

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 قورچیان^{*}

مرتضی خاکزار بفرئی^{**}

پذیرش: ۹۷/۱۱/۸

دریافت: ۹۷/۷/۳

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 در آن امکان سفارش‌گذاری همزمان محصولات برای هریک از خرده‌فروشا نیز در نظر گرفته شده است و پارامترهای مهمی همچون میزان بهینه سفارش‌دهی مواد اولیه، میزان بهینه تولید

*. ghourchiany@jdsharif.ac.ir

** khakzar@jdsharif.ac.ir

*. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، پژوهشکده توسعه تکنولوژی

** استادیار، پژوهشکده توسعه تکنولوژی

■ سعید قورچیان، نویسنده مسئول.

محصولات و میزان و زمان بهینه سفارش محصولات توسط خرده فروش ها در هریک از سطوح زنجیره، با هدف حداقل سازی هزینه های مدیریت موجودی در زنجیره تامین تعیین می گردد، با توجه به پیچیدگی های 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.

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^۱. 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. به عنوان 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^۲. 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 به صورت 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)^۳ ارائه گردید، مساله

1. Singh & Verma (2018).

2. Glock(2014).

3. Joglekar & Tharthare (1990)

ارائه شده شامل یک فروشنده و چندین خریدار یکسان می باشد، در این مدل فرض شده است که سفارشات به صورت همسان در افق برنامه ریزی توزیع گردیده است، نسخه تغییر یافته این مدل توسط بنرژ و برتون (۱۹۹۴)^۱ پیشنهاد گردید. آنها نیز مدلی برای یک فروشنده و چند خریدار پیشنهاد دادند با این تفاوت که خریداران را به صورت غیر یکسان در نظر گرفتند. به منظور جلوگیری از بروز کمبود در موجودی فروشنده به جهت برداشت های غیر یکسان، 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)^۲ بسط داده شد. آنها فرض کردند که زمان دوره سفارش برای هر خریدار برابر با زمان سیکل تولید بوده و فروشنده امکان تحویل بسته های ارسالی هم اندازه به هر یک از خریداران را داشته باشد. نویسندگان نشان دادند که ترتیبی که طبق آن خریداران سفارش دهی خود را انجام می دهند روی هزینه کل سیستم اثرگذار می باشد، همچنین در این مدل فرض شده است که فروشنده بسته های ارسالی با اندازه یکسان برای خریداران ارسال می نماید و متناسب با اولین ارسال، سایر ارسال ها باید به ترتیب صورت پذیرد، همچنین نشان دادند که برای فروشنده ارسال بسته ها به خریداران به محض تکمیل سفارش مربوطه، سودمند خواهد بود. چن و همکاران (۲۰۱۰)^۳ 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 به علاوه موجودی با محدودیت بروز فساد و خرابی نیز مواجه می باشد. نتایج این مقاله نشان می دهد که به کارگیری سیستم مدیریت توسط فروشنده منجر به قیمت خرده فروشی پایین تر و سطح موجودی بالاتر می گردد. در نتیجه سیستم مدیریت توسط فروشنده به خصوص در حالتی که تقاضا به شکل فزاینده ای حساس به قیمت و اندازه موجودی است و نرخ فساد پذیری نیز پایین باشد، سودمند خواهد بود. توسعه دیگر برای مدل بنرژ و برتون (۱۹۹۴)^۴ توسط چان و کینزمن (۲۰۰۷)^۵ ارائه گردید. در این تحلیل فرض شده است که فروشنده یک سیکل زمانی پایدار را به کار گرفته و سیکل سفارش دهی هر خریدار یک ضریب

1. Banerjee & Burton (1994)

2. Siagadi et al (2006)

3. Chen et al (2010)

4. Banerjee & Burton (1994)

5. Chan & Kingsman (2007)

صحیح از سیکل پایدار اولیه می باشد. این حالت انعطاف پذیری بیشتری به سیستم می دهد، از این رو خریداران با نرخ تقاضای کم می توانند دوره های جایگزینی بلندمدت را به کار گیرند. مسأله یک فروشنده و چند خریدار توسط هوک (۲۰۰۸)^۱ نیز مورد بررسی قرار گرفته است، ایشان سیاست های حمل و نقل متفاوت درخصوص خریداران غیرهمسان را مورد بررسی قرار داده است، در مدل اول فرض شده است که فروشنده بسته های با اندازه یکسان را برای خریدار به محض اتمام فرآیند ساخت ارسال می نماید، در صورتی که در مدل دوم، اندازه سفارشات ارسالی یکسان به خریدار به محض اتمام موجودی در قسمت خریدار ارسال می گردد. مدل سوم شامل یک ترکیب بین این دو استراتژی می باشد و فرض می کند که اندازه دو بسته ارسالی متوالی با یک فاکتور ثابت افزایش می یابد. مطالعات عددی نشان می دهد که مدل سوم بهترین عملکرد را دارا می باشد به خصوص برای حالتی که تفاوت های زیادی بین هزینه های نگهداری در قسمت فروشنده و خریدار وجود دارد، همچنین دو مدل دیگر به تنهایی منجر به بروز هزینه های سیستمی بالاتر برای اغلب پارامترها می گردد. بیلکا (۱۹۹۹)^۲، پارامترهای مدل دینامیکی را در سیستم یک فروشنده و چند خریدار در نظر گرفت و فرض کرد تقاضا در مورد فروشنده و خریدار دارای توالی دوره ای می باشد، مطالعات او نشان داد که مسأله می تواند به صورت یک شبکه هدایت شده محدود فرموله شده و معادل یافتن ارزانترین مسیر در یک شبکه باشد که در آن مسیرها با برنامه های تولید در تطابق است. درویش و اودا (۲۰۱۰)^۳ یک زنجیره تأمین تحت شرایط مدیریت توسط فروشنده را مدل سازی نمود که در آن برای خرده فروشان هیچ هزینه سفارش دهی وجود ندارد، نویسندگان فرض نموده اند که خرده فروشان یک حد بالایی برای سطح موجودی خود در نظر گرفته اند و شرایطی که سطح موجودی از حد بالای آن تجاوز نماید، فروشنده جریمه می شود. نویسندگان نشان داده اند که در صورتی که برخی از خرده فروشان به سطح هزینه های اقتصادی راه اندازی برسند و هزینه جریمه در نظر گرفته شده برای فروشنده نیز خیلی زیاد نباشد، این حالت حتی در صورت عبور از حد بالای در نظر گرفته شده، برای فروشنده و زنجیره سودمند است.

