طراحی مدل مدیریت موجودی توسط تامین کنندگان (VMI) در زنجیره تامین کلاس جهانی با هدف حداکثرگردش موجودی کالا در انبار تولید کننده – مورد مطالعه شرکت سایپا

احمد بکلری[۱]، حسن فارسیجانی[۲]، محسن شفیعی نیکابادی[۳]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات دانشگاه سمنان

۲- دانشیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه سمنان

چکیده

مدیریت صحیح موجودیها، یکی از مولفه های اساسی در زنجیره تامین شرکتهای تراز جهانی است. در زنجیره تامین سنتی، زمان بندی و مقادیر سفارشات موردنیاز، توسط خریدار تعیین و به تامین کننده اعلام می شود. اما در زنجیره تامین تراز جهانی، از مدل مدیریت موجودی توسط تامین کنندگان[۲] استفاده می شود. در این مدل، تامین کنندگان بر موجودی تولید کننده نظارت کرده و تصمیم می گیرند چه موقع و به چه میزان، انبار تولید کننده را بازپرسازی کنند. اجرای VMI منجر به کاهش هزینه های موجودی و تولید در شرکتهای تراز جهانی شده و ضمن حفظ سطح مطلوب خدمات مشتری، باعث هماهنگی و شفافیت بیشتر در زنجیره تامین می شود. در تحقیقات گذشته، طراحی مدل های VMI با هدف حداقل کردن هزینه های کل زنجیره تامین، موردتوجه بوده است. در این مقاله، رویکرد جدیدی در طراحی مدل های VMI با هدف بهینه کردن دوره گردش موجودیهای انبار تولید کننده توسعه می یابد که مبتنی بر برنامه تولید محصولات متعدد و ضرایب مصرف مواد، در یک بازه زمانی چند دوره ای، به ارائه برنامه تامین بهینه می پردازد. مطابق برنامه تامین پیشنهادی، سطوح بهینه موجودی و نقاط سفارش و ارسال مواد برای تامین کننده تعیین می شود به گونه ای که باتوجه به محدودیتهای فضای انبار و عدم بروز کمبود مواد، حداکثر گردش موجودیها در انبار تولیدکننده حاصل شود. برای حل بهینه مدل پیشنهادی، از ترکیب الگوریتم های تکاملی ژنتیک[۳] و بهینه سازی اجتماع ذرات[۴] استفاده می شود. بعنوان یک مطالعه موردی، اجرای مدل پیشنهادی در زنجیره تامین شرکت سایپا، بهبود در گردش موجودی کالا، کاهش سطح موجودی انبار و کاهش سطح بازپرسازی کالا توسط تامین کنندگان را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: مدیریت کلاس جهانی، مدیریت زنجیره تامین، مدیریت موجودی توسط فروشنده ، دوره گردش موجودیهای انبار ، الگوریتم های تکاملی

۱- مقدمه

VMI، یکی از آخرین تکنیکهای ایجاد شده در فرایند سفارش و تحویل شرکتهای کلاس جهانی است[۱] . در زنجیره تامین سنتی، تولید کننده (خریدار)، زمان بندی و مقادیر سفارشات را تعیین می کند و تامین کننده نیز بدون اینکه از نحوه سفارش گذاری تولید کننده، اطلاعی داشته باشد، صرفاً به نیاز او پاسخ می دهد. اما در زنجیره تامین تراز جهانی، از مدل مدیریت موجودی توسط تامین کنندگان استفاده می شود. در این مدل، تولید کننده تنها اطلاعاتی درمورد تقاضای مشتری، موجودی باقیمانده در انبارها و حداقل و حداکثر

---

[۱] دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات دانشگاه سمنان ومسئول بهبود فرایندهای زنجیره تامین گروه سایپا (نویسنده مسئول) ، Email: Beklari@semnan.ac.ir

[2] Vendors Managed Inventory (VMI)

[3] Genetic Algorithm (GA)

[4] Particles Swarm Optimization (PSO)

موجودی موردانتظار خود را در اختیار تامین کننده قرار می دهد[۲]. تامین کننده خود بر موجودیهای تولید کننده نظارت می کند و تصمیم می گیرد که چه موقع و به چه مقدار، انبار تولید کننده را بازپرسازی کند. اجرای VMI، منجر به کاهش هزینه های موجودی و تولید در کل زنجیره تامین شده و علاوه بر حفظ سطح مطلوب خدمات مشتری، بهره وری استفاده از منابع را افزایش داده و باعث کاهش هزینه های حمل و نقل از طریق استفاده یکنواخت تر از ظرفیتهای حمل می گردد[۳] . در تحقیقات گذشته، مدلهای زیادی برای سیستم VMI با مفروضات مختلفی، توسعه یافته، با این حال، در اکثر مدلهای توسعه یافته، تابع هدف از نوع حداقل کردن هزینه های کل زنجیره تامین بوده است. مقاله حاضر، به دنبال ایجاد رویکردی جدید در طراحی مدلهای VMI با هدف حداکثر کردن گردش موجودیهای انبار تولید کننده 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 بازیرسازی انبار برای تامین کنندگان با لحاظ محدودیتهای عدم بروز کمبود مواد و حداقل و حداکثر سطح انبار تولیدکننده می باشد.

