پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره 3، شماره 4، زمستان 1397

طراحی مدل مدیریت موجودی توسط تأمین‌کنندگان (VMI) در زنجیره تأمین خودرو برای به حداکثر رساندن گردش موجودی کالا در انبار تولیدکننده (موردمطالعه: شرکت سایپا)

احمد بکلری[1]، حسن فارسیجانی[2]، محسن شفیعی نیکابادی[3*]، علی محتشمی

1- دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده «اقتصاد، مدیریت و علوم اداری»، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
2- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
3- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده «اقتصاد، مدیریت و علوم اداری»، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
4- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

دریافت: 1397/6/19 پذیرش: 1397/11/1

چکیده

در مطالعات قبلی، طراحی مدل‌های مدیریت موجودی توسط تأمین‌کنندگان (VMI) بر اساس حداقل هزینه کل زنجیره تأمین بود. در این مقاله، یک روش جدید برای طراحی مدل‌های VMI با هدف بهینه‌سازی گردش موجودی انبار تولیدکننده ایجاد شده است. بر اساس مدل پیشنهادی، هدف ما افزایش حداکثر گردش موجودی همراه با محدودیتِ نداشتن کمبود کالا در خطوط تولید و انطباق با حداقل و حداکثر محدودیت‌های موجودی در انبار تولیدکننده است. روش پیشنهادی در مقایسه با روش های متعارف به حداقل رساندن کل هزینه زنجیره

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: Shafiei@profs.semnan.ac.ir

تأمین ساده‌تر و عملی‌تر است. الگوریتم ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (GA) با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای به دست آوردن هر دو توانایی جستجوی مناسب فراگیر و محلی در فضای جواب، برای حل مدل جدید پیشنهاد شده است. به‌عنوان یک مطالعه موردی، اجرای مدل پیشنهادی در زنجیره تأمین شرکت سایپا بهبود در گردش موجودی کالا، کاهش سطح موجودی انبار و کاهش سطح بازپرسازی کالا توسط تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین؛ مدیریت موجودی توسط فروشنده؛ دوره گردش موجودی‌های انبار؛ الگوریتم ژنتیک؛ الگوریتم بهینه اجتماع ذرات.

1- مقدمه

دنیای امروزی بیشتر از هرزمانی رقابتی شده است و صنعت به‌طور فزاینده‌ای به مدیریت زنجیره تأمین به‌عنوان یک سلاح رقابتی می‌نگرد [1]. VMI، یکی از آخرین فنون ایجادشده در مدیریت زنجیره تأمین است. در زنجیره تأمین سنتی، تولیدکننده (خریدار)، زمان‌بندی و مقادیر سفارش‌ها را تعیین می‌کند و تأمین‌کننده نیز بدون اینکه از نحوه سفارش‌گذاری تولیدکننده، اطلاعی داشته باشد، صرفاً به نیاز او پاسخ می‌دهد. اما در زنجیره تأمین تراز جهانی، از مدل مدیریت موجودی توسط تأمین‌کنندگان استفاده می‌شود. در این مدل، تولیدکننده تنها اطلاعاتی درمورد تقاضای مشتری، موجودی باقیمانده در انبارها و حداقل و حداکثر موجودی موردانتظار خود را در اختیار تأمین‌کننده قرار می‌دهد [2]. تأمین‌کننده خود بر موجودی‌های تولیدکننده نظارت می‌کند و تصمیم می‌گیرد که چه‌موقع و به چه مقدار، انبار تولیدکننده را بازپرسازی کند. اجرای VMI، منجر به کاهش هزینه‌های موجودی و تولید در کل زنجیره تأمین شده و علاوه بر حفظ سطح مطلوب خدمات مشتری، بهره‌وری استفاده از منابع را افزایش داده و باعث کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل از طریق استفاده یکنواخت‌تر از ظرفیت‌های حمل می‌گردد [3]. تصمیمات مرتبط با مدیریت دارایی‌ها و بدهی‌ها و نیز نحوه و میزان تأمین

مالی، همواره یکی از مهم‌ترین تصمیماتی است که هر بنگاه اقتصادی با آن مواجه است. چنین تصمیماتی تحت تأثیر برخی نسبت‌های مهم مالی قرار دارند که تاکنون در مدل‌های بهینه‌سازی زنجیره تأمین به آن‌ها توجه نشده است [4]. در تحقیقات گذشته، مدل‌های زیادی برای سیستم VMI با مفروضات مختلفی، ایجاد شده‌اند؛ بااین‌حال، در اکثر مدل‌های ایجادشده، تابع هدف از نوع حداقل‌کردن هزینه‌های کل زنجیره تأمین بوده است. مقاله حاضر به دنبال ایجاد رویکردی جدید در طراحی مدل‌های VMI با هدف حداکثرکردن گردش موجودی‌های انبار تولیدکننده است. این مدل مبتنی بر برنامه تولید اصلی و ضرایب مصرف مواد در محصولات مختلف تولیدی، به دنبال دستیابی به سطوح بهینه موجودی‌ها و تعیین حدود بازپرسازی انبار برای تأمین‌کنندگان با لحاظ محدودیت‌های عدم بروز کمبود مواد و حداقل و حداکثر سطح انبار تولیدکننده است.

2- مبانی نظری تحقیق

2-1- مروری بر آخرین تحقیقات انجام‌شده در حوزه مدل‌های VMI

علی محمدی و همکاران در سال 2018 یک شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی را با در نظر گرفتن تفکر سیستمی و کل گرا و در راستای پوشش دادن به سطوح تصمیم گیری تاکتیکی و راهبردی ایجاد نمودند. آنها ملاحظات مالی را در کنار ملاحظات عملیاتی در نظر گرفته و درقالب یک مدل ریاضی، ابعاد مالی و عملیاتی زنجیره تامین را یکپارچه نمودند [5].

در سال 2017، اکبری و همکارانش مدلی از زنجیره تأمین مبتنی بر VMI برای اقلام فاسدشدنی باهدف حداقل کردن هزینه کل زنجیره تأمین، شامل هزینه ثبت سفارش، هزینه نگهداری، تخفیفات و فساد مواد با در نظر گرفتن چرخه بازپرسازی و اندازه سفارش و زمان تولید موردنیاز برای تأمین موجودی توسط خرده‌فروش‌ها، ارائه نمودند [6].

