International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)
June 2016, Volume 27, Number 1
pp. 91-104
http://IJIEPM.iust.ac.ir/

PRESENTING A FUZZY MULTI-OBJECTIVE MODEL FOR INTEGRATED PRODUCTION-DISTRIBUTION PLANNING IN A FOUR-ECHELON CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN

Amir Hossein Nobil & Abolfazl Kazemi*

Amir Hossein Nobil, *Ph.D candidate, Young Researchers and Elite Club, Qazvin Branch, Islamic Azad University.*
Abolfazl Kazemi, *Assistant professor, Faculty of industrial and mechanical engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University.*

Keywords

Closed-loop supply chain,
Distribution-manufacturing planning,
Multi-objective linear programming,
Fuzzy sets,
Genetic algorithm

ABSTRACT

In recent decades, much attention has been the subject of closed-loop supply chain management. Closed-loop supply chain is a combination of both forward and reverse supply chain. In this paper present a fuzzy bi-objective model for the integrated production-distribution problems in a four-echelon closed-loop supply chain network. The first to the fourth echelon of the closed-loop supply chain includes factories, warehouses, customer zoens and collection centers, respectively. The aim of this research is to determine the sent goods quantity, holding goods quantity and recycled goods quantity such that the total cost and total time are minimized. Then, a genetic algorithm based solution procedure of fuzzy developed method is proposed. Finally, numerical example is performed on the model, are to illustrate the practical usage of the proposed solution procedure.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 27, No. 1, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۷، بهار ۱۳۹۵

صفحـــه ۱۰۴-۹۲

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک مدل چند هدفه فازی جهت برنامه‌ریزی تولید - توزیع یکپارچه در یک زنجیره تامین حلقه بسته چهار سطحی

امیرحسین نوبیل و ابوالفضل کاظمی*

کلمات کلیدی

زنجیره تامین حلقه بسته، برنامه‌ریزی تولید - توزیع، برنامه‌ریزی خطی چند هدفه، مجموعه‌های فازی، الگوریتم ژنتیک

چکیده:

در دهه‌های اخیر توجه بسیار زیادی به موضوع مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته شده است. زنجیره تامین حلقه بسته یک ترکیبی از دو زنجیره تامین رو به جلو و معکوس است. در این مقاله یک مدل دو هدفه فازی برای مسائل تولید - توزیع یکپارچه در یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چهار سطحی شامل کارخانه‌ها، انبارها، مناطق مشتریان و مراکز جمع‌آوری ارایه شده است. هدف این تحقیق تعیین مقدار کالاهای ارسالی، مقدار کالاهای نگهداری شده و مقدار کالاهای بازیافتی در هر دوره زمانی با توجه به کمینه کردن کل هزینه و زمان شبکه است. سپس، یک الگوریتم ژنتیک بر اساس رویه حل روش توسعه یافته فازی ارایه شده است. در نهایت، یک مثال عددی بر روی مدل انجام شده است تا عملکرد رویه حل پیشنهادی نشان داده شود.

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، پیشرفت در تولید و مدیریت زنجیره تامین موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات شده است. مدیریت زنجیره تامین رویکردی است که با یک جریان مناسب بین سطوح زنجیره تامین سعی می‌کند بین اهداف ناسازگار مسأله تعادل ایجاد کند. [۱] زنجیره‌های تامین را می‌توان به دو نوع مختلف دسته‌بندی نمود، نوع اول را زنجیره تامین رو به جلو می‌نامند که شامل فعالیت‌هایی نظیر تولید، سفارش و خرید است. این زنجیره از تامین کنندگان شروع و به مشتریان نهایی ختم می‌شود. نوع دوم را زنجیره تامین معکوس می‌نامند که شامل فعالیت‌هایی نظیر جمع‌آوری کالاها، بازیافت، دوباره‌کاری و تولید مجدد است. ترکیب این دو زنجیره با یکدیگر موجب ایجاد یک زنجیره تامین حلقه بسته می‌شود که دارای فعالیت‌های هر دو زنجیره تامین رو به جلو و معکوس است [۲].

تاریخ وصول: ۹۲/۰۲/۲۳

تاریخ تصویب: ۹۳/۰۲/۱۷

امیرحسین نوبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، amirhossein.nobil@yahoo.com

***نویسنده مسئول مقاله: ابوالفضل کاظمی**، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، abkaazemi@qiau.ac.ir

یکی از زمینه‌های اثربخش در مدیریت زنجیره تامین ، مسائل برنامه‌ریزی تولید- توزیع یکپارچه است. [۱] در این سال‌های اخیر توجهات بسیار زیادی بر روی این مسائل شده است و مزیت‌های اقتصادی که این مسائل موجب آن شده‌اند، گواه این مطلب است. [۳] این تصمیمات شامل تعیین مقدار مناسب تولید و مقدار ارسال از هر واحد تولیدی به هر مشتری است. در دنیای واقعی ضرایب محیطی مانند هزینه‌ها، زمان و یا تقاضای مشتریان برای مسائل تولید- توزیع در زنجیره‌های تامین، اغلب نامعین هستند و از آن‌ها اطلاعات کاملی در دسترس نیست. [۴] بطور کل می‌توان بیان نمود که عدم قطعیت جز لاینفک مدیریت زنجیره تامین است. [۵] در این مطالعه، یک مسأله برنامه‌ریزی خطی چند هدفه برای تصمیمات تولید- توزیع یکپارچه در یک زنجیره تامین حلقه بسته با اهداف نامعین ارایه شده است. اهداف مسأله شامل هزینه‌ها و زمان کل شبکه است که با یک روش برنامه‌ریزی خطی فازی کمینه شده‌اند. این شبکه زنجیره تامین حلقه بسته شامل چهار سطح کارخانه‌ها، انبارها، مناطق مشتریان و مراکز جمع‌آوری است. در این شبکه، کالاها توسط کارخانه‌ها تولید می‌شوند و سپس به انبارها ارسال می‌گردند. سپس، این کالاهای ارسالی به انبارها در هر دوره زمانی، یا می‌توانند در انبارها برای استفاده دوره‌های بعد نگهداری شوند و یا در همان دوره زمانی برای مصرف به مناطق

مشتریان ارسال گردند. در ادامه کالاهای ارسالی به مشتریان، پس از مصرف، توسط مراکز جمع‌آوری زباله به کارخانه‌ها برای بازیافت و تولید مجدد ارسال می‌گردند.

ساختار ادامه این مقاله بصورت زیر است. در بخش دوم مروری بر ادبیات مسائل تولید- توزیع در زنجیره تامین انجام می‌شود. در بخش سوم مسأله تولید- توزیع یکپارچه در زنجیره تامین حلقه بسته چهار سطحی با اهداف نامعین بیان می‌شود. در بخش چهارم مسأله تولید- توزیع بیان شده با استفاده از یک برنامه‌ریزی خطی فازی توسعه داده می‌شود. بخش پنجم شامل یک الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مدل توسعه یافته است. بخش ۶ نیز شامل نتایج محاسباتی و تجزیه و تحلیل مدل است. در پایان و در بخش هفتم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارایه می‌شود.

۲. مرور ادبیات

در این بخش مروری بر ادبیات موضوع زنجیره‌های تامین حلقه بسته و مسائل برنامه‌ریزی تولید- توزیع انجام می‌شود.

۲-۱. زنجیره تامین حلقه بسته

اصطلاح زنجیره تامین حلقه بسته در ادبیات زنجیره تامین و مدیریت تولید وجود نداشته است و در آغاز این قرن ظهور پیدا کرد.[۶] در ادبیات یک تعریف پذیرفته شده جامعی برای اصطلاح جدید شده زنجیره تامین حلقه بسته وجود ندارد.[۷] اما این مطلب مشخص است که این زنجیره، ترکیبی از دو زنجیره رو به جلو و معکوس است. جایارامان و همکاران [۸] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای تعیین مقدار بهینه تولید مجدد محصولات در شبکه زنجیره تامین معکوس ارایه دادند. فلیسچمانن و همکاران [۹] یک مدل لجستیک رو به جلو را با یک سیستم لجستیک معکوس ترکیب کرده، و یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را ارایه دادند. چونگ و همکاران [۱۰] سیاست بهینه‌ای را برای یک سیستم موجودی زنجیره تامین حلقه بسته با رویکرد تولید مجدد ارایه دادند. آنها همچنین این سیستم موجودی را با جریان مواد مستقیم سنتی و جریان مواد معکوس تجزیه و تحلیل کردند. یانگ و همکاران [۱۱] حالت تعادل شبکه زنجیره تامین حلقه بسته را با استفاده از نظریه نابرابری تغییرات فرموله کردند که این زنجیره تامین شامل تامین کنندگان ماده اولیه، تولید کنندگان، خرده فروشان، مشتریان و مراکز دوباره‌کاری است. وانگ و حسو [۱۲] کاربرد برنامه‌ریزی خطی فازی با آنالیز ریسک را برای تحلیل یک مدل لجستیک حلقه بسته نامعین بیان نمودند. ون- هوی و همکاران [۷] تعریفی از زنجیره تامین حلقه بسته، زنجیره تامین تولید و تولید مجدد را بیان نمودند. آنها همچنین مقایسه‌ای بین زنجیره تامین حلقه بسته و زنجیره تامین سنتی انجام دادند.

پاکسوی و همکاران [۱۳] به بررسی تعدادی از اقدامات و معیارهای عملکرد عملیاتی و زیست محیطی به ویژه مربوط به حمل و نقل در زنجیره تامین حلقه بسته پرداختند. در این مطالعه، آنها از یک مدل ریاضی به فرم برنامه‌ریزی خطی برای مسأله خود استفاده کردند. میترا [۱۴] مدیریت موجودی در یک زنجیره تامین حلقه بسته دو سطحی را با تقاضاها و بازگشتی‌های مرتبط ارایه داد. در همین سال، الوگو و ونگ [۱۵] یک سیستم مبتنی بر قانون فازی خبره را برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین حلقه بسته ارایه دادند. آنها این سیستم معیار عملکرد پیشنهادی را با یک مطالعه موردی از صنعت خودرو تجزیه و تحلیل نمودند. وحدانی و همکاران [۱۶] یک مدل بهینه‌سازی با تقاضای نامعین را برای زنجیره تامین حلقه بسته توسعه دادند. اوزکیر و باسیلیگی [۱۷] یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه از زنجیره‌های تامین حلقه بسته را در محیط نامعین ارایه دادند. آنها در این تحقیق سود، سطح رضایت مشتریان و سطح تجارت در زنجیره تامین حلقه بسته را بیشینه کردند. امین و ژانگ [۲] یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته متشکل از کارخانه‌ها، بازار تقاضا و مراکز جمع‌آوری را با فعالیت‌های رو به جلو و معکوس تحت تقاضا و بازگشتی نامعین ارایه کردند. در این تحقیق، آنها یک مسأله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را با هدف کمینه کردن کل هزینه‌های شبکه فرموله نمودند. همچنین در همین سال، امین و ژانگ [۱۸] یک مدل بهینه‌سازی سه سطحی با تقاضای نامعین را برای شبکه زنجیره تامین حلقه بسته توسعه دادند.

۲-۲. مسائل تولید- توزیع با رویکرد مدیریت زنجیره تامین

پیرکول و جایارامان [۱۹] یک مدل تولید- توزیع یکپارچه را برای یک زنجیره تامین سه سطحی شامل کارخانه‌ها، انبارها و مشتریان ارایه کردند. مدل آنها یک مسأله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح یک هدفه شامل هزینه‌های تولید، توزیع، حمل‌ونقل، راه‌اندازی کارخانه، و انبار بود. صابری و بیامون [۲۰] به بررسی شبکه زنجیره تامین چهار سطحی شامل سطوح تامین کنندگان، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و نواحی تقاضا پرداختند که مدل آنها یک مسأله تولید- توزیع چند محصولی، چند هدفه و چند ماده اولیه با تقاضای غیر قطعی است. لی و کیم [۲۱] یک برنامه‌ریزی تولید- توزیع چند سایتی، چند محصولی و چند پریودی یکپارچه را برای یک زنجیره تامین با محدودیت‌های ظرفیت بیان نمودند. چن [۲۲] یک مرور ادبیات کاملی بر روی مسائل برنامه‌ریزی تولید- توزیع در زنجیره تامین انجام داد. وانگ و لیانگ [۲۳] یک مدل برنامه‌ریزی فازی را برای حل مسأله تولید با اهداف چندگانه در یک محیط فازی پیشنهاد دادند. لیانگ [۲۴] رویکرد برنامه‌ریزی فازی را برای حل مسائل برنامه‌ریزی تولید - توزیع با اهداف فازی و محدودیت‌های معین در یک زنجیره تامین توسعه داد. لیانگ [۲۵] یک مدل برنامه‌ریزی تولید- توزیع چند هدفه فازی با چندین محصول و چند دوره زمانی در یک زنجیره

تامین را پیشنهاد کرد. مسأله‌ی او کل هزینه‌ها و کل زمان‌های ارسال را با طراحی یک برنامه‌ریزی خطی چند هدفه کمینه می‌کند. لیانگ و چنگ [۲۶] از مجموعه‌های فازی برای برنامه‌ریزی تولید- توزیع در زنجیره‌های تامین استفاده کردند. شی و همکاران [۲۷] برنامه‌ریزی تولید بهینه را برای یک سیستم زنجیره تامین حلقه بسته چند محصولی با تقاضا و بازگشت نامعین ارایه نمودند. آنها در این مدل سود مورد انتظار تولید کنندگان را بیشینه، و برای حل مدل نیز از روش آزادسازی لاگرانژ استفاده کردند. لیانگ [۴] یک مدل برنامه-ریزی تولید- توزیع یکپارچه فازی را با دو هدف هزینه و زمان ارسال برای یک زنجیره تامین دو سطحی ارایه کرد. وی همچنین یک روش برنامه‌ریزی خطی فازی توسعه یافته را برای برنامه‌ریزی خطی چند هدفه با ضرایب فازی پیشنهاد نمود.

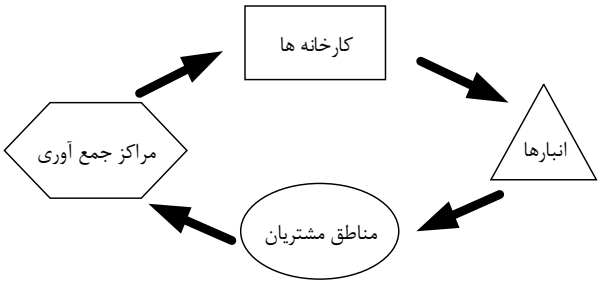
۳. بیان مسئله

۳-۱. توصیف شبکه

در این تحقیق، یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چهار سطحی برای مسائل تولید- توزیع در نظر گرفته شده است. سطوح زنجیره تامین شامل کارخانه‌های تولید کالا، انبارهای نگهداری کالا، مناطق مشتری و مراکز جمع‌آوری زباله‌ها است. در این زنجیره، کارخانه‌ها می‌توانند کالای جدید را با استفاده از مواد اولیه و یا کالاهای بازیافتی تولید کنند. این کالاهای تولید شده در هر دوره زمانی از کارخانه‌ها به انبارهای کالا ارسال می‌شوند که در انبارها این کالاها یا برای دوره‌های زمانی بعد نگهداری می‌شوند و یا جهت مصرف به مناطق مشتریان ارسال می‌شوند. در پایان و در مرحله آخر، مراکز جمع‌آوری نیز اگر بازیافت و تولید مجدد کالای مصرف شده مناسب‌تر نسبت به تولید کالای جدید با استفاده از مواد اولیه باشد، کالاهای جمع‌آوری شده را به کارخانه‌ها جهت بازیافت و تولید مجدد ارسال می‌کنند. این شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شکل ۱ نشان داده شده است.

فرضیات زیر برای ساخت شبکه زنجیره تامین در نظر گرفته شده است:

- کمبود جایز نیست.
- در این شبکه یک نوع کالا تولید می‌شود.
- در این مدل چند دوره تقاضا فرض شده است.
- در هر منطقه مشتری یک مرکز جمع‌آوری وجود دارد.
- مقدار ماده اولیه موجود برای هر کارخانه نامحدود فرض شده است.
- الزاماً تمام کالاها به کارخانه‌ها برای بازیافت و تولید مجدد ارسال نمی‌شوند.
- مکان کارخانه‌ها، انبارها و مناطق مشتریان ثابت است.
- ظرفیت تولیدکارخانه و فضای انبارها از قبل معلوم و معین است.
- پارامترهای فازی این مدل به صورت عدد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. ساختار شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چهار سطحی تولید - توزیع

۳-۲. مدل ریاضی

مدل ارایه شده یک مسأله برنامه‌ریزی خطی تولید- توزیع یکپارچه است که مجموعه‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم، اهداف و محدودیت‌ها به صورت زیر هستند:

۳-۲-۱- مجموعه‌ها

I: مجموعه کارخانه‌ها $(i=1,2,\ldots,I)$

J: مجموعه انبارها $(j=1,2,\ldots,J)$

K: مجموعه مناطق مشتریان $(k=1,2,\ldots,K)$

T: مجموعه دوره‌های زمانی $(t=1,2,\ldots,T)$

۳-۲-۲- پارامترها

S_j: حداکثر ظرفیت انبار j

N_i: حداکثر ظرفیت تولید کالای کارخانه i

M_j: حداکثر کالای فرستاده شده از انبار j به مناطق مشتریان

$\tilde{D}_{kt}$: تقاضای مشتری k در دوره زمانی t

$\tilde{b}_{it}$: هزینه تهیه ماده اولیه برای کارخانه i در دوره زمانی t

$\tilde{p}_{ijt}$: هزینه تولید هر واحد کالا در کارخانه i برای انبار j در دوره زمانی t

$\tilde{c}_{ijt}$: هزینه ارسال هر واحد کالا از کارخانه i به انبار j در دوره زمانی t

$\tilde{v}_{jt}$: هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار j در دوره زمانی t

$\tilde{o}_{jkt}$: درآمد حاصل از ارسال و فروش هر واحد کالا به منطقه مشتری k از انبار j در دوره زمانی t

$\tilde{a}_{kit}$: هزینه جمع‌آوری، ارسال و بازیافت کالای مصرفی توسط مراکز جمع‌آوری در منطقه مشتری k برای تولید مجدد کارخانه i در دوره زمانی t

$\tilde{n}_{it}$: زمان تهیه ماده اولیه برای کارخانه i در دوره زمانی t

$\tilde{x}_{ijt}$: زمان تولید و توزیع هر واحد کالا از کارخانه i به انبار j در دوره زمانی t

$\tilde{h}_{jkt}$: زمان ارسال هر واحد کالا به منطقه مشتری k از انبار j در دوره زمانی t

$\tilde{e}_{kit}$: زمان جمع‌آوری، ارسال و بازیافت کالای مصرفی توسط مراکز جمع‌آوری در منطقه مشتری k برای تولید مجدد کارخانه i در دوره زمانی t

۳-۲-۳. متغیرهای تصمیم

F_{it}: مقدار ماده اولیه استفاده شده برای کارخانه i در دوره زمانی t

Q_{ijt}: مقدار کالای ارسالی از کارخانه i به انبار j در دوره زمانی t

W_{jkt}: مقدار کالای ارسالی از انبار j به منطقه مشتری k در دوره زمانی t

H_{jt}: مقدار کالای نگهداری شده توسط انبار j در دوره زمانی t

R_{kit}: مقدار کالای بازیافتی فرستاده شده از منطقه مشتری k به کارخانه i در دوره زمانی t

۳-۲-۴. اهداف و محدودیت‌ها

$$\text{Min}Z_1 = \sum_{k\in K}\sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\tilde{a}_{kit}R_{kit} + \sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\tilde{b}_{it}F_{it} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T}(\tilde{c}_{ijt}+\tilde{p}_{ijt})Q_{ijt} + \sum_{j\in J}\sum_{t\in T}\tilde{y}_{jt}H_{jt} - \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{t\in T}\tilde{o}_{jkt}W_{jkt} \quad (۱)$$

$$\text{Min}Z_2 = \sum_{k\in K}\sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\tilde{e}_{kit}R_{kit} + \sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\tilde{n}_{it}F_{it} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T}\tilde{x}_{ijt}Q_{ijt} + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{t\in T}\tilde{h}_{jkt}W_{jkt} \quad (۲)$$

$$\sum_{j\in J}W_{jkt} \geq \tilde{D}_{kt} \qquad \forall k\in K;\forall t\in T \quad (۳)$$

$$H_{jt} \leq S_j \qquad \forall j\in J;\forall t\in T \quad (۴)$$

$$\sum_{j}Q_{ijt} \leq N_i \qquad \forall i\in I;\forall t\in T \quad (۵)$$

$$\sum_{k}W_{jkt} \leq M_j \qquad \forall j\in J;\forall t\in T \quad (۶)$$

$$\sum_{j\in J}Q_{ijt} \leq F_{it} + \sum_{k\in K}R_{ki(t-1)} \qquad \forall i\in I;\forall t\in T \quad (۷)$$

$$\leq \sum_{i}Q_{ijt} + H_{j(t-1)} - \sum_{k}W_{jkt} \qquad \forall j\in J;\forall t\in T \quad (۸)$$

$$\sum_{j}W_{jkt} - \sum_{i}R_{kit} \geq 0 \qquad \forall k\in K;\forall t\in T \quad (۹)$$

$$Q_{ijt}, W_{jkt}, R_{kit}, F_{it}, H_{jt} \geq 0 \qquad \forall i;\forall j;\forall k;\forall t \quad (۱۰)$$

تابع هدف اول مجموع هزینه‌های شبکه را کمینه می‌کند. هزینه‌ها به ترتیب عبارتند از: هزینه‌های آماده کردن محصولات برای تولید مجدد، هزینه تهیه ماده اولیه، هزینه تولید و ارسال کالا به انبارها، هزینه نگهداری در انبارها و هزینه ارسال به مناطق مشتریان. تابع هدف دوم نیز مجموع زمان‌های ارسال شبکه را کمینه می‌کند. زمان‌ها به ترتیب عبارتند از: زمان آماده کردن محصولات برای بازیافت و تولید مجدد، زمان تهیه ماده اولیه، زمان تولید و ارسال کالا به انبارها و زمان ارسال کالا به مناطق مشتری. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که مقدار کالای فرستاده شده به هر منطقه مشتری حداقل باید برابر تقاضای آن منطقه باشد. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که مقدار کالای نگهداری شده در هر انبار حداکثر باید برابر ظرفیت آن انبار باشد. محدودیت (۵) حداکثر ظرفیت تولید هر کارخانه را نشان می‌دهد. محدودیت (۶) حداکثر مقدار کالایی که هر انبار می‌تواند به مناطق مشتریان ارسال کند را نشان می‌دهد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که کالای تولید شده در هر کارخانه باید کوچکتر یا مساوی با مقدار ماده اولیه موجود در هر کارخانه باشد. در این محدودیت (۷) کالای بازیافتی به صورت ماده اولیه برای تولید مجدد کارخانه فرستاده می‌شود. محدودیت (۸) تضمین می‌کند که مقدار کالای نگهداری شده در هر انبار باید کوچکتر یا مساوی با مجموع مقدار کالای دریافتی و نگهداری شده در دوره قبل منهای مقدار کالای ارسال شده از انبار در آن دوره باشد. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که حداکثر مقدار کالای بازیافتی باید برابر با کالای ارسال شده به مناطق مشتریان باشد. در محدودیت (۱۰) نیز متغیرهای پیوسته غیر منفی نشان داده شده است.

۴. توسعه مدل پیشنهادی

در این بخش، مدل فازی پیشنهادی ارایه شده را می‌توان با روش‌های زیر به یک مدل قطعی تک هدفه تقریبی تبدیل نمود.

۴-۱. داده‌های مبهم (فازی)

در این مقاله فرض شده است که تصمیم‌گیران تابع امکان مثلثی را برای اعداد مبهم تنظیم می‌کنند. تابع امکان یک روش موثر برای فرآیندهایی با ذات مبهم است که این تابع برای تعیین پارامترها و ضرایبی در محیط مبهم بسیار مفید و کارا هستند. مزیت اصلی تابع مثلثی، سادگی و انعطاف‌پذیری این تابع در عملیات‌های ریاضی فازی است [۲۹ - ۲۸]. در تابع مثلثی تصمیم‌گیران می‌توانند از درجه امکان برای تعیین پارامترها مبهم مانند $\tilde{D}_j$، بر اساس سه داده مهم استفاده کنند. این سه داده مهم عبارتند از [۴]:

۱. بدینانه‌ترین معیار (D_j^l)، یک معیار با احتمال بسیار کم است که میزان احتمال آن در حالت نرمالایزه برابر صفر است.

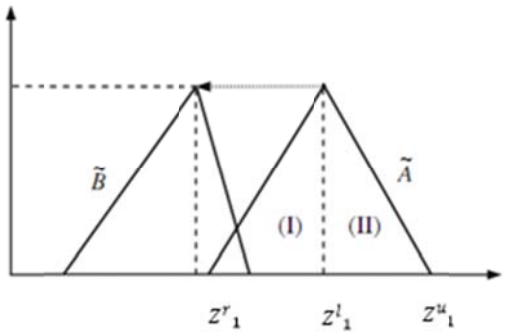
۲. بیشترین احتمال (D_j^r) که میزان احتمال آن در حالت نرمالایزه برابر یک است.
۳. خوش‌بینانه‌ترین معیار (D_j^u)، یک معیار با احتمال بسیار کم است که میزان احتمال آن در حالت نرمالایزه برابر صفر است.

۴-۲. استراتژی حل پارامترهای نامعین

۴-۲-۱. توابع هدف نامعین

در این بخش از توزیع احتمال فازی برای توابع نامعین استفاده شده است. تابع هدف (۱) را می‌توان با وجود اعداد فازی مثلثی به صورت سه نقطه مهم ($Z^l{}_1, 0$)، ($Z^r{}_1, 1$) و ($Z^u{}_1, 0$) مشخص کرد. این تابع هدف می‌تواند بر اساس حرکت این سه نقطه به سمت جلو و عقب کمینه شود. از همین رو برای کمینه کردن تابع هدف فازی از روش لای و هوانگ استفاده شده که این روش $Z^r{}_1$ کمینه، ($Z^r{}_1 - Z^l{}_1$) بیشینه و ($Z^u{}_1 - Z^r{}_1$) کمینه می‌کند.[۴] استراتژی کمینه کردن تابع هدف فازی در شکل ۲ نشان داده شده است.

استراتژی حل تابع هدف بدین صورت است که بیشترین احتمال تابع هدف فازی ($Z^r{}_1$) بیشینه، احتمال پایین‌ترین هدف ($Z^r{}_1 - Z^l{}_1$، ناحیه اول) بیشینه و ریسک بالاترین هدف ($Z^u{}_1 - Z^r{}_1$، ناحیه دوم) کمینه می‌شوند. در نهایت، معادله (۱) به سه تابع هدف جدید (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) به قرار زیر تبدیل می‌شود. بطور مشابه، معادلات (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) سه تابع هدف جدید برای معادله (۲) هستند.



شکل ۲. استراتژی کمینه کردن تابع هدف نامعین (فازی)

$$\mathrm{Min}\,Z_{11} = Z_1^r = \sum_k \sum_i \sum_t a_{kit}^r R_{kit} + \sum_i \sum_t b_{it}^r F_{it} + \sum_i \sum_j \sum_t (c_{ijt}^r + p_{ijt}^r) Q_{ijt} + \sum_j \sum_t v_{jt}^r H_{jt} - \sum_j \sum_k \sum_t o_{jkt}^r W_{jkt} \quad (۱۱)$$

$$\mathrm{Max}\,Z_{12} = Z_1^r - Z_1^l = \sum_k \sum_i \sum_t (a_{kit}^r - a_{kit}^l) R_{kit} + \sum_i \sum_t (b_{it}^r - b_{it}^l) F_{it} + \sum_i \sum_j \sum_t (c_{ijt}^r + p_{ijt}^r - c_{ijt}^l - p_{ijt}^l) Q_{ijt} + \sum_j \sum_t (v_{jt}^r - v_{jt}^l) H_{jt} - \sum_j \sum_k \sum_t (o_{jkt}^r - o_{jkt}^l) W_{jkt} \quad (۱۲)$$

$$\mathrm{Min}\,Z_{13} = Z_1^u - Z_1^r = \sum_k \sum_i \sum_t (a_{kit}^u - a_{kit}^r) R_{kit} + \sum_i \sum_t (b_{it}^u - b_{it}^r) F_{it} + \sum_i \sum_j \sum_t (c_{ijt}^u + p_{ijt}^u - c_{ijt}^r - p_{ijt}^r) Q_{ijt} + \sum_j \sum_t (v_{jt}^u - v_{jt}^r) H_{jt} - \sum_j \sum_k \sum_t (o_{jkt}^u - o_{jkt}^r) W_{jkt} \quad (۱۳)$$

$$\mathrm{Min}\,Z_{21} = Z_2^r = \sum_k \sum_i \sum_t e_{kit}^r R_{kit} + \sum_i \sum_t n_{it}^r F_{it} + \sum_i \sum_j \sum_t x_{ijt}^r Q_{ijt} + \sum_j \sum_k \sum_t h_{jkt}^r W_{jkt} \quad (۱۴)$$

$$\mathrm{Max}\,Z_{22} = Z_2^r - Z_2^l = \sum_k \sum_i \sum_t (e_{kit}^r - e_{kit}^l) R_{kit} + \sum_i \sum_t (n_{it}^r - n_{it}^l) F_{it} + \sum_i \sum_j \sum_t (x_{ijt}^r - x_{ijt}^l) Q_{ijt} + \sum_j \sum_k \sum_t (h_{jkt}^r - h_{jkt}^l) W_{jkt} \quad (۱۵)$$

$$\mathrm{Min}\,Z_{23} = Z_2^u - Z_2^r = \sum_k \sum_i \sum_t (e_{kit}^u - e_{kit}^r) R_{kit} + \sum_i \sum_t (n_{it}^u - n_{it}^r) F_{it} + \sum_i \sum_j \sum_t (x_{ijt}^u - x_{ijt}^r) Q_{ijt} + \sum_j \sum_k \sum_t (h_{jkt}^u - h_{jkt}^r) W_{jkt} \quad (۱۶)$$

۴-۲-۲. محدودیت نامعین

در معادله (۳) مدل اصلی ارایه شده، پارامتر تقاضا ($\tilde{D}_{kt}$) فازی بیان شده است. این پارامتر به صورت عدد فازی مثلثی است که می‌توان آن را با روش میانگین وزنی به یک عدد قطعی تبدیل کرد. در نهایت، محدودیت نامساوی فازی (۳) به یک محدودیت نامساوی قطعی تقریبی (۱۷) به قرار زیر تبدیل می‌شود.

$$\sum_{j\in J} W_{jkt} \geq y_1 D_{kt}^{l} + y_2 D_{kt}^{r} + y_3 D_{kt}^{u} \qquad \forall k \in K; \forall t \in T \qquad (۱۷)$$

که $0 \leq y_l \leq 1$، $\sum y_l = 1$ $(l = 1,2,3)$، y_1، y_2 و y_3 به ترتیب وزن‌های مربوط به بدبینانه‌ترین، بیشترین احتمال و خوشبینانه‌ترین معیارها برای عدد فازی هستند.

۴-۲-۳. مدل تولید- توزیع قطعی تقریبی توسعه یافته

مدل فازی تعمیم یافته‌ای که در بالا بیان شد، با استفاده از تابع عضویت خطی زیمرمن [۳۰] و مفهوم تصمیم‌گیری فازی بلمن و زاده [۳۱] می‌تواند به یک تابع هدف تبدیل شود. بر همین اساس، در ابتدا جواب‌های ایده‌آل مثبت (PIS) و جواب‌های ایده‌آل منفی (NIS) توابع هدف (۱۱) تا (۱۶) به صورت زیر تعیین می‌شوند که g، نشان‌دهنده تعداد هدف‌ها است. همچنین، توابع عضویت خطی مربوط به هر یک از توابع هدف به صورت زیر هستند.

در نهایت با عملگر حداقل در تصمیم‌گیری فازی بلمن و زاده [۳۱] می‌توان تمام مجموعه‌های فازی را ترکیب نمود که این عملگر حداقل φ برای تبدیل مدل چند هدفه فازی به یک مدل تک هدفه قطعی تقریبی استفاده می‌شود [۴]. مدل تعاملی نهایی (۲۴) توسعه یافته مدل تولید- توزیع دو هدفه نامعین پیشنهادی است که φ $(1 \geq \varphi \geq 0)$ در این معادله نشان دهنده رضایت کلی از اهداف است.

$$Z_{g1}^{PIS} = \text{Min}\, Z_g^{r}, \qquad Z_{g1}^{NIS} = \text{Max}\, Z_g^{r} \qquad g = 1,2 \qquad (۱۸)$$

$$Z_{g2}^{PIS} = \text{Max}(Z_g^{r} - Z_g^{l}), \qquad Z_{g2}^{NIS} = \text{Min}(Z_g^{r} - Z_g^{l}) \qquad g = 1,2 \qquad (۱۹)$$

$$Z_{g3}^{PIS} = \text{Min}(Z_g^{u} - Z_g^{r}), \qquad Z_{g3}^{NIS} = \text{Max}(Z_g^{u} - Z_g^{r}) \qquad g = 1,2 \qquad (۲۰)$$

$$oz_{g1}(Z_{g1}) = \begin{cases} 1 & if\ Z_{g1} < Z_{g1}^{PIS} \\ \dfrac{Z_{g1}^{NIS} - Z_{g1}}{Z_{g1}^{NIS} - Z_{g1}^{PIS}} & if\ Z_{g1}^{PIS} \leq Z_{g1} \leq Z_{g1}^{NIS} \\ 0 & if\ Z_{g1} > Z_{g1}^{NIS} \end{cases} \qquad g = 1,2 \qquad (۲۱)$$

$$oz_{g2}(Z_{g2}) = \begin{cases} 1 & if\ Z_{g2} > Z_{g2}^{PIS} \\ \dfrac{Z_{g2} - Z_{g2}^{NIS}}{Z_{g2}^{PIS} - Z_{g2}^{NIS}} & if\ Z_{g2}^{NIS} \leq Z_{g2} \leq Z_{g2}^{PIS} \\ 0 & if\ Z_{g2} < Z_{g2}^{NIS} \end{cases} \qquad g = 1,2 \qquad (۲۲)$$

$$oz_{g3}(Z_{g3}) = \begin{cases} 1 & if\ Z_{g3} < Z_{g3}^{PIS} \\ \dfrac{Z_{g3}^{NIS} - Z_{g3}}{Z_{g3}^{NIS} - Z_{g3}^{PIS}} & if\ Z_{g3}^{PIS} \leq Z_{g3} \leq Z_{g3}^{NIS} \\ 0 & if\ Z_{g3} > Z_{g3}^{NIS} \end{cases} \qquad g = 1,2 \qquad (۲۳)$$

۵. حل مدل توسعه یافته با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های فراابتکاری الهام گرفته از طبیعت می‌باشد و در واقع یکی از تکنیک‌های محاسبه تکاملی است[۳۲]. در این بخش رویه کار الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با رویکرد برنامه-ریزی فازی برای حل مدل توسعه یافته بیان می‌شود. حل مدل توسعه یافته از دو مرحله اساسی تشکیل شده است. در مرحله اول الگوریتم، مقادیر (PIS) و (NIS) را با توجه به محدودیت‌های مدل برای معادلات (۲۱) تا (۲۳) بدست می‌آورد. سپس با توجه به این مقادیر بدست آمده و توابع عضویت خطی (۱۸) تا (۲۰) جواب نهایی مدل توسعه یافته (۲۴) بدست می‌آید.

این الگوریتم ژنتیک پیشنهادی شامل تصمیمات زیر است:

۱. چه مقدار کالا به مناطق مشتریان ارسال شود؟
۲. چه مقدار کالا در انبارها نگهداری شود؟
۳. چه مقدار کالا در کارخانه‌ها تولید شود؟
۴. چه مقدار ماده اولیه استفاده شود؟
۵. چه مقدار کالای مصرفی بازیافت شود؟

$$\text{Max}\ \varphi$$
$$\text{S.t.} \qquad \varphi \leq \frac{Z_{g1}^{NIS} - Z_{g1}}{Z_{g1}^{NIS} - Z_{g1}^{PIS}} \qquad g = 1,2 \qquad (۲۴)$$

$$\varphi \le \frac{Z_{g2} - Z_{g2}^{NIS}}{Z_{g2}^{PIS} - Z_{g2}^{NIS}} \qquad g = 1,2$$

$$\varphi \le \frac{Z_{g3}^{NIS} - Z_{g3}}{Z_{g3}^{NIS} - Z_{g3}^{PIS}} \qquad g = 1,2$$

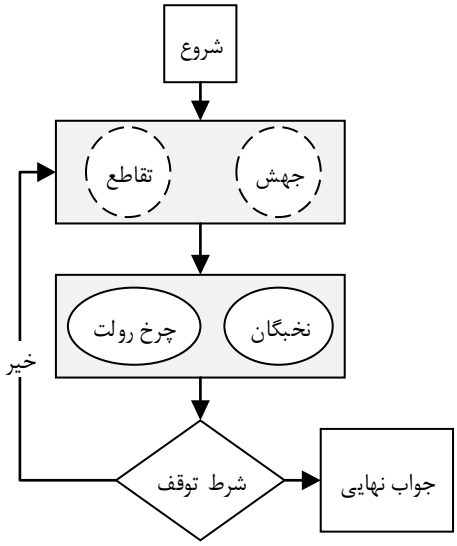
$$\sum_{j \in J} W_{jkt} \le y_1 D_{kt}^{l} + y_2 D_{kt}^{r} + y_3 D_{kt}^{\mu} \qquad \forall k \in K; \forall t \in T$$

معادلات (۴) تا (۱۰)

$$Q_{ijt}, W_{jkt}, R_{kit}, F_{it}, H_{jt} \ge 0 \qquad \forall i \in I; \forall j \in J; \forall k \in K; \forall t \in T$$

۵-۱. ساختار کلی الگوریتم

در ابتدا الگوریتم ژنتیک پیشنهادی یک جمعیت اولیه را تولید کرده و بر روی آن عملگرهای تقاطع و جهش را اجرا می‌کند. سپس با رویکردهای انتخاب بهترین‌ها و چرخ رولت جمعیت نسل بعد از بین جمعیت‌های نسل قبل، تقاطع و جهش انتخاب می‌شود. این الگوریتم پیشنهادی آنقدر تکرار می‌شود تا شرط توقف حاصل گردد. رویه کار این الگوریتم پیشنهادی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. رویه کار الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

۵-۲. طراحی کروموزوم و تابع برازش

نخستین گام در الگوریتم ژنتیک طراحی کروموزوم و کد گذاری کردن ژن‌ها است [۳۳]. نخست در این الگوریتم پیشنهادی مقدار کالای ارسال شده به مناطق مشتریان از انبارها به صورت تصادفی برای هر دوره $(\sum_j W_{jkt})$ بزرگتر از $y_1 D_{kt}^{l} + y_2 D_{kt}^{r} + y_3 D_{kt}^{u}$ و کوچکتر از $\sum_k W_{jkt}$ بدست می‌آید. متغیرهای تصمیم Q_{ijt}، F_{it}، H_{jt} و R_{kit} مقدار تصادفی با توجه به رابطه‌ها و محدودیت‌ها با W_{jkt} دریافت می‌کنند.

تابع برازش الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در مرحله اول شامل تک تک معادلات (۱۱) تا (۱۶) در حالت PIS و NIS است. در مرحله دوم با توجه به مقادیر بدست آمده PISو NIS مقدار φ مدل توسعه یافته بیشینه می‌شود.

۵-۳. عملگرهای تقاطع و جهش

- تقاطع

با اعمال عملگر تقاطع بر روی والدین، دو نوزاد با ترکیب ساختار والدین بوجود می‌آیند. در این الگوریتم پیشنهادی از روش تقاطع تک نقطه‌ای و یکنواخت برای هر سه قسمت کروموزوم استفاده شده است. دو عملگر استفاده شده موجب تغییرات در داخل یک دوره زمانی و هم در دوره‌های زمانی مختلف می‌شوند. نرخ تقاطع (Pc) به دو نرخ مجزا (تک نقطه‌ای و یکنواخت) تقسیم می‌شود (Pc=Pco+Pcp).

۱. تقاطع تک نقطه‌ای (Pco): در این تقاطع یک نقطه تصادفی از ۰ تا J بین رشته W_{jkt} در دوره زمانی t انتخاب شده، و رشته $\sum_j W_{jkt}$ در آن دوره زمانی و از آن نقطه عوض می‌شود. این تقاطع برای تغییر کروموزوم در حالت یک دوره زمانی مناسب است.

۲. تقاطع یکنواخت (Pcp): در این تقاطع رشته‌های W_{jkt} در دوره‌های زمانی مختلف t با یکدیگر عوض می‌شوند. بدین صورت که دو کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب شده و رشته‌های W_{jkt} در هر دوره زمانی به صورت یکی در میان با یکدیگر با هم عوض می‌شوند. این تقاطع برای تغییر عملگر تقاطع در حالت دوره‌های زمانی مختلف مناسب است.

در نهایت متغیرهای دیگر کروموزوم‌ها ترمیم می‌شوند و اگر در محدودیت‌ها صدق نکردند، دوباره به صورت تصادفی مقدار دریافت می‌کنند.

- جهش

در این الگوریتم پیشنهادی با توجه به نرخ جهش (Pm) از جهش جابجایی برای کروموزوم‌ها استفاده شده است. در این جهش دو ژن قسمت W_{jkt} به تصادف انتخاب و با یکدیگر تعوض می‌شوند. در نهایت کروموزوم بر اساس این تغییرات دوباره ترمیم می‌شود.

۵-۴. تابع جریمه

با توجه به محدودیت‌های نامساوی در مدل، بعضی از کروموزوم‌های تولید شده ممکن است موجه نباشند. بنابر این در این الگوریتم برای بررسی محدودیت‌های مدل از سیاست جریمه استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن فرم کلی محدودیت‌های مدل که به صورت $g(x) \le b$، مقدار جریمه برای یک جواب به صورت معادله (۲۵) تعریف می‌گردد.

$$N(x) = M \times \mathrm{Max}\left\{\left(\frac{g(x)}{b} - 1\right), 0\right\} \qquad (۲۵)$$

به طوری که M، $g(x)$ و $N(x)$ به ترتیب نشان دهنده یک مقدار بزرگ، محدودیت و جریمه اعمال شده بر روی جواب x می‌باشند.

۵-۵. مکانیزم انتخاب

استراتژی انتخاب این الگوریتم پیشنهادی از هر نسل به نسل بعد بر اساس دو رویکرد مختلف است. در ابتدای هر دو روش جمعیت‌های نسل قبل، تقاطع و جهش با یکدیگر ترکیب شده و از بین آنها انتخاب صورت می‌گیرد. روش اول، انتخاب بر اساس بهترین کروموزوم‌ها است که به نرخ Pe از جمعیت نسل بعد را تشکیل می‌دهند. روش دوم انتخاب بر اساس چرخ رولت است که به نرخ Pw بقیه جمعیت نسل بعد را شامل می‌شوند. روش اول جواب‌های مناسب را نگه داشته و باعث می‌شود که الگوریتم زودتر به همگرایی برسد. روش دوم نیز تصادفی بودن الگوریتم را تضمین می‌کند. در روش چرخ رولت پس از آنکه مقدار تابع برازش هر نسل محاسبه شد. مجموع مقادیر تابع برازش‌ها محاسبه شده؛ و یک عدد تصادفی بین صفر و مجموع تابع برازش‌ها انتخاب می‌شود. روش انتخاب چرخ رولت به صورت زیر می‌باشد:

- برای هر کروموزوم از جمعیت مقدار برازش محاسبه می‌شود.
- برازش تجمعی هر کروموزوم محاسبه می‌شود.
- مجموع برازش‌ها را Total فرض می‌شود.
- عدد تصادفی در فاصله بین (۰ تا Total) تولید می‌شود.
- عدد مربوطه را با برازش‌های تجمعی مقایسه می‌شود و کروموزومی که در این فاصله است انتخاب می‌شود.

۵-۶. معیار توقف

معیار توقف در این الگوریتم پیشنهادی رسیدن به شرط همگرایی است. این همگرایی به این صورت در نظر گرفته شده است که اگر به تعداد ۱۰ نسل متوالی در تابع برازش بهبودی صورت نگرفت، توقف حاصل شود.

۵-۷. تنظیم پارامترها

در این الگوریتم پارامترهای زیر برای این الگوریتم ژنتیک پیشنهادی باید مشخص گردند.

- تنظیم پارامتر جمعیت هر نسل (npop): این پارامتر در این الگوریتم مقداری بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کروموزوم در هر نسل در نظر گرفته شده است.
- تنظیم نرخ تقاطع (Pc): تجربه نشان داده است اکثر موفقیت‌های گزارش شده برای Pc مقداری بیشتر از ۰.۸ است [۳۴]. در این الگوریتم پیشنهادی نرخ تقاطع خود به دو نرخ کوچکتر Pco و Pcp تقسیم می‌شود.
- تنظیم نرخ جهش (Pm): برای این پارامتر توصیه شده است دامنه بین ۰.۰۵ تا ۰.۰۰۵ در نظر گرفته شود [۳۴].
- تنظیم نرخ انتخاب بهترین‌ها (Pe): در این الگوریتم پیشنهادی برای این پارامتر مقداری بین ۰.۳ تا ۰.۵ در نظر گرفته شده است.

تنظیم نرخ انتخاب چرخ رولت (Pw): در این الگوریتم پیشنهادی برای این پارامتر مقداری بین ۰.۵ تا ۰.۷ در نظر گرفته شده است.

در نهایت، پارامترهای بیان شده با توجه به یک مثال عددی و با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در نرم‌افزار مطلب نسخه ۷ کد شده است. سپس نتایج بدست آمده با استفاده از روش RSM در Minitab 14 طراحی آزمایشات شدند و جواب بهینه هر یک از پارامترها بالا بدست آمده و در جدول ۱ نشان داده شده است.

۶. تجزیه و تحلیل نتایج

۶-۱. مثال عددی

در این بخش برای توضیح روش حل مدل ارایه شده از یک مثال عددی در ارتباط با تولید کاغذ استفاده می‌گردد. در این مثال تولید کاغذ در یک زنجیره تامین حلقه بسته چهار سطحی انجام می‌شود. در این زنجیره تامین حلقه بسته، یک کارخانه A، دو انبار W1 و W2 و دو منطقه مشتری CZ1 و CZ2 برای تولید کاغذ در دو دوره زمانی فرض شده است که در هر منطقه مشتری یک مرکز جمع‌آوری CC1 و CC2 نیز وجود دارد. پارامترهای ورودی این مسأله تولید- توزیع دو هدفه در زنجیره تامین حلقه بسته را می‌توان در جداول ۲ و ۳ ملاحظه نمود. رویه حل این مسأله تولید- توزیع فازی توسط هر دو روش الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار لینگو به صورت زیر است:

الف) مدل فازی تولید- توزیع دو هدفه اصلی فرموله می‌شود.

ب) توابع هدف جدیدی با استفاده از معادلات (۱۱) تا (۱۶) برای هر یک از توابع هدف فازی بوجود می‌آیند. همچنین محدودیت جدید قطعی تقریبی (۱۸) جایگزین محدودیت فازی (۳) مدل می‌شوند. که در محدودیت (۱۷) برای این مثال عددی مقادیر y_l به صورت $y_1 = y_3 = 0.1 , y_2 = 0.8$ در نظر گرفته شده‌اند.

ج) مقدار ایده‌آل مثبت و منفی هر یک از توابع هدف توسعه یافته با استفاده از معادلات (۱۸) تا (۲۰) مشخص می‌گردند. جدول ۴ مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی توابع هدف جدید را نشان می‌دهد.

د) توابع خطی هر یک از توابع هدف جدید با استفاده از معادلات (۲۱) تا (۲۳) تعیین می‌گردند.

ه) مدل تعامل نهایی (۲۴) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و لینگو محاسبه و مقدار متغیرهای تصمیم بدست می‌آید. در جدول ۵ مقدار نهایی مدل و متغیرهای تصمیم مسأله تولید- توزیع نشان داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای بهینه شده الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

مقادیر بهینه	nPOP	Pc=Pco+Pcp	Pm	Pe+Pw=1	
				Pw	Pe
حد پایین	۱۰۰	۰.۸	۰.۰۰۵	۰.۵	۰.۳
مقدار مناسب	**۲۵۰**	**۰.۸۷۵**	**۰.۰۱۵**	**۰.۶۲**	**۰.۳۸**
حد بالا	۳۰۰	۰.۹۵	۰.۰۵	۰.۷	۰.۵

جدول ۲. تقاضاها و حداکثر ظرفیت‌های موجود شبکه

کارخانه	N_i (tn*)	انبارها	S_j (tn)	M_j (tn)	مناطق مشتریان	$\tilde{D}_{kt}$ (tn)	
						t=2	t=1
A	2500	W1	478	800	CZ1	(549,568,575)	(561,569,574)
		W2	482	900	CZ2	(540,552,556)	(541,559,569)

* واحد وزن که در اینجا هر واحد نشان‌دهنده یک تن است.

جدول ۳. مقادیر هزینه‌ها و زمان‌های شبکه

پارامترها	مقادیر پارامترها
$\tilde{b}_{it}$ (tom)	$\tilde{b}_{11}$ (341,366,399), $\tilde{b}_{12}$ (519,542,55)
$\tilde{p}_{ijt}$ (tom)	$\tilde{p}_{111}$ (1168,1268,1322), $\tilde{p}_{112}$ (1316,1381,1384), $\tilde{p}_{121}$ (1306,1316,1386), $\tilde{p}_{122}$ (1242,1245,1297)
$\tilde{c}_{ijt}$ (tom)	$\tilde{c}_{111}$ (540,563,586), $\tilde{c}_{112}$ (589,605,627), $\tilde{c}_{121}$ (574,606,634), $\tilde{c}_{122}$ (715,726,767)
$\tilde{v}_{jt}$ (tom)	$\tilde{v}_{11}$ (423,448,464), $\tilde{v}_{12}$ (425,447,455), $\tilde{v}_{21}$ (428,456,486), $\tilde{v}_{22}$ (435,450,451)
$\tilde{o}_{jkt}$ (tom)	$\tilde{o}_{111}$ (3642,3734,3791), $\tilde{o}_{112}$ (3643,3722,3750), $\tilde{o}_{121}$ (3923,3952,4022), $\tilde{o}_{122}$ (4004,4019,4099), $\tilde{o}_{211}$ (3892,3977,4021), $\tilde{o}_{212}$ (3759,3838,3883), $\tilde{o}_{221}$ (4052,4079,4126), $\tilde{o}_{222}$ (3885,3908,3936)
$\tilde{a}_{kit}$ (tom)	$\tilde{a}_{111}$ (682,720,758), $\tilde{a}_{112}$ (638,670,709), $\tilde{a}_{211}$ (755,794,846), $\tilde{a}_{212}$ (709,751,754)
$\tilde{n}_{it}$ (m)	$\tilde{n}_{11}$ (81,86,89), $\tilde{n}_{12}$ (66,70,73)
$\tilde{x}_{ijt}$ (m)	$\tilde{x}_{111}$ (325,327,330), $\tilde{x}_{112}$ (315,335,340), $\tilde{x}_{121}$ (293,293,296), $\tilde{x}_{122}$ (225,241,243)
$\tilde{h}_{jkt}$ (m)	$\tilde{h}_{111}$ (38,40,42), $\tilde{h}_{112}$ (39,42,45), $\tilde{h}_{121}$ (52,53,54), $\tilde{h}_{122}$ (48,49,50), $\tilde{h}_{211}$ (42,45,48), $\tilde{h}_{212}$ (55,59,63), $\tilde{h}_{221}$ (47,52,57), $\tilde{h}_{222}$ (50,51,52)
$\tilde{e}_{kit}$ (m)	$\tilde{e}_{111}$ (71,72,76), $\tilde{e}_{112}$ (73,74,78), $\tilde{e}_{211}$ (55,60,64), $\tilde{e}_{212}$ (55,60,63)

۱. واحد پول که در اینجا هر واحد نشان‌دهنده هزار تومان است. ۲. واحد زمان که در اینجا هر واحد نشان‌دهنده یک دقیقه است.

]

جدول ۴. مجموعه ایده‌آل‌های مثبت و منفی توابع هدف

توابع هدف	نرم‌افزار لینگو		الگوریتم ژنتیک	
	NIS	PIS	NIS	PIS
z_{11}	3963727	-5366517	3963727	-5366517
z_{12}	27399.20	496813.7	27399.20	496813.7
z_{13}	548770.9	62319.30	548770.9	62319.30
z_{21}	2151413	908747.5	2151413	908747.5
z_{22}	19797.60	84961.60	19797.60	84961.60

z_{23}	46443.60	17192.30	46443.60	17192.30

جدول ۵. مقادیر متغیرهای تصمیم و جواب نهایی

متغیرها	جواب‌های حل	
	نرم‌افزار لینگو	الگوریتم ژنتیک
φ	0.5406349	0.5406349
F_{it}	F_{11}=1793.851; F_{12}=559.3124	F_{11}=1793.851; F_{12}=559.3124
R_{kit}	R_{111}=568.7; R_{211}=558.2; R_{112}=R_{212}=0	R_{111}=568.7; R_{211}=558.2; R_{112}=R_{212}=0
Q_{ijt}	Q_{111}=1466.951; Q_{112}=1119.407; Q_{121}=326.9; Q_{122}=566.8054	Q_{111}=1466.951; Q_{112}=1119.407; Q_{121}=326.9; Q_{122}=566.8054
H_{jt}	H_{11}=478; H_{12}= H_{21}=H_{22}=0	H_{11}=478; H_{12}= H_{21}=H_{22}=0
W_{jkt}	W_{111}=568.7; W_{112}=0; W_{121}=231.3; W_{122}=800; W_{211}=0; W_{212}=566.64185; W_{221}=326.9; W_{222}=0.0056	W_{111}=568.7; W_{112}=0; W_{121}=231.3; W_{122}=800; W_{211}=0; W_{212}=566.64185; W_{221}=326.9; W_{222}=0.0056

۶-۲. نتایج محاسباتی

در این بخش برای ارزیابی کارایی عملکرد مدل و الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ارایه شده از تعدادی مسأله تولید- توزیع با سایزهای مختلف استفاده شده است. پارامترهای ورودی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته این مسائل تولید- توزیع فازی بر اساس جدول پیوست هستند. این مسائل به دو صورت مسائل با سایز کوچک در جدول ۶ و مسائل با سایز بزرگ در جدول ۷ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۶ می‌توان ملاحظه نمود میزان انحراف نتایج محاسباتی الگوریتم ژنتیک و لینگو برای مسائل با سایزهای کوچک درصد بسیار ناچیزی است. این درصد ناچیز میزان انحراف نشان‌دهنده کارایی عملکرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی است.

در این مدل پیشنهادی با افزایش ابعاد مسأله دیگر نمی‌توان با روش‌های دقیق در یک زمان قابل قبول جوابی برای مدل یافت کرد. بر همین اساس در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است. همانطور که در جدول ۷ می‌توان ملاحظه نمود الگوریتم ژنتیک پیشنهادی یک جواب مناسب اولیه را در یک زمان مناسب برای مسائل با ابعاد بالا بدست آورده است.

جدول ۶. نتایج مسائل با سایزهای کوچک برای مدل پیشنهادی

سایز مسائل				لینگو			الگوریتم ژنتیک		
I	J	K	T	Minφ	MinZ_{21}	MinZ_{11}	Minφ	MinZ_{21}	MinZ_{11}
1	2	2	2	0.5406349	908747.5	-5366517	0.5406349	908747.5	-5366517
2	2	2	3	0.5431507	1221762	-8265439	0.5400221	1222312	-8266231
2	3	3	4	0.5902069	2420766	-16821060	0.5904169	2445766	-16855415
4	4	4	4	0.5995110	2957832	-24800860	0.5990110	2995821	-24875785
5	5	5	5	0.5841107	4583794	-40362530	0.5820007	4600413	-403801635

جدول ۷. نتایج مسائل با سایزهای بزرگ برای مدل پیشنهادی

سایز مسائل				الگوریتم ژنتیک	
I	J	K	T	Minφ	CPU time (s)
20	20	20	10	0.5300453	266.6584856
20	30	30	10	0.5255486	300.5486856
25	35	35	15	0.5200156	351.3584686
30	40	40	20	0.3868486	448.2564864

۷. نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

این مطالعه یک برنامه‌ریزی خطی دو هدفه فازی را برای تصمیمات یکپارچه تولید- توزیع در یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چهار سطحی توسعه داد. در مدل ارایه شده هزینه‌ها و زمان‌های سپری شده در شبکه زنجیره تامین شامل سطوح کارخانه‌ها، انبارها، مناطق مشتریان و مراکز جمع‌آوری کمینه شدند. ما تلاش کردیم با حل این مدل پیشنهادی مقدار کالای تولید شده و ارسال شده از

کارخانه‌ها به انبارها، مقدار کالای نگهداری و ارسال شده توسط انبارها، مقدار کالای ارسالی به مناطق مشتریان و مقدار کالای بازیافتی را برای مسائل تولید- توزیع بدست آوریم. ما همچنین یک الگوریتم ژنتیک پیشنهادی را برای حل این مدل توسعه‌یافته طراحی کردیم.

این مطالعه از سوی می‌تواند به کارخانه‌های تولیدی در تولید و توزیع کالا کمک قابل توجهی کند و مدیران صنایع را در تصمیمات مناسب و کارا کمک کند. از سوی دیگر این مطالعه با بازیافت کالاهای مصرفی و تولید مجدد آنها می‌تواند کمک شایانی به محیط زیست انجام دهد.

این مدل ارایه شده را می‌توان با چندین روش ممکن توسعه داد. اول، شبکه زنجیره تامین را توسعه داد و تامین کنندگان و خرده فروشان را در نظر گرفت و یا در شبکه زنجیره تامین دوباره‌کاری و مواد برگشتی را نیز لحاظ کرد. دوم، مدل را می‌توان با در نظرگیری نرخ پردازش، قابلیت اطمینان، سطح موجودی اطمینان و مسیریابی توسعه داد. سوم، تصمیمات تولید- توزیع را می‌توان با تصمیمات دیگری مانند مکان‌یابی یا اقتصاد مهندسی ترکیب نمود.

پی‌نوشت

پارامترهای مسائل تولید- توزیع در شبکه زنجیره تامین حلقه بسته

پارامترها	مقادیر
S_j (در تن)	$U(300,400)$
N_i (در تن)	$U(2400,2600)$
M_j (در تن)	$U(800,900)$
$\widetilde{D}_{kt}$ (در تن)	$U(500,600)$
$\tilde{b}_{it}$ (در هزار تومان/ یک تن)	$U(300,600)$
$\tilde{p}_{ijt}$ (در هزار تومان/ یک تن)	$U(1000,1500)$
$\tilde{c}_{ijt}$ (در هزار تومان/ یک تن)	$U(500,800)$
$\tilde{v}_{jt}$ (در هزار تومان/ یک تن)	$U(400,600)$
$\tilde{o}_{jkt}$ (در هزار تومان/ یک تن)	$U(3600,4200)$
$\tilde{a}_{kit}$ (در هزار تومان/ یک تن)	$U(600,900)$
$\tilde{n}_{it}$ (در دقیقه/ یک تن)	$U(60,100)$
$\tilde{x}_{ijt}$ (در دقیقه/ یک تن)	$U(200,300)$
$\tilde{h}_{jkt}$ (در دقیقه/ یک تن)	$U(30,70)$
$\tilde{e}_{kit}$ (در دقیقه/ یک تن)	$U(40,80)$

مراجع

[1] Chen CT, Lin CT, Huang SF. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, International Journal of Production Economics, 2006, No. 2, Vol. 102, pp. 289-301.

[2] Amin SH, Zhang G. A Multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return, Applied Mathematical Modelling, 2013, No. 6, Vol. 37, pp. 4165-4176.

[3] Amorim P, Günther HO, Almada-Lobo B. Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products, International Journal of Productio Economics, 2012, No. 1, Vol. 138, pp. 89-101.

[4] Liang TF. Integrated manufacturing/distribution planning decisions with multiple imprecise goals in an uncertain environment, Quality and Quantity, 2012, Vol. 46, pp. 137-153.

[5] Norang, A., Malek, M., "*Development of a fuzzy double -objective model for setting safety stock inventory units of supply chain*", International Journal of Industrial Engineering and Production Management. Vol . 23, No. 2, 2012, pp. 211-225.

[6] Seitz MA. Understanding closed-loop supply chain management: a theoretical discussion, The Centre for Business Relationships, Accountability, Sustainability and Society, Working Paper Series, 2005, No. 25, pp. 4-8.

[7] Wen-hui X, Dian-yan J, Yu-ying H. The remanufacturing reverse logistics management based on closed-loop supply chain management processes, Procedia Environmental Sciences, 2011, Vol. 11, Part A, pp. 351-354.

[8] Jayaraman V, Guide Jr VDR, Srivastava R. A closed-loop logistics model for remanufactuting, The Journal of the Operational Research Society, 1999, No. 5, Vol. 50, pp. 497-508.

[9] Fleischmann M, Beullens P, Bloemhof-Ruwaard JM, Van Wassenhove LN. The impact of product recovery on logistics network design, Production and Operations Management, 2001, No. 2, Vol. 10, pp. 156-173.

[10] Chung SL, Wee HM, Yang PC. Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing, Mathematical and Computer Modelling, 2008, No. 5-6, Vol. 48, pp. 867-881.

[11] Yang Gf, Wang ZP, Li XQ. The optimization of the closed-loop supply chain network, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009, No.1, Vol. 45, pp. 16-28.

[12] Wang H, Hsu H. Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: an application to

fuzzy linear programs with risk analysis, Journal of Environmental Management, 2010, No. 11, Vol. 91, pp. 2148-2162.

[13] Paksoy T, Bektaş T, Özceylan E. Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2011, No. 4, Vol. 47, pp. 532-546.

[14] Mitra S. Inventory management in a two-echelon closed-loop supply chain with correlated demands and returns, Computers and Industrial Engineering, 2012, No. 4, Vol. 62, pp. 870-879.

[15] Olugu EU, Wong KY. An expert fuzzy rule-based system for closed-loop supply chain performance assessment in the automotive industry, Expert Systems with Applications, 2012, Vol. 39, No. 1, pp. 375-384.

[16] Vahdani B, Tavakkoli-Moghaddam R, Modarres M, Baboli A. Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: a robust-M/M/C queuing model, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2012, No. 6, Vol. 48, pp. 1152-1168.

[17] Özkir V, Başligil H. Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment, Journal of Cleaner Production, 2013, Vol. 41, pp. 114-125.

[18] Amin SH, Zhang G. A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty, International Journal of Production Research, 2013, No. 5, Vol. 51, pp. 1405-1425.

[19] Pirkul H, Jayaraman V. Production, transportation, and distribution planning in a multi-commodity tri-echelon system, Transportation Science, 1996, No. 4, Vol. 30, pp. 291-302.

[20] Sabri EH, Beamon BM. A Multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design, Omega, 2000, No. 5, Vol. 28, pp. 581-598.

[21] Lee YH, Kim SH. Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints, Computers and Industrial Engineering, 2002, Nos. 1-2, Vol. 43, pp. 169-190.

[22] Chen ZL. Integrated Production and outbound distribution scheduling: review and extensions, Operations Research, 2010, No. 1, Vol. 58, pp. 130-148.

[23] Wang RC, Liang TF. Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning, Computers and Industrial Engineering, 2004, No.1, Vol. 46, pp. 17-41.

[24] Liang TF. Applying fuzzy goal programming to production/transportation planning decisions in a supply chain, International Journal of Systems Science, 2007, No. 4, Vol. 38, pp. 293-304.

[25] Liang TF. Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain, Computers and Industrial Engineering, 2008, No. 3, Vol. 55, pp. 676-694.

[26] Liang TF, Cheng HW. Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chains, Expert Systems with Applications, 2009, No. 2, Vol. 36, Part 2, pp. 3367-3377.

[27] Shi J, Zhang G, Sha J, Amin SH. Coordinating production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return, Computers and Operations Research, 2011, No. 3, Vol. 38, pp. 641-650.

[28] Lai YJ, Hwang CL. A new approach to some possibilistic linear programming problems, Fuzzy Sets and Systems, 1992, No. 2, Vol. 49, pp. 121-133.

[29] Liang TF. Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming, Fuzzy Sets and Systems, 2006, No. 10, Vol. 157, pp. 1303-1316.

[30] Zimmermann HJ. Description and optimization of fuzzy systems, International Journal of General Systems, 1976, No. 4, Vol. 2, pp. 209-215.

[31] Bellman RF, Zadeh LA. Decision-making in a fuzzy environment, Management Science, 1970, No. 4, Vol. 17, pp. 141-164.

[32] Tavakkoli-Moghaddam R, Yazdani M, Molla-Alizadeh-Zavardehi S. Scheduling an integrated production and air transportation in supply chain with sequence-dependent setup times, International Journal of Industrial Engineering and Production Management, 2012, No. 3, Vol. 23, pp. 351-362.

[33] Zarrinpoor N, Shavandi H, Bagherinejad J. Extension of the maximal covering location-allocation model for congested system in the competitive and user-choice environment, International Journal of Industrial Engineering and Production Management, 2012, No. 4, Vol. 22, pp. 393-404.

[34] Alem-Tabriz A, Zandieh M, Mohammad-Rahimi A. Metaheuristic algorithms in combinatorial optimization, Saffar Pubilishing, 2011, pp. 27-33.