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

1. Hoque (2008)

2. Bylka (1999)

3. Darwish & Odah (2010)

صحیح می باشند نیز نهایتاً توسط چانگ و همکاران (۲۰۰۸)^۱ مورد مطالعه قرار گرفت، یکی از مدل هایی که در آن بیش از یک فروشنده در نظر گرفته شده است، توسط چن و سارکر (۲۰۱۰)^۲ ارائه شده است، در این مدل فرض شده است که خریدار تأمین محصولات خود را از چندین فروشنده انجام می دهد، نتایج این تحقیق نشان می دهد که نرخ باربری در تابع هزینه های زنجیره، مهم بوده و نرخ های باربری بالاتر منجر به اندازه های تحویل بزرگتر و تعداد دفعات ارسال کمتر می گردد، در عین حال اندازه تولید تحت تأثیر هزینه های تحویل قرار نمی گیرد.

بنرئی و کیم (۱۹۹۵)^۳ یکی از اولین مدل های یکپارچه که مدیریت موجودی بیش از دو عضو در زنجیره تأمین شامل یک خریدار، یک تولیدکننده و یک تأمین کننده را بررسی کردند. یک زنجیره تأمین پیچیده تر توسط خوجا (۲۰۰۳)^۴ در نظر گرفته شده است که در آن سیستمی متشکل از یک تأمین کننده مواد اولیه، چند تولیدکننده و چند خریدار وجود دارد، به منظور هماهنگ سازی تصمیمات مدیریت موجودی در زنجیره تأمین دو روش هماهنگ سازی 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 پایین دستی می باشد. بسط و گسترش این مدل توسط بندایا و الناصر (۲۰۰۸)^۵ پیشنهاد گردید که در این مدل چند تأمین کننده 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 هزینه های 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)^۶ مورد تحلیل قرار گرفته است، مدل آنها شامل یک تأمین کننده 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)^۱ انجام شده است، توزیع‌کنندگان که واسط بین فروشندگان و خریدار هستند نیز توسط وی و یانگ (۲۰۰۴)^۲ 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 هریک از خریداران را بر عهده دارند، چانگ (۲۰۰۸)^۳ 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)^۴ توسعه یافته است که در آن چند سیکل تولید و بازتولید به مدل اضافه گردیده است. سلیمان (۲۰۰۸)^۵ 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)^۶ یک زنجیره تأمین چند سطحی را بررسی کرده‌اند که در آن برای نرخ تقاضا و نرخ تولید توابع خطی در نظر گرفته شده است، چانگ (۲۰۰۸)^۷ مدل موجودی یک زنجیره تأمین چند سطحی با چند تأمین‌کننده را بررسی کردند که در آن امکان وجود اندازه‌های سفارش‌گذاری مختلف وجود داشت، یونفی و همکاران (۲۰۱۵)^۸ یک چارچوب بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی را برای یک سیستم مدیریت موجودی در شرایط عدم قطعیت در یک زنجیره تأمین چند سطحی ارائه کردند، ژو و همکاران (۲۰۱۷)^۹ مدل مدیریت موجودی یک زنجیره تأمین چند سطحی با در نظر گرفتن سه نوع تقاضا را بهینه‌سازی کردند، امیری و همکاران (۲۰۱۷)^{۱۰} یک مساله مدیریت موجودی و مکان یابی چند منبعی را در یک زنجیره تأمین چند سطحی با تقاضای احتمالی ارائه کردند. یک نگاه دقیق‌تر به ادبیات موضوع نشان می‌دهد که شکاف‌های تحقیقاتی در این زمینه

