

## ارائه‌ی یک مدل موجودی برای خرابی غیر آنی کالا در یک زنجیره‌تأمین دوسطحی

جواد رضائیان<sup>۱\*</sup>، مقدسه اکبرپور<sup>۲</sup>، حدیثه اکبرپور<sup>۳</sup>

۱. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، مازندران.
۲. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، مازندران.
۳. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پردیسان فریدون‌کنار، مازندران.

### خلاصه

در این تحقیق یک مدل ریاضی برای زنجیره‌تأمین دوسطحی متشکل از یک خریدار و یک تولیدکننده برای یک سیستم یکپارچه موجودی با خرابی غیر آنی اقلام ارائه می‌شود که تقاضا احتمالی است و از توزیع نرمال پیروی می‌کند. فرض می‌شود خرابی از توزیع وایبول سه پارامتر پیروی می‌کند. در شرایط واقعی در نظر گرفتن کمبود هم به‌صورت پس‌افت و هم به‌صورت فروش از دست‌رفته الزامی است، بنابراین هر دو نوع کمبود نیز در مدل بکار گرفته می‌شود. هدف از این مدل تعیین سیاست بهینه سفارش دهی است بطوری‌که مجموع هزینه‌های زنجیره‌تأمین کمینه گردد. برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک بهره برده شده است. همچنین جهت تحلیل مدل و بررسی تأثیر برخی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر جواب بهینه مدل موجودی از تحلیل حساسیت نرخ خرابی و سطح اطمینان استفاده می‌نماییم. در نهایت مقدار بهینه هزینه مورد انتظار زنجیره‌تأمین تحت تصمیم‌گیری یکپارچه و غیر یکپارچه تعیین و مقایسه می‌گردد.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۴/۰۶/۱۱

پذیرش ۱۳۹۵/۰۷/۱۱

کلمات کلیدی:

زنجیره تأمین دوسطحی  
خرابی غیر آنی  
مدل موجودی

### ۱- مقدمه

موفقیت نهایی یک شرکت به توانایی مدیریتی آن در ادغام و هماهنگ کردن شبکه‌ای پیچیده از روابط کسب‌وکار در میان اعضای زنجیره‌تأمین بستگی دارد، علاوه بر این مدیریت یکپارچه زنجیره-تأمین می‌تواند بروز حوادث ناخوشایند را کاهش داده و به صورت قاطعانه سودآوری تمام کاربران را تحت تأثیر قرار دهد [۱].

از دیرباز در هر بنگاه اقتصادی مسئله کنترل و مدیریت موجودی‌ها از اهمیت خاصی برخوردار بوده و مدیریت و کنترل موجودی‌ها نقش بسزایی در سوددهی و زیان‌دهی یک بنگاه اقتصادی بر عهده دارد تهیه و تدوین سیاست‌ها یا خط‌مشی‌های صحیح همواره موردتوجه مدیریت بنگاه‌های اقتصادی قرار داشته است.

هزینه‌های موجودی معمولاً ۲۰٪ تا ۶۰٪ از کل هزینه‌های شرکت را تشکیل می‌دهند [۲].

سیاست‌های موجودی می‌توانند دارای هدف‌های یک‌جانبه و غیرمتمرکز و یا هدف‌های یکپارچه و متمرکز باشند. در گذشته،

شبکه زنجیره‌تأمین امکان ایجاد یک بستر مؤثر و کارا برای مدیریت زنجیره‌تأمین را فراهم می‌کند. در این شبکه مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان مواد اولیه، کارخانه‌های تولید محصولات، مراکز توزیع و مشتریان حضور دارند، مواد اولیه توسط تأمین‌کنندگان برای کارخانه‌های تولیدی فراهم و محصولات پس از تولید از طریق کارخانه‌ها به مراکز توزیع فرستاده می‌شوند، بنابراین یک زنجیره-تأمین محدود به اجزاء و سایت‌های تولیدکننده نبوده بلکه کلیه اجزا تولیدی و خدماتی از تأمین‌کننده اولیه تا مشتری نهایی را در برمی‌گیرد که هدف شبکه حداقل نمودن کل هزینه‌های موجود در شبکه است.

\* نویسنده مسئول. جواد رضائیان

تلفن: ۰۱۱۱۲۱۹۱۲۰۵۹، پست الکترونیکی: javadjf@gmail.com

پرداختند، آن‌ها با بررسی ۱۳۰ منبع، مدل‌های کنترل موجودی را بر اساس وجود یا نبود ازمداف‌تادگی و فسادپذیری تقسیم‌بندی کردند [۸].

ماهاتان در سال ۲۰۱۲ یک مدل موجودی تولیدی اقتصادی برای اقلام فسادپذیری تحت دوره اعتباری پرداخت برای خرده‌فروش در زنجیره تأمین ارائه داد. کمبود مجاز نیست و خرابی از توزیع نمایی پیروی می‌کند [۹].

کالاهای زوال‌پذیر به دو صورت آنی (فوراً بعد از وارد شدن به سیستم شروع به زوال می‌کنند) و غیر آنی (بعد از گذشت مدتی شروع به زوال می‌کنند) می‌باشند. اغلب کالاهای فاسدشدنی به‌گونه‌ای هستند که در یک بازه زمانی اولیه، هیچ خرابی در آن‌ها رخ نمی‌دهد، به عبارت دیگر خصوصیات، کیفیت و ویژگی‌های آن‌ها پایدار می‌ماند. کالاهایی مانند میوه‌ها، سبزیجات و غیره بعد از یک بازه زمانی خرابی آن‌ها آغاز می‌گردد. این پدیده برای اولین بار توسط وو و همکارانش در سال ۲۰۰۶ تحت عنوان خرابی غیر آنی مطرح شد، آن‌ها یک مدل قطعی موجودی برای اقلام با خرابی غیر آنی ارائه دادند، برای حالتی که کمبود مجاز، تقاضا وابسته به سطح موجودی و نرخ پس‌افت متغیر و وابسته به زمان انتظار برای بازپرسازی مجدد است [۱۰].

اخیراً برخی از محققان بر روی مدل‌های موجودی با خرابی غیر آنی تمرکز کردند که در هر کدام از این تحقیقات، به بررسی خرابی غیر آنی همراه با موضوعاتی چون تأخیر مجاز در پرداخت، تقاضای وابسته به قیمت، کمبود و غیره در یک سطح زنجیره تأمین پرداخته‌شده است. گنثا و اوتایکمار در سال ۲۰۱۰ یک سیاست موجودی برای اقلام با خرابی غیر آنی تحت تأخیر مجاز در پرداخت ارائه کردند. کمبود مجاز و به صورت پس‌افت پاره‌ای است. نرخ پس‌افت به صورت متغیر و وابسته به زمان انتظار برای بازپرسازی مجدد است. خرابی از توزیع نمایی پیروی می‌کند. هدف از این مدل تعیین سیاست بهینه بازپرسازی بطوری‌که مجموع هزینه‌ها حداقل گردد [۱۱]. شا و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به بهینه‌سازی موجودی و سیاست بازاریابی برای خرابی غیر آنی اقلام با تعمیم نوع نرخ هزینه‌های نگهداری و خرابی پرداختند، آن‌ها تقاضا را تابعی از فرکانس تبلیغات و قیمت فروش در نظر گرفتند. این تحقیق به خرده‌فروش در حداکثر کردن کل سود، توسط تعیین بهینه موجودی و پارامترهای بازاریابی کمک می‌کند [۱۲].

رضا میهمی و بهروز کریمی در سال ۲۰۱۴ به بهینه‌سازی و قیمت‌گذاری سیاست بازپرسازی برای اقلام با خرابی غیر آنی با تقاضای تصادفی و اثر ترفیعی پرداختند. آن‌ها اثر فعالیت‌های ترفیعی بر قیمت‌گذاری و سیاست سفارش دهی کالاهای فاسدشدنی غیر آنی را مورد بررسی قرار دادند. کمبود در سیستم مجاز و به صورت پس‌افت پاره‌ای فرض شده است. هدف از مدل حداکثر نمودن سود بنگاه است [۱۳].

سیاست‌های مدیریت موجودی بر مبنای مجموعه‌ای از سیاست‌های غیرمتمرکز استوار بود، که بر اساس آن هر یک از اعضای زنجیره‌تأمین تمایل به بهینه کردن هزینه‌های خود را داشتند. امروزه بررسی یکپارچه خریدار و فروشنده با افزایش تعداد سازمان‌هایی که اجرای تولید بهنگام و مدیریت زنجیره تأمین را دارند اهمیت بیشتری یافته است. اجرای موفق مدیریت زنجیره تأمین نیاز به روح جدیدی از همکاری بین خریداران و فروشندگان است [۳].

بررسی ادبیات موضوعی نشان داده است که مدل‌های یکپارچه موجودی می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های موجودی بین ۵٪ تا ۳۰٪ شود که این سود حاصل‌شده از همکاری بین اعضای زنجیره تقسیم می‌گردد [۴].

در دنیای کنونی با پیشرفت تکنولوژی و اطلاعات، سلیقه مشتریان مدام در حال تغییر است، بنابراین می‌توان اکثر کالاها را زوال‌پذیر در نظر گرفت. به هر فرآیندی که مانع استفاده از اقلام به شکل اولیه و اصلی آن شود زوال گویند. مانند فاسدشدن، تبخیر و ناپدیدشدن، تنزیل یافتن، از مد افتادن و منسوخ شدن و یا کم شدن اثر. معمولاً تحلیل سیستم موجودی بدون در نظر گرفتن اثر خرابی و زوال اقلام انجام می‌پذیرد یعنی فرض می‌شود که اقلام در زمان نامحدود می‌توانند برای برآورده کردن تقاضای آینده ذخیره شوند و کیفیت و کمیت آن‌ها در طول زمان تغییر نمی‌کند. باین‌وجود انواع خاصی از محصولات وجود دارند که از این قاعده تبعیت نکرده و فسادپذیری و خرابی در مورد اکثر آن‌ها اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد، بنابراین در طول زمان روبه‌زوال رفته و یا غیرقابل استفاده می‌شوند، در نتیجه چنانچه نرخ زوال مقدار قابل‌توجهی باشد، اثر آن را نمی‌توان نادیده گرفت. ویتین در سال ۱۹۵۷ یک مطالعه ساده در مورد کالاهای مد روز که در پایان مدت انبارداری از مد می‌افتند و به عبارتی فاسد می‌شوند انجام داد، درواقع او مدلی برای از مد افتادگی کالا پس از مدت زمان مشخصی ارائه داد [۵].

