

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره سه، خرداد ماه ۱۴۰۲ (۲۷-۱۳)

طراحی شبکه زنجیره تامین زیست دیزل با در نظر گرفتن عوامل محیط زیستی

تحت شرایط عدم قطعیت و حل آن با استفاده از الگوریتم MOPSO

غلامرضا جندقی^{۱*}

Jandaghi@ut.ac.ir

محمد رضا فتحی^۲

محمد حسن ملکی^۳

میثم مولوی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۹

چکیده

زمینه و هدف: افزایش نگرانی‌ها در مورد انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی بسیاری از محققان را برآن داشته است تا در توسعه منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نقش داشته باشند. سوخت زیستی می‌تواند نقش مهمی در این زمینه داشته باشد. هدف اصلی این مقاله ارائه یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای شبکه زنجیره تامین زیست توده است.

روش بررسی: محققین از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و تهیه پرسش‌نامه به برآورد پارامترهای دارای عدم قطعیت و داده‌های مرتبط با آن پارامترهای مورد نظر پرداخته و سپس از طریق مصاحبه، نظرات خبرگان در مورد حدود و شکل تغییرات پارامترهای مورد نظر تصمیم‌گیری را جمع‌آوری کرده است. سپس یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه فازی که به دنبال حداقل کردن هزینه‌ها، حداقل کردن اثرات محیط زیستی و حداقل کردن زمان رسیدن محصول به مشتری در یک زنجیره تامین زیست توده می‌باشد، ارائه کرده است. **یافته‌ها:** پس از حل مدل، مقادیر سه تابع هدف حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن اثرات محیط زیستی و حداقل کردن زمان رسیدن محصول به مشتری به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت به دست آمدند. براساس نتایج به دست آمده، دو تابع هدف اقتصادی و محیط زیستی با یکدیگر در تضاد هستند. به این معنا که حرکت هر یک به سمت مطلوب مستلزم حرکت تابع هدف دیگر به سمت نامطلوب خواهد بود.

۱- استاد گروه مدیریت دولتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، قم، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار گروه مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، قم، ایران.

۳- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه قم، قم، ایران.

۴- دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، قم، ایران.

بحث و نتیجه گیری: در این پژوهش مدل برنامه ریزی ریاضی پیشنهادی با الگوریتم MOPSO حل شده است که نتایج آن نشان دهنده مکان و ظرفیت تسهیلات، میزان تولید زیست دیزل و گلیسرین، میزان روغن استخراج شده جاتروفا و روغن پسماند تصفیه شده می باشند.

واژه های کلیدی: طراحی شبکه زنجیره تامین، برنامه ریزی چند هدفه فازی، زیست دیزل، الگوریتم فراابتکاری.

Designing a Biodiesel Supply Chain Network by Considering Environmental Factors Under Uncertainty Conditions and solving it with the MOPSO algorithm

Gholamreza Jandaghi ^{1*}

Jandaghi@ut.ac.ir

Mohammad Reza Fathi ²

Mohammad Hasan Maleki ³

Meysam Molavi ⁴

Admission Date: August 13, 2018

Date Received: June 30, 2018

Abstract

Background and Objective: Increasing concerns about energy and greenhouse gas emissions from fossil fuel consumption have encouraged many researchers to be involved in developing sources of renewable energies. Biodiesel derived from biomass can play a crucial role in this context. The main objective of this paper is to present a mathematical programming model for the biomass supply chain.

Material and Methodology: Researcher through library research and preparing a questionnaire to estimate parameters and data associated with the uncertainty of parameters and then through interviews, expert opinions about the limits and changes to the decision-making parameters have collected. Then a fuzzy multi-objective mixed integer programming model is presented that model to minimize costs, minimize environmental impact and minimize the time of delivery of product in Biodiesel Supply Chain.

Findings: After running the model, increasing objective function is to minimize the total cost, minimize environmental impact and minimizing the time the product reaches the customer contact temperature limits for different values were obtained.

Discussion and Conclusion: In this study, the proposed mathematical programming model is solved with the MOPSO algorithm. The results indicate the location and capacity of the facility, the amount of biodegradable and glycerin production, and the amount of extracted Jatropha oil and refined waste oils.

Key words: Supply Chain Network Design, Fuzzy Multi-Objective Programming, Biodiesel, Meta-Heuristic Algorithm.