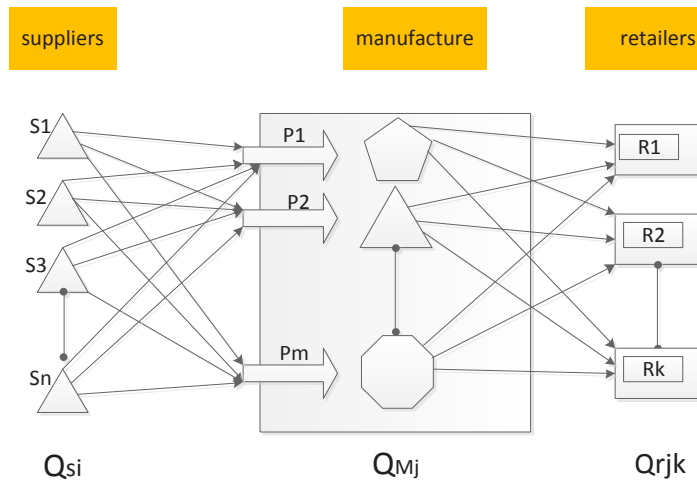
-
1. Kim & Hong (2008)
 2. Wee & Yang (2004)
 3. Chung (2008)
 4. Yang et al. (2007)
 5. Seliaman (2008)
 6. Sarker & Balan (1999)
 7. Chung (2008)
 8. Yunfei (2015)
 9. Zhuo (2017)
 10. Amiri (2017)

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 تأمین تک محصولی را مورد بررسی قرار داده‌اند، در صورتی که در دنیای واقع، زنجیره‌های تأمین عمدتاً به صورت چند محصولی می‌باشد، لذا در این مقاله جهت تطبیق بیشتر با فضای واقعی، توسعه مدل‌های چند کالایی در زنجیره تأمین چند سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مدل سازی مساله

در بخش قبل برخی مقالات ارائه شده در زمینه زنجیره‌های تأمین چند سطحی و چند عضوی مورد بررسی قرار گرفت، در این مقاله راه کارهای توسعه مدل‌های مدیریت موجودی برای زنجیره‌های تأمین 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 تأمین‌کنندگان، یک تولیدکننده و بخش خرده‌فروشان می‌باشد، در این زنجیره امکان سفارش‌گذاری همزمان محصولات در هریک از خرده‌فروش‌ها در نظر گرفته شده است، همچنین هریک از تأمین‌کنندگان وظیفه تأمین 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.



نمودار ۱ - نمای شماتیک مساله

فرضیات مساله

همانطور که گفته شد مساله در نظر گرفته شده مدیریت موجودی یک زنجیره سه سطحی و چند محصولی می باشد و اجزای اصلی این زنجیره شامل چند تامین کننده، یک تولیدکننده و چند خرده فروش می باشد و فرضیات زیر برای این مساله در نظر گرفته شده است :

- i. مساله به صورت چند محصولی در نظر گرفته شده است و مدیریت یکپارچه موجودی محصولات در سطوح مختلف زنجیره به صورت همزمان مورد نظر می باشد.
- ii. فرض شده است که در قسمت خرده فروشی، سفارش گذاری محصولات به صورت همزمان انجام می شود.
- iii. فرض شده است که هریک از تامین کننده ها تنها وظیفه تامین یکی از قطعات یا مواد اولیه را بر عهده دارد.
- iv. در این مساله تعداد n قطعه اولیه از تامین کننده ها دریافت شده و در بخش تولید، تبدیل به تعداد m محصول نهایی می گردد و محصولات تولید شده به تعداد k خرده فروش ارسال می گردد، نهایتاً هریک از محصولات در بازار مربوط به خود به دست مشتریان نهایی رسیده و مصرف می گردند.
- v. مقدار تقاضا در هر سطح به صورت قطعی در نظر گرفته شده است.
- vi. هزینه های نگهداری، آماده سازی و سفارش دهی در هر سطح زنجیره متفاوت می باشد.

vii. زمان های تحویل بین تامین کننده ها، تولیدکننده و خرده فروش ها ناچیز در نظر گرفته شده است.

viii. امکان بروز کمبود وجود ندارد.

تعریف جزئیات توابع هدف، هزینه های 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 می باشد.
- ii. متغیرهای تصمیم گیری عبارتند از مقدار و زمان سفارش بهینه هر یک از محصولات در قسمت خرده فروش ها، میزان تولید بهینه هر یک از محصولات در قسمت تولیدکننده، میزان سفارش بهینه هر یک از قطعات اولیه در قسمت تامین کننده ها می باشد.
- iii. هزینه های قسمت خرده فروشی عبارت از هزینه خرید از تولیدکننده، هزینه سفارش دهی و هزینه نگهداری محصولات می باشد.
- iv. هزینه های قسمت تولیدکننده عبارت از هزینه خرید تولید، هزینه آماده سازی تولید و هزینه نگهداری محصولات می باشد.
- v. هزینه های قسمت تامین کننده شامل هزینه خرید، هزینه سفارش دهی و هزینه نگهداری مواد اولیه می باشد.

