فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۹۴، بهار ۱۳۹۹، ۱۴۰-۱۰۷

توسعه مدل مدیریت موجودی چند محصولی با در نظر گرفتن امکان سفارش‌گذاری همزمان محصولات در یک زنجیره تامین چند سطحی و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

سعید قورچیانی*

مرتضی خاکزار بفروئی**

دریافت: ۹۷/۷/۳ پذیرش: ۹۷/۱۱/۸

زنجیره تامین / مدیریت موجودی / چند محصولی / الگوریتم ژنتیک / سفارش‌دهی همزمان

چکیده

طی سال‌های اخیر بررسی عملکرد یکپارچه تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان که اجزای زنجیره‌های تامین را تشکیل می‌دهند یکی از زمینه‌هایی است که توجه زیادی به آن شده است، همچنین با توجه به اینکه میزان قابل توجهی از دارایی شرکت‌ها در میزان موجودی در گردش آنها نهفته است، مدیریت موجودی با هدف حداقل کردن هزینه‌های کل زنجیره و هزینه تمام شده محصول نهایی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد، در این مقاله یک مدل ریاضی برای مدیریت موجودی چند محصولی در زنجیره تامین سه سطحی متشکل از چند تامین‌کننده، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش ارائه می‌شود که درآن امکان سفارش‌گذاری همزمان محصولات برای هریک از خرده‌فروشها نیز در نظر گرفته شده است و پارامترهای مهمی همچون میزان بهینه سفارش‌دهی مواد اولیه، میزان بهینه تولید

*. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، پژوهشکده توسعه تکنولوژی ghourchiany@jdsharif.ac.ir

**. استادیار، پژوهشکده توسعه تکنولوژی khakzar@jdsharif.ac.ir

■ سعید قورچیانی، نویسنده مسئول.

محصولات و میزان و زمان بهینه سفارش محصولات توسط خرده‌فروش‌ها در هر یک از سطوح زنجیره، با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های مدیریت موجودی در زنجیره تامین تعیین می‌گردد، با توجه به پیچیدگی‌های مدل ریاضی مساله، برای تعیین جواب بهینه مساله، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک مورد استفاده قرار گرفته است، با ارائه مثال عددی مدل و روش حل مساله تحلیل شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

با وجود تلاش‌های فراوان جهت مؤثرسازی عملکردهای داخلی، شرکت‌های تولیدی به دنبال یافتن راه‌های جدید به منظور تقویت جایگاه خود در مقایسه با سایر رقبا در بازار می‌باشند. در شرایط محیطی بازار فعلی که دارای ویژگی‌هایی همچون ظهور تکنولوژی‌های با پیشرفت سریع و مشتریان با تقاضای در حال افزایش و غیرقطعی می‌باشد، شرکت‌های موجود در یک زنجیره تامین ملزم به همکاری و تعاون به منظور جلب رضایت و برآورده‌سازی نیازهای مشتریان به شکل بهتری نسبت به رقبای خود می‌باشند. در نتیجه مثل گذشته، رقابت صرفاً بین شرکت‌های مستقل وجود ندارد بلکه این رقابت بین گروهی از شرکت‌های به هم مرتبط و در سطحی بالاتر بین تمامی زنجیره‌های تأمین گسترش یافته است.

مدیریت زنجیره تأمین یک ابزار مهم جهت هماهنگ‌سازی عملیات‌های زنجیره تأمین است که شامل مدیریت اطلاعات و جریان مواد بالادستی و پایین‌دستی (ورودی و خروجی) می‌باشد و از منظر عملیاتی، مدیریت زنجیره تأمین یعنی یکپارچه کردن تأمین‌کنندگان، سازندگان، انبارها و مراکز ذخیره‌سازی به شکلی اثربخش به طوری که کالاها در مقدار صحیح، در زمان مناسب و در محل مناسب، تولید و توزیع شود و هزینه کل زنجیره بطور همزمان با بهبود سطح خدمت‌دهی به مشتری، حداقل گردد. به این ترتیب، یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین، برنامه‌ای است که عملیات‌ها و کارکردهای اعضای زنجیره تأمین را هماهنگ نموده و منافع سیستم را بهبود می‌بخشد. زمانیکه اعضای زنجیره تامین متشکل از عناصر و شرکت‌های مستقلی هستند، این برنامه عملیاتی باید شامل یک الگوی پویا برای تخصیص مناسب منافع ناشی از هماهنگ‌سازی بین اعضای زنجیره باشد تا آنها را به برقراری همکاری در سطح زنجیره ترغیب نماید.

روشن است که شبکه‌های تولید در بازار فعلی تحت شرایط عدم قطعیت عمل می‌نمایند که این امر در نتیجه وجود زمان‌های تحویل غیرقطعی در بخش تولیدکننده و همچنین وجود تقاضای غیرقطعی در بخش خریداران می‌باشد. جهت حصول اطمینان از اینکه تقاضای مشتریان بدون بروز تأخیر برآورده شود، لازم است مقداری موجودی در زنجیره تأمین نگهداری شود که این امر کمک به پاسخگویی به تأثیر حوادث تصادفی می‌نماید.

از طرفی مدیریت موجودی یکی از اجزای مدیریت زنجیره تامین است که برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل موثر و اثربخش جریان مستقیم و معکوس کالا و خدمت و همچنین اطلاعات

مربوط بین بخش‌های مختلف را به منظور برآورده کردن الزامات مشتری بر عهده دارد[1]. مدیریت موجودی می‌تواند سهم به سزایی در کاهش هزینه‌ها داشته باشد،از این رو مباحث مدیریت موجودی به طور فزاینده‌ای مورد توجه محققین قرار گرفته است. به‌عنوان مثال تعداد مقالاتی که تا سال ۲۰۱۴ در پایگاه scopus به چاپ رسیده است بالغ بر ۲۴۰۰ مقاله علمی می‌باشد و جستجوی عبارات مربوط به مدیریت موجودی در سایت Google Scholar در این سال بالغ بر ۴۰۳۰۰ نتیجه در بر دارد[2]. با توجه به اهمیت مدیریت موجودی به ویژه در زنجیره‌های تامین چند سطحی، در این مقاله نسبت به توسعه مدل‌های مدیریت موجودی چند محصولی در زنجیره‌های تامین چند سطحی پرداخته می‌شود، مدل‌های ارائه شده با واقعیت‌های موجود در بازار تطبیق یافته است.

مساله ارائه شده در این مقاله می‌تواند به‌صورت گسترده‌ای در سیستم‌های تولید و توزیع محصولات بر مبنای خرده‌فروشی مورد استفاده قرار گیرد و به شکل قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش هزینه‌های مدیریت موجودی شود و نهایتاً منجر به خدمت‌رسانی هر چه بهتر به مشتریان گردد و مزیت‌های رقابتی برای اعضای زنجیره به منظور تثبیت در بازار را فراهم آورد.

سازمان‌دهی مقاله حاضر به این صورت است که پس از مقدمه، پیشینه تحقیق در بخش اول ارائه می‌شود، در بخش دوم مدل‌سازی ریاضی مساله انجام می‌شود، در بخش سوم الگوریتم حل مساله ارائه می‌گردد، در بخش چهارم، مدل ریاضی با بکارگیری یک مثال عددی تعیین و الگوریتم حل و نتایج تحلیل می‌شود، در بخش آخر جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

۱. پیشینه تحقیق

با توجه به گستردگی تحقیقات انجام شده در حوزه مدیریت موجودی، در ادامه به طور مختصر به مرور برخی تحقیقات مرتبط انجام شده بر روی مدل‌های مدیریت موجودی در زنجیره‌های تامین چند سطحی پرداخته می‌شود. یکی از اولین مدل‌هایی که به تحلیل بیش از دو عضو در سیستم یکپارچه موجودی پرداخته است توسط جوگلکار و تارتیر (۱۹۹۰)[3] ارائه گردید، مساله

1. Singh & Verma (2018).
2. Glock(2014).
3. Joglekar & Tharthare (1990)

ارائه شده شامل یک فروشنده و چندین خریدار یکسان می‌باشد، در این مدل فرض شده است که سفارشات به‌صورت همسان در افق برنامه‌ریزی توزیع گردیده است، نسخه تغییریافته این مدل توسط بنرژی و برتون (۱۹۹۴)[1] پیشنهاد گردید. آنها نیز مدلی برای یک فروشنده و چند خریدار پیشنهاد دادند با این تفاوت که خریداران را به‌صورت غیریکسان درنظر گرفتند. به منظور جلوگیری از بروز کمبود در موجودی فروشنده به جهت برداشت‌های غیریکسان، سیکل تحویل یکسان برای همه خریداران در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده است که سیکل تولید خریدار نیز ضریب عدد صحیح سیکل تحویل باشد.این مدل توسط سیاجادی و همکاران (۲۰۰۶)[2] بسط داده شد. آنها فرض کردند که زمان دوره سفارش برای هر خریدار برابر با زمان سیکل تولید بوده و فروشنده امکان تحویل بسته‌های ارسالی هم‌اندازه به هر یک از خریداران را داشته باشد. نویسندگان نشان دادند که ترتیبی که طبق آن خریداران سفارش‌دهی خود را انجام می‌دهند روی هزینه کل سیستم اثرگذار می‌باشد، همچنین در این مدل فرض شده است که فروشنده بسته‌های ارسالی با اندازه یکسان برای خریداران ارسال می‌نماید و متناسب با اولین ارسال، سایر ارسال‌ها باید به ترتیب صورت پذیرد، همچنین نشان دادند که برای فروشنده ارسال بسته‌ها به خریداران به محض تکمیل سفارش مربوطه، سودمند خواهد بود. چن و همکاران (۲۰۱۰)[3] یک سیستم مشابه را مورد مطالعه قرار دادند که در آن توافق مدیریت موجودی کل زنجیره توسط فروشنده به کار گرفته شده است و فرض شده است که میزان تقاضا در سمت خریدار به قیمت و سطح موجودی حساس بوده و به‌علاوه موجودی با محدودیت بروز فساد و خرابی نیز مواجه می‌باشد. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که به‌کارگیری سیستم مدیریت توسط فروشنده منجر به قیمت خرده‌فروشی پایین‌تر و سطح موجودی بالاتر می‌گردد. در نتیجه سیستم مدیریت توسط فروشنده به خصوص در حالتی که تقاضا به شکل فزاینده‌ای حساس به قیمت و اندازه موجودی است و نرخ فسادپذیری نیز پایین باشد، سودمند خواهد بود. توسعه دیگر برای مدل بنرژی و برتون (۱۹۹۴)[4] توسط چان و کینزمن (۲۰۰۷)[5] ارائه گردید. در این تحلیل فرض شده است که فروشنده یک سیکل زمانی پایدار را به کار گرفته و سیکل سفارش‌دهی هر خریدار یک ضریب

