



# نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های  
مهندسی صنایع  
در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال پنجم، شماره یازدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۹۳-۲۰۹  
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2017.11270.1509

## مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده با مجاز بودن کمبود در زنجیره تأمین دوسطحی با رویکردهای حل اپسیلون محدودیت و NSGA-II

محمدباقر فخرزاد<sup>۱\*</sup>، رضا لطفی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، ایران.

۲. دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، ایران.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۵/۰۵/۱۶

پذیرش ۱۳۹۶/۰۵/۰۹

### خلاصه

در مقالاتی که به موضوع مدیریت موجودی توسط فروشنده پرداخته شده است، کمتر به میزان نشر آلاینده‌های محیط‌زیست از جمله دی‌اکسید کربن و سبز بودن لجستیک توجه گردیده است. در این مقاله، مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده در زنجیره تأمین دوسطحی در حالت مواجهه مشتری با کمبود، محدودیت انبار و تعداد سفارشات مورد بررسی قرار گرفته شده است. تابع هدف اول، بیشینه کردن سود فروشنده، شامل میزان فروش منهای هزینه‌های تولید، توزیع و نگهداری موجودی در حالت مواجهه با جریمه‌های کمبود، و تابع هدف دوم شامل کمینه نمودن میزان انتشار دی‌اکسید کربن در اثر جابجایی و لجستیک کالاها می‌باشد. با توجه به اینکه مدل دوهدفه مزبور، غیر محدب و غیر خطی است لذا با استفاده از نرم‌افزار GAMS مسئله حل گردیده و از الگوریتم اپسیلون محدودیت برای تبادل بین اهداف و به دست آوردن جبهه پارتو در ابعاد کوچک بهره‌برداری شده است. همچنین مدل فوق با روش سنتی کنترل موجودی در شرایط کمبود مقایسه و عملکرد بهتر مدل فوق مشخص شده است. برای ابعاد بزرگ از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر مغلوب (NSGA-II) برای تولید جواب نزدیک به بهینه استفاده شده است. برای تنظیم پارامترهای الگوریتم (NSGA-II) از روش آزمایشات تاگوچی بهره‌برداری گردیده شده است. نتایج مدل‌سازی نشان داده است در حالت مجاز بودن کمبود، با کاهش هزینه کمبود، میزان سود و ارسال کالا و میزان سفارشات بیشتر شده و میزان بهینه کمبود و نشر آلاینده‌ها کمتر گردیده و بدین ترتیب هزینه کمبود موجودی کاهش یافته است.

کلمات کلیدی:

مدیریت موجودی  
زنجیره تأمین سبز  
اپسیلون محدودیت  
الگوریتم ژنتیک

### ۱- مقدمه

تولیدکننده قادر خواهد بود تا تصمیمات کنترل موجودی و تولید را هماهنگ کند. در صورتی که سیستم VMI خوب طراحی شود می‌تواند سطح موجودی را کاهش داده و یکپارچگی سیستم را افزایش، و باعث کاهش هزینه‌ها گردد [۳]. مزایای استفاده از این سیستم توسط خیلی از خرده‌فروشان و تأمین‌کنندگان درک و اجرا شده است [۴]. یک سیستم VMI اطلاعات مربوط به نقاط فروش و موجودی را با اعضای دیگر زنجیره تأمین به اشتراک گذاشته و به وسیله آن اثر شلاق چرمی را کاهش، و کارایی زنجیره تأمین را بهبود می‌دهند [۵]، [۶]. VMI مشارکت بین تأمین‌کننده (فروشنده) و خرده‌فروش را در زنجیره

مدیریت موجودی توسط فروشنده<sup>۱</sup> در چند سال اخیر با توجه به کاهش هزینه و افزایش راندمان در زنجیره تأمین مورد مطالعه قرار گرفته شده است [۱]. بر اساس سیستم VMI زمان و حجم بازپرسازی توسط فروشنده تعیین، و فروشنده به اطلاعات موجودی خریدار و داده‌های تقاضای آن دسترسی دارد [۲]. در این سیستم، اغلب هزینه‌های مشترک نگهداری موجودی از خریدار به فروشنده انتقال پیدا می‌کند. در هر حال با واگذاری مدیریت موجودی، فروشنده یا

1. VMI-Vendor Management Inventory

\* نویسنده مسئول: محمدباقر فخرزاد  
تلفن: ۰۲۵-۳۱۲۳۲۴۰۵؛ پست الکترونیکی: mfakhrzad@yazd.ac.ir

انعقاد قرارداد VMI بین فروشندگان و خریداران و اعمال محدودیت ظرفیت انبار، تحویل، حدود سفارشات و تعداد پالت‌ها، مسئله را مدل‌سازی کرده‌اند. در نهایت الگوریتم هیبرید ژنتیک و رقابت استعماری برای حل مدل ارائه کرده و با مقایسه با الگوریتم ژنتیک به اعتبارسنجی مدل پرداخته‌اند. همچنین از طریق آزادسازی محدودیت‌ها به صورت پیوسته یک حد پایین نیز برای مدل به دست آورده‌اند. پارک و همکاران [۱۳] با استفاده از یادگیری ماشین و الگوریتم ژنتیک به شبیه‌سازی و تعیین مقدار مناسب پارامترهای تولید و ارسال یک مدل VMI پرداخته و پارامترهای آن را با سیستم طراحی آزمایشات تعیین و کارایی الگوریتم فوق را نشان داده‌اند. لی و همکاران [۱۴] با تسهیم هزینه کمبود موجودی بین تأمین‌کننده و مشتری توسط VMI و با استفاده از مدل EOQ و مجاز بودن کمبود و تحمیل هزینه کمبود به تأمین‌کننده و محدودیت انبار به مدل‌سازی یک سیستم جدید پرداخته‌اند. در این مقاله مدل فوق با چهار سناریوی یک سیستم سنتی، سیستم یکپارچه، مدل VMI با تسهیم هزینه کمبود موجودی، مدل VMI با هزینه جابجایی ثابت و تسهیم هزینه کمبود با استفاده از یک مدل EOQ با محدودیت ظرفیت، مقایسه شده است. این مدل با طراحی یک قرارداد مناسب به کاهش هزینه‌های سیستم پرداخته و با یک سیستم یکپارچه مقایسه شده است. آن‌ها همچنین نشان داده‌اند که یک سیستم VMI با هزینه جابجایی ثابت و تسهیم هزینه کمبود، می‌تواند هماهنگی را در زنجیره تأمین به وجود آورد. خان و همکاران [۱۵] یک مدل VMI با کالای امانی در یک زنجیره تأمین دوسطحی با در نظر گرفتن کیفیت ناقص کالا را مدل‌سازی کرده‌اند. مالکیت کالای امانی بر عهده فروشنده بوده و محل نگهداری آن در محل خریدار است که می‌بایست آن را مدیریت نماید. این سیاست باعث می‌شود سرمایه خریدار درگیر موجودی نشده و خریدار به‌عنوان یک مشتری دائمی باشد، و خریدار و تأمین‌کننده همواره در دسترس باشند. همچنین زمان جابجایی و کمیت موجودی از تأمین‌کننده به خرده‌فروش تضمین گردد. دیابات [۱۶] یک مدل VMI برای زنجیره تأمین دوسطحی یک تأمین‌کننده و چند خریدار را مدل‌سازی کرده به طوری که قیمت محصول وابسته به تقاضا و بصورت خطی و کاهشی در نظر گرفته شده است. در مدل فوق سود را بصورت درآمد حاصل از فروش منهای هزینه‌های تولید و توزیع (بصورت وابسته به جریان کالا و هزینه‌های ارسال کالا) و هزینه‌های سفارش‌گذاری و بازسازی در نظر گرفته‌اند. همچنین مدل دارای حداقل و حداکثر ارسال، و تأمین‌کننده دارای ظرفیت محدود می‌باشد. او با کمک الگوریتم هیبرید ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مدل فوق را جهت بهترین جواب‌ها حل و با الگوریتم دقیق مقایسه کرده است. پسندیده و همکاران [۱۷] یک مدل VMI برای زنجیره تأمین دوسطحی با یک تأمین‌کننده و یک خریدار و بصورت چند کالایی مدل‌سازی کردند. در مدل فوق، هدف تعیین میزان سفارش و ماکزیمم سطح موجودی پس‌افت کالاها بوده به گونه‌ای که هزینه‌های موجودی حداقل گردد. در این مدل، ظرفیت انبار تأمین و

تأمین جهت پاسخگویی سریع نشان می‌دهد. VMI یک سیستم بازپرسازی کشتی است که تأمین‌کننده (فروشنده) را به پاسخ‌گویی سریع تقاضای واقعی قادر می‌سازد. بر این اساس به فروشنده در مورد سطوح مناسب موجودی هر کدام از محصولات و رویکرد مناسب برای کنترل این سطح کمک می‌کند [۱۷]. با این استراتژی خرده‌فروش‌ها از تمام هزینه‌های موجودی و یا بخشی از آن معاف شده و فروشنده با در اختیار داشتن تقاضای مشتریان نهایی زنجیره تأمین، می‌تواند برنامه‌ریزی تولید و حمل و نقل خود را به طور قابل توجهی بهبود داده و بدین ترتیب گردش موجودی و سطح خدمت به مشتری در هر کدام از مراحل زنجیره تأمین، بهبود پیدا می‌کند [۸]. VMI همواره منجر به سود بیشتری برای خریدار می‌گردد، هرچند که سود تأمین‌کننده متغیر باشد. در کوتاه‌مدت، VMI هزینه‌های کلی زنجیره تأمین را کاهش می‌دهد، اما در شرایط خاص بین خریدار و تأمین‌کننده، ممکن است قیمت خرید و سود تأمین‌کننده کاهش یابد. بدین ترتیب در بلندمدت افزایش سود تأمین‌کننده نسبت به کوتاه‌مدت محتمل‌تر است [۹].

مسئله مدیریت موجودی در مقالات متعددی مدل‌سازی ریاضی گردیده است. دونگ و اگزو [۹] یک مدل ریاضی ارائه کرده و طی آن با در نظر گرفتن فرضیات تقاضای ثابت، عدم کمبود و زمان‌های تحویل قطعی به مقایسه دو سیستم سنتی و سیستم VMI پرداخته‌اند. آن‌ها مطالعه خود را در فضای کوتاه‌مدت و درازمدت دنبال کرده و مشاهده کرده‌اند که هزینه‌های موجودی خریدار و تأمین‌کننده بعد از اجرای سیستم جدید کمتر از حالت سنتی می‌باشد. یاو و همکاران [۱۰] با همان فرضیات مقاله دونگ و اگزو [۹] و با فرض اینکه میزان سفارش فروشنده حاصل ضرب صحیحی از میزان سفارش خرده‌فروش است، به مقایسه سیستم سنتی با سیستم VMI پرداخته، و عملکرد بهتر VMI را نشان دادند. صادقی و همکاران [۱۱] نسبت به ارائه یک مدل ریاضی مدیریت موجودی توسط فروشنده با یک خریدار و چند خرده‌فروش و به صورت دوهدفه پرداخته‌اند. در مدل آن‌ها نرخ تقاضای خرده‌فروشان، قطعی و دارای محدودیت‌های بودجه کل، فرکانس بازپرسازی کل فروشندگان، فضای مورد نیاز و میانگین موجودی است. بنابراین هدف این مقاله تعیین اندازه سفارش و توالی بازپرسازی و تعیین بهینه سفر از خرده‌فروش به خریداران و همچنین تعداد بهینه ماشین‌آلات جهت تولید می‌باشد، به طوری که هزینه‌ها حداقل و قابلیت اطمینان افزایش یابد. به جهت NP-hard بودن مسئله، از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر مغلوب جهت حل مدل استفاده گردیده و با الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی غیر مغلوب و شبیه‌سازی تبرید چندهدفه مقایسه و اعتبارسنجی شده است.

در مقاله نیا و همکاران [۱۲] یک مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده به صورت چند کالایی ارائه و از مدل سفارش اقتصادی بهینه تحت کمبود برای مدل‌سازی استفاده کرده‌اند. آن‌ها همچنین هزینه نشر گازهای گلخانه‌ای با رویکرد سبز را به مدل اضافه، و با

فروشگاه‌های زنجیره‌ای یا تولیدکنندگان محصولات خودروپی که تولیدات خود را به بازار هدف ارسال می‌کنند [۲۵].

در ادامه در بخش دوم به تشریح مدل ریاضی مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده، در زنجیره تأمین دوسطحی پرداخته و با سیاست کنترل موجودی سنتی مقایسه، و با توجه به فضای NP-hard بودن مسئله به بیان الگوریتم اپسیلون محدودیت و الگوریتم NSGA-II پرداخته می‌شود. در بخش سوم به حل مدل با الگوریتم اپسیلون محدودیت برای یک فروشنده با چند خرده‌فروش پرداخته می‌شود و مرحله به مرحله مسئله را با الگوریتم‌های بیان شده بهینه‌سازی می‌شود. همچنین به تنظیم پارامترهای الگوریتم با روش آزمایشات تاگوچی پرداخته و مسئله در ابعاد بزرگ حل شده است. بخش چهارم نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات اختصاص داده شده است.

## ۲- بیان مسئله

در این مقاله به بیان مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده در زنجیره تأمین دوسطحی در شرایط هزینه‌های کمبود پرداخته شده است. بر اساس سیستم VMI زمان و حجم بازپرسازی توسط فروشنده تعیین شده و فروشنده به اطلاعات موجودی خریدار و داده‌های تقاضای آن دسترسی دارد [۲]. در این سیستم اغلب هزینه‌های مشترک نگهداری موجودی از خریدار به فروشنده انتقال یافته است. در هر حال با واگذاری مدیریت موجودی، فروشنده یا تولیدکننده قادر خواهد بود تا تصمیمات کنترل موجودی و تولید را هماهنگ کند. یک سیستم VMI اگر خوب طراحی شود می‌تواند سطح موجودی را کاهش داده و یکپارچگی سیستم را افزایش، و باعث کاهش هزینه‌ها شود [۳].

همچنین در این مسئله شرایط سبز بودن یا کاهش میزان آلاینده‌گی را به صورت تابع هدف با در نظر گرفتن مواجهه مشتری با کمبود، محدودیت انبار و تعداد سفارشات به مدل دیابات [۱۶] اضافه شده تا به شرایط واقعی نزدیک‌تر شود و به الزامات زیست‌محیطی نیز توجه شده است. هدف اول بیشینه کردن سود شامل میزان فروش منهای هزینه‌های تولید، توزیع و موجودی در حالت مواجهه با جریمه‌های کمبود است. تابع هدف دوم کمینه‌سازی میزان آلاینده‌گی‌ها در اثر جابجایی کالاها است.

مفروضات این مسئله بدین شرح می‌باشد:

۱. زمان ارسال کالا توسط فروشنده است و کلیه هزینه‌های توزیع و نگهداری موجودی و سفارش‌گذاری به عهده فروشنده است.
۲. رابطه بین قیمت فروشنده و تقاضای خریدار به صورت خطی و کاهشی است.
۳. هزینه‌های مواجهه با کمبود در فروشنده وجود دارد. این امر باعث می‌شود حجم ارسال کالا بیشتر شده تا جبران هزینه کمبود گردد.
۴. محدودیت انبار در خریداران وجود دارد.

تعداد سفارشات ارسالی از خرده‌فروش با محدودیت مواجه می‌باشد. آنها با کمک الگوریتم ژنتیک مدل فوق را جهت بهترین جواب‌ها حل کرده و با الگوریتم دقیق مقایسه نموده‌اند.

طالعی‌زاده و همکاران [۱۸] یک مدل موجودی دوسطحی با یک فروشنده و چند خرده‌فروش، در محیط غیر رقابتی با نرخ زوال‌پذیری مواد اولیه و محصول نهایی ارائه کرده‌اند. تقاضا در بازار برای محصول نهایی قطعی در نظر گرفته شده است. تصمیمات مدل تعیین قیمت نهایی خرده‌فروش، توالی بازپرسازی مواد اولیه، سیکل بازپرسازی محصول و نرخ تولید است، به طوری که کل سود در زنجیره تأمین ماکزیمم شود. آن‌ها در مدل‌سازی خود از تئوری بازی‌ها با رویکرد استکلبرگ استفاده کرده و فروشنده به عنوان رهبر و خرده‌فروش‌ها به عنوان پیرو قلمداد شده‌اند. نیا و همکاران [۱۹] نیز یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده با یک خریدار و یک فروشنده با چندین محصول در شرایط فازی در نظر گرفته‌اند. در مدل آن‌ها کمبود مجاز بوده و ظرفیت انبار، تحویل، سفارش‌ها و تعداد پالت‌ها دارای محدودیت می‌باشد. همچنین در این مدل تقاضا و ظرفیت انبارش و حجم سفارشات به صورت فازی است. آن‌ها برای حل مدل از الگوریتم مورچگان استفاده کرده و جهت اعتبارسنجی، مدل را با الگوریتم ژنتیک و تکامل تفاضلی مقایسه نموده‌اند. هاریگا و همکاران [۲۰] یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده با فرض قرارداد ذخیره‌سازی را مورد مطالعه قرار داده‌اند، به طوری که اجازه داده می‌شود ارسال محصول به صورت غیرمتوالی به خرده‌فروش صورت گرفته و محدودیت ذخیره‌سازی در خرده‌فروش لحاظ گردد. همچنین مدل هزینه‌های مازاد برای انبارش بیش از سقف جهت خرده‌فروش را محاسبه می‌کند. آن‌ها برای حل مدل یک راه‌حل دقیق پیشنهاد کرده و یک متد کارا جهت ایجاد جواب نزدیک به بهینه جهت زمان‌بندی تحویل ارائه داده‌اند. نتایج مدل نشان می‌دهد که در حالت اجرای VMI صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای در صورت ارسال کالا به خرده‌فروش، به صورت متوالی ایجاد شده است.

بررسی مرور ادبیات نشان می‌دهد که از رویکردهای مختلفی جهت حل مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده استفاده شده است، به طوری که در بعضی از مدل‌ها از رویکردهای متفاوتی جهت بهینه‌سازی استفاده کرده‌اند. اما در این مقالات کمتر به محیط زیست و سبز بودن لجستیک در حمل و نقل در حالت مدیریت موجودی توسط فروشنده توجه شده است. بر این اساس این پژوهش توسعه‌ای بر مقاله دیابات [۱۶] می‌باشد. در پژوهش حاضر تأمین‌کننده یا فروشنده با هزینه‌های کمبود و محدودیت تعداد سفارشات مواجه، و فروشنده موظف به اجرای الزامات زیست‌محیطی و لجستیک سبز با حداقل سازی میزان نشر آلاینده‌گی است و خریداران دارای محدودیت انبار بوده و این موارد به فرضیات مقاله دیابات [۱۶] اضافه شده است. کاربردهای مسئله فوق برای کلیه شرکت‌ها و سازمان‌هایی است که در حال تولید یا ارسال محصول به خرده‌فروش و یا خریداران کالاهای خود هستند، مانند پیمانکاران ارسال کننده کالا به

هزینه نگهداری کالا در فروشنده	$H_s$
کل هزینه نگهداری و سفارش‌دهی کالا در فروشنده	$TIC_j$
برای خریدار $z$ ام در حالت کمبود	
کل هزینه نگهداری و سفارش‌دهی کالا در فروشنده	$TICS$
در حالت مدیریت موجودی سنتی در حالت کمبود	
میزان سفارش اقتصادی خریدار $z$ ام	$Q_j^*$
میزان کمبود بهینه خریدار $z$ ام	$b_j^*$
ظرفیت فروشنده برای تولید و ارسال کالا	$C$
فضای هر واحد کالا	$f$
ظرفیت فضای خریدار $z$ ام	$F_j$
ظرفیت حمل و نقل کالا از فروشنده به خریداران	$CC$
حداکثر تعداد سفارشات دریافتی از خریداران	$N$
تعداد تکرار در الگوریتم NSGA-II	$iter$
تعداد جمعیت در الگوریتم NSGA-II	$pop\_size$
درصد تقاطع در الگوریتم NSGA-II	$p\_cross$
درصد جهش در الگوریتم NSGA-II	$p\_mut$

**متغیرهای تصمیم:**

میزان حجم ارسالی از فروشنده به خریدار $z$ ام	$y_j$
میزان سفارش خریدار $z$ ام	$Q_j$
میزان کمبود کالا در خریدار $z$ ام	$b_j$
تابع هدف اول سود فروشنده در سیستم VMI یا بدون سیستم VMI	$Z_1(y_j)$
تابع هدف دوم میزان آلاینده‌گی فروشنده در حمل و نقل کالاها	$Z_2(y_j)$

در این پژوهش یک فروشنده و چند خریدار وجود دارد و فروشنده با هر خریدار قرارداد قیمتی  $(P(y_j))$  بر اساس حجم ارسالی  $(y_j)$  دارد. همچنین خریداران نیز یک قیمت مشخص برای فروش داشته و رابطه بین قیمت فروشنده و تقاضای خریدار به صورت خطی و کاهشی است [۱۶]، [۲۱]:

$$P(y_j) = a_j - k_j y_j \quad \forall j \quad (۱)$$

$$y_{min} \leq y_j \leq y_{max} \quad \forall j \quad (۲)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود قیمت محصول دارای قیمت اولیه  $a_j$  و دارای شیب  $k_j$  متناسب با حجم ارسال است. مسئله فوق به شیوه زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$Max Z_1 = \sum_{j=1}^n \{a_j y_j - k_j y_j^2 - \delta y_j - v_j \theta_j y_j^2 - TIC_j\} \quad (۳)$$

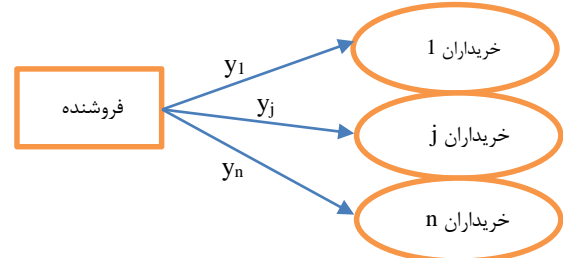
$$Min Z_2 = \sum_{j=1}^n \beta_j \left[ \frac{y_j}{CC} \right] \quad (۴)$$

St:

$$TIC_j = \frac{(S_s + S_{bj})y_j}{Q_j^*} + \frac{(H_s + H_{bj})b_j^2}{2Q_j^*} + \pi_{bj}(Q_j^* - b_j^*)^2 / 2Q_j^* \quad \forall j \in J \quad (۵)$$

$$Q_j^* = \left( \frac{2(S_s + S_{bj})y_j}{H_s + H_{bj}} \right)^{1/2} \cdot \left( \frac{H_s + H_{bj} + \pi_{bj}}{\pi_{bj}} \right)^{1/2} \quad \forall j \in J \quad (۶)$$

۵. محدودیت تعداد سفارشات در فروشنده وجود دارد.
  ۶. محدودیت حجم ارسال کالا از فروشنده به خریداران وجود داشته و دارای حداقل و حداکثر است.
- در شکل (۱)، مدل مسئله مدیریت موجودی توسط یک فروشنده و چند خریدار ترسیم شده است به طوری که در آن میزان ارسال کالا  $(y_j)$  از فروشنده به خریداران مشخص شده و هزینه نگهداری، سفارش‌دهی موجودی و تطابق با تقاضا بر عهده فروشنده است.



شکل (۱): مدل مدیریت موجودی توسط یک فروشنده و چند خریدار در ادامه به بیان مدل ریاضی و تعریف پارامترهای مدل در دو حالت مدیریت موجودی توسط فروشنده و در حالت مدیریت توسط خریداران در شرایط کمبود همراه با لجستیک سبز و سایر محدودیت‌های بیان شده در فرضیات پرداخته می‌شود.

**۲-۱- مدل ریاضی مدیریت موجودی توسط فروشنده در یک فروشنده و چند خریدار**

ابتدا اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به صورت زیر تعریف می‌شود:

**مجموعه اندیس‌ها:**

$$J \text{ مجموعه خرده‌فروش‌ها } n, 1, \dots, z$$

**پارامترها:**

$a_j$	ارزش اولیه قیمت فروش محصول با توجه به تقاضای خریدار $z$ ام
$k_j$	شیب کاهشی قیمت محصول با توجه به تقاضای خریدار $z$ ام
$P(y_j)$	قیمت محصول فروشنده به خریدار $z$ ام بر اساس حجم ارسال $y_j$
$y_{jmin}$	حداقل میزان ارسال کالا به خریدار $z$ ام
$y_{jmax}$	حداکثر میزان ارسال کالا به خریدار $z$ ام
$\delta$	هزینه تولید هر واحد کالا
$\theta_j$	هزینه جریان هر واحد کالا از فروشنده به خریدار $z$ ام
$v_j$	هزینه غیرمستقیم جابجایی کالا به خریدار $z$ ام
$\beta_j$	میزان آلاینده‌گی به ازای هر واحد جابجایی به خریدار $z$ ام
$H_{bj}$	هزینه نگهداری کالا در خریدار $z$ ام
$\pi_{bj}$	هزینه کمبود کالا در خریدار $z$ ام
$S_{bj}$	هزینه سفارش‌گذاری در خریدار $z$ ام
$S_s$	هزینه سفارش‌گذاری در فروشنده

(VMI) و سیستم مدیریت موجودی سنتی یا خریداران، تابع هدف (۳) به حالت تابع هدف (۳b) تغییر پیدا کرده است. این تابع هدف شامل فروش منهای هزینه‌های تولید و توزیع توسط فروشنده، هزینه‌های نگهداری و سفارش دهی توسط خریداران منهای هزینه‌های نگهداری موجودی و سفارش گیری فروشنده است. پارامتر  $TICS$  اضافه شده به مدل، مقدار هزینه سفارش گیری و نگهداری موجودی فروشنده بوده که در محدودیت (۷c) بیان شده است. همچنین  $TIC_j$  شامل هزینه‌های نگهداری، سفارش دهی خریداران بوده که در محدودیت (۵b) بیان شده است. محدودیت‌های (۵) تا (۷) بدون در نظرگیری هزینه نگهداری فروشنده به محدودیت‌های (۵b) تا (۷b) بازنویسی شده است. تابع هدف دوم تغییر نمی‌کند و همچنین سایر محدودیت‌ها نیز پابرجا هستند.