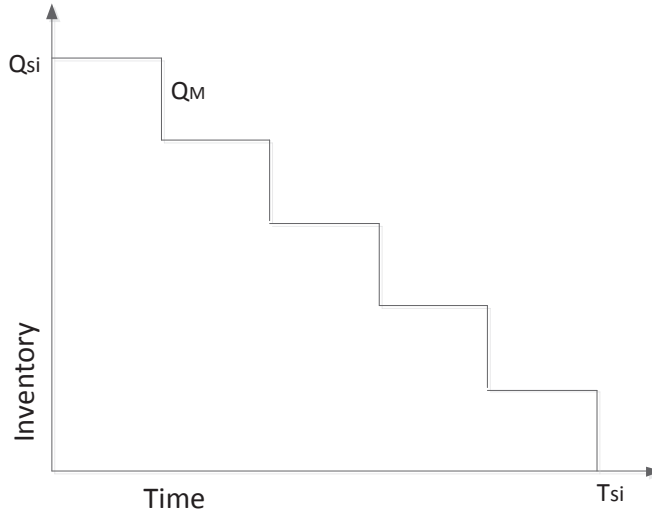
فهرست علائم و اختصارات

- h_{si} : هزینه نگهداری مواد اولیه تامین کننده i ام
- C_{si} : هزینه خرید مواد اولیه تامین کننده i ام
- T_{si} : دوره زمانی مصرف ماده اولیه تامین کننده i ام
- D_{si} : تقاضای ماده اولیه تامین کننده i ام
- Q_{si} : مقدار سفارش تامین کننده i ام
- α_{ij} : درصد مصرف مواد اولیه تامین کننده i ام برای تولید محصول j ام
- I_i : متوسط موجودی ماده اولیه تامین کننده i ام
- ACSI: متوسط هزینه های موجودی در واحد زمان در قسمت تامین کننده i ام
- ACS: متوسط هزینه های موجودی در واحد زمان برای تمامی تامین کننده ها

- P_j : نرخ تولید محصول زام
- h_{mj} : هزینه نگهداری محصول زام در قسمت تولیدکننده
- I_j : متوسط موجودی محصول زام
- T_{mj} : دوره زمانی تولید و مصرف محصول زام در قسمت تولیدکننده
- t_{mj} : دوره زمانی تولید محصول زام در قسمت تولیدکننده
- CP_j : هزینه تولید هر واحد از محصول زام برای تولیدکننده
- D_{mj} : میزان تقاضای محصول زام
- P_{ij} : نرخ تولید محصول زام در قسمت تولیدکننده
- Q_{mj} : مقدار تولید محصول زام در قسمت تولیدکننده
- ACM_j : متوسط هزینه‌های موجودی محصول زام در واحد زمان در قسمت تولیدکننده
- ACM : متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان در قسمت تولیدکننده
- D_{cjk} : تقاضای مشتری نهایی از خرده‌فروش k ام برای محصول زام
- h_{rkj} : هزینه نگهداری محصول زام برای خرده‌فروش k ام
- T_{rkj} : دوره زمانی محصول زام برای خرده‌فروش k ام
- D_{rkj} : میزان تقاضای محصول زام در خرده‌فروش k ام
- Q_{rkj} : مقدار سفارش در خرده‌فروش
- ACR_k : متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان در قسمت خرده‌فروش k ام
- ACR : متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تمام خرده‌فروش‌ها
- 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 زام به خرده‌فروش‌ها در یک سیکل زمانی تولید
- f_j : تعداد دفعات ارسال محصول زام به خرده‌فروش‌ها در زمان تولید یک سیکل زمانی تولید
- n_j : تعداد دفعات ارسال ماده اولیه i ام در هر سیکل سفارش‌دهی تامین‌کننده i ام
- Z : ماتریس ضرایب متغیرها در ماتریس هسیان تابع هدف
- $\tilde{\lambda}$: مقادیر ویژه ماتریس ضرایب متغیرها در ماتریس هسیان تابع هدف
- T_{rjk} : سیکل زمانی سفارش‌دهی محصول زام در خرده‌فروشی k ام
- T_{rk} : سیکل زمانی سفارش‌دهی همزمان تمامی محصولات در خرده‌فروشی k ام

مدل سازی سیستم موجودی تامین کننده i

سطح موجودی ماده اولیه در قسمت تامین کننده شماره i ام در هر زمان مطابق نمودار (۲) می باشد.



نمودار ۲- نمودار موجودی ماده اولیه در قسمت تامین کننده

هزینه های موجودی در قسمت تامین کننده i ام شامل هزینه های خرید، سفارش دهی و نگهداری می باشد که به شرح زیر تعیین می گردد:

هزینه خرید ماده اولیه توسط تامین کننده i ام

$$C_{si} Q_{si} \quad (1)$$

هزینه سفارش دهی ماده اولیه توسط تامین کننده i ام

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

ارتباط بین مقدار سفارش ماده اولیه تامین کننده 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 به صورت فرمول زیر در مدل لحاظ شده است.