1. Banerjee & Burton(1994)
2. Siajadi et al (2006)
3. Chen et al (2010)
4. Banerjee & Burton(1994)
5. Chan & Kingsman (2007)

صحیح از سیکل پایدار اولیه می‌باشد. این حالت انعطاف‌پذیری بیشتری به سیستم می‌دهد، از این رو خریداران با نرخ تقاضای کم می‌توانند دوره‌های جایگزینی بلندمدت را به کار گیرند..مسأله یک فروشنده و چند خریدار توسط هوک (۲۰۰۸)[1] نیز مورد بررسی قرار گرفته است، ایشان سیاست‌های حمل و نقل متفاوت درخصوص خریداران غیرهمسان را مورد بررسی قرار داده است، در مدل اول فرض شده است که فروشنده بسته‌های با اندازه یکسان را برای خریدار به محض اتمام فرآیند ساخت ارسال می‌نماید، درصورتی که در مدل دوم، اندازه سفارشات ارسالی یکسان به خریدار به محض اتمام موجودی در قسمت خریدار ارسال می‌گردد. مدل سوم شامل یک ترکیب بین این دو استراتژی می‌باشد و فرض می‌کند که اندازه دو بسته ارسالی متوالی با یک فاکتور ثابت افزایش می‌یابد. مطالعات عددی نشان می‌دهد که مدل سوم بهترین عملکرد را دارا می‌باشد به خصوص برای حالتی که تفاوت‌های زیادی بین هزینه‌های نگهداری در قسمت فروشنده و خریدار وجود دارد، همچنین دو مدل دیگر به تنهایی منجر به بروز هزینه‌های سیستمی بالاتر برای اغلب پارامترها می‌گردد. بیلکا (۱۹۹۹)[2]، پارامترهای مدل دینامیکی را در سیستم یک فروشنده و چند خریدار در نظرگرفت و فرض کرد تقاضا در مورد فروشنده و خریدار دارای توالی دوره‌ای می‌باشد، مطالعات او نشان داد که مسأله می‌تواند به‌صورت یک شبکه هدایت‌شده محدود فرموله شده و معادل یافتن ارزانترین مسیر در یک شبکه باشد که در آن مسیرها با برنامه‌های تولید در تطابق است. درویش و اودا (۲۰۱۰)[3] یک زنجیره تأمین تحت شرایط مدیریت توسط فروشنده را مدلسازی نمود که در آن برای خرده‌فروشان هیچ هزینه سفارش‌دهی وجود ندارد، نویسندگان فرض نموده‌اند که خرده‌فروشان یک حد بالایی برای سطح موجودی خود در نظرگرفته‌اند و شرایطی که سطح موجودی از حد بالای آن تجاوز نماید، فروشنده جریمه می‌شود. نویسندگان نشان داده‌اند که درصورتی که برخی از خرده‌فروشان به سطح هزینه‌های اقتصادی راه‌اندازی برسند و هزینه جریمه درنظر گرفته شده برای فروشنده نیز خیلی زیاد نباشد، این حالت حتی در صورت عبور از حد بالای درنظرگرفته شده، برای فروشنده و زنجیره سودمند است.

زنجیره تأمین شامل یک فروشنده و چند خریدار که در آن تمامی متغیرهای تصمیم‌گیری عدد

1. Hoque (2008)
2. Bylka (1999)
3. Darwish & Odah (2010)

صحیح می‌باشند نیز نهایتاً توسط چانگ و همکاران (۲۰۰۸)[1] مورد مطالعه قرار گرفت، یکی از مدل‌هایی که در آن بیش از یک فروشنده درنظر گرفته شده است، توسط چن و سارکر (۲۰۱۰)[2] ارائه شده است، در این مدل فرض شده است که خریدار تأمین محصولات خود را از چندین فروشنده انجام می‌دهد، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نرخ باربری در تابع هزینه‌های زنجیره، مهم بوده و نرخ‌های باربری بالاتر منجر به اندازه‌های تحویل بزرگتر و تعداد دفعات ارسال کمتر می‌گردد، در عین حال اندازه تولید تحت تأثیر هزینه‌های تحویل قرار نمی‌گیرد.

بنرژی و کیم (۱۹۹۵)[3] یکی از اولین مدل‌های یکپارچه که مدیریت موجودی بیش از دو عضو در زنجیره‌تامین شامل یک خریدار، یک تولیدکننده و یک تامین‌کننده را بررسی کردند. یک زنجیره تأمین پیچیده‌تر توسط خوجا (۲۰۰۳)[4] در نظر گرفته شده است که در آن سیستمی متشکل از یک تأمین‌کننده مواد اولیه، چند تولیدکننده و چند خریدار وجود دارد، به منظور هماهنگ‌سازی تصمیمات مدیریت موجودی در زنجیره تأمین دو روش هماهنگ‌سازی مورد تحلیل قرار گرفته است، در روش اول فرض شده است که زمان سیکل جایگزینی موجودی مساوی در هر سطح وجود دارد. در صورتیکه در روش دوم زمان جایگزینی موجودی در هر سطح ضریب صحیح از زمان جایگزینی سطح مجاور پایین‌دستی می‌باشد. بسط و گسترش این مدل توسط بندایا و الناصر (۲۰۰۸)[5] پیشنهاد گردید که در این مدل چند تأمین‌کننده در مرحله اول در نظر گرفته شده است، تحلیل انجام شده محدود به روش دوم است که در آن زمان سیکل در هر سطح معادل ضریب صحیحی از زمان سیکل سطح مجاور در نظر گرفته شده است. در مطالعات عددی انجام شده نشان داده شده است که هزینه‌های کل سیستم به شکل قابل توجهی در مقایسه با سیاست اتخاذ شده مدل پیشین کاهش یافته است، همچنین نسبت به حالتی که سیکل یکنواخت برای کل زنجیره تأمین وجود دارد نیز نتایج بهتری حاصل شده است.

وجود تجهیزات تولیدی متعدد در قسمت تولید توسط کیم و همکاران (۲۰۰۵)[6] مورد تحلیل قرار گرفته است، مدل آنها شامل یک تأمین‌کننده مواد اولیه، یک تولیدکننده و یک خریدار

1. Chang et al (2008)
2. Chen & Sarker(2010)
3. Banerjee and Kim (1995)
4. Khouja (2003)
5. Bendaya & Al-Nassar (2008)
6. Kim et al. (2005)

می‌باشد، هدف مدل تعیین سیکل‌های سفارش‌دهی، تولید و برنامه تخصیص تولید می‌باشد. مدل بسط‌یافته این مسأله که شامل چند محصول می‌باشد در مقاله کیم و هانگ (۲۰۰۸)[1] انجام شده است، توزیع‌کنندگان که واسط بین فروشنده و خریدار هستند نیز توسط وی و یانگ (۲۰۰۴)[2] در نظر گرفته شده است که در آن یک فروشنده تحویل محصولات به چند توزیع‌کننده را بر عهده دارد و توزیع‌کنندگان وظیفه تأمین محصولات به هر یک از خریداران را بر عهده دارند، چانگ (۲۰۰۸)[3] یک زنجیره تأمین شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و یک متصدی مربوط به اقلام خرابی را در نظر گرفته است و مدلی ارائه داده که سود کل سیستم را حداکثر می‌سازد. این مدل توسط یانگ و همکاران (۲۰۰۷)[4] توسعه یافته است که در آن چند سیکل تولید و بازتولید به مدل اضافه گردیده است. سلیامان (۲۰۰۸)[5] نیز یک زنجیره چند مرحله‌ای با یک تأمین‌کننده را در نظر گرفته است و فرض کرده است که هر عضو زنجیره می‌تواند چندین متقاضی در سطوح پایین‌دستی خود داشته باشد. سارکر و بالان (۱۹۹۹)[6] یک زنجیره تامین چند سطحی را بررسی کرده‌اند که در آن برای نرخ تقاضا و نرخ تولید توابع خطی در نظر گرفته شده است، چانگ (۲۰۰۸)[7] مدل موجودی یک زنجیره تامین چند سطحی با چند تامین‌کننده را بررسی کردند که در آن امکان وجود اندازه‌های سفارش‌گذاری مختلف وجود داشت، یونفی و همکاران (۲۰۱۵)[8] یک چارچوب بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی را برای یک سیستم مدیریت موجودی در شرایط عدم قطعیت در یک زنجیره تامین چند سطحی ارائه کردند، ژو و همکاران (۲۰۱۷)[9] مدل مدیریت موجودی یک زنجیره تامین چند سطحی با در نظر گرفتن سه نوع تقاضا را بهینه‌سازی کردند، امیری و همکاران (۲۰۱۷)[10] یک مساله مدیریت موجودی و مکان یابی چند منبعی را در یک زنجیره تامین چند سطحی با تقاضای احتمالی ارائه کردند.

