

ارائه یک مدل موجودی / تولید تک‌فروشنده و تک‌خریدار در حالت کمبود با لحاظ‌کردن نرخ فساد و زمان سررسید در فضای عدم قطعیت مبتنی بر تئوری دمپستر شفر

سحر مسعودی^۱، ابوالفضل میرزازاده^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۶/۰۳/۰۷، تاریخ تصویب: ۹۶/۰۳/۰۸)

چکیده

در دنیای واقعی، عدم قطعیت‌های بسیاری وجود دارد. روش‌های زیادی برای لحاظ‌کردن عدم قطعیت در نظر گرفته شده است؛ از جمله روش‌های احتمالی، روش‌های فازی، روش‌های فازی-احتمالی و همچنین روش‌های مبتنی بر تئوری گواه. روش فازی یکی از متداول‌ترین روش‌ها در برخورد با پارامترهای غیرقطعی است. با این حال، مدل‌های فازی پاسخگوی تمامی حالات عدم قطعیت از جمله اطلاعات تخصیص‌نیافته، ناتمام و بازه‌ای نیستند. از این رو، به استفاده از تئوری گواه به‌عنوان روش پیشنهادی برای مسائلی که به‌صورت بازه‌ای است و با تعداد نمونه کم نیز پاسخگوی مسئله است، توجه شده است. در این پژوهش، یک مسئله مدل موجودی پیوسته با یک فروشنده و یک خریدار در حالت کمبود ارائه شده است که در آن نرخ فساد برای کالا در نظر گرفته شده و تقاضا به‌صورت لگ نرمال به‌کار رفته است. همچنین، زمان سررسید و نرخ فساد به‌صورت غیرقطعی از نوع مبتنی بر تئوری دمپستر-شفر (تئوری گواه) در نظر گرفته شده است. هدف مدل پیشنهادی، حداقل‌کردن هزینه کل سیستم موجودی است. مدل مسئله با چندین مثال عددی حل شده و در آخر به تحلیل حساسیت مسئله پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: تئوری گواه، زمان تأمین غیرقطعی، کمبود، مدل موجودی یکپارچه، نرخ فساد غیرقطعی.

مقدمه

در سیستم‌های کنترل موجودی برخی از پارامترها قطعی نیستند و براساس توابع تصادفی تغییر می‌کنند. شاید برخی از پارامترها توسط تصمیم‌گیرنده به‌صورت مبهم توصیف شوند که این عدم قطعیت با عدم قطعیت احتمالی متفاوت است و به کمک مجموعه‌های فازی نمایش داده می‌شود. البته در بسیاری از موقعیت‌های علمی، درمورد داده‌ها از جمله پارامترهای مدل‌های موجودی این دانش وجود دارد که این پارامترها نه کاملاً فازی و نه کاملاً هیبریدی هستند، بلکه ترکیبی از هر دو نوع‌اند که می‌توانند با تئوری گواه حل شوند. این تئوری در ابتدا توسط دمپستر [۱] در سال ۱۹۶۷ با نظریه حدود بالا ارائه شد. همچنین، او قواعدی ویژه برای دو موضوع ترکیب و شرطی‌شدن احتمالات بیان کرد؛ بنابراین، در مدل

دمپستر همچنان مفهوم احتمال حفظ شده است. سپس شافر [۲] در سال ۱۹۷۶ با اصلاحاتی که روی مدل دمپستر ایجاد کرد، مفاهیم مربوط به احتمال را با مفاهیم درجات به‌شکل معقولی جایگزین کرد و موجب شکل‌گیری تئوری گواه شد. او نظریه شواهد را به‌عنوان ساختاری برای نمایش اطلاعات ناکامل و استدلال تحت عدم قطعیت فرمول‌بندی کرد. در واقع، این تئوری براساس باوری است که از شواهد نتیجه می‌شود.

نظریه گواه با در نظر گرفتن چندین تصمیم‌گیرنده و همچنین با آزادگذاشتن تصمیم‌گیرنده در اظهارنظر در رابطه با پارامترهای مدل، کار را برای تصمیم‌گیرنده راحت‌تر کرده است. همچنین، هر تصمیم‌گیرنده می‌تواند نظرهای متفاوتی را در رابطه با پارامتر مدل داشته باشد و حتی این آزادی را دارد که در برخی مواقع هیچ نظری نداشته باشد. این روش موجب می‌شود تصمیم‌گیرنده تمام

نقشی تعیین‌کننده در افزایش سود سازمانی و کاهش زیان ناشی از تصمیمات نادرست تصمیم‌گیرندگان دارند، باید در توسعه مدل‌های موجودی به آن‌ها توجه شود. می‌توان به این مدل نیز در شرکت‌هایی با کالاهای دارای نرخ فسادپذیری بالا همانند شرکت‌هایی دارویی - که فساد محصولات آن‌ها تأثیر بسزایی بر هزینه‌های آن‌ها دارد - توجه کرد.

مرور ادبیات

دمپستر تئوری گواه را در سال ۱۹۶۷ [۱] با نظریه حدود بالا و پایین ارائه داد. سپس شفر در سال ۱۹۶۷ [۲] این نظریه را با عنوان تئوری گواه به ساختاری برای نمایش اطلاعات ناکامل و استدلال تحت عدم قطعیت فرمول‌بندی کرد. بعد از آن، مدل‌های مختلفی براساس توابع اعتماد ارائه شد؛ برای مثال، کلاس و مانی با مدل هینتس [۳] و اسمیت و کنز با مدل تی بی ام [۴] سطوح معنایی متفاوتی را برای استفاده از این نظریه به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت ارائه کردند. در تی ام بی، توابع به‌عنوان میزان اعتماد در اعتقاد غیرقطعی، بدون ارجاع به هرگونه اساس احتمالاتی تفسیر می‌شوند، در حالی که مدل هینتس به مدل دمپستر نزدیک‌تر است و پایه احتمالاتی را برای توابع اعتماد در نظر می‌گیرد. به‌تازگی، در حوزه تئوری گواه پژوهش‌های بیشتری صورت گرفته است. تریانو و همکاران [۵] با استفاده از تئوری گواه عملکرد کاربران را با استفاده از آیت‌های شخصیتی آن‌ها کشف کرده‌اند. همچنین، نوع دوست و همکاران [۶] با به‌کاربردن تئوری گواه یک الگوریتم ژنتیک برای یک سیستم موجودی در حالت تورم در نظر گرفته‌اند. زمانی که تقاضا تصادفی است، زمان سررسید به موضوع شایان توجه تبدیل می‌شود. زمان سررسید کمتر موجب کاهش موجودی اطمینان و در نتیجه کمبود می‌شود. کویانگ و وو [۷] و ترسین [۸] بیان کردند زمان سررسید شامل اجزای مختلفی از جمله زمان آماده‌سازی سفارش، حمل‌ونقل سفارش، زمان راه‌اندازی و زمان تحویل است. توزیع تقاضای زمان سررسید یک آیت مهم برای زمان سررسید است. توزیع‌های مختلفی برای زمان سررسید وجود دارد، ولی توزیع لگ نرمال که تادیکامالا [۹] برای اولین بار مطرح