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

متوسط موجودی ماده اولیه توسط تامین کننده i ام در هر دوره

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

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

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

مجموع هزینه‌های موجودی در یک دوره در قسمت تامین‌کنندگان:

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

متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تامین‌کننده i ام:

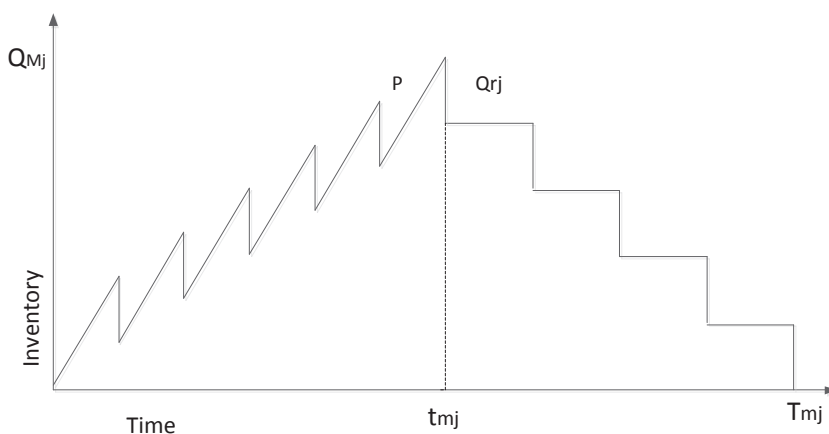
$$ACS_i = C_{si} \frac{Q_{si}}{T_{si}} + \frac{1}{T_{si}} A_{si} + \frac{1}{2} h_{si} (n_i + 1) \sum_j \alpha_{ij} Q_{mj} \quad (7)$$

متوسط هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای همه تامین‌کننده‌ها:

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

مدل‌سازی سیستم موجودی قسمت تولیدکننده

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



نمودار ۳- سطح موجودی محصول زام

هزینه آماده‌سازی تولید محصول زام

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

متوسط موجودی محصول زام 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 می گردد

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

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

سطح زیر نمودار موجودی محصول زام مطابق با رابطه شماره ۱۱ به شرح زیر تعیین می شود:

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

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

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

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

هزینه های نگهداری موجودی محصول زام در یک دوره:

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

هزینه های نگهداری موجودی محصول زام در واحد زمان:

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

ارتباط بین مقدار سفارش مواد اولیه i ام 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 زام:

$$C_{pj}$$

مجموع هزینه های موجودی محصول زام در یک دوره زمانی در قسمت تولیدکننده:

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

مجموع هزینه های موجودی محصول زام در واحد زمان در قسمت تولیدکننده:

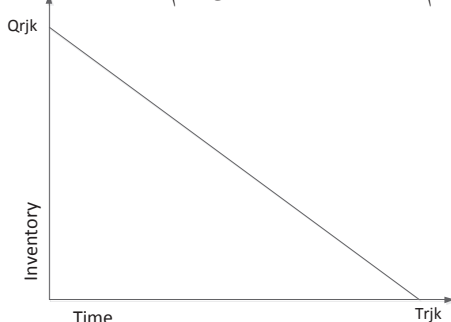
$$ACM_j = C_{pj} \frac{Q_{mj}}{T_{mj}} + \frac{1}{T_{mj}} A_{mj} + Q_{mj} (1 - \frac{1}{2} \frac{D_{mj}}{p_j}) h_{mj} - \frac{h_{mj}}{2} (m_j - 1) \sum_1^k Q_{rjk} \quad (16)$$

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

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

مدل سازی سیستم موجودی قسمت خرده فروش:

سطح موجودی محصول زام در قسمت خرده فروش kام در هر زمان مطابق با نمودار (۴) می باشد.



نمودار - سطح موجودی محصول زام در قسمت خرده فروش kام

هزینه خرید محصول زام در قسمت خرده فروش kام:

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

هزینه سفارش دهی محصول زام در قسمت خرده فروش kام:

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

هزینه‌های نگهداری موجودی محصول زام در قسمت خرده فروش kام:

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

مجموع هزینه‌های موجودی محصول زام در یک سیکل در قسمت خرده فروش kام:

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

مجموع هزینه‌های موجودی محصول زام در واحد زمان در قسمت خرده فروش 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 خرده فروشان:

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

مجموع هزینه های 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 زام در قسمت تولیدکننده برابر با برابر مجموع سفارش این محصول در قسمت خرده فروش ها می باشد که مطابق با رابطه ۲۵ تعیین می شود:

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

مقدار سفارش بهینه ماده اولیه i ام برابر با برابر مجموع سفارش این ماده در قسمت تولیدکننده برای تمامی محصولات می باشد که مطابق با رابطه ۲۶ تعیین می شود:

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

مقدار تقاضای محصول زام در قسمت تولیدکننده برابر با مجموع تقاضای این محصول در قسمت خرده فروش ها می باشد که مطابق با رابطه ۲۷ تعیین می شود:

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

مقدار تقاضای ماده اولیه i ام برابر با مجموع میزان استفاده این ماده در قسمت تولیدکننده می باشد که مطابق با رابطه ۲۸ تعیین می شود:

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

دوره زمانی تولیدکننده مطابق با رابطه ۲۹ به شرح زیر تعیین می گردد:

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

دوره زمانی تولیدکننده مطابق با رابطه ۳۰ به شرح زیر تعیین می گردد:

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

با جایگزین کردن روابط فوق، تابع هدف مساله به صورت زیر تعیین می گردد:

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

با توجه به اینکه در شرایط واقعی، سفارش‌گذاری محصولات توسط خرده‌فروشان به صورت همزمان انجام می‌شود، یکی از راه‌های توسعه مدل در نظر گرفتن 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:

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

مجموع هزینه‌های موجودی در واحد زمان برای تمامی خرده‌فروشان:

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

مجموع هزینه‌های کل زنجیره:

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

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 به صورت 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 به نام جمعیت اولیه شروع به‌کار می‌کند، پس از تعیین سیستم کدینگ، جمعیت اولیه‌ای از کروموزوم‌ها به صورت 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، به عنوان 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 به وجود بیاید.

