

برنامه‌ریزی یکپارچه تامین، تولید و توزیع زنجیره تامین با بکارگیری الگوریتم ژنتیک

محمد رضا صادقی مقدم^۱، منصور مومنی^۲، سروش نالچگیر^۳

۱. دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی دانشگاه تهران، ایران

۲. دانشیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ایران

۳. دانشجوی دکترای مدیریت، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۱۰/۲۲، تاریخ تصویب: ۱۳۸۸/۳/۴)

چکیده

امروزه عرصه تولید و خدمات با تغییر الگوی رقابت از میان شرکت‌های مستقل با رقابت میان زنجیره‌های تامین مواجه است. در این بین اهمیت جریان مواد در زنجیره تامین از میان جریان‌های سه گانه مالی و اطلاعاتی و مواد حائز توجه می‌باشد. در غالب واحدهای تولیدی ایران هنوز از دیدگاه سنتی برای برنامه‌ریزی تامین، تولید و توزیع استفاده می‌شود. یعنی هر کدام از این اجزاء به طور مستقل اقدام به برنامه‌ریزی برای فعالیت خود می‌نمایند این امر در اکثریت مواقع باعث افزایش هزینه‌های کل زنجیره تامین می‌گردد. در تحقیق حاضر پس از بررسی مدل‌های گوناگون ارائه شده در خصوص جریان مواد در زنجیره تامین، با رویکردی یکپارچه به مدل‌سازی جریان مواد در طول زنجیره تامین در بخش‌های تامین، تولید و توزیع در کارخانه کاجیران پرداخته شده است. در این تحقیق پس از حل مدل با الگوریتم ژنتیک بهترین جواب رضایت بخش که کمترین میزان هزینه را دارا می‌باشد انتخاب شده است. سپس جهت اعتبار سنجی، مدل ارائه شده با میزان واقعی متغیرها در بازه زمانی مورد مطالعه مقایسه گردیده که نتایج حاکی از کاهش هزینه در مدل ارائه شده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

مقدمه

امروزه شیوه‌های مدیریت تولید گذشته که یکپارچگی کمتری را در فرایندهایشان دنبال می‌کردند کارایی خود را از دست داده‌اند و زنجیره تأمین به عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، توانایی پاسخگویی به شرایط را دارا می‌باشد. در راستای پیاده‌سازی این فلسفه، ابزارها و تکنیک‌های قدیمی و جدید مانند برنامه‌ریزی ریاضی، شبیه‌سازی، روش‌های متاهیورستیک و... یاری‌کننده هستند. ارتباط نزدیکی بین طراحی و مدیریت جریان‌های زنجیره تأمین (مواد، اطلاعات، مالی) و موفقیت زنجیره وجود دارد. به طوریکه غالب شکستهای تجاری الکترونیک را می‌توان به مشکلات ناشی از طراحی و مدیریت جریان‌های زنجیره تأمین نسبت داد [۸]. مدیریت زنجیره تأمین یک مجموعه از روش‌هایی است که برای یکپارچه نمودن موثر عرضه کنندگان، تولید کنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به کار می‌رود، تا محصولات مورد نیاز به مقدار مشخص و در زمان معین و در مکان معین تولید شده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه‌های کل زنجیره حداقل شود و در ضمن نیاز مشتریان با سطح سرویس بالا برآورده شود [۱۹]. نقش موجودی‌ها، نقش اصلی در موفقیت یا شکست زنجیره تأمین می‌باشد. از این رو هماهنگی سطوح موجودی در سر تا سر زنجیره تأمین حائز اهمیت است [۲۱]. در غالب واحدهای تولیدی کشور ما هنوز دیدگاه سنتی در برنامه‌ریزی عملیات واحدهای مرتبط با تهیه و تدارک یک محصول حاکم بوده و واحدهای تشکیل دهنده زنجیره عرضه یک محصول هر کدام به تنهایی در راستای بهینه‌سازی منافع خود تصمیماتی را اتخاذ می‌کنند که این امر در اکثریت مواقع باعث افزایش هزینه‌های زنجیره، افزایش قیمت تمام شده محصول و در نتیجه کاهش قابل ملاحظه توان رقابتی شرکت‌ها خواهد شد.

مطالعات پیشین

غالب مدل‌های ارائه شده در زنجیره تأمین در تحقیقات گذشته را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

- مدل‌های هماهنگ خریدار-فروشنده
- مدل‌های برنامه‌ریزی هماهنگ تولید-توزیع
- مدل‌های برنامه‌ریزی هماهنگ-تولید-موجودی
- مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص

- مدل‌های هماهنگ خرید- تولید- توزیع

چاندررا و فیشر در سال ۱۹۹۴ مدلی با عنوان برنامه‌ریزی هماهنگ تولید و توزیع را ارائه کردند در این مدل تقاضا برای هر محصول در یک دوره برای هر خرده فروش مشخص است. تابع هدف این مدل به دنبال حداقل کردن هزینه کل می‌باشد که شامل هزینه‌های راه‌اندازی، تولید، حمل و نقل محصولات تولیدی به خرده فروشان و هزینه‌های موجودی‌هاست [۶]. جایارامان و پیرکول، مدلی یکپارچه از نوع برنامه‌ریزی مختلط صفر و یک را ارائه نمودند. تابع هدف در این مدل به دنبال حداقل کردن هزینه‌های کل زنجیره می‌باشد، که این هزینه شامل هزینه ثابت استقرار، عملیات و انبارها، هزینه متغیر تولید و توزیع، هزینه حمل و نقل مواد اولیه از فروشندگان به مراکز تولید و نهایتاً حمل و نقل محصولات نهایی به مشتریان از طریق انبارهاست [۱۵]. آنها در تحقیق دیگری به ارائه مدل PLANWAR پرداختند. این مدل علاوه بر حل مسائل قبلی به جابجایی کارخانه‌ها و انبارها با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت کمک می‌نماید [۱۲]. کوهن و مون با ارائه یک مدل مختلط صفر و یک سعی در بهینه نمودن جریان مواد، محصولات و ترکیب تولید محصولات در یک شبکه زنجیره عرضه با ساختار ثابت نمودند [۹]. لی و کیم نیز با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع مختلف، ساختار سیستم تولید و توزیع چند کارخانه‌ای، چند محصولی و چند دوره‌ای را ارائه نمودند [۱۳]. ویدیارسی، و لشکری یک مدل سلسله مراتبی ارائه دادند که دارای دو سطح استراتژیک و تاکتیکی می‌باشد این مدل یک مدل برنامه‌ریزی خرید، تولید و توزیع می‌باشد که خروجی‌های مدل سطح استراتژیک ورودی‌های مدل سطح تاکتیکی می‌باشد [۱۲] پایک و کوهن یک مدل یکپارچه تولید - توزیع از نوع احتمالی ارائه دادند که تابع هدف مدل هزینه‌های ناشی از تولید و توزیع را حداقل می‌نماید و محدودیت‌ها نیز مربوط به تقاضا و ظرفیت مراکز است [۱۴]. سبری و بیمون یک مدل یکپارچه چند هدفه برای برنامه‌ریزی استراتژیک و عملیاتی در زنجیره عرضه ارائه دادند. هدف مدل استراتژیک حداقل کردن هزینه‌های زنجیره می‌باشد و در سطح عملیاتی آنها سعی نمودند با استفاده از فرمولهای تعیین مقیاس‌های اقتصادی، مقدار خرید مواد اولیه و توزیع را مشخص کنند [۱۸] آرنترن و همکارانش مدلی با عنوان مدل جهانی زنجیره عرضه (GSCM) ارائه دادند. مدل آنها از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط می‌باشد که تابع هدف آن ترکیب موزونی از حداقل کردن هزینه‌های کل زنجیره عرضه و سیکل زمانی عبور کالاها و مواد اولیه، از میان زنجیره عرضه است [۲]. ژو و

همکارانش با ارائه یک مدل از نوع برنامه‌ریزی آرمانی برای صنایع با فرایندهای پیوسته در راستای بهینه‌سازی کل زنجیره عرضه از مرحله خرید مواد اولیه تا توزیع تلاش نمودند مدل آنها دارای چهار هدف اقتصادی، اجتماعی، هدف مرتبط با منابع و هدف مرتبط با محیط می‌باشد [۲۵]. میرغفوری یک ساختار سه سطحی شامل سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی را برای زنجیره عرضه مجتمع صنایع لاستیک سازی یزد طراحی نموده است و در سطح استراتژیک از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با رویکرد فازی در سطح تاکتیکی از برنامه‌ریزی چند هدفه فازی و در سطح عملیاتی از برنامه‌ریزی خطی استفاده نموده است [۲]. پویا نیز به ارائه مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید و توزیع به صورت قطعی و فازی پرداخته است. مدل طراحی شده توسط وی فقط تصمیمات سطح عملیاتی را در بر می‌گیرد. این مدل به دنبال حداقل کردن هزینه‌های تولید، نگهداری و کمبود محصولات در انبارهای توزیع، هزینه‌های تولید و نگهداری قطعات، هزینه‌های خرید و نگهداری مواد خام و سایر هزینه‌های حمل و نقل و... می‌باشد. محدودیت‌های این مدل شامل محدودیت‌های بالانس موجودی، ظرفیت ماشین آلات، منابع در دسترس، ظرفیت نگهداری، ظرفیت توزیع و... می‌باشد [۱].

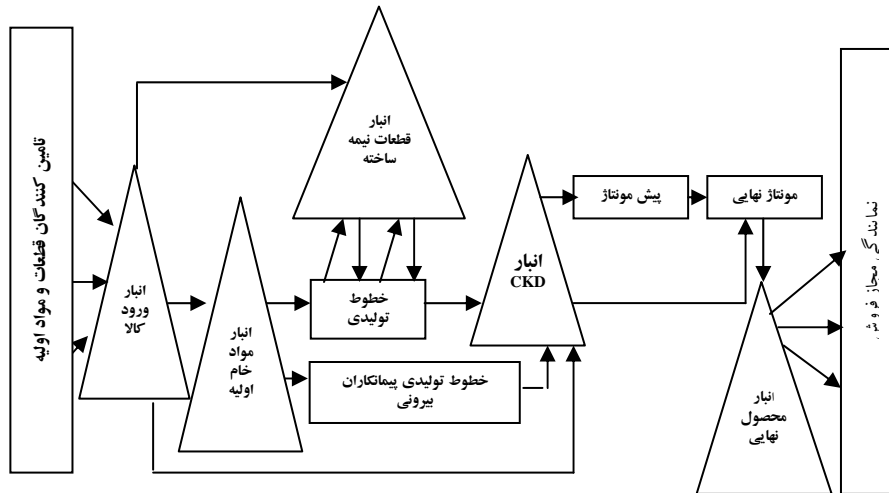
مطالعه موردی

توجه به زنجیره عرضه شرکت کاجیران با توجه به نوع صنعتی که در آن مشغول به تولید می‌باشد - صنعت لوازم خانگی - از اهمیت به سزایی برخوردار است. در شرکت کاجیران چهار مارک مختلف چرخ‌های خیاطی و گلدوزی برقی خانگی به شرح ذیل تولید می‌شود:

- چرخ خیاطی و گلدوزی نیولایف در دو مدل: ۳۰۸۴ الگانس و مدل ۴۰۸۴
- چرخ خیاط فاف در هشت مدل: ۱۱۱۰، ۱۱۱۱، ۱۱۱۸، ۱۱۱۹، ۱۱۲۸، ۱۱۲۹، ۱۱۳۸، ۱۱۳۹
- چرخ خیاطی یاسمین در شش مدل: ۳۹۳، ۳۹۲، ۴۰۱، ۴۰۲، ۵۰۱، ۵۰۲
- چرخ خیاطی و گلدوزی ژانینا در سه مدل: ۳۰۰، ۳۰۲، ۳۳۳

قطعات و اجزای تشکیل دهنده چرخ‌های خیاطی از چهار منبع خرید خارجی، خرید داخلی، ساخت کارخانه و خرید مهندسی تأمین می‌شود. در مجموع با توجه به BOM چرخ خیاطی یاسمین مدل ۳۹۳، تعداد ۲۶۶ قطعه از این محصول شناسایی گردید که پس از تجزیه و تحلیل A، B، C و شناسایی قطعات حیاتی جهت چرخ خیاطی یاسمین ۵۷ قطعه که از نظر

کارشناسان قسمت مدیریت مواد و تولید کارخانه اساسی و مهم تشخیص داده شد جهت برنامه‌ریزی انتخاب گردید. در نمودار ۱ محدوده جریان قطعات زنجیره تامین کاپیران نمایش داده شده است.



نمودار ۱. زنجیره تامین کاپیران

جهت انجام این تحقیق سه ماه از سال به عنوان پایلوت مدل‌سازی شده است.

مدلسازی ریاضی

در این تحقیق مبنای مدل‌سازی جریان مواد در زنجیره تامین کاپیران سیستم تولیدی کششی بوده است، از این رو جهت حرکت از پایین دست بسوی بالا دست زنجیره می‌باشد. مدل‌سازی زنجیره تامین کاپیران همانند تحقیقات جایارامان، پیرکول، کوهن و مون برنامه‌ریزی مختلط صفر و یک بوده و کلیه متغیرها به صورت عدد صحیح می‌باشند. تابع هدف مدل زنجیره تامین کاپیران همانند تحقیقات قبلی به دنبال مینیمم کردن هزینه‌های مرتبط با زنجیره تامین می‌باشد. محدودیت‌های این مدل با الگوبرداری از تحقیقات لی و کیم تنظیم شده است. این مدل دارای ۱۲۶۶ متغیر عدد صحیح، ۹۹ متغیر صفر و یک و ۲۱۰۰ محدودیت می‌باشد، که در ادامه به معرفی اجزای مدل پرداخته خواهد شد.

اندیس‌های مدل

- t : علامت دوره زمانی ($t=0,1,2,\dots,T$)
- i : علامت قطعه خریداری شده ($I=0,1,2,\dots,I$)
- r : علامت قطعه تولید شده در کارگاه‌های قطعه‌سازی ($r=0,1,2,\dots,R$)
- d : علامت نمایندگی‌های مجاز فروش ($d=0,1,2,\dots,D$)
- S : علامت عرضه کننده
- z : علامت محصول تولید شده در کارگاه مونتاژ
- P : علامت انبار
- e : علامت ایستگاه‌های کاری

پارامترهای مدل

- D_{jt} : تقاضا برای محصول z در دوره t
- n_{ij} : تعداد واحدهای قطعه i استفاده شده در ساخت یک محصول z
- n_{rj} : تعداد واحدهای قطعه r استفاده شده در ساخت یک محصول z
- C_{jt} : هزینه تولید محصول z در دوره t
- C_{it} : هزینه خرید قطعه i در دوره t
- C_{rt} : هزینه تولید قطعه r در دوره t
- h_{itp} : هزینه نگهداری یک واحد قطعه i در دوره t در انبار p
- h_{jtp} : هزینه نگهداری یک واحد محصول z در دوره t در انبار p
- h_{rtp} : هزینه نگهداری یک واحد قطعه r در دوره t در انبار p
- Π_{jt} : هزینه مواجهه با کمبود یک محصول z در دوره t
- Π_{it} : هزینه مواجهه با کمبود یک واحد قطعه i در دوره t
- Π_{rt} : هزینه مواجهه با کمبود یک واحد قطعه r در دوره t
- m_{ie} : زمان پردازش یک واحد قطعه i در ایستگاه e
- m_{re} : زمان پردازش یک واحد قطعه r در ایستگاه e
- mm_j : زمان پردازش یک واحد محصول z در ایستگاه مونتاژ نهایی
- mmm_j : زمان پردازش یک واحد محصول z در ایستگاه‌های بسته بندی
- CP_{et} : ظرفیت زمانی تولید در ایستگاه e در دوره t

- CCP_t: ظرفیت زمانی تولید در ایستگاه مونتاژ نهایی در دوره t
 CCCP_t: ظرفیت زمانی تولید در ایستگاه‌های بسته بندی در دوره t
 DM_{djt}: تقاضای توزیع کننده d در دوره t برای محصول j
 RC_{jd}: هزینه حمل یک واحد محصول j به توزیع کننده d
 RC_{is}: هزینه حمل یک واحد قطعه i از تامین کننده s
 SS_{ipt}: مقدار ذخیره احتیاطی قطعه i در دوره t در انبار p
 SS_{rpt}: مقدار ذخیره احتیاطی قطعه r در دوره t در انبار p
 SS_{jtp}: مقدار ذخیره احتیاطی محصول j در دوره t در انبار p
 AP_{jtp}: ظرفیت نگهداری محصول j در دوره t در انبار p
 AP_{rtp}: ظرفیت نگهداری قطعه r در دوره t در انبار p
 AP_{itp}: ظرفیت نگهداری قطعه i در دوره t در انبار p

