌های عضو زنجیره‌ی تامین برای حذف هزینه اضافی انبارداری و نگهداری محصولات اضافی، سعی در پیش‌بینی تقاضای مشتریان دارند؛ اما اثر شلاقی، که افزایش مقدار تقاضای مشتریان با گذر از هر عضو زنجیره است، این پیش‌بینی را به چالش می‌کشد. در این پژوهش بررسی تأثیر ترکیب روش‌های پیش‌بینی بر کاهش اثر شلاق چرمی در یک زنجیره‌تامین چهار سطحی در شرایط تقاضای متغیر، مورد

توجه قرار گرفته است. نحوه چیدمان ترکیب‌های پیش‌بینی موجب کاهش اثر شلاق چرمی در طول زنجیره می‌شود. سفارش‌ها از زنجیره تامین به سوی تولید کنندگان و تأمین کنندگان مواد اولیه در حرکت است و عدم اطلاع دقیق از میزان تقاضا، موجب افزایش اثر شلاق چرمی در طول زنجیره می‌شود؛ بنابراین هرچه احتمال پیش‌بینی میزان تقاضا در هر یک از سطوح زنجیره به واقعیت نزدیک‌تر باشد، موجب کاهش اثر شلاق چرمی شده و میزان سفارشات نیز با میزان تقاضا برابر می‌شود و تمامی این عوامل موجب کاهش هزینه‌های اضافی، بهبود میزان تولید و هم‌چنین استفاده‌ی درست از نیروی کار می‌گردد.

برای این منظور و با فرض اینکه هر روشی که برای یکی از سطوح زنجیره به عنوان روش پیش‌بینی تقاضا انتخاب شود برای سطح دیگر قابل انتخاب نمی‌باشد، با فرض چهار سطحی بودن زنجیره، تعداد ۲۴ سناریو قابل بررسی می‌باشد (۴ فاکتوریل حالت). روش‌های میانگین متخرک، رگرسیون خطی، هموارسازی نمایی و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای پیش‌بینی تقاضای هر سطح از زنجیره تامین درنظر گرفته شده است، با این شرط که از روش تکراری برای هر سطح استفاده نشود. ترکیبات مختلف روش‌های پیش‌بینی در مراحل زنجیره تامین چهار سطحی در جدول ۲ آمده است.

برای نمونه در سناریوی یک، خرده فروش، عمدۀ فروش، تولید کننده و تأمین کننده به ترتیب از روش‌های رگرسیون خطی، هموارسازی نمایی، میانگین متخرک و شبکه‌ی عصبی چند لایه استفاده می‌کنند.

#### ۴ روش‌های پیش‌بینی

##### ۴-۱ پیش‌بینی با استفاده از روش رگرسیون

در روش تحلیل رگرسیون خطی، یک رابطه خطی بین متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل برقرار می‌گردد. سپس با داشتن رابطه خطی و مقادیر آتی متغیرهای مستقل، می‌توانیم مقادیر آتی متغیر وابسته را پیش‌بینی کنیم. در رگرسیون خطی اگر  $Y$  را متغیر وابسته و  $X$  را متغیر مستقل در نظر بگیریم، می‌توان معادله خط رگرسیون را به صورت مقابل نوشت:

$$y = ax + b \quad (1)$$

در این معادله  $a$  و  $b$  را پارامترهای خط گفته و مانند هر پارامتر دیگری می‌توان آن‌ها را برآورد کرد. برآورده کردن پارامترهای خط رگرسیون: روش‌های متفاوتی برای برآورده کردن دو پارامتر  $a$  و  $b$  وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش «کمترین مربعات خط» است که در آن این دو پارامتر به روش زیر برآورده می‌شود:

$$\alpha = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x^2} - \bar{x}} \quad , \quad \hat{b} = \bar{y} - \bar{\alpha}\bar{x} \quad (2)$$

## جدول ۲. ترکیبات مختلف روش‌های پیش‌بینی در مراحل زنجیره تامین چهار سطحی

تامین کننده	تولید کننده	عمده فروش	خرده فروش	
میانگین متحرک	شبکه عصبی	هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	سناریو ۱
شبکه عصبی	میانگین متحرک	هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	سناریو ۲
میانگین متحرک	هموارسازی نمایی	شبکه عصبی	رگرسیون خطی	سناریو ۳
شبکه عصبی	هموارسازی نمایی	میانگین متحرک	رگرسیون خطی	سناریو ۴
هموارسازی نمایی	شبکه عصبی	میانگین متحرک	رگرسیون خطی	سناریو ۵
هموارسازی نمایی	میانگین متحرک	شبکه عصبی	رگرسیون خطی	سناریو ۶
میانگین متحرک	شبکه عصبی	رگرسیون خطی	هموارسازی نمایی	سناریو ۷
شبکه عصبی	میانگین متحرک	رگرسیون خطی	هموارسازی نمایی	سناریو ۸
میانگین متحرک	رگرسیون خطی	شبکه عصبی	هموارسازی نمایی	سناریو ۹
شبکه عصبی	رگرسیون خطی	میانگین متحرک	هموارسازی نمایی	سناریو ۱۰
رگرسیون خطی	شبکه عصبی	میانگین متحرک	هموارسازی نمایی	سناریو ۱۱
رگرسیون خطی	میانگین متحرک	شبکه عصبی	هموارسازی نمایی	سناریو ۱۲
میانگین متحرک	رگرسیون خطی	شبکه عصبی	شبکه عصبی	سناریو ۱۳
رگرسیون خطی	هموارسازی نمایی	میانگین متحرک	شبکه عصبی	سناریو ۱۴
رگرسیون خطی	هموارسازی نمایی	شبکه عصبی	شبکه عصبی	سناریو ۱۵
هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	میانگین متحرک	شبکه عصبی	سناریو ۱۶
میانگین متحرک	هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	شبکه عصبی	سناریو ۱۷
هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	میانگین متحرک	شبکه عصبی	سناریو ۱۸
رگرسیون خطی	هموارسازی نمایی	شبکه عصبی	میانگین متحرک	سناریو ۱۹
هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	شبکه عصبی	میانگین متحرک	سناریو ۲۰
رگرسیون خطی	هموارسازی نمایی	شبکه عصبی	میانگین متحرک	سناریو ۲۱
هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	شبکه عصبی	میانگین متحرک	سناریو ۲۲
شبکه عصبی	هموارسازی نمایی	رگرسیون خطی	میانگین متحرک	سناریو ۲۳
شبکه عصبی	رگرسیون خطی	هموارسازی نمایی	میانگین متحرک	سناریو ۲۴

## ۴-۲- پیش‌بینی با استفاده از روش هموارسازی نمایی

در این روش به داده‌های دوره‌ای مختلف، وزن‌های متفاوتی داده می‌شود که این وزن‌ها از یک تصاعد هندسی نزولی پیروی می‌کنند. در این روش به مقدار تقاضای آخرین دور، حداکثر وزن داده می‌شود و هر چه به دوره‌های عقب‌تر برگردیم، وزن‌ها به صورت نمایی کاهش می‌یابند. در این روش تمام دوره‌ها در محاسبه پیش‌بینی در نظر گرفته می‌شوند. در روش هموارسازی نمایی داریم:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1-\alpha) F_t \quad (3)$$

که در آن:

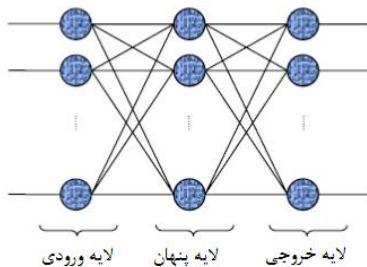
$A_t$ : مقدار واقعی تقاضا در دور  $t$

$F_t$ : مقدار پیش‌بینی تقاضا در دور  $t$

$\alpha < 1$  و مقدار ثابت :

#### ۴-۳. پیش‌بینی با استفاده از روش شبکه عصبی

یکی از ساده‌ترین و در عین حال کارآمدترین چیدمان‌های پیشنهادی برای استفاده در مدل‌سازی عصب‌های واقعی، مدل پرسپترون چندلایه می‌باشد که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل یافته است. در این ساختار، تمام نرون‌های یک لایه به تمام نرون‌های لایه بعد متصلند. این چیدمان اصطلاحاً یک شبکه با اتصالات کامل را تشکیل می‌دهد. شکل ۱ شماتیک پرسپترون چند لایه را نشان می‌دهد. به سادگی می‌توان استنباط نمود که تعداد نرون‌های هر لایه، مستقل از تعداد نرون‌های دیگر لایه‌ها می‌باشد. به طور معمول این شبکه‌ها شامل مجموعه‌ای از نرون‌های پایه می‌باشند که تشکیل دهنده لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشند [۲۰]. ثابت شده است که هر تابع می‌تواند حداقل بارهای سه لایه پنهان تقریب زده شود [۲۱].