جفت‌هایی که در قسمت انتخاب به عنوان 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 ژنتیک سریعاً به یک مقدار بهینه محلی همگرا نشود، عملگر 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 خانه ها تغییر می یابد.



عملگر انتخاب Recommand

زمانی که از اپراتورهای ژنتیکی استفاده می شود، ممکن است بهترین کروموزوم ها 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 کروموزوم های هر نسل در نسل جدید، بکار گرفته می شود و باعث می شود 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 کروموزوم هایی که بهترین جواب ها را تولید می کنند به صورت 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 می شود و سپس کروموزوم ها رتبه بندی می شوند و مجدداً بهترین ها انتخاب می شوند. معیار توقف که در این مقاله در نظر گرفته شده است تعداد تکرارهای الگوریتم می باشد.

ارزش گذاری یا محاسبه برازندگی

مقدار تابع هزینه برای کروموزوم های هر نسل محاسبه می شود، آنگاه بهترین های هر نسل برای تولید نسل بعدی انتخاب شده و مابقی حذف می گردند. برای تعیین تابع هزینه این مساله، ترکیبی از دو روش الگوریتم ژنتیک و روش گرادیان مورد استفاده قرار می گیرد. به این صورت که مقادیر متغیرهای عدد صحیح مساله با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین می گردد و در تعیین سایر متغیرهای حقیقی مساله از روش گرادیان استفاده می شود، الگوریتم تعیین جواب بهینه مساله به شرح ذیل می باشد:

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

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

گام ۲-۱: مقادیر ε و Q_{ijk}^0 را تعیین نمایید

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

$$f(T_{rk}^0 + t \nabla f(T_{rk}^0)) \text{ for } k$$

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

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

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

$$\left| \frac{\partial f}{\partial T_{rk}} \right|_{T_{rk}=T_{rk}^0} \leq \varepsilon, \text{ for } k$$

مراحل با استفاده از گام ۲-۳ ادامه می یابد.

گام ۳: مقدار تابع هدف با استفاده از مقادیر متغیرهای فوق و مقایسه عددی سایر پارامترها مشخص می گردد.

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

گام ۵: مراحل گام های ۱ تا ۳ به تعداد دفعات در نظر گرفته شده تکرار می گردد و نهایتاً جواب با کمترین میزان هزینه و بهترین عملکرد به عنوان جواب بهینه مساله در نظر گرفته می شود.

تکرار الگوریتم

به تعداد تکرار که در الگوریتم به آن اشاره شده است، نسل تولید می شود و نهایتاً بهترین جواب حاصل شده یا مجموعه ای از بهترین جواب های حاصل شده به عنوان نتیجه نهایی و جواب بهینه مساله معرفی می گردند.

طراحی آزمایش ها 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 گرفته شده است، انتخاب ترکیب بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک در اغلب موارد از طریق سعی و خطا انجام می شود که بدلیل تعدد حالات ممکن، این روش بسیار زمانبر می باشد،

برای تعیین مقادیر بهینه چهار پارامتر الگوریتم ژنتیک آرایه متعامد تاگوچی L9 به کار گرفته می شود، 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 می گیرد.

جدول ۱- تعیین سطوح هریک از پارامترهای الگوریتم ژنتیک

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

این الگوریتم برای هریک از سطوح سه بار تکرار می شود، سپس نتایج حاصل از ۲۷ بار اجرای الگوریتم ثبت و مورد استفاده قرار می گیرد. مقادیر پاسخ برای هریک از سطوح برای مثال فوق در جدول زیر نمایش داده شده است. از آنجائیکه تابع هدف مساله از نوع حداقل سازی می باشد، نرخ سیگنال نسبت به نویز (SN) برای ارزیابی نتایج آزمایشات انجام شده از طریق رابطه زیر محاسبه شده و شاخص SN تعیین می گردد و جوابی مورد انتخاب واقع می شود که SN بزرگتری داشته باشد، با اجرای مراحل طراحی آزمایش های تاگوچی، نتایج اجرای این الگوریتم مطابق با جدول (۲) می باشد:

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

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

run	itir	Pc	Pe	pop	y1	y2	y3	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

پاسخ ها در سه تکرار (Y_3, Y_2, Y_1) مطابق جدول فوق محاسبه می شود 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 آزمایش های تاگوچی

	itiration	Pc	Pe	population
۱ level	-۴۹۸٫۱۳۷۵۴۹۷۷۶۳	-۴۹۸٫۱۳۷۲۶۶۲۰۶۳	-۴۹۸٫۱۳۵۹۴۳۰۱۵۶	-۴۹۸٫۱۳۴۵۲۵۵۱۸۶
۲ level	-۴۹۸٫۱۳۴۹۹۷۹۵۸۳	-۴۹۸٫۱۳۶۳۲۱۰۸۵۲	-۴۹۸٫۱۳۶۶۹۹۰۸۸۰	-۴۹۸٫۱۳۴۷۱۴۶۳۲۰
۳ level	-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 به صورت زیر برای این مساله پیشنهاد می شود:

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

۴. مثال عددی

الگوریتم حل مساله برای مدل توسعه یافته با در نظر گرفتن سفارش دهی همزمان محصولات در قسمت خرده فروشی، برای مثال عددی زیر به کار گرفته شده است و نتایج حاصله در ادامه نشان داده شده است.