متغیرهای مسأله

- XM_{ist}: مقدار قطعه i که در دوره t از عرضه کننده s خریداری می شود
 XP_{jt}: مقدار محصول j که در دوره t ساخته می شود
 XD_{jdt}: مقدار محصول j که در دوره t به مرکز توزیع d ارسال می شود
 XXP_{ret}: مقدار تولید قطعه r در ایستگاه e در دوره t
 I_{pjt}: مقدار موجودی محصول j که در پایان دوره t در انبار محصول p نگهداری می شود
 II_{pit}: مقدار قطعه i که در پایان دوره t در انبار p نگهداری می شود
 III_{rpt}: مقدار قطعه r که در پایان دوره t در انبار p نگهداری می شود
 O_{st}: آیادر دوره t به عرضه کننده s سفارش خرید مواد اولیه صادر شود
 O_{dt}: آیادر دوره t به توزیع کننده d کالا صادر شود
 IQ_{jdt}: مقدار محصول j ذخیره شده در انبار توزیع کننده d در دوره t
 L_{jtp}: مقدار کمبود ناشی از پوشش ندادن تقاضای محصول j در پایان دوره t
 LL_{it}: مقدار کمبود قطعه i در پایان دوره t
 LLL_{rtp}: مقدار کمبود قطعه r در پایان دوره t

تابع هدف مدل

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P O_{st}(C_{it} XM_{ist} + h_{itp} II_{ipt} + \Pi_{it} LL_{it} + RC_{is} XM_{ist}) + \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^R \sum_{e=1}^E \sum_{p=1}^P (C_{rt} XXP_{ret} + h_{rpt} III_{rpt} + \Pi_{rt} LLL_{rt}) + \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P (C_{jt} XP_{jt} + h_{jpt} I_{jpt} + \Pi_{jt} L_{jt}) + \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{d=1}^D O_{dt}(RC_{jd} XD_{jdt} + h_{jpt} IQ_{dt}) \quad (4)$$

این تابع هدف

- با توجه به مینیم کردن هزینه‌های خرید مقدار خرید از هر تامین کننده را مشخص می‌کند.
- مجموع هزینه‌های نگهداری قطعات خریداری شده و مواجه با کمبود را مینیم می‌کند.
- مجموع هزینه‌های ساخت، نگهداری قطعات و مواجه با کمبود قطعات را مینیم می‌کند.
- مجموع هزینه‌های ساخت، نگهداری محصول نهایی و مواجه با کمبود آن را مینیم می‌کند.
- با توجه به مینیم کردن هزینه‌های مربوط به تامین تقاضای مراکز توزیع میزان ارسال کالا به نمایندگی‌های مجاز را تعیین می‌نماید.
- هزینه نگهداری کالا در نمایندگی‌های مجاز را مینیم می‌نماید.

محدودیت‌های مدل

۱. سری محدودیت‌های مربوط به اطمینان از وجود قطعات (بالانس موجودی قطعات) خریداری شده:

$$\sum_{p=1}^P II_{ipt-1} + \sum_{s=1}^S XM_{ist} - \sum_{j=1}^J n_{ij} XP_{jt} = \sum_{p=1}^P II_{ipt} \quad \forall i, t$$

این محدودیت بیان کننده این موضوع است که موجودی ابتدای دوره قطعات i به اضافه مقداری از این قطعات که از عرضه کنندگان مختلف در دوره t خریداری می‌شود بایستی برابر

با جمع مقدار مصرف قطعه i در تولید محصول نهایی ماه t و مقدار موجودی که از این قطعه در پایان ماه در انبار می‌ماند باشد.

۲. سری محدودیت‌های مربوط به اطمینان از وجود قطعات (بالانس موجودی قطعات) ساخته شده:

$$\forall r, t \quad \sum_{p=1}^P III_{prt-1} + \sum_{e=1}^E XXXP_{ret} - \sum_{j=1}^J nrjXP_{jt} = \sum_{p=1}^P III_{prt}$$

این محدودیت بیان‌کننده این موضوع است که موجودی ابتدای دوره قطعات r به اضافه مقداری از این قطعات که در کارگاه‌های مختلف در دوره t ساخته می‌شود برابر با جمع مقدار مصرف قطعه r در تولید محصول نهایی ماه t و مقدار موجودی که از این قطعه در پایان ماه در انبار می‌ماند می‌باشد.

۳. سری محدودیت‌های مربوط به موازنه موجودی محصول نهایی:

$$\sum_{p=1}^P I_{pjt-1} + XP_{jt} - \sum_{p=1}^P I_{pjt} = \sum_{d=1}^D XD_{jdt} \quad \forall j, t$$

این محدودیت‌ها بیان می‌دارد که مقدار تولید محصول زدر دوره t بعلاوه مقدار موجودی ابتدای دوره محصول زدر انبار محصول نهایی منهای موجودی پایان دوره این محصول برابر با مقدار محصولی می‌باشد که از این انبار جهت نمایندگی‌های مجاز ارسال شده است.

۴. سری محدودیت‌های مربوط به سفارش قطعات جهت خرید:

$$\sum_{i=1}^I XM_{ist} - MO_{st} \leq 0 \quad \forall s, t$$

M یک عدد بسیار بزرگ می‌باشد.

این سری از محدودیت‌ها بیان‌گر این موضوع می‌باشند که در صورت سفارش به عرضه‌کننده s ، مقدار هزینه سفارش می‌بایست پرداخت شود.