یک نگاه دقیق‌تر به ادبیات موضوع نشان می‌دهد که شکاف‌های تحقیقاتی در این زمینه

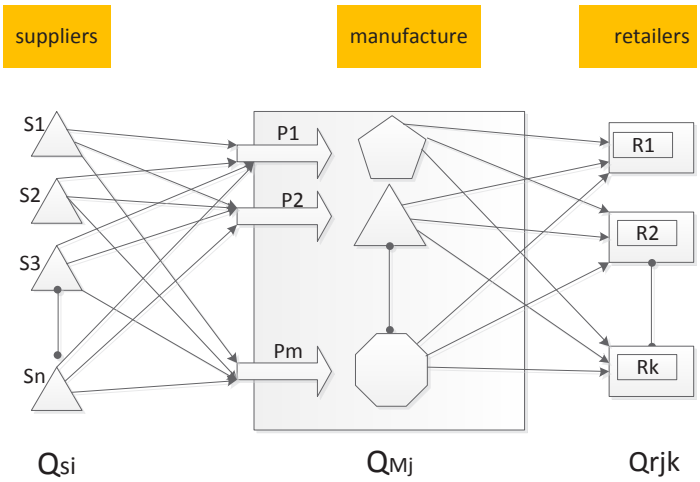
1. Kim & Hong (2008)
2. Wee & Yang (2004)
3. Chung (2008)
4. Yang et al. (2007)
5. Seliaman (2008)
6. Sarker & Balan (1999)
7. Chung (2008)
8. Yunfei (2015)
9. Zhuo (2017)
10. Amiri (2017)

همچنان باقیمانده است که نیاز است در تحقیقاتی آتی به آنها توجه شود، از جمله اینکه تحقیقات عمدتاً بر زنجیره‌های تأمین کوچک متمرکز می‌باشد و عمده تحقیقات، زنجیره‌های تامین تک محصولی را مورد بررسی قرار داده‌اند، در صورتی که در دنیای واقع، زنجیره‌های تامین عمدتاً به‌صورت چند محصولی می‌باشد، لذا در این مقاله جهت تطبیق بیشتر با فضای واقعی، توسعه مدل‌های چند کالایی در زنجیره تامین چند سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مدل‌سازی مساله

در بخش قبل برخی مقالات ارائه شده در زمینه زنجیره‌های تامین چند سطحی و چند عضوی مورد بررسی قرار گرفت، در این مقاله راه کارهای توسعه مدل‌های مدیریت موجودی برای زنجیره‌های تامین چند سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرد، مساله در نظر گرفته شده مدیریت موجودی یک زنجیره چند سطحی و چند محصولی است و اجزای اصلی این زنجیره شامل بخش تامین‌کنندگان، یک تولیدکننده و بخش خرده‌فروشان می‌باشد، در این زنجیره امکان سفارش‌گذاری همزمان محصولات در هر یک از خرده‌فروش‌ها در نظر گرفته شده است، همچنین هر یک از تامین‌کنندگان وظیفه تامین یکی از قطعات یا مواد اولیه را برعهده دارد و پس از ارسال قطعات به قسمت تولید، ترکیب درصدی از قطعات و مواد اولیه تبدیل به محصولات نهایی شده و به قسمت خرده‌فروشان ارسال می‌شوند و در نهایت محصولات در بازارهای مصرف به دست مشتریان نهایی رسیده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مدل علاوه بر تعیین مقادیر بهینه میزان سفارش مواد اولیه، مقادیر بهینه میزان تولید محصولات و میزان سفارش بهینه خرده‌فروش‌ها و همچنین زمان‌های سفارش‌گذاری محصولات در قسمت خرده‌فروش‌ها نیز تعیین می‌گردد.

در این مقاله ابتدا مدل ریاضی مدیریت موجودی این مساله ارائه می‌شود در ادامه برای تعیین جواب‌های بهینه مساله، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک بکار گرفته می‌شود و در خاتمه با ارائه مثال عددی روش حل مساله پیاده‌سازی می‌گردد، نمای شماتیک این مساله مطابق نمودار (۱) می‌باشد.



نمودار۱ - نمای شماتیک مساله

فرضیات مساله

همانطور که گفته شد مساله در نظر گرفته شده مدیریت موجودی یک زنجیره سه سطحی و چند محصولی می‌باشد و اجزای اصلی این زنجیره شامل چند تامین‌کننده، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش می‌باشد و فرضیات زیر برای این مساله در نظر گرفته شده است :

i. مساله به‌صورت چند محصولی در نظر گرفته شده است و مدیریت یکپارچه موجودی محصولات در سطوح مختلف زنجیره به‌صورت همزمان مورد نظر می‌باشد.

ii. فرض شده است که در قسمت خرده‌فروشی، سفارش‌گذاری محصولات به‌صورت همزمان انجام می‌شود.

iii. فرض شده است که هر یک از تامین‌کننده‌ها تنها وظیفه تامین یکی از قطعات یا مواد اولیه را بر عهده دارد.

iv. در این مساله تعداد n قطعه اولیه از تامین‌کننده‌ها دریافت شده و در بخش تولید، تبدیل به تعداد m محصول نهایی می‌گردد و محصولات تولید شده به تعداد k خرده‌فروش ارسال می‌گردد، نهایتاً هر یک از محصولات در بازار مربوط به خود به دست مشتریان نهایی رسیده و مصرف می‌گردند.

v. مقدار تقاضا در هر سطح به‌صورت قطعی در نظر گرفته شده است.

vi. هزینه‌های نگهداری، آماده‌سازی و سفارش‌دهی در هر سطح زنجیره متفاوت می‌باشد.

vii. زمان‌های تحویل بین تامین‌کننده‌ها، تولیدکننده و خرده‌فروش‌ها ناچیز در نظر گرفته شده است.

viii. امکان بروز کمبود وجود ندارد.

تعریف جزئیات توابع هدف، هزینه‌های موجودی و متغیرهای مساله در هر یک از سطوح زنجیره:

i. تابع هدف مساله عبارت از حداقل کردن هزینه برای کل زنجیره به صورت یکپارچه می‌باشد.

ii. متغیرهای تصمیم‌گیری عبارتند از مقدار و زمان سفارش بهینه هر یک از محصولات در قسمت خرده‌فروش‌ها، میزان تولید بهینه هر یک از محصولات در قسمت تولیدکننده، میزان سفارش بهینه هر یک از قطعات اولیه در قسمت تامین‌کننده‌ها می‌باشد.

iii. هزینه‌های قسمت خرده‌فروشی عبارت از هزینه خرید از تولیدکننده، هزینه سفارش‌دهی و هزینه نگهداری محصولات می‌باشد.

iv. هزینه‌های قسمت تولیدکننده عبارت از هزینه خرید تولید، هزینه آماده‌سازی تولید و هزینه نگهداری محصولات می‌باشد.

v. هزینه‌های قسمت تامین‌کننده شامل هزینه خرید، هزینه سفارش‌دهی و هزینه نگهداری مواد اولیه می‌باشد.

فهرست علائم و اختصارات

h_{si} : هزینه نگهداری مواد اولیه تامین‌کننده i ام

C_{si} : هزینه خرید مواد اولیه تامین‌کننده i ام

T_{si} : دوره زمانی مصرف ماده اولیه تامین‌کننده i ام

D_{si} : تقاضای ماده اولیه تامین‌کننده i ام

Q_{si} : مقدار سفارش تامین‌کننده i ام

α_{ij}: درصد مصرف مواد اولیه تامین‌کننده i ام برای تولید محصول j ام

I_i: متوسط موجودی ماده اولیه تامین‌کننده i ام

ACSi: متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان در قسمت تامین‌کننده iام

ACS: متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تمامی تامین‌کننده‌ها

P_j: نرخ تولید محصول jام

h_{mj}: هزینه نگهداری محصول jام در قسمت تولیدکننده

I_j: متوسط موجودی محصول jام

T_{mj}: دوره زمانی تولید و مصرف محصول jام در قسمت تولیدکننده

t_{mj} : دوره زمانی تولید محصول jام در قسمت تولیدکننده

CP_j: هزینه تولید هر واحد از محصول jام برای تولیدکننده

D_{mj}: میزان تقاضای محصول jام

P_{ij} : نرخ تولید محصول jام در قسمت تولیدکننده

Q_{mj} : مقدار تولید محصول jام در قسمت تولیدکننده

ACM_j: متوسط هزینه‌های موجودی محصول jام در واحد زمان در قسمت تولیدکننده

ACM: متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان در قسمت تولیدکننده

D_{cjk} : تقاضای مشتری نهایی از خرده‌فروش kام برای محصول jام

h_{rkj}: هزینه نگهداری محصول jام برای خرده‌فروش kام

T_{rkj} : دوره زمانی محصول jام برای خرده‌فروش kام

D_{rkj} : میزان تقاضای محصول jام در خرده‌فروش kام

Q_{rkj} : مقدار سفارش در خرده‌فروش

ACR_k: متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان در قسمت خرده‌فروش kام

ACR: متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تمام خرده‌فروش ها

ACT: متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای کل زنجیره

K_r: تعداد دفعات سفارش‌دهی برای تحویل مواد اولیه در قسمت تامین‌کننده

m_j: تعداد دفعات ارسال محصول jام به خرده‌فروش‌ها در یک سیکل زمانی تولید

f_j: تعداد دفعات ارسال محصول jام به خرده‌فروش‌ها در زمان تولید یک سیکل زمانی تولید

n_j: تعداد دفعات ارسال ماده اولیه iام در هر سیکل سفارش‌دهی تامین‌کننده iام

Z: ماتریس ضرایت متغیرها در ماتریس هسیان تابع هدف

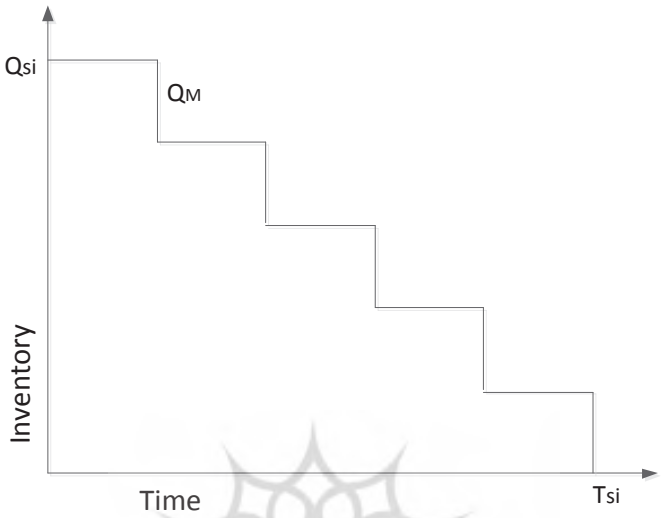
λ: مقادیر ویژه ماتریس ضرایت متغیرها در ماتریس هسیان تابع هدف

T_{rjk}: سیکل زمانی سفارش‌دهی محصول jام در خرده‌فروشی kام

T_{rk} : سیکل زمانی سفارش‌دهی همزمان تمامی محصولات در خرده‌فروشی kام

مدل‌سازی سیستم موجودی تامین‌کننده i

سطح موجودی ماده اولیه در قسمت تامین‌کننده شماره i ام در هر زمان مطابق نمودار (۲) می‌باشد.



نمودار ۲- نمودار موجودی ماده اولیه در قسمت تامین‌کننده

هزینه‌های موجودی در قسمت تامین‌کننده i ام شامل هزینه‌های خرید، سفارش‌دهی و نگهداری می‌باشد که به شرح زیر تعیین می‌گردد:

هزینه خرید ماده اولیه توسط تامین‌کننده i ام

$$C_{si}\, Q_{si} \qquad (1)$$

هزینه سفارش‌دهی ماده اولیه توسط تامین‌کننده i ام

$$A_{si} \qquad (2)$$

ارتباط بین مقدار سفارش ماده اولیه تامین‌کننده i ام و مقدار تولید محصولات:

مقدار سفارش ماده اولیه i ام در هر دوره برابر مجموع ماده اولیه مورد استفاده در محصولات تولیدکننده در نظر گرفته شده است که به‌صورت فرمول زیر در مدل لحاظ شده است.

$$Q_{si} = \sum_j n_i \alpha_{ij} Q_{mj} \qquad (3)$$

متوسط موجودی ماده اولیه توسط تامین‌کننده i ام در هر دوره

$$I_i = (n_i + (n_i - 1) + (n_i - 2) + \cdots + 1) \sum_j \alpha_{ij} Q_{mj} = \frac{T_{si}}{n_i} \frac{1}{2} n_i (n_i + 1) \sum_j \alpha_{ij} Q_{mj} = \frac{1}{2} T_{si} (n_i + 1) \sum_j \alpha_{ij} Q_{mj} \qquad (4)$$

هزینه‌های نگهداری موجودی ماده اولیه توسط تامین‌کننده i ام در هر دوره

$$\frac{1}{2}\mathrm{h_{si}}\,T_{si}(n_i+1)\sum_j \alpha_{ij}Q_{mj} \quad (5)$$

مجموع هزینه‌های موجودی در یک دوره در قسمت تامین کنندگان:

$$\mathrm{C_{si}}\,\mathrm{Q_{si}} + A_{\mathrm{si}} + \frac{1}{2}\mathrm{h_{si}}\,T_{si}(n_i+1)\sum_j \alpha_{ij}Q_{mj} \quad (6)$$

متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تامین‌کننده i ام:

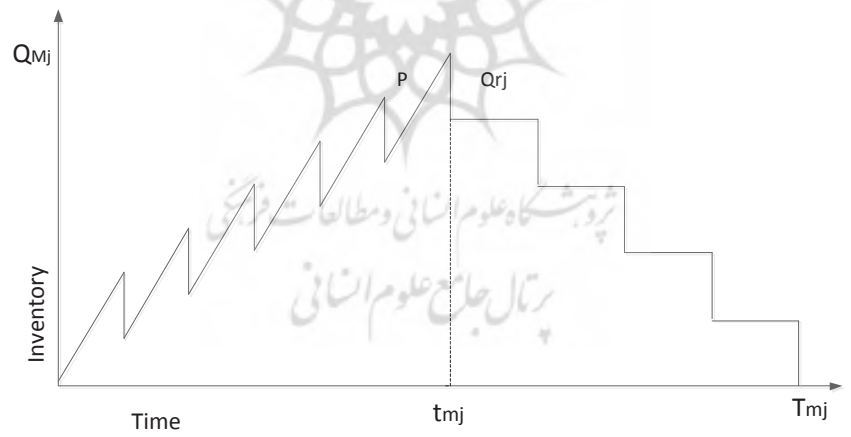
$$ACS_i = \mathrm{C_{si}}\,\frac{\mathrm{Q_{si}}}{T_{si}} + \frac{1}{T_{si}}A_{\mathrm{si}} + \frac{1}{2}\mathrm{h_{si}}\,(n_i+1)\sum_j \alpha_{ij}Q_{mj} \quad (7)$$

متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای همه تامین‌کننده ها:

$$ACS = \sum_i\left(\mathrm{C_{si}}\,\frac{\mathrm{Q_{si}}}{T_{si}} + \frac{1}{T_{si}}A_{\mathrm{si}} + \frac{1}{2}\mathrm{h_{si}}\,(n_i+1)\sum_j \alpha_{ij}Q_{mj}\right) \quad (8)$$

مدل‌سازی سیستم موجودی قسمت تولیدکننده

سطح موجودی محصول j ام در قسمت تولیدکننده در هر زمان مطابق با نمودار (۳) می‌باشد.



نمودار ۳- سطح موجودی محصول j ام

هزینه آماده‌سازی تولید محصول j ام

$$A_{\mathrm{mj}} \quad (9)$$

متوسط موجودی محصول j ام در هر دوره

در تعیین متوسط موجودی لازم است نسبت تعداد دفعات ارسال محصولات در زمان تولید به تعداد

دفعات ارسال محصولات تعیین شود که این نسبت مطابق با رابطه شماره ۱۰ به شرح زیر تعیین می‌گردد

$$Q_{mj}=p_j t_{mj}=p_j \frac{f_j}{m_j} T_{mj}=p_j \frac{f_j}{m_j}\frac{Q_{mj}}{D_{mj}}$$

$$\frac{f_j}{m_j}=\frac{D_{mj}}{p_j} \quad (10)$$

سطح زیر نمودار موجودی محصول jام مطابق با رابطه شماره ۱۱ به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$I_j=\frac{1}{2}p_j(t_{mj})^2-\left(1+2+\cdots+f_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk}\frac{T_{mj}}{m_j}+p_j t_{mj}(T_{mj}-t_{mj})-\left(f_j+f_j+1+\cdots+m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk}\frac{T_{mj}}{m_j}$$

$$=p_j t_{mj}(T_{mj}-\frac{1}{2}t_{mj})-\left(1+2+\cdots+m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk}\frac{T_{mj}}{m_j}$$

$$=p_j\frac{Q_{mj}}{p_j}(1-\frac{1}{2}\frac{D_{mj}}{p_j})T_{mj}-\frac{1}{2}\left(m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk}T_{mj}$$

$$=Q_{mj}(1-\frac{1}{2}\frac{D_{mj}}{p_j})T_{mj}-\frac{1}{2}\left(m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk}T_{mj} \quad (11)$$

هزینه‌های نگهداری موجودی محصول jام در یک دوره:

$$I_j h_{mj}=Q_{mj}(1-\frac{1}{2}\frac{D_{mj}}{p_j})h_{mj}T_{mj}-\frac{h_{mj}}{2}\left(m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk}T_{mj} \quad (12)$$

هزینه‌های نگهداری موجودی محصول jام در واحد زمان:

$$Q_{mj}(1-\frac{1}{2}\frac{D_{mj}}{p_j})h_{mj}-\frac{h_{mj}}{2}\left(m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk} \quad (13)$$

ارتباط بین مقدار سفارش مواد اولیه iام و مقدار تولید محصولات در قسمت تولیدکننده:

$$Q_{si}=\sum_j \alpha_{ij}n_i Q_{mj}=\sum_j \alpha_{ij}n_i\, m_j Q_{rjk} \quad (14)$$

هزینه هر واحد تولید محصول jام:

$$C_{Pj}$$

مجموع هزینه‌های موجودی محصول jام در یک دوره زمانی در قسمت تولیدکننده:

$$C_{Pj}Q_{mj}+A_{\mathrm{mj}}+Q_{mj}(1-\frac{1}{2}\frac{D_{mj}}{p_j})h_{mj}T_{mj}-\frac{h_{mj}}{2}\left(m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk}T_{mj} \quad (15)$$

مجموع هزینه‌های موجودی محصول jام در واحد زمان در قسمت تولیدکننده:

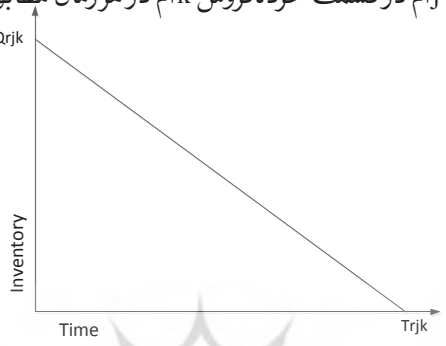
$$ACM_j=C_{pj}\frac{Q_{mj}}{T_{mj}}+\frac{1}{T_{mj}}A_{\mathrm{mj}}+Q_{mj}(1-\frac{1}{2}\frac{D_{mj}}{p_j})h_{mj}-\frac{h_{mj}}{2}\left(m_j-1\right)\sum_1^k Q_{rjk} \quad (16)$$

مجموع هزینه‌های موجودی تمامی محصولات در واحد زمان در قسمت تولیدکننده:

$$ACM = \sum_j (C_{\mathrm{pj}} \frac{Q_{mj}}{T_{mi}} + \frac{1}{T_{mi}} A_{\mathrm{mj}} + Q_{mj}(1 - \frac{1}{2}\frac{D_{mj}}{p_i}) h_{mj} - \frac{h_{mj}}{2}(m_j - 1) \sum_1^k Q_{rjk} \quad (17)$$

مدل‌سازی سیستم موجودی قسمت خرده‌فروش:

سطح موجودی محصول jام در قسمت خرده‌فروش kام در هر زمان مطابق با نمودار (۴) می‌باشد.



نمودار - سطح موجودی محصول jام در قسمت خرده‌فروش kام

هزینه خرید محصول jام در قسمت خرده‌فروش kام:

$$C_{rjk}\, Q_{rjk} \quad (18)$$

هزینه سفارش‌دهی محصول jام در قسمت خرده‌فروش kام:

$$A_{rjk} \quad (19)$$

هزینه‌های نگهداری موجودی محصول jام در قسمت خرده‌فروش kام:

$$\frac{1}{2} h_{rjk}\, Q_{rjk}\, T_{rjk} \quad (20)$$

مجموع هزینه‌های موجودی محصول jام در یک سیکل در قسمت خرده‌فروش kام:

$$ACR_{jk} = C_{rjk}\, Q_{rjk} + A_{rjk} + \frac{1}{2} h_{rjk}\, Q_{rjk}\, T_{rjk} \quad (21)$$

مجموع هزینه‌های موجودی محصول jام در واحد زمان در قسمت خرده‌فروش kام:

$$ACR_{jk} = C_{rjk}\, D_{rjk} + \frac{D_{rjk}}{Q_{rjk}} A_{rjk} + \frac{1}{2} h_{rjk}\, Q_{rjk} \quad (22)$$

مجموع هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تمامی خرده‌فروشان:

$$ACR = \sum_k \sum_j (C_{rjk} D_{rjk} + \frac{D_{rjk}}{Q_{rjk}} A_{rjk} + \frac{1}{2} h_{rjk} Q_{rjk}) \quad (23)$$

مجموع هزینه‌های کل زنجیره:

$$ACT = ACS + ACM + ACR = \sum_i (C_{si} \frac{Q_{si}}{T_{si}} + \frac{1}{T_{si}} A_{si} + \frac{1}{2} h_{si} (n_i + 1) \sum_j \alpha_{ij} Q_{mj}) + \sum_j (C_{mj} \frac{Q_{mj}}{T_{mj}} + \frac{1}{T_{mj}} A_{mj} + Q_{mj} (1 - \frac{1}{2} \frac{D_{mj}}{p_j}) h_{mj} - \frac{h_{mj}}{2} (m_j - 1) \sum_1^k Q_{rjk} + \sum_k \sum_j (C_{rjk} D_{rjk} + \frac{D_{rjk}}{Q_{rjk}} A_{rjk} + \frac{1}{2} h_{rjk} Q_{rjk}) \quad (24)$$

مقدار تولید بهینه محصول jام در قسمت تولیدکننده برابر با برابر مجموع سفارش این محصول در قسمت خرده‌فروش‌ها می‌باشد که مطابق با رابطه ۲۵ تعیین می‌شود:

$$Q_{mj} = m_j \sum_1^k Q_{rjk} \quad (25)$$

مقدار سفارش بهینه ماده اولیه iام برابر با برابر مجموع سفارش این ماده در قسمت تولیدکننده برای تمامی محصولات می‌باشد که مطابق با رابطه ۲۶ تعیین می‌شود:

$$Q_{si} = \sum_j \alpha_{ij} n_i Q_{mj} = \sum_j \alpha_{ij} n_i \; m_j \sum_1^k Q_{rjk} = \sum_j \sum_k \alpha_{ij} n_i m_j Q_{rjk} \quad (26)$$

مقدار تقاضای محصول jام در قسمت تولیدکننده برابر با مجموع تقاضای این محصول در قسمت خرده‌فروش‌ها می‌باشد که مطابق با رابطه ۲۷ تعیین می‌شود:

$$D_{mj} = \sum_k D_{rjk} \quad (27)$$

مقدار تقاضای ماده اولیه iام برابر با مجموع میزان استفاده این ماده در قسمت تولیدکننده می‌باشد که مطابق با رابطه ۲۸ تعیین می‌شود:

$$D_{si} = \sum_j \alpha_{ij} D_{mj} = \sum_j \sum_k \alpha_{ij} D_{rjk} \quad (28)$$

دوره زمانی تولیدکننده مطابق با رابطه ۲۹ به شرح زیر تعیین می‌گردد.

$$T_{mj} = \frac{Q_{mj}}{D_{mj}} = \frac{m_j \sum_1^k Q_{rjk}}{\sum_k D_{rjk}} \quad (29)$$

دوره زمانی تولیدکننده مطابق با رابطه ۳۰ به شرح زیر تعیین می‌گردد.

$$T_{si} = \frac{Q_{si}}{D_{si}} = \frac{Q_{si}}{\sum_j \alpha_{ij} D_{mj}} = \frac{\sum_j \sum_k \alpha_{ij} n_i m_j Q_{rjk}}{\sum_j \sum_k \alpha_{ij} D_{rjk}} \quad (30)$$

با جایگزین کردن روابط فوق، تابع هدف مساله به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$ACT = \sum_i \left(\mathrm{C_{si}} \sum_j \sum_k \alpha_{ij} D_{rjk} + \frac{\sum_j \sum_k \alpha_{ij} D_{rjk}}{\sum_j \sum_k \alpha_{ij} n_i m_j Q_{rjk}} A_{\mathrm{si}} + \frac{1}{2} \mathrm{h_{si}} (n_i + 1) \sum_j \sum_k \alpha_{ij} m_j Q_{rjk} \right) + \sum_j \left((C_{\mathrm{mj}} \sum_k D_{rjk} + \frac{\sum_k D_{rjk}}{m_j \sum_1^k Q_{rjk}} A_{\mathrm{mj}} + m_j \sum_1^k Q_{rjk} (1 - \frac{1}{2} \frac{\sum_k D_{rjk}}{p_j}) h_{mj} - \frac{h_{mj}}{2} (m_j - 1) \sum_1^k Q_{rjk} \right) + \sum_k \sum_j (\mathrm{C_{rjk}} D_{\mathrm{rjk}} + \frac{D_{\mathrm{rjk}}}{\mathrm{Q_{rjk}}} A_{\mathrm{rjk}} + \frac{1}{2} \mathrm{h_{rjk}} \mathrm{Q_{rjk}}) \quad (31)$$

با توجه به اینکه در شرایط واقعی، سفارش‌گذاری محصولات توسط خرده‌فروشان به صورت همزمان انجام می‌شود، یکی از راه‌های توسعه مدل در نظرگرفتن این شرایط می‌باشد، و این موضوع منجر به کاربردی‌تر شدن مدل خواهد شد.

در این حالت تمامی محصولات در هر خرده‌فروشی به صورت همزمان سفارش داده می‌شوند. در نتیجه رابطه زیر در خصوص زمان سفارش‌دهی محصولات وجود خواهد داشت:

$$T_{rjk} = T_{rk} \text{ for } \forall k \quad (32)$$

ضمناً با توجه به اینکه در این حالت متغیر تصمیم‌گیری در قسمت خرده‌فروشی می‌باشد، از رابطه زیر جهت تبدیل متغیرهای قسمت خرده‌فروشی استفاده می‌شود:

$$\mathrm{Q_{rjk}} = D_{rjk} T_{rk} \quad (33)$$

مجموع هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تمامی خرده‌فروشان:

$$ACR = \sum_k \sum_j (\mathrm{C_{rjk}} D_{rjk} + \frac{1}{T_{rk}} A_{\mathrm{rjk}} + \frac{1}{2} \mathrm{h_{rjk}} D_{rjk} T_{rk}) \quad (34)$$

مجموع هزینه‌های کل زنجیره:

$$ACT = \sum_i \left(\mathrm{C_{si}} \sum_j \sum_k \alpha_{ij} D_{rjk} + \frac{\sum_j \sum_k \alpha_{ij} D_{rjk}}{\sum_j \sum_k \alpha_{ij} m_j D_{rjk} T_{rk}} A_{\mathrm{si}} + \frac{1}{2} \mathrm{h_{si}} (n_i + 1) \sum_j \sum_k \alpha_{ij} m_j D_{rjk} T_{rk} \right) + \sum_j \left((C_{\mathrm{mj}} \sum_k D_{rjk} + \frac{\sum_k D_{rjk}}{m_j \sum_1^k D_{rjk} T_{rk}} A_{\mathrm{mj}} + m_j \sum_1^k D_{rjk} T_{rk} (1 - \frac{1}{2} \frac{\sum_k D_{rjk}}{p_j}) h_{mj} - \frac{h_{mj}}{2} (m_j - 1) \sum_1^k D_{rjk} T_{rk} \right) + \sum_k \sum_j (\mathrm{C_{rjk}} D_{rjk} + \frac{1}{T_{rk}} A_{\mathrm{rjk}} + \frac{1}{2} \mathrm{h_{rjk}} D_{rjk} T_{rk}) \quad (35)$$

همانطور که مشخص این حالت متغیر تصمیم‌گیری در قسمت خرده‌فروشی می‌باشد و پس از حل مدل با استفاده از فرمول (۲۵، ۲۶ و ۳۳) مقدار سفارش هریک از محصولات در تمامی سطوح زنجیره تعیین خواهد شد.

۳. الگوریتم حل مساله

با توجه به اینکه این مساله یک مساله برنامه‌ریزی غیر خطی با متغیرهای مختلط می‌باشد و

برای مساله‌های بزرگ امکان حل آن در یک زمان معقول وجود ندارد، در این مقاله از ترکیب الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و روش جستجوی قطعی گرادیان جهت تعیین جواب‌ها استفاده می‌شود. جهت تعیین مقادیر بهینه متغیرهای عدد صحیح مساله از الگوریتم ژنتیک و جهت تعیین متغیرهای حقیقی مساله نیز از روش جستجوی گرادیان به‌صورت همزمان استفاده می‌شود، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با توجه به اینکه تمامی فضای جواب را جستجو می‌کند و در دام جواب‌های محلی قرار نمی‌گیرد، در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته شده است، در ادامه نحوه به‌کارگیری این الگوریتم در یک مثال نشان داده می‌شود.

به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک

جمعیت اولیه

الگوریتم ژنتیک با تعدادی از جواب‌های اولیه شدنی به‌نام جمعیت اولیه شروع به‌کار می‌کند، پس از تعیین سیستم کدینگ، جمعیت اولیه‌ای از کروموزوم‌ها به‌صورت تصادفی از فضای جواب تولید می‌شود. اما گاهی اوقات برای بالا بردن سرعت و کیفیت الگوریتم از روش‌های ابتکاری نیز برای تولید جمعیت اولیه استفاده می‌گردد. در هر صورت عمومی‌ترین و راحت‌ترین روش، استفاده از یک رویکرد تصادفی می‌باشد، که در این مساله نیز از الگوریتم تصادفی برای تولید جواب‌های اولیه استفاده شده است.

کروموزوم

تعداد متغیرهای عدد صحیح در این مدل برابر با مجموع تعداد محصولات m و تعداد مواد اولیه n می‌باشد، به‌عنوان مثال با فرض وجود دو محصول (m=2) و سه ماده اولیه (n=3)، در مساله تعداد پنج متغیر عدد صحیح وجود خواهد داشت و یک کروموزوم پنج تایی می‌تواند در نظر گرفته شود.

عملگر ترکیب Crossover

مهمترین عملگر در الگوریتم ژنتیک، عملگر ترکیب است. ترکیب فرآیندی است که در آن نسل

قدیمی کروموزوم‌ها با یکدیگر مخلوط و ترکیب می‌شوند تا نسل تازه‌ای از کروموزوم‌ها به‌وجود بیاید.

جفت‌هایی که در قسمت انتخاب به‌عنوان والد در نظر گرفته شدند در این قسمت ژن‌هایشان را با هم مبادله می‌کنند و اعضای جدید بوجود می‌آورند. ترکیب در الگوریتم ژنتیک باعث از بین رفتن پراکندگی یا تنوع ژنتیکی جمعیت می‌شود زیرا اجازه می‌دهد ژن‌های خوب یکدیگر را بیابند.

برای ترکیب کروموزوم‌ها و تولید نسل جدید از روش ترکیب دو نقطه‌ای استفاده شده است که کلیات آن به شرح ذیل نشان داده شده است.

After Crossover	Before Crossover
IHD | BCJ | ACBJ	IHD | EFG | ACBJ
HCA | EFG | IBDF	HGA | BCJ | IEDF

عملگر جهش Mutation

برای آنکه الگوریتم ژنیتک سریعاً به یک مقدار بهینه محلی همگرا نشود، عمگر جهش بکار گرفته می‌شود تا تنوع بررسی جواب‌ها و آزادی عمل الگوریتم در بررسی نقاط فضای جواب افزایش یابد.

در واقع عملگر جهش، جواب‌های ممکن دیگری را متولد می‌کند. در الگوریتم ژنتیک بعد از اینکه یک عضو در جمعیت جدید بوجود آمد هر ژن آن با احتمال در نظر گرفته شده، جهش می‌یابد. در عملگر جهش ممکن است ژنی از مجموعه ژن‌های جمعیت حذف شود یا ژنی که تا به حال در جمعیت وجود نداشته است به آن اضافه شود. عملگر جهش یک ژن به معنای تغییر آن ژن است و وابسته به نوع کدگذاری از روش‌های متفاوتی استفاده می‌شود.

در این مقاله برای عملگر جهش نیز از مکانیزم زیر استفاده می‌شود، برای مثال در حالتی که ۵ متغیر عدد صحیح در مساله وجود داشته باشد می‌توان تعداد ۳ موقعیت کاملاً تصادفی در نظر گرفته و با استفاده از اعداد تصادفی، مقداری تصادفی به متغیر مورد نظر (با تعیین بازه عددی برای متغیرها) تخصیص یابد.

برای مثال در صورتی که نقاط انتخاب شده تصادفی، مشابه حالت ذیل باشد، مقادیر هر یک از خانه‌ها تغییر می‌یابد.

عملگر انتخاب Recommand

زمانی که از اپراتورهای ژنتیکی استفاده می‌شود، ممکن است بهترین کروموزوم‌ها از دست بروند. لذا لازم است که به منظور حفظ بهترین اطلاعات هر نسل، نخبگان هر نسل مستقیماً به نسل بعدی انتقال یابند. در واقع، عملگر انتخاب روشی است که برای نگهداری یک کپی از بهترین کروموزوم‌های هر نسل در نسل جدید، بکار گرفته می‌شود و باعث می‌شود که الگوریتم ژنتیک بهبود یابد و زمان همگرایی الگوریتم کوتاه گردد.

در این مساله، در هر تکرار متناسب با هر جمعیت به میزان درصد در نظر گرفته شده، تعدادی از کروموزوم‌هایی که بهترین جواب‌ها را تولید می‌کنند به‌صورت مستقیم به نسل بعدی در تکرار بعد ورود پیدا خواهند نمود.

بعد از آنکه عملگرهای ترکیب و جهش صورت پذیرفت، میزان تابع هدف یا برازندگی برای هر کروموزوم محاسبه می‌شود و سپس کروموزوم‌ها رتبه‌بندی می‌شوند و مجدداً بهترین‌ها انتخاب می‌شوند. معیار توقف که در این مقاله در نظر گرفته شده است تعداد تکرارهای الگوریتم می‌باشد.

ارزش‌گذاری یا محاسبه برازندگی

مقدار تابع هزینه برای کروموزوم‌های هر نسل محاسبه می‌شود، آنگاه بهترین‌های هر نسل برای تولید نسل بعدی انتخاب شده و مابقی حذف می‌گردند. برای تعیین تابع هزینه این مساله، ترکیبی از دو روش الگوریتم ژنتیک و روش گرادیان مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این صورت که مقادیر متغیرهای عدد صحیح مساله با استفاده از الگوریتم ژنیتک تعیین می‌گردد و در تعیین سایر متغیرهای حقیقی مساله از روش گرادیان استفاده می‌شود، الگوریتم تعیین جواب بهینه مساله به شرح ذیل می‌باشد:

گام ۱ : مقادیر m و n را مطابق با کروموزوم فوق و از طریق پارامترهای مربوط به الگوریتم ژنتیک تعیین می‌گردد.

گام ۲: تعیین مقدار متغیرهای Q_{rjk} با استفاده از روش جستجوی چند متغیره گرادیان

گام ۲-۱: مقادیر ε و Q^{0}_{rjk} را تعیین نمایید

گام ۲-۲- تابع هدف بر حسب متغیر t به شرح زیر تعیین کنید

$$f\left(T^0_{rk} + t\nabla f(T^0_{rk})\right) \quad for\ k$$

گام ۲-۳- با استفاده از روش جستجوی یک بعدی مقدار بهینه متغیر t^* را به شکلی تعیین کنید که تابع هدف گام ۲-۳ را بهینه کند.

گام ۲-۴- مقدار $T^0_{rk} = T^0_{rk} + t^*(\frac{\partial f}{\partial T_{rk}})_{T_{rk}=T^0_{rk}}$ و شرط توقف گام ۳-۵ را بررسی کنید.

گام ۲-۵- مقدار مشتق تابع در نقطه $T_{rk} = T^0_{rk}$ در صورتی که شرط زیر برقرار باشد:

$\left|\frac{\partial f}{\partial T_{rk}}\right| \leq \varepsilon\Big|_{T_{rk}=T^0_{rk}} \quad for\ k$، الگوریتم با نقطه T_{rk} بهینه متوقف می‌شود در غیر این صورت مراحل با استفاده از گام ۲-۳ ادامه می‌یابد.

گام ۳ : مقدار تابع هدف با استفاده از مقادیر متغیرهای فوق و مقایر عددی سایر پارامترها مشخص می‌گردد.

گام ۴ : در هر مرحله برای تعداد کروموزوم ایجاد شده، مقدار تابع هدف تعیین شده و مینیمم مقدار تابع هدف ثبت می‌گردد.

گام ۵ : مراحل گام‌های ۱ تا ۳ به تعداد دفعات در نظر گرفته شده تکرار می‌گردد و نهایتا جواب با کمترین میزان هزینه و بهترین عملکرد به‌عنوان جواب بهینه مساله در نظر گرفته می‌شود.

تکرار الگوریتم

به تعداد تکرار که در الگوریتم به آن اشاره شده است، نسل تولید می‌شود و نهایتاً بهترین جواب حاصل شده یا مجموعه‌ای از بهترین جواب‌های حاصل شده به‌عنوان نتیجه نهایی و جواب بهینه مساله معرفی می‌گردند.

طراحی آزمایش‌ها جهت تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک بر اساس مدل تاگوچی

در این تحقیق و در الگوریتم توسعه داده شده، نرخ جهش بصورت ترکیب خطی از سایر پارامترها در نظر گفته شده است، انتخاب ترکیب بهینه پارامترهای الگوریتم ژنیتک در اغلب موارد از طریق سعی و خطا انجام می‌شود که بدلیل تعدد حالات ممکن، این روش بسیار زمانبر می‌باشد،

برای تعیین مقادیر بهینه چهار پارامتر الگوریتم ژنتیک آرایه متعامد تاگوچی L9 به کار گرفته می‌شود، استفاده از این روش در تعیین مقدار بهینه پارمترها توسط محققین بسیاری توصیه شده است. آرایه متعامد L9، نه ترکیب از پارمترهای کنترلی را در سه سطح مختلف برای هر کدام از پارامترها مطابق با جدول (۱) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۱- تعیین سطوح هریک از پارامترهای الگوریتم ژنیتک

Parameter	Range	Level1	Level2	Level3
تعداد تکرار	۵۰-۲۰۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
نرخ ترکیب	۰٫۲۵-۰٫۷۵	۰٫۲۵	۰٫۵	۰٫۷۵
نرخ انتخاب نخبه	۰٫۰۱-۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۵
اندازه جمعیت	۲۰-۱۰۰	۲۰	۵۰	۱۰۰

این الگوریتم برای هر یک از سطوح سه بار تکرار می‌شود، سپس نتایج حاصل از ۲۷ بار اجرای الگوریتم ثبت و مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر پاسخ برای هر یک از سطوح برای مثال فوق در جدول زیرنمایش داده شده است. از آنجائیکه تابع هدف مساله از نوع حداقل‌سازی می‌باشد، نرخ سیگنال نسبت به نویز (SN) برای ارزیابی نتایج آزمایشات انجام شده از طریق رابطه زیر محاسبه شده و شاخص SN تعیین می‌گردد و جوابی مورد انتخاب واقع می‌شود که SN بزرگتری داشته باشد، با اجرای مراحل طراحی آزمایش‌های تاگوچی، نتایج اجرای این الگوریتم مطابق با جدول (۲) می‌باشد:

$$SN = -10LOG\left(\frac{1}{r}\sum_{r=1}^{r} Y_i^2\right)$$

جدول ۲- نتایج اجرای مساله با استفاده از الگوریتم ژنتیک براساس طراحی آزمایش‌های تاگوچی

run	itir	Pc	Pe	pop	y۱	y۲	y۳	SN
۱	۵۰	۰٫۲۵	۰٫۰۱	۲۰	۱۳۱,۳۱۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۱۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۱۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۵۷۲
۲	۵۰	۰٫۵	۰٫۰۳	۵۰	۱۳۱,۳۱۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۲۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۰۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۵۷۲
۳	۵۰	۰٫۷۵	۰٫۰۵	۱۰۰	۱۳۱,۳۲۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۴۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۶۱۰
۴	۱۰۰	۰٫۲۵	۰٫۰۳	۱۰۰	۱۳۱,۳۱۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۱۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۴۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۶۵۷
۵	۱۰۰	۰٫۵	۰٫۰۵	۲۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۴۴۰
۶	۱۰۰	۰٫۷۵	۰٫۰۱	۵۰	۱۳۱,۲۸۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۸۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۴۰۲
۷	۲۰۰	۰٫۲۵	۰٫۰۵	۵۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۲۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۸۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۴۹۷
۸	۲۰۰	۰٫۵	۰٫۰۱	۱۰۰	۱۳۱,۳۳۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۲۰,۰۰۰	۱۳۱,۳۱۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۶۲۰
۹	۲۰۰	۰٫۷۵	۰٫۰۳	۲۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۹۰,۰۰۰	-۱۶۶,۰۴۴۴۰

پاسخ‌ها در سه تکرار (Y۱,Y۲,Y۳) مطابق جدول فوق محاسبه می‌شود و مجموع نرخ SN برای هر یک از سه سطح پارامترهای الگوریتم ژنتیک در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- تعیین مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک با استفاده از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی

	itiration	Pc	Pe	population
۱level	-۴۹۸,۱۳۷۵۴۹۷۷۶۳	-۴۹۸,۱۳۷۲۶۶۲۰۶۳	-۴۹۸,۱۳۵۹۴۳۰۱۵۶	-۴۹۸,۱۳۴۵۲۵۵۱۸۶
۲level	-۴۹۸,۱۳۴۹۹۷۹۵۸۳	-۴۹۸,۱۳۶۳۲۱۰۸۵۲	-۴۹۸,۱۳۶۶۹۹۰۸۸۰	-۴۹۸,۱۳۴۷۱۴۶۳۲۰
۳level	-۴۹۸,۱۳۵۵۶۵۱۴۳۴	-۴۹۸,۱۳۴۵۲۵۵۸۶۴	-۴۹۸,۱۳۵۴۷۰۷۷۴۳	-۴۹۸,۱۳۸۸۷۲۷۲۷۴
optimum	۱۰۰	۰٫۷۵	۰٫۰۵	۲۰

با توجه به جدول فوق ترکیب بهینه چهار پارامتر الگوریتم ژنتیک به‌صورت زیر برای این مساله پیشنهاد می‌شود:

Iteration=100 ; Pc=0.75 ; Pe=0.05 ; population = 20

۴. مثال عددی

الگوریتم حل مساله برای مدل توسعه یافته با درنظر گرفتن سفارش‌دهی همزمان محصولات در قسمت خرده‌فروشی، برای مثال عددی زیر به‌کارگرفته شده است و نتایج حاصله در ادامه نشان داده شده است.

یک زنجیره تامین با سه تامین‌کننده، یک تولیدکننده و چهار خرده‌فروش با پارامترهای ورودی به شرح ذیل در جدول (۴)، به‌عنوان مثال عددی در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- داده‌های عددی پارامترهای مساله در حالت سفارش‌دهی همزمان در قسمت خرده‌فروشی

As_1	As_2	As_3	hs_1	hs_2	hs_3	cs_1	cs_2	cs_3	cm_1	cm_2	P
۳۹۰۰۰	۴۴۸۰۰	۴۶۰۰۰	۱۰	۱۵	۱۲	۶۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰
θ_1	θ_2	α_{11}	α_{21}	α_{31}	α_{12}	α_{22}	α_{32}	Am_1	Am_2	hm_1	hm_2
۵	۶	۳	۴	۳	۴	۳	۵	۲۵۰۰۰	۲۸۴۰۰	۲۲۰	۲۷۰
cr_{11}	cr_{12}	cr_{13}	cr_{14}	cr_{21}	cr_{22}	cr_{23}	cr_{24}	hr_{11}	hr_{12}	hr_{13}	hr_{14}
۵۲۰۰	۵۵۰۰	۶۲۱۰	۶۲۰۰	۶۳۷۰	۵۳۶۰	۶۳۱۰	۵۳۹۰	۲۴۷	۳۵۲	۱۹۴	۲۱۹
hr_{21}	hr_{22}	hr_{23}	hr_{24}	Ar_{11}	Ar_{12}	Ar_{13}	Ar_{14}	Ar_{21}	Ar_{22}	Ar_{23}	Ar_{24}
۳۸۵	۳۳۴	۳۳۵	۴۴۲	۳۹۰۰	۳۸۰۰	۳۴۹۰	۴۳۷۰	۴۶۹۵	۵۸۵۰	۷۲۷۵	۶۷۰۰
D_{r11}	D_{r12}	D_{r13}	D_{r14}	D_{r21}	D_{r22}	D_{r23}	D_{r24}				
۱۶۰۰	۱۰۰۰	۱۷۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۹۵۰	۷۰۰				

با در نظر گرفتن مقادیر پارامترهای مساله مطابق با جدول ۶ تابع هدف مساله به شرح ذیل تعیین می‌گردد:

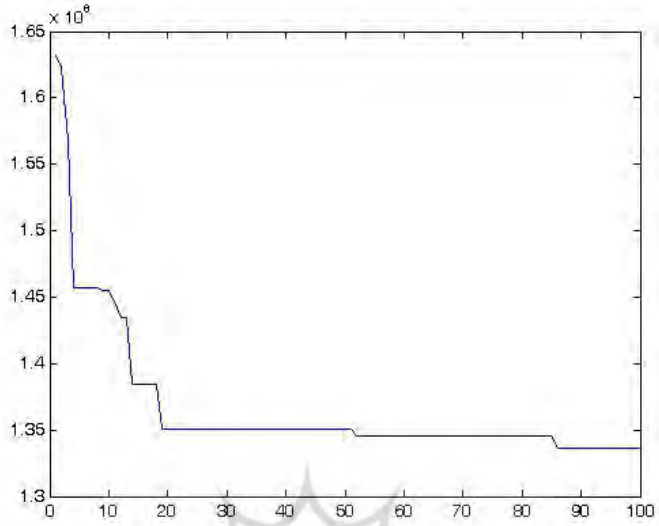
f=351600*tr1 + 326300*tr2 + 324025*tr3 + 264200*tr4 + 1142700000/(4800*m1*n1*tr1 + 3000*m1*n1*tr2 + 5100*m1*n1*tr3 + 3000*m1*n1*tr4 + 3200*m2*n1*tr1 + 3600*m2*n1*tr2 + 3800*m2*n1*tr3 + 2800*m2*n1*tr4) + 1400000000/(6400*m1*n2*tr1 + 4000*m1*n2*tr2 + 6800*m1*n2*tr3 + 4000*m1*n2*tr4 + 2400*m2*n2*tr1 + 2700*m2*n2*tr2 + 2850*m2*n2*tr3 + 2100*m2*n2*tr4) + 1501900000/(4800*m1*n3*tr1 + 3000*m1*n3*tr2 + 5100*m1*n3*tr3 + 3000*m1*n3*tr4 + 4000*m2*n3*tr1 + 4500*m2*n3*tr2 + 4750*m2*n3*tr3 + 3500*m2*n3*tr4) + 132500000/(m1*(1600*tr1 + 1000*tr2 +

1700*tr3 + 1000*tr4)) + 95140000/(m2*(800*tr1 + 900*tr2 + 950*tr3 + 700*tr4)) + (1617*m1*(1600*tr1 + 1000*tr2 + 1700*tr3 + 1000*tr4))/10 + (3717*m2*(800*tr1 + 900*tr2 + 950*tr3 + 700*tr4))/16 + 8595/tr1 + 9650/tr2 + 10765/tr3 + 11070/tr4 - 220*tr2*(500*m1 - 500) - 220*tr1*(800*m1 - 800) - 220*tr4*(500*m1 - 500) - 220*tr3*(850*m1 - 850) - 270*tr1*(400*m2 - 400) - 270*tr2*(450*m2 - 450) - 270*tr3*(475*m2 - 475) - 270*tr4*(350*m2 - 350) + 16000*m1*tr1*((3*n1)/2 + 3/2) + 10000*m1*tr2*((3*n1)/2 + 3/2) + 17000*m1*tr3*((3*n1)/2 + 3/2) + 10000*m1*tr4*((3*n1)/2 + 3/2) + 24000*m1*tr1*(2*n2 + 2) + 8000*m2*tr1*(2*n1 + 2) + 15000*m1*tr2*(2*n2 + 2) + 9000*m2*tr2*(2*n1 + 2) + 25500*m1*tr3*(2*n2 + 2) + 9500*m2*tr3*(2*n1 + 2) + 15000*m1*tr4*(2*n2 + 2) + 7000*m2*tr4*(2*n1 + 2) + 19200*m1*tr1*((3*n3)/2 + 3/2) + 12000*m2*tr1*((3*n2)/2 + 3/2) + 12000*m1*tr2*((3*n3)/2 + 3/2) + 13500*m2*tr2*((3*n2)/2 + 3/2) + 20400*m1*tr3*((3*n3)/2 + 3/2) + 14250*m2*tr3*((3*n2)/2 + 3/2) + 12000*m1*tr4*((3*n3)/2 + 3/2) + 10500*m2*tr4*((3*n2)/2 + 3/2) + 9600*m2*tr1*((5*n3)/2 + 5/2) + 10800*m2*tr2*((5*n3)/2 + 5/2) + 11400*m2*tr3*((5*n3)/2 + 5/2) + 8400*m2*tr4*((5*n3)/2 + 5/2) + 129624500

با به‌کارگیری الگوریتم فراابتکاری ژنتیک، مقدار متغیرهای مساله شامل میزان سفارش بهینه هر یک از مواد اولیه، مقدار بهینه تولید محصولات و مقدار و زمان بهینه سفارش محصولات نهایی از سوی خرده‌فروش‌ها و همچنین مقدار بهینه تابع هدف مساله مطابق با نتایج ذیل تعیین شده است، برای حل این مساله الگوریتم فوق ابتکاری ژنتیک برای تعیین متغیرهای عدد صحیح با لحاظ کردن الگوریتم گرادیان برای یافتن متغیرهای حقیقی به‌کار گرفته شده است. پارامترهای الگوریتم ژنتیک به شرح ذیل در نظر گرفته شده است:

Population:20 ; Pmutation=20٪ ; Pcrossover=75٪ ; Precommand=5٪ ;Number of iteration : 100

نمودار الگوریتم ژنتیک منجر به تعیین جواب مساله در نمودار (۵) ترسیم شده است:



نمودار ۵- نمودار الگوریتم ژنتیک در حالت سفارش‌دهی همزمان محصولات در قسمت خرده‌فروشی