یک زنجیره تامین با سه تامین کننده، یک تولید کننده و چهار خرده فروش با پارامترهای ورودی به شرح ذیل در جدول (۴)، به عنوان مثال عددی در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- داده های عددی پارامترهای مساله در حالت سفارش دهی همزمان در قسمت خرده فروشی

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 می گردد:

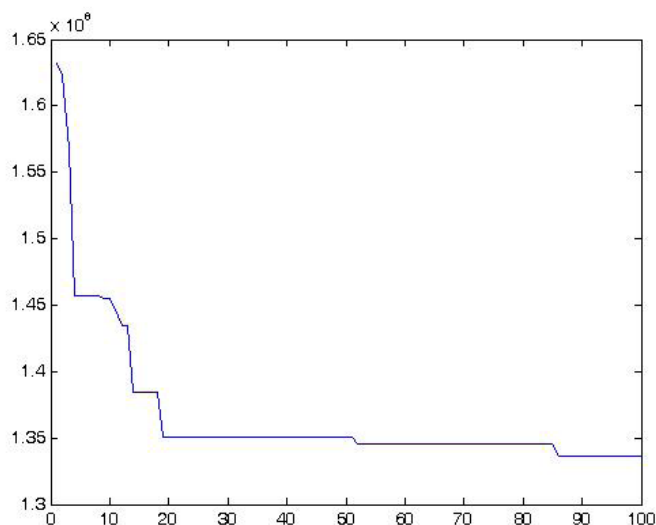
$$f = 351600 \cdot tr_1 + 326300 \cdot tr_2 + 324025 \cdot tr_3 + 264200 \cdot tr_4 + 1142700000 / \\ (4800 \cdot m_1 \cdot n_1 \cdot tr_1 + 3000 \cdot m_1 \cdot n_1 \cdot tr_2 + 5100 \cdot m_1 \cdot n_1 \cdot tr_3 + 3000 \cdot m_1 \cdot n_1 \cdot tr_4 + \\ 3200 \cdot m_2 \cdot n_1 \cdot tr_1 + 3600 \cdot m_2 \cdot n_1 \cdot tr_2 + 3800 \cdot m_2 \cdot n_1 \cdot tr_3 + 2800 \cdot m_2 \cdot n_1 \cdot tr_4) \\ + 1400000000 / (6400 \cdot m_1 \cdot n_2 \cdot tr_1 + 4000 \cdot m_1 \cdot n_2 \cdot tr_2 + 6800 \cdot m_1 \cdot n_2 \cdot tr_3 + \\ 4000 \cdot m_1 \cdot n_2 \cdot tr_4 + 2400 \cdot m_2 \cdot n_2 \cdot tr_1 + 2700 \cdot m_2 \cdot n_2 \cdot tr_2 + 2850 \cdot m_2 \cdot n_2 \cdot tr_3 \\ + 2100 \cdot m_2 \cdot n_2 \cdot tr_4) + 1501900000 / (4800 \cdot m_1 \cdot n_3 \cdot tr_1 + 3000 \cdot m_1 \cdot n_3 \cdot tr_2 + \\ 5100 \cdot m_1 \cdot n_3 \cdot tr_3 + 3000 \cdot m_1 \cdot n_3 \cdot tr_4 + 4000 \cdot m_2 \cdot n_3 \cdot tr_1 + 4500 \cdot m_2 \cdot n_3 \cdot tr_2 + \\ 4750 \cdot m_2 \cdot n_3 \cdot tr_3 + 3500 \cdot m_2 \cdot n_3 \cdot tr_4) + 132500000 / (m_1 \cdot (1600 \cdot tr_1 + 1000 \cdot tr_2 +$$

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

با به کارگیری 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 خرده فروش ها 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 به کار 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 سفارش دهی همزمان محصولات در قسمت خرده فروشی

$$ATC = 1.3148E+08$$

$$m = \begin{matrix} 1 & 1 \end{matrix}$$

$$n = \begin{matrix} 3 & 2 & 2 \end{matrix}$$

$$tr = \begin{matrix} 0.4651 & 0.0949 & 0.1657 & 0.0931 \end{matrix}$$

$$qr =$$

$$\begin{matrix} 744.1125 & 94.8934 & 281.7007 & 93.1270 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 372.0563 & 85.4040 & 157.4210 & 65.1889 \end{matrix}$$