احتمالات موجود را در مدل پیاده کند و مدل را به دنیای واقعی شبیه‌تر کند، در حالی که در روش‌های غیرقطعی که در گذشته بیشتر مورد توجه بود، تصمیم‌گیرنده باید فقط یک توزیع احتمال ویژه یا یک تابع عضویت را به مجموعه فازی نسبت دهد که این محدودیت موجب بروز خطا و همچنین نادیده‌گرفتن بعضی از احتمالات در مدل می‌شود. همچنین، روش فازی پارامترهای کیفی را به کمی تبدیل می‌کند که برای این کار به داده با تعداد نمونه بالا نیاز است، ولی روش تئوری گواه توانایی حل مسئله با تعداد داده‌های نمونه کم و همچنین قابلیت پاسخگویی به اطلاعات مبهم تخصیص نیافته را دارد. با توجه به رقابت شدید بازار جهانی، شرکت‌ها به دنبال فناوری و راهبردهای جدید هستند تا هزینه‌ها را کاهش دهند و در بازارهای جهانی رقابت بهتری داشته باشند؛ بنابراین، سیستم موجودی یکپارچه با یک فروشنده و خریدار در حالت گواه، مسئله‌ای مهم و قابل بررسی است. همچنین، در مسائل کنترل موجودی دو مسئله وجود دارد: تعیین سطح اطمینان و تعیین مقدار بهینه برای جلوگیری از کمبود. برای تعیین مقدار بهینه به زمان سررسید تقاضا نیاز است که برای تقاضا زمان سررسید توزیع‌های مختلفی مانند گاما، وایبول، بور، پیرسن و... وجود دارد، ولی این توزیع‌ها به دلیل کاربرد محدود و پیچیدگی در تخمین پارامتر، توزیع‌های مناسبی برای این مدل نیستند. به همین دلیل، توزیع زمان سررسید به صورت لگ نرمال - که به‌آسانی و بدون استفاده از جدول‌ها و روش‌های عددی از روش‌های حداکثر احتمالی به دست می‌آید - به‌کار برده شده است.

در این پژوهش، یک مدل جدید سیستم موجودی با در نظر گرفتن یک مصرف‌کننده و یک تولیدکننده با در نظر گرفتن کمبود و نرخ فساد مدل‌سازی شده است. به دلیل عدم قطعیت در زمان تحویل محصول و نرخ فساد غیرقطعی از تئوری گواه (دمپستر-شفر) برای حل مسئله استفاده شده است. همچنین، تقاضای محصول توسط مصرف‌کننده به صورت لگ نرمال در نظر گرفته شده است. از آنجاکه تعیین اندازه انباشته اقتصادی، زمان تحویل، نرخ فساد و هزینه‌های مؤثر بر سیستم موجودی از جمله راهبردهای مهم در کنترل موجودی به‌شمار می‌روند و

[۲۱] یک مدل کلی از مدل پان و یانگ ارائه دادند که در آن مواد انباشته از تولیدکننده به مصرف‌کننده به صورت دسته‌های نابرابر یا برابر انتقال داده می‌شود. کویانگ و همکاران [۲۲] مدل پان و یانگ [۲۳] را با در نظر گرفتن کمبود و نقطه سفارش مجدد به عنوان متغیر تصمیم در یک مدل یکپارچه ارائه دادند که در آن سود خالص بین هر دو قسمت به صورت عادلانه به اشتراک گذاشته می‌شود. میرزازاده [۲۴] مقایسه بین مدل‌های ریاضی در شرایط غیرقطعی در سیستم موجودی را بررسی کرد. جی‌ها و شانکر [۲۵] یک مدل موجودی با یک تولیدکننده و یک خریدار با زمان سررسید قابل کنترل و محدودیت فضا با در نظر گرفتن نرخ فساد ارائه دادند. لین در سال ۲۰۱۲ [۲۶] یک سیاست موجودی پیوسته فروشنده-خریدار با مدل دوره‌ای پیوسته با در نظر گرفتن اقلام معیوب و توزیع آزاد تقاضا ارائه دادند که کمبود در آن جایز است و به دنبال کاهش هزینه‌هاست. جی‌ها و شانکر در سال ۲۰۱۳ [۲۷] یک مدل موجودی-تولید یکپارچه با یک فروشنده و چند خریدار با زمان تدارک قابل کنترل و محدودیت سطح خدمات در نظر گرفته‌اند که در آن تقاضا به صورت نرمال بوده است.

شاهپور و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۲۸] یک مدل موجودی یکپارچه خریدار-فروشنده با زمان سررسید قابل کنترل و کاهش هزینه‌های سفارش‌دهی و محدودیت سطح خدمات در نظر گرفته‌اند که در آن کاهش هزینه‌های سفارش‌دهی و زمان سررسید به دو فاکتور زمان سررسید کوتاه‌شده و مقدار سفارش وابسته است. ماندال و گیری در سال ۲۰۱۵ [۲۹] مدل موجودی یکپارچه تک فروشنده با چند خریدار با زمان سررسید قابل کنترل و بهبود کیفیت با کاهش آیت‌های معیوب را در نظر گرفته‌اند که در آن تقاضا وابسته به قیمت فروش و زمان سررسید تقاضا برای هر خریدار به صورت نرمال فرض شده است. همچنین، شانکر و همکاران [۲۵] یک مدل موجودی با یک تولیدکننده و یک خریدار با زمان سررسید قابل کنترل و محدودیت فضا با در نظر گرفتن نرخ فساد در نظر گرفتند. فازا و همکاران [۳۰] سیاست موجودی-تولید را برای یک سیستم یکپارچه یک تولیدکننده و چند خریدار برای شرکت مواد غذایی با افت کیفیت محصول ارائه دادند. جن لین [۳۱]

کرد، به دلیل محاسبات کمتری که نسبت به سایر توزیع‌ها مانند گاما دارد، کاربرد بیشتری دارد. اولین تلاش برای مدل موجودی سفارش بهینه توسط گاره و اسکادر [۱۰] صورت پذیرفت آن‌ها یک مدل موجودی با نرخ فساد ارائه دادند. وی و یانگ [۱۱] یک مدل سیاست اقتصادی سفارش یکپارچه برای تولیدکننده و مصرف‌کننده ارائه دادند. همچنین، وو و وی [۱۲] پژوهش وی و یانگ را گسترش دادند و در سال ۲۰۰۲ سیاست موجودی یک تولیدکننده و چند مصرف‌کننده همراه با نرخ فساد و تولید و تقاضای ثابت را ارائه دادند. ژو و وانگ [۱۳] یک مدل موجودی برای نرخ فساد در حالت تک تولیدکننده و تک مصرف‌کننده در نظر گرفتند. جولای و همکاران [۱۴] یک مدل کنترل موجودی اقلام زوال‌پذیر با دوره عمر تصادفی برای یک سیستم دمرحله‌ای تولید-توزیع ارائه دادند. مهدوی و همکاران [۱۵] مدل کنترل موجودی برای کالاهای فسادپذیر را با در نظر گرفتن تخفیف مقداری از سوی فروشنده و همچنین مجازبودن کمبود، زمانی که نرخ تقاضا به صورت ثابت سالانه است، بررسی کردند. در بسیاری از مدل‌های موجودی پذیرش کمبود پس‌افت روی زمان انتظار تا بازسازی بعدی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، نرخ پس‌افت متغیر است و به زمان انتظار تا بازسازی بعدی وابسته است. وی و هانگ [۱۶] در حالت کمبود پس‌افت ناقص مدلی برای کالاهای فسادپذیر با توزیع وایبول در حالت تورم پیشنهاد دادند. ابتدا گویال [۱۷] مفهوم بهینه‌سازی مشترک برای خریدار و فروشنده را مطرح کرد. همچنین، وی در سال ۱۹۹۵ سیاست انباشته-انباشته را ارائه داد و بیان کرد مقدار سفارش اقتصادی تولیدکننده باید مضر صحیحی از تولید اقتصادی باشد که موجب کاهش شایان توجه هزینه‌های موجودی می‌شود. سپس پان و یانگ [۱۸] با در نظر گرفتن زمان سررسید به عنوان یک عامل قابل کنترل مدل را بهبود دادند که موجب کاهش هزینه مورد انتظار و زمان کوتاه‌تر شد.