بنی‌اسدی و همکارانش در سال 2017 یک مدل ریاضی VMI برای زنجیره تأمین با سه سطح از انبارهای مرکزی، چندین مرکز توزیع و خرده‌فروش‌های متعدد ارائه

کردند که به‌صورت یک برنامه‌ریزی عددصحیح ترکیبی بوده و عدم قطعیت مؤلفه های ورودی مختلف در آن لحاظ شده است [7].

آنا در سال 2016 با موضوع پیاده‌سازی مدیریت موجودی زنجیره تأمین توسط تأمین‌کننده با مدل موجودی احتمالی ساده و با هدف بررسی اثر مدیریت موجودی، قبل و بعد از اجرای VMI و اثبات منافع حاصل از اجرای آن برای تأمین‌کننده و خریدار با محدودیت‌های وجود یک تأمین‌کننده و یک خریدار و تقاضای احتمالی با توزیع نرمال و متغیرهای تصمیم ِمقدار سفارش و زمان سفارش تا تأمین و با استفاده از سه مثال عددی به این نتیجه می‌رسد که مدل تحلیلی ارائه‌شده قادر به کاهش هزینه‌های مورد انتظار زنجیره تأمین، بهبود سطح خدمات و افزایش بازپرسازی موجودی است [2].

بودهانکر و رنگری در سال 2016 پژوهشی با عنوان «مدیریت زنجیره تأمین-رویکردی جدید به فرآیند تجاری» انجام دادند. هدف از این تحقیق ایجاد یک مدل پایدار برای سیستم زنجیره تأمین شامل یک تأمین‌کننده و یک تولیدکننده بوده است. این پژوهش از سیستم VMI و مؤلفه های شناخته‌شده‌ی عملکرد موجودی، برای مقایسه عملکرد سیستم VMI پیشنهادی نسبت به سیستم‌های کششی- فشاری سنتی و از روش حل صفحه گسترده‌ی پیش‌بینی مشارکتی و محدودیت‌های زمان تأمین ِمعلوم و توابع توزیع تقاضای مختلف، بهره برده و بهترین سیاست سفارش‌گذاری از بین EOQ، سفارش ماهیانه، JIT و VMI را تعیین کرده است. یافته‌های این تحقیق نشان داد که تحت سیاست VMI، سطح موجودی‌های زنجیره تأمین کاهش‌یافته، پیش‌بینی‌های بهتری از تقاضا صورت گرفته، هزینه‌ها کاهش یافته و خدمات بهتری ارائه شده است [8].

چن و همکارانش در سال 2016 پژوهشی با موضوع برنامه‌ریزی زنجیره تأمین نیمه‌هادی‌ها به همراه تصمیمات نقطه گسست و سناریوی VMI انجام دادند. هدف از این پژوهش، کمک به تصمیم گیران جهت تعیین مقادیر تولید و تحویل در مکان‌های مختلف، تعیین نقطه گسست زنجیره تأمین کششی–فشاری، تعیین مقادیر حدی موجودی و سناریوی مدیریت موجودی توسط فروشنده با محدودیت‌های چندین

مرحلـه تولیـد، چنـدین کارخانـه، محصـولات متعـدد دارای رتبه‌بنـدی در صـنعت نیمه‌هادی‌ها بود. در این تحقیق با استفاده از روش حل لینگو[2] و برنامه اکسـل[3] مـدلی یکپارچه جهت تعیین نقطـه گسسـت، انتخـاب سـناریوی VMI مناسـب و برنامـه‌ریزی تولید با هدف بهینه‌سازی منافع کل زنجیره تأمین پیشنهاد شد [9].

پژوهش کریچانچای و مـک کـارتی در سـال 2016 بـا موضـوع پـذیرش مـدیریت موجودی توسط فروشنده برای زنجیره تأمین داروی بیمارستانی، با هدف شناسـایی عوامل اثرگذار بر پذیرش VMI در زنجیـره تـأمین دارو شـامل سـه بیمارسـتان، یـک توزیع‌کننده و یک تأمین‌کننده/تولیدکننده صورت پذیرفته است. این تحقیق بـا اسـتفاده از فنون سه‌گانه مورداستفاده در جمع‌آوری داده‌ها شامل مصاحبه، بازدید از سـایت، و بررسی اسناد و مدارک جهت ارتقای اعتبار و استواری تحقیق، منجر بـه شناسـایی دو نوع اقدام VMI (بخش خصوصی و عمومی) در حوزه بیمارستان/تأمین‌کننده شـد. براساس نتایج این تحقیق، بخش عمومی شامل بیمارستان‌ها، بر بهبود سـطح خـدمات تأکید دارند؛ درحالی‌که بخش خصوصی که شامل تأمین‌کننـدگان اسـت، بـر ارتباطـات قوی با مشتریان کلیدی خود تأکید دارند [10].

صادقی و همکاران در سال 2016 در پژوهشی با موضوع «بهینه‌سازی یـک مـدل موجودی با تقاضای فازی، سفارش‌های عقب افتاده و تخفیـف»، از الگـوریتم ترکیبـی رقابـت اسـتعماری در زنجیـره تـأمین بـا یـک فروشـنده و چنـدین خرده‌فـروش، و محدودیت‌های فضای انبار و تعداد سفارش‌ها به منظـور دسـتیابی بـه جـواب نزدیـک بهینه شامل اندازه سفارش و نرخ بازپرسازی خرده‌فروش‌ها استفاده کرده و حـداکثر مقادیر سفارش‌های عقب افتاده اقلـام خرده‌فروش‌هـا و قیمـت مناسـب اقلـام را بـرای حداقل کردن کل هزینه‌های موجودی ارائه دادند. مدل ارائه‌شده یک مسـئله از نـوع NP کامل بوده و از الگوریتم ترکیبی رقابت اسـتعماری بـرای یـافتن جـواب نزدیـک بهینـه استفاده کرده است. درنهایت، اثرات برخی از مؤلفه های هزینه بر جواب به‌دسـت‌آمده برای رسیدن به دیدگاه‌های مدیریتی، موردبررسی قرار گرفته است [11].