۲- مبانی نظری تحقیق

۲-۱ مروری بر آخرین تحقیقات انجام شده در حوزه مدل های VMI

در سال ۲۰۱۷ ، اکبری و همکارانش مدلی از زنجیره تامین مبتنی بر VMI برای اقلام فاسد شدنی باهدف حداقل کردن هزینه کل زنجیره تامین، شامل هزینه ثبت سفارش ، هزینه نگهداری ، تخفیفات و فساد مواد و بادرنظر گرفتن چرخه بازپرسازی و اندازه سفارش و زمان تولید موردنیاز برای تامین موجودی توسط خرده فروش ها ، ارائه نمودند[۴] . بنی اسدی و همکارانش در سال ۲۰۱۷، یک مدل ریاضی VMI برای زنجیره تامین با سه سطح از انبارهای مرکزی، چندین مرکز توزیع و خرده فروشهای متعدد ارائه کردند که بصورت یک برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی بوده و عدم قطعیت پارامترهای ورودی مختلف در آن لحاظ شده است[۵]. آنا در سال ۲۰۱۶ با موضوع پیاده سازی مدیریت موجودی زنجیره تامین توسط تامین کننده 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 تامین کننده و خریدار با محدودیتهای وجود یک تامین کننده و یک خریدار و تقاضای احتمالی با توزیع نرمال و متغیرهای تصمیمِ مقدار سفارش و زمان سفارش تا تامین و با استفاده از سه مثال عددی به این نتیجه می رسد که مدل تحلیلی ارائه شده قادر به کاهش هزینه های مورد انتظار زنجیره تامین، بهبود سطح خدمات و افزایش بازپرسازی موجودی می باشد[۲]. بودهانکر و رنگری در سال ۲۰۱۶ با موضوع مدیریت زنجیره تامین- رویکردی جدید به فرایند تجاری، با هدف ایجاد یک مدل پایدار برای سیستم زنجیره تامین شامل یک تامین کننده و یک تولید کننده با استفاده از سیستم VMI و پارامترهای شناخته شده ی عملکرد موجودی، برای مقایسه عملکرد سیستم VMI پیشنهادی نسبت به سیستم های کششی- فشاری سنتی و با استفاده از روش حل صفحه گسترده ی پیش بینی مشارکتی و محدودیتهای زمان تامینِ معلوم و توابع توزیع تقاضای مختلف، بهترین سیاست سفارش گذاری از بین EOQ، سفارش ماهیانه، JIT و VMI را تعیین کردند. یافته های این تحقیق نشان داد که تحت سیاست VMI، سطح موجودیهای زنجیره تامین کاهش یافته، پیش بینی های بهتری از تقاضا صورت گرفته، هزینه ها کاهش یافته و خدمات بهتری ارائه می شود[۶]. چن و همکارانش در سال ۲۰۱۶ با موضوع برنامه ریزی زنجیره تامین نیمه هادیها به همراه تصمیمات نقطه گسست و سناریوی VMI با هدف کمک به تصمیم گیران جهت تعیین مقادیر تولید و تحویل در مکانهای مختلف، تعیین نقطه گسست زنجیره تامین کششی – فشاری، تعیین مقادیر حدی موجودی و سناریوی مدیریت موجودی توسط فروشنده با محدودیتهای چندین مرحله تولید، چندین کارخانه، محصولات متعدد دارای رتبه بندی در صنعت نیمه هادیها و با استفاده از روش حل لینگو[5] و برنامه اکسل[6] منجر به پیشنهاد مدلی یکپارچه جهت تعیین نقطه گسست، انتخاب سناریوی VMI مناسب و برنامه ریزی تولید با هدف بهینه سازی منافع کل زنجیره تامین گردید[۷]. کریچانچای و مک کارتی در سال ۲۰۱۶ با موضوع پذیرش مدیریت موجودی توسط فروشنده برای زنجیره تامین داروی

[5] Lingo 12.0
[6] Microsoft Excel 2010

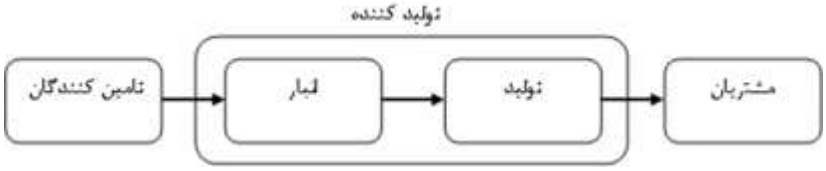
بیمارستانی، با هدف شناسایی عوامل اثرگذار بر پذیرش VMI در زنجیره تامین دارو شامل سه بیمارستان، یک توزیع کننده و یک تامین کننده/تولید کننده و با استفاده از تکنیکهای سه گانه مورد استفاده در جمع آوری داده ها شامل مصاحبه، بازدید از سایت، و بررسی اسناد و مدارک جهت ارتقای اعتبار و استواری تحقیق، منجر به شناسایی دو نوع اقدام VMI (بخش خصوصی و عمومی) در حوزه بیمارستان/تامین کننده گردید. بخش عمومی شامل بیمارستانها، بر بهبود سطح خدمات تاکید دارند درحالیکه بخش خصوصی که شامل تامین کنندگان است بر ارتباطات قوی با مشتریان کلیدی خود تاکید دارند[۸]. صادقی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با موضوع بهینه سازی یک مدل موجودی با تقاضای فازی، سفارشات عقب افتاده و تخفیف، بااستفاده از الگوریتم ترکیبی رقابت استعماری در زنجیره تامین با یک فروشنده و چندین خرده فروش و محدودیتهای فضای انبار و تعداد سفارشات و با هدف یافتن جواب نزدیک بهینه شامل اندازه سفارش، نرخ بازپرسازی خرده فروشها، حداکثر مقادیر سفارشات عقب افتاده اقلام خرده فروش ها و قیمت مناسب اقلام برای حداقل کردن کل هزینه های موجودی ارائه کردند. مدل ارائه شده یک مساله از نوع NP کامل بوده و از الگوریتم ترکیبی رقابت استعماری برای یافتن جواب نزدیک بهینه استفاده می شود و درنهایت اثرات برخی از پارامترهای هزینه، بر جواب بدست آمده برای رسیدن به دیدگاههای مدیریتی، مورد بررسی قرار می گیرد[۹].