$$qm =$$

$$1.0e+003 *$$

$$\begin{matrix} 1.2138 & 0.6801 \end{matrix}$$

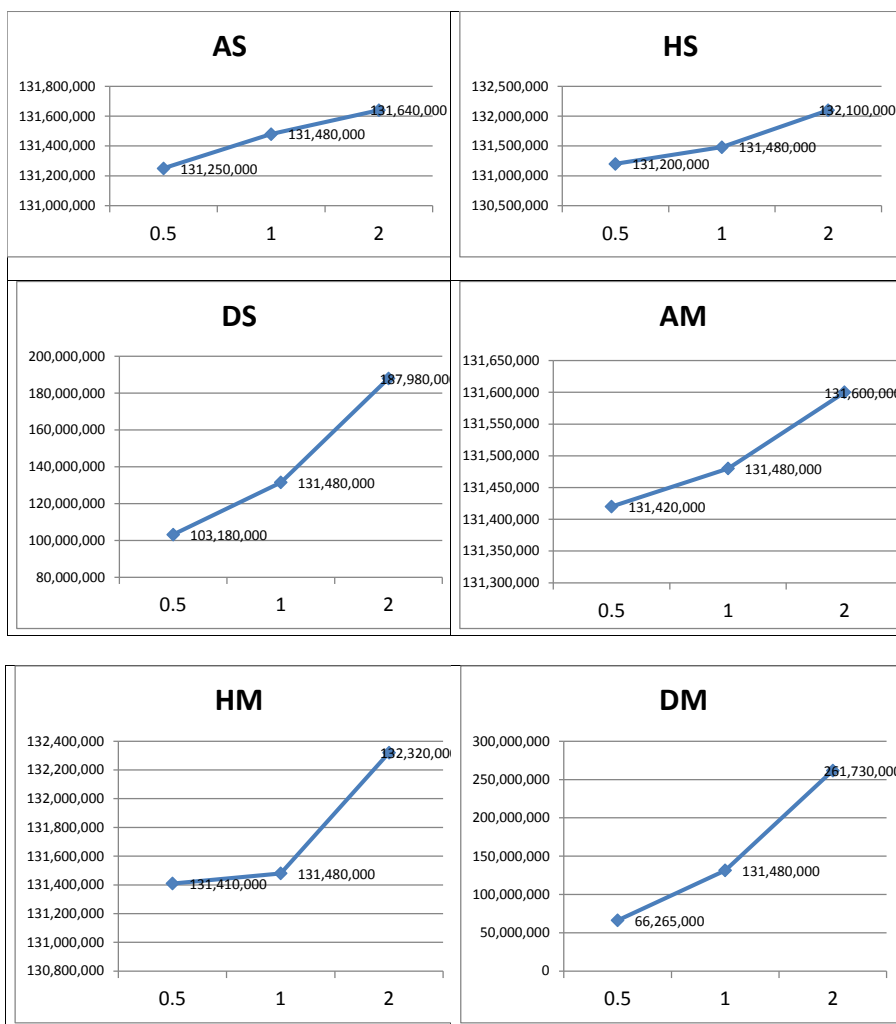
$$qs =$$

$$1.0e+004 *$$

$$\begin{matrix} 1.9085 & 1.3791 & 1.4084 \end{matrix}$$

۵. تحلیل حساسیت

در این بخش تاثیر افزایش و کاهش مقادیر پارامترهای ورودی شامل هزینه‌های نگهداری، سفارش دهی، 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، مقدار تابع 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 سفارش دهی 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 سفارش دهی هر یک از محصولات به تولیدکننده وجود دارد که میزان سفارش ناشی از میزان تقاضای مصرف‌کننده نهایی هر یک از

محصولات در بازار می باشد، همچنین فرض شده است که مطابق شرایط واقعی، سفارش گذاری محصولات توسط هریک از خرده فروشی ها به صورت همزمان انجام می شود.

در این مقاله میزان تقاضای هریک از محصولات به صورت قطعی در نظر گرفته شده است، همچنین پارامترهای به کار گرفته شده مربوط به هزینه های نگهداری و سفارش دهی محصولات نهایی و مواد اولیه در هریک از سطوح و برای هریک از اعضای زنجیره متفاوت در نظر گرفته شده است، تابع هدف یکپارچه مساله شامل مجموع هزینه های موجودی تامین کنندگان، تولیدکننده و خرده فروش ها می باشد. با حداقل سازی این تابع هدف، متغیرهای مساله شامل میزان سفارش دهی مواد اولیه تامین کنندگان، میزان تولید هریک از محصولات و میزان سفارش هر یک از محصولات برای خرده فروش ها و همچنین میزان بهینه تابع هدف تعیین می شود.

مدل مساله از نوع برنامه ریزی 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 گرفته در این مقاله تعیین میزان بهینه متغیرهای مساله شامل میزان سفارش مواد اولیه هریک از تامین کنندگان، میزان بهینه تولید هریک از محصولات و میزان و زمان بهینه سفارش دهی هریک از محصولات توسط خرده فروش ها به صورت همزمان بوده است ضمن اینکه سفارش گذاری همزمان محصولات در قسمت خرده فروشی نیز جهت تطبیق بیشتر مساله 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 می باشد نیز اطمینان از یافتن بهترین جواب برای این مساله را فراهم می آورد و این روش حل نیز منحصراً در این مقاله بکار گرفته شده است.

برای تحقیقات آتی، می توان با در نظر گرفتن شرایط احتمالی در پارامترهای مساله همچون میزان تقاضا، در نظر گرفتن روابط و محدودیت های موجود بین محصولات مختلف، لحاظ نمودن محدودیت در تعداد دفعات سفارش دهی، در نظر گرفتن محدودیت هایی 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.