2. Lingo 12.0

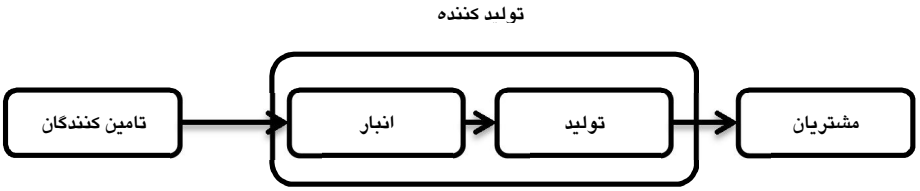
3. Microsoft Excel 2010

2-2- جمع‌بندی پیشینه تحقیق طی 10 سال گذشته

- با بررسی پیشینه تحقیق مشخص می‌شود که عمده تحقیقات صورت گرفته در حوزه طراحی مدل‌های VMI، هدفشان بهینه‌کردن تابع هدفِ هزینه‌های کل زنجیره تأمین بوده است [2، 6، 7، 22-12].
- در زمینه طراحی مدل بهینه سیستم VMI باهدف یافتن سطح بهینه گردش موجودی‌های انبار، پژوهشی مشاهده نشد و در معدود تحقیقاتی که در حوزه VMI به موضوع گردش موجودی‌های انبار پرداخته شده، به‌عنوان یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد سیستم VMI به آن نگاه شده و در واقع، به‌عنوان نتیجه و یکی از مزایای اجرای VMI لحاظ شده است [27-23]. بنابراین از بهینه‌سازی گردش موجودی‌ها به‌عنوان هدف طراحی مدل VMI استفاده نشده است [28].
- در پژوهش‌های مرتبط با طراحی مدل‌های VMI، محدودیت فضای انبار یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین محدودیت‌هایی است که در اغلب پروژه‌ها موردتوجه محققان بوده است [14، 15، 17، 19، 24، 25].
- محدودیت غیرمجاز بودن کمبود قطعات در سیستم VMI نیز در برخی از تحقیقات لحاظ شده است [26، 27] . تأمین نیاز مشتریان در شرایطی که تأمین‌کنندگان با کمبود موجودی روبه‌رو هستند، از ابعاد گوناگون همچون مدل‌سازی هزینه‌های فروش ازدست‌رفته، هزینه‌های به تأخیر انداختن سفارش مشتریان یا تأمین قسمتی از سفارش مشتریان مدل‌سازی شده است.
- در تحقیقات قبلی، بیشترین متغیرهای تصمیمِ در نظر گرفته‌شده برای مدل‌های VMI عبارت‌اند از: 1- مقدار سفارش‌های ارسالی از تأمین‌کننده به تولیدکننده [17، 19، 26، 27]؛ 2- سطح و تواتر بهینه بازپرسازی موجودی‌ها [17، 19، 20، 26، 27]؛ 3- سطح بهینه موجودی کالا در انبار [20، 21].

3- بیان مسئله تحقیق

یک زنجیره تأمین شامل چندین تأمین‌کننده و یک شرکت تولیدکننده محصولات نهایی موردنیاز مشتریان مطابق شکل 1 مفروض است.



شکل 1 زنجیره تأمین یک شرکت تولیدی

مسئله تحقیق عبارت است از بهینه کردن گردش موجودی‌ها در انبار تولیدکننده به‌گونه‌ای که:

- تولیدکننده، محصولات متعددی را تولید می‌کند؛
- هر محصول دارای اجزای مشابه یا متفاوت با سایر محصولات است؛
- تأمین قطعات موردنیاز تولیدکننده بر اساس سیستم VMI صورت می‌پذیرد. در این سیستم، مدیریت موجودی‌های انبار تولیدکننده، بر عهده تأمین‌کنندگان بوده و بر اساس سطح موجودی انبار و حدود تعیین‌شده، انبار تولیدکننده را بازپرسازی می‌کنند؛
- بازبینی سطح موجودی‌ها به‌صورت روزانه بوده و دوره زمانی برنامه‌ریزی موجودی، یک دوره یک‌ساله (شامل 12 ماه و معادل 257 روز کاری) در نظر گرفته می‌شود؛
- سطح موجودی‌ها در انبار بین حداقل و حداکثر تعیین‌شده است؛
- کمبود قطعات در خط تولید مجاز نیست.

3-1- نشانه‌ها و تعاریف آن‌ها

J: تعداد کل محصول ($j = 1,2,3, \dots, J$)؛

K: تعداد کل قطعات ($k = 1,2,3, \dots, K$)؛

m: شماره ماه‌های سال ($m = 1,2,3, \dots, 12$)؛

t: شماره روزهای کاری سال ($t = 1,2,3, \dots, 257$)؛

$D_{j,m}$: مقدار تقاضای محصول j در ماه m؛

$BOM_{k,j}$: ضریب مصرف کالای k در محصول j؛

$C_{k,m}$: مقدار موردنیاز از کالای k در ماه m ($C_{k,m} = BOM_{k,j} \times D_{j,m}$)؛

$DAYS_m$: تعداد روزهای کاری در ماه m؛

T: مجموع روزهای کاری سال ($T = \sum_{m=1}^{12} DAYS_m$)؛

$C_{k,t}$: مقدار موردنیاز از کالای k در روز t برای تولید ($C_{k,t} = \frac{C_{k,m}}{DAYS_m}$ ، $\forall m$)؛

P_k: قیمت خرید کالای k؛

$I_{k,t}$: موجودی کالای k در روز t؛

$X_{k,t}$: مقدار کالای k که در روز t از تأمین‌کننده ارسال می‌شود؛

$I_{k,min}$: حداقل موجودی کالای k در انبار؛

$I_{k,max}$: حداکثر موجودی کالای k در انبار؛

$I_{k,0}$: موجودیِ اول دوره از کالای k (معلوم)؛

$I_{k,vmi}$: حد بهینه بازپرسازی موجودی در VMI برای کالای k.

4- مدل‌سازی تحقیق

بر اساس نشانه‌ها و تعاریف بیان‌شده در بالا، مدل پیشنهادی فرمول‌بندی می‌شود:

$$MaxZ = \frac{\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} P_k.C_{k,t}}{\sum_{k=1}^{K} P_k.\left[\frac{\left(\sum_{t=1}^{T} I_{k,t} + I_{k,0}\right)}{T+1}\right]} \quad (1)$$