ATC = 1.3148E+08

m = 1 1

n = 3 2 2

tr = 0.4651 0.0949 0.1657 0.0931

qr =

744.1125 94.8934 281.7007 93.1270

372.0563 85.4040 157.4210 65.1889

qm =

1.0e+003 *

1.2138 0.6801

qs =

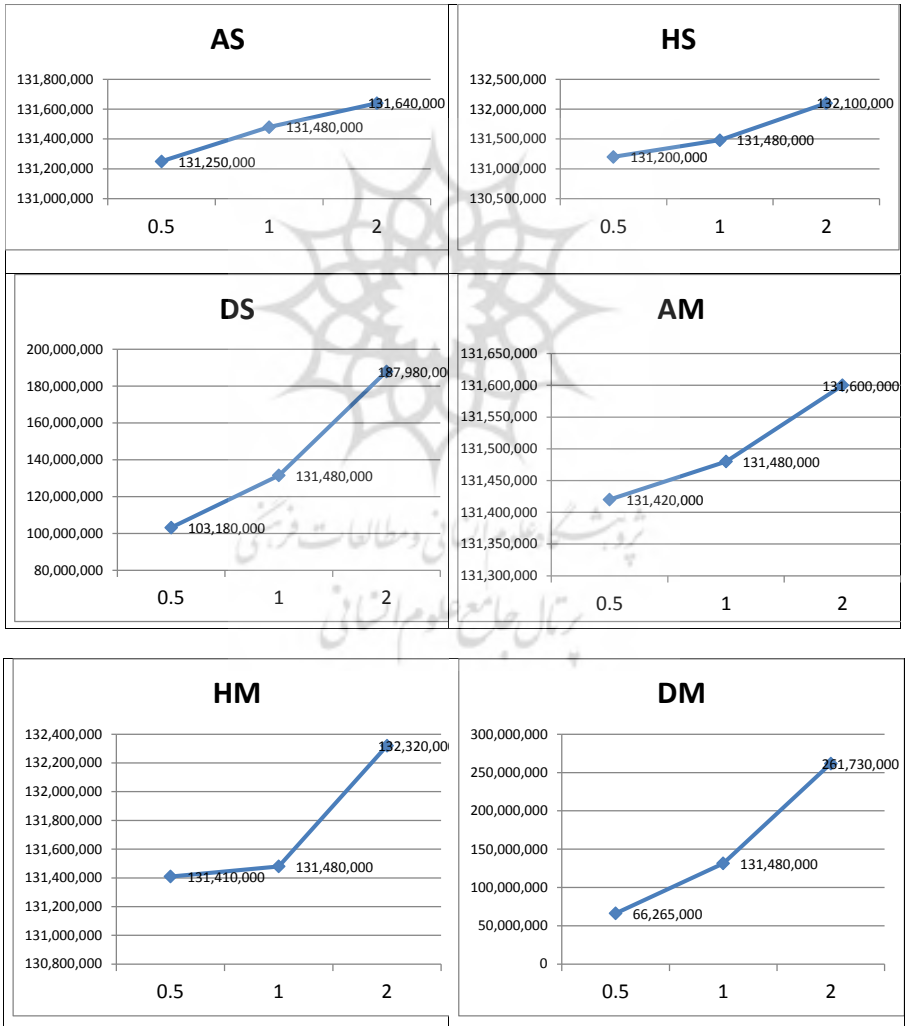
1.0e+004 *

1.9085 1.3791 1.4084

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۵. تحلیل حساسیت

در این بخش تاثیر افزایش و کاهش مقادیر پارامترهای ورودی شامل هزینه‌های نگهداری، سفارش‌دهی، میزان تقاضا و نرخ تولید بر روی مقدار تابع هدف مساله مورد بررسی قرار می‌گیرد، برای این منظور در خصوص هر یک از پارامترهای مذکور در تمامی سطوح به ازای دو برابر و همچنین نصف شدن مقدار آنها، با استفاده از الگوریتم حل مساله، مقدارتابع هدف محاسبه شده و نمودارهای تغییرات تابع هدف به شرح ذیل ترسیم گردیده است.



همانطور که از نمودارهای فوق مشخص است، تابع هدف مساله با پارامترهای میزان تقاضا، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های سفارش‌دهی دارای رابطه مستقیم است در صورتیکه که با نرخ تولید دارای رابطه معکوس می‌باشد.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله یک مدل ریاضی برای مدیریت موجودی زنجیره تامین سه سطحی، چند کالایی و چند عضوی توسعه داده شد که در آن تولیدکننده با بکارگیری ترکیبی از مواد اولیه نسبت به تولید محصولات مختلف اقدام می‌نماید. اعضای این زنجیره شامل چند تامین‌کننده، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش می‌باشد. هر یک از تامین‌کننده‌ها تنها موظف به تامین یک نوع ماده اولیه برای تولیدکننده می‌باشد. برای خرده‌فروش‌ها امکان سفارش‌دهی هر یک از محصولات به تولیدکننده وجود دارد که میزان سفارش ناشی از میزان تقاضای مصرف‌کننده نهایی هر یک از

محصولات در بازار می‌باشد، همچنین فرض شده است که مطابق شرایط واقعی، سفارش‌گذاری محصولات توسط هر یک از خرده‌فروشی‌ها به‌صورت همزمان انجام می‌شود.

در این مقاله میزان تقاضای هر یک از محصولات به‌صورت قطعی در نظر گرفته شده است، همچنین پارامترهای به‌کارگرفته شده مربوط به هزینه‌های نگهداری و سفارش‌دهی محصولات نهایی و مواد اولیه در هر یک از سطوح و برای هر یک از اعضای زنجیره متفاوت در نظر گرفته شده است، تابع هدف یکپارچه مساله شامل مجموع هزینه‌های موجودی تامین‌کنندها، تولیدکننده و خرده‌فروش‌ها می‌باشد. با حداقل‌سازی این تابع هدف، متغیرهای مساله شامل میزان سفارش‌دهی مواد اولیه تامین‌کننده‌ها، میزان تولید هر یک از محصولات و میزان سفارش هر یک از محصولات برای خرده‌فروش‌ها و همچنین میزان بهینه تابع هدف تعیین می‌شود.

مدل مساله از نوع برنامه‌ریزی غیر خطی است و برای حل آن از یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی گرادیان مورد استفاده قرار گرفته است، روش حل مساله با ارائه یک مثال عددی مورد بررسی قرار گرفت، نوآوری بکار رفته در این مقاله تعیین میزان بهینه متغیرهای مساله شامل میزان سفارش مواد اولیه هر یک از تامین‌کننده‌ها، میزان بهینه تولید هر یک از محصولات و میزان و زمان بهینه سفارش‌دهی هر یک از محصولات توسط خرده‌فروش‌ها به‌صورت همزمان بوده است ضمن اینکه سفارش‌گذاری همزمان محصولات در قسمت خرده‌فروشی نیز جهت تطبیق بیشترمساله با شرایط واقعی در این مقاله ارائه شده است، همچنین روش حل بکار گرفته شده برای این مساله که ترکیبی از روش حل فراابتکاری و روش حل قطعی می‌باشد نیز اطمینان از یافتن بهترین جواب برای این مساله را فراهم می‌آورد و این روش حل نیز منحصراً در این مقاله بکار گرفته شده است.

برای تحقیقات آتی، می‌توان با در نظر گرفتن شرایط احتمالی در پارامترهای مساله همچون میزان تقاضا، در نظر گرفتن روابط و محدودیت‌های موجود بین محصولات مختلف، لحاظ نمودن محدودیت در تعداد دفعات سفارش‌دهی، در نظر گرفتن محدودیت‌هایی از قبیل فضای انبارش، میزان سرمایه و ...، در نظر گرفتن شرایط خاص برای تقاضا مثل وابستگی میزان تقاضا به قیمت و میزان موجودی، در نظر گرفتن قراردادهای همکاری بین اجزای زنجیره، در نظر گرفتن مدل برای محصولات خاص شیمیایی، الکترونیکی، مخابراتی و محصولات فاسد شدنی، نسبت به توسعه این مساله پرداخته شود.

منابع

Amiri-Aref, M., Klibi, W., Zied Babai, M., 2017. The multi-sourcing location inventory problem with stochastic demand. European Journal of Operational Research In press, corrected proof

Banerjee, A., Burton, J.S., 1994. A coordinated order-up-to inventory control policy for a single supplier and multiple buyers using electronic data interchange. International Journal of Production Economics 35, 85-91.

Banerjee, A., Kim, S.L., 1995. An integrated JIT inventory model. International Journal of Operations & Production Management 15, 237-244.

Bendaya, M., Al-Nassar, A., 2008. An integrated inventory production system in a three-layer supply chain. Production Planning & Control 19, 97-104.

Bylka, S., 1999. A dynamic model for the single-vendor, multi-buyer problem. International Journal of Production Economics 59, 297-304.

Chan, C.K., Kingsman, B.G., 2007. Coordination in a single-vendor multi-buyer supply chain by synchronizing delivery and production cycles. Transportation Research Part E 43, 90-111.

Chang, S.C., Chang, C.T., 2017. A multi-stage and multi-supplier inventory model allowing different order quantities. Applied Mathematical Modelling 52, 613-625.

Chen, J.M., Lin, I.C., Cheng, H.L., 2010. Channel coordination under consignment and vendor-managed inventory in a distribution system. Transportation Research Part E 46, 831-843.

Chen, Z.X., Sarker, B.R., 2010. Multi-vendor integrated procurement-production system under shared transportation and just-in-time delivery system. Journal of the Operational Research Society 61, 1654-1666.

Chung, K.J., 2008a. A necessary and sufficient condition for the existence of the optimal solution of a single-vendor single-buyer integrated production-inventory model with process unreliability consideration. International Journal of Production Economics 113, 269-274.

Chung, S.-L., Wee, H.-M., Yang, P.-C., 2008. Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing. Mathematical and Computer Modelling 48, 867-881.

Darwish, M.A., 2005. The single vendor single buyer targeting problem with equal sized shipments policy. International Journal of Operations and Quantitative Management 11, 35-47.

Glock, C.H., 2012. The joint economic lot size problem. International Journal of Production Economics, Pages 671-686.

Glock, C.H., 2014. The lot sizing problem: A tertiary study. International Journal of Production Economics, Pages 39-51.

Hoque, M.A., 2008. Synchronization in the single-manufacturer multi-buyer integrated inventory supply chain. European Journal of Operational Research 188, 811-825.

Joglekar, P.N., Tharthare, S., 1990. The individually responsible and rational decision approach to economic lot sizes for one vendor and many purchasers. Decision Sciences 21, 492-506.

Khouja, M., 2003. Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain. Transportation Research Part E 39, 193-208.

Kim, T., Hong, Y., 2008. Technical note: product allocation, lot-sizing, and shipment policies for multiple items in multiple production lines. International Journal of Production Research 46, 289-294.

Kim, T., Hong, Y., Lee, J., 2005. Joint economic production allocation and ordering policies in a supply chain consisting of multiple plants and a single retailer. International Journal of Production Research 43, 3619-3632.

Sana, S.S., 2012. A collaborating inventory model in a supply chain. Economic Modelling, Pages 2016-2023.

Sarker, B.R., Balan, V., 1999. Operations planning for a multi stage kanban system, European Journal of Operational Research 112, 284-303.

Seliaman, M.E., Ahmad, A.R., 2008. Optimizing inventory decisions in a multi-stage supply chain under stochastic demands. Applied Mathematics and Computations 206, 538-542.

Siajadi, H., Ibrahim, R.N., Lochert, P.B., 2006. Joint economic lot size in distribution system with multiple shipment policy. International Journal of Production Economics 102, 302-316.

Singh, D., Verma, A., 2018. Inventory Management in Supply Chain, Materials Today: Proceedings 5, 3867-3872.

Taguchi, G., Chowdhury, S. Wu, Y.2005. Taguchi's quality engineering handbook, Hoboken, New Jersey, John

Wee, H. M., Yang, P. C., 2004. The optimal and heuristic solution of a distribution network. European Journal of Operational Research 158, 626-632.

Yang, P.C., Wee, H.M., Yang, H.J., 2007. Global optimal policy for vendor-buyer integrated inventory system within just in time environment. Journal of Global Optimization 37, 505-511.

Yunfei, C., Fengqi, Y., John, M., Anshul, A., 2015. Simulation-based optimization framework for multi-echelon inventory systems under uncertainty.Computers & Chemical Engineering 73, 1-16.

Zhuo, D., Faisal, A., Kuo, G., 2017. Optimizing multi-echelon inventory with three types of demand in supply chain. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 107, 141-177.