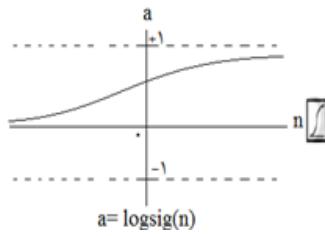


شکل ۱. پرسپترون چند لایه با اتصالات کامل

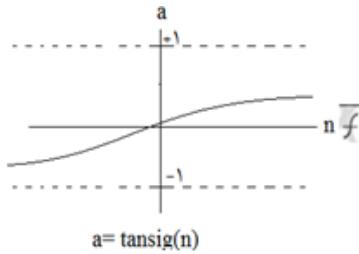
از میان روش‌های مختلف آموزش، الگوریتم لونبرگ- مارکوارت، به دلیل همگرایی سریع‌تر در آموزش شبکه‌های با اندازه متوسط، کاربرد بیشتری دارد. این روش سریع‌ترین روش شبکه‌های عصبی پیش‌روندۀ با اندازه متوسط به بالا تا چند صد وزن می‌باشد. الگوریتم پس انتشار خطأ، وزن‌های شبکه و مقادیر بایاس را در جهتی تغییر می‌دهد که تابع عملکرد با سرعت بیشتری کاهش یابد [۲۲].

نرون‌ها می‌توانند از توابع محرک متفاوتی برای تولید خروجی استفاده کنند. از رایج‌ترین آن‌ها می‌توان به توابع لگاریتم سیگموئیدی، تانژانت سیگموئیدی و تابع محرک خطی اشاره کرد. شکل این توابع در شکل‌های ۲ تا ۴ آمده است. این توابع در لایه‌های مختلف شبکه عصبی استفاده می‌شوند.

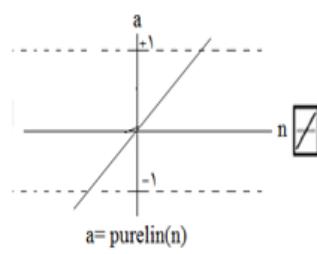
در این مقاله با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپtron چندلایه پیش‌بینی تقاضای تولید کننده انجام شد. برای مدل‌سازی داده‌ها از یک شبکه پرسپtron چندلایه با مشخصات دو لایه پنهان استفاده شد.



شکل ۴. تابع محرک لگاریتم

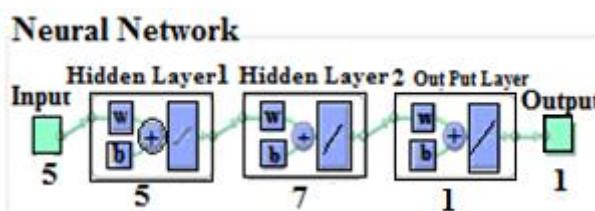


شکل ۳. تابع محرک تانژانت



شکل ۲. تابع محرک خطی

با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB، داده‌های سری زمانی با توجه به حدسهای هوشمندانه و تاخیرهای زمانی و وقته بهینه تعیین شده، آرایش یافتند. برای آموزش شبکه عصبی از الگوریتم لونبرگ - مارکوارات استفاده شد. همچنین از تابع فعالیت تانژانت سیگموئیدی در لایه پنهانی اول و از تابع محرک خطی در لایه پنهانی دوم و لایه خروجی استفاده شد. شکل ۵ این توابع را در لایه‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۵. شبکه عصبی مورد استفاده

#### ۴-۴ پیش‌بینی با استفاده از روش میانگین متحرک

این تکنیک حد ما بین روش‌های تقاضای واقعی دور قبل و میانگین ساده است. در روش میانگین متحرک، میانگین یک تعداد از داده‌های واقعی آخرین دوره‌های گذشته، مبنای محاسبه پیش‌بینی خواهد بود. به عبارت دیگر، میانگینی که با استفاده از اطلاعات جدید مرتبا به روز در آورده می‌شود، میانگین متحرک نامیده می‌شود.

در این روش داریم:

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + \dots + A_{t-n}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{t-i} \quad (4)$$

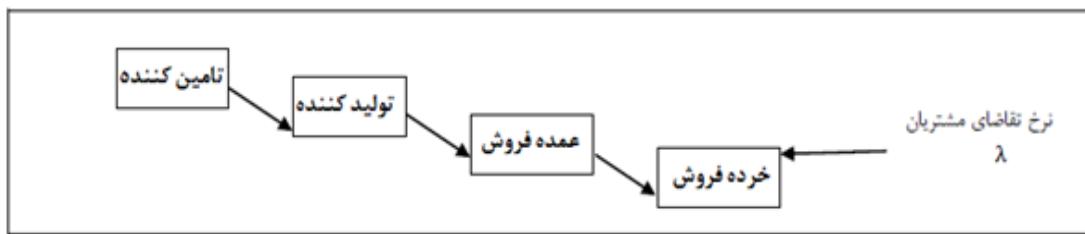
که در آن:

$$\begin{aligned}
 t &: \text{شماره دور} \\
 A_{t-i} &: t - i \quad \text{تقاضای واقعی دور } i \\
 n &: \text{تعداد دور برای میانگین گیری (دوره تناوب)} \\
 F_t &: \text{پیش‌بینی تقاضای دور } t
 \end{aligned}$$

## ۵ روش‌شناسی و فرضیات تحقیق

تحقیق حاضر به بررسی تاثیر کاربرد روش‌های مختلف پیش‌بینی در یک زنجیره‌تامین چند سطحی بر اثر شلاق چرمی می‌پردازد. این موضوع در بسیاری از تحقیقات پیشین بررسی شده است؛ لیکن در این تحقیق تاثیر کاربرد ترکیبی روش‌های مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاقی بررسی شده است که با توجه به ماهیت مستقل اجزای زنجیره‌تامین انطباق بیشتری با واقعیت دارد. برای این منظور، یک زنجیره‌تامین چهار سطحی شامل یک خردۀ فروش، یک عمدۀ فروش، یک تولیدکننده و یک تامین‌کننده مدنظر قرار گرفته است. تقاضای چهار سطح زنجیره‌تامین بدین ترتیب محاسبه شد که در سنایورهای پیش‌بینی هیچ کدام از سطوح زنجیره مجاز به انتخاب روش مشابهی برای پیش‌بینی نبودند. با احتساب این فرض ۲۴ (چهار فاکتوریل حالت) سناریوی پیش‌بینی شکل گرفت که سطوح زنجیره با روش‌های میانگین متحرک، رگرسیون خطی، هموارسازی نمایی و شبکه عصبی پرسپکترون چندلایه تقاضای هر سطح زنجیره را پیش‌بینی کردند. تحقیق حاضر نقش اثرات شلاق چرمی را بر زنجیره‌تامین چهار سطحی مورد بررسی قرار می‌دهد. برای این منظور یک زنجیره‌تامین چهار سطحی شامل خردۀ فروش، عمدۀ فروش، تولیدکننده و تامین‌کننده شبیه‌سازی شده است. برای شبیه‌سازی زنجیره‌تامین، در واقع با نگاهی به فرایند ورود مشتریان به سیستم و ثبت تقاضای آنها، که نشان‌دهنده این واقعیت است، فرایند تقاضای کالا فرایندی شمارشی است به خوبی توزیع پواسون نشان داده می‌شود همین ویژگی نیز باعث شده است تا پیش از نیمی از تحقیقات مرتبط با سیستم‌های چند سطحی، این توزیع را به عنوان الگوی تقاضا به کار بردند. انتخاب این توزیع با توجه به تحقیقات متعدد دیگری صورت گرفته است که از این توزیع به عنوان الگوی تقاضا در زنجیره‌تامین استفاده کرده‌اند. این انتخاب ریشه در ماهیت و ویژگی توزیع پواسون در به تصویر کشیدن فرایندهای شمارشی دارد [۱۵].