Subject to

$$I_{k,0} = Certain \qquad \forall k \quad (2)$$

$$X_{k,t} = I_{k,vmi} - I_{k,t-1} \qquad \forall k, \forall t \quad (3)$$

$$I_{k,t} = I_{k,t-1} + X_{k,t} - C_{k,t} \quad \forall k, \forall t \quad (4)$$

$$I_{k,t} \geq I_{k,min} \qquad \forall k, \forall t \quad (5)$$

$$I_{k,t} \leq I_{k,max} \qquad \forall k, \forall t \qquad (6)$$

$$I_{k,min} \leq I_{k,vmi} \leq I_{k,max} \qquad \forall k \qquad (7)$$

$$I_{k,t} \geq 0 \qquad \forall k, \forall t \qquad (8)$$

$$X_{k,t} \geq 0 \qquad \forall k, \forall t \qquad (9)$$

معادله 1، تابع هدف پیشنهادی است که باید حداکثر شود. تابع هدف مدل، به‌صورت حداکثرکردن تعداد دفعات گردش موجودی‌های انبارِ تولیدکننده در نظر گرفته می‌شود. تعداد دفعات گردش موجودی‌ها، یکی از شاخص‌های مالی است که میزان استفاده اثربخش از موجودی‌ها را نشان می‌دهد. این شاخص از محاسبه نسبت زیر به دست می‌آید:

$$\text{تعداد دفعات گردش موجودی‌ها} = \frac{\text{ارزش کالاهای مصرف شده در یک بازه زمانی معین}}{\text{ارزش متوسط موجودی‌های انبار در همان بازه زمانی}}$$

معادله‌های 2 تا 9، محدودیت‌های مسئله هستند. معادله 2، معین‌بودن مقادیر موجودی اقلام در ابتدای دوره برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. معادله 3، مقداری را که تأمین‌کننده در مقاطع بازبینی موجودی‌ها باید بازپرسازی کند، محاسبه می‌کند. این مقدار بر اساس سطح موجودی اقلام و اختلاف آن تا حد بهینه موجودی در سیستم VMI تعیین می‌شود. معادله 4 میزان موجودی هر دوره را بر اساس موجودی دوره قبل، مقدار تأمین‌شده توسط تأمین‌کنندگان و مقدار مصرف‌شده از موجودی در دوره جاری محاسبه می‌کند. معادله 5، محدودیت حداقل موجودی انبار را نشان می‌دهد. موجودی اقلام انبار در مقاطع مختلف زمانی نباید از حداقل موجودی انبار کمتر شوند. معادله 6، محدودیت حداکثر موجودی انبار را نشان می‌دهد. موجودی اقلام

انبار در مقاطع مختلف زمانی نباید از حداکثر موجودی انبار بیشتر شود. معادله 7 نشان می‌دهد که مقدار بهینه موجودی در سیستم VMI در فاصله بین حدود حداقل و حداکثر موجودی انبار تعیین می‌شود. معادله 8، شرط منفی نشدن مقدار موجودی بوده و عدم بروز کمبود کالا را کنترل می‌کند. معادله 9 نشان می‌دهد که نباید مقدار کالای تأمین‌شده توسط تأمین‌کنندگان، منفی باشد.

برای درک بهتر تابع هدف مدل، یک مثال ساده از یک زنجیره تأمین با دو محصول و هرکدام مشتمل بر سه قلم کالا را در نظر بگیرید که برای چهار دوره زمانی برنامه‌ریزی می‌شود. فرض کنید برنامه تولید محصولات و ضرایب مصرف و قیمت اقلام مطابق جداول زیر باشد:

جدول 1 برنامه تولید محصولات مفروض

دوره زمانی	1	2	3	4
محصول اول	100	200	300	400
محصول دوم	200	400	600	800

جدول 2 ضرایب مصرف اقلام

اقلام کالا	1	2	3
محصول اول	2	1	2
محصول دوم	4	0	2

بنابراین، مصرف اقلام در دوره‌های زمانی به‌صورت جدول 3 محاسبه می‌شود.

جدول 3 مصرف اقلام

دوره زمانی	1	2	3	4
کالای 1	1000	2000	3000	4000
کالای 2	100	200	300	400
کالای 3	600	1200	1800	2400

اگر جدول قیمت کالاها به‌صورت جدول4 باشد، ارزش مصرف کالاها به‌صورت جدول 5 است.

جدول 4 قیمت اقلام

	قیمت
کالای 1	20
کالای 2	40
کالای 3	10

جدول 5- ارزش مصرف

	ارزش مصرف
کالای 1	200000
کالای 2	40000
کالای 3	60000
مجموع ارزش مصرف کالاها	210000

بنابراین، صورت کسر تابع هدف مثال فرضی برابر با 210000 واحد پولی محاسبه شد. برای به دست آوردن مخرج کسر تابع هدف باید ارزش متوسط موجودی‌های اقلام را به دست آوریم. برای این منظور فرض کنید موجودی ابتدای دوره اقلام و حدود VMI به‌صورت جدول 6 باشد.

جدول 6 موجودی ابتدای دوره اقلام و حدود VMI

	موجودی ابتدای دوره	حدود VMI
کالای 1	1000	4000
کالای 2	200	400
کالای 3	1500	2500

حدود VMI یعنی اگر در انتهای دوره، موجودی کمتر از این حدود باشد، تا سطح آن بازپرسازی انجام می‌شود. جدول 7 مقادیر موجودی انتهای هر دوره و درنهایت، متوسط موجودی‌های اقلام را محاسبه می‌کند.

جدول 7 محاسبه مقادیر موجودی اقلام

کالا-دوره	موجودی ابتدای دوره	حد VMI	مقدار موردنیاز تا رسیدن به حد VMI	مقدار مصرف در دوره	موجودی انتهای دوره
کالای 1 – دوره 1	1000	4000	3000	1000	3000
کالای 1 – دوره 2	3000	4000	1000	2000	2000
کالای 1 – دوره 3	2000	4000	2000	3000	1000
کالای 1 – دوره 4	1000	4000	3000	4000	0
متوسط موجودی‌های کالای 1 طی دوره برنامه‌ریزی (4 دوره)					1400
کالای 2 – دوره 1	200	400	200	100	300
کالای 2 – دوره 2	300	400	100	200	200
کالای 2 – دوره 3	200	400	200	300	100
کالای 2 – دوره 4	100	400	300	400	0
متوسط موجودی‌های کالای2 طی دوره برنامه‌ریزی (4 دوره)					160
کالای3 – دوره1	1500	2500	1000	600	1900
کالای3 – دوره2	1900	2500	600	1200	1300
کالای3 – دوره3	1300	2500	1200	1800	700
کالای3 – دوره4	700	2500	1800	2400	100
متوسط موجودی‌های کالای 3 طی دوره برنامه‌ریزی (4 دوره)					1100

اگر قیمت اقلام را نیز در نظر بگیریم، ارزش متوسط موجودی‌ها به‌صورت جدول 8 محاسبه می‌شود.