1 Professor., Department of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran
*(Correspondence Author)

2 Associate Professor., Department of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran

3 Associate Professor, Department of Management, University of Qom, Qom, Iran

4 PhD of Industrial Management, Department of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran

مقدمه

رشد جمعیت، تغییر سبک زندگی و بالا رفتن استانداردهای زندگی انسان همگی سبب افزایش مصرف انرژی در دنیا، به ویژه در کشورهای صنعتی شده‌اند. در سالهای اخیر، سیستم‌های تولید انرژی زیستی بعنوان بخشی از راه حل این مسئله توجه زیادی را جلب کرده‌اند زیرا می‌توانند جانشین‌های مناسبی برای سیستم‌های تولید انرژی سنتی باشند که علاوه بر محدود بودن و غیرقابل تجدیدپذیری با مسائل زیستی محیطی نیز مرتبط هستند (۱). با جایگزینی سوخت‌های پاک و مکمل‌های زیستی، تولید انرژی با هزینه‌های محیط زیستی کمتر صورت پذیرد. در این راستا پیشنهاد می‌گردد از مکمل سوخت زیستی استفاده شود که از منابع تجدید پذیر و ضایعاتی تولید می‌گردد که نه تنها باعث کاهش آلاینده‌های زیست محیطی می‌گردد بلکه باعث افزایش طول عمر دیزل‌ها و کاهش هزینه‌های نگهداری می‌شود. بيو ديزل يك سوخت پاک است که از منابع طبیعی و قابل تجدید مانند روغن‌های پسماند خوراکی تولید می‌شود. کشورهای آسیایی و آفریقایی عمده‌تاً در نواحی مجاور استوایی می‌باشند و بهترین مناطق برای تولید دانه‌های روغنی می‌باشند و دارای دشت‌های وسیعی از کرچک و جاتروفا هستند که دو گیاه عمده برای تولید بیودیزل می‌باشد و مصارف حیوانی و انسانی ندارند و به طور وسیع برای تولید بیودیزل به کار می‌روند از این رو، آسیا و آفریقا بیشترین پتانسیل را برای تولید بیودیزل دارا می‌باشند. طراحی شبکه زنجیره تأمین یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین تصمیمات استراتژیکی می‌باشد و عبارت است از تعیین مکان و تعداد تسهیلات موجود در شبکه، موجودی هر تسهیل و کمیت جریان ارسالی بین آنهاست. هدف از طراحی شبکه زنجیره تأمین علاوه بر مکان‌یابی تسهیلات، حداقل کردن هزینه‌هایی مانند خرید، تولید، حمل و نقل و غیره نیز می‌باشد (۲). طراحی شبکه زنجیره تأمین سعی در شناسایی بهترین ساختار برای زنجیره تأمین را دارد. یک طراحی مناسب بایستی بتواند سازمان را به عملکرد بلندمدت خود برساند. در حقیقت نبرد اصلی در بازارها و تنوع ترجیحات مشتریان در کنار توسعه سریع تکنولوژی

و جهانی سازی، سازمان‌ها را وادار کرده است که به عنوان عضوی از زنجیره تأمین کار کنند. عملیات زنجیره تأمین و لجستیک بخشی از فعالیت‌های مهم اقتصادی امروز هستند و برای رقابت در کسب و کار حیاتی می‌باشند. طراحی شبکه زنجیره تأمین پایه‌ای‌ترین تصمیم در مدیریت زنجیره تأمین است که تمام تصمیمات زنجیره تأمین را یکپارچه می‌کند و اثری قابل توجه بر روی بازگشت سرمایه و عملکرد کلی در زنجیره دارد (۳). هدف از این پژوهش، ارائه یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین زیست دیزل با در نظر گرفتن معیارهای زیست محیطی است.

پیشینه پژوهش

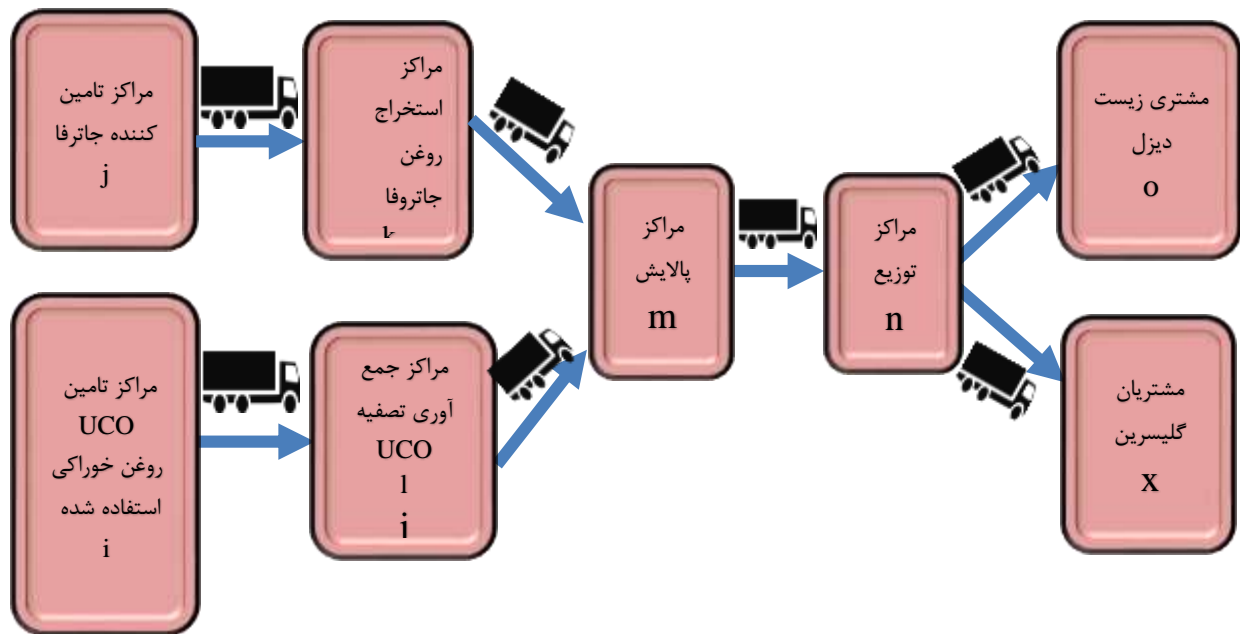
در این بخش، برای نشان دادن کاستی‌های تحقیقات قبلی و مشخص کردن اهمیت تحقیق کنونی برخی از مقالات مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. مورو و همکاران (۴) یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای تعیین مکان‌های بهینه‌ی پالایشگاه‌های زیستی در یک زنجیره تأمین پی‌شهاد نمودند که اتانول زیستی را از علف جایگزین و ذرت در ایالات متحده تولید می‌کند. رن و همکاران^۲ (۵) مدلی را برای طراحی زنجیره تأمین اتانول زیستی پایدار ارائه دادند که در آن مواد اولیه متعدد زیست توده، فناوری‌های تولید، روش‌ها و الگوهای حمل و نقل و روش‌های دفع همگی امکان‌پذیر بودند. در این مدل محدودیت‌های معینی وجود دارند که بر تابع هدف تأثیر می‌گذارند. قابل ذکر است که هدف تابع هدف کمینه‌سازی کل اثرات زیست محیطی است. شارما و همکاران (۶) نیز یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند مرحله‌ای مبتنی بر سناریو را برای بهینه‌سازی طراحی یک زنجیره تأمین سوخت زیستی تحت شرایط جوی نامطمئن پی‌شهاد کردند. تانگ و همکاران (۷) برای طراحی یک زنجیره تأمین سوخت زیستی هیدروکربنی پیشرفته یکپارچه با پالایشگاه‌های نفت موجود یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح امیخته چندمرحله‌ای را پیشنهاد دادند. به منظور مواجهه با پارامترهای نامشخص، آنها یک رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی را ارائه کردند که در آن