۲-۳ جمع بندی پیشینه تحقیق طی ۱۰ سال گذشته

- با بررسی پیشینه تحقیق، مشخص می شود که عمده تحقیقات صورت گرفته در حوزه طراحی مدلهای VMI، با هدف بهینه کردن تابع هدفِ هزینه های کل زنجیره تامین بوده است[۲، ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹].
- در زمینه طراحی مدل بهینه سیستم VMI باهدف یافتن سطح بهینه گردش موجودیهای انبار، پژوهشی مشاهده نشده و در معدود تحقیقاتی که در حوزه VMI به موضوع گردش موجودیهای انبار پرداخته شده، آن را بعنوان یکی از شاخصهای اندازه گیری عملکرد سیستم VMI درنظر گرفته و در واقع بعنوان نتیجه و یکی از مزایای اجرای VMI لحاظ شده است[۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴]. بنابراین از بهینه سازی گردش موجودیها بعنوان هدف طراحی مدل VMI استفاده نشده است.
- در ادبیات موضوعِ مرتبط با طراحی مدلهای VMI، محدودیت فضای انبار یکی از مهمترین و پرکاربردترین محدودیتی است که در اغلب پروژه ها مورد توجه محققان بوده است[۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۲۲، ۲۳، ۴۵، ۴۶، ۴۷] .
- محدودیت غیرمجاز بودن کمبود قطعات در سیستم VMI نیز در برخی از تحقیقات لحاظ شده است[۲۴، ۲۹، ۳۹، ۴۸] .
- در تحقیقات قبلی، بیشترین متغیرهای تصمیم درنظر گرفته شده برای مدل های VMI عبارتند از (۱) مقدار سفارشات ارسالی از تامین کننده به تولید کننده[۱۵، ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۹، ۳۲، ۳۴، ۳۷، ۳۸، ۴۳، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶] (۲) سطح و تواتر بهینه بازپرسازی موجودیها[۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۴، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۵، ۳۷، ۴۳، ۴۶، ۵۴، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲](۳) سطح بهینه موجودی کالا در انبار[۱۸، ۱۹، ۲۷، ۲۸، ۵۵، ۶۱، ۶۳، ۶۴] .

۳- بیان مساله تحقیق

یک زنجیره تامین شامل چندین تامین کننده و یک شرکت تولیدکننده محصولات نهایی موردنیاز مشتریان مطابق شکل ۲ مفروض است.



شکل ۲: زنجیره تامین یک شرکت تولیدی

مساله تحقیق عبارتست از بهینه کردن گردش موجودیها در انبار تولید کننده به گونه ای که :

• تولید کننده، محصولات متعددی را تولید می کند.
• هر محصول دارای اجزای مشابه یا متفاوت با سایر محصولات است.
• تامین قطعات موردنیاز تولید کننده براساس سیستم VMI صورت می پذیرد. دراین سیستم، مدیریت موجودیهای انبار تولید کننده، برعهده تامین کنندگان بوده و براساس سطح موجودی انبار و حدود تعیین شده، انبار تولید کننده را بازپرسازی می کنند.
• بازبینی سطح موجودی ها ، بصورت روزانه بوده و دوره زمانی برنامه ریزی موجودی، یک دوره یک ساله (شامل ۱۲ ماه و معادل ۲۵۷ روزکاری) درنظر گرفته می شود.
• سطح موجودیها در انبار بین حداقل و حداکثر تعیین شده می باشد.
• کمبود قطعات در خط تولید مجاز نمی باشد.

۳-۱ نشانه ها 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 ($C_{k,m} = BOM_{k,j} * D_{j,m}$)
$DAYS_m$: 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 ($\forall m \ , C_{k,t} = \frac{C_{k,m}}{DAYS_m}$)
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 تامین کننده ارسال می شود
$I_{k,min}$: حداقل موجودی کالای k در انبار
$I_{k,max}$: حداکثر موجودی کالای k در انبار
$I_{k,0}$: موجودی اول دوره از کالای k (معلوم)
$I_{k,vmi}$: حد بهینه بازپرسازی موجودی در VMI برای کالای k

۴- مدل سازی تحقیق

براساس نشانه ها و تعاریف بیان شده در بالا، مدل پیشنهادی فرمول بندی می شود.

$$MaxZ = \frac{\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} P_k \cdot C_{k,t}}{\sum_{k=1}^{K} P_k \cdot \left[\frac{\left(\sum_{t=1}^{T} I_{k,t} + I_{k,0}\right)}{T+1}\right]} \qquad (۱)$$

Subject to

$$I_{k,0} = \text{Certain} \qquad \forall k \qquad (۲)$$

$$X_{k,t} = I_{k,vmi} - I_{k,t-1} \qquad \forall k, \forall t \qquad (۳)$$

$$I_{k,t} = I_{k,t-1} + X_{k,t} - C_{k,t} \qquad \forall k, \forall t \qquad (۴)$$

$$I_{k,t} \geq I_{k,min} \quad \forall k, \forall t \quad (۵)$$
$$I_{k,t} \leq I_{k,max} \quad \forall k, \forall t \quad (۶)$$
$$I_{k,min} \leq I_{k,vmi} \leq I_{k,max} \quad \forall k \quad (۷)$$
$$I_{k,t} \geq 0 \quad \forall k, \forall t \quad (۸)$$
$$X_{k,t} \geq 0 \quad \forall k, \forall t \quad (۹)$$

معادله (۱)، تابع هدف پیشنهادی است که باید حداکثر شود. تابع هدف مدل، بصورت حداکثر کردن تعداد دفعات گردش موجودیهای انبار تولید کننده در نظر گرفته می شود. تعداد دفعات گردش موجودیها، یکی از شاخصهای مالی است که میزان استفاده اثربخش از موجودیها را نشان می دهد. این شاخص ار محاسبه نسبت زیر به دست می آید :

ارزش کالاهای مصرف شده در یک بازه زمانی معین
ارزش متوسط موجودیهای انبار در همان بازه زمانی