۵. سری محدودیت‌های مربوط به ظرفیت تولید در ایستگاه‌های ساخت:

$$\sum_{r=1}^R XXXP_{ret} \times m_{re} \leq CP_{et} \quad \forall e, t$$

این سری محدودیت بیان‌کننده این موضوع است که میزان ساخت قطعات در داخل کارخانه می‌بایست بر اساس ظرفیت ماشین‌آلات موجود در ایستگاه‌های تولیدی صورت پذیرد.

۶. سری محدودیت‌های مربوط به ظرفیت پردازش در ایستگاه‌های مونتاژ:

$$\sum_{i=1}^I XXP_{iet} \times m_{ie} \leq CP_{et} \quad \forall e, t$$

این سری محدودیت همانند محدودیت‌های سری ۵ ولی جهت ایستگاههای مونتاژ می‌باشد.

۷. سری محدودیت‌های مربوط به ظرفیت پردازش محصول نهایی:

$$\sum_{j=1}^J XP_{jt} \times mm_j \leq CCP_t \quad \forall t$$

$$\sum_{j=1}^J XP_{jt} \times mmm_j \leq CCCP_t \quad \forall t$$

۸. سری محدودیت‌های مربوط به تامین سفارش مراکز توزیع:

$$\sum_{j=1}^J XD_{jdt} - MO_{dt} \leq 0 \quad \forall d, t$$

$$XD_{jdt} + IQ_{dt-1} - IQ_{dt} \geq DM_{djt} \quad \forall j, d, t$$

محدودیت‌های دسته اول بیان گر این موضوع می‌باشد که در صورت ارسال کالا جهت

نماینده‌گی مجاز d هزینه‌های مرتبط با این ارسال بر کارخانه تحمیل می‌شود دسته دوم

محدودیت‌ها بیان گر این موضوع هستند که مقدار کالایی که در هر دوره جهت نمایندگی‌های

مجاز ارسال می‌گردد به اضافه موجودی اول دوره آنها منهای موجودی پایان دوره آن محصول

در نمایندگی مجاز حداقل برابر با مقدار تقاضای آن نمایندگی در آن دوره می‌باشد.

۹. سری محدودیت‌های مربوط به نگهداری ذخیره اطمینان در انبارهای مختلف:

$$\sum_{p=1}^P II_{ipt} \geq \sum_{p=1}^P SS_{ipt} \quad \forall i, t$$

$$\sum_{p=1}^P III_{rpt} \geq \sum_{p=1}^P SS_{rpt} \quad \forall r, t$$

$$\sum_{p=1}^P I_{rpt} \geq \sum_{p=1}^P SS_{jpt} \quad \forall j, t$$

این سری از محدودیت‌ها بیان گر نگهداری حداقل ذخیره اطمینان لازم برای قطعات

و محصولات مختلف در تمامی انبارها می‌باشد.

۱۰. سری محدودیت‌های مربوط به ظرفیت انبارهای مختلف:

$$\sum_{j=1}^J I_{jpt} \leq AP_{jpt} \quad \forall p, t$$

$$\sum_{i=1}^I II_{ipt} \leq AP_{ipt} \quad \forall p, t$$

$$\sum_{r=1}^R III_{rpt} \leq AP_{rpt} \quad \forall p, t$$

این سری از محدودیت‌ها بیان گر ظرفیت نگهداری انبارهای مختلف جهت نگهداری محصولات و قطعات مختلف می‌باشند.

۱۱. سری محدودیت‌های مواجه با کمبود قطعات و محصولات نهایی :

$$n_{ij} D_{jt} - \left[\sum_{s=1}^S XM_{ist} + \sum_{p=1}^P II_{pit} + n_{ij} \sum_{p=1}^P I_{pjt} \right] = LL_{it} \quad \forall i, t$$

$$n_{rj} D_{jt} - \left[\sum_{e=1}^E XXP_{ret} + \sum_{p=1}^P III_{rpt} + n_{rj} \sum_{p=1}^P IP_{jt} \right] = LLL_{rt} \quad \forall r, t$$

$$D_{jt} - \sum_{d=1}^D XD_{jdt} = L_{jt} \quad \forall j, t$$

۱۲. سری محدودیت‌های ساختاری مدل :

$$XM_{ist}, II_{pit}, LL_{it} \geq 0 \quad \forall i, t, s, p, \text{ integer}$$

$$XP_{jt}, XD_{jdt}, I_{pjt}, L_{jdt} \geq 0 \quad \forall j, t, d, p \text{ integer}$$

$$XXP_{ret}, III_{rpt}, LLL_{rt} \geq 0 \quad \forall r, t, e, p \text{ integer}$$

$$IQ_{dt} \geq 0 \quad \forall d, t \text{ integer}$$

$$O_{st} = 0 \text{ یا } 1$$

$$O_{dt} = 0 \text{ یا } 1$$

الگوریتم ژنتیک ارائه شده

از سال ۱۹۶۰ تقلید از موجودات زنده برای استفاده در الگوریتم‌های قدرتمند جهت مسائل مشکل بهینه‌سازی مورد توجه قرار گرفت که تکنیکهای محاسبه تکاملی نام گرفتند اصول بنیادی الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط جان هالند در سال ۱۹۷۵ در دانشگاه میشیگان ضمن درسی که با عنوان نظریه سیستم‌های تطبیقی ارائه می‌داد ابداع گردید [۱۱].

الگوریتم ژنتیک یکی از مهمترین الگوریتم‌های ابتکاری می‌باشد که از آن برای بهینه‌سازی جهت توابع تعریف شده روی دامنه محدود استفاده می‌شود [۷]. در این الگوریتم اطلاعات گذشته با توجه به موروثی بودن الگوریتم استخراج شده و در روند جستجو مورد استفاده قرار می‌گیرد. مفاهیم الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۸۹ توسط گلبرگ توسعه داده شد [۱۷]. در این مقاله، الگوریتم ژنتیک برای یافتن مقادیر رضایت بخش

متغیرهای مسأله با تاکید بر حداقل کردن هزینه‌های زنجیره ارائه شده است. برای ارائه الگوریتم عملگرهای مختلفی توسعه داده شده‌اند و برای بررسی کارایی عملگرها نیز آزمایش‌های متعددی بر روی مسائل با اندازه‌های مختلف انجام گرفته است. ساختار الگوریتم ژنتیک مسأله به شرح زیر می‌باشد.

الف) کروموزوم: اساس الگوریتم ژنتیک تبدیل هر مجموعه جواب به یک کدینگ است. این کدینگ را اصطلاحاً کروموزوم گویند. در واقع شکل رمز شده جواب محتمل مسأله می‌باشد [۲۰]. در این مسأله هر کروموزوم یک جواب مسأله است که می‌تواند موجه و یا غیر موجه می‌باشد

ب) تابع برازندگی: تابعی است که مقدار متغیر مسأله در آن قرار داده شده، بدین طریق، مطلوبیت هر جواب مشخص می‌گردد. در مسائل بهینه‌سازی تابع هدف به عنوان تابع برازندگی بکار می‌رود [۲۴].

ج) جمعیت: مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها را جمعیت گویند. یکی از ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک این است که بجای تمرکز بر روی یک نقطه از فضای جستجو یا یک کروموزوم بر روی جمعیتی از کروموزوم کار می‌کند [۱۰]. مدل مورد نظر در این مسأله با میزان جمعیت اولیه ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ کروموزوم حل شده است.

د) عملگرهای ژنتیک: یک بخش مهم در الگوریتم ژنتیک ایجاد کروموزوم‌های جدید موسوم به فرزندان از طریق بعضی کروموزوم‌های قدیمی موسوم به والدین است. این فرایند مهم توسط عملگرهای ژنتیک صورت می‌گیرد [۲].

۱. عملگر تقاطع: عملگر اصلی جهت تولید کروموزوم‌های جدید در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع می‌باشد. این عملگر مشابه همتای خودش در طبیعت افراد جدیدی تولید می‌نماید، که از اجزای (ژنهای) والدینش تشکیل می‌گردد [۲۴]. عملگرهای تقاطع بکار گرفته شده در این تحقیق از نوع Inter، Two Point، Scatter، و Heuristic و mediate می‌باشند.

۲. عملگر جهش: در سیر تکاملی طبیعی، جهش یک فرایند تصادفی است که در آن محتوای یک ژن با ژن دیگر جهت تولید یک ساختار ژنتیکی جدید جایگزین می‌گردد. نقش جهش اغلب به عنوان تضمینی است برای آنکه احتمال جستجو در رشته هرگز صفر نگردد [۲۴]، عملگر جهش استفاده شده در این تحقیق، عملگرهای

Gaussian، Gaussian(1,1) و(2,1) Uniform.01 می‌باشند. عملگر جهش Gaussian یک عدد تصادفی از تابع توزیع Gaussian (تابع توزیع نرمال) با میانگین صفر به هر ورودی بردار والد اضافه می‌کند. واریانس این توزیع، بوسیله پارامترهای مقیاس و جمع شونده تنظیم می‌شود که در این تحقیق با تغییرات متوالی این متغیرها، مقیاس ۲ و ۱ همچنین جمع شونده گام ۱ انتخاب شده است.

ه) نسل: هر تکرار الگوریتم که منجر به ایجاد یک جمعیت جدید می‌گردد را یک نسل می‌گویند. در این تحقیق ۱۰۰ بار تولید نسل‌های جدید صورت پذیرفته است.

استراتژی در نظر گرفته شده در این مقاله جهت برخورد با محدودیت‌ها از نوع استراتژی ضریب جریمه می‌باشد. در این روش برخلاف سایر روش‌ها که از ورود جواب‌های غیرموجه جلوگیری می‌کنند جواب غیرموجه با احتمال کم امکان حضور می‌یابد. برای این منظور از روش ارائه شده توسط پاول به شرح فرمول زیر استفاده شده است. در استراتژی این مدل هر جواب موجه به مراتب بهتر از هر جواب غیر موجه می‌باشد [۱۶].

$$\bar{x} \notin M$$

$$\rho(\bar{x}, t) = \max \left\{ 0, \max_{x \in M} \{f(\bar{x})\} - \min_{x \notin M} \{f(\bar{x})\} + \sum_{j=1}^P f_j(\bar{x}) \right\}$$

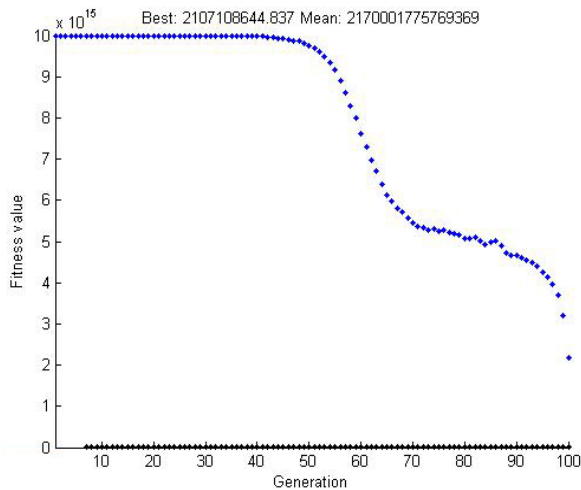
جایی که r نشان دهنده تعداد محدودیت‌های مدل و M مجموعه جواب‌های قابل قبول مساله می‌باشد.

نوع بازنمایی در این الگوریتم Binary Coding می‌باشد. ۱۰ مورد از بهترین جواب‌های حاصل شده از حل مدل با جمعیت‌های اولیه متفاوت، عملگرهای گوناگون و میزان ۱۰۰ تولید نسل در نگاره ۱ نشان داده شده است. زمان حل مدل نیز جهت هر کدام از آنها نشان داده شده است. این مدل به کمک نرم افزار MATLAB با یک کامپیوتر Pentium 4 Intel 2.6 Full حل شده است. همانطور که در نگاره ۱ نشان داده شده است بهترین جواب حاصل شده مربوط به میزان جمعیت ۱۰۰۰۰ کروموزوم، عملگر جهش Gaussian (1,1)، عملگر تقاطع Scatter و میزان تولید نسل ۱۰۰ است که در مدت ۳۵ دقیقه و ۱۷ ثانیه حاصل شده است.

نگاره ۱. ده جواب برتر از حل مدل

ردیف	میزان تولید نسل	اندازه جمعیت	عملگر تقاطع	عملگر جهش	میزان تابع هدف (ریال)	زمان حل (دقیقه)
۱	100	500	scatter	Gaussian(1,1)	3638564263,64	9,36
۲	100	1000	heuristic	Gaussian(2,1)	3545127763,76	13,19
۳	100	1000	scatter	uniform .01	3512478932,54	13,42
۴	100	2000	two point	Gaussian(1,1)	3175443648,32	16,2
۵	100	2000	inter mediate	Gaussian(1,1)	3262415130,59	16,4
۶	100	5000	scatter	Gaussian(1,1)	2313194466,12	21,9
۷	100	10000	scatter	Gaussian(2,1)	2475826666,41	33,15
۸	100	10000	heuristic	Gaussian(1,1)	2301477410,28	36,24
۹	100	10000	scatter	Gaussian(1,1)	2107108644,84	35,17
۱۰	100	10000	ترکیبی	ترکیبی	2245502464,79	35,41

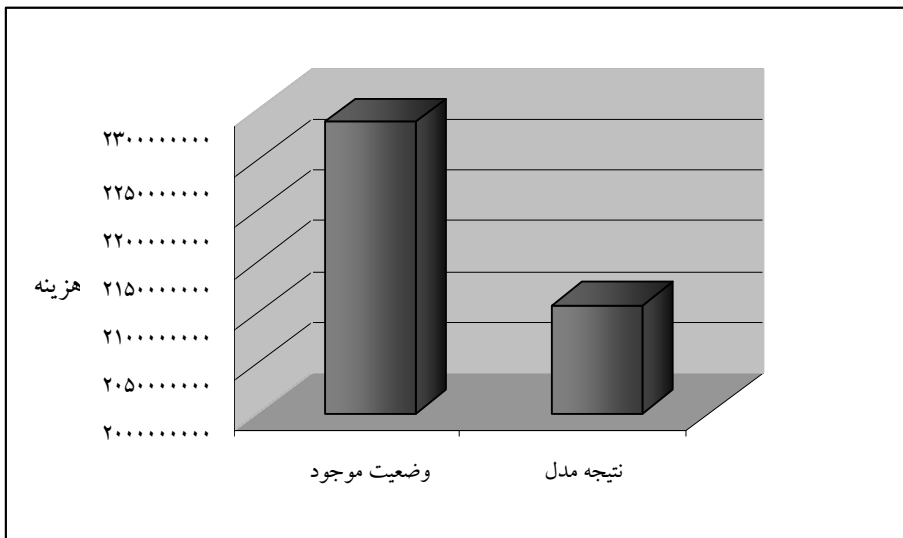
نمودار ۱ نمودار میزان جواب‌های حاصل شده در هر نسل مربوط به بهترین جواب (ردیف ۹ نگاره ۱) نشان می‌دهد. در نمودار ۲ محور افقی شماره نسل و محور عمودی مقدار تابع هدف را نشان می‌دهد.



نمودار ۱. نمودار مقادیر تابع هدف در ۱۰۰ تولید نسل

اعتبار سنجی مدل

در این تحقیق جهت اعتبار سنجی مدل سعی شده است که از تمامی راه‌های موجود برای اعتبار سنجی مدل‌سازی ریاضی استفاده شود. نخست مدل‌های ریاضی معتبر که توسط افراد سرشناس در مدل‌سازی ریاضی زنجیره تامین ارائه شده است مبنای طراحی مدل قرار گرفته است. سپس از نظر خبرگان و اهل فن مدل‌سازی در خصوص مدل مورد مطالعه استفاده شده است و در پایان نتایج حاصل از مدل با وضعیت موجود مقایسه شده است. نتایج حاصل از مقایسه وضعیت موجود با جواب‌های مدل طراحی شده در نمودار ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود نتایج نشان دهنده کاهش هزینه‌ها به میزان ۸/۶ درصد می‌باشد.



