

برنامه‌ریزی تولید - توزیع چندهدفه بر پایه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده

امیرحسین نیکنام فر (کارشناس ارشد)

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، قزوین، ایران

سید حمیدرضا بسندیده* (استادیار)

گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه خوارزمی

در این نوشتار یک مدل سه هدفه‌ی غیرخطی برنامه‌ریزی تولید - توزیع بر پایه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده برای یک زنجیره‌ی تأمین سه سطحی، شامل چندین تأمین‌کننده‌ی خارجی، یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش در حالت چندمحصولی ارائه می‌شود. هدف از این پژوهش، کمینه‌سازی هزینه‌های تولیدکننده و خرده‌فروشان و نیز کمینه‌سازی کل زمان توزیع مواد اولیه و محصولات نهایی به صورت یکپارچه است. سپس با یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته و با در نظر گرفتن تعدادی مسئله، صحت مدل پیشنهادی ارزیابی می‌شود. پارامترهای الگوریتم توسط روش سطح پاسخ تنظیم می‌شود. سپس به تحلیل حساسیت عوامل تأثیرگذار بر اهداف مدل پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که کاهش الاستیسیته‌ی قیمت خرده‌فروشی باعث افزایش تقاضا، افزایش زمان توزیع، و کاهش هزینه‌های تولیدکننده و خرده‌فروشان می‌شود که این کاهش برای خرده‌فروشان ملموس‌تر است.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین، برنامه‌ریزی تولید - توزیع، مدیریت موجودی توسط فروشنده.

۱. مقدمه

در زنجیره‌ی تأمین، دو موضوع مهم در مسائل بهینه‌سازی عبارت است از برنامه‌ریزی تولید و توزیع.^[۱] در برنامه‌ریزی تولید در خصوص استخدام و اخراج نیروی انسانی، تولید در وقت عادی، اضافه‌کاری و قراردادهای جانبی، میزان استفاده از ظرفیت ماشین‌آلات طی یک افق برنامه‌ریزی مشخص (معمولاً یک ساله) تصمیم‌گیری می‌شود. از طرف دیگر، در برنامه‌ریزی توزیع در رابطه با تسهیلات و نحوه‌ی توزیع محصولات به منظور برآورده کردن تقاضای مصرف‌کنندگان تصمیم‌گیری می‌شود. بسیاری از سازمان‌ها در راستای بهینه‌سازی سیستم تولید و توزیع خود به‌طور جداگانه در تلاش‌اند. این دیدگاه هرگونه امکان افزایش سود یا کاهش هزینه و نیز انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات تقاضا و بهبود خدمت‌رسانی به مصرف‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین را محدود می‌سازد.^[۱] در صورتی که استفاده از دیدگاه جامع یا به عبارت دیگر برنامه‌ریزی تولید - توزیع (P-D)، منجر به هماهنگی بین سیستم‌های تولید و توزیع شده و در نتیجه کارایی و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به دیدگاه قبلی خواهد داشت.

هدف از برنامه‌ریزی P-D، ارائه‌ی برنامه‌ی منسجم و یکپارچه تولید و توزیع است به طوری که بین هزینه‌های تولید و توزیع و نیز سطح رضایت مصرف‌کننده

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۳، اصلاحیه ۱۳۹۳/۹/۳۰، پذیرش ۱۳۹۳/۱۰/۲۷.

تعادلی برقرار شود.^[۲] در این‌گونه مسائل هدف تصمیم‌گیرنده عبارت است از: ۱. تنظیم سطوح کلی تولید هر طبقه محصول برای هر منبع تولیدی (تولیدکننده) به منظور برآورده کردن تقاضاهای متناوب و غیر قطعی مقاصد مختلف (توزیع‌کنندگان) طی یک افق برنامه‌ریزی میان‌مدت؛ ۲. ایجاد استراتژی‌های مناسب و کارآمد با در نظر گرفتن تولید در وقت عادی، اضافه‌کاری، قرارداد جنبی، موجودی، کمبود و سطوح توزیع از طریق تعیین منابع مناسبی که بهره‌برداری می‌شود.^[۳] اما مسئله‌ی مهم یکپارچه‌سازی این دو موضوع است. در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری توسط محققین در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی P-D در زنجیره‌ی تأمین صورت گرفته است. این تحقیقات به دو دلیلی اصلی روند رو به رشدی داشته‌است: ۱. تأثیرات مثبت و متافعی که در یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تولید و توزیع در زنجیره‌ی تأمین محقق می‌شود؛ ۲. کاهش زمان تحویل و پاسخ‌گویی به تغییرات تقاضا و در نتیجه کاهش رخدادهای غیرمنتظره و نامطلوب در زنجیره‌ی تأمین.^[۱]

از طرف دیگر، مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)^[۲]، یک روش برنامه‌ریزی کارا در زنجیره‌ی تأمین است که هدفش کاهش سطوح موجودی و در نتیجه کاهش هزینه‌های لجستیک، بهبود سطح خدمت‌رسانی با ایجاد همکاری و تطبیق فعالیت‌های هر یک از اعضای زنجیره‌ی تأمین است.^[۴] امروزه مدیریت موجودی توسط فروشنده نقش بسیار کلیدی و حساسی در زنجیره‌ی تأمین - که دارای ویژگی پاسخ‌گویی سریع به مشتری است - ایفا می‌کند. در این شراکت، تأمین‌کننده که خود گاهی تولیدکننده یا

فروشنده است، تصمیمات مربوط به کنترل موجودی انبار را برای مصرف‌کننده اتخاذ می‌کند. به عبارت دیگر، فروشنده خود سطح موجودی انبار خریدار یا خرده‌فروش را به‌طور دستی یا الکترونیکی کنترل می‌کند و شخصاً در مورد ثبت سفارش، میزان سفارش، زمان سفارش و نحوه حمل و نقل‌ها تصمیم می‌گیرد.^[۵]

با وجود مزایایی که یکپارچه شدن برنامه‌ریزی تولید و توزیع به همراه دارد، هنوز نقص‌ها و چالش‌هایی در این زمینه مطرح است. در بیشتر تحقیقات انجام شده در رابطه با برنامه‌ریزی P-D در زنجیره‌ی تأمین شامل تولیدکننده و خرده‌فروشان، کنترل کم‌تری بر میزان تقاضای خرده‌فروشان و نیز سطوح موجودی آنها انجام شده است. این در حالی است که حتی با تنظیم یک برنامه‌ی تولید - توزیع مناسب و بهینه اما بدون ایجاد یک برنامه‌ی کنترلی برای میزان سطح موجودی و میزان تقاضای خرده‌فروشان، کارایی برنامه P-D ممکن است مورد چالش واقع شود. نوسانات سفارشات خرده‌فروشان و ایجاد اثر شلاقی^۳ در زنجیره‌ی تأمین، از چالش‌های احتمالی برنامه‌ی P-D است. گفتنی است لازمه‌ی اجرای یک سیستم VMI موفق و مؤثر در زنجیره‌ی تأمین، طرح موضوعات مربوط به کنترل موجودی و کنترل تولید به‌صورت هماهنگ، صحیح و یکپارچه است. لذا رفع این چالش‌های احتمالی ایجاد می‌کند که برای تحقیق در رابطه با یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی P-D و VMI به مطالعه‌ی بیشتر رو آوریم.

در این پژوهش یک مدل سه‌هدفی غیرخطی برنامه‌ریزی تولید - توزیع بر پایه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده (P-D-VMI)، برای یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی -- شامل چندین تأمین‌کننده‌ی خارجی، یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش -- در حالت چندمحصولی ارائه می‌شود. هدف از این پژوهش، کمینه کردن هزینه‌های تولیدکننده و خرده‌فروشان، و نیز کمینه‌کردن کل زمان توزیع محصولات و در زنجیره‌ی تأمین و در سطح تاکتیکی است. یادآور می‌شود کمینه‌کردن کل زمان توزیع محصولات و مواد اولیه از اهداف مهم و استراتژیک می‌جست برنامه‌ریزی توزیع است. مدیریت موجودی خرده‌فروشان به عهده‌ی تولیدکننده بوده و سیاست دوره‌ی سفارش عمومی^۴ بین تولیدکننده و خرده‌فروشان برقرار است. بنابراین سطح موجودی هر خرده‌فروش با در نظر گرفتن هزینه‌های سفارش‌دهی، نگه‌داری و کمبود آن خرده‌فروش، توسط تولیدکننده تعیین شده و هزینه‌های سفارش‌دهی، نگه‌داری و کمبود هر خرده‌فروش به عهده‌ی تولیدکننده است. هدف از تحلیل مسئله، تعیین قیمت‌های عمده‌فروشی و خرده‌فروشی محصولات، میزان کسر کمبود از دوره‌ی سفارش عمومی محصولات خرده‌فروشان در دوره‌ی برنامه‌ریزی، و نیز تعیین دوره‌ی سفارش‌دهی عمومی هر محصول در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی، میزان تولید در وقت عادی، اضافه‌کاری و قرارداد جانبی هر محصول در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی، میزان خرید مواد اولیه‌ی مورد نیاز هر محصول از تأمین‌کنندگان خارجی در هر دوره برنامه‌ریزی و در نهایت، میزان موجودی مواد اولیه و محصول نهایی برای تولیدکننده و خرده‌فروشان است. از آنجا که مدل پیشنهادی جزء مسائل سخت محسوب می‌شود، از الگوریتم ژنتیک برای حل استفاده می‌شود. علاوه بر این، یک الگوریتم ژنتیک بهبودیافته نیز توسعه داده می‌شود که از عملکرد تقاطع چند والدین بهره می‌برد. در نهایت، پارامترهای هر دو الگوریتم توسط روش سطح پاسخ تنظیم شده و کارایی آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مرور ادبیات