با توجه به شکل ۶ می‌توان دریافت که تنها خردۀ فروش تقاضای خود را بر اساس سفارش‌های مشتری نهایی پیش‌بینی می‌کند و هر یک از سطوح بالاتر، بر اساس میزان سفارش سطح بعدی به پیش‌بینی اقدام می‌کنند از این رو سیاست سفارش‌دهی اجزای زنجیره نیز می‌تواند بر اثر شلاق چرمی آن تاثیر داشته باشد [۱۷]. به دلیل اینکه خردۀ فروش پایین‌ترین سطح زنجیره می‌باشد، با تقاضای واقعی مشتریان در ارتباط است؛ لذا پیش‌بینی این سطح از زنجیره بر اساس تقاضای واقعی مشتریان انجام می‌گیرد. در سطح دوم از زنجیره، عمدۀ فروش با خردۀ فروش در ارتباط است، از این رو میزان سفارش خردۀ فروش که با استفاده از روش نقطه سفارش انجام می‌گیرد به عنوان تقاضای عمدۀ فروش محسوب می‌گردد. در سطح سوم از زنجیره، تولیدکننده با عمدۀ فروش در ارتباط می‌باشد.



شکل ۶. زنجیره‌تامین چهار سطحی مورد بررسی

در واقع عمده فروش به عنوان تقاضای این سطح از زنجیره محسوب می‌گردد. در هر دور شیوه‌سازی، تقاضای تصادفی برای ۵۰ دوره از طریق نرمافزار متلب ایجاد شده است. شایان ذکر است که در تحقیق حاضر بحث نمونه‌گیری به معنای عام آن در نظر نبوده است و تنها با توجه به روش تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تحلیل واریانس، این تعداد بر بهره‌گیری از قضیه حد مرکزی به عنوان یک نمونه بزرگ در نظر گرفته شده است. داده‌های مربوط به تقاضای تصادفی خرده‌فروش در اولین دور شیوه‌سازی در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به تعریف اثر شلاقی به صورت نسبت واریانس‌ها و برای افزایش واریانس تقاضاها، نرخ تقاضا فرض شده است. همچنین سیاست سفارش‌دهی نیز، به عنوان یک متغیر کنترل، برای کلیه سطوح در نظر گرفته شده است. در کلیه روش‌ها، موجودی ابتدای دوره برابر صفر، زنجیره یکسان و به صورت واحد در نظر گرفته شده و کمبود نیز مجاز است. نتایج حاصل از شیوه‌سازی مساله تحت حالات گوناگون در ادامه ارایه شده است. در بالاترین سطح از زنجیره مورد مطالعه، تولیدکننده با تامین‌کننده در ارتباط است. به عبارتی میزان سفارش تولید کننده به عنوان تقاضای این سطح از زنجیره محسوب می‌گردد؛ بنابراین تامین‌کننده نیز بر اساس سفارش‌های قبلی تولیدکننده سعی در پیش‌بینی تقاضای دور آینده دارد و در همه سطوح زنجیره‌تامین سیاست سفارش‌دهی نقطه سفارش در نظر گرفته شد.

## ۱-۵ سیستم نقطه سفارش و مفروضات آن

در مدل نقطه سفارش، با توجه به اینکه هزینه‌ی سفارش‌ها قابل توجه است می‌توان سیاست را بر این اساس بناداد که در شروع هر دوره، در صورتی که موجودی در لحظه صدور سفارش که آن را با  $Q_e$  نشان می‌دهیم از حد معینی بیش‌تر باشد از صدور سفارش خودداری نموده و بررسی مجدد امر را به ابتدای دور بعد موکول کنیم. این حد معین را که در این تحلیل به دنبال آن هستیم،  $q$  می‌نامیم؛ بنابراین، در هر دوره برای مقدار سفارش  $Q$  خواهیم داشت:

$$\begin{cases} Q = Q_m - Q_e & Q_e \leq q \\ Q = . & Q_e > q \end{cases} \quad (5)$$

در این رابطه  $Q_m$  حداکثر موجودی است. ابتدا با توجه به تحقیقاتی که از تعداد زیادی خرده فروش مبنی بر فروش لبیات شرکت «مانیزان» به عمل آمد، کران بالا و پایین متوسط مصرف روزانه بر حسب کیلوگرم بازه‌ی [۵۲۳و۵] انتخاب شد که بر این اساس، اعداد تصادفی تولید شده با پارامتر متغیر در بازه‌ی [۵۲۳و۵] تولید شدند. هم چنین برای محاسبه‌ی  $Q_m$  و  $q$  نیاز به مفروضاتی است که در زیر آمده است:

$$\bar{D} = 14 \quad \text{زمان تحویل کالا} \quad L = . \quad \text{متوسط تقاضای روزانه (میانگین تقاضا)}$$

$$T = 1 \quad \text{فاصله زمانی بین سفارش‌ها} \quad S = 3 \quad \text{و هزینه مواجهه با کسری بر حسب واحد پول}$$

$$h = 1 \quad \text{هزینه نگهداری بر حسب واحد پول} \quad C = 4 \quad \text{و هزینه سفارش‌دهی بر حسب واحد پول}$$

$$\sigma = 9 \quad \text{انحراف معیار مصرف}$$

هم چنین:

$$\mu_{T+L} = \bar{D}(L+T) \quad (6) \quad Q^* = \sqrt{\frac{2C \times D}{h}} \times \sqrt{\frac{h+s}{s}} \quad (7) \quad \text{مقدار اقتصادی هر بار سفارش}$$

$$Q_s = Q^* \times \frac{h}{h+s} \quad \text{كمبود مورد انتظار} \quad (8) \quad \text{و} \quad I(\gamma) = \frac{Q_s}{\sigma} \quad (9)$$

$$q = \gamma \times \sigma + \frac{\bar{D} \times T}{2} + \mu \quad (10) \quad \text{و} \quad Q_m = Q^* + \left( q - \frac{\bar{D} \times T}{2} \right) \quad (11)$$

بنابراین با توجه به فرمول‌های (۶) تا (۱۱) که در بالا ذکر گردید و با داشتن مقادیر داده شده خواهیم داشت:

$$\mu_{T+L} = 14, \quad Q^* = 13, \quad Q_s = 3.05, \quad I_{(\gamma)} = 0.338$$

با توجه به جدول نرمال لاس، خواهیم داشت:

$$\gamma = 0.13 \quad \text{و} \quad q = 22, \quad Q_m = 28$$

بنابراین می‌توان سیستم نقطه سفارش (۲۲و۲۸) را در نظر گرفت. برای این منظور، ۳۶ عدد تصادفی با توزیع پواسون با پارامتر [۵۲۳و۵] در نظر گرفته شد و سیستم نقطه سفارش (۲۲و۲۸) استفاده شد. انتخاب نمونه ۳۶ تایی به این دلیل صورت گرفت که اگر  $n > 30$  باشد، طبق قضیه حد مرکزی از توزیع نرمال پیروی می‌کند. چون روش تجزیه و تحلیل در این پژوهش تحلیل واریانس است. سپس اثر شلاق چرمی طبق رابطه (۱۲) محاسبه خواهد شد:

$$\frac{\text{واریانس سفارش تامین کننده}}{\text{واریانس تقاضای خرده فروش}} = \text{اثر شلاق چرمی} \quad (12)$$

بنابراین،  $Q_m$  و  $q$  به ترتیب برابر ۲۸ و ۲۲ در نظر گرفته می‌شود. در دور اول، موجودی ابتدای دوره برابر میزان تقاضای این دور است. هم چنین موجودی انتهای دوره  $i$  برابر موجودی ابتدای دوره  $i+1$  می‌باشد؛ بنابراین دو حالت ممکن است رخ دهد:

الف) اگر حاصل تقاضاً موجودی ابتدای دوره و تقاضاً بزرگ‌تر یا مساوی  $Q$  باشد، در این حالت سفارشی داده نمی‌شود و موجودی انتهای دوره برابر است با تقاضاً موجودی ابتدای دوره با تقاضاً. به عنوان نمونه در دور دوم از جدول ۴ تقاضای خرده‌فروش برابر  $\frac{3}{69}$  است و چون موجودی ابتدای دوره برابر ۲۸ است؛ بنابراین داریم:

$$q = \frac{24}{31} - \frac{24}{31} = \frac{24}{69}$$

ب) اگر حاصل تقاضاً موجودی ابتدای دوره و تقاضاً کم‌تر از  $Q$  باشد، در این صورت سفارش برابر  $Q_m - Q_e$  خواهد بود. به عنوان نمونه در دور سوم تقاضای خرده فروش از جدول ۴ داریم:

$$q = \frac{20}{49} - \frac{20}{49} = \frac{20}{82}$$

بنابراین به اندازه  $\frac{24}{31} - \frac{24}{31} = \frac{24}{69}$  سفارش داده می‌شود. بقیه‌ی ستون‌ها نیز به همین شکل محاسبه شده‌اند.

۳۶ عدد تصادفی با توزیع پواسون با پارامتر متغیر که از توزیع یکتواخت در بازه‌ی [۵۰-۲۳] پیروی می‌کند، تولید شده است. مقادیر اعداد تصادفی تولید شده در جدول ۳ آورده شده است.

در ادامه بررسی اثر شلاق چرمی در زنجیره تامین ۴ سطحی خواهیم پرداخت. سناریوی ۱ برای نمونه ارایه می‌شود و از بیان نحوه محاسبات مربوط به سایر سناریوها صرف نظر می‌گردد. در جدول ۸ نتایج مقادیر مختلف اثر شلاق چرمی ۲۴ سناریو نشان داده شده است.

### جدول ۳. داده‌های تقاضای تصادفی برای تقاضای متغیر

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

## ۵-۲ بررسی اثر شلاق چرمی در زنجیره‌ی تامین چهار سطحی در سناریوی ۱

همان‌طور که در جدول ۲ ذکر شده است، در این سناریو خرده‌فروش، عمدۀ فروش، تولید‌کننده و تامین‌کننده به ترتیب از روش‌های رگرسیون، هموارسازی نمایی، شبکه عصبی و میانگین متحرک، برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند.

## ۵-۱ پیش‌بینی تقاضای سطح خردۀ فروش با استفاده از روش رگرسیون

با توجه به داده‌های تقاضای تصادفی، ابتدا تقاضای خردۀ فروش با استفاده از رگرسیون پیش‌بینی می‌شود سپس با توجه به مدل ارایه شده، میزان سفارش و انبار محاسبه می‌گردد.

**جدول ۴.** تقاضا، سفارش و انبار خردۀ فروش با روش رگرسیون

دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره	دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره
۱	۳/۵۶	۳/۵۶	۲۸	۲۸/۰۰	۱۹	۲۲/۱۸	۵/۹۶	۱۱/۷۸	۲۸/۰۰
۲	۲۸	۳/۸۹	۰/۰۰	۲۴/۳۱	۲۰	۲۸/۰۰	۶/۰۹	۶/۰۹	۲۸/۰۰
۳	۲۴/۳۱	۳/۸۲	۷/۵۱	۲۸/۰۰	۲۱	۲۸/۰۰	۶/۲۲	۶/۲۲	۲۸/۰۰
۴	۲۸	۳/۹۶	۰/۰۰	۲۴/۰۴	۲۲	۲۸/۰۰	۶/۳۶	۶/۳۶	۲۸/۰۰
۵	۲۴/۰۴	۴/۰۹	۸/۰۴	۲۸/۰۰	۲۳	۲۸/۰۰	۶/۴۹	۶/۴۹	۲۸/۰۰
۶	۲۸	۴/۲۲	۰/۰۰	۲۳/۷۸	۲۴	۲۸/۰۰	۶/۶۲	۶/۶۲	۲۸/۰۰
۷	۲۳/۷۸	۴/۳۶	۸/۵۸	۲۸/۰۰	۲۵	۲۸/۰۰	۶/۷۶	۶/۷۶	۲۸/۰۰
۸	۲۸/۰۰	۴/۴۹	۰/۰۰	۲۳/۵۱	۲۶	۲۸/۰۰	۶/۸۹	۶/۸۹	۲۸/۰۰
۹	۲۳/۵۱	۴/۶۲	۹/۱۱	۲۸/۰۰	۲۷	۲۸/۰۰	۷/۰۲	۷/۰۲	۲۸/۰۰
۱۰	۲۸/۰۰	۴/۷۶	۰/۰۰	۲۳/۲۴	۲۸	۲۸/۰۰	۷/۱۶	۷/۱۶	۲۸/۰۰
۱۱	۲۲/۲۴	۴/۸۹	۹/۶۴	۲۸/۰۰	۲۹	۲۸/۰۰	۷/۲۹	۷/۲۹	۲۸/۰۰
۱۲	۲۸/۰۰	۵/۰۲	۰/۰۰	۲۲/۹۸	۳۰	۲۸/۰۰	۷/۴۲	۷/۴۲	۲۸/۰۰
۱۳	۲۲/۹۸	۵/۱۶	۱۰/۱۸	۲۸/۰۰	۳۱	۲۸/۰۰	۷/۵۶	۷/۵۶	۲۸/۰۰
۱۴	۲۸/۰۰	۵/۲۹	۰/۰۰	۲۲/۷۱	۳۲	۲۸/۰۰	۷/۶۹	۷/۶۹	۲۸/۰۰
۱۵	۲۲/۷۱	۵/۴۲	۱۰/۷۱	۲۸/۰۰	۳۳	۲۸/۰۰	۷/۸۲	۷/۸۲	۲۸/۰۰
۱۶	۲۸/۰۰	۵/۵۶	۰/۰۰	۲۲/۴۴	۳۴	۲۸/۰۰	۷/۹۶	۷/۹۶	۲۸/۰۰
۱۷	۲۲/۴۴	۵/۶۹	۱۱/۲۴	۲۸/۰۰	۳۵	۲۸/۰۰	۸/۰۹	۸/۰۹	۲۸/۰۰
۱۸	۲۸/۰۰	۵/۸۲	۰/۰۰	۲۲/۱۸	۳۶	۲۸/۰۰	۸/۲۲	۸/۲۲	۲۸/۰۰

نحوه محاسبه اعداد جدول ۴ به این صورت است که ابتدا با توجه به داده‌های تقاضای تصادفی جدول ۳، معادله رگرسیون خطی  $X = ۱۳۳۳ + ۰/۴۴۲ + ۰/۴۴۲ Y$  به دست می‌آید. حال به عنوان نمونه، دور ۱۶ جدول ۴ را حل می‌کنیم: تقاضا از معادله رگرسیون و با جایگزینی  $X = ۱۶$  عدد  $۵/۵۶$  به دست می‌آید. با توجه به اینکه موجودی دور قبل (دور ۱۵) برابر ۲۸ می‌باشد اگر تقاضا  $(۵/۵۶)$  را از موجودی کم کنیم، موجودی انتهای دوره به دست می‌آید که برابر است با  $۲۲/۴۴$  و چون از  $Q$  بزرگ‌تر است؛ بنابراین سفارشی نخواهیم داشت.

**۲-۲-۵ پیش‌بینی تقاضای سطح عمده فروش با استفاده از روش هموارسازی نمایی**  
 با استفاده از سفارش خردۀ فروش، تقاضای عمده فروش از روش هموارسازی نمایی و ضریب  $\alpha = 0.33$  پیش‌بینی می‌شود. سپس میزان سفارش و انبار با توجه به مدل ارایه شده محاسبه می‌گردد.