جدول 8 ارزش متوسط موجودی‌ها

	متوسط موجودی‌ها طی دوره برنامه‌ریزی	قیمت	ارزش متوسط موجودی‌ها
کالای 1	1400	20	28000
کالای 2	160	40	6400
کالای 3	1100	10	11000
مجموع ارزش متوسط موجودی‌های اقلام			45400

بنابراین، مخرج کسر تابع هدف مثال فرضی برابر با 45400 واحد پولی محاسبه شد. مقدار گردش موجودی‌های انبار برای مثال فرضی از جدول 9 محاسبه می‌شود.

جدول 9 محاسبه گردش موجودی‌های انبار

ارزش مصرف اقلام طی دوره برنامه‌ریزی	210000
ارزش متوسط موجودی‌های انبار طی دوره برنامه‌ریزی	45400
گردش موجودی‌های انبار طی دوره برنامه‌ریزی	4/625

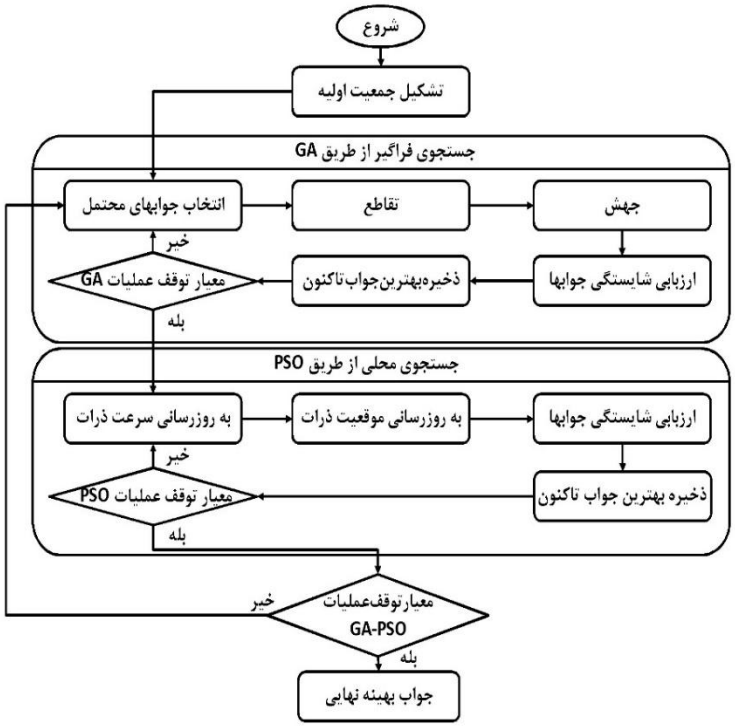
5- روش حل مدل پیشنهادی

الگوریتم‌های ژنتیک از خانواده مدل‌های محاسباتی هستند که اولین بار توسط هالند با الهام از تکامل تدریجی طبیعت ایجاد شدند [29]. این الگوریتم‌ها یک راه‌حل بالقوه را برای مسئله‌ای مشخص بر روی یک ساختار ساده داده، همانند کروموزوم، کدگذاری نموده و عملگرهای ترکیب، این ساختارهای داده را با حفظ اطلاعات حیاتی به کار می‌گیرند. GA ها اغلب به‌عنوان بهبوددهنده توابع در نظر گرفته شده و دامنه وسیعی

از مسائل را پوشش می‌دهند. همچنین آن‌ها برای حل موفقیت‌آمیز مسائل مختلفی مانند طراحی بهینه، کنترل منطق فازی، شبکه‌های عصبی، سیستم‌های خبره، زمان‌بندی و دیگر مسائل بکار گرفته شده‌اند [30].

الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات، یک روش بهینه‌سازی تصادفی مبتنی بر جمعیت است که توسط ابرهارت و کندی برای اولین بار معرفی شد و شامل یک جمعیت مبتنی بر بهینه‌ساز تصادفی است که از طریق تقلید رفتار گروه پرندگان و دسته‌های ماهی عمل می‌کند. در این الگوریتم، هر راه‌حل به‌عنوان یک ذره در میان اجتماعی از ذرات (راه‌حل‌های مسئله) مطرح است. هر ذره یک موقعیت و بردار سرعت تصادفی دارد که به آن میزان در فضای مسئله به سمت بهترین ذرات موجود، حرکت (پرواز) می‌کند. خاصیت الگوریتم بهینه‌سازی PSO این است که به‌سرعت همگرا می‌شود، اما در نزدیکی‌های نقطه بهینه، فرآیند جستجو به‌شدت کُند می‌شود. از طرفی می‌دانیم که الگوریتم ژنتیک نیز به شرایط اولیه به‌شدت حساس است. در حقیقت، طبیعت تصادفی عملگرهای ژنتیک، الگوریتم را به جمعیت اولیه حساس می‌کند. این وابستگی به شرایط اولیه به‌گونه‌ای است که اگر جمعیت اولیه خوب انتخاب نشود، ممکن است الگوریتم همگرا نشود [31].

در این مقاله، یک استراتژی جستجوی فراگیر و محلی مبتنی بر ترکیب الگوریتم‌های GA و PSO مورداستفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم ترکیبی به‌طور مؤثرتر و کارآمدتری عمل می‌کند. هدف ما بهره‌مندی هم‌زمان از هر دو توانایی جستجوی فراگیر و محلی برای دستیابی به بهترین جواب ممکن با کارایی بهتر است. در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا از GA برای انجام جستجوی فراگیر در کل فضای پاسخ استفاده می‌شود. سپس از PSO جهت جستجوی محلی در نزدیکی بهترین راه‌حل یافته شده توسط GA، به منظور بهبود راه‌حل نهایی استفاده می‌شود. این فرآیند، مجدداً به جستجوی فراگیر GA منتقل شده و پس‌ازآن به جستجوی محلی PSO برمی‌گردد. این چرخه تا برآورده شدن شرط توقف عملیات الگوریتم ترکیبی و رسیدن به بهترین جواب ممکن ادامه می‌یابد. فلوچارت کلی الگوریتم پیشنهادی در شکل 2 قابل‌رؤیت است.