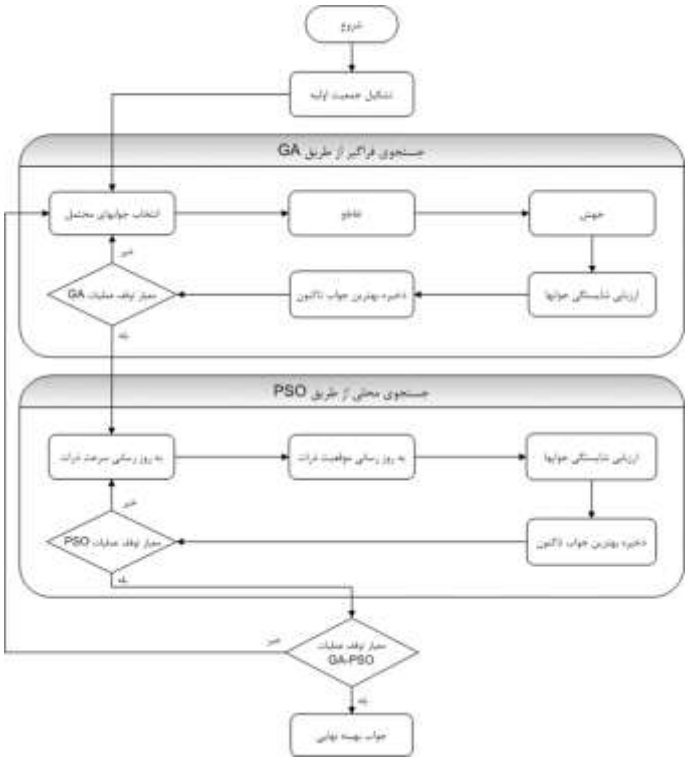
معادله های (۲) تا (۹) ، محدودیتهای مساله هستند. معادله (۲)، معین بودن مقادیر موجودی اقلام در ابتدای دوره برنامه ریزی را نشان می دهد. معادله (۳)، مقداری که باید تامین کننده در مقاطع بازبینی موجودیها، بازپرسازی کند را محاسبه می کند . این مقدار براساس سطح موجودی اقلام و اختلاف آن تا حد بهینه موجودی در سیستم VMI ، تعیین می شود. معادله (۴)، میزان موجودی هر دوره را براساس موجودی دوره قبل، مقدار تامین شده توسط تامین کنندگان و مقدار مصرف شده از موجودی در دوره جاری ، محاسبه می کند. معادله (۵)، محدودیت حداقل موجودی انبار را نشان می دهد. موجودی اقلام انبار در مقاطع مختلف زمانی ، نباید از حداقل موجودی انبار کمتر شوند. معادله (۶)، محدودیت حداکثر موجودی انبار را نشان می دهد. موجودی اقلام انبار در مقاطع مختلف زمانی، نباید از حداکثر موجودی انبار بیشتر شوند. معادله (۷)، نشان می دهد که مقدار بهینه موجودی در سیستم VMI در فاصله بین حدود حداقل و حداکثر موجودی انبار تعیین می شود. معادله (۸)، شرط منفی نشدن مقدار موجودی بوده و عدم بروز کمبود کالا را کنترل می کند. معادله (۹)، نشان می دهد که نباید مقدار کالای تامین شده توسط تامین کنندگان، منفی باشد.

۵- روش حل مدل پیشنهادی

الگوریتم های ژنتیک از خانواده مدلهای محاسباتی هستند که اولین بار توسط هالند با الهام از تکامل تدریجی طبیعت ، توسعه داده شد[۶۵، ۶۶]. این الگوریتمها ، یک راه حل بالقوه را برای مساله ای مشخص بر روی یک ساختار ساده داده، همانند کروموزوم، کدگذاری نموده و عملگرهای ترکیب، این ساختارهای داده را با حفظ اطلاعات حیاتی، بکارمی گیرند. GA ها اغلب بعنوان بهبود دهنده توابع درنظر گرفته می شوند و دامنه وسیعی از مسائل را پوشش داده[۶۷] و برای حل موفقیت آمیز مسائل مختلفی مانند طراحی بهینه، کنترل منطق فازی ، شبکه های عصبی ، سیستم های خبره ، زمان بندی و دیگر مسائل بکار گرفته شده اند[۶۸، ۶۹]. الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات، یک تکنیک بهینه سازی تصادفی مبتنی بر جمعیت است که توسط ابرهارت و کندی برای اولین بار معرفی شد[۷۰، ۷۱] و شامل یک جمعیت مبتنی بر بهینه ساز تصادفی است که از طریق تقلید رفتار گروه پرندگان و دسته های ماهیها عمل می کند[۷۲]. در این الگوریتم، هر راه حل بعنوان یک ذره در میان اجتماعی از ذرات (راه حلهای مساله) مطرح می باشد[۷۳]. هر ذره یک موقعیت و بردار سرعت تصادفی دارد که به آن میزان در فضای مساله به سمت بهترین ذرات موجود، حرکت (پرواز) می کند[۷۲]. خاصیت الگوریتم بهینه سازی PSO این است که به سرعت همگرا می شود ، اما در نزدیکی های نقطه بهینه، فرآیند جستجو به شدت کند می شود. از طرفی می دانیم که الگوریتم ژنتیک نیز به شرایط اولیه به شدت حساس می باشد. در حقیقت طبیعت تصادفی عملگرهای ژنتیک، الگوریتم را به جمعیت اولیه حساس می کند. این وابستگی به شرایط اولیه به گونه ای است که اگر جمعیت اولیه خوب انتخاب نگردد، ممکن است الگوریتم همگرا نشود[۷۴].

در این مقاله، یک استراتژی جستجوی فراگیر و محلی مبتنی بر ترکیب الگوریتم های GA و PSO مورد استفاده قرار می گیرد. الگوریتم ترکیبی بطور موثرتر و کارآمدتری عمل می کند. هدف ما بهره مندی همزمان از هر دو توانایی جستجوی فراگیر و محلی برای دستیابی به

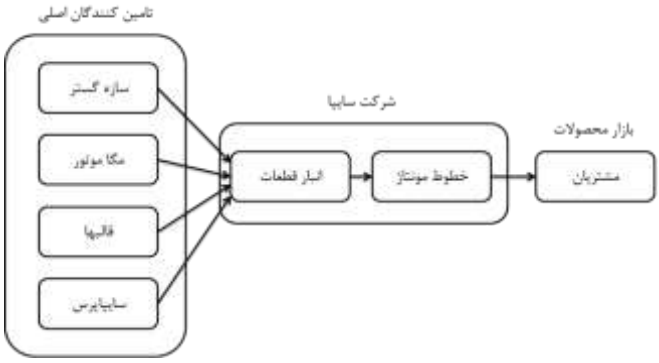
بهترین جواب ممکن با کارایی بهتر است. در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا از GA برای انجام جستجوی فراگیر در کل فضای پاسخ استفاده می شود. سپس از PSO برای جستجوی محلی در نزدیکی بهترین راه حل یافته شده توسط GA، برای بهبود راه حل نهایی استفاده مـی شـود. این فرایند، مجددا به جستجوی فراگیر GA منتقل شده و پس از آن به جستجوی محلی PSO برمی گردد. ایـن چرخـه تـا بـرآورده شـدن شرط توقف عملیات الگوریتم ترکیبی و رسیدن به بهترین جواب ممکن ادامه می یابد. فلوچارت کلی الگوریتم پیشنهادی در شـکل ۳ قابـل رویت است.