براساس مطالعه‌ی انجام شده در سال ۲۰۱۳، مطالعات برنامه‌ریزی P-D در زنجیره‌ی

تأمین در هفت طبقه دسته‌بندی می‌شود^[۱] که این تحقیق مرتبط با مدل‌های P-D در حالت چندمحصولی و یک واحد تولیدی است. در سال ۲۰۱۰ نیز رویکرد جدیدی برای حل مسائل برنامه‌ریزی P-D در حالت چندمحصولی و چنددوره‌ی با استفاده از روش‌های ترکیبی ریاضی و شبیه‌سازی ارائه شد.^[۶] در همین راستا، در سال ۲۰۱۱ یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه شد که در آن به دلیل پیچیدگی مدل و نیز تعداد زیاد متغیرهای تصمیم‌گیری از الگوریتم ژنتیک استفاده شد.^[۷] در سال ۲۰۱۲ نیز یک مدل برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه در سطح تاکتیکی برای محصولات کشاورزی در شرایط عدم قطعیت توسعه یافت که در آن از روش‌های شبیه‌سازی برای مقابله با تقاضا استفاده شده است.^[۸] محققین در سال ۲۰۱۲، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفی P-D یکپارچه را برای یک زنجیره‌ی تأمین و با در نظر گرفتن محصولات فاسد شدنی توسعه دادند؛ این مدل به‌گونه‌ی طراحی شده که می‌توان برنامه‌ریزی P-D را برای طول عمر محصولات فاسدشدنی تا قبل از بهترین تاریخ مصرف طراحی کرد.^[۹] اهداف مدل عبارت است از: کمینه‌کردن هزینه‌ی تولید، توزیع و نگه‌داری و نیز بیشینه‌کردن میانگین مدت زمان باقی‌مانده‌ی نیمه عمر محصولات برای توزیع.^[۹] در همین سال، یک رویکرد جدید برای برنامه‌ریزی P-D در سطح استراتژیک و تاکتیکی برای زنجیره‌ی تأمین ارائه شد. از ویژگی‌های این تحقیق می‌توان به در نظر گرفتن مسیرها و ظرفیت وسایط حمل و نقل اشاره کرد.^[۱۰] این مدل در سال ۲۰۱۳، توسط محققین صنعت مواد غذایی با در نظر گرفتن روش‌های حمل و نقل و محدودیت‌های آن توسعه داده شد.^[۱۱] در همین سال، پژوهشگران یک مسئله‌ی حمل و نقل در برنامه‌ریزی P-D را توسعه دادند که در آن یک تولیدکننده و یک مصرف‌کننده در نظر گرفته شده و هدف کمینه‌سازی بیشترین تأخیرات سفارش‌های ارسال شده به مشتری است.^[۱۲]

در سال ۲۰۱۰ پژوهشگران برای مطالعات VMI سه طبقه در نظر گرفتند و تحقیق مورد نظر را در رده‌ی بهینه‌سازی تصمیمات در VMI جای دادند.^[۵] در سال ۲۰۱۱ محققین قیمت‌های خرده‌فروشی، مقدار و زمان‌بندی سفارش‌دهی اقلام فاسدشدنی در بازارهای الکترونیکی را با دورکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده و نیز مدیریت موجودی توسط خرده‌فروش مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.^[۱۳] در سال ۲۰۱۲ پژوهشگران در همین راستا یک مدل یکپارچه‌ی VMI با تقاضای قطعی در زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند که در آن مواد اولیه و محصولات سریع فاسد می‌شوند. در این مدل دوره‌ی سفارش‌دهی محصولات و مواد اولیه متغیرهای تصمیم بوده و هدف آن کمینه کردن کل هزینه‌های مرتبط با موجودی است.^[۱۴] در همین سال، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسئله‌ی مسیریابی - موجودی با در نظر گرفتن VMI ارائه کردند.^[۱۵] محققین در سال ۲۰۱۳، یک مدل VMI متشکل از یک فروشنده و چندین خرده‌فروش را با قطعی بودن نرخ تقاضا توسعه دادند.^[۱۶] در این مدل، نقطه‌ی سفارش فروشنده و خرده‌فروشان متغیرهای تصمیم بوده و هدف این مدل، کمینه‌کردن هزینه‌های موجودی بوده به‌طوری که محدودیت فضای انبار خرده‌فروشان تضمین شود.^[۱۶] در همین سال، محققین به توسعه‌ی یک مدل VMI با در نظر گرفتن مسئله‌ی انتخاب خرده‌فروشان در زنجیره‌ی تأمین پرداختند.^[۱۷]

بنابراین، مشاهده می‌شود که در بیشتر تحقیقات انجام شده در رابطه با برنامه‌ریزی P-D در زنجیره‌ی تأمین، کنترل کم‌تری بر میزان تقاضای خرده‌فروشان و نیز سطوح موجودی آنها انجام شده و تاکنون، راهکار مناسبی برای مقابله با اثر شلاقی در برنامه‌ریزی P-D در زنجیره‌ی تأمین در نظر گرفته نشده است. از طرف دیگر، معمولاً تقاضا به‌صورت قطعی، فازی یا متغیر تصادفی فرض شده و توجه کم‌تری به عوامل مؤثر در افزایش یا کاهش تقاضا شده است.

۳. تعریف مسئله

یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل چندین تأمین‌کننده‌ی خارجی ($s = 1, \dots, S$) یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش ($c = 1, \dots, C$) را در نظر بگیرید. تولیدکننده، مواد اولیه ($m = 1, \dots, M$) را از تأمین‌کنندگان خارجی خریداری کرده و با توجه به ضریب مصرف مواد اولیه و ظرفیت محدود خود، اقدام به تولید محصولات مختلف ($i = 1, \dots, I$) در دوره‌های برنامه‌ریزی ($t = 1, \dots, T$) کرده و به خرده‌فروشان ارسال می‌کند. زمان تحویل مواد اولیه و محصولات ناچیز فرض شده است. خرده‌فروشان در مکان‌های مختلفی استقرار دارند و مستقل از هم فعالیت می‌کنند. بنابراین هر محصول می‌تواند با قیمت خرده‌فروشی متفاوتی توسط هر یک از خرده‌فروشان به فروش برسد. براساس توافق بین تولیدکننده و خرده‌فروشان سیستم VMI برقرار است. اطلاعات هر خرده‌فروش به‌طور مستقیم در اختیار تولیدکننده قرار می‌گیرد؛ تخفیفی در نظر گرفته نشده و سطح نیروی انسانی ثابت فرض شده است.

همچنین براساس توافقی که بین تولیدکننده و هر خرده‌فروش صورت گرفته، هر خرده‌فروش هزینه‌ی بابت مدیریت موجودی (ζ) هر واحد محصول به تولیدکننده می‌پردازد. کمبود محصولات برای تولیدکننده مجاز نیست و فقط برای خرده‌فروشان کمبود مجاز است. میزان تقاضا تابعی غیرخطی از قیمت خرده‌فروشی است. هزینه‌ی نگهداری محصول نهایی در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی برای هر خرده‌فروش معادل با هزینه‌ی نگهداری آن محصول نهایی برای تولیدکننده است. همچنین سیاست دوره‌ی سفارش عمومی بین تولیدکننده و همه‌ی خرده‌فروشان برقرار بوده که در ادامه به توضیح آن می‌پردازیم. گفشتی است دوره‌ی سفارش‌دهی هر محصول برای همه‌ی خرده‌فروشان یکسان است. براساس پژوهش انجام شده توسط محققین در سال ۲۰۱۰، غیرخطی بودن میزان تقاضا و قیمت خرده‌فروشی موجب افزایش پیچیدگی محاسباتی مسئله می‌شود.^[۱۸]

۴. مدل‌سازی مسئله

در این بخش ابتدا پارامترها و متغیرهای تصمیم را ارائه و سپس مدل مسئله را بیان می‌کنیم.

۱.۴. نمادگذاری

۱.۱.۴. پارامترها

k_c : شاخص بازار^۵ برای خرده‌فروش c ؛

e_c : الاستیسیته قیمت^۶ در رابطه با بازار خرده‌فروش c ؛

ζ_{ict} : هزینه‌ی مدیریت موجودی هر واحد محصول i مربوط به خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

se_{it} : هزینه‌ی ثابت آماده‌سازی محصول i برای تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

cr_{it} : هزینه‌ی تولید هر واحد محصول i در وقت عادی در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

co_{it} : هزینه‌ی تولید هر واحد محصول i در وقت اضافه‌کاری در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

cc_{it} : هزینه‌ی تولید هر واحد محصول i در قرار داد جنبی در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

a_i : مدت زمان مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول i ؛

hm_{mt} : هزینه‌ی نگهداری هر واحد مواد اولیه m تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

hp_{it} : هزینه‌ی نگهداری هر واحد محصول i تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

sr_{ct} : هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

h_{ict} : هزینه‌ی نگهداری هر واحد محصول i خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

π_{ict} : هزینه‌ی کمبود هر واحد محصول i خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

ε_{mi} : تعداد مواد اولیه مورد نیاز m برای تولید هر واحد محصول i ؛

tcs_{smt} : هزینه‌ی توزیع هر واحد ماده اولیه m از تأمین‌کننده s به تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

tcc_{ict} : هزینه‌ی توزیع هر واحد محصول i از تولیدکننده به خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

cm_{smt} : هزینه‌ی ماده اولیه m از تأمین‌کننده s در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

$TCAR_t$: بیشینه زمان در دسترس برای تولید در وقت عادی در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

$TCAO_t$: بیشینه زمان در دسترس برای تولید در وقت اضافه‌کاری در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

$TCAC_t$: بیشینه ظرفیت تولید قرارداد جنبی در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

$CAPM_t$: بیشینه ظرفیت نگهداری مواد اولیه برای تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

$CAPS_{smt}$: بیشینه ظرفیت تحویل ماده اولیه m تأمین‌کننده s در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

T_s : مدت زمان حمل و نقل هر واحد ماده اولیه از تأمین‌کننده s به تولیدکننده؛

ν_c : مدت زمان حمل و نقل هر واحد محصول نهایی از تولیدکننده به خرده‌فروش c .

۲.۱.۴. متغیرهای تصمیم مستقل

P_{ict} : قیمت خرده‌فروشی هر واحد محصول i مربوط به خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

W_{ict} : قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول i مربوط به خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

b_{ict} : میزان کسر کمبود هر واحد محصول i مربوط به خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

CY_{it} : دوره‌ی سفارش‌دهی عمومی هر واحد محصول i در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

XR_{it} : مقدار محصول i تولید شده در وقت عادی در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

XO_{it} : مقدار محصول i تولید شده در وقت اضافه‌کاری در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

XC_{it} : مقدار محصول i تولید شده در قرار داد جنبی در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

SUP_{smt} : مقدار ماده اولیه m توزیع شده از تأمین‌کننده s به تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

IM_{mt} : مقدار موجودی ذخیره شده ماده اولیه m برای تولیدکننده در انتهای دوره‌ی برنامه‌ریزی t .

۳.۱.۴. متغیرهای تصمیم وابسته

D_{ict} : میزان تقاضای هر واحد محصول نهایی i خرده‌فروش c در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

p_{it} : نرخ تولید محصول نهایی i در دوره‌ی برنامه‌ریزی t ؛

IP_{it} : متوسط سطح موجودی طی دوره‌ی سفارش‌دهی عمومی محصول نهایی i برای تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t .

با استفاده تابع کوب - داگلاس^۷ می‌توان تأثیر قیمت خرده‌فروشی در میزان تقاضا را بررسی کرد. در آنصورت با استفاده از رابطه‌ی (۱)، میزان تقاضا به دست می‌آید.^[۱۸]

$$D_{ict} = k_c p_{ict}^{-e_c}, \quad \forall i, c, t, \quad (1)$$

این تابع در تحلیل‌های اقتصادی بسیار پرکاربرد است. براساس رابطه‌ی (۱) با افزایش قیمت خرده‌فروشی محصول، میزان تقاضا کاهش می‌یابد.^[۱۸] همچنین، از رابطه‌ی

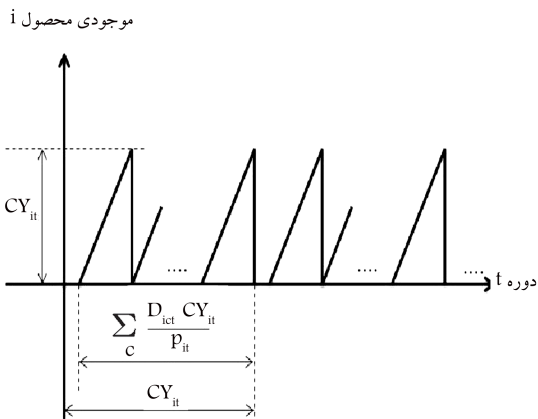
۲ نرخ تولید محصول نهایی i در دوره t محاسبه می‌شود:

$$p_{it} = XR_{it} + XO_{it} + XC_{it} \quad \forall i, t, \quad (2)$$

۲.۴. سیاست دوره‌ی سفارش عمومی

در سیاست دوره‌ی سفارش عمومی، دوره‌ی سفارش‌دهی هر محصول در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی برای تمامی خرده‌فروشان یکسان بوده و سفارشات به صورت ادغام شده به تولیدکننده ارسال می‌شود. این سیاست فراهم‌آورنده‌ی این قابلیت برای تولیدکننده است که بتواند به‌طور همزمان به همه سفارشات پاسخ داده و کنترل مؤثرتری بر سفارشات داشته و در نتیجه هزینه‌های سفارش‌دهی نسبت به حالت دوره‌ی سفارش متعدد کاهش یابد.^[۱۷] از طرف دیگر، در این سیاست محاسبات نیز ساده‌تر خواهد شد. در این راستا می‌توان به پژوهشی در سال ۲۰۰۱ اشاره کرد که در آن محققین به بررسی فواید سیاست دوره‌ی سفارش عمومی در مدیریت زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند.^[۱۹] به‌طور مثال دوره‌ی سفارش‌دهی عمومی می‌تواند به صورت هفتگی یا اولین روز هر ماه (دوره‌ی برنامه‌ریزی) تعریف می‌شود. در شرکت تولید ماکارونی باریلا در کشور ایتالیا، دوره‌ی سفارش عمومی ماکارونی برای تمامی خرده‌فروشان یک هفته است.^[۱۷] در این تحقیق دوره‌ی سفارش عمومی متغیر تصمیم فرض شده و باید طوری انتخاب شود که اهداف مدل محقق شود. بنابراین، برای هر محصول در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی، دوره‌های سفارش‌دهی عمومی در نظر گرفته شده است. میزان سفارش هر خرده‌فروش در هر دوره‌ی سفارش‌دهی عمومی برابر است با میزان تقاضای ارسال شده به آن خرده‌فروش در آن دوره‌ی برنامه‌ریزی در مدت زمان دوره‌ی سفارش عمومی. تولیدکننده برای هر محصول در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی به اندازه‌ی مجموع سفارشات خرده‌فروشان طی یک دوره‌ی سفارش عمومی، محصول به‌طور کامل به خرده‌فروشان ارسال می‌کند و هر خرده‌فروش بسته به میزان تقاضای خود در آن دوره‌ی سفارش عمومی، سفارشات را دریافت می‌کند. با استفاده از شکل ۱ می‌توان متوسط موجودی و کمبود محصول i برای خرده‌فروشان را طی دوره‌ی برنامه‌ریزی آن محصول در سیاست دوره‌ی سفارش عمومی به دست آورد. همچنین در شکل ۲ سطح موجودی محصول i طی دوره‌ی برنامه‌ریزی آن محصول برای تولیدکننده در این سیاست نشان داده شده است.

چنان که در شکل ۲ مشخص است، متوسط سطح موجودی طی دوره‌ی سفارش‌دهی عمومی محصول i برای تولیدکننده در دوره‌ی برنامه‌ریزی t از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:



شکل ۲. نمودار موجودی محصول i طی دوره‌ی برنامه‌ریزی t برای تولیدکننده در سیاست دوره‌ی سفارش عمومی.

$$IP_{it} = \left(\frac{\sum_c D_{ict}^v CY_{it}^v}{\forall p_{it} CY_{it}} \right) \quad \forall i, t, \quad (3)$$

در نتیجه، مدل برنامه‌ریزی P-D-VMI چنین ارائه می‌شود:

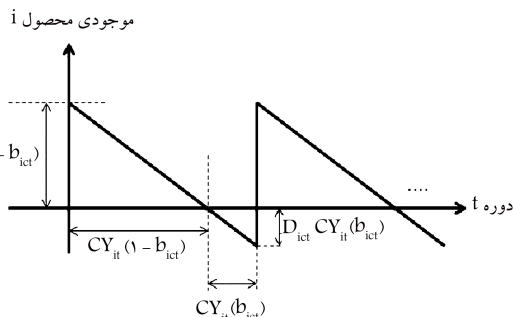
$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & - \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T W_{ict} D_{ict} + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T cr_{it} X R_{it} + \\ & \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T co_{it} X O_{it} + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T cc_{it} X C_{it} \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T tcs_s SUP_{smt} + \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T tcc_c D_{ict} \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T se_{it} / CY_{it} + \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T cm_{smt} SUP_{smt} \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T hp_{it} IP_{it} + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T hm_{mt} IM_{mt} \\ & + TC_{VMI}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T D_{ict} (W_{ict} + \zeta_{ict} - P_{ict}), \quad (5)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_s SUP_{smt} + \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T v_c D_{ict}, \quad (6)$$

s.t.

$$\begin{aligned} TC_{VMI} = & \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T \frac{sr_{ct}}{CY_{it}} \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T h_{ict} \left(\frac{D_{ict} (\lambda - b_{ict})^v CY_{it}^v}{\forall CY_{it}} \right) \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T \pi_{ict} \left(\frac{D_{ict} b_{ict}^v CY_{it}^v}{\forall CY_{it}} \right) \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T \zeta_{ict} D_{ict}, \end{aligned} \quad (7)$$



شکل ۱. نمودار موجودی محصول i طی دوره‌ی برنامه‌ریزی t برای خرده‌فروش c در سیاست دوره‌ی سفارش عمومی.

محصول نهایی و رابطه‌ی ۱۰ بیان‌گر رابطه‌ی تعادلی موجودی به‌ازای ماده‌ی اولیه است.

روابط ۱۱ تا ۱۳ متضمن پیشینه زمان در دسترس برای تولید در وقت عادی، اضافه‌کاری و قرارداد جانبی است. رابطه‌ی ۱۴ متضمن بیشترین ظرفیت تولیدکننده در نگهداری مواد اولیه، و رابطه‌ی ۱۵ متضمن ظرفیت توزیع مواد اولیه از هر تأمین‌کننده است. رابطه‌ی ۱۶ متضمن نرخ تولید تولیدکننده، و رابطه‌های ۱۷ و ۱۸ بیان‌گر وضعیت مقدارگیری متغیرهای تصمیم‌گیری هستند.

۵. روش‌های حل

در این نوشتار از روش min-max برای حل مدل چندهدفه استفاده می‌شود. از روش‌های L-P سنجی به‌منظور سنجش نزدیکی راه حل موجود نسبت به راه حل ایده‌آل استفاده می‌شود. با این وجود، یکی از مشکلات روش L-P سنجی، تعیین مقدار P است. در سال ۱۹۶۷ محققین با در نظر گرفتن $P = \infty$ بدان مفهوم که بزرگ‌ترین انحراف از انحرافات موجود برای بهینه‌سازی مد نظر قرار گیرد، این مشکل را برطرف کردند.^[۲۰] روابط ۱۹ تا ۲۱ بیان‌گر این موضوع هستند:

$$\text{Min } \alpha \quad (۱۹)$$

s.t :

$$\alpha \geq \gamma_j \left[\frac{f_j - f_j^*}{f_j^*} \right] \quad \forall j = 1, \dots, k, \quad (۲۰)$$

$$\sum_{j=1}^k \gamma_j = 1, \quad (۲۱)$$

در رابطه‌ی ۲۰ علامت اختصاری f_j بیان‌گر مقدار تابع هدف z و f_j^* بیان‌گر مقدار ایده‌آل تابع هدف z و γ_j نشان‌گر درجه اهمیت برای هدف z با $(\gamma_j > 0)$ است. همچنین به‌دلیل غیرخطی بودن مدل ارائه شده و قرار داشتن در حوزه‌ی مسائل سخت،^[۱۷] از الگوریتم ژنتیک (GA) که یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری محسوب می‌شود، استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های توانمند در حل مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی است.^[۲۱] این الگوریتم، در هر تکرار با مجموعه‌ی از جواب‌ها کار می‌کند. به جمعیت موجود در هر تکرار الگوریتم «نسل» گفته می‌شود. برای تولید نسل جدید، از سه عملگر ژنتیکی موسوم به حضور مجدد، تقاطع و جهش استفاده می‌شود. طراحی یک کروموزوم^۹ مناسب، مهم‌ترین مرحله در اعمال GA در فرایند جواب مسئله است. در این تحقیق، این طراحی به‌صورت ماتریسی متشکل از چندین بخش است که در آن تعداد سطرها برابر با تعداد دوره‌ها و تعداد ستون‌ها برابر با $(I \times C) + 4I + (S \times M)$ خواهد بود. این نحوه‌ی نمایش براساس پژوهش‌های انجام شده در سال ۲۰۱۱ صورت گرفته است.^[۲۲]

در شکل ۳ فرم کلی یک کروموزوم برای دو محصول، دو ماده‌ی اولیه، دو تأمین‌کننده و سه خرده‌فروش طی T دوره‌ی برنامه‌ریزی نشان داده شده است. ارزیابی هر کروموزوم به‌عنوان مقدار برازندگی کروموزوم براساس مقدار تابع هدف روش min-max با استفاده از رابطه‌ی ۱۹ صورت می‌گیرد. جمعیت اولیه‌ی کروموزوم‌ها به‌طور تصادفی ایجاد شده اما ممکن است بعضی از کروموزوم‌ها غیرموجه باشند. در این صورت از روش پناهی برای ایجاد کروموزوم موجه استفاده می‌شود. در این روش برای کروموزوم‌هایی که در محدودیت‌های مدل صدق نمی‌کنند، میزان غیرموجه شدن کروموزوم در کل محدودیت‌ها را در نظر گرفته و با ضرب کردن در یک عدد بسیار بزرگ، به‌عنوان جریمه به تابع هدف اضافه می‌شود. لذا الگوریتم از ایجاد

$$P_{ict} > W_{ict} + \zeta_{ict}, \quad \forall i, c, t, \quad (۸)$$

$$IP_{it} = IP_{i(t-1)} + p_{it} - \sum_{c=1}^C D_{ict}, \quad \forall i, t, \quad (۹)$$

$$IM_{mt} = IM_{m(t-1)} + \sum_{s=1}^S SUP_{smt} - \sum_{i=1}^I \varepsilon_{mi}(XR_{it} + XO_{it} + XC_{it}), \quad \forall m, t, \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^I a_i XR_{it} \leq TCAR_t, \quad \forall t, \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^I a_i XO_{it} \leq TCAO_t, \quad \forall t, \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^I a_i XC_{it} \leq TCAC_t, \quad \forall t, \quad (۱۳)$$

$$\sum_{m=1}^M IM_{mt} \leq CAPM_t, \quad \forall t, \quad (۱۴)$$

$$SUP_{smt} \leq CAPS_{smt}, \quad \forall s, m, t, \quad (۱۵)$$

$$\sum_{c=1}^C D_{ict} \leq p_{it}, \quad \forall i, t, \quad (۱۶)$$

$$0 \leq b_{ict} \leq 1, \quad \forall i, c, t; \quad (۱۷)$$

$$XR_{it}, XO_{it}, IM_{mt}, IP_{it}, SUP_{smt}, CY_{it}, P_{ict}, W_{ict} \geq 0, \quad \forall i, c, t, s, m \quad (۱۸)$$

چنان‌که مشخص است، مدل فوق یک مدل غیر خطی با سه هدف متناقض است. تابع هدف در رابطه‌ی ۴ به‌منظور کمیته‌کردن هزینه‌های تولیدکننده به‌ترتیب شامل اختلاف درآمد حاصل از فروش محصولات به خرده‌فروشان و هزینه‌های تولید در وقت عادی و اضافه‌کاری و قرارداد جانبی، هزینه‌ی توزیع مواد اولیه و محصول نهایی، هزینه‌های ثابت آماده‌سازی، هزینه‌ی خرید مواد اولیه، هزینه‌ی نگهداری مواد اولیه و محصول نهایی طی افق برنامه‌ریزی، و هزینه‌های ناشی از VMI مطرح است.

تابع هدف در رابطه‌ی ۵ بیان‌گر کمیته‌کردن هزینه‌های خرده‌فروشان شامل خرید هر واحد محصول با قیمت عمده‌فروشی و نیز هزینه‌ی مدیریت موجودی پرداخت شده به تولیدکننده به‌ازای هر واحد محصول با در نظر گرفتن درآمد ناشی از فروش هر واحد محصول با قیمت خرده‌فروشی است. تابع هدف در رابطه‌ی ۶ بیان‌گر کمیته‌کردن کل زمان‌های توزیع مواد اولیه و توزیع محصولات نهایی در کل زنجیره‌ی تأمین است. رابطه‌ی ۷ بیان‌گر هزینه‌های ناشی از سیستم VMI است که برای تولیدکننده در نظر گرفته می‌شود — هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی خرده‌فروشان، هزینه‌ی نگهداری موجودی خرده‌فروشان، هزینه‌های کمبود خرده‌فروشان — و در نهایت، عبارت آخر بیان‌گر درآمد حاصل از مدیریت موجودی خرده‌فروشان به‌ازای هر واحد محصول است که تولیدکننده دریافت می‌کند. رابطه‌ی ۸ نشان می‌دهد که قیمت خرده‌فروشی هر واحد محصول برای خرده‌فروش، باید از قیمت عمده‌فروشی و نیز هزینه‌ی مدیریت موجودی هر واحد از آن محصول بیشتر باشد تا سود خرده‌فروش به‌ازای فروش آن محصول تأمین شود. رابطه‌ی ۹ بیان‌گر رابطه‌ی تعادلی موجودی به‌ازای

	محصول دوم						محصول اول						ماده اولیه دوم		ماده اولیه اول			
	خرده فروش اول	خرده فروش دوم	خرده فروش سوم	خرده فروش اول	خرده فروش دوم	خرده فروش سوم	دوره دهی	دوره دهی	مقدار تولید عادی	مقدار تولید اضافه کاری	مقدار تولید اضافه کاری	مقدار تولید اضافه کاری	مقدار تولید اضافه کاری	مقدار تولید اضافه کاری	مقدار تولید اضافه کاری	مقدار تولید اضافه کاری	خرید مواد اولیه	خرید مواد اولیه
دوره اول	P_{111}	P_{112}	P_{113}	P_{211}	P_{212}	P_{213}	C_{11}	C_{21}	XR_{11}	XR_{21}	XO_{11}	XO_{21}	XC_{11}	XC_{21}	SUP_{111}	SUP_{112}	SUP_{211}	SUP_{212}
دوره دوم	P_{112}	P_{122}	P_{132}	P_{212}	P_{222}	P_{232}	C_{12}	C_{22}	XR_{12}	XR_{22}	XO_{12}	XO_{22}	XC_{12}	XC_{22}	SUP_{112}	SUP_{122}	SUP_{212}	SUP_{222}
دوره T	P_{11T}	P_{12T}	P_{13T}	P_{21T}	P_{22T}	P_{23T}	C_{1T}	C_{2T}	XR_{1T}	XR_{2T}	XO_{1T}	XO_{2T}	XC_{1T}	XC_{2T}	SUP_{11T}	SUP_{12T}	SUP_{21T}	SUP_{22T}

شکل ۳. نحوه نمایش کروموزوم.

در فرزندان ایجاد شده تعادل برقرار کرد. نحوه پیاده‌سازی عملگر چندوالدی چنین است:

۱. براساس قاعده‌ی انتخاب، سه والد را انتخاب کرده و در محل جفت‌گیری قرار دهید.

۲. هریک از سه والد را براساس مقدار برازندگی رتبه‌بندی کنید. به طور مثال والد X_1 دارای رتبه‌ی اول و والد X_2 دارای رتبه‌ی دوم.

۳. در هر مرحله از اجرای IGA برای ایجاد فرزندان، بردار $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ را به طور تصادفی ایجاد کنید به طوری که $0 \leq \alpha_i \leq 1$.

۴. سه فرزند Y_i از طریق رابطه‌ی ۲۳ ایجاد کنید:

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1 + \alpha \times (X_2 - X_2), \\ Y_2 &= X_2 + \alpha \times (X_3 - X_1), \\ Y_3 &= X_3 + \alpha \times (X_1 - X_2), \end{aligned} \quad (24)$$

چنان که مشاهده می‌شود ساختار این عملگر مانند عملگر تقاطع حسابی است که در فضای پیوسته از کارایی خوبی برخوردار است.^[۲۳] فرزند اول (Y_1) بیشتر خصوصیات خود را از والد اول دریافت می‌کند. این در حالی است که والد اول از مقدار برازندگی خوبی برخوردار بوده و رتبه‌ی اول را دارد. لذا فرزند اول و نیز فرزند دوم (Y_2) می‌توانند برای بهبود همگرایی الگوریتم مؤثر واقع شوند. از طرف دیگر فرزند سوم (Y_3) بیشتر خصوصیات خود را از والدی دریافت می‌کند که مقدار برازندگی خوبی ندارد اما می‌توان برای بهبود تنوع‌بخشی از آن بهره جست. لازم به ذکر است که این عملگر در هر بخش از کروموزوم اعمال می‌شود. در IGA و نیز GA، از عملگر انتخاب براساس چرخه‌ی رولت^{۱۳} استفاده می‌شود به طوری که انتخاب کروموزوم‌ها در محل جفت‌گیری براساس احتمال انتخاب مطرح است. ساختار عملگر جهش نیز در هر دو الگوریتم یکسان است. شرط توقف هر دو الگوریتم زمانی حاصل می‌شود که تعداد تکرارها از بیشترین مقدار از پیش تعیین شده تجاوز کند.

همچنین از طرح مرکب مرکزی^{۱۴} که از معروف‌ترین مدل‌های مرتبه‌ی دوم روش سطح پاسخ^{۱۵} است، برای تنظیم پارامترهای این الگوریتم استفاده شده است.^[۲۴] مدل

کروموزوم‌های غیرموجه توانمند می‌شود. همچنین از عملگر تقاطع حسابی^{۱۰} در GA استفاده می‌شود.

فرض کنید دو والد $X_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$ و $X_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$ انتخاب شده‌اند. سپس بردار $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ به طوری که $0 \leq \alpha_i \leq 1$ که به طور تصادفی در هر تکرار از GA ایجاد می‌شود، در آن صورت فرزندان از طریق رابطه‌ی ۲۲ ایجاد می‌شوند.

$$y_{1i} = \alpha_i x_{1i} + (1 - \alpha_i) x_{2i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (22)$$

$$y_{2i} = \alpha_i x_{2i} + (1 - \alpha_i) x_{1i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (23)$$

عملگر جهش برای جوابی که به طور تصادفی انتخاب شده اعمال می‌شود. این عملگر، مقدار دو ژنی را که به طور تصادفی انتخاب شده‌اند با یکدیگر تعویض می‌کند. چنان که اشاره شد، یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته در این تحقیق ارائه می‌شود. به طور کلی الگوریتم‌های فرابینکاری باید از دو ویژگی «همگرایی به جواب بهینه» و «تنوع‌بخشی» برخوردار باشند. از آنجا که عملگر تقاطع نقش به‌سزایی در دو ویژگی ذکر شده در الگوریتم ژنتیک دارد، الگوریتم پیشنهادی بر این عملگر تمرکز می‌کند. باید به این نکته اشاره کرد که در عملگر تقاطع فرزندان ایجاد شده در مقایسه با والدین، باید دو ویژگی همگرایی و تنوع‌بخشی را حفظ کند. به عبارت دیگر، اگر فرزندان ایجاد شده شباهت بسیار نزدیکی به والدین داشته باشند، ویژگی تنوع‌بخشی کم‌رنگ خواهد شد. از طرف دیگر اگر شباهت بسیار کمی به والدین داشته باشند، ویژگی همگرایی مورد چالش واقع خواهد شد. بنابراین باید فرزندان ایجاد کرد که تعادلی بین همگرایی و تنوع‌بخشی برقرار کنند.

با مرور تحقیقات صورت گرفته در الگوریتم ژنتیک، مشخص می‌شود که توجه کم‌تری به تعادل مذکور در عملگر تقاطع شده و عمدتاً به نحوه پیاده‌سازی این عملگر با استفاده از روابط ریاضی پرداخته شده است، در صورتی که عملگر تقاطع نقش به‌سزایی در عملکرد الگوریتم ژنتیک دارد. لذا برای رفع این شکاف تحقیقاتی، یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته (IGA)^{۱۱} با استفاده از عملگر تقاطع چندوالدی^{۱۲} معرفی می‌شود. این عملگر تقاطع، از سه والد به جای دو والد استفاده کرده و سه فرزند ایجاد می‌کند. دو تا از فرزندان در جهت بهبود ویژگی همگرایی و یک فرزند دیگر در جهت بهبود تنوع‌بخشی ایجاد می‌شود و بنابراین می‌توان بین همگرایی و تنوع‌بخشی

۶. نتایج محاسباتی

لازم به ذکر است برای طراحی مثال‌های عددی و مقایسه‌ی نتایج این تحقیق با سایر تحقیقات مرتبط، اطلاعات محدودی در دسترس است و لذا مسائل به‌طور تصادفی طراحی می‌شوند. بدین منظور تعداد ۳۴ مسئله و نیز ۱۲ دوره‌ی برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده است. در جدول ۳ ابعاد این مسائل ارائه شده است. پارامترهای هر مسئله به‌طور تصادفی و با توزیع یکنواخت براساس بازه‌های جدول ۴ تعیین می‌شود. هر مسئله با تابع هدف روش min-max توسط نرم‌افزار GAMS حل، و مقدار تابع هدف همراه با زمان محاسبات آن در نظر گرفته می‌شود. سپس آن مسئله با اعمال

جدول ۳. ابعاد مسائل طراحی شده.

شماره‌ی مسئله	خرده‌فروش	محصول	تأمین‌کننده اولیه	مواد اولیه
۱	۲	۱	۲	۱
۲	۲	۲	۲	۱
۳	۳	۲	۲	۳
۴	۳	۳	۲	۳
۵	۳	۳	۲	۴
۶	۵	۳	۳	۴
۷	۵	۵	۳	۴
۸	۵	۶	۳	۴
۹	۶	۶	۳	۴
۱۰	۶	۶	۳	۵
۱۱	۷	۶	۴	۵
۱۲	۷	۷	۴	۵
۱۳	۸	۷	۴	۵
۱۴	۸	۷	۴	۶
۱۵	۸	۸	۴	۶
۱۶	۹	۸	۵	۶
۱۷	۱۰	۹	۵	۶
۱۸	۱۱	۹	۵	۷
۱۹	۱۱	۹	۶	۷
۲۰	۱۱	۹	۸	۷
۲۱	۱۳	۱۰	۹	۸
۲۲	۱۳	۱۰	۱۰	۸
۲۳	۱۵	۱۱	۱۲	۸
۲۴	۱۵	۱۲	۱۲	۹
۲۵	۱۸	۱۲	۱۲	۹
۲۶	۱۸	۱۳	۱۳	۱۰
۲۷	۲۲	۱۳	۱۳	۱۰
۲۸	۲۶	۱۶	۱۵	۱۲
۲۹	۲۸	۱۶	۱۵	۱۲
۳۰	۳۰	۲۰	۱۸	۱۲
۳۱	۵۰	۲۰	۴۰	۲۵
۳۲	۷۰	۳۵	۵۰	۳۰
۳۳	۱۰۰	۵۰	۸۰	۴۰
۳۴	۱۳۰	۶۰	۱۲۰	۸۰

مرتبه‌ی دوم در رابطه‌ی ۲۴ ارائه شده است. این طرح شامل 2^{k-1} نقطه‌ی عاملی، n_c نقطه‌ی مرکزی و $2k$ نقطه‌ی محوری است به‌طوری که k تعداد پارامترهاست که برابر پنج است. در این تحقیق برای ایجاد طرحی با دقت یکنواخت، شش نقطه‌ی مرکزی در نظر گرفته شده، و در مجموع ۳۲ آزمایش به‌طور تصادفی انجام می‌شود.

$$E(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^k \sum_{i < j}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (25)$$

در رابطه‌ی ۲۴ نماد $E(Y)$ مقدار مورد انتظار متغیر پاسخ، $\beta_0, \beta_i, \beta_j$ پارامترهای مدل، و X_i و X_j متغیرهای ورودی تأثیرگذار بر متغیر پاسخ Y هستند. برای اجرا، یک مسئله به‌طور تصادفی شامل سه تأمین‌کننده، دو ماده‌ی اولیه، سه محصول طی سه دوره‌ی برنامه‌ریزی با اهداف یکسان در نظر گرفته شده است. مقدار تابع هدف مدل براساس روش min-max، متغیر پاسخ مورد نظر است. الگوریتم‌ها در نرم‌افزار MATLAB ۷/۸ برنامه‌نویسی و اجرا شده است. مقدار پارامترهای ورودی الگوریتم‌های GA و IGA در جدول ۱ ارائه شده است.

در رابطه با الگوریتم ژنتیک (GA)، پس از اجرای روش سطح پاسخ در سطح اطمینان ۹۵٪ مجذور ضریب همبستگی برابر با ۹۹/۹۱٪ و نیز بی‌معنا بودن آزمون فقدان تناسب^{۱۶} به‌طوری که p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد، نشان‌گر یک مدل رگرسیون مناسب است. بنابراین، یک مدل رگرسیون برای الگوریتم GA در رابطه‌ی ۲۵ ارائه می‌شود.

$$\begin{aligned} fitness = & 9756,1 - 5165,4(ProS) + 19,6(PopS) \\ & - 1,1(MAXG) + 616,6(ProS)^2 \\ & + 318,2(ProS).(Pc) + 812,3(ProS).(Pm) \\ & - 10,7(PopS).(Pc) - 38(PopS).(Pm) \end{aligned} \quad (26)$$

به‌طور مشابه، برای الگوریتم IGA نیز یک مدل رگرسیون طراحی می‌شود. بنابراین با در نظر گرفتن پنج خرده‌فروش و حل مدل رگرسیون با نرم‌افزار GAMS، مقدار بهینه‌ی پارامترهای هر دو الگوریتم به دست می‌آید. این مقادیر در جدول ۲ ارائه شده است.

همچنین از نرم‌افزار بهینه‌سازی ۲۳/۵ GAMS به‌منظور دست‌یابی به جواب‌های قطعی و نیز اعتبارسنجی نتایج مقدار تابع هدف و زمان محاسبات استفاده شده است.

جدول ۱. سطوح پارامترهای ورودی الگوریتم‌ها.

پارامتر	دامنه	پایین	میان	بالا
$(ProS)$ ابعاد مسئله	۳ - ۷	۳	۵	۷
$(PopS)$ جمعیت	۲۰ - ۱۰۰	۲۰	۶۰	۱۰۰
$(MAXG)$ تکرار	۲۰۰ - ۷۰۰	۲۰۰	۴۵۰	۷۰۰
(Pc) تقاطع	۰/۵ - ۰/۸	۰/۵	۰/۶۵	۰/۸
(Pm) جهش	۰/۱ - ۰/۲	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲

جدول ۲. مقدار بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم‌ها.

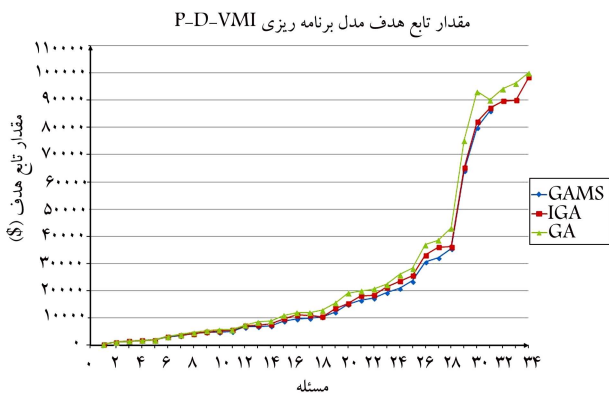
الگوریتم	اندازه جمعیت	تکرار	نرخ تقاطع	نرخ جهش
GA	۱۰۰	۲۵۰	۰/۷۸	۰/۲
IGA	۱۵۰	۲۵۰	۰/۸۱	۰/۱۹

جدول ۴. بازه مقدارگیری پارامترهای هر مسئله.

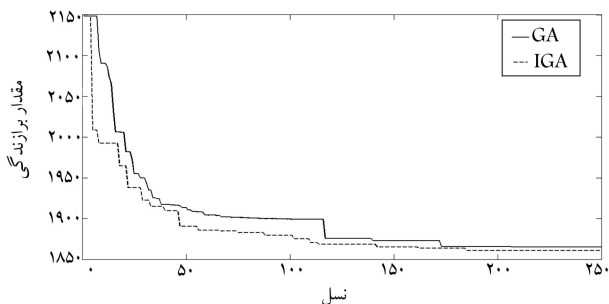
پارامتر	بازه مقدارگیری
k_c	[۱۰۰۰۰ - ۷۰۰۰۰]
e_c	[۱/۲ - ۶/۴]
ζ_{ict}	[۳ - ۷]
cr_{it}	[۰/۷۵ - ۰/۷۵]
co_{it}	[۱ - ۱/۵]
cc_{it}	[۲ - ۲/۵]
a_i	[۱ - ۲]
hm_{mt}	[۱/۵ - ۳]
se_{it}	[۱۰ - ۱۵]
hp_{it}	[۲ - ۴]
sr_{ct}	[۱۰ - ۲۰]
h_{ict}	[۲ - ۴]
π_{ict}	[۲ - ۵]
ε_{mi}	[۱ - ۳]
tcs_{smt}	[۰/۵ - ۲]
tcc_{ict}	[۰/۵ - ۳]
cm_{smt}	[۲ - ۵]
$TCAR_t$	[۱۰۰ - ۱۲۰]
$TCAO_t$	[۸۰ - ۶۰]
$TCAC_t$	[۴۰ - ۵۰]
$CAPM_t$	[۱۴۰ - ۱۸۰]
$CAPS_{smt}$	[۱۵۰ - ۲۰۰]
τ_s	[۰/۵ - ۲]
ν_c	[۰/۵ - ۲]

است. لازم به ذکر است که این افزایش نسبی در حالی است که ابعاد مسئله با در نظر گرفتن غیرخطی بودن مدل، به طور چشمگیری افزایش یافته است. در مسئله‌های ۲۸ و ۲۹ که در آن تعداد خرده‌فروشان افزایش یافته، مقدار تابع هدف و زمان محاسبات برای IGA و GAMS افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد. این افزایش در حالی است که فضای جواب و حجم محاسبات افزایش یافته و با این وجود، درصد انحراف تابع هدف برای هر دو مسئله به ترتیب برابر با ۱/۹۵۸٪ و ۱/۶۲۰٪ است که بیان‌گر کارآمد بودن IGA و معتبر بودن نتایج این الگوریتم است.

از طرف دیگر، زمان محاسبات تا مسئله‌ی شماره ۳۰، به شدت افزایش یافته به طوری که این افزایش در GA و IGA با شدت بیشتر و در GAMS با شدت کم‌تری همراه است. چنان‌که مشاهده می‌شود، با افزایش ابعاد مسئله، GAMS قادر به حل سه مسئله‌ی آخر نبوده که در نتیجه با خط تیره نشان داده شده است. با این وجود IGA توانسته است این مسائل را نیز حل کرده و حتی جواب‌های بهتری هم از لحاظ میانگین مقادیر تابع هدف و هم از لحاظ زمان محاسبات نسبت به GA ارائه کند. در شکل ۴، نمودار میانگین مقادیر تابع هدف به دست آمده از هر دو الگوریتم در ۳۴ مسئله و در شکل ۵، نمودار همگرایی برای مسئله‌ی شماره ۴ ارائه می‌شود. با این وجود به منظور ارزیابی عملکرد هر دو الگوریتم از لحاظ میانگین مقادیر تابع هدف و نیز میانگین زمان محاسبات، یک تحلیل آماری و با استفاده از آزمون تی زوجی نیز صورت می‌گیرد. این آزمون در نرم‌افزار ۱۶ MINITAB و در سطح اطمینان ۹۵٪ اجرا شده و مقدار p-value برای آزمون میانگین مقادیر تابع هدف برابر با ۰/۰۰۲، و برای میانگین زمان محاسبات برابر با ۰/۰۰۱ محاسبه می‌شود. با توجه به نتایج هر دو آزمون، می‌توان نتیجه گرفت که IGA عملکرد مطلوبی نسبت به GA داشته است. بنابراین، نتایج حاکی از صحت مدل پیشنهادی و الگوریتم‌های حل است.



شکل ۴. نمودار مقادیر تابع هدف IGA و GA.



شکل ۵. نمودار همگرایی IGA و GA برای مسئله‌ی ۴.

IGA و GA و با همان تابع هدف روش min-max به عنوان تابع برازندگی، طی سه تکرار حل شده و میانگین مقدار تابع هدف سه تکرار همراه با میانگین زمان محاسبات در نظر گرفته می‌شود. نتایج حل هر ۳۴ مسئله در جدول ۵ ارائه شده است. برای مقایسه‌ی نتایج هر دو الگوریتم با نتایج GAMS، از معیار درصد انحراف تابع هدف از رابطه‌ی ۲۶ استفاده می‌شود.

$$\text{درصد انحراف تابع هدف} = \frac{Z_{Algorithm} - Z_{GAMS}}{Z_{GAMS}} \times 100, \quad (27)$$

مشاهده می‌شود که درصد انحراف مقدار تابع هدف IGA تا مسئله‌ی شماره ۹، حداکثر ۳/۳۷۲٪ بوده و این نشان می‌دهد که میانگین مقادیر تابع هدف به دست آمده از این الگوریتم نسبت به GAMS در ابعاد کوچک تقریباً نزدیک به هم است، درحالی که این مقدار برای الگوریتم GA برابر با ۱۳/۷۸۳٪ است. از طرف دیگر، زمان محاسبات هر دو الگوریتم تا مسئله‌ی ۹ در حال افزایش بوده که برای IGA و GA حداکثر به ترتیب برابر با ۲۰۳/۵۲ و ۳۱۴/۵۲۶ ثانیه است. با افزایش ابعاد مسئله، درصد انحراف تابع هدف هر دو الگوریتم یک افزایش نسبی داشته که بیشینه مقدار درصد انحراف برای GA برابر ۲۶/۷۸۹٪ و برای IGA برابر با ۱۳/۹۱۷٪

جدول ۵. نتایج حل مسائل مدل برنامه ریزی P-D-VMI.

شماره مسئله	GAMS		الگوریتم ژنتیک بهبود یافته			الگوریتم ژنتیک	
	مقدار تابع هدف (واحد پولی)	زمان محاسبات (ثانیه)	میانگین تابع هدف (واحد پولی)	میانگین زمان محاسبات (ثانیه)	انحراف تابع هدف (%)	میانگین زمان (ثانیه)	انحراف تابع هدف (%)
۱	۴۵۶,۸۷۲	۸,۴۴۶	۴۵۶,۸۷۲	۱۸,۹۷۹	۰,۰۰	۳۸,۹۷۹	۰,۹۵۴
۲	۱۱۷۵,۲۷۲	۱۵,۱۴۲	۱۱۸۳,۱۹۰	۳۹,۴۵۰	۰,۶۷۴	۴۶,۶۵۰	۰,۶۸۵
۳	۱۵۵۱,۰۹۴	۱۶,۴۹۷	۱۵۵۲	۵۳,۵۶۰	۰,۰۵۸	۶۵,۰۰۱	۱,۱۷۵
۴	۱۷۹۵,۱۵۲	۲۱,۳۱۰	۱۷۹۶	۷۳	۰,۰۴۷	۲۱۳,۱۰۵	۴,۸۰۰
۵	۱۹۳۴,۴۰۸	۲۶,۳۱۱	۱۹۵۰,۵۵	۷۱,۶۵	۰,۸۳۴	۲۱۵,۹۳۰	۴,۰۲۳
۶	۳۱۱۹,۹۷۸	۴۱,۴۹۱	۳۲۲۵,۱۷۰	۸۹,۴۵	۳,۳۷۲	۲۵۸,۱۵۰	۲,۶۰۷
۷	۳۶۵۳,۴۹۷	۴۷,۷۶۰	۳۷۰۰	۱۱۵	۳,۲۷۳	۲۶۳,۶۱۴	۱۲,۶۱۳
۸	۴۲۸۲,۸۵۵	۵۲,۱۵۲	۴۳۰۰	۱۵۸,۵۰	۰,۴۰۰	۳۰۹,۸۴۷	۱۳,۰۳۳
۹	۴۷۸۰,۷۲۷	۵۲,۷۶۶	۴۸۵۰	۲۰۳,۵۲	۱,۴۴۹	۳۱۴,۵۲۶	۱۳,۷۸۳
۱۰	۴۹۰۰,۲۵۷	۵۸,۹۰۰	۵۲۶۸,۱۷۷	۲۵۴,۵۵	۷,۵۰۸	۳۲۶,۵۵۸	۱۷,۷۱۲
۱۱	۵۲۰۷,۴۰۸	۶۷,۹۹۱	۵۶۷۷,۹۱۰	۳۱۶,۰۸	۹,۰۳۵	۳۳۳,۰۸۱	۱۲,۸۷۶
۱۲	۶۷۸۷,۱۵۲	۷۰,۵۲۱	۷۲۳۴,۳۲۰	۳۱۰,۲۶	۶,۷۲۱	۳۴۰,۸۳۵	۹,۶۶۸
۱۳	۶۹۲۹,۴۶۳	۷۸,۵۵۹	۷۴۹۱,۰۲۶	۳۳۹,۹۴	۸,۱۰۴	۳۴۱,۹۴۰	۲۳,۹۷۸
۱۴	۷۲۲۶,۵۰۴	۸۹,۴۳۵	۷۷۹۷,۳۶۰	۳۴۷	۷,۸۹۹	۳۶۷,۱۶۶	۲۴,۵۰۵
۱۵	۹۰۵۰,۳۷۸	۹۴,۸۹۰	۹۸۰۳,۵۴۰	۳۴۹,۸	۸,۳۲۲	۳۸۱,۸۲۴	۲۱,۸۰۲
۱۶	۹۷۶۲,۰۳۳	۹۹,۱۸۰	۱۱۱۲,۵۸۸	۳۷۱,۱۹	۱۳,۹۱۷	۴۶۹,۱۹۷	۲۳,۹۵۶
۱۷	۱۰۰۰۳,۸۰۵	۱۱۴,۲۵۴	۱۱۰۵۶,۲۷۵	۴۲۵,۵۹	۱۰,۵۲۱	۵۰۳,۵۹۹	۲۰,۶۴۷
۱۸	۱۰۴۵۹,۹۶۲	۱۲۰,۱۰۳	۱۰۲۲۲,۴۰۵	۴۳۵,۱۲	۰,۵۹۳	۵۰۸,۱۲۹	۲۴,۵۰۷
۱۹	۱۲۳۴۰,۲۳۲	۱۳۰,۶۰۱	۱۳۶۲۷,۴۱۵	۴۸۳	۱۰,۴۳۱	۵۴۸,۷۶۶	۲۶,۶۳۸
۲۰	۱۵۱۳۶,۶۱۹	۱۳۶,۶۴۰	۱۵۳۲۵	۵۳۷,۸	۱,۲۴۵	۵۵۵,۸۸۰	۲۶,۷۸۹
۲۱	۱۶۵۱۶,۸۶۸	۱۴۳,۳۸۹	۱۸۲۲۰	۵۸۳,۶۲۱	۰,۳۱۱	۵۷۳,۶۲۱	۲۰,۸۴۱
۲۲	۱۷۴۸۲,۳۰۷	۱۶۷,۷۳۲	۱۸۳۷۱,۱۲۵	۵۸۰	۵,۰۸۴	۵۷۷,۲۴۰	۱۸,۷۵۵
۲۳	۱۹۳۲۳,۵۰۸	۱۷۹,۰۱۱	۲۱۳۳۸,۲۶۳	۶۲۳,۶	۱۰,۴۲۶	۶۱۲,۴۴۴	۱۶,۱۰۹
۲۴	۲۰۹۴۱,۷۸۱	۲۰۲,۱۳۳	۲۳۵۰۸,۷۱۱	۶۱۳,۷۰۲	۱۲,۲۵۷	۶۱۳,۷۰۲	۲۴,۲۸۸
۲۵	۲۳۶۳۷,۹۲۵	۲۶۴,۲۵۴	۲۵۶۱۱,۰۴۳	۷۳۱,۹	۸,۳۴۷	۷۴۰,۰۹۵	۱۹,۹۸۱
۲۶	۳۰۶۳۴,۷۹۱	۲۸۴,۱۵۴	۳۰۹۷,۸۲۳	۷۳۹	۸,۰۴۰	۸۲۶,۹۵۴	۲۰,۷۵۴
۲۷	۳۲۱۴۹,۴۸۴	۲۹۲,۷۸۳	۳۶۰۰۰,۱۵۰	۷۷۵,۲۶	۱۱,۹۷۷	۹۲۹,۶۱۴	۲۰,۱۱۱
۲۸	۳۵۵۲۵,۹۶۲	۳۰۱,۲۳۰	۳۶۲۲۱,۴۳۶	۸۱۲,۵	۱,۹۵۸	۱۱۶۹,۲۲۹	۲۱,۳۲۹
۲۹	۶۴۱۳۵,۹۶۹	۳۲۴,۲۴۹	۶۵۱۷۵	۸۳۴,۱۴	۱,۶۲۰	۱۲۴۱,۱۸۷	۱۷,۴۱۵
۳۰	۷۹۸۷۴,۳۳۸	۴۴۶,۱۶۰	۸۲۰۵۶	۸۹۰,۱۷	۲,۷۳۲	۱۲۶۳,۵۸۶	۱۶,۷۰۲
۳۱	۸۶۰۰۰	۵۰۲	۸۷۱۲۰	۹۴۴,۲۵	۱,۳۰۲	۱۴۱۰	۴,۸۲۶
۳۲	---	---	۸۹۷۵۰	۱۳۱۵,۵۵	---	۱۶۵۳	---
۳۳	---	---	۹۰۰۴۰	۱۵۲۴	---	۲۰۱۰	---
۳۴	---	---	۹۸۳۳۴	۱۳۰۸	---	۲۳۴۸	---

جدول ۶. نتایج تحلیل حساسیت مدل برنامه ریزی P-D-VMI

آزمایش	پارامتر	هزینه تولیدکننده	هزینه خرده فروشان	کل زمان توزیع
۱ (پایه)	$k_c = 3000, e_c = 178$	۱۹۳۳/۶۵	۱۴۰۵/۹۸	۶۰۸/۱۲
۲	$I' = I + 4$	۱۵۶۰/۳۲	۱۱۱۸/۱۱	۱۲۴۴/۱۰
۳	$I' = I - 1$	۲۰۰۹/۵۸	۱۴۷۷/۰۱	۴۱۳/۸۹
۴	$C' = C + 5$	۲۵۹۵/۴۴	۱۵۲۲/۷۵	۱۶۸۹/۰۹
۵	$C' = C - 1$	۱۲۹۹/۱۲	۸۹۵/۰۰	۴۶۶/۴۳
۶	$S' = S + 4$	۲۲۱۷/۶۱	۱۶۹۰/۳۰	۸۲۸/۲۰
۷	$S' = S - 1$	۱۸۸۳/۹۰	۱۳۷۵/۲۹	۴۳۹/۴۱
۸	$k'_c = +3\% k_c$	۱۸۰۲/۳۲	۱۶۷۲/۰۳	۷۹۶/۶۳
۹	$k'_c = -3\% k_c$	۲۰۵۹/۵۹	۱۲۸۷/۷۱	۵۵۴/۰۷
۱۰	$e'_c = +2\% e_c$	۲۴۹۱/۶۵	۱۷۳۳/۱۳	۴۹۷/۴۶
۱۱	$e'_c = -2\% e_c$	۱۷۶۵/۳۷	۱۰۱۱/۵۱	۸۴۵/۸۱۱

کاهش مقدار هر سه هدف شود. در آزمایش ۸، افزایش مقدار شاخص های بازار خرده فروشان باعث کاهش هزینه های تولیدکننده و افزایش هزینه های خرده فروشان شده به طوری که هزینه تولیدکننده از ۱۹۳۳/۶۵ واحد پولی در آزمایش ۱، به ۱۸۰۲/۳۲ واحد پولی و همچنین هزینه خرده فروشان از ۱۴۰۵/۹۸ واحد پولی به ۱۶۷۲/۰۳ واحد پولی تغییر یافته است. آزمایش ۹ برخلاف آزمایش ۸، منجر به افزایش هزینه تولیدکننده و کاهش هزینه های خرده فروشان می شود. از اجرای آزمایش های ۸ و ۹ به نظر می رسد افزایش شاخص های بازار با توجه به رابطه ی ۱ باعث افزایش تقاضای محصول و همچنین افزایش زمان توزیع می شوند. به نظر می رسد که افزایش شاخص های بازار، باعث افزایش تقاضای محصول و همچنین افزایش زمان توزیع می شود اما جنبه ی مثبت برای کاهش هزینه تولیدکننده و جنبه ی منفی برای کاهش هزینه خرده فروشان دارد. از آزمایش ۱۰ چنین استنباط می شود که افزایش کشسانی قیمت خرده فروشی باعث افزایش هزینه تولیدکننده و خرده فروشان، کاهش تقاضا و در نتیجه کاهش زمان توزیع شده که این افزایش هزینه برای تولیدکننده ملموس تر است. آزمایش ۱۱ نشان می دهد که کاهش کشسانی قیمت خرده فروشی باعث کاهش هزینه تولیدکننده و خرده فروشان، افزایش تقاضا و افزایش زمان توزیع شده اما برخلاف آزمایش ۱۰، این کاهش هزینه برای خرده فروشان ملموس تر است. از اجرای آزمایش های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می شود که افزایش کشسانی قیمت خرده فروشی، جنبه ی منفی برای کاهش هزینه تولیدکننده و خرده فروشان دارد.

۷. تحلیل حساسیت

مسئله ی شماره ۳ را در نظر بگیرید. به دلیل وابسته بودن تقاضا به شاخص بازار و کشسانی بودن قیمت خرده فروشی، تحلیل حساسیت براساس این پارامترها و نیز تعداد محصولات، خرده فروشان و تأمین کنندگان، طراحی شده و نتایج آن با استفاده از نرم افزار بهینه سازی GAMS و با همان تابع هدف min-max در جدول ۶ ارائه می شود. دلیل استفاده از نرم افزار، دست یابی به جواب های قطعی به منظور انجام تحلیل حساسیت صحیح است. در این جدول، شاخص های بازار (k_c) و کشسانی قیمت خرده فروشی (e_c) نزد همه خرده فروشان یکسان بوده و در آزمایش های مختلف و مستقل از هم مورد بررسی قرار می گیرد.

آزمایش ۱، بیانگر مسئله ی شماره ۳ بدون تغییر در ابعاد و شاخص های بازار و قیمت کشسان بوده و سایر آزمایش ها نسبت به این آزمایش تحلیل می شود. آزمایش های ۲ و ۳ براساس آزمایش ۱ برای تحلیل حساسیت تعداد محصولات طراحی شده اند. همانطور که مشخص است، با افزایش تعداد محصولات، هزینه های تولیدکننده و خرده فروشان کاهش یافته ولی کل زمان توزیع افزایش می یابد. با کاهش تعداد محصولات، هزینه های تولیدکننده و خرده فروشان افزایش می یابد ولی کل زمان توزیع محصولات و مواد اولیه کاهش می یابد. آزمایش های ۴ و ۵، برای تحلیل حساسیت تعداد خرده فروشان طراحی شده است. با افزایش تعداد خرده فروشان، مقدار هر سه هدف افزایش قابل توجهی یافته اما این افزایش برای هزینه های تولیدکننده ملموس تر است. با کاهش تعداد خرده فروشان، مقدار هر سه هدف کاهش یافته و این کاهش برای هزینه های خرده فروشان ملموس تر است. به نظر می رسد که با افزایش تعداد خرده فروشان، هزینه های تولیدکننده به شدت افزایش می یابد. آزمایش های ۶ و ۷، برای تحلیل حساسیت تعداد تأمین کنندگان طراحی شده و به نظر می رسد که افزایش و کاهش تعداد تأمین کنندگان به ترتیب منجر به افزایش و

۸. نتیجه گیری

در این نوشتار یک مدل برنامه ریزی تولید - توزیع برپایه ی مدیریت موجودی توسط فروشنده برای یک زنجیره ی تأمین سه سطحی شامل چندین تأمین کننده خارجی، یک تولیدکننده با ظرفیت تولید محدود و چندین خرده فروش ارائه شد. هدف از این پژوهش، کمینه کردن هزینه های تولیدکننده و هزینه های خرده فروشان، و نیز کمینه کردن کل زمان توزیع مواد اولیه و محصولات در زنجیره ی تأمین بوده که به صورت یک مدل غیرخطی سه هدفه طراحی شد. سپس چندین مسئله به طور تصادفی و در ابعاد مختلف، طراحی شده و مدل ارائه شده توسط الگوریتم ژنتیک و همچنین نرم افزار بهینه سازی GAMS حل شد. همچنین یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته با استفاده از عملگر تقاطع چندوالدی توسعه داده شد. پارامترهای هر دو الگوریتم توسط روش سطح پاسخ تنظیم شدند. سپس عملکرد هر دو الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون های آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می دهد که الگوریتم IGA از کارایی خوبی برخوردار است. در نهایت، نتایج ارائه شده حاکی از صحت مدل پیشنهادی است.

پس از ارزیابی صحت مدل، یک نمونه مسئله انتخاب شد و تحلیل حساسیت روی عوامل تأثیرگذار بر اهداف مورد نظر صورت گرفت. نتایج حاصله حاکی از آن است که کاهش کشسانی قیمت خرده فروشی باعث افزایش تقاضا، افزایش زمان توزیع، و کاهش هزینه های تولیدکننده و خرده فروشان می شود و همین کاهش هزینه برای خرده فروشان ملموس تر است.

در تحقیقات آتی نیز می توان به در نظر گرفتن سایر عوامل تأثیرگذار در افزایش یا کاهش میزان تقاضا، مانند میزان تبلیغات، در نظر گرفتن تخفیف در قیمت عمده فروشی، ارزیابی و انتخاب خرده فروشان، زمان تحویل محصولات نهایی و مواد اولیه و نیز استقرار نظام توزیع به موقع اشاره کرد.

1. production-distribution planning
2. vendor managed inventory
3. bullwhip effect
4. common replenishment cycle policy
5. market scale
6. price elasticity
7. Cobb–Douglas
8. genetic algorithm
9. Chromosome
10. arithmetic crossover
11. improved genetic algorithm
12. multi-parent crossover
13. Roulette wheel
14. central composite design
15. response surface methodology
16. lack of fit

منابع (References)

1. Fahimnia, B., Farahani, R.Z., Marian, R. and Luong, L. "A review and critique on integrated production-distribution planning models and techniques", *Journal of Manufacturing Systems*, **32**(1), pp. 1-19 (2013).
2. Chen, Z.L. and Vairaktarakis, G.L. "Integrated scheduling of production and distribution operations", *Management Science*, **51**(4), pp. 614-628 (2005).
3. Liang, T.-F. "Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions in supply chains", *Information Sciences*, **181**(4), pp. 842-854 (2011).
4. Yao, Y., Evers, P. and Dresner, M. "Supply chain integration in vendor-managed inventory", *Decision Support Systems*, **43**(2), pp. 663-674 (2007).
5. Guan, R. and Zhao, X. "On contracts for VMI program with continuous review (r, Q) policy", *European Journal of Operational Research*, **207**(2), pp. 656-667 (2010).
6. Safaei, A.S., Moattar Husseini, S.M., Farahani, R.Z., Jolai, F. and Ghodsypour, S.H. "Integrated multi-site production-distribution planning in supply chain by hybrid modelling", *International Journal of Production Research*, **48**(14), pp. 4043-4069 (2010).
7. Fahimnia, B., Luong, L. and Marian, R. "Genetic algorithm optimisation of an integrated aggregate production-distribution plan in supply chains", *International Journal of Production Research*, **50**(1), pp. 81-96 (2011).
8. Ahumada, O., Villalobos, J.R. and Mason, A.N. "Tactical planning of the production and distribution of fresh agricultural products under uncertainty", *Agricultural Systems*, **112**, pp. 17-26 (2012).
9. Amorim, P., Gunther, H.O. and Almada-Lobo, B. "Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products", *Int. J. Production Economics*, **138**, pp. 89-101 (2012).
10. Bashiri, M., Badri, H. and Talebi, J. "A new approach to tactical and strategic planning in production-distribution networks", *Applied Mathematical Modelling*, **36**(4), pp. 1703-1717 (2012).
11. Piewthongngam, K., Pathumnakul, S. and Homkham-pad, S. "An interactive approach to optimize production-distribution planning for an integrated feed swin ecompany", *Int. J. Production Economics*, **142**(2), pp. 290-301 (2013).
12. Leung, J.Y.-T. and Chen, Z.-L. "Integrated production and distribution with fixed delivery departure dates", *Operations Research Letters*, **41**(3), pp. 290-293 (2013).
13. Chen, L.T. and Yeh, C.Y. "Optimal pricing and replenishment for deteriorating items in B2B electronic markets", in *Education and Management*, Springer, Berlin Heidelberg, **210** pp. 599-604 (2011).
14. Yu, Y., Wang, Z. and Liang, L. "A vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw materials and products", *International Journal of Production Economics*, **136**(2), pp. 266-274 (2012).
15. Ramkumar, N., Subramanian, P., Narendran, T.T. and Ganesh, K. "Mixed integer linear programming model for multi-commodity multi-depot inventory routing problem", *OPSEARCH*, **49**(4), pp. 413-429 (2012).
16. Hariga, M., Gumus, M., Daghfous, A. and Goyal, S.K. "A vendor managed inventory model under contractual storage agreemen", *Computers & Operations Research*, **40**(8), pp. 2138-2144 (2013).
17. Yu, Y., Hong, Z., Zhang, L.L., Liang, L. and Chu, C. "Optimal selection of retailers for a manufacturing vendor in a vendor managed inventory system", *European Journal of Operational Research*, **225**(2), pp. 273-284 (2013).
18. Almeddawe, E. and Mantin, B. "Vendor managed inventory with a capacitated manufacturer and multiple retailers: Retailer versus manufacturer leadership", *Int. J. Production Economics*, **128**(1), pp. 292-302 (2010).
19. Viswanathan, S. and Piplani, R. "Coordinating supply-chain inventories through common replenishment epochs", *European Journal of Operational Research*, **129**(2), pp. 277-286 (2001).
20. Jutler, H. "linear model with several objective functions", *Ekonomika matematiceckije Metody*, **3**, pp. 397-406 (1967).
21. Yokota, T., Gen, M. and Li, Y.X. "Genetic algorithm for non-linear mixed integer programming problems and its applications", *Computers & Industrial Engineering*, **30**(4), pp. 905-917 (1996).
22. Karimi-Nasab, M. and Aryanezhad, M.B. "A multi-objective production smoothing model with compressible operating times", *Applied Mathematical Modelling*, **35**(7), pp. 3596-3610 (2011).
23. Ramezani, R., Rahmani, D. and Barzinpour, F. "An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search", *Expert Systems with Applications*, **39**(1), pp. 1256-1263 (2012).
24. Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A. and Yeganeh, J.A. "A parameter-tuned genetic algorithm for multi-product economic production quantity model with space constraint, discrete delivery orders and shortages", *Advances in Engineering Software*, **41**(2), pp. 306-314 (2010).