زیست محیطی در جهت تحقق استراتژی سازمان و کسب رضایت ذینفعان عمل می نماید. مساله این تحقیق، طراحی شبکه چند محصولی و چند دوره ای می باشد که در ابتدا دانه های جاتروفا از مراکز کشت و روغن های استفاده شده از شهرهای مختلف، جمع اوری شده و به ترتیب به مراکز استخراج روغن جاتروفا و مراکز تصفیه روغن های استفاده شده انتقال می یابند. در این زنجیره، روغن جاتروفا با به کارگیری فناوری پرس سرد از دانه های جاتروفا استخراج می گردند و روغن های استفاده شده توسط فیلترینگ های مناسب تصفیه می گردند. سپس روغن های استخراج و تصفیه شده به مراکز پالایش بیودیزل انتقال یافته و با پردازش های صورت گرفته به محصولات زیست دیزل و گلیسرین تبدیل می گردند. محصولات زیست دیزل و گلیسرین به مراکز توزیع منتقل می شوند و در نهایت هر کدام از محصولات از مراکز توزیع به مراکز مشتری زیست دیزل و گلیسرین انتقال می یابند. کلیه نقل و انتقالات بین مراکز از طریق وسایل نقلیه سنگین مختلف که هر کدام میزان آلاینده‌گی متفاوتی دارند صورت می گیرد. مواد اولیه در نظر گرفته شده در این زنجیره، جز مواد اولیه غیر قابل خوردن می باشند که فقط برای تولید زیست دیزل مورد استفاده قرار می گیرند. در این زنجیره مراکز تامین روغن های استفاده شده و مراکز مشتری از قبل مشخص است و مکان آن ها ثابت است. افق زمانی این مساله یک دوره ۱۲ ساله می باشد اما به منظور کاهش پیچیدگی محاسباتی، هر چهار را به عنوان یک دوره زمانی در نظر گرفته ایم. بنابراین کل دوره زمانی به سه دوره تقسیم شده است. همچنین فرض کرده ایم که مواد اولیه جاتروفا در مناطق حاصلخیز هر شهر کشت گردد. متغیرهای تصمیم استراتژیک در این مساله شامل مکان یابی مراکز بالقوه می باشد و همچنین متغیرهای تاکتیکی مساله شامل میزان تولید، سطح موجودی، جریان مواد تجمیعی بین سطوح و وسیله حمل و نقل مناسب در دوره های زمانی مختلف می باشد. شبکه زنجیره تامین مورد مطالعه در این پژوهش در قالب شکل ۱ نشان داده شده است.