گویال [۱۹] یک روش ساده برای تعیین سیاست عملکرد بهینه برای مدل پان و یانگ ارائه داد. کویانگ و همکاران [۲۰] با در نظر گرفتن مدل موجودی یکپارچه فروشنده-خریدار با تقاضای احتمالی، زمان سررسید قابل کنترل و دو محدودیت آن را گسترش داد. گویال و هوک

انحراف معیار میانگین تقاضای خریدار	θ_1	مسئله کاهش زمان سررسید برای سیستم زنجیره تأمین
میانگین میانگین‌های تقاضای خریدار	λ_1	یکپارچه فروشنده-خریدار با کمبود پس‌افت جزئی و زمان
هزینه کمبود	π	تحویل احتمالی را بررسی کرد. چان و همکاران [۳۲] مدل
هزینه تولید متحمل شده توسط فروشنده	C_v	تولید-موجودی یکپارچه برای اقلام فاسدشده را با
هزینه نگهداری توسط فروشنده	H_v	در نظر گرفتن نرخ تولید بهینه و فساد در طول تحویل ارائه
مقدار تولید	p	دادند. حسینی و همکاران [۳۳] سیاست بهینه یک
تعداد سیکل تولیدی	N	فروشنده یک خریدار را- که در آن زمان تحویل متغیر
موجودی اطمینان	SS	تصادفی با تابع توزیع عمومی است و هزینه جریمه برای

مفروضات

- سطح موجودی اولیه صفر است.
 - کمبود مجاز و به‌صورت پس‌افت کامل است.
 - افق زمانی نامحدود است.
 - زمان تحویل و نرخ فساد غیرقطعی و به‌صورت گواه است.
 - تقاضای زمان تحویل به‌صورت لگ نرمال است.
 - سیستم موجودی سلامت به‌صورت پیوسته است.
- در این مدل، D تقاضا در واحد زمان، از توزیع لگ نرمال پیروی می‌کند، $(D \sim \ln(\lambda, \theta^2))$ به شرطی که $\ln(D) \sim N(\lambda, \theta^2)$ برقرار باشد. توزیع لگ نرمال تقاضا به شرح زیر است:

$$f_D(d) = \frac{1}{d\theta\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(\ln d - \lambda)^2}{2\theta^2}\right), d > 0 \quad (1)$$

برای هر $\theta^2 > 0$ میانگین مورد انتظار و واریانس به ترتیب برابر است با:

$$E(D) = \exp(\lambda + 0.5\theta^2) \quad (2)$$

$$Var(D) = (\exp(\theta^2) - 1)\exp(2\lambda + \theta^2) \quad (3)$$

L زمان تحویل برای مصرف‌کننده. توزیع تقاضای زمان تحویل از مجموع L متغیرهای مستقل یکسان توزیع لگ نرمال تصادفی مطابق زیر به‌دست می‌آید:

$$X = \sum_{i=1}^L D_i \quad (4)$$

که در رابطه ۴، برای هر $(\lambda_1, \theta_1^2) \sim \ln(D_1)$ میانگین و واریانس برابر با رابطه ۲ و ۳ است. در نتیجه، میانگین تقاضای زمان تحویل X برابر است با $E(x) = L \cdot E(D_1)$ و واریانس آن برابر است با

در این مقاله، یک مسئله سیستم موجودی با یک فروشنده و یک خریدار در نظر گرفته شده است. فروشنده پس از دریافت سفارش کالا، محصول مورد نیاز خریدار را تهیه و در زمان مورد نظر به مشتری ارسال می‌کند. با توجه به عدم قطعیت در زمان ارسال محصول توسط فروشنده و نامعلوم بودن میزان دقیق نرخ فساد، این دو پارامتر به‌عنوان پارامترهای غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند.

تعریف مسئله

در این مقاله، یک مسئله سیستم موجودی با یک فروشنده و یک خریدار در نظر گرفته شده است. فروشنده پس از دریافت سفارش کالا، محصول مورد نیاز خریدار را تهیه و در زمان مورد نظر به مشتری ارسال می‌کند. با توجه به عدم قطعیت در زمان ارسال محصول توسط فروشنده و نامعلوم بودن میزان دقیق نرخ فساد، این دو پارامتر به‌عنوان پارامترهای غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند.

مدل‌سازی مسئله

پارامترها

پارامترهای مرتبط با مسئله سیستم موجودی تک فروشنده و تک خریدار پیشنهادی به شرح زیر است.

T	زمان کل سیکل
r	نقطه سفارش خریدار
θ	نرخ فساد
H_b	هزینه نگهداری خریدار در واحد زمان
C_b	هزینه خرید توسط خریدار
A	هزینه سفارش‌دهی خریدار
S	هزینه راه‌اندازی فروشنده
D	میانگین تقاضای خریدار
L	زمان تحویل برای خریدار

$$(X + \mu L - R) = \int_r^{\infty} (e^{z\theta_x + \lambda_x} - e^{r\theta_x + \lambda_x}) f(z) dz \quad (13)$$

$$= e^{\lambda_x + \frac{\theta_x^2}{2}} \Phi(\theta - r) - e^{\lambda_x + r\theta_x} \Phi(-r)$$

با توجه روابط ذکر شده، هزینه مورد انتظار خریدار به

ازای هر واحد کالا در واحد زمان برابر است:

$$TEC_c(s, T, L) = \frac{A}{T} + \frac{h_c C_c + C_c \theta}{T \theta} \left[\frac{D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right)}{\theta} \right] \quad (14)$$

$$+ \frac{\pi}{T} \left[e^{\lambda_x + \frac{\theta_x^2}{2}} \Phi(\theta - r) - e^{r\theta_x + \lambda_x} \Phi(-r) \right]$$

همچنین، هزینه مورد انتظار فروشنده به ازای هر واحد

کالا در واحد زمان برابر است:

$$TEC_p(s, T, L) = \frac{S}{NT} + \left\{ \frac{\frac{p}{N} \ln \left[\frac{D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right)}{P - \left(D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right) \right) (e^{\theta T} - 1)} + 1 \right]}{\theta^2 T} \right\} \quad (15)$$

$$\left[- \left(D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right) \right) (e^{\theta T} - 1) \right]$$