**جدول ۵.** تقاضا، سفارش و انبار عمده فروش با روش هموارسازی نمایی

دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره	دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره
۱	۷/۲۶	۷/۲۶	۲۸/۰۰	۲۸/۰۰	۱۹	۲۸/۰۰	۴/۳۵	۰/۰۰	۲۳/۶۵
۲	۲۸/۰۰	۱۴/۱۰	۱۴/۱۰	۲۸/۰۰	۲۰	۲۳/۶۵	۶/۸۰	۱۱/۱۵	۲۸/۰۰
۳	۲۸/۰۰	۹/۴۵	۹/۴۵	۲۸/۰۰	۲۱	۲۸/۰۰	۶/۵۷	۶/۵۷	۲۸/۰۰
۴	۲۸/۰۰	۸/۸۱	۸/۸۱	۲۸/۰۰	۲۲	۲۸/۰۰	۶/۴۵	۶/۴۵	۲۸/۰۰
۵	۲۸/۰۰	۵/۹۰	۰/۰۰	۲۲/۱۰	۲۳	۲۸/۰۰	۶/۴۲	۶/۴۲	۲۸/۰۰
۶	۲۲/۱۰	۶/۶۱	۱۲/۵۱	۲۸/۰۰	۲۴	۲۸/۰۰	۶/۴۴	۶/۴۴	۲۸/۰۰
۷	۲۸/۰۰	۴/۴۳	۰/۰۰	۲۳/۵۷	۲۵	۲۸/۰۰	۶/۵۰	۶/۵۰	۲۸/۰۰
۸	۲۳/۵۷	۵/۸۰	۱۰/۲۳	۲۸/۰۰	۲۶	۲۸/۰۰	۶/۵۹	۶/۵۹	۲۸/۰۰
۹	۲۸/۰۰	۳/۸۸	۰/۰۰	۲۴/۱۲	۲۷	۲۸/۰۰	۶/۶۹	۶/۶۹	۲۸/۰۰
۱۰	۲۴/۱۲	۵/۶۱	۹/۴۹	۲۸/۰۰	۲۸	۲۸/۰۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۲۸/۰۰
۱۱	۲۸/۰۰	۳/۷۶	۰/۰۰	۲۴/۲۴	۲۹	۲۸/۰۰	۶/۹۲	۶/۹۲	۲۸/۰۰
۱۲	۲۴/۲۴	۵/۷۰	۹/۴۶	۲۸/۰۰	۳۰	۲۸/۰۰	۷/۰۴	۷/۰۴	۲۸/۰۰
۱۳	۲۸/۰۰	۳/۸۲	۰/۰۰	۲۴/۱۸	۳۱	۲۸/۰۰	۷/۱۷	۷/۱۷	۲۸/۰۰
۱۴	۲۴/۱۸	۵/۹۲	۹/۷۴	۲۸/۰۰	۳۲	۲۸/۰۰	۷/۲۹	۷/۲۹	۲۸/۰۰
۱۵	۲۸/۰۰	۳/۹۶	۰/۰۰	۲۴/۰۴	۳۳	۲۸/۰۰	۷/۴۲	۷/۴۲	۲۸/۰۰
۱۶	۲۴/۰۴	۶/۱۹	۱۰/۱۶	۲۸/۰۰	۳۴	۲۸/۰۰	۷/۵۶	۷/۵۶	۲۸/۰۰
۱۷	۲۸/۰۰	۴/۱۵	۰/۰۰	۲۳/۸۵	۳۵	۲۸/۰۰	۷/۶۹	۷/۶۹	۲۸/۰۰
۱۸	۲۳/۸۵	۶/۴۹	۱۰/۶۴	۲۸/۰۰	۳۶	۲۸/۰۰	۷/۸۲	۷/۸۲	۲۸/۰۰

اعداد جدول با توجه به توضیحات قسمت قبلی و توضیحات بخش (۲-۱-۳) به دست آمد. به عنوان نمونه تقاضای دور ۱۶ به این صورت است که اعداد سفارش دور ۱۵ جدول (۴) یعنی سفارش خردۀ فروش و تقاضای دور ۱۵ عمده فروش را در نظر گرفته و با توجه به مقدار ضریب  $\alpha = 0.33$  داریم:

$$\text{Exponential Smoothing} \quad (16) = (0/33 \times 10/71) + ((1 - 0/33) \times 3/96) = 6/19$$

### ۲-۳-۵ پیش‌بینی تقاضای سطح تولید کننده با استفاده از روش شبکه عصبی

در این پژوهش با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، پیش‌بینی تقاضای تولید کننده انجام شد. برای مدل‌سازی داده‌ها از یک شبکه پرسپترون چندلایه با مشخصات دو لایه پنهان استفاده شد. با استفاده از کدنویسی در نرم افزار متلب، داده‌های سری زمانی با توجه به حدسهای هوشمندانه و تاخیرهای زمانی و وقهه بهینه تعیین

شده، آرایش یافتند. برای آموزش شبکه عصبی از الگوریتم لونبرگ- مارکوارات استفاده شد. همچنین از تابع فعالیت تاثرات سیگموئیدی در لایه پنهانی اول و از تابع محرک خطی در لایه پنهانی دوم و لایه خروجی استفاده شد.

پس از اینکه داده‌های ورودی تاریخی را به نرم افزار متلب داده شد، با استفاده از توابع و تاخیرهای زمانی داده شده نرم افزار متلب ۶۰ درصد داده‌ها را برای آموزش، ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی حین آموزش می‌گیرد و برای ۲۰ درصد مابقی آزمون تست را انجام می‌دهد و در نهایت خروجی پیش‌بینی شده را با خروجی مورد انتظار با شاخص میانگین مربعات خطاء، مقایسه می‌کند.

**جدول ۶.** تقاضا، سفارش و انبار تولید کننده با روش شبکه عصبی

دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره	دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره
۱	۲/۹۵	۲/۹۵	۲۸/۰۰	۲۸/۰۰	۱۹	۲۳/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۰	۲۳/۰۶
۲	۲۸/۰۰	۱۱/۵۹	۱۱/۵۹	۲۸/۰۰	۲۰	۲۳/۰۶	۰/۱۸۹	۰/۰۰	۲۲/۱۷
۳	۲۸/۰۰	۴/۸۶	۰/۰۰	۲۳/۱۴	۲۱	۲۲/۱۷	۰/۵۶	۶/۳۹	۲۸/۰۰
۴	۲۳/۱۴	۱۰/۴۸	۱۵/۳۳	۲۸/۰۰	۲۲	۲۸/۰۰	۱/۰۱	۰/۰۰	۲۶/۹۹
۵	۲۸/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۰۰	۲۳	۲۶/۹۹	۱/۵۹	۰/۰۰	۲۵/۴۱
۶	۲۸/۰۰	۱۰/۶۳	۱۰/۶۳	۲۸/۰۰	۲۴	۲۵/۴۱	۲/۲۴	۰/۰۰	۲۳/۱۷
۷	۲۸/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۰۰	۲۵	۲۳/۱۷	۲/۹۲	۷/۷۵	۲۸/۰۰
۸	۲۸/۰۰	۱۰/۴۸	۱۰/۴۸	۲۸/۰۰	۲۶	۲۸/۰۰	۳/۵۷	۰/۰۰	۲۴/۴۳
۹	۲۸/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۰۰	۲۷	۲۴/۴۳	۴/۱۸	۷/۷۵	۲۸/۰۰
۱۰	۲۸/۰۰	۱۰/۴۷	۱۰/۴۷	۲۸/۰۰	۲۸	۲۸/۰۰	۴/۷۱	۰/۰۰	۲۳/۲۹
۱۱	۲۸/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۰۰	۲۹	۲۳/۲۹	۵/۱۷	۹/۸۷	۲۸/۰۰
۱۲	۲۸/۰۰	۱۰/۵۰	۱۰/۵۰	۲۸/۰۰	۳۰	۲۸/۰۰	۵/۵۵	۰/۰۰	۲۲/۴۵
۱۳	۲۸/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۰۰	۳۱	۲۲/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۲/۴۵
۱۴	۲۸/۰۰	۱۰/۵۴	۱۰/۵۴	۲۸/۰۰	۳۲	۲۲/۴۵	۰/۰۷	۰/۰۰	۲۲/۳۸
۱۵	۲۸/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۰۰	۳۳	۲۲/۳۸	۰/۱۸۹	۶/۵۱	۲۸/۰۰
۱۶	۲۸/۰۰	۵/۳۹	۰/۰۰	۲۲/۶۱	۳۴	۲۸/۰۰	۱/۵۹	۰/۰۰	۲۶/۴۱
۱۷	۲۲/۶۱	۳/۱۹	۸/۵۸	۲۸/۰۰	۳۵	۲۶/۴۱	۳/۵۷	۰/۰۰	۲۲/۸۴
۱۸	۲۸/۰۰	۴/۸۷	۰/۰۰	۲۳/۱۳	۳۶	۲۲/۸۴	۴/۱۸	۹/۳۴	۲۸/۰۰

## ۵-۴-۴ پیش‌بینی تقاضای سطح تامین کننده با استفاده از روش میانگین متحرک

با استفاده از مقدار سفارش تولید کننده، از روش میانگین متحرک تقاضای تامین کننده پیش‌بینی شد.