نمودار ۲. مقایسه نتیجه مدل با وضعیت موجود

نتیجه‌گیری

با توجه به ویژگی این مدل که در ابتدا با توجه به میزان تقاضا به انتخاب تامین کنندگان می‌پردازد، سپس با توجه به نتایج حاصل از بخش تامین به برنامه ریزی تولید جهت ایستگاه‌های کاری می‌پردازد و در نهایت به برنامه ریزی توزیع و تخصیص مقادیر تولید شده میان نمایندگی‌های مجاز مبادرت می‌ورزد، در ابتدا مشخص گردید که از کدام تامین کننده و به چه مقدار قطعات خریداری گردد تا تابع هدف در بهترین حالت رضایت بخش خود باشد. سپس مقادیر ساخت قطعات در هر ایستگاه کاری، میزان نگهداری موجودی

قطعات در هر انبار و مقادیر مجاز مواجهه با کمبود آنها مشخص شده است. همچنین در این قسمت مقادیر ساخت محصول نهایی، میزان نگهداری موجودی محصول نهایی در انبار کالای ساخته شده و مقادیر مجاز مواجهه با کمبود آن مشخص شده است. در انتها نتایج حاصل شده جهت بخش توزیع محاسبه شده است، که مقادیر ارسال چرخ خیاطی جهت هر کدام از نمایندگی‌های مجاز در سطح کشور، مقادیر نگهداری موجودی جهت هر کدام از نمایندگی‌ها و میزان مجاز مواجهه با کمبود جهت هر کدام از آنها می‌باشد که به دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله از بیان اعداد دقیق حاصل شده برای دوره سه ماهه مورد آزمایش خود داری شده است. جهت حل مدل گرچه از الگوریتم ژنتیک استاندارد استفاده شده است لیکن سعی شده است با نوآوری در عملگرهای بکار گرفته شده تا حدودی در راستای Adaptive Learning گام برداشته و نتایج بهتری حاصل گردد. لازم به توضیح می‌باشد که همان طور که در نگاره یک نمایش داده شده با اضافه شدن اندازه جمعیت، جواب‌های بهتری حاصل شده است لیکن زمان حل مساله نیز تا حدودی افزایش یافته است.

منابع

۱. پویا علی‌رضا (۱۳۸۳) «طراحی مدل ریاضی برنامه ریزی تولید و توزیع شرکت آزمایش»، پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. فقیه، نظام‌الدین و هنرور، علی (۱۳۸۳) «کاربرد الگوریتم ژنتیک در برنامه ریزی بازرسی‌های پیشگیرانه»، تهران، انتشارات نسیم حیات.
۳. میر غفوری، سیدحبيب ا... (۱۳۸۲) «طراحی مدل ریاضی زنجیره عرضه صنایع لاستیک سازی ایران»، رساله دکتری مدیریت، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
4. Aarts.E.H,Korst.J.H, (1989) Simulated Annealing and Boltzman Machines:A Stochastic Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing Chichester, New York, John Wiley.
5. Arntzen.C.Bruce,Geralg.G.Brown,Terry.P.Harrison And Linda.L.Trafton, (1995) "Global supply chain management at Digital Equipment Coordination ", Interfaces, Vol. 25, pp. 24-37.
6. Chandra .P, Fisher.M, (1994) "Coordination of Production and distribution planning", European Journal of Operation Research ,Vol. 72, pp. 503-517.

7. Croce.F.D, R.Tadei and G.Volta (2002) "A Genetic Algorithm for the job shop problem", Computer and operation Research , Vol. 22, No. 1, pp. 53-64
8. Chopra, Sunil, Meindel.P (224) Supply chain management: strategy, planning, and operation, New York, Prentice Hall.
9. Cohen.A, Morris and Sangwon Moon (1991) "An integrated plant loading model with economice of scale and scope", European Journal Of Operation Research, No. 50, pp. 266-276.
- 10.Fogarty.T.C, (1989) varying the probability of mutation in the genetic algorithm, Morgan Kaufmann publishers,CA.
- 11.Holland.J.H, (1975) Adaption in natural and artificial system, The university of Michigan Press.
- 12.Jayaraman. V,Pirkul. H, (2001) "planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities", European Journal of Operation research, Vol. 133, pp. 394-408.
- 13.Lee.Y.H, Kim .S.H, (2002) "Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints", computer and industrial engineering ,Vol. 43, pp. 169-190.
- 14.Patterson.L.J,Kim.M, (2000) "Strategic sourcing: a systematic approach to supplier evaluation, selection and development", Caps Research, Vol. 4, pp. 112-125.
- 15.Pirkul. H, Jayaraman.V (1998) "A multi- commodity,multi-plant,capacitated facility location problem: formulation and efficieint heuristic solution", Journal of operation research, vol. 25, No. 10, pp. 869-878.
- 16.Powell, D. and Skolnick, M., (1993) "Using Genetic Algorithms in Engineering Design. Optimization with Non-linear Constraints". Proceedings of the Fifth ternational. Conference on Genetic Algorithms. pp. 424-430.
- 17.S.A.Kazarlis, A.G.Bakirtzis , Petridis.V, (1992) "A Genetic Algorithm Solution to the Unit Commitment Problem", IEEE Trans. Power System, Vol. 1, pp. 14-32.
- 18.Sabri.H, Ehap And Benita .M, (2000) "A moultiobjective approach to simultaneous sterategic and operational planning in supply chain design ", Omega ,Vol. 28, pp. 581-598.
- 19.Simchi.Levi.D, Kaminsky.P, (2000) Designing and managing the supply chain, New York, Mc Graw Hill.

20. Sinriech.D, Samakh.E, (1999) "A genetic approach to the pick up/delivery station location problem in segmented flow based material handling systems" , Journal of manufacturing systems, Vol. 18, No. 2, pp. 81-99.
21. Stevenson.W, (2004) Operation management, New York, Mc Graw Hill.
22. Turban, Mclean, Wetherbi, (2002) Information Technology For Management, New York, Mc Graw Hill.
23. Tyndall.gen, (2000) "the global supply chain challenge", supply chain management review ,Vol. 3, No. 4, pp. 13-15.
24. Van larhoven. P.J.M, Aarts. E.H.L, (1987) simulated annealing: theory and application dordecht, kluwer.
25. Zhou.Z, Siwei.C, Ben. H, (2000) "Supply chain optimization of process industries with sustainability consideration", Computer and Chemical Engineering, Vol. 24, pp. 1151-1158.