معیارهای امکانسنجی، ضرورت و اعتبارسنجی براساس ترجیحات تصمیم گیرندگان اعمال شده اند. بایرامزاده و همکاران (۸) برای طراحی یک زنجیره تامین اتانول زیستی پایدار تحت شرایط عدم قطعیت های متعدد یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح امیخته چند هدفه را توسعه دادند. بعلاوه، آنها یک رویکرد برنامه ریزی احتمالی قوی چند هدفه جدید را برای در نظر گرفتن عدم قطعیت داده های مسئله توسعه دادند. بابازاده و همکاران (۹) یک مدل برنامه ریزی احتمالی چند هدفه را برای طراحی نسل دوم زنجیره تامین زیست دیزل تحت شرایط ریسک توسعه دادند. در این مقاله، با تعریف میانگین احتمالی و انحراف مطلق اعداد فازی، فرمول جدیدی از روش برنامه ریزی احتمالی توسعه یافته است. تانگ و همکاران (۱۰) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح امیخته چند مرحله ای تصادفی را برای مقابله با عدم اطمینان و پویایی دسترس پذیری زیست توده، قیمت سوخت زیستی، تقاضای نفت خام و فناوری تولید پیشنهاد نمودند. زنجیره های تامین سوخت های زیستی پیشرفته هزینه های حمل و نقل را حداقل می کنند و برای تسهیلات گازسیون نفت زیستی دارای مزیت صرفه جویی به مقیاس هستند. سینگ و همکاران (۱۱) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح امیخته با توابع جعبه سیاه را برای طراحی زنجیره تامین اتانول زیستی در بازارهای رقابتی ذرت ارائه نمودند. برای حل مسئله بهینه سازی پیشنهادی، آنها یک الگوریتم ژنتیک را طراحی نمودند.

تعریف مساله

مسئله مورد بررسی در این تحقیق، طراحی شبکه زنجیره تامین زیست دیزل می باشد. منظور از طراحی شبکه این است که سعی داریم برای شرکتی که هم اکنون به تولید این محصولات می پردازد به خاطر افزایش تقاضا در محصولات، شبکه زنجیره تامین جدید، بهینه و گسترده تری را طراحی کنیم. شبکه زنجیره تامین ممکن است در برخی از تحقیقات برای محصولاتی طراحی گردد که تاکنون تولید نشده اند و یا این که هنوز مرکز تولیدی برای تولید این محصولات وجود نداشته باشد. در مسئله این تحقیق، طراحی شبکه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و



شکل ۱ - شبکه زنجیره تامین پیشنهادی

Figure 1. Suggested supply chain network

مدل سازی مساله

- کمبود در جوابگویی به تقاضای مشتریان اجازه داده می شود و هزینه ای برای تقاضای ارضا نشده مشتری در نظر گرفته می شود. این کمبود به صورت از دست رفته می باشد.
- مکان های مراکز بالقوه تامین جاتروفا، استخراج روغن جاتروفا، تصفیه روغن استفاده شده، پالایش زیستی و توزیع مشخص است.
- موجودی در مراکز استخراج روغن جاتروفا، تصفیه روغن استفاده شده، پالایش و توزیع برای محصولات در نظر گرفته شده است.
- برای هر یک از مراکز قابل احداث، دو سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است.

مدل این تحقیق مبتنی بر شبکه نمایش داده شده در شکل ۱ می باشد. مدل حاضر یک مدل برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چند هدفه فازی است که در این قسمت اندیس ها، پارامترها، متغیرها و سپس مدل ریاضی مساله تشریح می گردد. در ادامه مفروضات مساله به صورت ذیل ارائه می گردد:

- مدل به صورت چند سطحی و چند محصولی می باشد.
- مکان و تعداد مشتریان و همچنین تامین کنندگان روغن استفاده شده ثابت و مشخص است.
- پارامترهایی نظیر ظرفیت، هزینه ها، تقاضا، ظرفیت وسائل حمل و نقل، زمان های حمل محصول به صورت عدم قطعیت در نظر گرفته شده است و از تئوری فازی جهت رفع عدم قطعیت استفاده شده است.

مجموعه ها و اندیس ها

i	$i=1,2,\dots,I$ UCO مراکز تامین برای ثابت های مکان
j	$j=1,2,\dots,J$ مجموعه مکان های بالقوه جهت کشت جاتروفا
k	$k=1,2,\dots,K$ مجموعه مکان های بالقوه مراکز استخراج روغن از جاتروفا جهت احداث کردن
l	$l=1,2,\dots,L$ UCO مجموعه مکان های بالقوه مراکز تصفیه
m	$m=1,2,\dots,M$ مجموعه مکان های بالقوه مراکز پالایش بیودیزل جهت احداث کردن
n	$n=1,2,\dots,N$ مجموعه مکان های بالقوه مراکز توزیع جهت احداث کردن
o	$o=1,2,\dots,O$ مجموعه مکان های ثابت مشتریان زیست دیزل
p	$p=1,2,\dots,P$ مجموعه مکان های ثابت مشتریان گلیسرین
t	$t=1,2,\dots,T$ مجموعه دوره زمانی
h	$h=1,2,\dots,H$ مجموعه سطوح ظرفیت برای مکان های بالقوه
f	$f=1,2,\dots,F$ مجموعه گزینه های بالقوه برای حمل و نقل