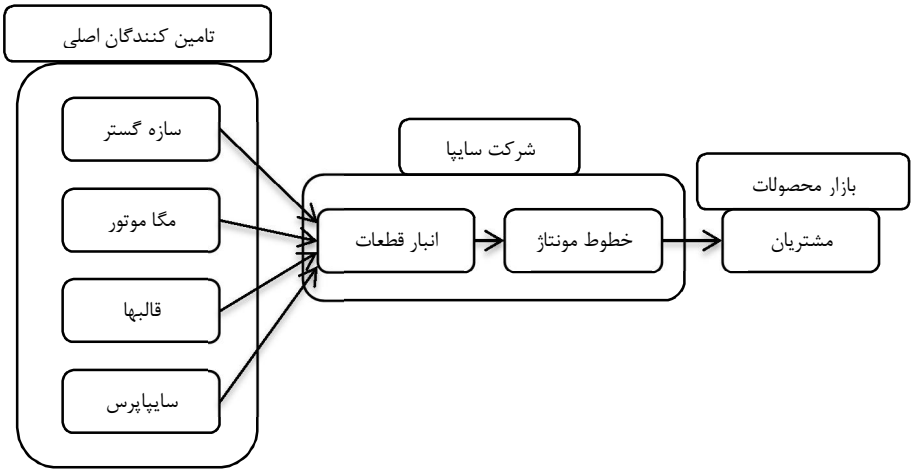


شکل 2 الگوریتم حل ترکیبی پیشنهادی GA-PSO

6- مطالعه موردی: زنجیره تأمین قطعات شرکت سایپا

شرکت خودروسازی سایپا، دومین قطب تولید خودرو در ایران، از سال 1346 شروع به فعالیت نموده و طی 50 سال گذشته، محصولات متنوعی را بسته به شرایط بازار و نیاز مشتریان خود تولید نموده است. این شرکت امروزه با بیش از 80 شرکت تابعه به‌عنوان یک گروه هلدینگ عمل نموده و فعالیت اصلی خود را بر مونتاژ محصولات نهایی متمرکز نموده است. زنجیره تأمین قطعات اصلی شرکت سایپا شامل تأمین‌کنندگان رده اول است که تأمین قطعات و مجموعه‌های اصلی را که به‌طور مستقیم در مونتاژ خودرو مورداستفاده قرار می‌گیرند، به عهده دارند. این تأمین‌کنندگان رده اول، هرکدام تأمین‌کنندگان رده پایین‌تری دارند که قطعات موردنیاز آن‌ها را برای تولید و مونتاژ

قطعات اصلی، تأمین می‌کنند. در شکل 3، نمایی از زنجیره تـأمین قطعـات اصـلی شـرکت سایپا نمایش داده شده است.



شکل 3 نمای کلی زنجیره تأمین قطعات اصلی شرکت سایپا

6-1- قطعات اصلی مشمول طرح VMI

درمجموع، 795 قطعه یا مجموعه اصـلی از تأمین‌کننـدگان رده اول، بـرای مونتـاژ دو نوع محصول با نام‌های اختصاری S131 و S132 در سایپا تأمین می‌شـوند. تعـداد 10 قلم از این اقلام اصلی، از چنـدین تأمین‌کننـده به‌صـورت چنـدمنبعی تـأمین می‌شـوند. صرف‌نظر از شرکت تأمین‌کننـده، تعـداد 785 قطعـه اصـلی دیگـر در مونتـاژ ایـن دو محصول، مورداستفاده قرار می‌گیرند. این قطعات در 3 گروه از دسته‌بندی قطعات بـه شرح زیر قرار می‌گیرند:

- اقلام گروه A: شامل اقلام حجیم و باارزش بالا مانند موتور، گیـربکس، داشـبورد و صندلی (111 قلم)؛
- اقلام گروه B: شامل اقلام کارتنی و با ارزش نسبتاً بالـا ماننـد کـولر و رادیـاتور (319قلم)؛

• اقلام گروه C: شامل اقلام استاندارد باارزش کم و حجم پایین مانند پیچ و مهره (355 قلم)؛

برنامه VMI شامل بخشی از اقلام فوق به تعداد 441 قلم است که توزیع آن‌ها در هریک از گروه‌های A، B و C به‌صورت زیر است:

• تعداد اقلام مشمول طرح VMI از گروه A: 111 قلم؛
• تعداد اقلام مشمول طرح VMI از گروه B: 306 قلم؛
• تعداد اقلام مشمول طرح VMI از گروه C: 24 قلم.

نحوه توزیع اقلام مشمول طرح VMI در بین تأمین‌کنندگان اصلی به شرح زیر است:

• شرکت سازه‌گستر: 409 قلم؛
• شرکت مگاموتور: 18 قلم؛
• شرکت قالب‌ها: 11 قلم؛
• شرکت سایپاپرس: 3 قلم.

6-2- برنامه تولید محصولات S131 و S132 در سال 96

برنامه تولید اصلی شرکت سایپا در سال 96 برای هریک از مدل‌های تولیدی S131 و S132 به شرح جدول 10 است:

جدول 10 برنامه تولید S131 و S132 در سال 1396

مجموع روزهای کاری در هر ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع
	13	22	22	21	25	17	22	23	23	24	24	21	257
S131	1850	8140	8140	7770	9250	6290	8140	8510	8510	8880	8880	7770	92130
S132	550	2420	2420	2310	2750	1870	2420	2530	2530	2640	2640	2310	27390

3-6- وضعیت فعلی طرح VMI در زنجیره تأمین قطعات اصلی سایپا

در وضعیت فعلی، حدود بازپرسازی طرح VMI برابر حداکثر موجودی انبارها در نظر گرفته شده و حداقل موجودی انبارها نیز به میزان 20% میزان حداکثر موجودی انبارها لحاظ می‌شود. در این وضعیت در زمان‌های بازنگری موجودی‌ها توسط تأمین‌کنندگان، درصورتی‌که سطح موجودی انبارها از حداکثر موجودی اقلام کمتر باشد، تا سقف حداکثر موجودی، بازپرسازی صورت می‌گیرد.

7- نتایج تحقیق

با توجه به اطلاعات دریافتی از زنجیره تأمین شرکت سایپا شامل فهرست اقلام مشمول طرح VMI (441 قلم)، برنامه تولید مدل‌های تولیدی (S131 و S132) و ضرایب مصرف اقلام در مدل‌های تولیدی، مدل پیشنهادی جهت یک دوره یک‌ساله شامل 257 روز کاری (بازبینی موجودی‌ها به‌صورت روزانه)، در نرم‌افزار متلب اجرا شده که نتایج آن به شرح جدول 11 است.