هزینه کل برابر با مجموع هزینه‌های خریدار و

فروشنده مطابق رابطه ۱۶ است:

$$TEC_c(s, T, L) = \frac{A}{T} + \frac{h_c C_c + C_c \theta}{T \theta} \left[\frac{D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right)}{\theta} \right] \quad (16)$$

$$+ \frac{\pi}{T} \left[e^{\lambda_x + \frac{\theta_x^2}{2}} \Phi(\theta - r) - e^{r\theta_x + \lambda_x} \Phi(-r) \right] + \frac{S}{NT} + \frac{h_p C_p + C_p \theta}{\theta^2 T}$$

$$\left\{ \frac{\frac{p}{N} \ln \left[\frac{D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right)}{P - \left(D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right) \right) (e^{\theta T} - 1)} + 1 \right]}{\theta^2 T} \right\}$$

$$\left[- \left(D + \theta \left(e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}} \right) \right) (e^{\theta T} - 1) \right]$$

که داریم:

$$\theta_x^2 = \ln \left(\frac{\exp(\theta_x^2) - 1}{L} + 1 \right)$$

$$\lambda_x = \ln(L \cdot \exp(\lambda_x)) + \frac{\theta_x^2}{2} - \frac{\theta_x}{2}$$

$\text{Var}(x) = L \cdot \text{Var}(D_1)$ با توجه به تخمین فنتن-

ویلیکینسون تقاضای زمان تحویل از توزیع لگ نرمال با

پارامترهای λ_x و θ_x^2 پیروی می‌کند؛ بنابراین:

$$L \cdot E(D_1) = \exp(\lambda_x + 0.5\theta_x^2) \quad (5)$$

$$L \cdot \text{Var}(D_1) = (\exp(\theta_x^2) - 1) \quad (6)$$

$$\exp(2\lambda_x + \theta_x^2)$$

با حل رابطه ۵ و ۶، مقدار λ_x و θ_x^2 برابر است با:

$$\theta_x^2 = \ln \left(\frac{\exp(\theta_x^2) - 1}{L} + 1 \right) \quad (7)$$

$$\lambda_x = \ln(L \cdot \exp(\lambda_x)) + \frac{\theta_x^2}{2} - \frac{\theta_x}{2} \quad (8)$$

با در نظر گرفتن توزیع تقاضای زمان تحویل و طول

زمان تحویل احتمال کمبود برابر است با:

$$P(X + \mu L > R) = \int_{R - \mu L}^{\infty} f(x) dx = a \quad (9)$$

با در نظر گرفتن نقطه $r = \frac{\ln(R - \mu L) - \lambda_x}{\theta_x}$ سفارش مجدد برای سیستم برابر است با:

$$R = \mu L + e^{r\theta_x + \lambda_x} \quad (10)$$

سطح موجودی مورد انتظار در پایان دوره برابر است با

$$R - E(X) - \mu L = e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}}$$

انتظار در شروع دوره بعدی برابر است با

$$Q + R - E(X) - \mu L = Q + e^{r\theta_x + \lambda_x} - e^{\lambda_x + \frac{\theta_x}{2}}$$

به دلیل تصادفی بودن تقاضا، کمبود زمانی اتفاق می‌افتد

که مجموع تقاضا در دوره زمان تحویل و کالا در شروع

دوره تحویل بزرگ‌تر از نقطه سفارش مجدد کالا باشد.

در نتیجه، میزان کمبود یک متغیر تصادفی مطابق با رابطه

۱۱ است:

$$(X + \mu L - R) = \max(X + \mu L - R, 0) \quad (11)$$

$$= \begin{cases} X + \mu L - R, & X \geq R - \mu L \\ 0 & X \leq R - \mu L \end{cases}$$

در نتیجه داریم:

$$(X + \mu L - R) = \int_{R - \mu L}^{\infty} (X - (R - \mu L)) f(x) dx \quad (12)$$

با در نظر گرفتن $r = \frac{\ln(R - \mu L) - \lambda_x}{\theta_x}$ و

$$z = \frac{\ln x - \lambda_x}{\theta_x}$$

به رابطه ۱۲ به رابطه ۱۳ تبدیل می‌شود:

روش حل

$$m_H = 1 - \sum_{p=0}^N \sum_{q=p}^N w_{11} \beta_{pq}^{(l_1)} \quad (18)$$

$$= 1 - w_{11} \sum_{p=0}^N \sum_{q=p}^N \beta_{pq}^{(l_1)} = 1 - w_{11} \quad (19)$$

$$n_{pq} = w_{12} \beta_{pq}^{(l_2)}, p=0, \dots, N; q=p, \dots, N \quad (19)$$

$$n_H = 1 - \sum_{p=0}^N \sum_{q=p}^N w_{12} \beta_{pq}^{(l_2)} \quad (20)$$

$$= 1 - w_{12} \sum_{p=0}^N \sum_{q=p}^N \beta_{pq}^{(l_2)} = 1 - w_{12}$$

جرم احتمال پایه است بایستی توجه داشت که

جرم احتمال تخصیص یافته به کل مجموعه یعنی $m_{H,i}$ میزان احتمال عدم تخصیص به هیچ کدام از رتبه‌های ارزیابی به صورت منحصر به فرد تعریف می‌شود. این جرم به دو قسمت تقسیم می‌شود: n_{pq} و n_H اولین قسمت از مجموع احتمال باقی مانده تخصیص نیافته به رتبه‌های ارزیابی به سبب نقص در ارزیابی آن است. n_H دومین قسمت از مجموع احتمال باقی مانده است که به این سبب که معیارها در یک ارزیابی تنها به تناسب و نشان نقش ایفا می‌کنند، به رتبه‌های منحصر به فرد تخصیص داده نشده است.

بر اساس تئوری گواه دمپستر-شفر، برای تولید مجموعه‌ای از حجم معادلات مشترک، معادلات ۱۷-۲۰ ترکیب می‌شوند و مجموعه‌ای مطابق رابطه ۲۱-۲۳ پدید می‌آورند.

$$C_{pq} = \frac{1}{1-K} \left[\sum_{s=0}^p \sum_{t=q}^N (m_{st} n_{pq} + m_{pq} n_{st}) + \sum_{s=0}^{p-1} \sum_{t=q+1}^N (m_{sq} n_{pt} + m_{pt} n_{sq}) \right] \quad (21)$$

$$+ \frac{1}{1-K} [m_H n_{pq} + m_{pq} n_H - m_{pq} n_{pq}]$$

$$, p=0, \dots, N; q=p, \dots, N$$

$$K = \sum_{p=0}^N \sum_{q=p}^N \sum_{s=0}^{p-1} \sum_{t=q+1}^N (m_{st} n_{pq} + m_{pq} n_{st}) \quad (22)$$

$$C_H = \frac{m_H n_H}{1-K} \quad (23)$$

روش ذکر شده برای همه ترکیبات انجام می‌گیرد.

را X_H و $X_{pq} (p=0, \dots, N; q=p, \dots, N)$ آخرین ترکیب روش تئوری گواه در نظر بگیرید. δ_{pq} به عنوان ترکیب ساختار فوق، طبق رابطه ۲۴ محاسبه می‌شود:

در شرایط واقعی، زمان تحویل معمولاً به دلیل عدم قطعیت تقاضا تغییر می‌کند و همچنین نرخ فساد نامشخص است. در این پژوهش، روش تئوری گواه برای پیش‌بینی زمان تحویل و نرخ فساد در سیستم موجودی به کار رفته است. در این روش L تصمیم‌گیرنده $w_l > 0, (l=0, \dots, L)$ تعریف شده است؛ به طوری که در آن مجموع وزن‌های تصمیم‌گیرنده‌ها برابر ۱ است، $\sum_{l=1}^L w_l = 1$.

فرض کنید $\{(L_{pq}, \beta_{pq}^{(l)}), p=0, \dots, N; q=p, \dots, N\}$ یک ساختار فراهم آمده از L تصمیم‌گیرنده برای پیش‌بینی زمان تحویل L_{pq} است که $L_{pp}, p=0, \dots, N$ مقدار زمان تحویل پیش‌بینی بین‌بینی است و $L_{pq}, p=0, \dots, N; q=p+1, \dots, N$ فاصله بین L_{pp} و L_{qq} است. همچنین، درجه تخصیص یافته به پیش‌بینی زمان تحویل است. در این پژوهش، ۶ مقدار

$L_0, L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$ و ۱۵ فاصله احتمال $L_0 - L_1, L_0 - L_2, L_0 - L_3, L_0 - L_4, L_0 - L_5, L_1 - L_2, L_1 - L_3, L_1 - L_4, L_1 - L_5, L_2 - L_3, L_2 - L_4, L_2 - L_5, L_3 - L_4, L_3 - L_5, L_4 - L_5$ در نظر گرفته شده است. ماتریس زیر همه پیش‌بینی‌های تقاضا را نشان می‌دهد.

$$L = \begin{bmatrix} L_{00} & L_{01} & L_{02} & L_{03} & L_{04} & L_{05} \\ & L_{11} & L_{12} & L_{13} & L_{14} & L_{15} \\ & & L_{22} & L_{23} & L_{24} & L_{25} \\ & & & L_{33} & L_{34} & L_{35} \\ & & & & L_{44} & L_{45} \\ & & & & & L_{55} \end{bmatrix}$$

به هر یک از این زمان‌های تحویل درجه احتمال توسط تصمیم‌گیرنده‌ها به صورت روبرو $\{(L_{pq}, \beta_{pq}^{(l)}), p=0, \dots, N; q=p, \dots, N\}$ و $\{(L_{pq}, \beta_{pq}^{(l_2)}), p=0, \dots, N; q=p, \dots, N\}$ تخصیص می‌یابد سپس درجات اطمینان به وسیله ضرب در اوزان مرتبطشان به جرم‌های احتمال پایه تبدیل می‌شوند که در روابط ۲۰-۱۷ نشان داده شده‌اند.

$$m_{pq} = w_{11} \beta_{pq}^{(l_1)}, p=0, \dots, N; q=p, \dots, N \quad (17)$$

نتایج آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

برای حل مدل سیستم موجودی پیشنهادی، ابتدا برای حل زمان تحویل چهار تصمیم‌گیرنده با ضرایب وزنی $w_l = (0.2, 0.4, 0.3, 0.1), l = 1, \dots, 4$ در نظر گرفته شده است. در زیر مقدار زمان تحویل پیش‌بینی و همچنین نرخ فساد ارائه شده است.

$$\begin{aligned} L_{00} &= 3 \\ L_{03} &= 3-6 \\ L_{11} &= 4 \\ L_{14} &= 4-7 \\ L_{23} &= 5-6 \\ L_{33} &= 6 \\ L_{44} &= 7 \\ \theta_{55} &= 0.06 \\ \theta_{02} &= 0.01-0.03 \\ \theta_{05} &= 0.01-0.06 \\ \theta_{13} &= 0.02-0.04 \\ \theta_{22} &= 0.03 \\ \theta_{25} &= 0.03-0.06 \\ \theta_{35} &= 0.04-0.06 \end{aligned}$$

$$\delta_{pq} = \frac{X_{pq}}{1-X_h}, p=0, \dots, N; q=p, \dots, N \quad (24)$$

در نهایت، حد بالا و پایین زمان تحویل طبق تئوری مطابق با رابطه ۲۵ به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} L^{MIN} &= \sum_{p=0}^N \sum_{q=p}^N \delta_{pq} L_p \\ L^{MAX} &= \sum_{p=0}^N \sum_{q=p}^N \delta_{pq} L_q \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} L_{01} &= 3-4 & L_{02} &= 3-5 \\ L_{04} &= 3-7 & L_{05} &= 3-8 \\ L_{12} &= 4-5 & L_{13} &= 4-6 \\ L_{15} &= 4-8 & L_{22} &= 5 \\ L_{24} &= 5-7 & L_{25} &= 5-8 \\ L_{34} &= 6-7 & L_{35} &= 6-8 \\ L_{45} &= 7-8 & L_{55} &= 8 \\ \theta_{00} &= 0.01 & \theta_{01} &= 0.01-0.02 \\ \theta_{03} &= 0.01-0.04 & \theta_{04} &= 0.01-0.05 \\ \theta_{11} &= 0.02 & \theta_{12} &= 0.02-0.03 \\ \theta_{14} &= 0.02-0.05 & \theta_{15} &= 0.02-0.06 \\ \theta_{23} &= 0.03-0.04 & \theta_{24} &= 0.03-0.05 \\ \theta_{33} &= 0.04 & \theta_{34} &= 0.04-0.05 \\ \theta_{44} &= 0.05 & \theta_{45} &= 0.05-0.06 \end{aligned}$$

بازه‌ای (۱۳۶۸، ۰/۰۶، ۴/۷۶۳۳۴۷) و نرخ فساد نیز برابر با مقدار بازه (۰/۰۳۵۴۳، ۰/۰۲۷۶۳۳) به دست آمده است. در نتیجه، هزینه کل سیستم موجودی نیز به صورت یک بازه به دست می‌آید. سایر پارامترهای مسئله در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای به کار رفته در مسئله

P	۱۵۰۰	S	۴۰۰
C_b	۲۰	A	۲۵
π	۴۰۰	C_v	۲۵
λ_i	۳	H_v	۰/۲
θ_i	۰/۳	θ	(۰/۰۲۷، ۰/۰۳۵)
L	(۴/۷۶، ۵/۶۰)	r	۳
D	۱۰۰۰	T	۰/۰۵

همچنین، درجه تخصیص یافته به هر پیش‌بینی توسط تصمیم‌گیرنده‌ها برای زمان تحویل به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} w_1 &= (3, 0.15), (4, 0.25), (5, 0.35), (6, 0.1), (7, 0.15) \\ w_2 &= (3, 0.2), (4, 0.5), (6, 0.2), (8, 0.1) \\ w_3 &= (3, 0.05), (4, 0.5), (5, 0.2), (6, 0.2), (8, 0.1) \\ w_4 &= (3, 0.2), (4, 0.15), (5, 0.05), (6, 0.3), (7, 0.3) \end{aligned}$$

همچنین، درجه تخصیص یافته به هر پیش‌بینی توسط تصمیم‌گیرنده‌ها برای نرخ فساد مشابه زمان تحویل بوده است.

$$\begin{aligned} w_1 &= (0.01, 0.15), (0.02, 0.25), (0.03, 0.35), (0.04, 0.1), (0.05, 0.15) \\ w_2 &= (0.01, 0.2), (0.02, 0.5), (0.04, 0.2), (0.06, 0.1) \\ w_3 &= (0.01, 0.05), (0.02, 0.5), (0.03, 0.2), (0.04, 0.2), (0.06, 0.1) \\ w_4 &= (0.01, 0.2), (0.02, 0.15), (0.03, 0.05), (0.04, 0.3), (0.05, 0.3) \end{aligned}$$

پس از استفاده از روابط ذکر شده در روش حل کران بالا و پایین زمان تحویل با توجه به رابطه ۲۵ برابر با مقدار

گرفته شده است که به اندازه ۱۰ درصد، ۵۰ درصد و ۹۰ درصد کم و زیاد شده‌اند. ابتدا مسئله فقط با در نظر گرفتن تغییرات T و سپس با در نظر گرفتن تغییرات r و T حل شده است. در جدول ۳، هزینه کل حاصل از حل این مدل به ترتیب در حالت اول فقط برای تعداد (۳) سیکل تولیدی نشان داده می‌شود.

طبق جدول ۳، با افزایش زمان کل سیکل به میزان ۱۰ درصد هزینه کل سیستم موجودی در بازه‌ای کمتر از حالت مبدأ قرار می‌گیرد که در غیر این صورت هزینه افزایش می‌یابد. در شکل‌های ۱ تا ۳، میانگین بازه‌های هزینه‌های سیستم موجودی شامل هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های راه‌اندازی و هزینه کل سیستم موجودی در تعداد سیکل ۳، ۴ و ۵ نشان داده می‌شود.

هزینه کل سیستم موجودی به دست آمده از حل مسئله با احتساب تعداد سیکل تولیدی چهار دوره، مقدار بازه‌ای به دست آمده، عدم قطعیت در زمان تحویل و نرخ فساد است که پس از استفاده از رابطه ۲۵ این پارامترهای غیرقطعی نیز به صورت بازه‌ای به دست آمده‌اند. هزینه‌های سیستم موجودی به شرح جدول ۲ به دست آمده است.

سایر هزینه‌های سیستم موجودی نیز مقادیر بازه‌ای به خود گرفته‌اند که دلیل آن نیز عدم قطعیت در مقدار زمان تحویل و نرخ فساد است.

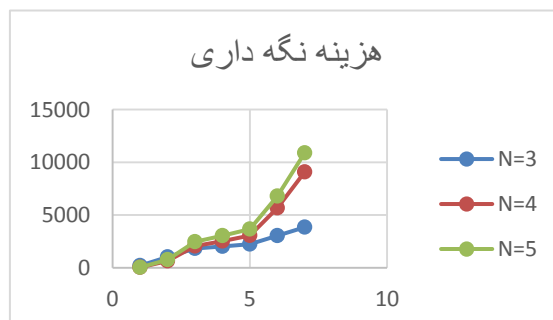
برای انجام دادن تحلیل حساسیت روی سیستم موجودی، مقدار N تعداد سیکل تولیدی برابر با ۳، ۴ و ۵ در نظر گرفته شده است. همچنین، مقادیر زمان کل سیکل T و نقطه سفارش مشتری r به صورت متغیر در نظر

جدول ۲. هزینه‌های سیستم موجودی

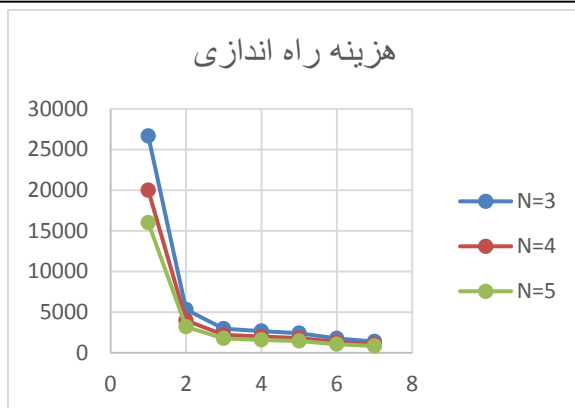
(۱۷۱۸/۶، ۱۸۰۰/۹۳۷)	هزینه کل نگهداری مشتری
(۲۵۰۹۲/۰۵، ۲۵۱۳۹/۰۴)	هزینه کل نگهداری فروشنده
۲۰۰	هزینه راه‌اندازی فروشنده
(۵۰/۵۰، ۵۴/۰۱)	موجودی اطمینان

جدول ۳. هزینه کل سیستم کنترل موجودی در حالت اول

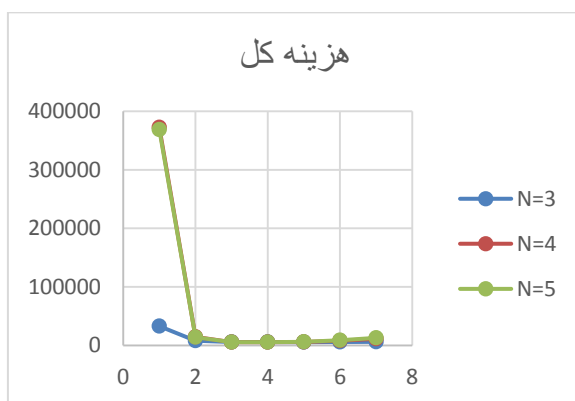
هزینه کل سیستم موجودی	میزان درصد تغییرات T
(۳۲۸۴۱/۴۸، ۳۲۹۰۶۰/۰)	-۹۰
(۷۸۳۷/۲۳، ۷۸۷۹/۷۸)	-۵۰
(۵۸۲۸/۰۷، ۵۸۷۲/۰۷)	-۱۰
(۵۶۸۵/۱۱، ۵۷۲۹/۸۴)	مقدار پایه
(۵۶۰۷/۸۴، ۵۶۳۳/۰۱)	+۱۰
(۵۶۸۹/۰۲، ۵۷۳۸/۸۸)	+۵۰
(۶۱۰۰، ۶۱۵۳/۹۸۱)	+۹۰



شکل ۱. هزینه نگهداری در حالت تغییرات T



شکل ۲. هزینه راه اندازی در حالت تغییرات T



شکل ۳. هزینه کل سیستم موجودی در حالت تغییرات T

با توجه به شکل های ۱ تا ۳، هزینه نگهداری با افزایش تعداد سیکل تولیدی افزایش می یابد، درحالی که با افزایش تعداد سیکل تولیدی، هزینه راه اندازی کاهش می یابد. درکل، هزینه سیستم موجودی به ازای تعداد سیکل تولیدی ۴ است و در صورتی که زمان کل سیکل ۱۰ درصد نسبت به مقدار بیان شده افزایش یابد، هزینه کل سیستم موجودی کمترین مقدار را دارد. همچنین، در این حالت هزینه بازه ای برابر با ۵۶۰۰/۷۸۵، ۵۵۵۴/۴۷۸ به دست

آمده است.

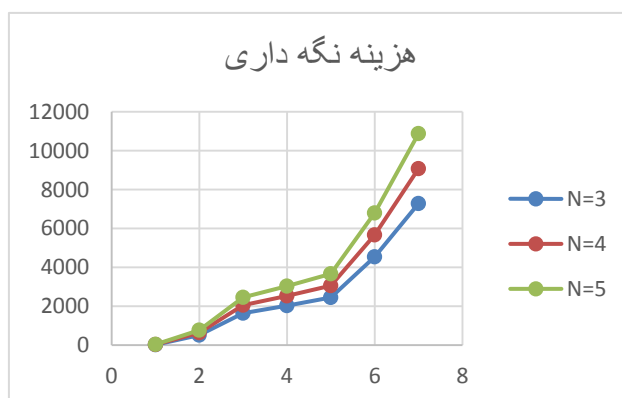
در حالت دوم، با انجام دادن تغییرات در مقدار زمان کل سیکل و همچنین نقطه سفارش مشتری، سیستم موجودی بررسی شده است. در این حالت نیز مقادیر پارامتر ذکر شده ۱۰ درصد، ۵۰ درصد و ۹۰ درصد کم و زیاد شده اند. در جدول ۴، هزینه کل حاصل از حل این مدل به ترتیب در حالت دوم فقط برای تعداد ۳ سیکل تولیدی (N=3, N=4, N=5) نشان داده می شود.

جدول ۴. هزینه کل سیستم کنترل موجودی در حالت دوم

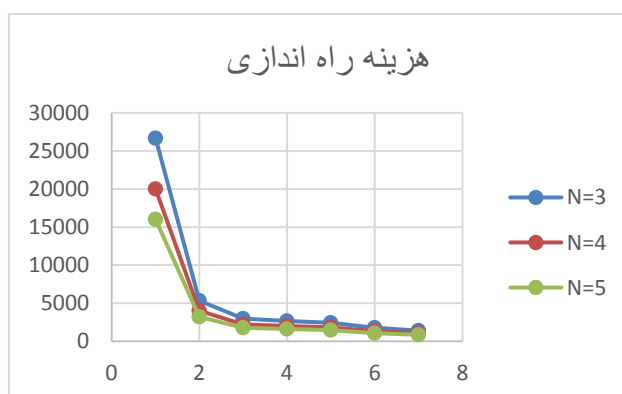
هزینه کل سیستم موجودی	میزان درصد تغییرات T و r
(۳۶۶۵۵۹/۸، ۳۹۲۱۰۳/۴)	-۹۰
(۱۵۵۲۰/۹۴، ۱۶۰۰/۸۹)	-۵۰
(۵۷۳۶/۵۹، ۵۷۸۴/۰۱)	-۱۰
(۵۶۸۵/۱۱، ۵۷۲۹/۸۴)	مقدار پایه
(۵۸۲۴/۹۲، ۵۸۷۱/۷۶)	+۱۰
(۷۳۴۸/۸۲، ۷۴۱۲/۹۹)	+۵۰
(۹۸۹۰/۷۲، ۹۹۷۴/۰۵)	+۹۰

نگهداری، هزینه‌های راه‌اندازی و هزینه کل سیستم موجودی را در حالتی که زمان کل سیکل و نقطه سفارش مجدد و به صورت توأم تغییر می‌کند در تعداد سیکل تولیدی ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهند.

جدول ۲ هزینه سیستم موجودی را در حالت دوم زمانی که زمان کل سیکل و نقطه سفارش مشتری تغییر می‌کند، نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، هزینه کل سیستم موجودی زمانی که پارامترهای مذکور تغییر نکنند، در کمترین مقدار خود قرار دارد. شکل ۴ تا ۶ هزینه‌های



شکل ۴. هزینه نگهداری در حالت تغییرات r و T



شکل ۵. هزینه راه‌اندازی در حالت تغییرات r و T



شکل ۶. هزینه کل سیستم موجودی در حالت تغییرات T

چندین مسئله نمونه دیگر بررسی می شود. در نتیجه، پنج مسئله نمونه طبق پارامترهای جدول ۵ به صورت تصادفی و با توزیع نرمال ایجاد و نتایج محاسباتی نشان داده شده است.

جدول ۶ هزینه کل سیستم موجودی را برای هر مسئله نمونه به تفکیک نشان می دهد.

با توجه به شکل های ۴ تا ۶، هزینه نگهداری با افزایش تعداد سیکل تولیدی افزایش می یابد، در حالی که با افزایش تعداد سیکل تولیدی، هزینه راه اندازی کاهش می یابد. در کل، هزینه سیستم موجودی به ازای تعداد سیکل تولیدی ۵ و در صورتی که زمان کل سیکل ۱۰ درصد نسبت به مقدار بیان شده افزایش یابد، به کمترین مقدار می رسد. پس از ارزیابی و تحلیل یک مثال کامل از مدل،

جدول ۵. پارامترهای به کاررفته در مسئله

P	~(۱۵۰۰-۱۸۰۰)	S	~(۴۰۰-۵۰۰)
C_b	~(۲۰-۳۰)	A	~(۲۵-۴۰)
π	~(۴۰۰-۵۰۰)	C_v	~(۲۵-۴۰)
λ_i	~(۳-۴)	H_v	~(۰/۲, ۰/۳)
θ_i	~(۰/۳, ۰/۴)	θ	(۰/۰۲۷, ۰/۰۳۵)
L	(۴/۷۶, ۵/۶۰)	r	~(۳-۴)
D	~(۱۰۰۰-۱۵۰۰)	T	~(۰/۰۵, ۰/۰۷)

جدول ۶. هزینه های سیستم موجودی

مسئله نمونه	هزینه	مقدار تابع هدف
۱	هزینه کل نگهداری مشتری	(۱۸۴۱/۸۰, ۱۸۵۶/۰۸)
	هزینه کل نگهداری فروشنده	(۲۵۶۶۴/۸۴, ۲۵۷۵۸/۷۷)
	هزینه راه اندازی فروشنده موجودی اطمینان	۲۲۰ (۵۴/۳۹, ۵۴/۹۰)
۲	هزینه کل نگهداری مشتری	(۱۷۵۵, ۱۸۵۴/۰۴)
	هزینه کل نگهداری فروشنده	(۲۵۱۲۵/۴۷, ۲۵۶۵۵/۸۶)
	هزینه راه اندازی فروشنده موجودی اطمینان	۲۱۰ (۵۳/۸۲, ۵۴/۴۶)
۳	هزینه کل نگهداری مشتری	(۱۸۶۸/۸۸, ۱۸۰۴/۹۱)
	هزینه کل نگهداری فروشنده	(۲۵۳۲۱/۵۴, ۲۳۵۳۵/۶۸)
	هزینه راه اندازی فروشنده موجودی اطمینان	۲۳۰ (۵۶/۴۶, ۵۷/۶۶)
۴	هزینه کل نگهداری مشتری	(۱۸۸۰/۷۶, ۱۸۴۱/۷۷)
	هزینه کل نگهداری فروشنده	(۲۵۱۳۶/۹۴, ۲۵۸۶۰/۱۸)
	هزینه راه اندازی فروشنده موجودی اطمینان	۲۰۵ (۵۷/۰۹, ۵۷/۹۵)
۵	هزینه کل نگهداری مشتری	(۱۸۴۵/۰۲, ۱۷۷۳/۹۷)
	هزینه کل نگهداری فروشنده	(۲۵۱۲۷/۵۶, ۲۵۱۷۷/۷۱)
	هزینه راه اندازی فروشنده موجودی اطمینان	۲۱۰ (۵۱/۸۷, ۵۷/۵۵)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، یک مدل نوین سیستم موجودی با یک فروشنده و یک خریدار و براساس غیرقطعی در نظر گرفتن زمان تحویل و نرخ فساد ارائه شده است. برای حل مدل غیرقطعی پیشنهادی از تئوری گواه دمپستر-شفر استفاده شد و در نهایت با ذکر یک مثال عددی نشان داده شد زمانی که تعداد سیکل تولیدی برابر با ۵ و دوره کل سیکل و نقطه سفارش ۱۰ درصد نسبت به داده پیشنهادی

افزایش پیدا کند، هزینه کل سیستم موجودی کاهش می‌یابد.

پژوهش‌های بی‌شماری در حوزه سیستم موجودی ارائه شده است؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده مدل ارائه‌شده با چند مصرف‌کننده و چند تولیدکننده و با در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی بیشتر حل شود. همچنین، می‌توان از روش بهینه‌سازی استوار برای حل مدل غیرقطعی بهره گرفت.

مراجع

1. Dempster, A. P. (1967). "Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping", The annals of mathematical statistics, Vol. 38 No. 2 PP. 325-339.
2. Shafer, G. (1976). A mathematical theory of evidence, Princeton University press Princeton, Vol. 1.
3. Kohlas, J. and P. A. Monney. (2013). "A mathematical theory of hints: An approach to the Dempster-Shafer theory of evidence", Springer Science & Business Media, Vol. 425, No.1, PP-1-47.
4. Smets, P. and R. Kennes. (1994). "The transferable belief model", Artificial intelligence, Vol. 66, No. 2, PP. 191-234.
5. Troiano, L., Rodríguez-Muñiz, L. J. and Diaz, I. (2015). "Discovering user preferences using Dempster-Shafer theory", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 278, PP. 98-117.
6. Nodoust, S., Mirzazadeh, A. and Mohammadi, M. (2016). "A Genetic Algorithm for an inventory system under belief structure inflationary conditions", RAIRO-Operations Research, Vol. 50, No. 4-5, PP. 1027-1041.
7. Ouyang, L. Y. and Wu, K. S. (1997). "Mixture inventory model involving variable lead time with a service level constraint", Computers & Operations Research, Vol. 24, No. 9, PP. 875-882.
8. Tersine, R. J. (1994). Principles of inventory and materials management. IIE transactions, Vol. 26, No. 2, PP 97-101.
9. Tadikamalla, P. R. (1979). "The lognormal approximation to the lead time demand in inventory control", Omega, Vol. 7, No. 6, PP. 553-556.
10. Ghare, P. and G. Schrader. (1963). "A model for exponentially decaying inventory", Journal of Industrial Engineering, Vol. 14, No. 5, PP. 238-243.
11. Yang, P. C. and H. M. Wee. (2000). "Economic ordering policy of deteriorated item for vendor and buyer: An integrated approach", Production Planning & Control, Vol. 11, No. 5, PP. 474-480.
12. Wu, M. Y. and Wee, H. M. (2001). "Buyer-seller joint cost model for deteriorating items with multiple lot-size deliveries", Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 18, No. 1, PP. 109-119.
13. Zhou, Y. W. and S. D. Wang. (2007). "Optimal production and shipment models for a single-vendor-single-buyer integrated system", European Journal of Operational Research, Vol. 180, No. 1, PP. 309-328.
14. July, F., Nojavan, F. and Qysryha, A. (2011). "Inventory control of deterioration items in two-level supply chain", Journal of Industrial Engineering, Vol. 45, PP. 69-77.
15. Mahdavi, M. (2013). "Development of certain inventory control models for deterioration items by considering backlog shortage and discounts", Journal of Industrial Engineering, Vol. 47, No. 1, PP. 69-80

16. Lo, S. T., Wee, H. M. and Huang, W. C. (2007). "An integrated production-inventory model with imperfect production processes and Weibull distribution deterioration under inflation", *International Journal of Production Economics*, Vol. 106, No. 1, PP. 248-260.
 17. Goyal, S. (1977). "An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem", *The International Journal of Production Research*, Vol. 15, No. 1, PP. 107-111.
 18. Pan, J. C. H. and Yang, J. S. (2002). "A study of an integrated inventory with controllable lead time", *International Journal of Production Research*, Vol. 40, No. 5, PP. 1263-1273.
 19. Goyal, S. (2003). "A note on: On controlling the controllable lead time component in the integrated inventory models", *INT.J.PROD.RES*, Vol. 41, No. 12, PP. 24-61.
 20. Ouyang, L. Y., Wu, K. S. and Ho, C. H. (2004). "Integrated vendor-buyer cooperative models with stochastic demand in controllable lead time", *International Journal of Production Economics*, Vol. 92, No. 3, PP. 255-266.
 21. Hoque, M. A. and S. K. Goyal. (2006). "A heuristic solution procedure for an integrated inventory system under controllable lead-time with equal or unequal sized batch shipments between a vendor and a buyer", *International Journal of Production Economics*, Vol. 102, No. 2, PP. 217-225.
 22. Ouyang, L. Y., Wu, K. S. and Ho. C. H. (2007). "An integrated vendor-buyer inventory model with quality improvement and lead time reduction", *International Journal of Production Economics*, Vol. 108, No. 1, PP. 349-358.
 23. Yang, J. S. and Pan. J. C. H. (2004). "Just-in-time purchasing: an integrated inventory model involving deterministic variable lead time and quality improvement investment", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 5, PP. 853-863.
 24. Mirzazadeh, A. (2011). "A Comparison of the Mathematical Modeling Methods in the Inventory Systems under Uncertain Inflationary Conditions", *International Journal of Engineering Science and Technology*, No. 3, PP. 6131-6142.
 25. Jha, J. and Shanker, K. (2009). "A single-vendor single-buyer production-inventory model with controllable lead time and service level constraint for decaying items", *International Journal of Production Research*, Vol 47, No. 24, PP. 6875-6898.
 26. Lin, H. J. (2012). "An integrated supply chain inventory model with imperfect-quality items, controllable lead time and distribution-free demand", *Yugoslav Journal of Operations Research*, Vol. 23, No. 1, PP-87-109
 27. Jha, J. and Shanker, K. (2013). "Single-vendor multi-buyer integrated production-inventory model with controllable lead time and service level constraints", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 4, PP. 1753-1767.
 28. Shahpouri, S. et al. (2013). "Integrated vendor-buyer cooperative inventory model with controllable lead time, ordering cost reduction, and service-level constraint", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 65, No. 5-8, PP. 657-666.
 29. Mandal, P. and Giri, B. (2015). "A single-vendor multi-buyer integrated model with controllable lead time and quality improvement through reduction in defective items", *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, Vol. 2, No. 1, PP. 1-14.
 30. Fauza, G. et al. (2016). "An integrated single-vendor multi-buyer production-inventory policy for food products incorporating quality degradation", *International Journal of Production Economics*, Vol. 182, PP. 409-417.
 31. Lin, H. J. (2016). "Investing in lead-time variability reduction in a collaborative vendor-buyer supply chain model with stochastic lead time", *Computers & Operations Research*, Vol. 72, No.1, PP. 43-49.
-

- 32.Chan, C. K. et al. (2017). “An Integrated Production-Inventory Model for Deteriorating Items with Consideration of Optimal Production Rate and Deterioration during Delivery”, International Journal of Production Economics, Vol. 188, No. 1, PP. 1-13.
- 33.Hossain, M. S. J., Ohaiba, M. M. and Sarker, B. R. (2017). “An optimal vendor-buyer cooperative policy under generalized lead-time distribution with penalty cost for delivery lateness”, International Journal of Production Economics, Vol. 188, No. 1, PP. 50-62.
-