شکل ۳: الگوریتم حل ترکیبی پیشنهادی GA-PSO

۶- مطالعه موردی: زنجیره تامین قطعات شرکت سایپا

شرکت خودروسازی سایپا، دومین قطب تولید خودرو در ایران، از سال ۱۳۴۶ شروع به فعالیت نموده و طی ۵۰ سـال گذشـته، محصـولات متنوعی را بسته به شرایط بازار و نیاز مشتریان خود تولید نموده است. این شرکت امروزه با بـیش از ۸۰ شـرکت تابعـه بعنـوان یـک گـروه هلدینگ عمل نموده و فعالیت اصلی خود را بر مونتاژ محصولات نهایی متمرکز نموده است. زنجیره تامین قطعات اصلی شرکت سایپا شامل تامین کنندگان رده اول است که تامین قطعات و مجموعه های اصلی را که بطور مستقیم در مونتاژ خودرو مورداستفاده قـرار مـی گیرنـد، بعهده دارند. این تامین کنندگان رده اول، هرکدام تامین کنندگان رده پایین تری دارند که قطعات موردنیـاز آنهـا را بـرای تولیـد و مونتـاژ قطعـــــــــــــــــــــــــــــــــات اصـــــــــــــــــــــــــــــــــلی، تـــــــــــــــــــــــــــــــــامین می کنند. در شکل ۴ شمایی از زنجیره تامین قطعات اصلی شرکت سایپا نمایش داده می شود.



شکل ۴: شمای کلی زنجیره تامین قطعات اصلی شرکت سایپا

۶-۱ قطعات اصلی مشمول طرح VMI

برنامه VMI شامل بخشی از اقلام اصلی مورد مصرف در تولید ۲ مدل خودروی تولیدی است که توسط تامین کنندگان اصلی تامین می شود. تعداد این اقلام ۴۴۱ قلم است .

۶-۲ برنامه تولید محصولات S131 و S132 در سال ۹۶

برنامه تولید اصلی شرکت سایپا در سال ۹۶ ، برای هریک از مدلهای تولیدی S131 و S132 به شرح جدول ۲ می باشد :

جدول۲: برنامه تولید S131 و S132 در سال ۱۳۹۶

مجموع روزهای کاری در هر ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع
	۱۳	۲۲	۲۲	۲۱	۲۵	۱۷	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۱	۲۵۷
S131	۱,۸۵۰	۸,۱۴۰	۸,۱۴۰	۷,۷۷۰	۹,۲۵۰	۶,۲۹۰	۸,۱۴۰	۸,۵۱۰	۸,۵۱۰	۸,۸۸۰	۸,۸۸۰	۷,۷۷۰	۹۲,۱۳۰
S132	۵۵۰	۲,۴۲۰	۲,۴۲۰	۲,۳۱۰	۲,۷۵۰	۱,۸۷۰	۲,۴۲۰	۲,۵۳۰	۲,۵۳۰	۲,۶۴۰	۲,۶۴۰	۲,۳۱۰	۲۷,۳۹۰

۶-۳ وضعیت فعلی طرح VMI در زنجیره تامین قطعات اصلی سایپا

در وضعیت فعلی، حدود بازپرسازی طرح VMI برابر حداکثر موجودی انبارها درنظر گرفته شده و حداقل موجودی انبارها نیز به میزان ۲۰٪ میزان حداکثر موجودی انبارها لحاظ می گردد. در این وضعیت در زمان های بازنگری موجودیها توسط تامین کنندگان، درصورتیکه سطح موجودی انبارها از حداکثر موجودی اقلام کمتر باشد، تا سقف حداکثر موجودی، بازپرسازی صورت می گیرد.

۷- نتایج تحقیق

باتوجه به اطلاعات دریافتی از زنجیره تامین شرکت سایپا شامل لیست اقلام مشمول طرح VMI (۴۴۱ قلم)، برنامه تولید مدلهای تولیدی (S131 و S132) و ضرایب مصرف اقلام در مدلهای تولیدی، مدل پیشنهادی جهت یک دوره یکساله شامل ۲۵۷ روزکاری (بازبینی موجودیها بصورت روزانه)، در نرم افزار متلب اجرا شده و نتایج آن به شرح جدول ۳ می باشد.

جدول ۳: نتایج حل مدل پیشنهادی در وضعیت فعلی

شاخص مورد ارزیابی	مقدار شاخص	واحد اندازه گیری
اقلام مصرفی در خطوط تولید	۴۰۸.۲۵۰.۶۴۳.۴۸۹	ریال
متوسط موجودیهای انبار	۱۵۳.۳۸۰.۲۷۶.۴۸۷	ریال
گردش موجودیهای انبار	۲.۶۶	مرتبه در سال
متوسط سطح موجودی انبار	۵۸۴۰	عدد در روز از هر قلم کالا
متوسط میزان بازپرسازی اقلام	۴۹۱	عدد در روز از هر قلم کالا

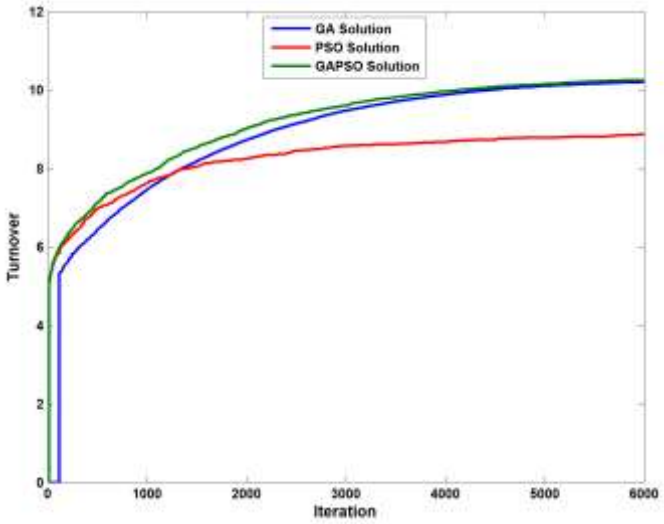
۷-۱ حل مدل پیشنهادی در وضعیت بهینه با الگوریتمهایGA، PSO و GA-PSO