**جدول ۷.** تقاضا، سفارش و انبار تامین‌کننده با روش میانگین متحرک

دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره	دور	موجودی ابتدای دوره	تقاضا	سفارش	موجودی انتهای دوره
۱	۲۸	۲۸/۰۰	۲۸/۰۰	۲۸/۰۰	۱۹	۲۸/۰۰	۲/۱۴	۰/۰۰	۲۵/۸۶
۲	۲۸/۰۰	۱۱/۵۹	۱۱/۵۹	۲۸/۰۰	۲۰	۲۵/۸۶	۲/۱۴	۰/۰۰	۲۳/۷۱
۳	۲۸/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۰۰	۲۱	۲۳/۷۱	۲/۱۴	۶/۴۳	۲۸/۰۰
۴	۲۸/۰۰	۱۵/۳۳	۱۵/۳۳	۲۸/۰۰	۲۲	۲۸/۰۰	۱/۶۰	۰/۰۰	۲۶/۴۰
۵	۲۸/۰۰	۱۳/۷۳	۱۳/۷۳	۲۸/۰۰	۲۳	۲۶/۴۰	۱/۶۰	۰/۰۰	۲۴/۸۱
۶	۲۸/۰۰	۶/۷۳	۶/۷۳	۲۸/۰۰	۲۴	۲۴/۸۱	۱/۶۰	۰/۰۰	۲۳/۲۱
۷	۲۸/۰۰	۶/۴۹	۶/۴۹	۲۸/۰۰	۲۵	۲۳/۲۱	۱/۶۰	۶/۳۹	۲۸/۰۰
۸	۲۸/۰۰	۶/۴۹	۶/۴۹	۲۸/۰۰	۲۶	۲۸/۰۰	۱/۹۴	۰/۰۰	۲۶/۰۶
۹	۲۸/۰۰	۵/۲۸	۰/۰۰	۲۲/۷۷	۲۷	۲۶/۰۶	۱/۹۴	۰/۰۰	۲۴/۱۲
۱۰	۲۲/۷۲	۵/۲۸	۱۰/۵۵	۲۸/۰۰	۲۸	۲۴/۱۲	۳/۸۸	۷/۷۵	۲۸/۰۰
۱۱	۲۸/۰۰	۵/۲۴	۰/۰۰	۲۲/۷۶	۲۹	۲۸/۰۰	۳/۸۸	۰/۰۰	۲۴/۱۲
۱۲	۲۲/۷۶	۵/۲۴	۱۰/۴۷	۲۸/۰۰	۳۰	۲۴/۱۲	۴/۴۱	۸/۲۸	۲۸/۰۰
۱۳	۲۸/۰۰	۵/۲۴	۰/۰۰	۲۲/۷۶	۳۱	۲۸/۰۰	۴/۴۱	۰/۰۰	۲۳/۵۹
۱۴	۲۲/۷۶	۵/۲۴	۱۰/۴۹	۲۸/۰۰	۳۲	۲۳/۵۹	۲/۴۷	۶/۸۷	۲۸/۰۰
۱۵	۲۸/۰۰	۵/۲۶	۰/۰۰	۲۲/۷۴	۳۳	۲۸/۰۰	۲/۴۷	۰/۰۰	۲۵/۵۳
۱۶	۲۲/۷۴	۵/۲۶	۱۰/۵۲	۲۸/۰۰	۳۴	۲۵/۵۳	۱/۶۳	۰/۰۰	۲۳/۹۰
۱۷	۲۸/۰۰	۲/۶۴	۰/۰۰	۲۵/۳۶	۳۵	۲۳/۹۰	۱/۶۳	۰/۰۰	۲۲/۲۸
۱۸	۲۵/۳۶	۴/۷۸	۷/۴۲	۲۸/۰۰	۳۶	۲۲/۲۸	۱/۶۳	۷/۳۵	۲۸/۰۰

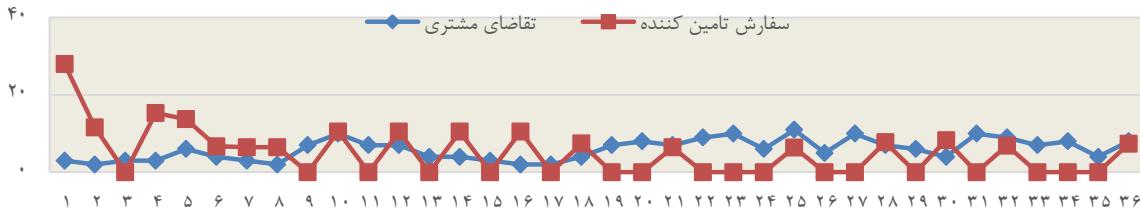
با توجه به اعداد ستون سفارش‌های تولید‌کننده از جدول ۶ و در نظر گرفتن طول دوره تناوب  $n=4$  (روش میانگین متحرک)، اعداد ستون تقاضای جدول ۷ محاسبه گردید. به عنوان نمونه در دور ۱۶ خواهیم داشت:

$$\text{Moving Average} (16) = \frac{10/5 + 0 + 10/54 + 0}{4} = 10/26$$

سپس اثر شلاق چرمی سناریوی ۱ محاسبه شد. برای این منظور از رابطه (۱۲) استفاده گردید:

واریانس سفارش تامین‌کننده:  $۱۸/۳۹$  و واریانس تقاضای خرده‌فروش:  $۱/۹۷$  و اثر شلاق چرمی سناریوی ۱:  $۱۹/۸۶$ .

شكل ۷ روند تغییرات تقاضای پایین زنجیره و سفارش تامین‌کننده را نشان می‌دهد



شکل ۷. روند تغییرات تقاضای مشتری و سفارش تامین کننده

اثر شلاقی ۲۴ سناریو در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸ مقادیر اثر شلاق چرمی سناریوهای مختلف پیش‌بینی

سناریو	اثر شلاقی	سناریو	اثر شلاقی	سناریو	اثر شلاقی
۱	۱۹/۸۶	۹	۴۰/۹۹	۱۷	۱۵۳/۷۴
۲	۵۵/۳۱	۱۰	۷۵/۱۵	۱۸	۶۶/۷۶
۳	۴۰/۲۰	۱۱	۲۷/۷۳	۱۹	۲۸/۳۵
۴	۷۶/۷۷	۱۲	۲۶/۵۰	۲۰	۳۳/۵۱
۵	۴۰/۶۲	۱۳	۲/۲۴	۲۱	۲۳/۳۴
۶	۴۶/۹۹	۱۴	۳۶/۴۴	۲۲	۳۶/۰۰
۷	۲۷/۴۵	۱۵	۶۵/۰۰	۲۳	۱۸/۴۶
۸	۱۶/۲۷	۱۶	۴/۷۷	۲۴	۲۶/۶۵