پارامترها و متغیرهای تصمیم

\overline{FCJ}_{jt}	هزینه ثابت احداث مراکز کشت جاتروفا j در دوره t
\overline{FCK}_{kt}	هزینه ثابت احداث مراکز استخراج روغن k در دوره t
\overline{FCL}_{lt}	هزینه ثابت احداث مراکز تصفیه روغن UCO l در دوره t
\overline{FCM}_{mt}	هزینه ثابت احداث مراکز پالایش m در دوره t
\overline{FCN}_{nt}	هزینه ثابت احداث مراکز توزیع n در دوره t
\overline{HCC}_{kt}	هزینه نگهداری موجودی جاتروفا در مراکز استخراج روغن جاتروفا k در دوره زمانی t
\overline{HCB}_{lt}	هزینه نگهداری موجودی UCO در مراکز تصفیه UCO l در دوره زمانی t
\overline{HCB}_{mt}	هزینه نگهداری موجودی زیست دیزل در مراکز پالایش m در دوره زمانی t
\overline{HCGD}_{mt}	هزینه نگهداری موجودی گلیسرین در مراکز پالایش m در دوره زمانی t
\overline{HCB}_{nt}	هزینه نگهداری موجودی زیست دیزل در مراکز توزیع n در دوره زمانی t
\overline{HCGE}_{nt}	هزینه نگهداری موجودی گلیسرین در مراکز توزیع n در دوره زمانی t
PCB	هزینه جریمه برای تقاضای ارضا نشده زیست دیزل
PCY	هزینه جریمه برای تقاضای ارضا نشده گلیسرین
MAJ	ماکزیمم تعداد مراکز جهت کشت جاتروفا
MAK	ماکزیمم تعداد مراکز جهت احداث مراکز استخراج روغن جاتروفا
MAL	ماکزیمم تعداد مراکز جهت احداث مراکز تصفیه UCO
MAM	ماکزیمم تعداد مراکز جهت احداث مراکز پالایش
MAN	ماکزیمم تعداد مراکز جهت احداث مراکز توزیع
\bar{D}_{ot}	میزان تقاضا مشتری در مراکز مشتری o برای زیست دیزل در دوره t
\bar{D}_{pt}	میزان تقاضا مشتری در مراکز مشتری p برای گلیسرین در دوره t

$\overline{CA}J_{jh}$	ظرفیت کشت مراکز تامین جاتروفا J با سطح ظرفیت h
$\overline{CA}K_{kh}$	ظرفیت مراکز استخراج روغن جاتروفا k با سطح ظرفیت h
$\overline{CA}L_{lh}$	ظرفیت مراکز تصفیه UCO l با سطح ظرفیت h
$\overline{CA}M_{mh}$	ظرفیت مراکز پالایش m با سطح ظرفیت h
$\overline{CA}N_{nh}$	ظرفیت مراکز توزیع n با سطح ظرفیت h
$\overline{TC}J_{jkft}$	هزینه حمل دانه های جاتروفا از مراکز کشت جاتروفا J به مراکز استخراج روغن جاتروفا k توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
$\overline{TC}I_{ilft}$	هزینه حمل یک واحد UCO از مراکز تامین UCO i به مرکز تصفیه l توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
$\overline{TC}K_{kmft}$	هزینه حمل یک واحد روغن جاتروفا از مراکز استخراج k به مراکز پالایش m توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
$\overline{TC}L_{lmft}$	هزینه حمل یک واحد UCO تصفیه شده از مراکز تصفیه l به مراکز پالایش m توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
$\overline{TC}M_{mnft}$	هزینه حمل یک واحد زیست دیزل از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
$\overline{TC}G_{mnft}$	هزینه حمل یک واحد گلیسرین از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
$\overline{TC}N_{noft}$	هزینه حمل یک واحد زیست دیزل از مراکز توزیع n به مراکز مشتری o توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
$\overline{TC}G_{npft}$	هزینه حمل یک واحد گلیسرین از مراکز توزیع n به مراکز مشتری o توسط وسیله حمل و نقل f در دوره t
α	نرخ تبدیل محصول جاتروفا به روغن جاتروفا
β	نرخ تبدیل UCO به UCO تصفیه شده
γ	نرخ تبدیل روغن جاتروفا به زیست دیزل
θ	نرخ تبدیل UCO تصفیه شده به زیست دیزل
\overline{SU}_{it}	میزان عرضه UCO توسط مراکز تامین UCO i در دوره t
\overline{SU}_{jt}	میزان عرضه جاتروفا به ازای هر هکتار توسط مراکز تامین جاتروفا J در دوره t
$\overline{CAP}J_{fjk}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل دانه های جاتروفا از مراکز کشت جاتروفا J به مراکز استخراج روغن جاتروفا k
\overline{CAPI}_{fil}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل UCO از مراکز تامین i به مراکز تصفیه روغن l
\overline{CAPK}_{fkm}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل روغن جاتروفا از مراکز استخراج روغن k به مراکز پالایش m
\overline{CAPL}_{flm}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل UCO تصفیه شده از مراکز تصفیه l به مراکز پالایش m
\overline{CAPM}_{fmn}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل زیست دیزل از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n
\overline{CAPG}_{fmn}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل گلیسرین از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n

\widehat{CAPNB}_{fno}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل زیست دیزل از مراکز توزیع n به مراکز مشتری o
\widehat{CAPNG}_{fnp}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل گلیسرین از مراکز توزیع n به مراکز مشتری p
$\widetilde{E}J_j$	میزان انتشار کربن جهت برداشت و جمع اوری یک تن دانه های جاتروفا در مراکز J در دوره زمانی مورد نظر (۱۲ سال)
$\widetilde{E}L_l$	میزان انتشار کربن جهت ایجاد یک تن ظرفیت در مراکز تصفیه UCO l در دوره زمانی مورد نظر
$\widetilde{E}K_k$	میزان انتشار کربن جهت ایجاد یک تن ظرفیت در مراکز استخراج روغن جاتروفا k در دوره زمانی مورد نظر
$\widetilde{E}M_m$	میزان انتشار کربن جهت ایجاد یک تن ظرفیت در مراکز پالایش m در دوره زمانی مورد نظر
$\widetilde{E}N_n$	میزان انتشار کربن جهت ایجاد یک تن ظرفیت در مراکز توزیع n در دوره زمانی مورد نظر
ETM_{zijf}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن دانه های جاتروفا از مراکز تامین جاتروفا j به مراکز استخراج روغن جاتروفا k توسط وسیله حمل و نقل f
ETN_{pjkf}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن UCO از مراکز تامین UCO i به مراکز تصفیه l توسط وسیله حمل و نقل f
ETO_{pklf}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن روغن جاتروفا از مراکز استخراج k به مراکز پالایش m توسط وسیله حمل و نقل f
ETP_{plmf}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن UCO تصفیه شده از مراکز تصفیه روغن l به مراکز پالایش m توسط وسیله حمل و نقل f
ETQ_{pmof}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن زیست دیزل از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n توسط وسیله حمل و نقل f
ETR_{pmcf}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن گلیسرین از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n توسط وسیله حمل و نقل f
ETS_{pmvf}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن زیست دیزل از مراکز توزیع n به مراکز مشتری o توسط وسیله حمل و نقل f
ETT_{pmnf}	میزان انتشار کربن به ازای حمل یک تن گلیسرین از مراکز توزیع n به مراکز مشتری p توسط وسیله حمل و نقل f
$\widetilde{P}CJ_{jt}$	هزینه تولید دانه های جاتروفا در مراکز تامین جاتروفا j در دوره t
$\widetilde{P}CB_{mt}$	هزینه تولید یک واحد زیست دیزل در مراکز پالایش m در دوره t
$\widetilde{P}CG_{mt}$	هزینه تولید یک واحد گلیسرین در مراکز پالایش m در دوره t
$\widetilde{P}CK_{kt}$	هزینه استخراج هر واحد روغن در مراکز استخراج روغن k در دوره t
$\widetilde{P}CP_{lt}$	هزینه تصفیه هر واحد روغن UCO در مراکز جمع اوری l در دوره t
$\widetilde{P}CC_{it}$	هزینه جمع اوری هر واحد UCO از مراکز تامین UCO i در دوره t
$\widetilde{T}T_{jk}$	زمان حمل یک تن دانه های جاتروفا از مراکز تامین جاتروفا j به مراکز استخراج روغن جاتروفا k
$\widetilde{T}T_{km}$	زمان حمل یک تن روغن جاتروفا از مراکز استخراج روغن k به مراکز پالایش m
$\widetilde{T}T_{lm}$	زمان حمل یک تن UCO تصفیه شده از مراکز تصفیه UCO l به مراکز پالایش m

\overline{TTB}_{mn}	زمان حمل یک تن زیست دیزل از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n
\overline{TTG}_{mn}	زمان حمل یک تن گلیسرین از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n
\overline{TTD}_{no}	زمان حمل یک تن زیست دیزل از مراکز توزیع n به مراکز مشتری o
\overline{TF}_{np}	زمان حمل یک تن گلیسرین از مراکز توزیع n به مراکز مشتری p

متغیرهای تصمیم

QJK_{jkft}	میزان جاتروفای حمل شده از مراکز تامین j به مراکز استخراج روغن k توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
QIL_{ilft}	میزان UCO حمل شده از مراکز تامین i به مراکز تصفیه l توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
QKM_{kmft}	میزان روغن جاتروفای حمل شده از مراکز k به مراکز پالایش m توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
QLM_{lmft}	میزان UCO حمل شده از مراکز l به مراکز پالایش m توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
QMN_{mnft}	میزان زیست دیزل حمل شده از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
$QMNG_{mnft}$	میزان گلیسرین حمل شده از مراکز پالایش m به مراکز توزیع n توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
QNO_{noft}	میزان زیست دیزل حمل شده از مراکز توزیع n به مراکز مشتری o توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
QNP_{npft}	میزان گلیسرین حمل شده از مراکز توزیع n به مراکز مشتری p توسط وسیله حمل و نقل f در دوره زمانی t
QIK_{kt}	میزان موجودی جاتروفا در مراکز استخراج روغن K در دوره زمانی t
$QILL_{lt}$	میزان موجودی UCO در مراکز تصفیه l در دوره زمانی t
$QIMB_{mt}$	میزان موجودی زیست دیزل در مراکز پالایش m در دوره زمانی t
$QIMG_{mt}$	میزان موجودی گلیسرین در مراکز پالایش m در دوره زمانی t
$QINB_{nt}$	میزان موجودی زیست دیزل در مراکز توزیع n در دوره زمانی t
$QING_{ot}$	میزان موجودی گلیسرین در مراکز توزیع n در دوره زمانی t
NNS_{pt}	تعداد تقاضای ارضا نشده مشتری o برای محصول زیست دیزل در دوره زمانی t
NNS_{pl}	تعداد تقاضای ارضا نشده مشتری p برای محصول گلیسرین در دوره زمانی t
QMJ_{jt}	میزان جاتروفا کشت شده در مراکز تامین j در دوره t
$QMMB_{mt}$	میزان زیست دیزل تولید شده در مراکز پالایش m در دوره t
$QMMG_{mt}$	میزان گلیسرین تولید شده در مراکز پالایش m در دوره t
QMK_{kt}	میزان روغن جاتروفای تولید شده در مراکز استخراج k در دوره t
QML_{lt}	میزان روغن UCO تصفیه شده در مراکز UCO i در دوره t
QJ_j	میزان نواحی کشت شده از جاتروفا در مراکز j (هکتار)
F_{fjk}	اگر وسیله حمل f برای حمل دانه از مراکز j به مراکز k انتخاب شود در غیر این صورت

$$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

G_{fil}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل f برای حمل UCO از مراکز i به مراکز l انتخاب شود در غیر این صورت
H_{fkm}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل f برای حمل روغن از مراکز k به مراکز پالایش m انتخاب شود در غیر این صورت
I_{flm}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل f برای حمل UCO از مراکز l به مراکز پالایش m انتخاب شود در غیر این صورت
KB_{fmn}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل f برای حمل دیزل از مراکز m به مراکز توزیع n انتخاب شود در غیر این صورت
KG_{fmn}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل f برای حمل گلیسرین از مراکز m به مراکز n انتخاب شود در غیر این صورت
MB_{fno}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل f برای حمل دیزل از مراکز توزیع n به مراکز مشتری o انتخاب شود در غیر این صورت
MG_{fnp}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل f برای حمل گلیسرین از مراکز توزیع n به مراکز مشتری p انتخاب شود در غیر این صورت
B_{kh}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مرکز استخراج k با سطح ظرفیت h احداث شود در غیر این صورت
C_{lh}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مرکز تصفیه l با سطح ظرفیت h احداث شود در غیر این صورت
D_{mh}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مرکز پالایش m با سطح ظرفیت h احداث شود در غیر این صورت
E_{nh}	$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مرکز توزیع n با سطح ظرفیت h احداث شود در غیر این صورت

مدل ریاضی مساله

$$\begin{aligned}
\text{Min } Z_1 = & [\sum_j \sum_t \sum_h \overline{FC}J_{jt} \cdot A_{jh} + \sum_k \sum_t \sum_h \overline{FC}K_{kt} \cdot B_{kh} + \sum_l \sum_t \sum_h \overline{FC}L_{lt} \cdot C_{lh} + \sum_m \sum_t \sum_h \overline{FC}M_{mt} \cdot D_{mh} + \\
& \sum_k \sum_t \sum_h \overline{FC}N_{nt} \cdot E_{nh}] + [\sum_j \sum_k \sum_f \sum_t \overline{TC}J_{jkft} \cdot QJK_{jkft} + \\
& \sum_i \sum_l \sum_f \sum_t \overline{TC}I_{ilft} \cdot QIL_{ilft} + \sum_k \sum_m \sum_f \sum_t \overline{TC}K_{kmft} \cdot QKM_{kmft} + \sum_l \sum_m \sum_f \sum_t \overline{TC}L_{lmft} \cdot QLM_{lmft} + \\
& \sum_m \sum_n \sum_f \sum_t \overline{TC}M_{mnft} \cdot QMN_{mnft} + \sum_m \sum_n \sum_f \sum_t \overline{TC}G_{mnft} \cdot QMNG_{mnft} + \\
& \sum_n \sum_o \sum_f \sum_t \overline{TC}N_{noft} \cdot QNO_{noft} + \sum_n \sum_p \sum_f \sum_t \overline{TC}G_{npft} \cdot QNP_{npft}] + [\sum_j \sum_t \overline{PC}J_{jt} \cdot QMJ_{jt} + \\
& \sum_m \sum_t \overline{PC}B_{mt} \cdot QMMB_{mt} + \sum_m \sum_t \overline{PC}G_{mt} \cdot QMMG_{mt} + \sum_k \sum_t \overline{PC}K_{kt} \cdot QMK_{kt} + \sum_l \sum_t \overline{PC}P_{lt} \cdot QML_{lt} + \\
& \sum_i \sum_t \overline{PC}C_{it} \cdot \overline{SU}_{it}] + [\\
& \sum_t \sum_o \overline{PC}B \cdot NNS_{ot} + \sum_t \sum_p \overline{PC}Y \cdot NNS_{pt}] + [\sum_k \sum_t \overline{HC}C_{kt} \cdot QIK_{kt} + \sum_l \sum_t \overline{HC}B_{lt} \cdot QILL_{lt} + \sum_m \sum_t \overline{HC}B_{mt} \\
& \cdot QIMB_{mt} + \sum_m \sum_t \overline{HC}G_{mt} \cdot QIMG_{mt} \sum_n \sum_t \overline{HC}B_{nt} \cdot QINB_{nt} + \\
& \sum_n \sum_t \overline{HC}G_{nt} \cdot QING_{nt}]
\end{aligned} \tag{1}$$