پس از کدنویسی الگوریتمهای بهینه سازی GA، PSO و ترکیبی GA-PSO در نرم افزار متلب ویرایش ۸.۳ و اجرای برنامه بـر روی PC بـا پردازنده اینتل ۲.۶ گیگاهرتز و ۸ گیگابایت حافظه در ویندوز ۱۰ تا ۶۰۰۰ تکرار، نتایج به شرح جدول ۴ نشان داده می شود. در هر تکرار از الگوریتم ترکیبی، ۵ تکرار با الگوریتم ژنتیک و ۱۰ تکرار با الگوریتم اجتماع ذرات اجرا می شود، به این ترتیب با ۴۰۰ بار تکرار الگـوریتم ترکیبی مجموعا ۶۰۰۰ تکرار حاصل می شود ((۱۰+۵)*۴۰۰).

جدول ۴: نتایج حل مدل با الگوریتمهای GA، PSO و GA-PSO

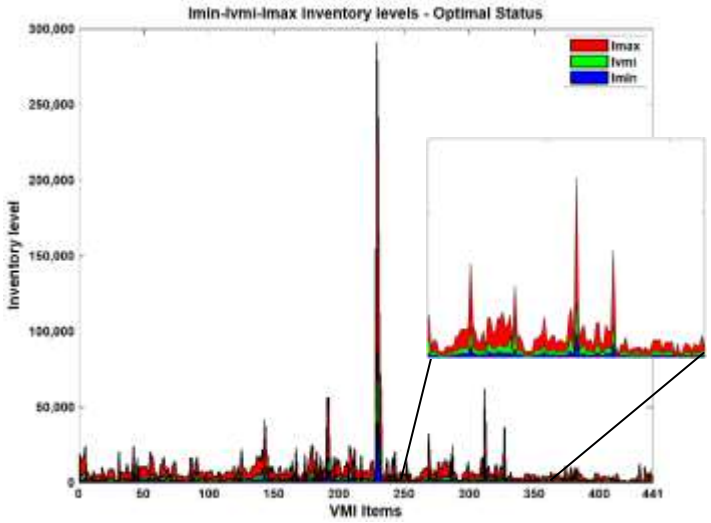
شاخص مورد ارزیابی	الگوریتم بهینه سازی	مقدار شاخص	واحد اندازه گیری
اقلام مصرفی در خطوط تولید	GA,PSO,GA-PSO	۴۰۸.۲۵۰.۶۴۳.۴۸۹	ریال
متوسط موجودیهای انبار	GA	۳۹.۹۷۷.۹۳۴.۰۱۰	ریال
	PSO	۴۶.۰۳۷.۸۵۱.۷۵۴	
	GA-PSO	**۳۹.۷۷۷.۳۹۹.۶۳۵**	
گردش موجودیهای انبار	GA	۱۰.۲۱	مرتبه در سال
	PSO	۸.۸۶	
	GA-PSO	**۱۰.۲۶**	
متوسط سطح موجودی انبار	**GA**	**۱۴۶۷**	عدد در روز از هر قلم کالا
	PSO	۲۲۹۶	
	GA-PSO	۱۴۹۹	
متوسط میزان بازپرسازی اقلام	**GA**	**۴۷۴**	عدد در روز از هر قلم کالا
	PSO	۴۷۷	
	GA-PSO	**۴۷۴**	
زمان اجرای برنامه	GA	۱۰۹	ثانیه در هر تکرار
	PSO	**۹۹**	
	GA-PSO	۱۰۲	

نمودار روند حل تکاملی مدل پیشنهادی توسط الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، اجتماع ذرات و ترکیب آنها بصورت شکل ۵ می باشد.



شکل۵: نمودار مقایسه روند تکاملی حل مدل پیشنهادی با روشهای بهینه سازی GA، PSO و GAPSO

در وضعیت فعلی، در مقاطع بازبینی موجودیهای انبار توسط تامین کنندگان، بازپرسازی موجودیها تا سقف حداکثر موجودی مجاز انبارها صورت می گیرد. اجرای مدل پیشنهادی در وضعیت بهینه، باعث می شود که در مقاطع بازبینی موجودیها، بازپرسازی موجودی ها تا حدود بهینه (Ivmi) انجام شود که این حدود، براساس حداکثر نمودن تابع هدف گردش موجودیهای انبار، بدست آمده است. شکل ۶ نمودار سطوح موجودیهای حداکثر، حداقل و حدود بهینه بازپرسازی را نشان می دهد.



شکل۴-۴۵ نمودار سطوح موجودیهای حداکثر ، حداقل و بهینه VMI

۸- نتیجه گیری و جمع بندی

تحقیق حاضر به دنبال طراحی و بکارگیری مدل VMI در تراز جهانی با هدف حداکثر کردن گردش موجودیهای انبار تولید کننده در یک زنجیره تامین با لحاظ محدودیتهای انبار و عدم کمبود مواد در خطوط تولید است که منجر به دستیابی به مقادیر بهینه حدود بازپرسازی اقلام انبار بااستفاده از الگوریتم های بهینه سازی تکاملی گردید. بعنوان مطالعه موردی، اجرای برنامه VMI براساس مدل پیشنهادی در زنجیره تامین شرکت سایپا ، باعث افزایش گردش موجودیهای انبار تولید کننده به میزان بیش از ۳ برابر وضع فعلی، کاهش ۷۴٪ در متوسط سطح موجودیهای انبار و کاهش ۷۰٪ در متوسط حدود بازپرسازی اقلام می شود. استفاده از مدل پیشنهادی ، در نهایت می تواند بیش از ۱۱۳ میلیارد ریال در ارزش موجودیهای انبار صرفه جویی کرده و منجر به کاهش سرمایه درگردش موردنیاز در تامین موجودیها

شود. بکارگیری و اجرای تکنیکهای به روز مدیریت موجودیها همانند مدل ارائه شده در این مقاله، تسهیل گر روند جهانی شدن شـرکتهای ایرانی خواهد بود.