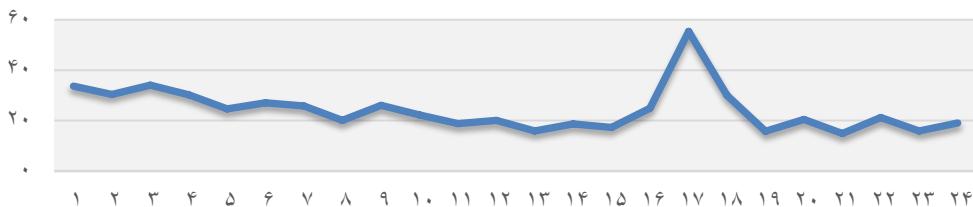
## ۶ تجزیه و تحلیل نتایج و معرفی الگوی برتر

نتایج ارایه 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 برای مقایسه اثر شلاق نسبت به چرمی حاصل از شش سناریوی مختلف، با استفاده از نرم افزارهای MATLAB و EXCEL نسبت به شبیه‌سازی فرآیند فوق در ۵۰ دور اقدام گردید. نحوه انجام شبیه‌سازی به این صورت است که از نرم افزار MATLAB برای تولید اعداد تصادفی طبق توزیع پواسون استفاده شده است. سپس منطق زنجیره‌تامین مورد نظر در نرم افزار EXCEL طراحی شده است و اعداد تصادفی در خصوص میزان تقاضا به عنوان ورودی در الگوی طراحی شده وارد شده و الگو به اجرا در آمده است. نهایتاً طبق تعریف اثر شلاق چرمی نسبت محاسبه این اثر در هر یک از آزمایش‌ها اقدام شده است. سپس با توجه به نتایج، میانگین هر یک از ۲۴ سناریو را که هر کدام ۵۰ بار شبیه‌سازی شده‌اند، محاسبه شد که در شکل ۸ نشان داده 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؟" در واقع این تحقیق به دنبال آزمون فرض زیر است:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \dots = \mu_{24} \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j, \forall i, j \in \{1, 2, 3, \dots, 24\}, i \neq j \end{array} \right.$$

سپس میانگین هر یک از این ۲۴ سناریو که ۵۰ بار شبیه‌سازی شده‌اند، محاسبه شد که شکل ۸ میانگین اثر شلاقی ۵۰ دور شبیه‌سازی سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، سناریوهای شماره ۲۱ دارای کمترین اثر شلاق چرمی است که بهترین سناریو می‌باشد. بیشترین اثر شلاق چرمی نیز مربوط به سناریوی شماره (۱۷) می‌باشد.



شکل ۸. میانگین اثر شلاق چرمی ۵۰ دور شبیه‌سازی شده سناریوهای مختلف در شرایط تقاضای متغیر

برای آزمون فرض فوق با توجه به داده‌های شبیه‌سازی شده، از روش تحلیل واریانس تک عاملی با استفاده از نرم افزار SPSS 19 استفاده شده است. نتایج این آزمون در جدول ۹ نشان داده شده است:

جدول ۹. نتایج تحلیل واریانس

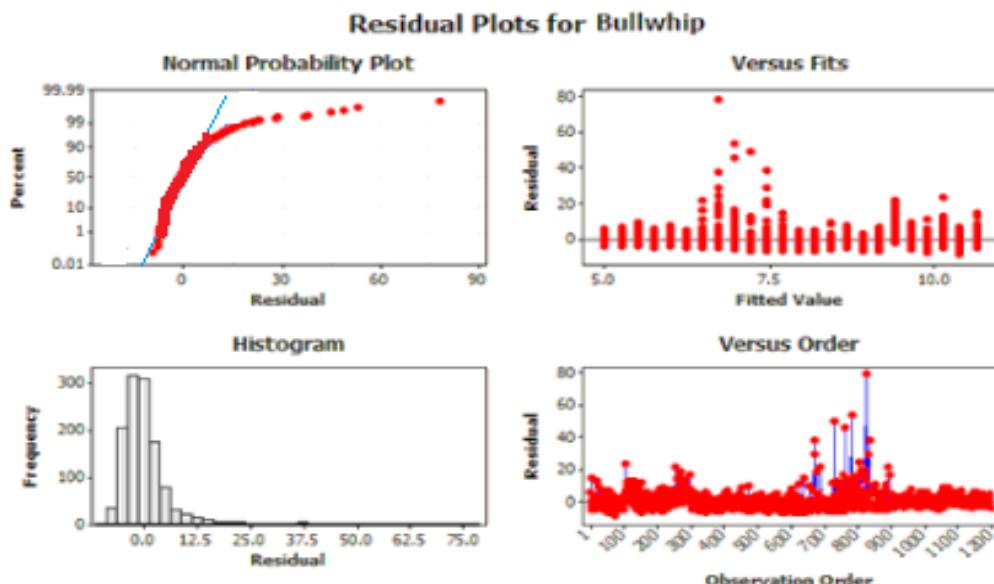
ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	89249.056	23	3880.394	3.905	.000
Within Groups	1168736.290	1176	993.823		
Total	1257985.346	1199			

همان‌طور که نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد، فرض صفر برابری میانگین اثر شلاق چرمی در ۲۴ سناریوی پیشنهادی در سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته نمی‌شود و می‌توان گفت که اختلاف معناداری میان سناریوهای مختلف وجود دارد.

آخرین مساله مربوط به بررسی صحت فرضیات الگو تحلیل واریانس می‌باشد. در واقع روش تحلیل واریانس مبتنی بر فرضیاتی است که برقرار نبودن آن باعث بی‌اعتباری نتایج می‌شود. 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 ۹ بررسی شده است. در این شکل، اولین نمودار (گوشه سمت چپ - بالا)، نمودار احتمال نرمال مانده‌هاست که نشان می‌دهد مانده‌ها با تقریب رضایت‌بخشی از توزیع نرمال برخوردارند. نمودار احتمال نرمال روشنی 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 می‌نماید. اگر مشاهدات در این صفحه حول یک خط مستقیم متراکم باشد، نشان‌دهنده نرمال بودن مجموعه داده‌های مورد نظر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مانده‌های تحلیل واریانس با درصد بسیار خوبی حول خط مستقیم در

نمودار احتمال نرمال متراکم شده است که گواهی بر نرمال بودن ماندها می‌باشد. در خصوص برابری واریانس خطاهای نیز از نمودار ماندها نسبت به مقادیر برآورش شده (گوش سمت راست - بالا) استفاده می‌شود. اگر این نمودار الگوی غیرتصادفی مشخصی را از خود نشان ندهد، حاکی از برابری واریانس خطاهای می‌باشد. همان‌طور که در نمودار مورد نظر ملاحظه می‌گردد، در آزمون حاضر این نمودار گویای ثابت بودن واریانس خطاهاست. آخرین نمودار (گوش سمت راست - پایین) نیز نمودار ماندها نسبت به زمان جمع‌آوری داده‌ها را نشان می‌دهد که حاکی از الگویی تصادفی است. در واقع این نمودار نیز نباید نشان‌دهنده هیچ گونه الگوی مشخصی نظیر روند، سیکل و ... باشد که این شرایط در نمودار شکل ۹ برقرار است و نشان‌دهنده تصادفی بودن جمع‌آوری داده‌ها می‌باشد. این شیوه‌ها در کتاب مونتگومری به طور کامل ارایه شده است [۲۳].



شکل ۹. بررسی تحلیل فرضیات واریانس

بر این اساس در تحقیق حاضر فرضیات تحلیل واریانس نیز برقرار و نتایج آن معتبر می‌باشد.