قاره و اسپرادر سال ۱۹۶۳ اولین کسانی بودند که بحث فسادپذیری را برای محصولات با نرخ زوال ثابت مطرح نمودند؛ درصورتی‌که تابع چگالی عمر، نمایی است و بر این اساس مدل موجودی برای اقلام فسادپذیر ارائه دادند:

$$\frac{dI(t)}{dt} + \theta I(t) = -f(t)$$

که در آن  $\theta$  نرخ خرابی اقلام فسادپذیر،  $I(t)$  سطح موجودی در زمان  $t$  و  $f(t)$  تقاضا در زمان  $t$  است [۶].

کوورت و فیلیپ در سال ۱۹۷۳ کار آن‌ها را برای محصولاتی با نرخ زوال متغیر را توسعه دادند که تابع چگالی عمر وایبول دو پارامتر است و تقاضا ثابت و کمبود غیرمجاز است. هدف از این مدل حداقل کردن هزینه‌ها است [۷].

از آن زمان به بعد کارهای فراوانی پیرامون مدل‌های موجودی برای کالاهای فاسدشدنی ارائه شد. حدود یک دهه قبل گوپال و گیری به دسته‌بندی مدل‌های کنترل موجودی بر مبنای فسادپذیری

سطحی پرداختند. یانگ و وی در سال ۲۰۰۳ یک مدل موجودی تولید یکپارچه برای اقلام فسادپذیر را توسعه دادند. نرخ تولید و نرخ تقاضا ثابت است. سیستم زنجیره‌تامین از یک تولیدکننده و چند خریدار تشکیل شده به منظور اینکه متوسط هزینه‌ها حداقل شود. ایشان فرض کردند خرابی اقلام از توزیع نمایی پیروی می‌کند. هدف یافتن تعداد تحویل بهینه کالا به خریدار است [۱۹].

از مقالات جامعی که در زمینه فسادپذیری محصولات انجام شده می‌توان به کار بیکر و همکارانش در سال ۲۰۱۲ اشاره نمود، در این مقاله به مرور ادبیات مقالات مرتبط با مبحث فسادپذیری از سال ۲۰۰۱ تاکنون با در نظر گرفتن فرضیاتی مانند تخفیف در قیمت، کمبود پس‌افت و فروش از دست‌رفته، تک‌محصولی یا چندمحصولی بودن و پرداخت‌های معوقه پرداخته شده است [۲۰]. راثو و همکاران در سال ۲۰۰۳ یک سیستم موجودی برای اقلام فسادپذیر در یک زنجیره تأمین سه سطحی در شرایط تقاضا و نرخ خرابی ثابت و عدم کمبود را مورد مطالعه قرار دادند. هدف از این مدل تعیین مقدار بهینه تعداد تحویل محصول نهایی به خریدار در هر سیکل سفارش است به نحوی که مجموع هزینه‌ها حداقل شود. نتایج ایشان بیانگر این موضوع است که یکپارچگی در زنجیره عرضه اثر قابل توجهی در کاهش هزینه کل سیستم ایجاد خواهد کرد [۲۱].

تیواری و همکارانش در سال ۲۰۱۶ به بررسی اثر دوره اعتبار تجارت و تورم روی سیاست‌های سفارش دهی خرده‌فروش در دو انبار پرداختند که اقلام دارای خرابی غیر لحظه‌ای هستند. به منظور افزایش تقاضای خرده‌فروش و با توجه به افزایش رقابت در بازار جهانی، تأمین‌کننده به ارائه تأخیر مجاز در پرداخت به خرده‌فروش می‌پردازد. در این مدل کمبود به صورت پس‌افت جزئی است یعنی بخشی از آن به صورت کمبود پس‌افت و بخشی دیگر به صورت فروش از دست‌رفته است. هدف از این تحقیق یافتن سیاست بهینه بازپرسازی خرده‌فروش است به نحوی که سود کل ماکزیمم گردد [۲۲].

ربانی و همکارانش در سال ۲۰۱۶ به ارائه سیاست‌های قیمت‌گذاری و بازپرسازی پویا به‌طور هم‌زمان برای اقلام با خرابی، کیفیت و کمیت فیزیکی پرداختند. در این تحقیق خرابی کیفیت، لحظه‌ای فرض شده است و خرابی کمیت، از الگوی غیر لحظه‌ای پیروی می‌کند. به‌منظور بیان مسئله پویا، قیمت فروش به عنوان یک تابع زمانی وابسته به قیمت ابتدایی و نرخ تخفیف تعریف شده است. نرخ تقاضا به مقدار موجودی وابسته است. هدف از این مدل تعیین دوره بهینه بازپرسازی، قیمت ابتدایی و نرخ تخفیف است بطوری‌که کل سود سیستم ماکزیمم شود [۲۳].

گاچپیت و همکارانش در سال ۲۰۱۵ یک مدل موجودی در شرایط غیرقطعی با خرابی پویا و دوره اعتباری پرداخت وابسته به تقاضا ارائه کردند. تأمین‌کننده یک دوره اعتباری برای پرداخت به ازای هر سفارش خرده‌فروش ارائه می‌دهد، در صورتی‌که دوره پرداخت بیش از مدت اعتبار باشد بهره و سود توسط تأمین‌کننده

علاوه بر فسادپذیری از دیگر مفروضاتی که در مدل‌های کنترل موجودی بسیار پراهمیت است، می‌توان به مجاز بودن و یا غیرمجاز بودن کمبود اشاره نمود. برای برخی از کالاها زمان انتظار برای بازپرسازی مجدد تعیین‌کننده میزان کمبود پس‌افت در سیستم است، به‌عبارت‌دیگر اگر زمان انتظار برای بازپرسازی بالا باشد مشتریان منتظر نمی‌مانند و از سایر رقبا موجودی خود را تأمین می‌کنند، در نتیجه کمبود از حالت پس است به فروش از دست‌رفته تبدیل می‌شود، این پدیده در ادبیات تحت عنوان کمبود پس‌افت پاره‌ای شناخته شده است. آباد در سال ۱۹۹۶ به قیمت‌گذاری پویا و مسئله اندازه بهینه را برای کالاهای فاسدشدنی تحت شرایط کمبود پس‌افت پاره‌ای پرداخت. ایشان فرض کرد که مقدار کمبود پس‌افت وابسته به زمان انتظار برای بازپرسازی مجدد است [۱۴]. آباد در سال ۲۰۰۱ در مدل موجودی سفارش اقتصادی خود کمبود را به‌صورت پاره‌ای در نظر گرفت. ایشان فرض کرد که کمبود پاره‌ای و تابعی از زمان انتظار برای رسیدن کالا جهت بازپرسازی است. دو تابعی که ایشان معرفی کردند به‌صورت  $\beta(x) = k_0 e^{-\delta x}$  و  $\beta(x) = \frac{k_0}{1+\delta x}$  است، که  $x$  طول زمان انتظار برای بازپرسازی مجدد است،  $0 < k_0 \leq 1$ ،  $\delta > 0$  [۱۵].

پنتیکو و دریک در سال ۲۰۱۱ به‌مرور ادبیات مقالات مرتبط با مبحث کمبود در ۴۰ سال اخیر با در نظر گرفتن مفروضاتی مانند قیمت‌گذاری، فسادپذیری، تقاضای وابسته به زمان و سطح موجودی و تخفیف مقداری پرداختند [۱۶].

چنانچه محصولی قبل از رسیدن به مشتری نهایی در بیش از یک مرحله در زنجیره تأمین (از تأمین‌کنندگان اولیه گرفته تا توزیع‌کنندگان نهایی)، مورد مطالعه قرار گیرد، با یک سیستم موجودی چند سطحی مواجه خواهیم بود. کلارک و اسکارف در سال ۱۹۶۰ اولین کسانی بودند که در این زمینه به تحقیق پرداختند و مدل موجودی دوسطحی را بررسی کردند و یک روش تجزیه کارا برای دستیابی به سیاست بهینه سفارش دهی ارائه دادند [۱۷].

طی دهه‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه سیستم‌های موجودی چند سطحی صورت گرفته است، که می‌توان به کار طالع‌زاده و همکارانش در سال ۲۰۱۲ اشاره نمود، آن‌ها در مطالعات خود یک مسئله زنجیره تأمین چند سطحی و چندمحصولی با تقاضای احتمالی ارائه دادند، هر دو نوع کمبود مجاز است. مقدار سفارش داده‌شده در بسته‌های از پیش تعیین‌شده قرار می‌گیرد. هدف تعیین میزان بهینه سفارش، تعداد حمل‌ها و بسته‌ها در هر حمل است به نحوی که کل هزینه‌های زنجیره‌تامین حداقل گردد. برای حل مدل از الگوریتم‌های تجمع ذرات و ژنتیک استفاده شده و نتایج به‌دست آمده نیز با یکدیگر مقایسه شده است [۱۸].

اگرچه تحقیقات بی‌شماری در زمینه سیستم‌های موجودی چند سطحی صورت گرفته است ولی بیشتر مدل‌های موجود برای اقلام فسادپذیر از نوع مدل سفارش اقتصادی و یک سطحی هستند و تعداد کمی از مقالات به مبحث خرابی اقلام در زنجیره‌تامین چند

درنهایت، در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی آمده است.

## ۲- تشریح مسئله و مدل‌سازی ریاضی

در این بخش، مسئله موردبررسی به همراه مفروضات، پارامترها، متغیرهای و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله معرفی می‌گردند.

### ۲-۱- بیان مسئله و مفروضات مدل

امروزه به دلیل پیشرفت فناوری، بازار رقابتی شدید و مشتریان سخت‌گیر تعداد کالاهای فاسدشدنی بیش از قبل شده است. در بسیاری از سیستم‌های موجودی، فاسدشدن اقلام یک پدیده واقعی است. بسیاری از کالاهای دیگر دچار پدیده خرابی (مانند تخییر شدن، آسیب دیدن، فاسدشدن و غیره) در طول دوره انبارش می‌شوند و بدین ترتیب ارزش خود را از دست می‌دهند. با توجه به اینکه این اقلام به‌طور گسترده در جوامع مورداستفاده قرار می‌گیرند و با عنایت به اینکه برخی از این اقلام نقش مهمی در زندگی انسان دارند، لذا مطالعه پیرامون سیاست بهینه موجودی که هم موجب کاهش هزینه‌ها گردد و هم موجب استفاده بهینه از این محصولات گردد امری ضروری است. در بیشتر صنایع با زنجیره تأمین چند سطحی، مدیریت موجودی از نرخ خرابی گزاف و گران متغیر بازمان رنج می‌برد، درنتیجه برای محصولات فسادپذیر یک تولیدکننده باید محصولاتی بیش از تقاضای بازار تولید کند زیرا بخشی از محصولات روبه‌زوال رفته و خراب می‌شوند، در این صورت خرابی محصولات روی مدیریت موجودی و برنامه‌ریزی تولید، تولیدکننده اثر می‌گذارد. خریدار نیز باید خرابی محصولات را در نظر بگیرد درنتیجه خرابی در تصمیمات او نیز تأثیرگذار است. بنابراین برای اقلام فسادپذیر یکی از چالش‌های مهم این است که چطور هزینه خرابی، هزینه تولید و هزینه نگهداری کاهش یابد، بنابراین کنترل و مدیریت این موجودی‌ها بسیار مهم است زیرا کنترل موجودی می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های مربوط به موجودی و در نتیجه افزایش سود شود. عمده مفروضات مسئله به شرح ذیل عنوان می‌گردند:

- ۱- مدل برای یک کالای فاسدشدنی غیر آنی ارائه می‌گردد.
- ۲- تقاضا به صورت احتمالی است و از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کند.
- ۳- کالایی که در طول دوره فاسد می‌شود، تعویض یا جایگزین نمی‌گردد.
- ۴- نرخ تولید محدود و بیشتر از نرخ تقاضاست.
- ۵- سیستم شامل یک خریدار و یک تولیدکننده است.
- ۶- زمان خرابی (عمر محصول) از توزیع وایبول سه پارامتر پیروی می‌کند.
- ۷- زمان تدارک صفر در نظر گرفته شده است.
- ۸- سیاست مرور دائم در نظر گرفته شده است، هنگامی که سطح موجودی به نقطه ROP می‌رسد  $Q$  واحد سفارش داده می‌شود.
- ۹- طول دوره برنامه‌ریزی متناهی است.

تغییر می‌کند، در واقع مدت اعتبار به عنوان کسری از مقدار خریداری‌شده بیان شده است. در این تحقیق هزینه‌های موجودی در شرایط فازی بیان می‌شوند و هدف حداکثر نمودن سود است. برای حل مدل، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی کاهش گرادیان تعمیم‌یافته GRG<sup>۱</sup> و با استفاده از نرم‌افزار LINGO بهره برده شده است [۲۴]. جاج و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثر خرابی روی مدل موجودی باکیفیت ناقص پرداختند. در این مدل به منظور کاهش خسارات ناشی از خرابی و فساد اقلام، خرده‌فروش با توجه به کمبود امکانات در انبار خود مجبور به اجاره انبار دیگری با امکانات پیشگیرانه بهتر است. در این تحقیق یک مدل موجودی با دو انبار برای کالاهایی که یک کسری از آن‌ها دارای کیفیت ناقص و خرابی در طبیعت هستند، توسعه داده شده است. هدف از این مدل حداکثر نمودن سود خرده‌فروش است [۲۵].

داس و همکارانش در سال ۲۰۱۵ یک مدل تولید موجودی یکپارچه تحت شرایط دوره اعتباری پرداخت فازی برای خرابی اقلام با چندین بازار ارائه دادند که کمبود مجاز نیست. در این تحقیق یک تولیدکننده مواد اولیه خود را از تأمین‌کننده دریافت و به تولید محصول نهایی می‌پردازد. تأمین‌کننده یک دوره اعتباری پرداخت به تولیدکننده در شرایط فازی ارائه می‌دهد. دو نوع خرابی، یکی برای محصولات نهایی و دیگری برای مواد اولیه در نظر گرفته شده است. هدف از این مدل حداکثر نمودن سود سیستم تولید موجودی و یافتن زمان تولید بهینه است [۲۶].

یکی از مشخصه‌های بارز اکثر مقالات در نظر گرفتن خرابی اقلام به‌محض دریافت کالا در سیستم می‌باشد، درحالی‌که اقلام زیادی کیفیت و شرایط اصلی خود را برای مدت زمان مشخصی حفظ می‌کنند، در واقع خرابی برای آن‌ها در دوره‌ی خاصی از زمان رخ نمی‌دهد و بعد از آن برخی از اقلام روبه‌زوال می‌روند. از این‌رو در این تحقیق از خرابی غیر آنی استفاده شده است. مدل‌های موجودی که به مبحث خرابی غیر آنی پرداختند این نوع خرابی را در یک سطح زنجیره‌تأمین بررسی کردند و در کنار آن فقط به یکی از موضوعاتی مانند کمبود، تقاضای وابسته به قیمت و غیره اشاره کردند. در واقع مدل‌های موجود در ادبیات تنها به بخشی از موارد فوق پرداختند، مدل جامعی که به خرابی غیر آنی در یک زنجیره‌تأمین چند سطحی بپردازد و همه موارد فوق را باهم در نظر بگیرد ارائه نشده است. هدف اصلی این مقاله، تعیین سیاست بهینه بازپرسازی به نحوی است که مجموع هزینه‌های زنجیره کمینه گردد.

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم، مسئله در غالب یک مدل ریاضی مدل‌سازی و تشریح شده است. در بخش سوم، رویکرد حل با استفاده از الگوریتم ژنتیک آورده شده است. در بخش چهارم، تحلیل و نتایج محاسباتی ارائه شده است.

### 1. Generalized Reduced Gradient

۱۰- در طول دوره  $t_d$  زوالی اتفاق نمی‌افتد.

۱۱- هزینه نگهداری کالا در دوره خرابی بیشتر از دوره غیر خرابی است.

۱۲- کمبود در سیستم خریدار مجاز بوده است. بخشی از تقاضاهایی که با کمبود مواجه شده به صورت تقاضای پس‌افت در نظر گرفته شده است. نرخ پس‌افت بر اساس کار آباد [۱۵] به صورت  $B(x) = e^{-\delta x}$  یا  $B(x) = \frac{1}{1+\delta x}$ ،  $\delta > 0$  نشان داده شده است که در آن  $X$  زمان انتظار<sup>۱</sup> است، یعنی زمانی که بازپرسازی مجدد<sup>۲</sup> انجام می‌گیرد و  $\delta$  پارامتر مثبت است و  $0 \leq B(x) \leq 1$  و  $B(0) = 1$  برای تضمین وجود جواب بهینه فرض می‌شود  $B(X) + H(B(X)) > 0$  که در آن  $B'(x)$  مشتق اول  $B(x)$  است توجه شود که اگر  $B(x) = 1$  (یا  $0$ ) آنگاه همه کمبود پس‌افت (یا فروش از دست رفته) می‌شود.

۱۳- بخش دیگر کمبود به صورت فروش از دست‌رفته در نظر گرفته می‌شود که به صورت تابع  $1 - B(x)$  نشان داده می‌شود.

## ۲-۲- پارامترها

پارامترهای مدل عبارتند از:

$t_{AB}$ : طول زمانی که در آن زوال وجود ندارد برای خریدار

$t_{AP}$ : طول زمانی که در آن زوال وجود ندارد برای تولیدکننده

$P$ : نرخ تولید

$D$ : تقاضای احتمالی محصول

$\mu_d$ : میانگین توزیع آماری مربوط به تقاضا

$\sigma_d$ : انحراف از معیار توزیع آماری مربوط به تقاضا

$B$ : حداکثر سرمایه در دسترس در هر بار خرید

$F$ : کل حجم یا سطح در دسترس

$f$ : سطح یا حجم هر واحد کالا

$Q_P^i$ : مقدار کل کالای تولیدشده در انتهای دوره  $i$ ام در قسمت تولیدکننده

$A$ : هزینه هر بار سفارش برای خریدار

$K$ : هزینه کمبود پس‌افت هر واحد

$O$ : هزینه فروش از دست رفته هر واحد

$C$ : هزینه خرید هر واحد

$M_B$ : هزینه هر واحد محصول فاسد شده برای خریدار

$h_{B1}$ : هزینه نگهداری خریدار در دوره‌ای که خرابی نداریم.

$h_{B2}$ : هزینه نگهداری خریدار در دوره خرابی

$\theta_B(t)$ : تابع خرابی کالای نهایی در اختیار خریدار

$I_{B1}^i(t)$ : سطح موجودی خریدار در دوره  $i$ ام در بازه  $t$  که در آن  $t \in [0, t_{AB}]$  زمانی که خرابی نداریم.

$I_{B2}^i(t)$ : سطح موجودی خریدار در دوره  $i$ ام در بازه  $t$  که در آن  $t \in [t_{AB}, t_1]$  زمانی که خرابی داریم.

$I_{B3}^i(t)$ : سطح موجودی خریدار در دوره  $i$ ام در بازه  $t$  که در آن  $t \in [t_1, t']$  زمانی که کمبود داریم.

$S_P$ : هزینه هر بار آماده‌سازی تولید

$M_P$ : هزینه هر واحد کالای نهایی فاسد شده برای تولیدکننده

$h_{P1}$ : هزینه نگهداری تولیدکننده در دوره‌ای که خرابی نداریم.

$h_{P2}$ : هزینه نگهداری تولیدکننده در دوره خرابی

$\theta_P(t)$ : تابع خرابی کالای نهایی در اختیار تولیدکننده

$I_{P1}^i(t)$ : سطح موجودی کالای نهایی تولیدکننده در  $i$ امین دوره تولید در بازه  $t$  که در آن  $t \in [0, t_{AP}]$

$I_{P2}^i(t)$ : سطح موجودی کالای نهایی تولیدکننده در  $i$ امین دوره تولید در بازه  $t$  که در آن  $t \in [t_{AP}, t_1]$

$I_{P3}^i(t)$ : سطح موجودی کالای نهایی تولیدکننده در  $i$ امین دوره تولید در بازه  $t$  که در آن  $t \in [0, t']$

## ۲-۳- متغیرهای تصمیم

$n$ : تعداد کل تحویل محصول نهایی به خریدار.

$n_P$ : تعداد تحویل‌ها به خریدار در دوره تولید.

$t'$ : فواصل زمانی بین بازپرسازی‌ها (سفارش دهی).

$t_1$ : طول زمانی که در آن کمبود رخ نمی‌دهد.

$q$ : اندازه انباشته کالای نهایی به خریدار.

$T$ : سیکل کامل سفارش دهی.

$T_1$ : مدت زمانی که تولید و مصرف داریم.

$T_2$ : مدت زمانی که فقط مصرف داریم.

$$D \sim N(\mu_d, \sigma_d^2)$$

## ۲-۴- ارائه مدل

در این تحقیق تولیدکننده به صورت انباشته‌ای به تولید کالای نهایی می‌پردازد و مقادیر ثابتی از کالای نهایی ( $q$ ) را در هر بازه‌ی زمانی ( $t'$ ) در اختیار خریدار قرار می‌دهد.

ابتدا تابع توزیع وایبول را موردبررسی قرار می‌دهیم:

تابع نرخ آبی  $\theta(t)$  برای تابع وایبول دو پارامتری مطابق رابطه (۱) است:

$$\theta(t) = \alpha \beta t^{\beta-1} \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  پارامتر مقیاس ( $\alpha > 0$ ) و  $\beta$  پارامتر شکل ( $\beta > 0$ ) و  $t$  زمان خرابی ( $t > 0$ ) است. توزیع وایبول دو پارامتری برای کالاهایی مناسب است که از نرخ کاهشی خرابی برخوردار است و نرخ خرابی ابتدایی آن‌ها بسیار بالاست، همچنین این توزیع ممکن است برای کالاهایی با نرخ افزایشی خرابی استفاده شود بشرطی که نرخ خرابی ابتدایی آن‌ها نزدیک به صفر باشد. برای رفع این کاستی‌ها، یک مدل کلی EOQ با توزیع وایبول سه پارامتری برای بیان زمان خرابی توسعه داده شده است [۲۷]. تابع چگالی این توزیع چنین است:

1. Waiting time
2. Next replenishment

دست رفته است (به عبارت دیگر مشتری از دست می‌رود و نیاز خود را از جای دیگر تأمین می‌کند).  
شکل (۱) این فرآیند را نشان می‌دهد.

با توجه مفروضات مطرح‌شده در مسئله، سطح موجودی کالای نهایی در اختیار خریدار با توجه به عوامل مؤثر تعریف‌شده، در زمان  $t$  در دوره  $t$ ام به کمک معادلات دیفرانسیل زیر قابل‌محاسبه می‌باشد، طول یک دوره به‌صورت زیر به سه بازه زمانی تقسیم می‌شود:

$$\frac{dI_{B1}^i(t)}{dt} = -D \quad 0 \leq t \leq t_{dB} \quad 1 \leq i \leq n \quad (۴)$$

$$\frac{dI_{B2}^i(t)}{dt} + \theta_B(t) I_{B2}^i(t) = -D \quad t_{dB} \leq t \leq t_1 \quad 1 \leq i \leq n \quad (۵)$$

$$\frac{dI_{B3}^i(t)}{dt} = -DB(t-t) \quad t_1 \leq t \leq t' \quad 1 \leq i \leq n \quad (۶)$$

طبق رابطه (۴) داریم:

$$dI_{B1}^i(t) = -D dt \quad (۷)$$

با توجه به شکل (۱) عبارت اول معادله دیفرانسیل با استفاده از شرط مرزی  $I_{B1}(0) = I_{max}$  به دست می‌آید [۲۸]، بنابراین داریم:

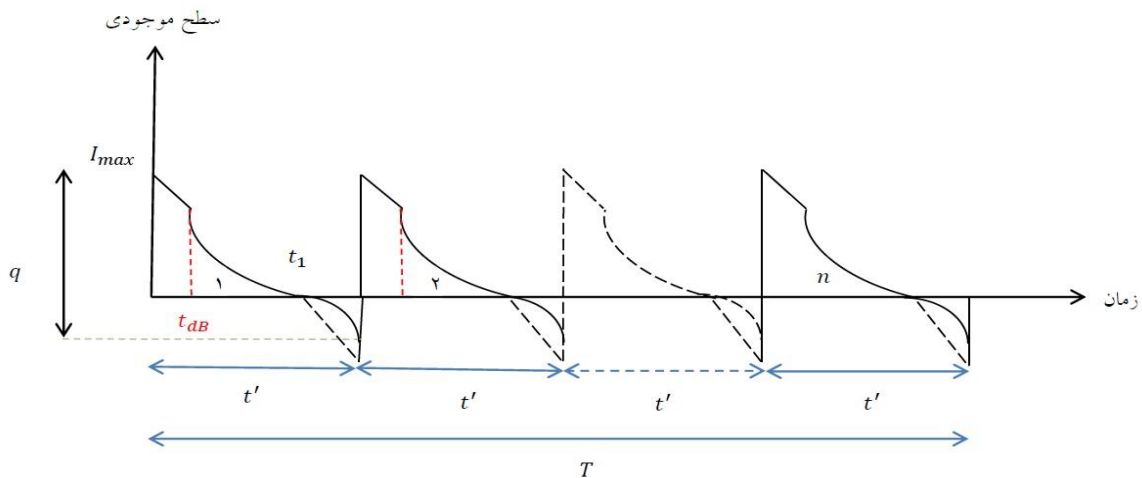
$$I_{B1}^i(t) = -Dt + I_{max} \quad (۸)$$

همچنین طبق رابطه (۵) و با توجه به شرط مرزی  $I_{B2}^i(t_1) = 0$  خواهیم داشت:

$$I_{B2}^i(t) = D \left( \int_t^{t_1} e^{\alpha_B(t-\gamma_B)\beta_B} dt \right) e^{-\alpha_B(t-\gamma_B)\beta_B} \quad (۹)$$

برای حل انتگرال فوق از بسط تیلور استفاده می‌نماییم و برای سادگی، توان دوم و بالاتر را نادیده می‌گیریم [۲۹]، در این صورت داریم:

$$I_{B2}^i(t) = D \left[ (t_1 - t) + \frac{\alpha_B(t_1 - \gamma_B)\beta_B + 1}{\beta_B + 1} \left( 1 - \alpha_B(t - \gamma_B)\beta_B \right) \right] \quad (۱۰)$$



شکل (۱) سطح موجودی خریدار

$$f(t) = \alpha\beta(t - \gamma)e^{-\alpha(t-\gamma)\beta} \quad (۲)$$

که  $\alpha$  پارامتر مقیاس توزیع وایبول،  $\beta$  پارامتر شکل توزیع وایبول و  $\gamma$  پارامتر مکان توزیع وایبول است ( $t \geq \gamma$ ). باید توجه داشت که با قرار دادن  $\beta = 1$  چگالی توزیع نمایی حاصل می‌شود. تابع توزیع تجمعی وایبول سه پارامتر  $F(t) = 1 - e^{-\alpha(t-\gamma)\beta}$  است. بنابراین نرخ خرابی برابر است با:

$$\theta(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\alpha\beta(t - \gamma)e^{-\alpha(t-\gamma)\beta}}{1 - (1 - e^{-\alpha(t-\gamma)\beta})} = \alpha\beta(t - \gamma)^{\beta-1} \quad (۳)$$

توزیع وایبول سه پارامتری برای کالاهایی با هر نرخ خرابی و نیز برای کالاهایی که خرابی آن‌ها بعد از دوره‌ی خاصی شروع می‌شود مناسب است. در این مدل از توزیع وایبول سه پارامتر برای بیان توزیع زمان خرابی استفاده‌شده است.

#### ۲-۴-۱- مدل غیر یکپارچه

در حالت غیر یکپارچه، بین اعضای زنجیره یکپارچگی وجود ندارد تولیدکننده و خریدار به صورت مستقل تصمیم می‌گیرند، بنابراین کل هزینه‌های تولیدکننده و خریدار هر کدام به‌طور جداگانه کمینه می‌شوند.

#### ۲-۴-۱-۱- مدل موجودی مربوط به خریدار

در ابتدای هر دوره حداکثر موجودی به‌اندازه  $I_{max}$  وجود دارد. این میزان موجودی در طول دوره به دو دلیل اساسی یعنی برآورده کردن تقاضا و فاسدشدن به صفر می‌رسد، بعد از رسیدن موجودی به صفر کمبود در سیستم رخ می‌دهد که این کمبود به صورت پس‌افت پاره‌ای در نظر گرفته‌شده است.

درواقع بخشی از آن پس‌افت می‌شود (به عبارت دیگر این بخش از کمبود در ابتدای دوره آینده جبران و برآورده می‌شود بنابراین مشتری تا رسیدن کالا منتظر می‌ماند) و بخشی دیگر، فروش از

$$OS = \frac{oD[\delta(t' - t_1) - \ln(1 + \delta(t' - t_1))]}{\delta} \times \frac{n}{T} \quad (19)$$

#### ۶- هزینه خرید

قیمت خرید هر واحد برابر با مجموع هزینه‌های هر واحد تولیدکننده مانند هزینه نگهداری هر واحد، هزینه فساد هر واحد و غیره به‌علاوه سود مربوط به تولیدکننده است که به صورت زیر می‌باشد:

$$C = h_{p1} + h_{p2} + M_p + \frac{S_p}{nq} + I \quad (20)$$

که در آن  $I = 30\% \text{ cap}$  (cap سرمایه اولیه ست)

کل هزینه خرید در واحد زمان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PC = C \times q \times \frac{n}{T} \quad (21)$$

بنابراین کل هزینه خریدار در واحد زمان از جمع هزینه‌های سفارش دهی، نگهداری موجودی، فساد کالا، کمبود پس‌افت، فروش از دست‌رفته و خرید به دست می‌آید:

$$TC_B = OR + HC_B + DC_B + BA + OC + PC \quad (22)$$

#### ۲-۱-۴-۲- مدل موجودی مربوط به تولیدکننده

سطح موجودی کالای تولیدشده در شکل (۲) نشان داده شده است. در لحظه  $t = 0$  اولین آماده‌سازی صورت می‌گیرد در این لحظه موجودی در دست صفر می‌باشد. در پریود زمانی  $T_1$  سطح موجودی تحت تأثیر نرخ‌های تولید، تقاضا و خرابی قرار داشته و افزایش می‌یابد تا به بیشترین حد خود می‌رسد. در پریود زمانی  $T_2$  تولید متوقف بوده و سطح موجودی تحت تأثیر نرخ تقاضا و نرخ خرابی کاهش می‌یابد تا به زمان  $T_1 + T_2$  می‌رسد که سطح موجودی در صفر می‌باشد.

مطابق شکل (۲) دوره موجودی تولیدکننده به دو دوره تولید و

عدم تولید تقسیم می‌شود:

#### الف) دوره تولید

سطح موجودی برای دوره  $t$  در طی مدت زمانی که تولید داریم به صورت زیر است، تغییرات سطح موجودی با گذشت زمان را با معادله دیفرانسیل مربوطه طبق زیر نشان می‌دهیم [۳۳]:

$$\begin{cases} n_p \frac{dI_{p1}^i(t)}{dt} = P - D & 0 \leq t \leq t_{dP} & 1 \leq i \leq n_p \\ \frac{dI_{p2}^i(t)}{dt} + \theta_p(t) I_{p2}^i(t) = P - D & t_{dP} \leq t \leq t' & 1 \leq i \leq n_p \end{cases} \quad (23)$$

#### ب) دوره عدم تولید

معادله موجودی در دوره‌های بعدی که تولید نداریم به صورت زیر خواهد بود [۲۸]:

$$\frac{dI_{p3}^i(t)}{dt} + \theta_p(t) I_{p3}^i(t) = -D \quad (24)$$

$$0 \leq t \leq t' \quad n_p + 1 \leq i \leq n$$

از روی شکل (۱) در حالت  $t = t_{dB}$  مشخص است که  $I_{B1}^i(t_{dB}) = I_{B2}^i(t_{dB})$ ، بنابراین حداکثر موجودی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$I_{max} = I_{B2}^i(t_{dB}) + Dt_{dB} \quad (11)$$

طبق رابطه (۶) و با توجه به شرط مرزی  $I_{B3}^i(t_1) = 0$  داریم [۳۰]:

$$I_{B3}^i(t) = \frac{-D(\ln(1 + \delta(t' - t_1)) - \ln(1 + \delta(t' - t)))}{\delta} \quad (12)$$

با قرار دادن  $t = t'$  در رابطه (۱۲) میزان کمبود به دست می‌آید:

$$S = -I_{B3}^i(t') = \frac{D}{\delta} \ln(1 + \delta(t' - t_1)) \quad (13)$$

بنابراین مقدار سفارش به صورت زیر محاسبه خواهد شد [۳۱]:

$$q = I_{max} + S \quad (14)$$

هزینه‌های خریدار شامل موارد زیر می‌باشد:

#### ۱- هزینه سفارش دهی

$$OR = \frac{A}{T} \quad (15)$$

#### ۲- هزینه نگهداری موجودی

برای محاسبه هزینه نگهداری ابتدا نیاز است میزان متوسط موجودی در سیکل محاسبه شود. از آنجایی که فقط در بازه زمانی  $(0, t_1)$  سطح موجودی در دست سیستم مثبت است و موجودی در سیستم نگهداری می‌شود و در بازه زمانی  $(t_1, t')$  موجودی برای نگهداری وجود ندارد. بنابراین هزینه نگهداری کل در واحد زمان به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۲]:

$$HC_B = \left( h_{B1} \int_0^{t_{dB}} I_{B1}(t) dt + h_{B2} \int_{t_{dB}}^{t_1} I_{B2}(t) dt \right) \times \frac{n}{T} \quad (16)$$

(برای حل انتگرال‌ها از نرم‌افزار MAPLE نسخه ۱۸ استفاده شده

است.)

#### ۳- هزینه فساد کالا

هزینه خرابی کالا به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۰]:

$$DC_B = \left( M_B \int_{t_{dB}}^{t_1} \theta_B(t) I_{B2}(t) dt \right) \times \frac{n}{T} \quad (17)$$

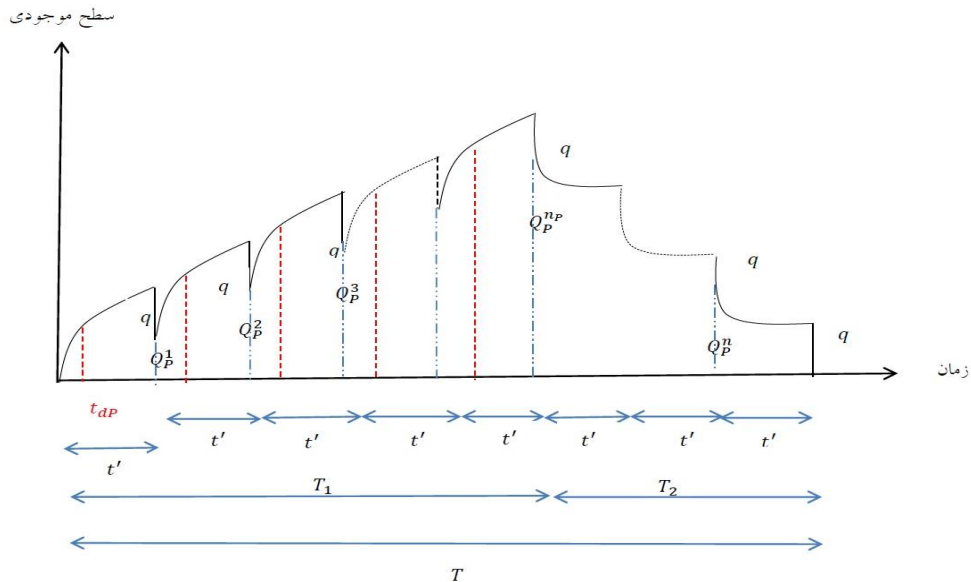
#### ۴- هزینه کمبود پس‌افت

از آنجایی که فقط در بازه زمانی  $(t_1, t')$  تقاضا با کمبود مواجه می‌شود، بنابراین هزینه کمبود پس‌افت در واحد زمان به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۲]:

$$BA = \frac{sD[\delta(t' - t_1) - \ln(1 + \delta(t' - t_1))]}{\delta^2} \times \frac{n}{T} \quad (18)$$

#### ۵- هزینه فروش از دست‌رفته

هزینه فروش از دست‌رفته به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۲]:



شکل (۲): سطح موجودی تولیدکننده

برای به دست آوردن  $Q_P^i$  در دوره عدم تولید به صورت زیر عمل می‌کنیم: مطابق شکل (۲) اندازه انباشته در ابتدای دوره  $m$ ام ( $Q_P^m$ ) برابر با صفر است. همچنین اندازه انباشته در ابتدای دوره  $m-1$ ام برابر است با [۲۱]:

$$I_{P3}^n(0) = Q_P^{n-1} \quad (28)$$

مقدار محصول نهایی در اختیار در دوره  $m$ ام دقیقاً برابر با اندازه انباشته تحویلی به خریدار است که در این صورت داریم:

$$I_{P3}^n(t') = \left( -D \left( t' + \frac{\alpha_P(t' - \gamma_P)^{\beta_P+1}}{\beta_P + 1} \right) + Q_P^{n-1} e^{\alpha_P(-\gamma_P)\beta_P} \right) (1 - \alpha_P(t' - \gamma_P)^{\beta_P}) = q \quad (29)$$

$$Q_P^{n-1} = \frac{q + D \left( t' + \frac{\alpha_P(t' - \gamma_P)^{\beta_P+1}}{\beta_P+1} \right) (1 - \alpha_P(t' - \gamma_P)^{\beta_P})}{e^{\alpha_P(-\gamma_P)\beta_P} (1 - \alpha_P(t' - \gamma_P)^{\beta_P})} \quad (30)$$

به همین صورت مقدار  $Q_P^i$  برای مقادیر  $i$  از انتها به ابتدا قابل محاسبه خواهد بود. هزینه‌های تولیدکننده شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- هزینه سفارش دهی

$$SC = \frac{S_P}{T} \quad (31)$$

۲- هزینه نگهداری موجودی

هزینه نگهداری به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۴].

طبق شکل (۲) و رابطه (۲۳) مقدار ابتدایی کالای نهایی تولیدشده قبل از تحویل اُامین انباشته برابر است با  $I_{P1}^i(0) = Q_P^{i-1}$  است، بنابراین داریم:

$$I_{P1}^i(t) = (P - D)t + Q_P^{i-1} \quad (25)$$

با حل معادلات دیفرانسیل (۲۳) نیز خواهیم داشت:

$$(26)$$

$$I_{P2}^i(t) = \left[ (P - D) \left( (t - t_{dp}) + \frac{\alpha_P(t - \gamma_P)^{\beta_P+1} - \alpha_P(t_{dp} - \gamma_P)^{\beta_P+1}}{\beta_P + 1} \right) + ((P - D)t_{dp} + Q_P^{i-1})(1 + \alpha_P(t_{dp} - \gamma_P)^{\beta_P}) \right] \times (1 - \alpha_P(t - \gamma_P)^{\beta_P})$$

با توجه به رابطه (۲۴) و شکل (۲)،  $I_{P3}^i(0) = Q_P^{i-1}$ ،  $(i = n_p + 1, \dots, n)$  داریم:

$$(27)$$

$$I_{P3}^i(t) = \left[ -D \left( t + \frac{\alpha_P(t - \gamma_P)^{\beta_P+1}}{\beta_P + 1} \right) + Q_P^{i-1} e^{\alpha_P(-\gamma_P)\beta_P} \right] \times (1 - \alpha_P(t - \gamma_P)^{\beta_P})$$

برای محاسبه مقدار  $Q_P^i$  در دو حالت دوره تولید و دوره عدم تولید به صورت زیر عمل می‌کنیم:

الف) دوره تولید  $0 \leq t \leq T_1$  و  $1 \leq i \leq n_p$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار سطح موجودی در انتهای پریود اُام بعد از تحویل کالا به مشتری برابر خواهد بود با  $Q_P^i = I_{P1}^i(t_{dp}) + I_{P2}^i(t) - q$  که این تعداد به عنوان سطح اولیه برای دوره  $1 + i$ ام خواهد بود. لازم به ذکر است که  $Q_P^0 = 0$  است.

ب) دوره عدم تولید  $T_1 \leq t \leq T_2$  و  $n_p + 1 \leq i \leq n$



یا در صورت داشتن راه‌حل از پیچیدگی زمانی فراتر از چندجمله‌ای برخوردارند، استفاده می‌شود [۳۶].

از آنجایی که مبنای کار الگوریتم ژنتیک، جست‌وجوی تصادفی و احتمالی در فضای جست‌وجو است، بهینه بودن جواب یا جواب‌های نهایی را تضمین نمی‌کند ولی احتمال بسیار بالا مشخص شده است که در بسیاری از مسائل جواب نهایی الگوریتم همان جواب بهینه عمومی است [۳۸ و ۳۷]. یکی از ویژگی‌های مهم الگوریتم ژنتیک این است که می‌تواند طیفی از جواب‌های بهینه یا بسیار نزدیک به بهینه را پیدا کنیم [۳۹].

الگوریتم ژنتیک همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی ابتدا جمعیتی از جواب‌ها را به صورت تصادفی انتخاب و سپس با استفاده از عملگرهای انتخاب و عملگرهای ژنتیک نظیر جهش و تقاطع و در بیشتر موارد عملگر نخبه‌گرایی سعی می‌کند این جواب‌ها یا اصطلاحاً کروموزوم‌ها را تکامل بخشد. در ادامه به تشریح نحوه‌ی عملکرد الگوریتم ژنتیک و عملگرهای آن می‌پردازیم.

### ۳-۱- نحوه‌ی نمایش جواب‌ها

در تمام الگوریتم‌های فرا ابتکاری، به دلیل نیاز به حل‌شدنی در شروع کار، لازم است حل‌شدنی را بر طبق ساختار مشخصی ذخیره کنیم که به این ساختار، نحوه نمایش جواب می‌گویند. برای نمایش جواب از یک رشته به طول چهار تشکیل شده است. به طوری که در شکل (۳) از چپ به راست خانه اول نشان‌دهنده تعداد تحویل کالای نهایی به خریدار، خانه دوم نشان‌دهنده تعداد تحویل کالای نهایی به خریدار در دوره تولید خانه سوم نشان‌دهنده فاصله زمانی سفارش دهی و خانه چهارم نشان‌دهنده مدت زمانی که خرابی نداریم می‌باشد. تولید جمعیت اولیه به صورت تصادفی انجام می‌گیرد. از آنجایی که بین درایه‌ها شرایط  $n_p < n$  و  $t_1 < t'$  باید برقرار باشد ابتدا مقدار  $n$  را به صورت تصادفی در بازه مربوط تولید کرده و سپس برای تولید  $n_p$  از حد پایین و  $n$  (به عنوان حد بالا) استفاده می‌گردد. از آنجایی که چنین رابطه‌ای ( $t_1 < t'$ ) بین  $t_1$  و  $t'$  نیز برقرار است ابتدا  $t'$  را در بازه مربوط تعیین نموده (به صورت تصادفی) و سپس  $t_1$  از به عنوان حد بالای جهت تولید مقدار تصادفی  $t_1$  استفاده می‌نماییم. جهت تولید مقادیر تصادفی از توزیع یکنواخت استفاده می‌شود [۴۰].

|     |       |      |       |
|-----|-------|------|-------|
| $N$ | $n_p$ | $t'$ | $t_1$ |
|-----|-------|------|-------|

شکل (۳): نحوه نمایش کروموزوم

### ۳-۲- تابع برازش

برای تعیین جواب‌های مناسب‌تر، باید از یک شاخص برازندگی استفاده نمود که این شاخص در مسئله پیشنهادی از آنجایی که مسئله کمینه‌سازی است به صورت معکوس مقدار تابع هدف می‌باشد، یعنی هر کروموزوم تبدیل به یک جواب متناظر شده و در تابع هدف قرار می‌گیرد، آنگاه مقدار تابع هدف برای هر جوابی که بهتر باشد کروموزوم متناظر با آن جواب مناسب‌تر خواهد بود. تابع هدف مسئله

$$HC_p = \sum_{i=1}^{n_p} \left( \frac{h_{p1}}{T} \int_0^{t_{dp}} I_{p1}^i(t) dt + \frac{h_{p2}}{T} \int_{t_{dp}}^{t'} I_{p2}^i(t) dt + \sum_{i=n_p+1}^n \left( \frac{h_{p2}}{T} \int_0^{t'} I_{p3}^i dt \right) \right) \quad (32)$$

### ۳- هزینه فساد کالا

هزینه خرابی و فساد کالا به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۹]:

$$DC_p = \frac{M_p}{T} \left( \sum_{i=1}^{n_p} \left( \int_{t_{dp}}^{t'} \theta_p(t) I_{p2}^i(t) dt \right) + \sum_{i=n_p+1}^n \left( \int_0^{t'} \theta_p(t) I_{p3}^i(t) dt \right) \right) \quad (33)$$

بنابراین کل هزینه تولیدکننده در واحد زمان از جمع هزینه‌های

آماده‌سازی، نگهداری موجودی و فساد کالا به دست می‌آید:

$$TC_p = SC + HC_p + DC_p \quad (34)$$

### ۴-۲-۴- مدل یکپارچه

در این حالت اعضای زنجیره تأمین با یکدیگر همکاری می‌کنند و اطلاعاتشان را به اشتراک می‌گذارند تا بهترین سیاست را برای زنجیره تأمین برگزینند. بنابراین در حالت یکپارچه مجموع کل هزینه‌های سیستم که شامل مجموع هزینه‌های تولیدکننده و خریدار است را کمینه می‌نماییم که به صورت زیر می‌باشد:

$$TC = TC_B + TC_p \quad (35)$$

محدودیت‌ها:

$$C \times q \leq B \quad (36)$$

$$f \times q \leq F \quad (37)$$

$$D \leq \mu_d + Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma_d \quad (38)$$

$$D \geq \mu_d - Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma_d \quad (39)$$

$$t', t_1 \geq 0, \quad n, n_p \geq 0 \text{ and Integer} \quad (40)$$

رابطه (۳۵) بیانگر محدودیت سرمایه برای خریدار است، رابطه (۳۶) نیز بیانگر محدودیت ظرفیت انبار برای خریدار است.

از آنجایی که تقاضا به صورت احتمالی است یک فاصله اطمینان  $(1 - \alpha)$  درصد برای  $D$  به صورت رابطه (۴۱) تعریف می‌شود:

$$\mu_d - Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma_d \leq D \leq \mu_d + Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma_d \quad (41)$$

حد بالا و پایین فاصله اطمینان رابطه (۴۰) به عنوان محدودیت‌های (۳۸) و (۳۹) به مدل اضافه شده است [۳۵].

### ۳- الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جست‌وجو در فضاها پیچیده و چندبعدی است که غالباً برای حل مسائلی که راه‌حل خاصی ندارند،

جدول (۱): پارامترهای الگوریتم ژنتیک

| تعداد نسل | اندازه جمعیت | نرخ نخبه‌گرایی | نرخ تقاطع | نرخ جهش | پارامتر |
|-----------|--------------|----------------|-----------|---------|---------|
| ۵۰        | ۱۵۰          | ۰/۱۵           | ۰/۹۰      | ۰/۱۰    | مقدار   |

## ۴-۲- صحنه‌گذاری مدل

به منظور صحنه‌گذاری و کارایی مدل پیشنهادی، مدل را در سایز کوچک با LINGO 9.0 حل نموده، همچنین از آنجایی که LINGO قادر به حل مدل با تقاضای احتمالی نیست، از ارزش انتظاری تقاضا استفاده نموده و سپس جواب‌های بهینه به دست آمده از روش الگوریتم ژنتیک و LINGO را باهم مقایسه می‌نماییم. (برای انجام محاسبات توسط نرم‌افزار LINGO 9.0 در محیط Windows 7 با Dell Laptop 4050 با مشخصات CPU 2.50 GHz و 4.0GB RAM (DDR3) استفاده شده است.)

جدول (۲): نتایج حاصل از LINGO و الگوریتم ژنتیک

|   |       | $n$ | $n_p$ | $TC$       | $t(s)$ |
|---|-------|-----|-------|------------|--------|
| ۱ | GA    | ۲   | ۱     | ۳۹۶۳۰۰۹/۱۶ | ۱۸     |
|   | LINGO | ۲   | ۱     | ۴۱۹۷۲۲۰/۱۳ | ۷۴     |
| ۲ | GA    | ۳   | ۱     | ۴۰۹۵۲۴۵/۴۳ | ۲۰     |
|   | LINGO | ۳   | ۱     | ۴۲۱۳۳۱۵/۱۱ | ۹۰     |
| ۳ | GA    | ۴   | ۲     | ۴۳۲۷۶۲۲/۲۶ | ۲۱     |
|   | LINGO | ۴   | -     | -          | -      |
| ۴ | GA    | ۵   | ۳     | ۴۵۵۹۸۲۳/۷۳ | ۲۴     |
|   | LINGO | ۵   | -     | -          | -      |

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود با افزایش سایز مسئله برنامه LINGO قادر به حل مسئله نیست. (مسائلی که برنامه LINGO قادر به ارائه هیچ جوابی نیست با (-) نمایش داده شده است). الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک ارائه شده نیز در زمان کوتاه‌تری به جواب دست یافته و کارایی مطلوب‌تری از خود نشان داده است.

## ۴-۳- بررسی مدل در حالت یکپارچه و غیر یکپارچه

در این قسمت مدل ارائه شده را در دو حالت یکپارچه و غیر یکپارچه و با تقاضای احتمالی در نظر می‌گیریم، همچنین به علت پیچیدگی بالای مدل توسط الگوریتم ژنتیک حل نموده و با یکدیگر مقایسه می‌نماییم [۳۵].

به منظور مشخص کردن میزان کاهش هزینه حاصل از یکپارچه‌سازی زنجیره درصد بهبود محاسبه می‌شود. نتایج محاسبات در جدول (۳) نشان داده شده است.

$$PICR = \frac{TC_{non-integrated} - TC_{integrated}}{TC_{integrated}} \times 100$$

به منظور تحلیل، درک بهتر و اعتبارسنجی مدل ارائه شده مثال عددی که مقادیر پارامترهای آن بر اساس مقاله [۲۹] با اندکی

ارائه شده به دنبال کمینه کردن هزینه‌های تولیدکننده و خریدار مانند هزینه نگهداری، هزینه فساد کالا و غیره می‌باشد.

## ۳-۳- عملگر تقاطع

جهت انجام عملگر تقاطع ابتدا والدین را با استفاده از روش چرخه رولت انتخاب می‌نماییم، سپس یک نقطه در حداثی والدین به عنوان فرزند برمی‌گزینیم که به صورت معادله خطی زیر می‌باشد. (والد ۱ - والد ۲) \*  $r$  + والد ۱ = فرزند  
 $r$  یک عدد تصادفی بین صفر و یک است. به عنوان مثال فرض کنید والدین انتخاب شده به صورت شکل (۴) باشند.

والد ۱

|     |     |   |    |
|-----|-----|---|----|
| ۱/۹ | ۲/۳ | ۷ | ۱۲ |
| ۲   | ۴/۵ | ۳ | ۱۳ |

شکل (۴): ماتریس‌های نمایش دهنده والدین

والد ۲

|      |      |     |      |
|------|------|-----|------|
| ۱/۹۲ | ۲/۷۴ | ۶/۲ | ۱۴/۲ |
|------|------|-----|------|

شکل (۵): نمایش عملگر تقاطع

از آنجایی که در فرزند تولید شده مقادیر مربوط به  $n$  و  $n_p$  غیر صحیح هستند کروموزوم مربوطه نیاز به اصلاح دارد، بنابراین به جای این مقادیر نزدیک‌ترین عدد صحیح نزدیک به این مقادیر را قرار می‌دهیم، به عبارت دیگر مقادیر غیر صحیح را رند می‌کنیم، پس شکل کروموزوم به صورت شکل (۶) اصلاح می‌شود.

|      |      |   |    |
|------|------|---|----|
| ۱/۹۲ | ۲/۷۴ | ۶ | ۱۴ |
|------|------|---|----|

شکل (۶): نمایش عملگر تقاطع بعد از اصلاح

## ۳-۴- عملگر جهش

در این عملگر، جهت حفظ پراکندگی الگوریتم و جلوگیری از همگرایی‌های زودرس، کروموزوم‌هایی که مشمول جهش می‌شوند را حذف کرده و کروموزوم جدیدی تولید و جایگزین می‌نماییم.

## ۴- تحلیل و نتایج محاسباتی

## ۴-۱- تنظیم پارامتر

کارایی الگوریتم‌های فرا ابتکاری ارتباط مستقیمی با تنظیم پارامترهای آن دارد بطوری که انتخاب نادرست پارامترهای الگوریتمی باعث ناکارآمدی آن می‌شود. در این تحقیق پارامترهای الگوریتم ژنتیک عبارتند از: نرخ تقاطع، نرخ جهش و ترکیب اندازه جمعیت اولیه و تعداد نسل که با روش سعی و خطا به دست آمده است. مقدار این پارامترها در جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول (۴): مقایسه حالت یکپارچه و غیر یکپارچه

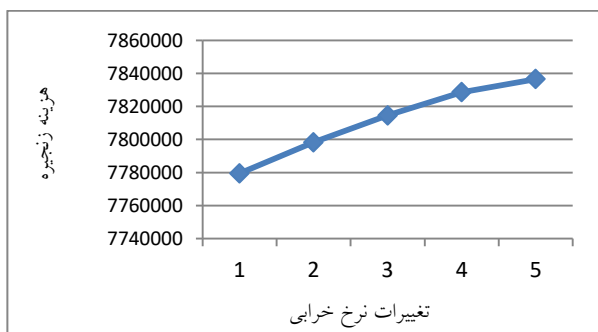
| یکپارچه    | غیر یکپارچه |            |            | PICR  |
|------------|-------------|------------|------------|-------|
|            | $TC_B$      | $TC_P$     | $TC$       |       |
| ۵۸۶۲۴۶۳/۲۸ | ۲۲۸۹۴۶۹/۰۸  | ۳۶۹۳۷۸۷/۲۶ | ۵۹۸۳۲۵۶/۳۴ | ٪۲/۰۶ |

همان‌طور که جدول (۴) نشان می‌دهد با اعمال نگرشی یکپارچه می‌توانیم نتایج بهتری به دست آوریم و مقدار هزینه در حالت هماهنگی بین اعضا نسبت به عدم هماهنگی ٪۲/۰۶ کاهش یافته است. تعداد کل تحویل محصول نهایی به خریدار برابر با ۱۲ و تعداد تحویل در دوره تولید برابر با ۷ است، بنابراین تعداد تحویل در دوره غیر تولید برابر با ۵ خواهد بود.

۴-۴- تجزیه و تحلیل حساسیت

۴-۴-۱- تحلیل حساسیت نرخ خرابی

به منظور مطالعه اثر نرخ خرابی متفاوت بر راه‌حل بهینه مدل موجودی یکپارچه از تحلیل حساسیت پارامترهای توزیع خرابی ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) استفاده می‌کنیم. مقدار پارامترهای توزیع خرابی را به میزان ثابتی افزایش و کاهش می‌دهیم. نتایج این تحلیل حساسیت در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹): تحلیل حساسیت پارامترهای توزیع خرابی

همان‌گونه که از شکل (۹) نیز قابل مشاهده است هزینه سیستم با افزایش پارامترهای توزیع خرابی افزایش یافته است، این یک نتیجه منطقی است چراکه با افزایش نرخ خرابی مقدار خرابی نیز زیاد می‌شود و در نهایت این موجب افزایش هزینه خرابی شده، بنابراین هزینه سیستم افزایش می‌یابد.

۴-۴-۲- تحلیل حساسیت برای سطح اطمینان

به منظور بررسی تأثیر سطح اطمینان بر میزان تقاضا و راه‌حل بهینه مدل از این تحلیل حساسیت استفاده می‌کنیم. مقدار  $Z_{\frac{\alpha}{2}}$  برای سطوح اطمینان مختلف در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): مقدار  $Z_{\frac{\alpha}{2}}$  برای سطوح اطمینان مختلف

| سطح اطمینان | $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ |
|-------------|------------------------|
| ٪۹۰         | ۱/۶۴                   |
| ٪۹۵         | ۱/۹۶                   |
| ٪۹۹         | ۲/۵۷                   |

تغییرات تعیین شده است، حل و بررسی می‌گردد. بنابراین برای تولید مسائل نمونه جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها از داده‌های زیر استفاده شده است:

$$\alpha_B = 0.08, \beta_B = 1.7, \gamma_B = 0.05$$

$$\alpha_P = 0.06, \beta_P = 1.5, \gamma_P = 0.04$$

$$t_{dB} = 0.08, t_{dP} = 0.09$$

$$M_B = \$100 \text{ per unit}, M_P = \$30 \text{ per unit}$$

$$h_{B1} = \$1.5/\text{unit/year}, h_{B2} = \$1.7/\text{unit/year}$$

$$h_{P1} = \$0.5/\text{unit/year}, h_{P2} = \$0.8/\text{unit/year}$$

$$S_P = \$2000 \text{ set up}, P = 10000/\text{units/year}$$

$$A = \$300/\text{order}$$

$$O = \$12 \text{ per unit}, S = \$10 \text{ per unit}$$

جدول (۳): مقایسه حالت یکپارچه و غیر یکپارچه

| یکپارچه    | غیر یکپارچه | PICR  |
|------------|-------------|-------|
|            |             |       |
| ۷۸۱۴۵۸۵/۲۲ | ۸۰۶۷۷۸۶/۵۹  | ٪۳/۲۴ |

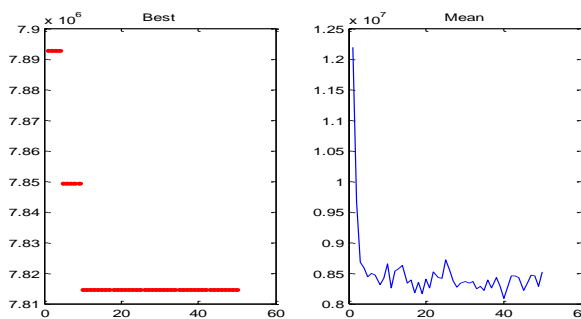
همان‌طور که از جدول (۳) معلوم است مقادیر حاصل از بهینه یابی با نگرشی یکپارچه به تمامی اعضای زنجیره و بر اساس مجموع هزینه‌ها عموماً با مقادیر بهینه حاصل از بررسی مستقل هر یک از سیستم‌ها برابر نبوده و با اعمال نگرشی یکپارچه به کل سطوح موجودی می‌توانیم نتایج بهتری به دست آوریم. همچنین مقدار هزینه در حالت هماهنگی بین اعضای زنجیره‌تأمین نسبت به عدم هماهنگی ٪۳/۲۴ کاهش یافته است.

بنابراین اگر مسئله تولیدشده را در حالت یکپارچه توسط الگوریتم ژنتیک حل نماییم، نمایش کروموزوم بهینه به صورت شکل (۷) خواهد بود که دارای مقدار تابع هدف ۷۸۱۴۵۸۵/۲۲ می‌باشد.

|    |    |       |        |
|----|----|-------|--------|
| ۲۲ | ۱۰ | ۱/۰۰۳ | ۱/۰۰۲۱ |
|----|----|-------|--------|

شکل (۷): نمایش کروموزوم بهینه مسئله نمونه

جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک از نمودار همگرایی استفاده می‌شود که در شکل (۸) نشان داده شده است:



شکل (۸): نمودار همگرایی الگوریتم

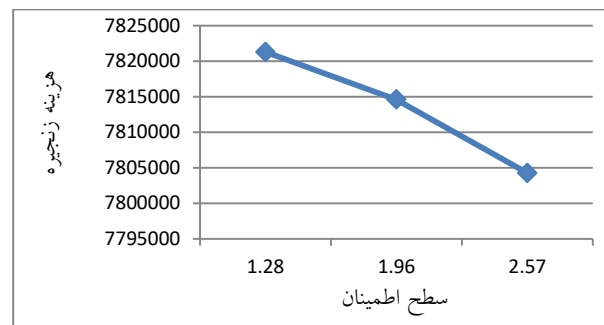
این مدل برای یک محصول لبنی مانند پنیر در کارخانه تولید محصولات لبنی به کار گرفته شده است، که نتایج آن در زیر ارائه می‌شود.

۴. در نظر گرفتن حالت فازی برای پارامترهای نظیر فساد، نرخ تولید و تقاضا
۵. در نظر گرفتن فساد و بهبود به‌طور هم‌زمان برای کالاهایی که در یک بازه زمانی فساد و بهبود را توأمان دارند و در بازه زمانی دیگر تنها فساد یا بهبود دارند.
۶. می‌توان بسته‌بندی فعال در نظر گرفت که این نوع بسته‌بندی به کاهش نرخ فساد کمک می‌کند.
۷. همچنین می‌توان مدل معرفی شده را از چندین جهت با سایر سیاست‌های موجود در سیستم مانند سیاست‌های تبلیغات، ترفیعات، تخفیف، تأخیر مجاز در پرداخت و غیره ترکیب نمود که در این صورت نتایج جالب و درخوری حاصل خواهد شود.
۸. استفاده از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری دیگر

#### مراجع

- [1] Guillena, G., Mele, F., Bagajewicz, M., Espuna, A., Puigjaner, L., (2005). "Multiobjective supply chain design under uncertainty", *Chemical Engineering Science*, 60: 1535-1553.
- [2] Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., Scozzi, B., (2003). "A fuzzy echelon approach for inventory management in supply chains", *European Journal of Operational Research*, 149: 185-196.
- [3] Goyal, S. K., Gupta, Y. P., (1989). "Integrated inventory models: the buyer-vendor coordination", *European Journal of Operational Research*, 41: 261-269.
- [4] Huang, G.Q., Lau, J.S.K., Mak, K.L., (2003). "The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature," *International Journal of Production Research*, 41: 1483-1517.
- [5] Whitin, T.M., (1953). "The Theory of Inventory Management", Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 62-72.
- [6] Ghare, P.M., Schrader, S.F., (1963). "A model for exponentially decaying inventory", *Journal of Industrial Engineering*, 14: 238-243.
- [7] Covert, R.P., Philip, G.C., (1973). "An EOQ model for items with weibull distribution deterioration", *AIIE Transactions*, 5: 323-326.
- [8] Goyal, S.K., Giri, B.C., (2001). "Recent trends in modeling of deteriorating inventory", *European Journal of Operational Research*, 134: 1-16.
- [9] Mahata, G. C., (2012). "An EPQ-based inventory model for exponentially deteriorating items under retailer partial trade credit policy in supply chain", *Expert Systems with Applications*, 39: 3537-3550.
- [10] Wu, K.S.H., Oyang, L.Y., Yang, C.H.T., (2006). "An optimal replenishment policy for non-instantaneous deteriorating items with stock-dependent demand and partial backlogging", *Production Economics*, 101: 369-384.
- [11] Geetha, K.V., Uthayakumar, R., (2010). "Economic design of an inventory policy for non-

طبق نتایج به‌دست‌آمده از شکل (۱۰) با افزایش سطح اطمینان میزان هزینه زنجیره کاهش می‌یابد.



شکل (۱۰): تحلیل حساسیت سطح اطمینان

#### ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آنی

در این تحقیق یک مدل ریاضی برای زنجیره‌تأمین دوسطحی متشکل از یک خریدار و یک تولیدکننده برای یک سیستم یکپارچه موجودی با خرابی غیر آنی اقلام ارائه شده است که تقاضا احتمالی است. فرض شده خرابی از توزیع وایبول سه پارامتر پیروی می‌کند. از آنجایی که در شرایط واقعی کمبود هم به صورت پس‌افت و هم به صورت فروش از دست‌رفته وجود دارد، در نتیجه هر دو نوع کمبود نیز در مدل بکار گرفته شده است. هدف از این مدل تعیین سیاست بهینه سفارش دهی است بطوری که مجموع هزینه‌ها کمینه شود.

با توجه به پیچیدگی بالای مدل ریاضی و احتمالی بودن تقاضا برای حل مسئله از روش فرا ابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. جهت سنجش کارایی و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، آن را در سباز کوچک و بارز انتظار تقاضا بجای احتمالی بودن در نظر گرفته و جهت مقایسه جواب‌های حاصل از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار LINGO 9.0 استفاده نمودیم که می‌توان مشاهده نمود الگوریتم ژنتیک در زمان کوتاه‌تری به جواب دست‌یافته و کارایی مطلوب‌تری از خود نشان داده است. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک مقدار کمینه هزینه کل سیستم در دو حالت یکپارچه و غیر یکپارچه محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. نکته قابل‌تأمل در این مسئله این است که مقادیر حاصل از بهینه‌یابی با نگرشی یکپارچه به تمامی اعضای زنجیره و بر اساس مجموع هزینه‌ها عموماً با مقادیر بهینه حاصل از بررسی مستقل هر یک از سیستم‌ها برابر نبوده و با اعمال نگرشی یکپارچه به کل سطوح موجودی می‌توانیم نتایج بهتری به دست آوریم. در نهایت نیز جهت تحلیل مدل و بررسی تأثیر برخی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر جواب بهینه مدل موجودی از تحلیل حساسیت نرخ خرابی و سطح اطمینان استفاده نمودیم.

این تحقیق از چندین جهت قابلیت گسترش دارد:

۱. در نظر گرفتن چندین تأمین‌کننده و خریدار به‌طور هم‌زمان که مدل را بیش‌ازپیش به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌سازد.
۲. افزایش تعداد سطوح زنجیره تأمین
۳. بررسی حالت چند کالایی در مدل

- [25] Jaggi, C., Tiwari, S., Shafi, A., (2015). "Effect of deterioration on two-warehouse inventory model with imperfect quality", *Computers & Industrial Engineering* 88: 378-385.
- [26] Das, B.C., Dasb, B., Mondal, S., (2015). "An integrated production inventory model under interactive fuzzy credit period for deteriorating item with several markets", *Applied Soft Computing* 28: 453-465.
- [27] Philip, G.C., (1974). "A generalized EOQ model for items with Weibull distribution deterioration", *AIIE Transactions*, 6: 159-162.
- [28] Spiegel, M.R., "Applied differential equations, Englewood Cliffs", N.J.: Prentice-Hall, 1960.
- [29] Wang, K.J., Lin, Y.S., Jonas, C.P., (2011). "Optimizing inventory policy for products with time-sensitive deteriorating rates in a multi-echelon supply chain", *Production Economics*, 130: 66-67.
- [30] Wu, K.S.H., Oyang, L.Y., Yang, C.H.T., (2006). "An optimal replenishment policy for non-instantaneous deteriorating items with stock-dependent demand and partial backlogging", *Production Economics*, 101: 369-384.
- [31] Annadurai, K., Uthayakumar, R., (2013). "Two-echelon inventory model for deteriorating items with credit period dependent demand including shortages under trade credit", *Optim. Lett.*, 7: 1227-1249.
- [32] Valliathal, M., Uthayakumar, R., (2011). "Optimal pricing and replenishment policies of an EOQ model for non-instantaneous deteriorating items with shortages" *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54: 361-371.
- [33] Yanga, P.CH., Weeb, H.M., (2003). "An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating item", *Computers & Operations Research*, 30: 671-682.
- [34] Lo, S.H.T., Wee, H.M., Huang, W.C.H., (2007). "An integrated production-inventory model with imperfect production processes and Weibull distribution deterioration under inflation", *International Journal Production Economics*, 106: 248-260.
- [35] Nurani, A. (2001). "Designing cellular production system in conditions of probabilistic dynamic demand and solving it by simulation annealing and comparing with the optimum value", *Science and technology university of Mazandaran*.
- [36] Goldberg, D.E., (1989). "Genetic algorithms for search, Optimization and Machine Learning", Reading, MA: Addingwesley.
- [37] Rudelph, G., (1994), "Convergence analysis of canonical genetic algorithms", *IEEE Transactions on Neural Network*, 5: 96-101.
- [38] Vose, M.D., (1999). "Simple genetic algorithm: Foundation and Theory", Ann Arbor, MI: MIT press.
- [39] Augusto, O.B., Rabeau, S., Depince, Ph., Bennis, F., (2006). "Multi-objective genetic algorithms: A instantaneous deteriorating items under permissible delay in payments", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 233: 2492-2505.
- [12] Shah, N.H., Soni, H.N., Patel, K.A., (2013). "Optimizing inventory and marketing policy for non-instantaneous deteriorating items with generalized type deterioration and holding cost rates", *Omega*, 41: 421-430.
- [13] Maihami, R., Karimi, B., (2014). "Optimizing the pricing and replenishment policy for non-instantaneous deteriorating items with stochastic demand and promotional efforts", *Computers & Operations Research*, 51: 302-312.
- [14] Abad, P.L., (1996). "Optimal pricing and lot-sizing under conditions of perishability and partial backordering", *Management Science*, 42: 1093-1197.
- [15] Abad, P.L., (2001). "Optimal price and order size for a reseller under partial backordering", *Computers & Operations Research*, 28: 53-65.
- [16] Pentico, D.W., Drake, M.J., (2011). "A survey of deterministic models for the EOQ and EPQ with partial backordering", *European Journal of Operational Research*, 214: 179-198.
- [17] Clark, A.J., Scarf, H., (1960). "Optimal policies for a multi-echelon inventory problem", *Management Science*, 6: 475-490.
- [18] Taleizadeh, A.A., Niaki, S.T.A., Makui, A., (2012). "Multiproduct multiple-buyer single-vendor supply chain problem with stochastic demand, variable lead-time, and multi-chance constraint", *Expert Systems with Applications*, 39: 5338-5348.
- [19] Yanga, P.CH., Weeb, H.M., (2003). "An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating item", *Computers & Operations Research*, 30: 671-682.
- [20] Bakker, M., Riezebos, J., Teunter, R.H., (2012). "Review of inventory systems with deterioration since 2001", *European Journal of Operational Research*, 221: 275-284.
- [21] Rau, H., Wu, M.Y., Wee, H.M., (2003). "Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment", *International Journal of Production Economics*, 86: 155-168.
- [22] Tiwari, S., Cardenas-Barron, L., Khanna, A., Jaggi, C., (2016). "Impact of trade credit and inflation on retailer's ordering policies for non-instantaneous deteriorating items in a two-warehouse environment", *International Journal of Production Economics* 176: 154-169.
- [23] Rabbani, M., Pourmohammad Zia, N., Rafiei, H., (2016). "Joint optimal dynamic pricing and replenishment policies for items with simultaneous quality and physical quantity deterioration", *Applied Mathematics and Computation*, 149-160.
- [24] Guchhait, P., Maiti, M.K., Maiti, M., (2015). "An EOQ model of deteriorating item in imprecise environment with dynamic deterioration and credit linked demand", *Applied Mathematical Modelling*, 1-15.

- way to improve the convergence rate”, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 19: 501-510.
- [40] Yu, J.C.P., Wee, H.M., Wang, K.J, (2008). “An integrated three-echelon supply chain model for a deteriorating items via simulated annealing method”, Proceeding of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybematics.



## An inventory model for non-instantaneous deterioration items in a two-echelon Supply chain

J. Rezaeian<sup>1,\*</sup>, M. Akbarpour<sup>1</sup>, H. Akbarpour<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, university of science and technology of mazandaran, Mazandaran, Iran.

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, university of Pardisan, Mazandaran, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 2 September 2015

Accepted 2 October 2016

#### Keywords:

two-echelon supply chain  
non-instantaneous deterioration  
Multi-objective optimization  
inventory model competitive

### ABSTRACT

Most of the inventory control models assume that items can be stored indefinitely to meet the future demands. However, certain types of commodities either deteriorate or become obsolete in the course of time and hence are unstable. In this study, a mathematical model is presented for a two-echelon supply chain including a buyer and a producer for an inventory integrated system with non-instantaneous of items that demand is probable and follows a normal distribution. Since, the rate of deterioration describes the condition deterioration the goods and regarding the relation between time and deterioration rate is probable rather than the fixed rate of deterioration. In reality, considering the shortages is necessary in both forms of backlogging and lost sales. Therefore, both kinds of shortages are used in the model.

The main goal of this model is determining the optimal ordering policy so that the total cost of supply chain is minimized. The proposed model is solved for some problems by Lingo software. The validity of model is determined by sensitive analysis and the problem is known a NP-hard one, hence a genetic algorithm has been used in order to solve the model problem. The rates of deterioration and confidence level sensitivity analysis have been applied to analyze effect of some important parameters affecting on optimal solution of the inventory model.

Finally, the optimal value of the expected cost of supply chain under integrated and non-integrated decision-making has been determined and compared. The results show the efficiency of algorithm.

\* Corresponding author. Javad Rezaeian  
Tel.: 011121912059; E-mail address: javadjf@gmail.com