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{j=1}^n \{a_j y_j - k_j y_j^2 - \delta y_j - v_j \theta_j y_j^2 - TIC_j\} \quad (3b)$$

$$- TICS$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{j=1}^n \beta_j \left[ \frac{y_j}{CC} \right] \quad (4)$$

St:

$$TIC_j = \frac{(S_{bj})y_j}{Q_j^*} + \frac{(H_{bj})b_j^{*2}}{2Q_j^*} + \pi_{bj}(Q_j^* - b_j^*)^2/2Q_j^* \quad (5b)$$

$$\forall j \in J$$

$$Q_j^* = \left( \frac{2(S_{bj})y_j}{H_{bj}} \right)^{1/2} \cdot \left( \frac{H_{bj} + \pi_{bj}}{\pi_{bj}} \right)^{1/2} \quad (6b)$$

$$\forall j \in J$$

$$b_j^* = \frac{Q_j^* \pi_{bj}}{H_{bj} + \pi_{bj}} \quad (7b)$$

$$\forall j \in J$$

$$TICS = \sqrt{2S_s S_{bj} * \sum_{j=1}^n y_j} \quad (7c)$$

+ سایر محدودیت (۸)–(۱۲)

### ۲-۳- روش حل مدل

در ادبیات موضوع، مسئله VMI به صورت غیرخطی بوده و در ابعاد بزرگ زمان حل آن‌ها به طور نمایی افزایش می‌یابد و به صورت NP-hard هستند. در شرایط چندهدفه، صادقی و همکاران [۱۱] از الگوریتم ژنتیک NSGA-II استفاده کرده و با الگوریتم NPGA و SA چندهدفه مقایسه کرده‌اند. همچنین نیا و همکاران [۱۲] از الگوریتم ترکیبی هیبرید ژنتیک و رقابت استعماری بهره‌برداری کرده‌اند. دیابات [۱۶] از الگوریتم هیبرید ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید و پسندیده و همکاران [۱۷] از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. نیا و همکاران [۱۹] نیز از الگوریتم مورچگان استفاده کرده و با الگوریتم ژنتیک و تکامل تفاضلی مقایسه نموده‌اند و عملکرد بهتر الگوریتم مورچگان را نشان داده‌اند.

مدل دوهدفه مسئله این مقاله شامل سود و میزان آلاینده‌گی در نظر گرفتن محدودیت انبار، تعداد سفارشات و لحاظ نمودن هزینه کمبود جهت مشتری و تأمین‌کننده می‌باشد. لذا با توجه به اینکه این مدل غیر محدب و غیرخطی می‌باشد، از الگوریتم‌های اپسیلون

$$b_j^* = \frac{Q_j^* \pi_{bj}}{H_s + H_{bj} + \pi_{bj}} \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j \leq C \quad (8)$$

$$f y_j \leq F_j \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{y_j}{Q_j^*} \leq N \quad (10)$$

$$y_{jmin} \leq y_j \leq y_{jmax} \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$y_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (12)$$

با توجه به مدل مسئله دو تابع هدف بیان شده است. هدف اول (۳) بیشینه کردن سود زنجیره بوده و شامل میزان فروش منهای هزینه‌های تولید، توزیع و موجودی در حالت مواجه با جریمه‌های کمبود است. تابع هدف دوم (۴) کمینه نمودن میزان آلاینده‌گی‌ها در اثر جابجایی کالاها بین فروشنده و خرده‌فروش‌ها است. محدودیت (۵) هزینه‌های موجودی در حالت مواجه با جریمه‌های کمبود است. محدودیت (۶) میزان سفارش اقتصادی در حالت مجاز بودن کمبود را مشخص می‌نماید. همچنین محدودیت (۷) میزان کمبود را بیان می‌کند. محدودیت (۸) حداکثر ظرفیت ارسالی تأمین‌کننده به خرده‌فروش را مشخص می‌کند. محدودیت (۹) ظرفیت خرده‌فروش جهت به نمایش قرار دادن کالا جهت فروش را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۰) حداکثر تعداد سفارشات دریافتی از خریداران در فروشنده را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۱) حداقل و حداکثر حجم ارسال کالا از فروشنده به خریدار را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۲) نیز به تعریف متغیرهای تصمیم مسئله می‌پردازد. لازم به ذکر است هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های تولید یک واحد کالا  $\delta$  در میزان تولید و ارسال کالا  $z y$  است. همچنین هزینه‌های توزیع برابر هزینه جریان هر واحد از فروشنده به خریدار  $\theta_j z y$  برابر  $\theta_j z y$  برابر هزینه جابجایی کالا برابر  $v_j z y$  است.  $v_j$  هزینه غیرمستقیم شامل هزینه‌های اداری که در این پژوهش ۰.۵ محاسبه شده است [۱۶]. هزینه‌های نگهداری موجودی  $TIC_j$  برای هر واحد کالا جهت فروشنده شامل هزینه سفارش دهی، نگهداری کالا و کمبود است. این هزینه به صورت

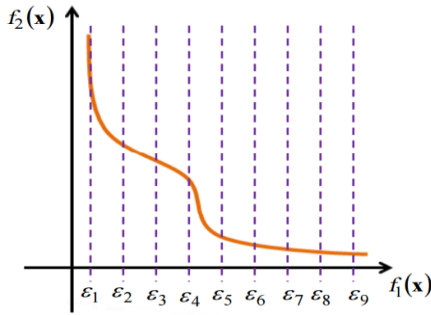
$$TIC_j = \frac{(S_s + S_{bj})y_j}{Q_j^*} + \frac{(H_s + H_{bj})b_j^{*2}}{2Q_j^*} + \pi_{bj}(Q_j^* - b_j^*)^2/2Q_j^*$$

مرتبط با مدل کنترل موجودی و هزینه‌های کمبود است.

در نهایت میزان سفارش بهینه  $Q_j^* = \left( \frac{2(S_s + S_{bj})y_j}{H_s + H_{bj}} \right)^{1/2} \cdot \left( \frac{H_s + H_{bj} + \pi_{bj}}{\pi_{bj}} \right)^{1/2}$  محاسبه شده و میزان کمبود بهینه به گونه‌ای که هزینه‌ها حداقل شود برابر با  $b_j^* = \frac{Q_j^* \pi_{bj}}{H_s + H_{bj} + \pi_{bj}}$  است.

### ۲-۲- مدل ریاضی مدیریت موجودی سنتی (توسط خریداران) در یک فروشنده و چند خریدار

جهت مقایسه سیستم مدل‌سازی مدیریت موجودی توسط فروشنده



شکل (۲): شکل شماتیک از الگوریتم اسیلون محدودیت

۲-۳-۲- الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب NSGA II

با توجه به اینکه فضای مسئله فوق غیر محدب است، لذا می‌توان از الگوریتم‌های فرابتکاری چندهدفه مانند NSGA-II استفاده نمود. الگوریتم NSGA-II یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم‌های موجود برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است و کارایی آن در حل مسائل مختلف، به اثبات رسیده است. سیرینی و دب [۲۶] روش بهینه‌سازی NSGA را برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه معرفی کردند. نکات برجسته این روش بهینه‌سازی عبارت است از:

- ۱- از بین جواب‌ها، جوابی که به‌طور قطع بهتر از آن نباشد، دارای امتیاز بیشتری است. سپس جواب‌ها رتبه‌بندی و مرتب می‌شوند.
- ۲- شایستگی (برازندگی) برای جواب‌ها، برحسب رتبه آن‌ها و عدم غلبه سایر جواب‌ها، اختصاص می‌یابد.
- ۳- از شیوه اشتراک‌برازندگی برای جواب‌های نزدیک استفاده می‌شود تا به این ترتیب پراکندگی جواب‌ها به نحو مطلوبی تنظیم شده و جواب‌های به‌طور یکنواخت در فضای جستجو پخش شوند.

با توجه به حساسیت نسبتاً زیادی که نحوه عملکرد و کیفیت جواب‌های الگوریتم NSGA به پارامترهای اشتراک‌برازندگی و سایر پارامترها دارند، نسخه دوم الگوریتم NSGA با نام NSGA-II توسط دب و همکاران [۲۷] معرفی گردید. در کنار تمام کارایی‌هایی که NSGA-II دارد، می‌توان آن را الگوی شکل‌گیری بسیاری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه دانست. این الگوریتم و شیوه منحصربه‌فرد آن در برخورد با مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، توسط افراد مختلف برای ایجاد الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه مورد استفاده قرار گرفته است. بدون شک این الگوریتم یکی از اساسی‌ترین اعضای کلکسیون الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی است که می‌توان آن‌ها را نسل دوم این‌گونه روش‌ها نامید. ویژگی‌های عمده این الگوریتم عبارت‌اند از:

- ۱- تعریف فاصله تراکمی به‌عنوان ویژگی جایگزین برای شیوه‌هایی مانند اشتراک‌برازندگی
- ۲- استفاده از عملگر انتخاب تورنومنت دو-دویی
- ۳- ذخیره و آرشیو کردن جواب‌های نامغلوب به دست آمده در مراحل قبلی الگوریتم (نخه‌گرایی)

محدودیت جهت ابعاد کوچک و از الگوریتم NSGA-II برای ابعاد بزرگ، جهت تعیین جبهه پاراتو استفاده شده است. همچنین برای رسیدن به بهترین جواب و تنظیم پارامتر الگوریتم NSGA-II، از روش طراحی آزمایشات تاگوچی بهره‌برداری شده است. همچنین در کلیه مثال‌های عددی، مسئله VMI با مدل کنترل موجودی توسط خریداران یا سنتی، مقایسه شده است.

۲-۳-۱- الگوریتم‌های اسیلون محدودیت

این روش مبتنی بر تبدیل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه به یک مسئله بهینه‌سازی تک هدفه است. در این روش یکی از اهداف مسئله به‌عنوان هدف اصلی نسبت به اهداف دیگر به‌عنوان قید، بهینه می‌گردد [۳۵،۲۲].

مزایای این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد:

- (الف) با تغییر مقدار  $\epsilon$  می‌توان جواب‌های مختلف بهینه به دست آورد.
  - (ب) تفاوت مقیاس اهداف در این روش همانند روش وزن‌دهی مشکل‌ساز نمی‌باشد. این روش نسبت به روش وزن‌دهی قادر است تا مجموعه متنوع‌تری از جواب‌های بهینه پار تو را به دست آورد.
- معایب این روش عبارت است از:

- (الف) جواب‌های به‌دست‌آمده به‌شدت به مقادیر انتخابی  $\epsilon$  بستگی دارد. این مقادیر باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که بین مقادیر حداقل و حداکثر هر تابع هدف مقید شده قرار گیرند.
- (ب) با افزایش تعداد اهداف اطلاعات بیشتری از طرف کاربر باید داده شود.

فرض می‌شود که تصمیم به مینیمم‌سازی توابع هدف (۱۳) به همراه محدودیت‌های (۱۴) و (۱۵) می‌باشد:

$$\text{Min } F(x) = \{f_1(x), \dots, f_n(x)\} \quad (13)$$

St:

$$g(x) \leq 0 \quad (14)$$

$$h(x) = 0 \quad (15)$$

بر اساس این روش یکی از توابع هدف به‌عنوان تابع هدف اصلی مطابق معادله (۱۶) انتخاب می‌شود. سایر توابع هدف به‌صورت محدودیت (۱۷) در نظر گرفته شده و هر بار با توجه به یکی از توابع هدف مسئله حل گردیده و مقادیر بهینه و نظیر هر تابع هدف محاسبه می‌شود. بازه بین دو مقدار بهینه و نظیر توابع هدف فرعی به تعداد از قبل مشخصی تقسیم، و یک جدول مقادیر برای  $\epsilon_j$  تعیین شده و در نهایت جواب‌های پارتویی به دست می‌آید [۲۳]، [۲۴].

$$\text{Min } F(x) = f_i(x) \quad (16)$$

St:

$$f_j(x) \leq \epsilon_j \quad j = 1, \dots, n, j \neq i \quad (17)$$

$$f_j^{\min}(x) \leq \epsilon_j \leq f_j^{\max}(x) \quad (18)$$

$$g(x) \leq 0 \quad (19)$$

$$h(x) = 0 \quad (20)$$

در شکل (۲) نمودار روش اسیلون محدودیت ترسیم شده است.