## ۷ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحقیق حاضر به بررسی تاثیر کاربرد روش‌های متفاوت پیش‌بینی در سطوح مختلف زنجیره‌تامین بر اثر شلاق چرمی در شرایط تقاضای متغیر اختصاص داشت. بر این اساس در تحقیق حاضر یک زنجیره‌تامین چهار سطحی در نظر گرفته شده است که هر یک از اجزای آن یکی از روش‌های شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و رگرسیون خطی را مورد استفاده قرار می‌دادند. با توجه به فرضیات بیان شده مساله، از طریق ۵۰ شبیه‌سازی سری تقاضای تصادفی برخوردار از یک توزیع پواسون تولید و تحت ستاریوهای مختلف (جدول ۲) اثر شلاق چرمی آن برآورد گردید (مجموعاً ۱۸۰۰ آزمایش شبیه‌سازی شده است). در نهایت مقایسه‌های انجام شده نشان داد که تحت فرضیات مساله، بهترین ترکیب روش‌های پیش‌بینی (از پایین به بالای زنجیره) شامل روش‌های میانگین متحرک، هموارسازی نمایی، شبکه عصبی و رگرسیون خطی (ستاریوی ۲۱) می‌باشد؛ یعنی اگر خرده‌فروش، عمده‌فروش، تولیدکننده و تامین‌کننده به ترتیب از این روش‌ها استفاده کنند، اثر

شلاق چرمی کمتر خواهد بود. ضمن آن که بدترین ترکیب نیزستانربوی شماره ۱۷ می‌باشد. از این رو روش مورد استفاده در تحقیق حاضر را می‌توان به عنوان الگویی برای تصمیم‌سازی صحیح مدیران صنایع در زنجیره‌های تامین به کار برد. در واقع این الگو می‌تواند رویکردی برای تحلیل سناریوهای مختلف در زنجیره‌های تامین به شمار آید. وجود عوامل متعدد تأثیرگذار بر عملکرد زنجیره‌های تامین، بررسی تحلیلی آنها در چارچوب الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی را دشوار می‌سازد. با وجود این تحلیل آماری و تجربی زنجیره‌های تامین چند سطحی در چارچوب طرح‌های آزمایشی طراحی شده است و به طور منطقی می‌تواند گزینه مناسبی برای تجزیه و تحلیل تأثیر تصمیمات بر شاخص‌های عملکرد زنجیره‌های تامین باشد. 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 شیوه‌سازی 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 تأثیر روش‌های پیش‌بینی بر اثر شلاقی را مورد بررسی قرار داده‌اند که مواردی از آن‌ها در مرور ادبیات این مقاله اشاره شده است. برای مثال نجفی و زنجیرانی فراهانی (۱۳۸۶) در بررسی تأثیر 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. هم چنین رضوی و همکاران (۱۳۹۱) و لطفی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثر شلاق چرمی در زنجیره‌تامین با استفاده از روش سیستم دو ظرفی پرداخته‌اند و هم چنین تقاضا را ثابت فرض کرده‌اند. به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی در مطالعه‌ای دیگر، محققان می‌توانند زنجیره‌های متفاوتی در نظر بگیرند یا به تأثیر تقاضای متغیر بر ترکیب روش‌های پیش‌بینی در زنجیره‌ی تامین چند سطحی با روش سفارش‌دهی متفاوتی پردازند. در این تحقیق فرض شد که سطوح مختلف از روش‌های پیش‌بینی یکسانی استفاده نکنند که می‌توان از روش‌های یکسان در سطوح مختلف استفاده نمود. در این پژوهش از چهار روش پیش‌بینی استفاده شد که محققان می‌توانند از روش‌های پیش‌بینی دیگری استفاده کنند.

## منابع

- [۲] امین طهماسبی، حمزه، راهب، مائده، جعفریه، سحر (۱۳۹۷). ارایه و حل یک مدل بهینه‌سازی سبز در زنجیره‌تامین حلقه بسته باهدف افزایش سود و کاهش مشکلات زیست‌محیطی با در نظر گرفتن دوره ضمانت شده محصول. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن. ۱۵، (۳)، ۴۴-۲۷.
- [۴] جعفری اسکندری، میثم، مقدم شبیلو، ندا (۱۳۹۸). طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته چند محصولی احتمالی با در نظر گرفتن تخفیف و حل به کمک الگوریتم کرم شب تاب با رمزگشایی بر پایه اولویت، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن. ۱۶، (۱)، ۴۹-۲۹.
- [۱۳] نجفی، مهدی، زنجیرانی فراهانی، رضا (۱۳۸۶). مقایسه تأثیر روش‌های مختلف پیش‌بینی بر اثر شلاق گاوی. تهران: پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. ۳۶-۲۴.
- [۱۴] موحدی، یاسر، ذوالفقاری، روح ا... و جولای، فریبرز (۱۳۹۰). تحلیل نقش عوامل مالی در «اثر شلاقی» در زنجیره‌ی تامین دو رده‌ای، نشریه‌ی مهندسی صنایع. ۴۵، (۲)، ۲۰۸-۱۹۹.

- [۱۵] اسماعیلی، مریم، تات، رویا و اکبرزاده، مریم (۱۳۹۱). مقایسه تاثیر روش های مختلف پیش بینی بر اثر شلاقی در زنجیره‌ی تامین. تهران: هشتمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع. ۸۸-۱۰۲.
- [۱۶] رضوی حاجی آقا، سید حسین، اکرمی، هادی و الفت، لعیا (۱۳۹۱). بررسی تاثیر کاربرد ترکیبی روش های پیش بینی بر اثر شلاق چرمی در زنجیره‌ی تامین چند سطحی. بهبود مدیریت. ۶ (۴).
- [۱۷] عظیمی، سید علی (۱۳۹۲). پیش‌بینی تقاضا در زنجیره‌ی تامین با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین (مورد مطالعه شرکت ایران خودرو). پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه سمنان.
- [۱۸] لطفی، محمد رضا، حامدی طبری، حبیب و حامدی طبری، فاطمه (۱۳۹۴). تاثیر روش های پیش‌بینی در کاهش اثرات شلاق گاوی، دومین همایش ملی پژوهش‌های مهندسی صنایع، تهران.
- [۱۹] بدخشنان، احسان، پیشوایی، میرسامان (۱۳۹۴). مدل سازی سیستم دینامیکی اثرشلاق چرمی و اثر شلاق چرمی جریان نقدینگی در زنجیره‌ی تامین وارایه‌ی سیاست های بهبود برای کاهش این اثرات. تهران، دومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری.
- [۲۰] گلابی، محمد رضا، آخوند علی، علی محمد و رادمنش، فریدون (۱۳۹۲). مقایسه عملکرد الگوریتم های مختلف شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی بارندگی فصلی مطالعه موردي؛ ایستگاههای منتخب استان خوزستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳ (۳۰).
- [۲۱] اسفندیاری، فربیا، حسینی اسد، آزادی محمد و حجازی، زهرا (۱۳۸۹). پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنترج با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)، جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران. ۴۵-۶۵.
- [۲۲] دهقانی، امیر احمد، پیری، مهدی، حسام، موسی و دهقانی، نوید (۱۳۸۹). تخمین تبخر روزانه از تشت تبخر با استفاده از سه شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، تابع پایه شعاعی و المانی، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۷ (۲).
- [1] Xu, R., Li, X., Song, X., & Liu, G. (2007). The Analysis of Bullwhip Effect in Supply Chain Based on Strategic Alliance Integration and Innovation Orient to E-Society 1, (pp. 452-458): Springer.
- [3] Syntetos, A. A., Babai, Z., Boylan, J. E., Kolassa, S., & Nikolopoulos, K. (2016). Supply chain forecasting: Theory, practice, their gap and the future. European Journal of Operational Research, 252(1), 1-26.
- [5] Chen. Frank. Jennifer K. Ryan. David Simchi-Levi (2000). The Impact of Exponential Smoothing Forecasts on the Bullwhip Effect. NAVAL RESEARCH LOGISTICS. 47 (4), 269-286.
- [6] 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. 46 (3), 436-443.
- [7] Zhang. Xiaolong (2004). The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. International Journal of Production Economics. 88(1), 15-27.
- [8] Carboneau. Réal. Kevin Laframboise. Rustam Vahidov (2006). Application of Machine learning technique for supply chain demand forecasting. European Journal of Operational Research. 184 (3), 1140-1154.
- [9] 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. 113 (1), 193-204.
- [10] 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, 62, 458-473.
- [11] Buchmeister, B., Frscic, D., & Palcic, I. (2014). Bullwhip effect study in a constrained supply chain. Procedia Engineering, 69, 63-71.
- [12] Xun Wang. Stephen M. Disney (2016), The bullwhip effect: Progress, trends and directions, European Journal of Operational Research 250, 691–701.
- [23] Montgomery, D. C. (2008). Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons.