

# مدلسازی جریان مواد زنجیره تأمین با رویکرد الگوریتم ژنتیک

محمد رضا صادقی مقدم<sup>۱\*</sup>، امیر افسر<sup>۲</sup>، بابک سهرابی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و حسابداری، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکترای دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دریافت: ۸۴/۲/۱۰

پذیرش: ۸۴/۸/۲

## چکیده

در میان جریانهای موجود در هر زنجیره تأمین (مالی، اطلاعات و مواد)، جریان مواد با توجه به سهم آن در بهای تمام شده محصول از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. این مقاله سعی بر آن دارد تا با به‌کارگیری روش الگوریتم ژنتیک، مدلی در جهت تخصیص مناسب سفارشها در سطوح مختلف زنجیره با توجه به حداقل کردن هزینه‌های مورد نظر مسأله ارائه کند. جوابهای مدل ارائه شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک با سایر روشهای متداول جستجوی الگو همچون Nelder-Latin Hypercube، Mead در قالب هزینه مقایسه شده است که شواهد حاکی از برتری روش الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روشها است.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین، گردش مواد، الگوریتم ژنتیک، جستجوی الگو.

## ۱- مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین، وظیفه یکپارچه سازی واحدهای سازمانی در طول زنجیره تأمین و هماهنگ‌سازی جریانهای مواد، اطلاعات و مالی به منظور برآوردن تقاضای مشتری نهایی و با هدف بهبود رقابت پذیری تأمین را دارا می‌باشد [۱]

یکی از مباحث مهم در زنجیره تأمین، موضوع مدیریت بر گردش مواد در طول زنجیره می‌باشد. اهمیت این مسأله از آنجایی بیشتر می‌شود که سهم لجستیک در قیمت فروش محصولات قابل توجه می‌باشد. به عنوان نمونه در کشور آمریکا ۳۰٪ قیمت فروش یک محصول را به‌طور متوسط هزینه لجستیک تشکیل می‌دهد [۲]. یک زنجیره تأمین، یک رشته از فرایندها و جریانهایی است که درون و بین مراحل و ترکیبات مختلف قرار می‌گیرند تا نیاز یک مشتری را برآورده سازند. دو راه مختلف برای اجرای دیدگاه فرایندی در یک زنجیره تأمین وجود دارد:

۱- دیدگاه سیکلی<sup>۱</sup>: در این دیدگاه فرایندها در یک زنجیره تأمین درون سری‌هایی از سیکلها تقسیم می‌شوند و هر عمل در تعامل بین دو مرحله متوالی از زنجیره می‌باشد.  
۲- دیدگاه فشاری - کششی<sup>۲</sup>: در این دیدگاه نیز فرایندها در یک زنجیره تأمین به دو بخش وابسته تقسیم می‌شوند، اعم از اینکه آنها به سفارشهای مشتری پاسخ داده و یا آنها را پیش‌بینی می‌کنند [۳]. فرایند کشش با یک سفارش مشتری آغاز می‌شود، درحالی که فرایند فشار با پیش‌بینی تقاضای مشتریان آغاز می‌شود [۴].

برای مدیریت گردش مواد زنجیره تأمین تاکنون از مدل‌های مختلفی استفاده شده است. اُبراین<sup>۳</sup> و قدسی‌پور<sup>۴</sup> برای حل مسأله انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت منبع یابی چندگانه، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه کرده‌اند که کل هزینه لجستیک را که شامل قیمت خالص، هزینه نگهداری موجودی، حمل و نقل و هزینه سفارش را در نظر می‌گیرد [۵، صص ۱۵-۲۷]. بیرکتار و سببی<sup>۵</sup>، یک مدل ترکیبی AHP و برنامه‌ریزی آرمانی لکسیکوگراف برای حل مسأله موجودی زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند. در این مدل، هر دو معیارهای کمی و کیفی در نظر گرفته شده‌اند تا در نهایت به جواب نهایی که مقدار خرید از هر عرضه‌کننده می‌باشد، دست یابد

---

1. cycle view  
2. pull/push view  
3. Obrain  
4. Ghodsipour  
5. Bayraktar & Cebi

[۶، صص ۳۹۵-۴۰۰]. قهرمان<sup>۱</sup> و همکاران نیز AHP فازی را جهت حل مسأله به‌کار بردند. این روش نگرش سیستماتیک در انتخاب گزینه‌ها و حل مشکل با استفاده از مفاهیم تئوری مجموعه فازی و تجزیه و تحلیل ساختار سلسله مراتبی می‌باشد. تصمیم‌گیرندگان معمولاً دریافته‌اند که ارائه قضاوت‌هایی در یک فاصله از قضاوت‌های با مقدار ثابت مطمئنتر می‌باشد [۷، صص ۳۸۲-۳۹۴]. دوگان<sup>۲</sup> و سهیم از برنامه‌ریزی پویا برای حل مسأله استفاده کرده‌اند [۸، صص ۴۲۰-۴۲۶]. [۴۲۶]. لینگ و بسنت با در نظر گرفتن اندازه سفارش برای موجودیها به ارائه مدل جهت موجودی بهینه در زنجیره تأمین پرداخته‌اند [۹]. همسفریز و همکاران نیز با در نظر گرفتن چارچوبی برای تلفیق معیارهای زیست محیطی به ارائه مدل پرداخته‌اند [۱۰، صص ۸۵-۹۳].

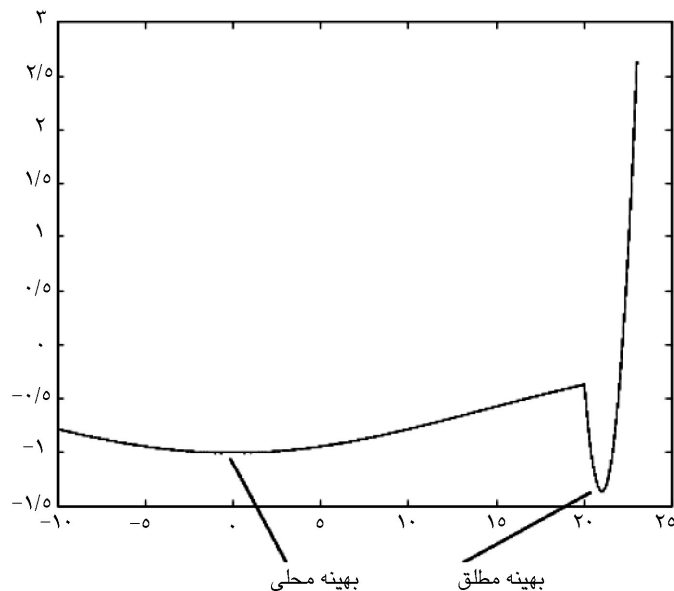
در راستای پیاده‌سازی این فلسفه ابزارها و تکنیکهای متفاوت و جدید مانند برنامه‌ریزی ریاضی، شبیه‌سازی، روشهای فرا ابتکاری و ... به‌کار برده می‌شود. در عمل الگوریتمهایی برای حل مسائل مختلف با اندازه‌های بزرگ مورد نیاز می‌باشد، این الگوریتمها هرچند پیچیده هم باشند توانایی حل دقیق مسائل را ندارند. یک روش روشن جهت حل چنین مسائلی بسنده کردن به جوابهای خوب نزدیک بهینه به جای جوابهای دقیقاً بهینه می‌باشد. محققان تحقیق در عملیات اخیراً اهمیت الگوریتمهای ابتکاری را دریافته‌اند، این الگوریتمها می‌توانند جوابهای نزدیک به بهینه را برای مسائل با اندازه‌های بزرگ در یک زمان محاسباتی قابل قبول و با یک فضای حافظه مورد نیاز مناسب فراهم سازد. با توجه به اینکه زمان اجرای برنامه با توجه به مقدار متغیرها و اندازه نمونه به‌طور نمایی افزایش پیدا می‌کند، نمی‌توان از الگوریتمهای polynomial برای حل این مسائل استفاده کرد. در جدول ۱ این مسأله نشان داده شده است.

جدول ۱ زمان مورد نیاز برای محاسبه گامهای F(N)

اندازه N			
F(N) تعداد مراحل	۲۰	۵۰	۱۰۰
$1000 \times N$	۰/۰۲ ثانیه	۰/۰۵ ثانیه	۱ ثانیه
$1000 \times N^2$	۰/۸ ثانیه	۱۲/۵ ثانیه	۱۰۰ ثانیه
$3^N$	۱ ثانیه	۳۵ سال	$3 \times 10^4$ قرن
$3^N$	۵/۸ دقیقه	$2 \times 10^9$ قرن	---

1. Kahreman
2. Dogan

به همین خاطر از الگوریتم‌های ابتکاری همانند الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup>، جستجوی ممنوعه<sup>۲</sup>، ذوب تدریجی شبیه‌سازی شده<sup>۳</sup> جهت حل این مسائل چالش برانگیز شده است. با توجه به ماهیت توابع غیرخطی، یک روش سریع، قاطع و منحصر به فرد در حل مسائل غیرخطی (مانند روش سیمپلکس در حل مسائل خطی) وجود ندارد. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، اکثر روشهای سنتی دارای این اشکال عمده می‌باشند که به محض رسیدن به اولین نقطه بهینه موضعی<sup>۴</sup> متوقف شده و توانایی خروج از این نقطه و حرکت به سوی نقطه بهینه مطلق<sup>۵</sup> را ندارند. جواب بهینه محلی ارتباط شدیدی به نقطه شروع مسأله و مکانیسم جستجو دارد.



شکل ۱ مینیمم محلی و مطلق

1. genetic algorithm
2. tabu search
3. simulated annealing
4. local optimum
5. global

در این مقاله سعی بر آن است تا با به کارگیری الگوریتم ژنتیک و استفاده از مزیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌های بهینه‌یابی به انتخاب مسیرهای اقناع کننده در زنجیره تأمین پرداخته شود. الگوریتم ژنتیک یکی از مهمترین الگوریتم‌های ابتکاری می‌باشد که از آن برای بهینه‌سازی توابع مختلف استفاده می‌شود. در این الگوریتم، اطلاعات گذشته با توجه به موروثی بودن الگوریتم استخراج شده و در روند جستجو استفاده شود. یکی از مزیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌های جستجو، عدم توقف در نقاط بهینه محلی می‌باشد [۸۱، صص ۸۱-۹۹].

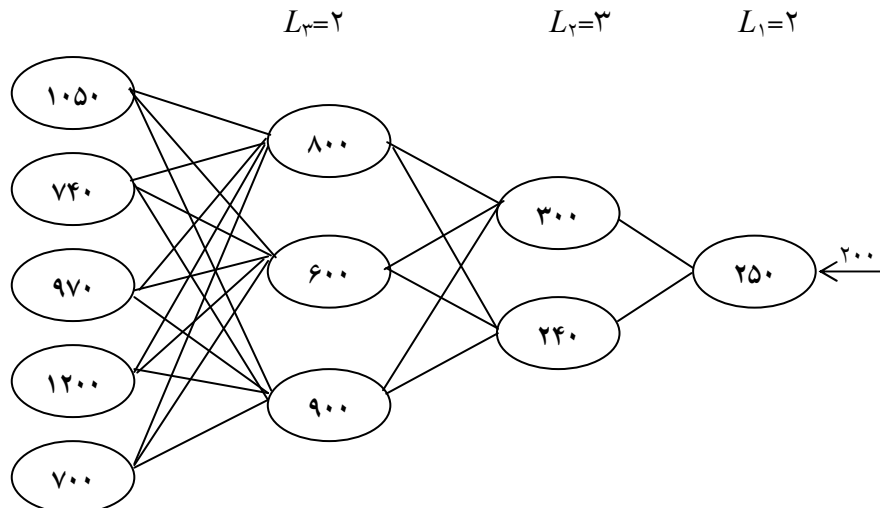
این مقاله بترتیب زیر سازماندهی شده است. در قسمت دوم یک مسأله دنیای حقیقی بررسی می‌شود. سپس مدلسازی ریاضی و در قسمت چهارم الگوریتم ژنتیک ارائه شده برای این مسأله و حل آن و در قسمت ششم مقایسه نتایج با دیگر روشها و در خاتمه نتایج ارائه می‌شود.

## ۲- مطالعه موردی

جهت ارزیابی مدل در یک مطالعه موردی، زنجیره تولید ماشین آلات کشاورزی در نظر گرفته شده است. در این زنجیره به طور معمول جهت سفارش قطعات لازم از سیستم فشاری<sup>۱</sup> استفاده می‌شود ولی برای یک سفارش به خصوص به حجم ۲۰۰ دستگاه ماشین چند کاره، جهت تأمین قطعات مورد نیاز سیستم کششی<sup>۲</sup> به کار گرفته شده است. هر ماشین چند کاره جهت تکمیل به دو دستگاه انتقال قدرت نیاز دارد که سهم اساسی در بهای تمام شده محصول دارد و آن را به صورت بسته‌های آماده از دو تأمین‌کننده بیرونی خریداری کرده و با سایر قطعات مونتاژ می‌کند. جزء اصلی در دستگاه انتقال قدرت جعبه دنده می‌باشد که آنها نیز خود به وسیله سه تأمین‌کننده دیگر تهیه شده و به تولید کننده دستگاه انتقال قدرت فروخته می‌شود. هر جعبه دنده خود از دو دسته قطعات ماشین کاری شده تشکیل می‌شود که به وسیله کارگاه‌های مختلف تراشکاری تهیه می‌شوند. در شکل ۲ ظرفیت هرکدام از واحدها و نوع ارتباطات آنها با هم نشان داده شده است.

---

1. push  
2. pull



شکل ۲ نمودار زنجیره تأمین با چهار سطح

### ۳- مدل‌سازی ریاضی

از میان سیستم‌های مختلف، از سیستم کششی برای فرمول کردن مسأله اخیر استفاده شده است؛ یعنی ایستگاه‌های موجود در هر سطح، موجودی را براساس میزان سفارش دریافتی از سطح بعد که می‌بایست برآورده سازند، از سطح قبل از خود تقاضا می‌کنند. کارخانه مرکزی<sup>۱</sup> براساس میزان و نوع سفارش دریافتی از مراکز تقاضا و BOL محصول، تقاضای قطعات مورد نیاز را به تأمین کنندگان بلافاصله خود و آنان نیز بر این اساس، تقاضای خود را به تأمین کنندگان ارائه می‌کنند. این مسأله بنا به اقتضائات موجود خود می‌تواند چندین سطح را در بر گیرد. این مسأله در قسمت توزیع بین خرده فروشان، مراکز توزیع و کارخانجات مرکزی نیز می‌تواند مصداق داشته باشد که با توجه به تابع هدف مسأله، گاه در برخی موارد، سودآوری زنجیره تأمین در این می‌باشد که کالا بدون عبور از یک سطح، مستقیماً به سطح بعد ارسال شود (این مورد بیشتر در قسمت توزیع که ایستگاه‌ها عملیاتی نمی‌باشند و

1. local firm

فقط برای توزیع کالا به کار گرفته می‌شوند، مطرح می‌شود).  
 با توجه به مطالعه موردی ارائه شده و از طریق درک روابط ریاضی حاکم بر مسأله، مدل جریان مواد زنجیره تأمین به شرح ذیل در این تحقیق طراحی شده است. تابع هدف این مدل درصد حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل، کمبود و نگهداری موجودی است. نمادهای این مدل عبارتند از:

$X_{ijk}$ : مقدار کالای حمل شده از مبدأ  $i$  به مقصد  $j$  در سطح  $k$

$(i=1,2,3,\dots,n_a; j=1,2,\dots,m_b; k=1,2,\dots,P)$

$A$ : ماتریس هزینه‌های حمل و نقل براساس واحد از مبدأ  $i$  به مقصد  $j$

$S_{ik}$ : حداکثر ظرفیت منابع  $i$  در سطح  $k$

$L$ : میزان تقاضای محصول نهایی

$L_k$ : تعداد قطعات مورد نیاز ورودی به سطح  $k$  برای تولید یک واحد قطعه خروجی

$g_1, g_2$ : هزینه مواجهه با نگهداری و کمبود موجودی

$W_{1k}, W_{2k}$ : متغیرهای صفر و یک

هر یک از ایستگاهها دارای حداکثر ظرفیتی می‌باشند که مقدار خروج مواد از آن ایستگاه نباید بیشتر از ظرفیت ایستگاه باشد (محدودیت ۱). میزان مواد وارد شده به هر یک از ایستگاهها باید حداقل  $L$  برابر میزان مواد خارج شده از آن ایستگاه باشد.  $L$  تعداد قطعات ورودی است که برای تولید یک واحد قطعه خروجی مورد نیاز است (محدودیت ۲).

مقدار مواد حمل شده از سطح ۲ به سطح ۱ حداقل باید به میزان  $L$  برابر سفارش دریافتی ( $I$ ) باشد (محدودیت ۳). مقدار عبارت در تابع هدف اگر بزرگتر از صفر باشد، با هزینه نگهداری مواجه شده‌ایم و  $W_{ik}$  باید برابر یک و  $W_{rk}$  برابر صفر قرار گیرد و برعکس اگر مقدار مذکور کوچکتر از صفر باشد، با هزینه کمبود مواجه شده‌ایم و  $W_{ik}$  باید برابر صفر و  $W_{rk}$  برابر یک قرار گیرد (محدودیت‌های ۴، ۵ و ۶).

$$\text{Min } f(x, w) = \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{m_b} \sum_{k=1}^p (AX_{ijk}) + \sum_{k=1}^p \left| \prod_{k=1}^p L_k I - \sum_{j=1}^{m_b} X_{ijk} \right| (w_{1k} g_1 + w_{2k} g_2)$$

Subject To:

$$\sum_{i=1}^{n_a} X_{ijk} \leq S_{ik+1} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n_a, k = 1, 2, \dots, p \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n_a} X_{ijk} \geq L_k \sum_{j=1}^{m_b} X_{i+1,jk} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n_a, k = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_a} X_{i,jr} \geq L_i I \quad (3)$$

$$W_{\backslash k} \left( \prod_{k=1}^p L_k I - \sum_{j=1}^{m_b} X_{ijk} \right) \geq 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, p-1 \quad (4)$$

$$W_{rk} \left( \prod_{k=1}^p L_k I - \sum_{j=1}^{m_b} X_{ijk} \right) \leq 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, p-1 \quad (5)$$

$$W_{\backslash k} + W_{rk} = 1 \quad (6)$$

$$W_{\backslash k}, W_{rk} = 0, 1, X_{ijk} \geq 0$$

در این زنجیره، ظرفیت تولید کالا برابر ۲۵۰ واحد می‌باشد که فرض شده است میزان تقاضا ۲۰۰ واحد است. میزان کالای حمل شده از مسیرهای  $X_{111}$  و  $X_{121}$  حداقل باید به اندازه میزان تقاضا (۲۰۰) باشد و در سطوح بعدی نیز میزان کالاهای وارد شده به ایستگاه باید بیشتر از میزان کالاهای خارج شده از ایستگاه باشد. هر یک از ایستگاهها دارای ظرفیت خاصی می‌باشند که مجموعه کالاهای خروجی از هر ایستگاه باید کمتر از ظرفیت ایستگاه باشد. مدل‌سازی مطالعه موردی ارائه شده شکل ۲ در ذیل ارائه شده است:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 15X_{111} + 20X_{121} + 22X_{112} + 18X_{122} + 27X_{132} + 22X_{142} + 18X_{152} + 27X_{162} + 30X_{113} + \\ & 25X_{123} + 22X_{133} + 20X_{143} + 22X_{153} + 30X_{163} + 25X_{173} + 22X_{183} + 20X_{193} + 22X_{203} + 30X_{213} + \\ & 25X_{223} + 22X_{233} + 20X_{243} + 22X_{253} + |240 - (X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} + X_{152} + X_{162} + X_{212} + \\ & X_{222} + X_{232} + X_{242} + X_{252} + X_{262} + X_{272} + X_{282} + X_{292} + X_{302}) \times (w_{11} \times 500 + w_{21} \times 700)| + \\ & |1200 - (X_{113} + X_{123} + X_{133} + X_{143} + X_{153} + X_{163} + X_{213} + X_{223} + X_{233} + X_{243} + X_{253} + X_{263} + X_{273} + X_{283} + X_{293} + X_{303}) \times (w_{1r} \times 500 + w_{2r} \times 700)| + \\ & |400 - (X_{111} + X_{121}) \times (w_{1r} \times 500 + w_{2r} \times 700)| \end{aligned}$$



Subject To:

$$X_{111} \leq 300$$

$$X_{121} \leq 240$$

$$X_{112} + X_{212} \leq 800$$

$$X_{122} + X_{222} \leq 600$$

$$X_{132} + X_{232} \leq 900$$

$$X_{113} + X_{213} + X_{313} \leq 1050$$

$$X_{123} + X_{223} + X_{323} \leq 740$$

$$X_{133} + X_{233} + X_{333} \leq 970$$

$$X_{143} + X_{243} + X_{343} \leq 1200$$

$$X_{153} + X_{253} + X_{353} \leq 700$$

$$X_{112} + X_{122} + X_{132} \geq 3 \times X_{111}$$

$$X_{212} + X_{222} + X_{232} \geq 3 \times X_{121}$$

$$X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} + X_{152} \geq 2 \times (X_{112} + X_{212})$$

$$X_{212} + X_{222} + X_{232} + X_{242} + X_{252} \geq 2 \times (X_{122} + X_{222})$$

$$X_{312} + X_{322} + X_{332} + X_{342} + X_{352} \geq 2 \times (X_{132} + X_{232})$$

$$X_{111} + X_{112} \geq 2 \times 200$$

$$W_{11} (2 \times 200 - (X_{111} + X_{112})) \geq 0$$

$$W_{21} (2 \times 200 - (X_{111} + X_{112})) \leq 0$$

$$W_{12} (2 \times 200 \times 3 - (X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} + X_{152} + X_{212} + X_{222})) \geq 0$$

$$W_{22} (2 \times 200 \times 3 - (X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} + X_{152} + X_{212} + X_{222})) \leq 0$$

$$W_{13} (2 \times 200 \times 3 \times 2 - (X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} + X_{152} + X_{212} + X_{222} + X_{232} + X_{242} + X_{252} + X_{312} + X_{322} + X_{332} + X_{342} + X_{352})) \geq 0$$

$$W_{23} (2 \times 200 \times 3 \times 2 - (X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} + X_{152} + X_{212} + X_{222} + X_{232} + X_{242} + X_{252} + X_{312} + X_{322} + X_{332} + X_{342} + X_{352})) \leq 0$$

$$W_{11} + W_{21} = 1$$

$$W_{12} + W_{22} = 1$$

$$W_{13} + W_{23} = 1$$

#### ۴- الگوریتم ژنتیک ارائه شده

ایده اولیه این روش از نظریه تکامل داروین الهام گرفته شده است و کاربرد آن بر اساس ژنتیک طبیعی استوار می‌باشد. اصول اولیه الگوریتم ژنتیک در سالهای ۱۹۶۲-۱۹۶۵ به وسیله جان هلند<sup>۱</sup> و همکارانش در دانشگاه میشیگان ارائه شد. آنان در تحقیقات خود به فرایند سازگاری در سیستمهای طبیعی توجه کرده و برای مدلسازی آن در سیستمهای مصنوعی که باید دارای تواناییهای سیستمهای طبیعی باشند، تلاش کردند [۸۱-۹۹].

در این مقاله، الگوریتم ژنتیک برای مسأله یافتن مسیر جریان مواد و مقدار مواد حمل شده در زنجیره تأمین با تأکید بر حداقل کردن هزینه‌های موجود در زنجیره بالاخص هزینه حمل و نقل 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 به شرح زیر می‌باشد.

الف) کروموزوم: رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به عنوان شکل کد شده یک جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) از مسأله مورد نظر می‌باشد، چنانچه از کدگذاری دودویی استفاده شود، هر بیت، یکی از مقادیر صفر و یک را می‌پذیرد. هر کدام از بیتهای کروموزوم مسأله اخیر، یک جواب بالقوه برای متغیرهای مسأله می‌باشد.

ب) تابع هدف و برازندگی: تابع هدف جهت تعیین اینکه افراد چگونه در محدوده مسأله ایفای نقش می‌کنند، استفاده می‌شود و تابع برازندگی معمولاً برای تبدیل مقدار تابع هدف به یک مقدار برازندگی وابسته به آن استفاده می‌شود. به عبارت دیگر داریم:

$$F(n)=g(f(x))$$

به طوری که f تابع هدف بوده و تابع g مقدار تابع هدف را به یک عدد غیر منفی تبدیل

می‌کند و F مقدار برآزندگی مربوط به آن می‌باشد [۱۲]. مناسب بودن یا نبودن جواب با مقداری که از تابع برآزندگی به دست می‌آید، سنجیده می‌شود. چون مسأله از نوع بهینه‌سازی می‌باشد، تابع برآزش با تابع هدف مسأله یکسان می‌باشد. تابع هدف مسأله، مینیمم کردن هزینه را مدنظر قرار می‌دهد.

ج) اندازه جمعیت و تعداد تولید: تعداد کروموزومها را اندازه جمعیت می‌گویند. یکی از مزیت‌های الگوریتم‌های ژنی نسبت به روشهای جستجوی سنتی این است که از جستجوی موازی استفاده می‌شود. با تعریف فوق، اندازه جمعیت، اندازه جستجوهای موازی است. در این تحقیق، اندازه جمعیت در آزمایشهای مختلف بررسی شده و جمعیت از یک نسل به نسل دیگر به منظور یافتن جواب بهتر با استفاده از روشهای تولیدمثل بهبود یافته است. اندازه جمعیت این تحقیق، ۵۰۰۰ کروموزوم می‌باشد.

د) عملگرهای ژنتیک: برای پیدا کردن یک نقطه در فضای جستجو باید از عملگرهای ژنتیک استفاده کرد. دو مورد از این عملگرها عبارتند از:

۱- عملگر تقاطعی: عملگر اصلی جهت تولید کروموزومهای جدید در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع می‌باشد. این عملگر مشابه همتای خودش در طبیعت، افراد جدیدی تولید می‌کند که اجزای (ژنهای) آن از والدینش تشکیل می‌شود. انواع مختلف عملگرهای تقاطعی عبارتند از: تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای، پخش کننده، میانجی و ابتکاری و ....

برای تعیین عملگر تقاطع مناسب، روشهای مختلفی همچون تک نقطه‌ای<sup>۱</sup> و دو نقطه‌ای<sup>۲</sup>، پخش کننده<sup>۳</sup>، میانجی<sup>۴</sup> و ابتکاری<sup>۵</sup> آزمایش شده است و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، روش ابتکاری پاسخ مناسبتری را ارائه کرده است. روش ابتکاری فرزندی را که خط تماس دو والد قرار گرفته است، در یک فاصله کوچک دور از والد با ارزش برآزش بهتر و در مسیری متفاوت از والد با ارزش برآزش بدتر بر می‌گرداند.

---

1. single point  
2. two point  
3. scattered  
4. intermediate  
5. heuristic

جدول ۲ ارزیابی عملگرهای تقاطع

نوع عملگر تقاطع	اندازه جامعه	تعداد تکرار	مقدار تابع هدف
ابتکاری	۵۰۰۰	۱۰۰	۸۸۳۰۸/۷۸
پخش‌کننده	۵۰۰۰	۱۰۰	۹۲۴۳۷/۱۴
میانجی	۵۰۰۰	۱۰۰	۹۳۱۴۹/۷۷
تک نقطه‌ای	۵۰۰۰	۱۰۰	۹۳۸۶۴/۵۶
دو نقطه‌ای	۵۰۰۰	۱۰۰	۹۵۷۳۸/۴۳

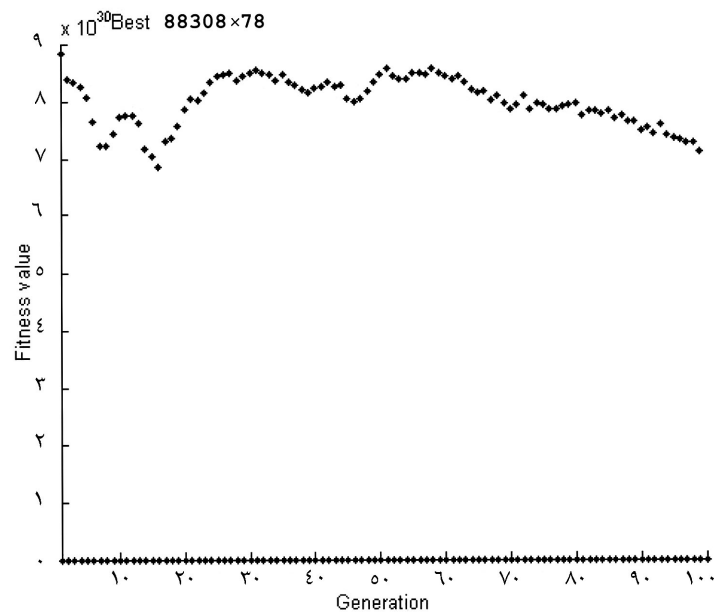
۲- عملگر جهش: جهش یک فرایند تصادفی است که در آن محتوای یک ژن با ژن دیگر جهت تولید یک ساختار ژنتیک جدید جایگزین می‌شود.

عملگر جهش استفاده شده در این تحقیق، عملگر گوسین<sup>۱</sup> است که با تغییر نسبت‌های مختلف آن، نسبت ۲ انتخاب شده است. عملگر گوسین جهش یک عدد تصادفی از تابع توزیع گوسین با میانگین صفر به هر ورودی بردار والد اضافه می‌کند. واریانس این توزیع، به وسیله پارامترهای مقیاس و جمع شونده<sup>۲</sup> تنظیم می‌شود که در این تحقیق با تغییرات متوالی این متغیرها، مقیاس ۲ و جمع شونده یک انتخاب شده است.

تابع برازش مدل ارائه شده برابر تابع هدف فوق در نظر گرفته شده است و محدودیت‌های مدل نیز در حل الگوریتم ژنتیک منظور شده است. برای در نظر گرفتن محدودیتها، چنانچه متغیرهای جامعه در محدودیتها صدق شده است. از تابع برازش استفاده شده است و در صورتی که متغیرهای جامعه در محدودیتها صدق نکرده است، تابع برازش برابر عدد خیلی بزرگی در نظر گرفته شده است. بنابراین از آنجا که مدل درصد حداقل کردن تابع برازش است، پاسخ در محدودیت‌های مدل صدق خواهد شد.

خروجی الگوریتم ژنتیک متغیرهای  $X_{111}$  تا  $X_{303}$  با اندازه جامعه ۵۰۰۰، تعداد تکرار ۱۰۰، عملگر جهش گوسین، عملگر تقاطع ابتکاری در ستون دوم جدول ۳ ارائه شده است. نمودار بهبود مقدار تابع برازش در نسل‌های متوالی ایجاد شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

1. Gaussion  
2. shrink



شکل ۳ نمودار بهبود مقدار تابع برازش در نسلهای متوالی ایجاد شده

مدل ارائه شده با روشهای مختلف جستجوی الگو<sup>۱</sup> نیز بررسی شده است. این روشها عبارتند از: روش Nelder - Mead و روش Latin Hypercube. مدل با استفاده از تمامی روشهای فوق با استفاده از نرم افزار MATLAB حل شده و خروجی آن در جدول ۴ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، در بین دو روش جستجوی الگو، روش Latin Hypercube نسبت به روش دیگر برتری دارد.

همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، مقدار تابع هدف محاسبه شده به وسیله الگوریتم ژنتیک نسبت به روش Nelder - Mead، ۹/۴ درصد و نسبت به روش Latin Hypercube، ۲/۳۷٪ بهبود نشان می دهد. خروجی جستجوی الگو با روش Nelder - Mead و Latin Hypercube برای متغیرهای  $x_{111}$  تا  $x_{202}$  در ستون سوم جدول ۳ ارائه شده است.

1. pattern search

جدول ۳ خروجی الگوریتم ژنتیک و جستجوی الگو

متغیرها	الگوریتم ژنتیک	Latin Hypercube	Nelder-Mead
X <sub>111</sub>	۱۹۱/۱	۲۰۴/۶۸	۲۶۲/۰۹
X <sub>1۲۱</sub>	۲۰۸/۸۹	۱۹۵/۳۳	۱۳۷/۹۱
X <sub>1۱۲</sub>	۱۳۲/۳۸	۱۵۶/۲	۹۸/۷۵
X <sub>1۲۲</sub>	۲۲۹/۳۱	۲۶۰/۴	۲۲۴/۴۳
X <sub>1۳۲</sub>	۲۱۱/۶۷	۱۹۷/۴۲۷	۴۶۳/۰۷
X <sub>۲۱۲</sub>	۲۶۱/۲۵	۲۳۷/۸۹	۸۳/۴۴
X <sub>۲۲۲</sub>	۲۰۵/۳۴	۲۲۳/۴۵	۲۳۹/۸۸
X <sub>۲۳۲</sub>	۱۶۰/۰۵	۱۲۴/۶۴	۹۰/۴۲
X <sub>۱۱۳</sub>	۵/۴۳	۱۶۸/۷۶	۲۱۱/۶۷
X <sub>۱۲۳</sub>	۸۰/۳۲	۶۱/۸۵	۲۹/۵۴
X <sub>۱۳۳</sub>	۳۲۳/۴۹	۳۰۹/۲۴	۵۷/۸
X <sub>۱۴۳</sub>	۲۹۰/۴	.	۱۴/۱۶
X <sub>۱۵۳</sub>	۸۷/۶۱	۲۴۸/۲۸	۵۱/۲
X <sub>۲۱۳</sub>	۸۰/۸۵	۸۲/۷	۴۱۹/۱
X <sub>۲۲۳</sub>	۱۶۶/۷۳	۲۵۰/۷۶	۱۱۹/۷۲
X <sub>۲۳۳</sub>	۱۹۴/۸۱	۹۲/۷۲	۲۰۱/۹۱
X <sub>۲۴۳</sub>	۱۸۲/۸۵	۲۰۴/۷۲	۱۳۹/۹۵
X <sub>۲۵۳</sub>	۲۴۴/۰۶	۳۳۶/۸	۴۷/۹۴
X <sub>۲۱۳</sub>	۸۷/۱۳	۱۳۰/۳۱	۳۹۱/۵۴
X <sub>۲۲۳</sub>	۱۳۲/۸	۱۷۳/۱۶	۴۲۶/۳۸
X <sub>۲۳۳</sub>	۱۰۸/۸۵	۱۴۷/۴۳	۱۵۴/۸۷
X <sub>۲۴۳</sub>	۱۳۲/۵۷	۱۱۱/۵۲	۴/۳۴
X <sub>۲۵۳</sub>	۲۸۲/۰۸	۸۱/۷۲	۱۲۹/۸۵
مقدار تابع هدف	۸۸۳۰۸/۷۸	۹۰۳۹۷/۴۵	۹۶۶۱۸/۲۰۷