جدول 11 نتایج حل مدل پیشنهادی در وضعیت فعلی

شاخص مورد ارزیابی	مقدار شاخص	واحد اندازه‌گیری
اقلام مصرفی در خطوط تولید	408،250،643،489	ریال
متوسط موجودی‌های انبار	153،380،276،487	ریال
گردش موجودی‌های انبار	2/66	مرتبه در سال
متوسط سطح موجودی انبار	5840	عدد در روز از هر قلم کالا
متوسط میزان بازپرسازی اقلام	491	عدد در روز از هر قلم کالا

7-1- حل مدل پیشنهادی در وضعیت بهینه با الگوریتم‌های GA، PSO و GA-PSO

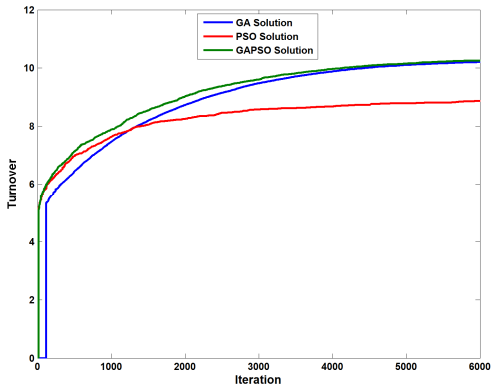
پس از کدنویسی الگوریتم‌های بهینه‌سازی GA، PSO و ترکیبی GA-PSO در نرم‌افزار متلب ویرایش 8/3 و اجرای برنامه بر روی رایانه‌ای با پردازنده اینتل 2/6 گیگاهرتز و 8 گیگابایت حافظه در ویندوز 10 تا 6000 تکرار، نتایج به شرح جدول 12 نشان داده می‌شود. در هر تکرار از الگوریتم ترکیبی، 5 تکرار با الگوریتم ژنتیک و 10 تکرار با

الگوریتم اجتماع ذرات اجرا می‌شود، به‌این‌ترتیب با 400 بار تکرار الگوریتم ترکیبی، مجموعاً 6000 تکرار حاصل می‌شود ((10+5)×400).

جدول 12 نتایج حل مدل با الگوریتم‌های GA، PSO و GA-PSO

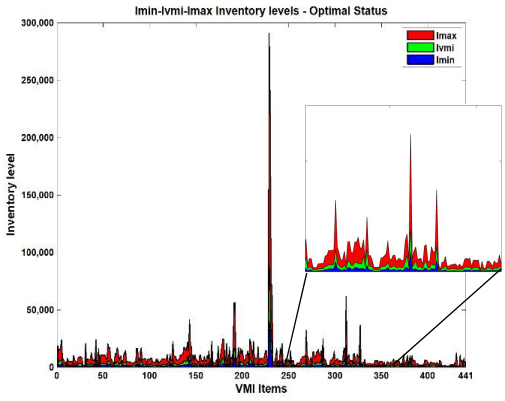
شاخص مورد ارزیابی	الگوریتم بهینه‌سازی	مقدار شاخص	واحد اندازه‌گیری
اقلام مصرفی در خطوط تولید	GA، PSO و GA-PSO	408،250،643،489	ریال
متوسط موجودی‌های انبار	GA	39،977،934،010	ریال
	PSO	46،037،851،754	
	GA-PSO	39،777،399،635	
گردش موجودی‌های انبار	GA	10/21	مرتبه در سال
	PSO	8/86	
	GA-PSO	10/26	
متوسط سطح موجودی انبار	GA	1467	عدد در روز از هر قلم کالا
	PSO	2296	
	GA-PSO	1499	
متوسط میزان بازپرسازی اقلام	GA	474	عدد در روز از هر قلم کالا
	PSO	477	
	GA-PSO	474	
زمان اجرای برنامه	GA	109	ثانیه در هر تکرار
	PSO	99	
	GA-PSO	102	

نمودار روند حل تکاملی مدل پیشنهادی توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک، اجتماع ذرات و ترکیب آن‌ها به‌صورت شکل 4 است.



شکل 4 نمودار مقایسه روند تکاملی حل مدل پیشنهادی با روش‌های بهینه‌سازی GA، PSO و GA-PSO

در وضعیت فعلی، در مقاطع بازبینی موجودی‌های انبار توسط تأمین‌کنندگان، بازپرسازی موجودی‌ها تا سقف حداکثر موجودی مجاز انبارها صورت می‌گیرد. اجرای مدل پیشنهادی در وضعیت بهینه باعث می‌شود که در مقاطع بازبینی موجودی‌ها، بازپرسازی موجودی‌ها تا حدود بهینه (Ivmi) انجام شود که این حدود بر اساس حداکثر نمودن تابع هدف گردش موجودی‌های انبار به دست آمده است. شکل 5 نمودار سطوح موجودی‌های حداکثر، حداقل و حدود بهینه بازپرسازی را نشان می‌دهد.



شکل 5 نمودار سطوح موجودی‌های حداکثر، حداقل و بهینه VMI

8- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

تحقیق حاضر به دنبال طراحی و به‌کارگیری مدل VMI با هدف حداکثر کردن گردش موجودی‌های انبار تولیدکننده در یک زنجیره تأمین با لحاظ محدودیت‌های انبار و عدم‌کمبود مواد در خطوط تولید بوده که منجر به دستیابی به مقادیر بهینه حدود بازپرسازی اقلام انبار با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی شد. به‌عنوان مطالعه موردی، اجرای برنامه VMI بر اساس مدل پیشنهادی در زنجیره تأمین شرکت سایپا باعث افزایش گردش موجودی‌های انبار تولیدکننده به میزان بیش از 3 برابر وضع فعلی، 74% کاهش در متوسط سطح موجودی‌های انبار و 70% کاهش در متوسط حدود بازپرسازی اقلام می‌شود. استفاده از مدل پیشنهادی در نهایت می‌تواند بیش از 113 میلیارد ریال در ارزش موجودی‌های انبار صرفه‌جویی کرده و منجر به کاهش سرمایه در گردش موردنیاز در تأمین موجودی‌ها شود.

9- منابع

[1] Kolyaei M, Azar A, Amini M, Rajabzadeh Gatari A. “Design of integrated mathematical model for closed-loop supply chain,” *Pazhoheshha_E Modiriat Iran*, vol. 20, no. 1, pp. 1-32, 2016.

[2] I. D. Anna, “The implementation of Vendor Managed Inventory in the supply chain with simple probabilistic inventory model,” *3rd Bali International Seminar on Science and Technology, BISSTECH 2015*, vol. 58. 2016.

[3] A. J. Kleywegt, V. S. Nori, and M. W. P. Savelsbergh, “The Stochastic Inventory Routing Problem with Direct Deliveries,” *Transp. Sci.*, vol. 36, no. 1, pp. 94–118, 2002.