جدول (۱): پارامترهای خریدار در حالت کمبود بی‌نهایت

(P1-V1B1)

$H_b$	$S_b$	$a_1$	$k_1$	$y_{1m}$	$y_{1m}$	$\theta_1$	$\beta_1$	$\pi_b$	$F_1$	$H_s$	$S_s$
$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

جدول (۲): پارامترهای یک فروشنده در حالت کمبود بی‌نهایت

(P1-V1B1)

$C$	$\delta$	$CC$	$f$	$N$
۶۱۵۰	۴۰	۱۰۰	۰/۲	۵۰

جدول (۳): مقایسه مدل یک فروشنده با یک خریدار در حالت

کمبود غیرمجاز (بی‌نهایت) (P1-V1B1) با سایر روش‌ها

	$Y_{jopt}$	$Z_1^*$	$Z_2$
P1-V1B1-VMI	۱۵۳۵/۰۳	۲۶۹۶۰/۹۵	۱۵۳/۵۰
P1-V1B1-NoVMI	۱۵۳۵/۹۸	۲۷۰۳۲/۳۵	۱۵۳/۵۹
دانگ و اگرو [۸]	۱۵۳۵	۲۶۹۶۰/۴۹	--
LINGO (دیابات [۱۶])	۱۵۳۵	۲۶۹۶۰/۴۹	--
نچیابان و جاهاوار (GA [۲۹])	۱۵۳۵	۲۶۹۶۰/۴۲	--
Hybrid Algorithm (دیابات [۱۶])	۱۵۳۵	۲۶۹۶۰/۴۹	--

همان‌طور که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود مدل فوق در حالتی که هزینه کمبود بسیار زیاد باشد به مدل مقاله دیابات [۱۶] و نچیابان و جاهاوار [۲۹] و دانگ و اگرو [۸] قابل تبدیل بوده و میزان ارسال  $(Y_{jopt})$  و سود بهینه  $(Z_1^*)$  یکسانی را نشان داده و بر اعتبارسنجی مدل کاملاً صحت می‌گذارد. هرچند که مدل این مقاله به‌صورت دوهدفه بوده و هدف دوم  $(Z_2)$  نیز میزان آلاینده‌گی می‌باشد. همچنین این مدل با مدل سنتی مقایسه شده است به‌طوری‌که در حالت یک فروشنده و یک خریدار، مدل سنتی در شرایط کمبود غیرمجاز سود بیشتر و آلاینده‌گی بیشتری دارد.

اما در صورتی‌که هزینه کمبود کاهش یابد پس از حل مدل قاعداً میزان ارسال  $(Y_{jopt})$  جهت جلوگیری از کمبود بیشتر می‌گردد (جدول ۴).

جدول (۴) نشان می‌دهد در مدل یک فروشنده با یک خریدار در حالت کمبود مجاز، با کاهش هزینه کمبود، میزان ارسال کالا و میزان سفارش بیشتر گردیده و میزان بهینه کمبود کمتر شده و میزان سود نسبت به حالت کمبود غیرمجاز (دیابات [۱۶]) نیز بیشتر گردیده است.

همچنین با کمتر شدن هزینه کمبود عملکرد مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده نسبت به مدل سنتی در سود سازمان بهتر شده و مقدار آلاینده دی‌اکسید کربن تقریباً برابر به دست آمده است. با توجه به اینکه مدل به‌صورت دوهدفه می‌باشد، با استفاده از رویکرد اپسیلون محدودیت می‌توان جبهه پارتو را برای مدل دوهدفه (P4-V1B1) به دست آورد [۲۴]، [۲۳]. برای این مهم فاصله حد پایین و حد بالا برای تابع هدف اول  $Z_1$  به ده قسمت مساوی تقسیم

در الگوریتم NSGA-II از میان جواب‌های هر نسل، تعدادی از آن‌ها با استفاده از روش انتخاب تورنمنت دو-دویی انتخاب می‌شوند [۲۲]. در روش انتخاب دو-دویی، دو جواب به تصادف از میان جمعیت انتخاب و سپس میان این دو جواب، مقایسه‌ای انجام شده و بهترین‌ها انتخاب می‌شود. معیارهای انتخاب در الگوریتم NSGA-II در درجه اول، رتبه جواب و در درجه دوم فاصله تراکمی مربوط به جواب است. هر چه قدر رتبه جواب کمتر باشد و دارای فاصله تراکمی بیشتری باشد، مطلوب‌تر است [۲۷، ۳۵]. با تکرار عملگر انتخاب دو-دویی بر روی جمعیت هر نسل، مجموعه‌ای از افراد آن نسل برای شرکت در تقاطع و جهش، انتخاب می‌شوند. بر روی بخشی از مجموعه افراد انتخاب شده، عمل تقاطع و بر روی بقیه، عمل جهش انجام شده و جمعیتی از فرزندان و جهش‌یافتگان ایجاد می‌شود. در ادامه، این جمعیت با جمعیت اصلی ادغام می‌گردد. اعضای جمعیت تازه تشکیل یافته، ابتدا برحسب رتبه و به‌صورت صعودی مرتب می‌شوند. اعضای از جمعیت که دارای رتبه یکسانی هستند، برحسب فاصله تراکمی و به‌صورت نزولی مرتب می‌شوند. حال اعضای جمعیت در درجه اول برحسب رتبه، و در درجه دوم برحسب فاصله تراکمی مرتب‌سازی شده و برابر با تعداد افراد جمعیت اصلی، اعضای از بالای فهرست مرتب شده انتخاب می‌شوند و بقیه اعضای جمعیت دور ریخته می‌گردند. اعضای انتخاب شده جمعیت نسل بعدی را تشکیل داده و چرخه مذکور در این بخش، تا محقق شدن شرایط خاتمه، تکرار می‌شود [۲۳]. جواب‌های نامغلوب به دست آمده از حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه، غالباً به نام جبهه پارتو شناخته می‌شوند. هیچ‌کدام از جواب‌های جبهه پارتو، بر دیگری ارجحیت نداشته و بسته به شرایط، می‌توان هرکدام را به‌عنوان یک تصمیم بهینه در نظر گرفت.

### ۳- حل مدل با استفاده از الگوریتم اپسیلون محدودیت

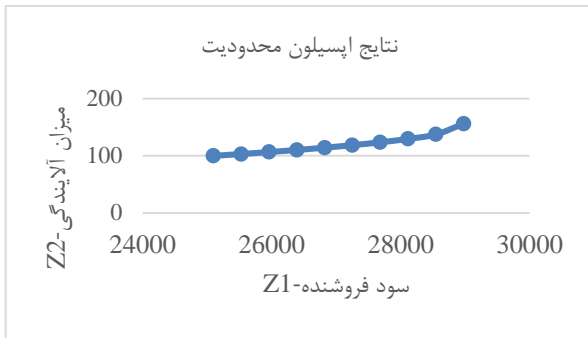
در چند مرحله مثال عددی تعریف گردیده به‌طوری‌که در اولین حالت فروشنده با یک، سه و پنج خریدار با شرایط بدون کمبود و باوجود کمبود آورده شده است. مقدار پارامترهای این مثال از پژوهش دیابات [۱۶] استخراج شده و در حالت هزینه کمبود بی‌نهایت یا غیرمجاز با پژوهش فوق و پژوهش‌های دانگ و اگرو [۹] و نچیابان و جاهاوار [29] و همچنین با حالت مدیریت موجودی توسط خریداران (NoVMI) نیز مقایسه شده است.

#### ۳-۱- یک فروشنده با یک خریدار

اطلاعات یک مسئله در حالت یک فروشنده با یک خریدار که برگرفته از پژوهش دیابات [۱۶] است در حالت هزینه کمبود بی‌نهایت یا غیرمجاز (P1-V1B1) در جدول (۱) و (۲) بیان شده است.

پس از جایگذاری در معادلات (۳) تا (۱۲) مقدار جواب بهینه به شرح جدول (۳) به دست آمده است. لازم به ذکر است حل مثال‌های مدل در نرم‌افزار GAMS با حل‌کننده DICOPT (که جهت مدل‌های غیرخطی بکار برده می‌شود) و با سیستم CPU 1.7GB و RAM 6.0GB انجام شده است.

آلایندگی افزایش یافته (نامطلوب) است که این موضوع تعارض بین توابع هدف را نشان می‌دهد. نمودار اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B1، در شکل (۳) رسم شده است.



شکل (۳): نمودار اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B1

۳-۲- یک فروشنده با سه خریدار

پارامترهای مسئله در حالت یک فروشنده با سه خریدار در حالت هزینه کمبود بی‌نهایت یا غیرمجاز (P1-V1B3) در جداول (۶) و (۷) نشان داده شده است:

جدول (۶): پارامترهای سه خریدار در حالت کمبود غیرمجاز (بی‌نهایت) (P1-V1B3)

J	1	2	3
$H_{bj}$	۷	۸	۹
$S_{bj}$	۱۰	۲۰	۳۰
$a_j$	۲۰	۱۹	۱۸
$k_j$	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸
$y_{jmin}$	۲۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰
$y_{jmax}$	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰
$\theta_j$	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸
$\beta_j$	۰/۱	۰/۱	۰/۱
$\pi_{bj}$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$F_j$	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰

جدول (۷): پارامترهای یک فروشنده در حالت کمبود غیرمجاز (بی‌نهایت) (P1-V1B3)

$H_s$	$S_s$	$C$	$\delta$	$CC$	$f$	$N$
۹	۱۵۰	۶۱۵۰	۴۰	۱۰۰	۰/۲	۵۰

مقدار جواب بهینه به شرح جدول (۸) به دست آمده است. همان‌طور که در جدول (۸) ملاحظه می‌گردد مدل فوق در حالتی که هزینه کمبود بسیار زیاد باشد، قابل تبدیل به سایر مدل‌های مطرح شده در ادبیات موضوع بوده و دارای سود و میزان ارسال کالای یکسان می‌باشد. بدین ترتیب اعتبارسنجی مدل کاملاً صحه‌گذاری می‌شود. هدف دوم نیز میزان آلایندگی است که مقدار آن در ستون آخر محاسبه شده است. همچنین مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده با مدل سنتی مقایسه شده است. بدین ترتیب سود مدل سنتی در حالت کمبود غیرمجاز کمتر و آلایندگی بیشتر می‌گردد.

شده است. در ادامه در شکل (۳) نمودار اپسیلون محدودیت رسم، و داده‌ها به‌صورت جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۴): مدل یک فروشنده با یک خریدار در حالت هزینه‌های

مدل	$\pi_{b1}$	$y_{jopt}$	$Z_1^*$	$Z_2$	$Q_j^*$	$b_j^*$
P1-V1B1	۱۰۰۰۰۰۰	۱۵۳۵/۲۸	۲۶۹۶/۵۵	۱۵۳/۵۰	۲۷۷/۰۴۳	۲۷۷/۰۳۸
P1-V1B1- NoVMI	۱۰۰۰۰۰۰	۱۵۳۵/۹۸	۲۷۰۳۲/۳۵	۱۵۳/۵۹	۲۲۰/۰۰	۳۱۹/۹۹
P2-V1B1	۱۰۰۰	۱۵۳۵/۶۱۷	۲۷۰۰۴/۷۹	۱۵۳/۶۲	۲۷۹/۵/۶	۲۷۴/۶۳۳
P2-V1B1- NoVMI	۱۰۰۰	۱۵۳۶/۱۵	۲۷۰۴۵/۲۰	۱۵۳/۶۱	۳۲۱/۴۵	۳۱۸/۵۸
P3-V1B1	۱۰۰	۱۵۴۰/۳۹۰	۲۷۳۵۶/۹۱۷	۱۵۴/۰۲	۳۰۱/۴۵۸	۲۵۵-۳۷۴
P3-V1B1- NoVMI	۱۰۰	۱۵۳۷/۵۹	۲۷۱۵۳/۱۲	۱۵۳/۷۶	۳۳۴/۲۶	۲۰۶/۶۶۶
P4-V1B1	۱۰	۱۵۶/۱۵۰۲	۲۸۹۷۵/۴	۱۵۶/۱۵	۴۶۷/۵۵۸	۱۶۶/۹۸۵
P4-V1B1- NoVMI	۱۰	۱۵۴۶/۴۶۰	۲۷۸۱۲۳/۳۰	۱۵۴/۶۴	۴۴۲/۵۸	۲۲۲/۹۴

جدول (۵): جدول اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B1

مدل P4-V1B1	$\max Z_1$	$\min Z_2$	$y_{jopt}$
۱	۲۵۰۹۴/۶۵	۱۰۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰۰
۲	۲۵۵۲۵/۸۸	۱۰۳/۲۲	۱۰۳۲/۱۷۰
۳	۲۵۹۵۷/۱۲	۱۰۶/۶۴	۱۰۶۶/۴۱۳
۴	۲۶۳۸۸/۳۵	۱۱۰/۳۲	۱۱۰۳/۱۹۱
۵	۲۶۸۱۹/۵۸	۱۱۴/۳۲	۱۱۴۳/۱۷۳
۶	۲۷۲۵۰/۸۱	۱۱۸/۷۴	۱۱۸۷/۳۸۵
۷	۲۷۶۸۲/۰۵	۱۲۳/۷۶	۱۲۳۷/۵۵۱
۸	۲۸۱۱۳/۲۸	۱۲۹/۷۰	۱۲۹۷/۰۲۸
۹	۲۸۵۴۴/۵۱	۱۳۷/۴۵	۱۳۷۴/۵۳۳
۱۰	۲۸۹۷۵/۷۵	۱۵۶/۱۵	۱۵۶۱/۳۷۶

در جدول (۵) ابتدا حالت مینیمم‌سازی تابع آلایندگی در نظر گرفته شده است. در این حالت سود فروشنده کاهش یافته (نامطلوب بوده) و دارای کمترین میزان آلایندگی (مطلوب) است و در آخر جدول سود فروشنده افزایش یافته (مطلوب بوده) و به تبع میزان



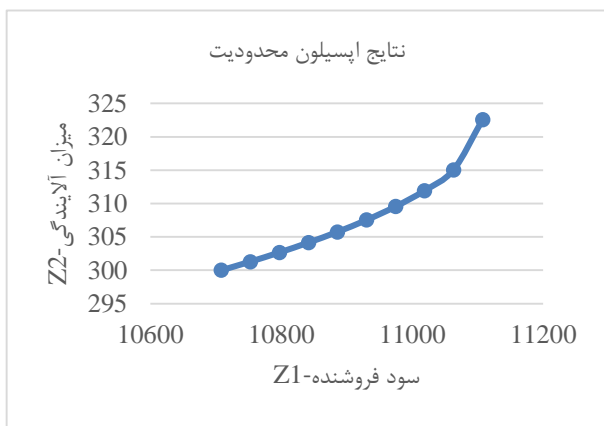
سفارش بیشتر شده و میزان بهینه کمبود نیز کمتر گردیده است. بر این اساس میزان سود نسبت به حالت کمبود غیرمجاز بیشتر شده است. با کمتر شدن هزینه کمبود همچنان عملکرد مدل فوق نسبت به مدل سنتی در سود سازمان بهتر بوده و مقداری آلاینده دی‌اکسید کربن کمتری دارد.

همچنین با توجه به اینکه مدل به‌صورت دوهدفه می‌باشد با استفاده از رویکرد اپسیلون محدودیت می‌توان جبهه پارتو را برای مدل دوهدفه (P4-V1B1) به دست آورد. برای این مهم فاصله حد پایین و بالا را برای تابع هدف  $Z_1$  به ده قسمت مساوی تقسیم کرده (شکل ۴) و داده‌ها به‌صورت جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۱۰): جدول اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B3

مدل P4-V1B3	$\max Z_1$	$\min Z_2$	$y_{1opt}$	$y_{2opt}$	$y_{3opt}$
۱	۱۰۷۰۸/۲۵	۳۰۰/۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰
۲	۱۰۷۵۲/۶۰	۳۰۱/۲۹	۲۰۰۰	۵۱۲/۹۳	۵۰۰
۳	۱۰۷۹۶/۹۵	۳۰۲/۶۷	۲۰۰۰	۵۲۶/۶۹	۵۰۰
۴	۱۰۸۴۱/۳۰	۳۰۴/۱۵	۲۰۰۰	۵۴۱/۴۷	۵۰۰
۵	۱۰۸۸۵/۶۵	۳۰۵/۷۵	۲۰۰۰	۵۵۷/۵۴	۵۰۰
۶	۱۰۹۳۰/۰۰	۳۰۷/۵۳	۲۰۰۰	۵۷۵/۳۱	۵۰۰
۷	۱۰۹۷۴/۳۶	۳۰۹/۵۵	۲۰۰۰	۵۹۵/۴۷	۵۰۰
۸	۱۱۰۱۸/۷۱	۳۱۱/۹۴	۲۰۰۰	۶۱۹/۳۸	۵۰۰
۹	۱۱۰۶۳/۰۶	۳۱۵/۰۵	۲۰۰۰	۶۵۰/۵۲	۵۰۰
۱۰	۱۱۱۰۷/۴۱	۳۲۲/۵۷	۲۰۰۰	۷۲۵/۶۵	۵۰۰

در جدول (۱۰) ابتدا حالت مینیمم‌سازی تابع آلاینده‌گی در نظر گرفته شده است. در این حالت سود فروشنده کاهش یافته (نامطلوب بوده) و دارای کمترین میزان آلاینده‌گی (مطلوب) است که در آخر جدول سود فروشنده افزایش یافته (مطلوب بوده) و به تبع میزان آلاینده‌گی افزایش یافته (نامطلوب) است. این موضوع تعارض بین توابع هدف را نشان می‌دهد. نمودار اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B3 در شکل (۴) رسم شده است.



شکل (۴): نمودار اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B3

جدول (۸): مقایسه مدل یک فروشنده با سه خریدار در حالت کمبود بی‌نهایت (P1-V1B3) با سایر روش‌ها

	$y_{1opt}$	$y_{2opt}$	$y_{3opt}$	$Z_1^*$	$Z_2$
P1-V1B3	۲۰۰۰	۷۰۹/۵۳	۵۰۰	۹۹۰۳/۱۳	۳۲۰/۹۵
P1-V1B3- NoVMI	۲۰۰۰	۷۲۰/۳۸	۵۰۰	۸۸۷۷/۳۷	۳۴۲/۰۳
LINGO (دییابات [۱۶])	۲۰۰۰	۷۱۰	۵۰۰	۹۹۰۳/۱۳	-
GA نچیابان و جاهوار [۲۹])	۲۰۰۰	۶۷۳	۵۰۰	۹۹۰۵/۵۱	-
Hybrid Algorithm (دییابات [۱۶])	۲۰۰۰	۶۷۵	۵۰۰	۹۹۰۸/۴۹	-

جدول (۹): مدل یک فروشنده با سه خریدار در حالت کمبود مجاز

مدل	$\pi_{bj}$	$y_{opt}$	$Z_1^*$	$Z_2$	$Q_j^*$	$b_j^*$
P1-V1B3	۰	۲۰۰۰	-	-	۷۹/۰۶	۷۹/۰۶
	۱	۷۰۹/۵۳	۹۹۰۳/۱۳	۳۲۰/۹۵	۵۴/۰۵	۵۴/۰۵
	۱	۵۰۰	۹۹۰۳/۱۳	۳۲۰/۹۵	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰
P1-V1B3- NoVMI	۰	۲۲۰۰	-	-	۷۹/۲۸	۷۹/۲۸
	۱	۷۲۰/۳۸	۸۸۷۷/۳۷	۳۴۲/۰۳	۶۰/۰۱	۶۰/۰۱
	۱	۵۰۰	۸۸۷۷/۳۷	۳۴۲/۰۳	۵۷/۷۳	۵۷/۷۳
P2-V1B3	۰	۲۰۰۰	-	-	۷۹/۶۸	۷۸/۴۳
	۱	۷۰۹/۸۸	۹۹۲۸/۷۱	۳۲۰/۹۸	۵۴/۵۲	۵۳/۶۱
	۱	۵۰۰	۹۹۲۸/۷۱	۳۲۰/۹۸	۵۰/۴۴	۴۹/۵۵
P2-V1B3- NoVMI	۰	۲۲۰۰	-	-	۷۹/۵۶	۷۹/۰۰
	۱	۷۲۰/۴۷	۸۸۸۳/۴۳	۳۴۲/۰۴	۶۰/۲۵	۵۹/۷۸
	۱	۵۰۰	۸۸۸۳/۴۳	۳۴۲/۰۴	۵۷/۹۹	۵۷/۴۷
P3-V1B3	۰	۲۰۰۰	-	-	۸۵/۱۴	۷۳/۴۰
	۱	۷۱۲/۶۷	۱۰۱۳۳/۵۱	۳۴۱/۳۶	۵۸/۵۹	۵۰/۰۸
	۱	۵۰۰	۱۰۱۳۳/۵۱	۳۴۱/۳۶	۵۴/۳۱	۴۶/۰۲
P3-V1B3- NoVMI	۰	۲۰۰۰	-	-	۸۲/۰۱	۷۶/۶۴
	۱	۷۲۱/۱۹	۸۹۳۵/۷۷	۳۴۲/۱۱	۶۲/۴۰	۵۷/۷۸
	۱	۵۰۰	۸۹۳۵/۷۷	۳۴۲/۱۱	۶۰/۲۷	۵۵/۳۰
P4-V1B3	۰	۲۰۰۰	-	-	۱۲۷/۴۷	۴۹/۰۳
	۱	۷۲۵/۶۵	۱۱۱۰۷/۴۱	۳۲۲/۵۶	۸۹/۸۱	۳۳/۲۷
	۱	۵۰۰	۱۱۱۰۷/۴۱	۳۲۲/۵۶	۸۳/۶۶	۲۹/۸۸
P4-V1B3- NoVMI	۰	۲۲۰۰	-	-	۱۰۳/۳۷	۶۰/۸۰
	۱	۷۲۵/۷۶	۹۲۷۱/۳۳	۳۴۲/۵۷	۸۰/۸۲	۴۴/۹۰
	۱	۵۰۰	۹۲۷۱/۳۳	۳۴۲/۵۷	۷۹/۵۸	۴۱/۸۸

در صورتی که هزینه کمبود مقدار کوچک‌تری باشد، پس از حل مدل میزان ارسال جهت جلوگیری از کمبود بیشتر می‌شود (جدول ۹). این جدول نشان می‌دهد مدل یک فروشنده با سه خریدار در حالت کمبود مجاز، با کاهش هزینه کمبود، میزان ارسال کالا و میزان

همانطور که در جدول (۱۴) ملاحظه می‌شود مدل یک فروشنده با پنج خریدار در حالت کمبود مجاز، با کاهش هزینه کمبود، میزان ارسال کالا ( $Y_{jopt}$ ) و میزان سفارش ( $Q_j^*$ ) بیشتر شده است. بر این اساس مقدار کمبود نیز کمتر، و میزان سود نسبت به حالت کمبود غیر مجاز بیشتر گردیده است.

جدول (۱۴): مدل یک فروشنده با پنج خریدار در حالت کمبود مجاز

مدل	$\pi_b$	$Y_{jopt}$	$Z_1^*$	$Z_2$	$Q_j^*$	$b_j^*$
ΔB1-V1P	۰	۲۰۰۰	۱۸۸۱۸۷۹۷	۵۴۴۵۳۴	۷۹/۰۵۸	۷۹/۰۵۶
	۱	۷۰۹/۵۳۰			۵۴/۰۵۲	۵۴/۰۵۱
	۲	۵۰۰			۵۰/۰۰۰	۵۰/۰۰۰
	۳	۱۷۰۰			۷۹/۸۴۴	۷۹/۸۴۳
	۴	۵۳۵/۸۰۶			۴۸/۸۰۰	۴۸/۷۹۹
ΔB1-V1P NoVMI	۰	۲۰۰۰	۱۸۰۶۹/۸۵	۵۵۸/۳۴	۷۵/۵۹۳	۷۵/۵۹۳
	۱	۵۸۲/۴۶			۵۳/۹۶۶	۵۳/۹۶۶
	۲	۵۰۰			۵۷/۷۳۵	۵۷/۷۳۵
	۳	۲۰۰۰			۹۲/۵۸۲	۹۲/۵۸۲
	۴	۵۰۰			۵۲/۷۰۵	۵۲/۷۰۴
ΔB1-V2P	۰	۲۰۰۰	۱۸۸۶۲۳۵۸	۵۴۴۶۰۸	۷۹/۶۸۷	۷۸/۴۳۲
	۱	۷۰۹/۸۷۹			۵۴/۵۲۳	۵۳/۶۱۱
	۲	۵۰۰			۵۰/۴۴۸	۴۹/۵۵۶
	۳	۱۷۰۰			۸۰/۴۸۰	۷۹/۳۱۲
	۴	۵۳۶/۲۰۵			۴۹/۲۵۵	۴۸/۳۸۴
ΔB1-V2P NoVMI	۰	۲۰۰۰	۱۸۱۴۳۴۶۶	۵۶۱/۴۴	۷۵/۸۵۷	۷۵/۳۳۰
	۱	۶۱۴/۴۳			۵۵/۶۴۹	۵۵/۲۰۷
	۲	۵۰۰			۵۷/۹۹۴	۵۷/۴۷۷
	۳	۲۰۰۰			۹۲/۹۰۵	۹۲/۲۶۰
	۴	۵۰۰			۵۲/۹۴۱	۵۲/۴۶۹
ΔB1-V3P	۰	۲۰۰۰	۱۹۲۲۱۱/۴۱۱	۵۴۵/۲۰۳	۸۵/۱۴۷	۷۳/۴۰۳
	۱	۷۱۲/۶۶۷			۵۸/۵۹۵	۵۰/۰۸۱
	۲	۵۰۰			۵۴/۳۱۴	۴۶/۰۲۹
	۳	۱۷۰۰			۸۵/۹۹۴	۷۴/۱۳۳
	۴	۵۳۹/۳۶۴			۵۳/۱۸۵	۴۵/۰۷۲
ΔB1-V3P NoVMI	۰	۲۰۰۰	۱۸۳۶۶۸۱	۵۷۷/۳۷	۷۸/۱۹۴	۷۳/۰۷۸
	۱	۷۲۳/۲۴			۷۸/۱۹۴	۵۷/۸۶۵
	۲	۵۰۰			۶۰/۲۷۷	۵۵/۳۰۰
	۳	۲۰۰۰			۹۵/۷۶۸	۸۹/۵۰۲
	۴	۵۵۰/۴۶			۵۷/۷۳۵	۵۲/۹۶۸
ΔB1-V4P	۰	۲۰۰۰	۲۰۸۶۴۶۶۵	۵۴۷/۹۲۳	۱۲۷/۴۷۵	۴۹/۰۲۹
	۱	۷۲۵/۶۴۵			۸۹/۸۱۹	۳۳/۲۶۶
	۲	۵۰۰			۸۳/۶۶۶	۲۹/۸۸۱
	۳	۱۷۰۰			۱۲۸/۷۴۴	۴۹/۵۱۷
	۴	۵۵۳/۵۸۳			۸۳/۰۰۰	۲۹/۶۴۳
P4-V1B5 NoVMI	۰	۲۰۰۰	۱۸۹۳۳۰۱۷	۵۷۸۰۳۸	۹۸/۵۶	۵۷/۹۷
	۱	۷۲۷/۸۰			۸۰/۹۳	۴۴/۹۶
	۲	۵۰۰			۷۹/۵۸	۴۱/۸۸
	۳	۲۰۰۰			۱۲۰/۷۱	۷۱/۰۰
	۴	۵۵۶/۰۸			۷۶/۶۱	۴۰/۳۲

با کمتر شدن هزینه کمبود، همچنان عملکرد فوق نسبت به مدل سنتی در سود سازمان بهتر شده و مقداری آلاینده دی‌اکسید کربن کمتر گردیده است. همچنین با توجه به اینکه مدل به‌صورت دوهدفه

### ۳-۳- یک فروشنده با پنج خریدار

جدول (۱۱) و (۱۲) پارامترهای مسئله را در حالت یک فروشنده با پنج خریدار در حالت هزینه کمبود بی‌نهایت یا غیرمجاز (P1-V1B5) نشان می‌دهد.

بدین ترتیب مقدار جواب بهینه به دست آمده در سه حالت مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI) و در حالت سنتی (NoVMI) و با کار دیابت [۱۶] مقایسه شده است (جدول ۱۳).

همان‌طور که در جدول (۱۳) ملاحظه می‌شود مدل فوق در حالتی که هزینه کمبود بسیار زیاد باشد به مدل دیابت [۱۶] قابل تبدیل بوده و میزان ارسال و سود یکسان دارد. بدین ترتیب اعتبارسنجی مدل صحه‌گذاری می‌شود. همچنین مدل VMI با مدل سنتی مقایسه شده است. در این حالت مدل سنتی در شرایط کمبود غیرمجاز سود کمتر و آلاینده‌گی بیشتری داشته و مدل فوق عملکرد بهتری دارد.

جدول (۱۱): پارامترهای پنج خریدار در حالت کمبود بی‌نهایت (P1-V1B5)

J	۱	۲	۳	۴	۵
$H_{bj}$	۷	۸	۹	۷	۹
$S_{bj}$	۱۰	۲۰	۳۰	۱۵	۲۵
$a_j$	۲۰	۱۹	۱۸	۲۱	۱۸
$k_j$	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶
$Y_{jmin}$	۲۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۰
$Y_{jmax}$	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۳۵۰۰	۲۵۰۰
$\theta_j$	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷
$\beta_j$	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
$\pi_{bj}$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$F_j$	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰

جدول (۱۲): پارامترهای یک فروشنده در حالت کمبود بی‌نهایت (P1-V1B5)

$H_s$	$S_s$	C	$\delta$	CC	f	N
۹	۱۵	۹۸۵۰	۷	۱۰۰	۰/۲	۵۰

جدول (۱۳): مقایسه مدل یک فروشنده با پنج خریدار در حالت غیرمجاز (بی‌نهایت) (P1-V1B5) با سایر روش‌ها

	$Y_{1opt}$	$Y_{2opt}$	$Y_{3opt}$	$Y_{4opt}$	$Y_{5opt}$	$Z_1$	$Z_2$
P1-V1B5	۲۰۰۰	۷۰۹/۵۳	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۳۵/۸۰۶	۱۸۸۱۸۷۹۷	۵۴۴/۵۳۴
P1-V1B5-NoVMI	۲۰۰۰	۵۸۲/۴۶	۵۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۸۰۶۹/۸۵	۵۵۸/۳۴
Hybrid Algorithm (دیابت [۱۶])	۲۱۲۶	۶۵۳	۵۶۷	۱۷۰۲	۵۲۲	۱۷۶۰۲/۱۵	-

در صورتی که هزینه کمبود، اعداد کوچک‌تری باشند پس از حل مدل، میزان ارسال جهت جلوگیری از کمبود بیشتر گردیده که در جدول (۱۴) نشان داده شده است.

لازم است برای اجرای الگوریتم NSGA-II کروموزوم با رشته جواب مناسب تعریف شود. در این پژوهش کروموزوم‌های به صورت شکل (۶) تعریف می‌شود.

۱	۲	۳	J	n
$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_j$	$y_n$

شکل (۶): ساختار کروموزوم

محل تقاطع در این الگوریتم به صورت تک نقطه‌ای و به صورت تصادفی در نظر گرفته شده و به صورت شکل (۷) می‌باشد [۳۳]. و از محل تقاطع دو کروموزوم جدید تولید شده است هرچند که ممکن است فرزندهای جدید در محدودیت‌ها صدق نکنند. این امر به دلیل محدودیت (۸) و یا سایر محدودیت‌ها است که به صورت جریمه در تابع هدف لحاظ گردیده است. محل جهش در این الگوریتم به صورت تصادفی در نظر گرفته شده که به صورت شکل (۸) می‌باشد. نحوه جهش بدین صورت است که عدد تصادفی بین یک تا تعداد متغیرها ( $n$ ) تولید گردیده و در محل نقطه عملیات جهش مربوط به  $y_j$  به گونه‌ای تغییر می‌کند که محدودیت‌ها صدق کند و به  $y'_j$  مطابق معادله (۲۱) تغییر کند. هرچند که ممکن است مجدداً فرزند جدید در محدودیت (۸) و یا سایر محدودیت‌ها صدق نکنند که این امر به صورت جریمه در تابع هدف لحاظ گردیده است:

$$y'_j = Rand * (y_{jmax} - y_{jmin}) + y_{jmin} \quad (21)$$

در شکل (۹) نتایج حاصل از اجرای الگوریتم NSGA-II و جبهه پارتو را برای مسئله P4-V1B5 مطابق مراحل بخش ۲-۳-۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که پارامترهای این الگوریتم مانند تعداد جمعیت، تعداد تکرار، درصد تقاطع و درصد جهش از طریق طراحی آزمایشات به روش تاگوچی بدست آورد شده که در بخش ۳-۵ توضیح داده می‌شود.

### ۳-۵- تنظیم پارامتر الگوریتم NSGA-II

در ادبیات موضوع از روش‌های مختلفی برای تنظیم پارامترهای الگوریتم استفاده شده است، به طوری که می‌توان از تکنیک‌های تجربی و آزمایشی، طراحی آزمایشات و آزمایشات تاگوچی و تکنیک سطوح پاسخ نام برد. در این مقاله از روش آزمایشات تاگوچی بهره‌برداری شده است [۳۴]، [۳۲]. برای تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II پارامترهای قابل تغییر الگوریتم در جدول (۱۶) مشخص شده است.

۱	۲	۳	J	n
$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_j$	$y_n$

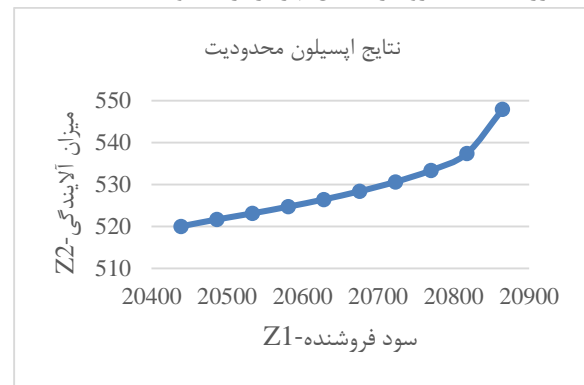
والد ۱

۱	۲	۳	J	n
$y'_1$	$y'_2$	$y'_3$	$y'_j$	$y'_n$

والد ۲

می‌باشد، لذا با استفاده از رویکرد اپسیلون محدودیت می‌توان جبهه پارتو را برای مدل دوهدفه (P4-V1B5) به دست آورد. براین اساس فاصله حد پایین و بالا برای تابع هدف  $Z_1$  به ده قسمت مساوی تقسیم شده (شکل ۵) و داده‌ها به صورت جدول (۱۵) نشان داده شده است. در این جدول در ابتدا با حالت مینیمم‌سازی تابع آلاینده‌گی در نظر گرفته شده به نحوی که سود فروشنده کاهش یافته (نامطلوب بوده) و کمترین میزان آلاینده‌گی (مطلوب) به دست آمده است. در انتهای جدول سود فروشنده افزایش یافته (مطلوب بوده) و به تبع میزان آلاینده‌گی افزایش یافته (نامطلوب) است که این موضوع تعارض بین توابع هدف را نشان می‌دهد. شکل (۵) نمودار اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B5 و روند توابع هدف را نشان می‌دهد.

در سه مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده در زنجیره تأمین دو سطحی و مجاز بودن کمبود با مدیریت موجودی در حالت سنتی با سایر مدل‌ها در ادبیات موضوع مقایسه شده است. بدین ترتیب رویکرد VMI در حالتی که تعداد خریدار بیش‌تر از یک است بهتر از رویکرد سنتی در همه اهداف عمل می‌نماید. جبهه پارتو با رویکرد اپسیلون محدودیت برای توابع هدف محاسبه و رسم شده است. در ادامه نیز با بررسی مدل P4-V1B5 با رویکرد الگوریتم NSGA-II مقایسه‌ای صورت می‌پذیرد تا بتوان از این الگوریتم در ابعاد بزرگ به جای رویکرد دقیق بهره‌برداری نمود.



شکل (۵): نمودار اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B5

### ۳-۴- حل مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده با

#### رویکرد NSGA II

با توجه به اینکه تابع سود غیرخطی و فضای حل غیر محدب است لذا می‌توان از یکی از الگوریتم‌های فرابتکاری چندهدفه مانند NSGA-II استفاده نمود و در ابعاد بزرگ مسئله را حل کرد. ابتدا

۱	۲	۳	J	n
$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y'_j$	$y'_n$

فرزند ۱

۱	۲	۳	J	n
$y'_1$	$y'_2$	$y'_3$	$y_j$	$y_n$

فرزند ۲

شکل (۷): ساختار تقاطع

۱	۲	۲	$J$	$n$
$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_j$	$y_n$

والد

۱	۲	۲	$J$	$n$
$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y'_j$	$y_n$

فرزند

شکل (۸): ساختار جهش

جدول (۱۵): جدول اپسیلون محدودیت مدل P4-V1B5

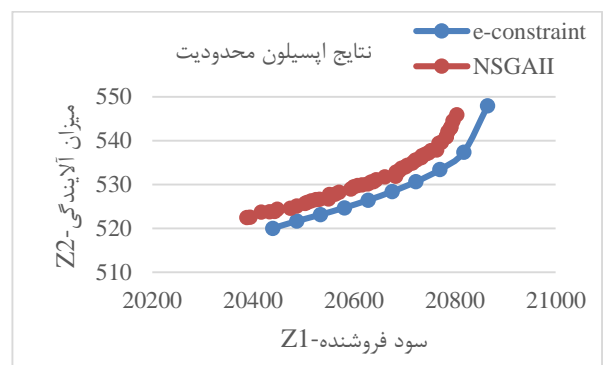
مدل P4-V1B5	$max Z_1$	$min Z_2$	$y_{1opt}$	$y_{2opt}$	$y_{3opt}$	$y_{4opt}$	$y_{5opt}$
۱	۲۰۴۳۸/۸۸۳	۵۲۰/۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰/۰۰۰	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۰/۰۰۰
۲	۲۰۴۸۶/۱۹۲	۵۲۱/۶۳۰	۲۰۰۰	۵۱۲/۸۱۱	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۳	۲۰۵۳۳/۵۰۱	۵۲۳/۱۰۱	۲۰۰۰	۵۲۷/۵۱۶	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۴	۲۰۵۸۰/۸۱۰	۵۲۴/۶۸۹	۲۰۰۰	۵۴۳/۳۹۶	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۵	۲۰۶۲۸/۱۱۹	۵۲۶/۴۲۸	۲۰۰۰	۵۶۰/۷۹۱	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۶	۲۰۶۷۵/۴۲۹	۵۲۸/۳۷۳	۲۰۰۰	۵۸۰/۲۴۲	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۷	۲۰۷۲۲/۷۳۸	۵۳۰/۶۲۱	۲۰۰۰	۶۰۲/۷۲۰	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۸	۲۰۷۷۰/۰۴۷	۵۳۳/۳۸۳	۲۰۰۰	۶۳۰/۳۴۲	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۹	۲۰۸۱۷/۳۵۶	۵۳۸/۳۸۳	۲۰۰۰	۶۷۰/۳۳۵	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۰۳/۴۹۲
۱۰	۲۰۸۶۴/۶۶۵	۵۴۷/۹۲۳	۲۰۰۰	۷۲۵/۶۴۵	۵۰۰	۱۷۰۰	۵۵۳/۵۸۳

الگوریتم‌ها در یک آرشو جدید قرار داده و مجدداً همه آن‌ها به‌منظور به‌روزرسانی آرشو به‌صورت دوه‌دو مقایسه می‌شوند. بدین ترتیب نسبت تعداد جواب‌های نامغلوب (که به نتایج هر الگوریتم تعلق دارد) به کل جواب‌های نامغلوب، بیانگر معیار کیفیت آن الگوریتم خواهد بود. هر چه این درصد بالاتر باشد الگوریتم از کیفیت بیشتری برخوردار است.

مقدار معیار  $MID$  برابر با فاصله نقاط پارتو الگوریتم مورد بررسی از نقطه ایده‌آل  $Z_i^{best}$  می‌باشد. در این پژوهش با توجه به اینکه تابع هدف اول از نوع ماکزیمم‌سازی و تابع هدف دوم از نوع مینیمم‌سازی است، در نتیجه نقطه ایده‌آل برابر ماکزیمم تابع هدف اول و مینیمم تابع هدف دوم در تمام الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده است. در معادله (۲۲) تعداد نقاط پارتو برابر  $n$  است. همچنین  $Z_1^{min}$  و  $Z_1^{max}$  به ترتیب مینیمم و ماکزیمم مقدار توابع هدف در میان تمامی توابع هدف الگوریتم‌های مورد مقایسه است. در اینجا مقادیر اپسیلون محدودیت به‌عنوان حداقل و حداکثر تمامی الگوریتم‌ها در نظر گرفته گردیده است [۲۸]:

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\left(\frac{z_1 - z_1^{best}}{z_{1,total}^{max} - z_{1,total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{z_2 - z_2^{best}}{z_{2,total}^{max} - z_{2,total}^{min}}\right)^2}}{n} \quad (22)$$

ابتدا ماهیت هر شاخص مینی بر منفی یا مثبت بودن آن باید تشخیص داده شود. در اینجا شاخص کیفیت  $QM$  دارای ماهیت مثبت می‌باشد به عبارت دیگر مقادیر بیشتر ارجح‌تر است. در عوض شاخص متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل  $MID$  ماهیت منفی دارد. شاخص‌های فوق را با نرمال‌سازی به روش تکنیک بی واحد نمودن



شکل (۹): اجرای الگوریتم NSGA-II برای مدل P4-V1B5 قبل از تنظیم پارامتر

جدول (۱۶): سطوح پارامترها

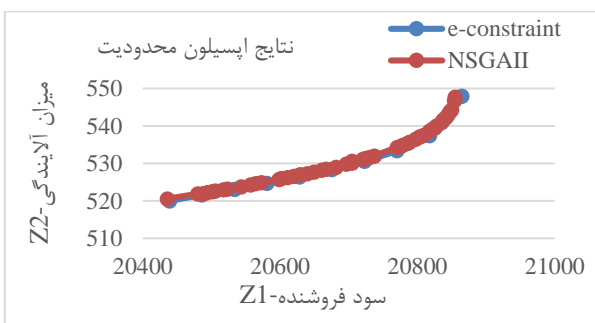
سطوح	۱	۲	۳
تعداد تکرار (iter)	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
تعداد جمعیت (pop_size)	۵۰	۸۰	۱۰۰
درصد تقاطع (p_cross)	%۷۰	%۸۰	%۹۰
درصد جهش (p_mut)	%۴۰	%۳۰	%۲۰

پس از اجرای هر آزمایش مقدار شاخص کیفیت جواب  $QM$  و شاخص متوسط فاصله از ایدئال  $MID$ ، به‌عنوان شاخص به دست آورده و شاخص  $S/N$  که نسبت سیگنال به نویز تعریف شده مطابق تعریف تاگوچی در جدول (۱۷) محاسبه می‌گردد. معیار کیفیت  $QM$  مهم‌ترین معیار مقایسه است که به‌سادگی در سه مرحله به دست می‌آید. ابتدا مجموعه جواب‌های نامغلوب حاصل شده از طریق

جدول (۱۷): آزمایشات و محاسبه شاخص  $S/N$  و  $MID$

$S/N$	$Res$	$MID$	$QM$	درصد جهش (D)	درصد تقاطع (C)	تعداد جمعیت (B)	تعداد تکرار (A)
۱۹/۵۵۵۴	۹/۵۰۱	۰/۷۷۲۲۱۷	۰/۷۹۱۸	۱	۱	۱	۱
-۶۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۷۸۰۳۵۸	۰/۷۸۳۵	۲	۲	۲	۱
۲۷/۵۴۵۴	۲۳/۸۳۸	۰/۷۶۰۲۱۹	۰/۸۰۴۳	۳	۳	۳	۱
۴۰/۱۳۸۴	۱۰۱/۶۰۶	۰/۷۰۰۶۲۹	۰/۸۷۲۷	۳	۲	۱	۲
۴۰/۳۴۱۴	۱۰۲/۸۱۸	۰/۶۹۹۷۶۸	۰/۸۷۳۷	۱	۳	۲	۲
۴۰/۸۲۷۹	۱۱۰/۰۰۰	۰/۶۹۴۷۰۶	۰/۸۸۰۱	۲	۱	۳	۲
۳۹/۱۹۷۰	۹۱/۱۷۰	۰/۷۰۸۱۲۴	۰/۸۶۳۴	۲	۳	۱	۳
۳۸/۷۷۸۴	۸۶/۸۸۰	۰/۷۱۱۲۴۷	۰/۸۵۹۶	۳	۱	۲	۳
۳۹/۴۶۱۸	۹۳/۹۹۲	۰/۷۰۶۰۸۳	۰/۸۶۵۹	۱	۲	۳	۳

این ابعاد GAMS به جواب بهینه نمی‌رسد. لذا لازم است از الگوریتم متاهیورستیک NSGA-II جهت ابعاد بزرگ بهره‌برداری گردد.



شکل (۱۱): اجرای الگوریتم NSGA II پس از تنظیم پارامتر به روش تاگوچی

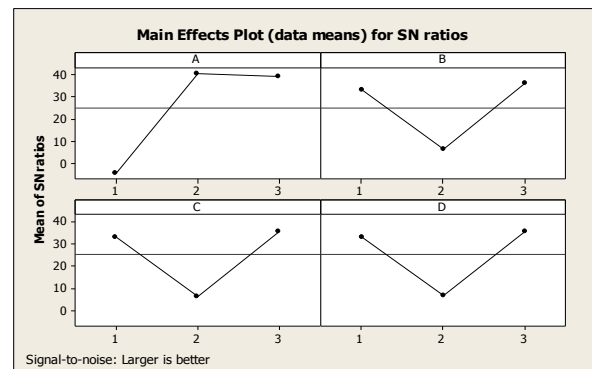
جدول (۱۸): پارامترهای مدل در ابعاد بزرگ

پارامتر	توزیع مقدار
$H_{bj}$	Uniform(۷,۹)
$S_{bj}$	Uniform(۱۰,۲۵)
$a_j$	Uniform(۱۸,۲۱)
$k_j$	Uniform(۰/۰۰۳,۰/۰۰۸)
$y_{jmin}$	Uniform(۵۰۰,۵۵۰)
$y_{jmax}$	Uniform(۳۹۰۰,۴۰۰۰)
$\theta_j$	Uniform(۰/۰۰۴,۰/۰۰۸)
$\beta_j$	Uniform(۱۰,۱۱)
$\pi_{bj}$	Uniform(۱۰,۱۱)
$F_j$	Uniform(۳۰۰,۳۱۰۰)
$H_s$	Uniform(۹,۱۰)
$S_s$	Uniform(۱۵,۱۶)
$C$	$۳ * \text{Uniform}(۱۰۰۰, ۱۱۰۰) *  J $
$\delta$	Uniform(۷,۸)
$CC$	Uniform(۱۰۰, ۱۱۰)
$f$	۰/۲
$N$	Uniform(۱۰۰, ۱۰۲) *  J
تعداد تکرار (iter)	۳۰۰
تعداد جمعیت (pop_size)	۱۰۰
درصد تقاطع (p_cross)	۷۰%
درصد جهش (p_mut)	۳۰%

فازی و سپس وزن دهی آن‌ها، متغیر پاسخ یا  $Res_k$  محاسبه می‌شود. شاخص  $S/N$  مطابق با الگوریتم تاگوچی بر اساس رابطه (۲۳) محاسبه می‌شود. هرچه مقدار  $S/N$  بیشتر باشد آزمایش در شرایط بهتری اجرا شده است [۳۰]، [۳۱]:

$$S/N = -10 \log_{10} \frac{1}{\sum_{k=1}^K Res_k} \quad (23)$$

شکل (۱۰) نسبت سیگنال به نویز  $S/N$  را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه سطح آزمایش در حالت A2, B3, C1, D2 دارای نسبت سیگنال به نویز بیشتری دارد به‌عنوان بهترین تنظیم پارامتر استفاده می‌شود.



شکل (۱۰): نسبت سیگنال به نویز

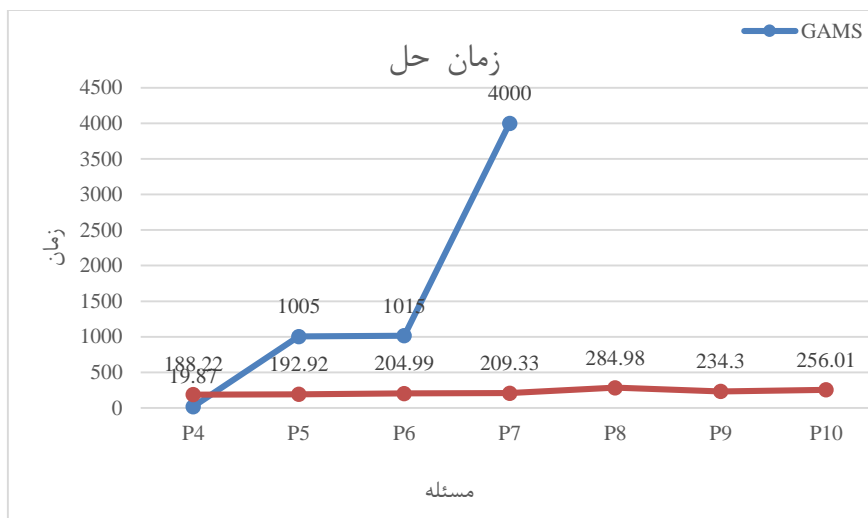
زمانی که تعداد تکرار A2 برابر ۲۰۰، تعداد جمعیت B3 برابر ۱۰۰، درصد تقاطع C1 برابر ۷۰٪ و درصد جهش D2 برابر ۳۰٪ قرار گیرد، بهترین پاسخ حاصل از اجرای الگوریتم به دست می‌آید که در شکل (۱۱) برای مسئله (P4-VIB5) به دست آمده است.

در شکل (۱۱) نتیجه اجرای الگوریتم NSGA-II پس از تنظیم پارامتر به روش تاگوچی با الگوریتم دقیق اپسیلون محدودیت مقایسه شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم دارای همپوشانی قابل قبولی است بنابراین قابلیت اجرا برای مسائل در ابعاد بزرگ را نیز دارد.