مراجع

[۱] J. Holmström, K. Främling, R. Kaipia, and J. Saranen, "Collaborative planning forecasting and replenishment: new solutions needed for mass collaboration," *Supply Chain Manag. An Int. J.*, vol. 7, no. 3, pp. 136–145, 2002.

[۲] 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.

[۳] 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.

[۴] 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.

[۵] 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.

[۶] 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.

[۷] 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.

[۸] S. Krichanchai and B. L. Maccarthy, "the Adoption of Vendor Managed Inventory for Hospital Pharmaceutical," *Int. J. Logist. Manag*, 2016.

[۹] 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.

[۱۰] 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.*, 2015.

[۱۱] 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.

[۱۲] 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.

[۱۳] 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.

[۱۴] 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.

[۱۵] 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.

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.

[۱۷] 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.

[۱۸] 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.

[۱۹] 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.

[۲۰] 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.

[۲۱]

S. H. Liao, C. L. Hsieh, and Y. S. Lin, "A multi-objective evolutionary optimization approach for an integrated location-inventory distribution network problem under vendor-managed inventory systems," *Ann. Oper. Res.*, vol. 186, no. 1, pp. 213–229, 2011.

[۲۲] S. H. R. Pasandideh, S. T. A. Niaki, and A. R. Nia, "A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 3, pp. 2708–2716, 2011.

[۲۳] J. Sadeghi, A. Sadeghi, and M. Saidi-Mehrabad, "A parameter-tuned genetic algorithm for vendor managed inventory model for a case single-vendor single-retailer with multi-product and multi-constraint," *J. Optim. Ind. Eng.*, vol. 9, pp. 57–67, 2011.

[۲۴] J. H. Bookbinder, M. Gumus, E. M. Jewkes, M. Gümüş, and E. M. Jewkes, "Calculating the benefits of vendor managed inventory in a manufacturer-retailer system," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 48, no. 19, pp. 5549–5571, 2010.

[۲۵] V. Arora, F. T. S. Chan, and M. K. Tiwari, "An integrated approach for logistic and vendor managed inventory in supply chain," *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 1, pp. 39–44, 2010.

[۲۶] G. P. Kiesmüller and R. A. C. M. Broekmeulen, "The benefit of VMI strategies in a stochastic multi-product serial two echelon system," *Computers and Operations Research*, vol. 37, no. 2. pp. 406–416, 2010.

[۲۷] A. Mahamani and K. P. Rao, "Development of a spreadsheet based vendor managed inventory model for a single echelon supply chain: a case study," *Serbian J. Manag.*, vol. 5, no. 2, pp. 199–211, 2010.

[۲۸] N. Omar, I. Ismail, and W. S. Hui, "Inventory Management through Vendor Managed Inventory System : A Case Study," in *Asia-Pacific Management Accounting Forum*, 2010, no. November, pp. 1–19.

[۲۹] S. H. R. Pasandideh, S. T. A. Niaki, and A. Roozbeh Nia, "An investigation of vendor-managed inventory application in supply chain: The EOQ model with shortage," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 49, no. 1–4, pp. 329–339, 2010.

[۳۰] S. Y. S. YongQiang, P. S. P. Shu, Z. Z. Z. Zhiyong, and S. G. S. Guoyun, "Research on the supplier strategy under VMI based on system dynamics," *Supply Chain Manag. Inf. Syst. SCMIS 2010 8th Int. Conf.*, pp. 1–4, 2010.

[۳۱] P. L. M. Van Nyen, J. W. M. Bertr, H. P. G. Van Ooijen, and N. J. Vandaele, "Supplier managed inventory in the OEM supply chain: The impact of relationship types on total costs and cost distribution," in *Supply Chain Planning: Quantitative Decision Support and Advanced Planning Solutions*, vol. 31, 2009, pp. 219–246.

[۳۲] J. Wong, K. Chen, and C. Su, "Replenishment Decision Support System Based on Modified Particle Swarm Optimization in a {VMI} Supply Chain," *INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING-THEORY APPLICATIONS AND PRACTICE*, vol. 16, no. 1, pp. 1–12, 2009.

Q. GOU, L. LIANG, C. XU, and Y. ZHA, "a Modified Joint Inventory Policy for Vmi Systems," *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.* , vol. 7, no. 2, pp. 225–240, 2008.

[۳۴] M. Gümüş, E. M. Jewkes, and J. H. Bookbinder, "Impact of consignment inventory and vendor-managed inventory for a two-party supply chain," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 113, no. 2, pp. 502–517, 2008.

[۳۵] K. Sari, "On the benefits of CPFR and VMI: A comparative simulation study," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 113, no. 2, pp. 575–586, 2008.

[۳۶] P. B. Southard and S. R. Swenseth, "Evaluating vendor-managed inventory (VMI) in non-traditional environments using simulation," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 116, no. 2, pp. 275–287, 2008.

[۳۷] C. Wang, S. Ji, J. Shen, and W. Wei, "Supply chain model in vendor managed inventory," in *Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, IEEE/SOLI 2008*, 2008, vol. 2, pp. 2110–2113.

[۳۸] Y. Yao, P. T. Evers, and M. E. Dresner, "Supply chain integration in vendor-managed inventory," *Decis. Support Syst.*, vol. 43, no. 2, pp. 663–674, 2007.

[۳۹] T. Zhang, L. Liang, Y. Yu, and Y. Yu, "An integrated vendor-managed inventory model for a two-echelon system with order cost reduction," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 109, no. 1–2, pp. 241–253, 2007.

[۴۰] 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.

[۴۱]

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*. 2002.

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

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

[۴۴] 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.

[۴۵] A. Roozbeh Nia, M. Hemmati Far, and S. T. Akhavan Niaki, "A fuzzy vendor managed inventory of multi-item economic order quantity model under shortage: An ant colony optimization algorithm," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 155, no. September, pp. 259–271, 2014.