[4] E. Khakbazan, S. Chaharsoghi, F. Mokhatab Rafiei, “Presenting an Integrated Value Based Supply Chain Model Considering Financial Ratios in Financial Decisions,” *Modern Research in Decision Making*, von. 3, no. 1, pp. 113-136. 2018.

[5] A. Mohammadi, M. khalifeh, M. Alimohammadlou, A. Abbasi, M. Eghtesadifard. “Designing Operational and Financial Multi Echelon Supply

Chain System in Strategic and Tactical Levels of Decision-Making," *Modern Research in Decision Making*, vol. 1, no. 3, pp. 267-297, 2018.

[6] M. Akbari Kaasgari, D. M. Imani, and M. Mahmoodjanloo, "Optimizing a vendor managed inventory (VMI) supply chain for perishable products by considering discount: Two calibrated meta-heuristic algorithms," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 103, no. Vmi, pp. 227–241, 2017.

[7] H. Bani-Asadi and H. J. Zanjani, "Vendor managed inventory in multi level supply chain," *Decis. Sci. Lett.*, vol. 6, no. 1, pp. 67–76, 2017.

[8] D. S. Bodhankar and D. R. Rangari, "Supply Chain Management - a New Approach of Business Process," *J. INFORMATION, Knowl. Res. Mech. Eng.*, vol. di, no. 1, pp. 663–667, 2016.

[9] M. Chen, Y. Hsiao, and H. Huang, "Semiconductor Supply Chain Planning With Decisions of Decoupling Point and VMI Scenario," *IEEE Trans. Syst. MAN, Cybern. Syst. Semicond. Trans. Syst. MAN, Cybern. Syst.*, pp. 1–13, 2016.

[10] S. Krichanchai and B. L. Maccarthy, "the Adoption of Vendor Managed Inventory for Hospital Pharmaceutical," *Int. J. Logist. Manag*, vol. 3, no. 28, pp. 755-780, 2016.

[11] N. S. Sadeghi J, Mousavi SM, "Optimizing an Inventory Model with Fuzzy Demand, Backordering, and Discount Using a Hybrid Imperialist Competitive Algorithm," *Appl. Math. Model*, vol. 0, pp. 1–18, 2016.

[12] D. Escuin, L. Polo, and D. Cipres, "On the comparison of inventory replenishment policies with time-varying stochastic demand for the paper industry," *J. Comput. Appl. Math.*, no. 309, pp. 424-434, 2015.

[13] A. Mateen, A. K. Chatterjee, and S. Mitra, "VMI for single-vendor multi-retailer supply chains under stochastic demand," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 79, pp. 95–102, 2015.

[14] M. Braglia, D. Castellano, and M. Frosolini, "Safety stock management in single vendor-single buyer problem under VMI with consignment stock agreement," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 154, pp. 16–31, 2014.

[15] S. H. R. Pasandideh, S. T. A. Niaki, and M. Hemmati Far, "Optimization of vendor managed inventory of multiproduct EPQ model with multiple constraints using genetic algorithm," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 71, no. 1–4, pp. 365–376, 2014.

[16] A. Roozbeh Nia, M. Hemmati Far, and S. T. A. Niaki, "A hybrid genetic and imperialist competitive algorithm for green vendor managed inventory of multi-item multi-constraint EOQ model under shortage," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 30, pp. 353–364, 2015.

[17] J. Sadeghi, S. Sadeghi, and S. T. A. Niaki, "A hybrid vendor managed inventory and redundancy allocation optimization problem in supply chain management: An NSGA-II with tuned parameters," *Comput. Oper. Res.*, vol. 41, no. 1, pp. 53–64, 2014.

[18] G. Kannan, M. C. Grigore, K. Devika, and A. Senthilkumar, "An analysis of the general benefits of a centralised VMI system based on the EOQ model," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 51, no. 1, pp. 172–188, 2013.

[19] J. Sadeghi, S. M. Mousavi, S. T. A. Niaki, and S. Sadeghi, "Optimizing a multi-vendor multi-retailer vendor managed inventory problem: Two tuned meta-heuristic algorithms," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 50, no. September 2013, pp. 159–170, 2013.

[20] M. Ben-Daya, E. Hassini, M. Hariga, and M. M. AlDurgam, "Consignment and vendor managed inventory in single-vendor multiple buyers supply chains," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 51, no. June 2015, pp. 1–19, 2012.

[21] D. Kastsian and M. Monnigmann, "Optimization of a vendor managed inventory supply chain with guaranteed stability and robustness," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 131, no. 2, pp. 727–735, 2011.

[22] J. Y. Lee and L. Ren, "Vendor-managed inventory in a global environment with exchange rate uncertainty," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 130, no. 2, pp. 169–174, 2011.

[23] D. D. Achabal, S. H. McIntyre, S. a. Smith, and K. Kalyanam, "A Decision Support System for Vendor Managed Inventory," *J. Retail.*, vol. 76, no. 4, pp. 430–454, 2000.

[24] K. S. Swan, T. Boone, and R. Ganeshan, Identifying and Managing Programmatic Efficiency Differences across Technology- Based Product Development Capabilities and Uncertainty Environments in : New Directions in Supply-Chain management: Technology, Strategy, and Implementation, *New Directions in Supply Chain Management. AMACOM, New York,* pp. 93-124, 2002.

[25] M. Bergvall and N. Björkman, "Dimensioning of inventory levels in a VMI relationship at Atlas Copco Tools AB," Luleå tekniska universitet, 2007.

[26] D. Aihua, "Optimization of Replenishment Strategy for a VMI-Based Apparel Supply Chain," Hong Kong polytechnic university, 2006.

[27] L. Bai and Y. Zhong, "Improving Inventory Management in Small Business: A Case Study," Master Thesis in International Logistics and Supply Chain Management, JÖNKÖPING University, 2008.

[28] Akbari M. "A model for production and inventory control in crisis condition," *Pazhoheshha_E Modiriat Iran*, vol. 19, no. 4, pp. 45-70.

[29] J. H. Holland, "Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence," *Ann Arbor, MI Univ. Michigan Press*, 1975.

[30] J. Stender, T. R. Addis, and S. E. Spenceley, "Principle-Based Engineering and Economic Modelling. '," *Parallel Genet. Algorithms*, pp. 117–128, 1993.

[31] R. Eberhart and J. Kennedy, "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory," in *Proceedings of the Sixth Intemational Symposium on Micromachine and Human Science*, 1995, no. 1, pp. 39–43.