پارامترهای مسئله در ابعاد بزرگ مطابق جدول (۱۸) است. پس از تنظیم پارامتر، در ابعاد بزرگ مدل با روش‌های حل دقیق اپسیلون محدودیت و NSGA-II، مطابق جدول (۱۹) مقایسه شده و کارایی و عملکرد این دو روش حل مشخص شده است. بدین ترتیب با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل به‌طور نمایی افزایش یافته (شکل ۱۲) و در

جدول (۱۹): مقایسه مدل در ابعاد بزرگ

مسئله	تعداد خریدار $ J $	GAMS		NSGA II		زمان GAMS	زمان NSGA-II	گپ زمان
		$Max Z_1$ $Z_2$	$Z_1$ $Min Z_2$	$Max Z_1$ $Z_2$	$Z_1$ $Min Z_2$			
P4	۵	۲۰۸۶۴,۶۶ ۵۴۷,۹۲	۲۰۴۳۸,۸۸ ۵۲۰,۰۰	۲۰۸۵۴,۸۸ ۵۴۷,۶۹	۲۰۴۳۵,۶ ۵۲۰,۵۲	۱۹,۸۷	۱۸۸,۲۲	۱۶۸,۳۵
P5	۱۰	۵۱۳۶۷,۱۸ ۸۱۲,۵	۳۸۵۷۷,۶۷ ۵۰۰,۰۰	۵۴۶۴۶,۲۴ ۱۰۴۳,۷۴	۳۹۴۷۰,۴۶ ۵۱۶,۲۷	۱۰۰۵	۱۹۲,۹۲	-۸۱۲,۹۶
P6	۳۰	۱,۵۴۱۰E+۵ ۲۴۳۷,۵۰	۱,۱۵۷۳E+۵ ۱۵۰۰,۰۰	۱۶۳۷۹۱,۱ ۳۱۱۸,۸۹	۱۴۳۴۸۰,۱ ۲۱۲۲,۸۲	۱۰۱۵	۲۰۴,۹۹	-۸۱۰,۲۲
P7	۵۰	۲,۵۶۸۴E+۵ ۴۰۶۲,۵	۱,۹۲۸۹E+۵ ۲۵۰۰,۰۰	۲۷۲۲۳۱,۶۷ ۵۰۹۱,۴۵	۲۵۷۷۰۶,۷۳ ۴۲۰۸,۸۵	۴۰۰۰	۲۰۹,۳۳	--
P8	۱۰۰	--	--	۵۳۷۸۳۵,۸۷ ۱۰۷۴۶,۲	۵۲۹۷۳۰,۸۹ ۱۰۴۶۳,۲	>۵۰۰۰	۲۸۴,۹۸	--
P9	۱۵۰	--	--	۷۴۴۴۲۵,۵۳ ۱۹۱۹۸,۵۳	۷۲۵۷۱۶,۷۱ ۱۸۹۱۱,۱۵	>۶۰۰۰	۲۳۴,۳۰	--
P10	۲۰۰	--	--	۹۱۸۲۶۷,۷۸ ۲۷۳۷۴,۲۰	۸۸۶۲۹۴,۹۹ ۲۷۱۶۷,۵۵	>۷۰۰۰	۲۵۶,۰۱	--



شکل (۱۲): نمودار زمان حل در GAMS و NSGA-II

پژوهش‌ها مقایسه و از روش آزمایشات تاگوچی جهت تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II بهره‌برداری شده است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در حالت کمبود مجاز، با کاهش هزینه کمبود، میزان سود، ارسال کالا و میزان سفارشات نسبت به مدل پایه (دیابات [۱۶]) بیشتر شده و میزان بهینه کمبود کمتر گردیده و بدین ترتیب هزینه کمبود موجودی کاهش یافته است. همچنین مدل پیشنهادی با مدل مدیریت موجودی سنتی یا توسط خریداران مقایسه شده است. بر این اساس در اکثر موارد، VMI در سود عملکرد بهتری داشته و مقدار آلاینده دی‌اکسید کربن نیز کاهش یافته است.

در تحقیقات آتی، توسعه مدل به صورت چند محصولی، چند دوره‌ای یا چند فروشنده پیشنهاد می‌شود. همچنین استفاده از مسیریابی در پنجره زمانی نیز برای این مدل جهت نشان دادن شرایط واقعی‌تر به مسئله پیشنهاد می‌گردد. سایر ابزارهای جستجو در فضای

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده در زنجیره تأمین دوسطحی با مجاز بودن کمبود و محدودیت تعداد سفارشات با توجه به الزامات زیست‌محیطی و لجستیک سبز مورد بررسی قرار گرفته شده است. بدین ترتیب شرایط سبز بودن یا کاهش میزان آلاینده‌گی به صورت تابع هدف، و با در نظر گرفتن مواجهه خریدار با کمبود، محدودیت انبار و تعداد سفارشات در مدل گنجانده شده است. با توجه به اینکه مدل عنوان شده یک مدل دوهدفه، غیر محدب و غیرخطی است لذا از الگوریتم‌های اسیلون محدودیت برای به دست آوردن جبهه پارتو در ابعاد کوچک بهره‌برداری گردیده و جهت ابعاد بزرگ نیز الگوریتم NSGA-II استفاده شده است.

همچنین در این مقاله حالت یک فروشنده با یک، سه و پنج خریدار، و در حالت هزینه کمبود بی‌نهایت یا غیرمجاز با سایر

- storage capacity”, *European Journal of Operational Research*, 248(1): 95-106.
- [14] Khan, M., Jaber, M.Y., Zaroni, S., Zavanella, L., (2016). “Vendor managed inventory with consignment stock agreement for a supply chain with defective items”, *Applied Mathematical Modelling*, 40(15): 7102-7114.
- [15] Diabat, A., (2014). “Hybrid algorithm for a vendor managed inventory system in a two-echelon supply chain”, *European Journal of Operational Research*, 238(1): 114-121.
- [16] Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A., Nia, A.R., (2011). “A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model”, *Expert Systems with Applications*, 38(3): 2708-2716.
- [17] Taleizadeh, A.A., Noori-daryan, M., Cárdenas-Barrón, L.E., (2015). “Joint optimization of price, replenishment frequency, replenishment cycle and production rate in vendor managed inventory system with deteriorating items”, *International Journal of Production Economics*, 159: 285-295.
- [18] Nia, A.R., Far, M.H., Niaki, S.T.A., (2014). “A fuzzy vendor managed inventory of multi-item economic order quantity model under shortage: An ant colony optimization algorithm”, *International Journal of Production Economics*, 155: 259-271.
- [19] Hariga, M., Gumus, M., Daghfous, A., (2014). “Storage constrained vendor managed inventory models with unequal shipment frequencies”, *Omega*, 48: 94-106.
- [۲۰] نخعی، عیسی، محمدی پور، هیرش، ذگردی، سید حسام‌الدین (۱۳۹۳). «تعیین سود بهینه فروشنده برای محصولات جایگزین و مکمل به کمک قیمت‌گذاری و در نظر گرفتن سیاست فروش بسته‌ای و تخفیف»، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، (۴): ۲۱-۳۷.
- [21] Vira, C., Haimes, Y.Y., (1983). “Multiobjective decision making”, *Theory and Methodology*, In North Holland series in system science and engineering 8: North Holland
- [22] Laumanns, M., Thiele, L., Zitzler, E., (2006). An efficient, adaptive parameter variation scheme for metaheuristics based on the epsilon-constraint method. *European Journal of Operational Research*, 169(3), 932-942.
- [23] Fakhrzad, M., Sadri Esfahani, A., (2013). “Modeling the time windows vehicle routing problem in cross-docking strategy using two meta-heuristic algorithms”, *International Journal of Engineering-Transactions A: Basics* 27(7): 1113-1126.
- [24] Fakhrzad, M., Sadeghieh, A., Emami, L., (2012), “A new multi-objective job shop scheduling with setup times using a hybrid genetic algorithm”, *International Journal of Engineering-Transactions B: Applications* 26 (2): 207-218.
- [25] Srinivas, N., Deb, K., (1995). “Comparative study of vector evaluated GA and NSGA applied to multiobjective optimization”, In *Proceedings of the Symposium on Genetic Algorithms*, 83-90.
- جواب مانند رویکرد الگوریتم NPGA و ادغام با سایر الگوریتم‌های هیورستیک یا متاهیورستیک برای مسئله با ابعاد بزرگ توصیه می‌شود.
- ### مراجع
- [1] Waller, M., Johnson, M.E., Davis, T., (1999). “Vendor-managed inventory in the retail supply chain”, *Journal of business logistics*, 20(1): 183-203.
- [2] Darwish, M.A., Odah, O.M., (2010). “Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains”, *European Journal of Operational Research*, 204(3): 473-484.
- [3] Angulo, A., Nachtmann, H., Waller, M.A., (2004). “Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership”, *Journal of Business Logistics*, 25(1): 101-120.
- [4] Yao, Y., Evers, P.T., Dresner, M.E., (2007). “Supply chain integration in vendor-managed inventory”, *Decision Support Systems*, 43(2): 663-674.
- [5] Kwak, C., Choi, J.S., Kim, C.O., Kwon, I.H. (2009). “Situation reactive approach to Vendor Managed Inventory problem”, *Expert Systems with Applications*, 36(5): 9039-9045.
- [۶] خسروشاهی، حسین، معطر حسینی، سید محمد، مرجانی، محمدرضا (۱۳۹۳). «اندازه‌گیری اثر شلاق چرمی در یک زنجیره تأمین خطی سه‌سطحی با استفاده از روش میانگین متحرک برای برآورد تقاضا». نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، (۴): ۲۱-۳۷.
- [7] Tyan, J., Wee, H.M., (2003). “Vendor managed inventory: a survey of the Taiwanese grocery industry”, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(1): 11-18.
- [8] Dong, Y., Xu, K., (2002). “A supply chain model of vendor managed inventory”, *Transportation Research Part E: logistics and transportation review*, 38(2): 75-95.
- [9] Yao, Y., Evers, P.T., Dresner, M.E., (2007). “Supply chain integration in vendor-managed inventory”, *Decision support systems*, 43(2): 663-674.
- [10] Sadeghi, J., Sadeghi, S., Niaki, S.T.A., (2014). “A hybrid vendor managed inventory and redundancy allocation optimization problem in supply chain management: An NSGA-II with tuned parameters”, *Computers & Operations Research*, 41: 53-64.
- [11] Nia, A.R., Far, M.H., Niaki, S.T.A., (2015). “A hybrid genetic and imperialist competitive algorithm for green vendor managed inventory of multi-item multi-constraint EOQ model under shortage”, *Applied Soft Computing*, 30, 353-364.
- [12] Park, Y.B., Yoo, J.S., Park, H.S., (2016). “A genetic algorithm for the vendor-managed inventory routing problem with lost sales”, *Expert Systems with Applications*, 53: 149-159.
- [13] Lee, J.Y., Cho, R.K., Paik, S.K., (2016). “Supply chain coordination in vendor-managed inventory systems with stockout-cost sharing under limited

- with efficiency, location, and inventory policy using a multiobjective evolutionary algorithm”, *International Transactions in Operational Research*, 244(2): 619-646.
- [31] Khare, V., Yao, X., Deb, K., (2003). “Performance scaling of multi-objective evolutionary algorithms”, In *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, Springer Berlin Heidelberg, 376-390.
- [32] Tsai, J.T., Chou, J.H., Liu, T.K., (2006). “Tuning the structure and parameters of a neural network by using hybrid Taguchi-genetic algorithm”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 17(1): 69-80.
- [۳۳] لطفی، رضا، امین نیری، مجید (۱۳۹۵). مکان‌یابی تسهیلات چندهدفه با محدودیت ظرفیت و رویکرد ترکیبی سیمپلکس فازی و الگوریتم ژنتیک. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۷(۴): ۸۱-۹۱.
- [34] Fakhrzad, M.B., Heydari, M., (2008). “Flexible flow-lines model at m machine centers with fuzzy total costs”, *Journal of Applied Sciences*, 8: 2059-2066.
- [26] Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., Meyarivan, T., (2000). “A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II”, In *International Conference on Parallel Problem Solving From Nature*, Springer Berlin Heidelberg, 849-858.
- [27] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T.A. M.T. (2002). “A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II”, *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2): 182-197.
- [28] Nachiappan, S.P., Jawahar, N., (2007). “A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research*, 182(3): 1433-1452.
- [29] Hamedani, S., Jabalameli, M., Bozorgi-Amiri, A., (2013). “A multi-objective model for locating distribution centers in a supply chain network considering risk and inventory decisions”, *Management Science Letters*, 3(4): 1077-1088.
- [30] Perez Loaiza, R.E., Olivares-Benitez, E., Miranda Gonzalez, P.A., Guerrero Campanur, A., Martinez Flores, J.L., (2016). “Supply chain network design





## Green Vendor Managed Inventory with Backorder in Two Echelon Supply Chain with Epsilon-Constraint and NSGA-II Approach

M.B. Fakhrazad<sup>1,\*</sup>, R. Lotfi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Industrial Engineering and Management, Yazd university, Yazd, Iran.

---

### ARTICLE INFO

#### *Article history:*

Received 05 August 2016

Accepted 31 July 2017

---

#### *Keywords:*

Vendor Managed Inventory  
Two Echelon Supply Chain  
Epsilon Constraint  
NSGA-II

---

### ABSTRACT

In the articles that have been investigated by the vendor managed inventory less attention to environmental pollution or emission of green logistics is considered. In this paper, the issue of green backorder vendor managed inventory in two echelon supply has been considered. But innovation in green conditions of this article or reducing the amount of pollution is as a function intended purpose. In view of customer facing staff shortages in the supply chain, two-echelon warehouse and limits the number of orders is considered. The first objective is to maximize profit of vendor, which includes sales minus production and distribution costs and facing to shortage cost. The second objective function is minimizing the amount of pollution caused by the movement of goods. According to the model as a model of bi-objective, non-convex and non-linear algorithms is solved by GAMS and Epsilon-Constraint on a small scale can be used to obtain the Pareto front and compare with traditional inventory management in shortage state and for large scale non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) was used to solve the model. To adjust the algorithm parameters NSGA-II Taguchi method has been exploited in this article. The results of this research is that allowed the shortage situation, the lack of cost reduction and environmental pollution reduction, the greater the amount of shipping and orders as well as the lack of a less optimal to reduce the cost of inventory shortages.

---

\* Corresponding author. Mohammad-Bagher Fakhrazad  
Tel.: 035-31232405; E-mail address: [mfakhrazad@yazd.ac.ir](mailto:mfakhrazad@yazd.ac.ir)