جدول ۴ مقدار تابع هدف برای روشهای مختلف جستجوی الگو

روش جستجو	مقدار تابع هدف
الگوریتم ژنتیک	۸۸۳۰۸/۷۸
Latin Hypercube	۹۰۳۹۷/۴۵
Nelder - Mead	۹۶۶۱۸/۲۰۷

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت مسأله گردش مواد و هزینه‌های مربوط به آن در زنجیره تأمین و لزوم تصمیم‌گیری به موقع و صحیح در جهت سودآوری کل زنجیره، مدل‌های فرا ابتکاری به خصوص الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده در این مقاله نسبت به سایر مدل‌های کلاسیک قبلی از مزیت قابل توجهی برخوردارند.

یکی از مزیت‌های مدل به‌کار گرفته شده در این است که مدل در هر مرحله یک جواب قابل قبول ارائه می‌کند و حال با توجه به محدودیت‌های زمانی و سایر محدودیت‌های مسأله می‌توان جواب حاصل را بهبود بخشید. مدل ارائه شده بر اساس الگوریتم ژنتیک در این تحقیق با سایر مدل‌های جستجوی الگو نیز مقایسه شده است که نتایج تحقیق بیانگر توانایی قابل توجه الگوریتم ژنتیک در حل مدل این تحقیق می‌باشد.

مدل ارائه شده می‌تواند برای هر دو قسمت زنجیره تأمین<sup>۱</sup> و زنجیره تقاضا<sup>۲</sup> زنجیره و یا به صورت یکپارچه برای هر دو قسمت با هم به کار گرفته شود. یکی از مزیت‌های مهم این مدل، در نظر گرفتن تأثیر تمامی سطوح و اجزا بر همدیگر و در نظر گرفتن تمامی اجزا به صورت یکپارچه می‌باشد تا هدف کلی هر زنجیره را که همان سودآوری کل یک زنجیره می‌باشد، تأمین کند.

## ۶- منابع

- [1] Stadler H., Kilger C.; Supply chain management and advanced planning; Springer; 2000.
- [2] Kasilingam R.G.; Logistics and transportation; Design and planning, Kluwer Academic, 1999.
- [3] Mentzer J.T.; Supply chain management; Sage publication, Inc 2000.
- [4] Chopra S., Meindl P.; Supply chain management: Strategy, planning and operation; Prentice Hall, 2000.

---

1. supply chain  
2. demand chain

- [5] Ghodsypour S.H., O'Brien C.; Total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint, *Int. J. Production economics*, Vol. 73, 2001.
- [6] Cebi F., Bayraktar D.; An integrated approach for supplier selection; *logistics information management*, Vol. 16, 2003.
- [7] Kahraman C., Cebeci U., Ulukan Z.; Multi-Criteria supplier selection using Fuzzy AHP, *logistics information management*; Vol. 16, 2003.
- [8] Dogan I., Sahin U.; Supplier selection using activity-based costing and fuzzy present-worth techniques; *Logistic Information Management*; Vol. 16, 2003.
- [9] Basnet C., Leung J.M.Y.; Inventory lot-sizing with supplier selection; *Computers & Operations Research*, 2003.
- [10] Humphrey P., Mclvor R., Mc Aleer E.; Re-engineering the purchasing function; *European Journal of Purchasing & supply Management*, Vol. 6, 2000.
- [11] Sinriech D., Samakh E.; 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, 1999.
- [۱۲] فقیه ن.، هنرور ع.؛ کاربرد الگوریتم ژنتیک در برنامه‌ریزی بازرسی‌های پیشگیرانه؛ انتشارات نسیم حیات، ۱۳۸۳.