[۴۶] J. Sadeghi, S. Sadeghi, S. Taghi, A. Niaki, and S. T. A. Niaki, "Optimizing a hybrid vendor-managed inventory and transportation problem with fuzzy demand: an improved particle swarm optimization algorithm," *Inf. Sci. (NY)*, vol. 272, pp. 126–144, 2014.

[۴۷] E. Moradi, S. M. T. F. Ghomi, M. B. Aryanezhad, S. D. Moezi, and H. Saiedy23, "A genetic algorithm to optimize a multi-product EOQ model with limited warehouse-space and capital limitation under VMI," *Int. J. Manag. Perspect*, vol. 1, no. 1, pp. 31–35, 2012.

[۴۸] M. Jasemi, A. Haji, and M. Gharibi, "On competence of vendor managed inventory in supply chains using basic mathematical inventory models," *Sci. Iran. Trans. E, Ind. Eng.*, vol. 21, no. 3, p. 1061, 2014.

[۴۹] H. Rasay, Y. Z. Mehrjerdi, and M. S. Fallahnejad, "Vendor Managed Inventory System in State of One Vendor and Multiple Retailers," *Int. J. Ind. Eng.*, vol. 24, no. 3, pp. 269–282, 2013.

[۵۰] G. Sue-Ann, S. G. Ponnambalam, and N. Jawahar, "Evolutionary algorithms for optimal operating parameters of vendor managed inventory systems in a two-echelon supply chain," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 52, pp. 47–54, 2012.

M. Seifbarghy, M. Seifbarghy, and A. P. Gilkalayeh, "Supply Chain Integration under Vendor Managed Inventory Mode of Operation Considering Stockout," *Econ. Comput. Econ. Cybern. Stud. Res.*, no. Vmi, pp. 197–219, 2012.

[۵۲] M. a. Darwish and O. M. Odah, "Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 204, no. 3, pp. 473–484, 2010.

[۵۳] Q. Li, "A VMI Model in Supplier-Driven Supply Chain and Its Performance Simulation," *Int. J. Inf. Eng. Electron. Bus.*, vol. 2, no. December, pp. 17–23, 2010.

[۵۴] J. Razmi, R. Hosseini Rad, and M. S. Sangari, "Developing a two-echelon mathematical model for a vendor-managed inventory (VMI) system," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 48, no. 5–8, pp. 773–783, 2010.

[۵۵] M. Gronalt and P. Rauch, "Vendor managed inventory in wood processing industries - A case study," *Silva Fenn.*, vol. 42, no. 1, pp. 101–114, 2008.

[۵۶] S. P. Nachiappan and N. Jawahar, "A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 182, no. 3, pp. 1433–1452, 2007.

[۵۷] D. Choudhary and R. Shankar, "The value of VMI beyond information sharing in a single supplier multiple retailers supply chain under a non-stationary (Rn, Sn) policy," *Omega (United Kingdom)*, vol. 51, no. January 2014, pp. 59–70, 2014.

[۵۸] W. Hu, F.-Y. Xu, B. Xiong, and D. Tai, "An effective coordination strategy for performance improvement of vendor managed inventory," *AppliedMathematics&Information Sci. Lett.*, vol. 76, no. 3, pp. 69–76, 2013.

[۵۹] Y. Yu, Z. Wang, and L. Liang, "A vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw materials and products," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 136, no. 2, pp. 266–274, 2012.

[۶۰] R. Guan and X. Zhao, "On contracts for VMI program with continuous review (r, Q) policy," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 207, no. 2, pp. 656–667, 2010.

[۶۱]

K. Sari, "Exploring the Benefits of Vendor Managed Inventory," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.* , vol. 37, no. 7, pp. 529–545, 2007.

[۶۲] S. Sarpola, "Evaluation Framework for VMI Systems," *Work. Pap. Inf. Syst.*, vol. 7, no. January, pp. 1–16, 2007.

[۶۳] K. P. Lin, P. T. Chang, K. C. Hung, and P. F. Pai, "A simulation of vendor managed inventory dynamics using fuzzy arithmetic operations with genetic algorithms," *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 3, pp. 2571–2579, 2010.

[۶۴] H. Yu, A. Z. Zeng, and L. Zhao, "Analyzing the evolutionary stability of the vendor-managed inventory supply chains," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 56, no. 1, pp. 274–282, 2009.

[۶۵] 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.

[۶۶] D. E. Goldberg and J. H. Holland, "Genetic Algorithms and Machine Learning," *Mach. Learn.*, vol. 3, no. 2, pp. 95–99, 1988.

[۶۷] X. H. Shi, L. M. Wan, H. P. Lee, X. W. Yang, L. M. Wang, and Y. C. Liang, "An improved genetic algorithm with variable population-size and a PSO-GA based hybrid evolutionary algorithm," *Proc. 2003 Int. Conf. Mach. Learn. Cybern. (IEEE Cat. No.03EX693)*, vol. 3, no. February, pp. 1735–1740, 2003.

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

[۶۹] H.-P. P. Schwefel, *Evolution and optimum seeking: the sixth generation*. John Wiley & Sons, Inc., 1993.

[۷۰] 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.

J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *1995 IEEE Int. Conf. Neural Networks (ICNN 95)*, vol. 4, pp. 1942–1948, 1995.

[۷۲] Y. Bo, C. Yunping, and Z. Zunlian, "A hybrid evolutionary algorithm by combination of PSO and GA for unconstrained and constrained optimization problems," *2007 IEEE Int. Conf. Control Autom.*, vol. 0, pp. 166–170, 2008.

[۷۳] J. Robinson, S. Sinton, and Y. Rahmat-Samii, "Particle swarm, genetic algorithm, and their hybrids: optimization of a profiled corrugated horn antenna," *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. (IEEE Cat. No.02CH37313)*, vol. 1, no. April, pp. 314–317, 2002.

[۷۴] ورهرام, محمدهادی و محمدی, امیر، " استفاده از روش ترکیبی PSO-GA جهت جایابی بهینه خازن در سیستم های توزیع". *فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران*, ۶(۱۹–۲۰), ۱–۱۰، ۱۳۹۳.