Min $Z_2 =$

$$[\sum_j \sum_h \bar{E}J_j \cdot A_{jh} + \sum_l \sum_h \bar{E}L_l \cdot C_{lh} + \sum_k \sum_h \bar{E}K_k \cdot B_{kh} + \sum_m \sum_h \bar{E}M_m \cdot D_{mh} + \sum_n \sum_h \bar{E}N_n \cdot E_{nh}] + [\sum_j \sum_k \sum_f \sum_t ETJ_{jkft} \cdot QJK_{jkft} + \sum_i \sum_l \sum_f \sum_t ETI_{ilft} \cdot QIL_{ilft} + \sum_k \sum_m \sum_f \sum_t ETK_{kmft} \cdot QKM_{kmft} + \sum_l \sum_m \sum_f \sum_t ETL_{lmft} \cdot QLM_{lmft} + \sum_m \sum_n \sum_f \sum_t ETMB_{mnft} \cdot QMNB_{mnft} + \sum_m \sum_n \sum_f \sum_t ETMG_{mnft} \cdot QMNG_{mnft} + \sum_n \sum_o \sum_f \sum_t ETNB_{nof} \cdot QNO_{nof} + \sum_n \sum_p \sum_f \sum_t ETNG_{npft} \cdot QNP_{npft}] \quad (2)$$

$$\text{Min } Z_r = \sum_j \sum_k \sum_h \bar{T}T_{jk} \cdot A_{jh} + \sum_k \sum_m \sum_h \bar{T}T_{km} \cdot B_{kh} + \sum_l \sum_m \sum_h \bar{T}T_{lm} \cdot C_{lh} + \sum_m \sum_n \sum_h \bar{T}T_{mn} \cdot D_{mh} + \sum_m \sum_n \sum_h \bar{T}T_{no} \cdot E_{nh} + \sum_n \sum_p \sum_h \bar{T}T_{np} \cdot E_{nh} \quad (3)$$

محدودیت های (۷) نشان می دهند که حداکثر یک نوع تسهیل برای انتقال جریان بین تسهیلات وجود دارد.

$$\sum_f F_{fjk} \leq 1 \quad \forall j, k \quad (7)$$

محدودیت (۸) نشان می دهند که باید محصولی بین تسهیل مراکز مختلف برقرار شود تا وسیله ای برای حمل انتخاب گردد.

$$F_{fjk} \leq \sum_t QJK_{jkft} \quad \forall j, k, f \quad (8)$$

محدودیت (۹) تضمین می کنند که هیچ گونه حمل و نقلی بین مکان هایی که ارتباطی با یکدیگر ندارند، وجود نخواهد داشت. همچنین بیان می کنند که جریان فقط مجاز است که از طریق گزینه های حمل و نقل فعال در شبکه عبور کند.

$$\sum_t QJK_{jkft} \leq M \cdot F_{fjk} \quad \forall f, j, k \quad (9)$$

محدودیت (۱۰) حداکثر ظرفیت مجاز را برای مراکز تامین جاتروفا، استخراج روغن جاتروفا، تصفیه روغن UCO، پالایش و توزیع نشان می دهند.

$$\sum_k \sum_f \sum_t QJK_{jkft} \leq \sum_h A_{jh} \cdot \bar{CA}J_{jh} \quad \forall j \quad (10)$$

محدودیت (۱۱) بیان گر این است که جریان محصول رسیده به مشتریان از طریق مراکز توزیع حداکثر برابر با تقاضا خواهد بود.

$$\sum_n \sum_f QNO_{nof} \leq \bar{D}_{ot} \quad \forall o, t \quad (11)$$

محدودیت (۱۲) تقاضای ارضا نشده مشتریان را مشخص می کند.

$$\bar{D}_{ot} - \sum_n \sum_f QNO_{nof} = NNS_{ot} \quad (12)$$

تابع هدف اول شامل حداقل سازی هزینه های کل می باشد عبارت (۱) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می دهد. تابع هدف دوم شامل حداقل سازی اثرات محیط زیستی است. عبارت (۲) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می دهد. تابع هدف سوم شامل حداقل کردن زمان رساندن محصول به مشتری است. عبارت (۳) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می دهد. در ادامه برخی از محدودیت های مدل پیشنهادی را به خاطر محدودیت فضا به صورت نمونه مورد بررسی قرار می دهیم. محدودیت (۴) تضمین می نمایند که مراکز تامین جاتروفا، استخراج روغن جاتروفا، تصفیه روغن UCO، پالایش و توزیع حداکثر با یک سطح ظرفیت احداث شوند.

$$\sum_h E_{nh} \leq 1 \quad \forall n \quad (4)$$

محدودیت (۵) ماکزیمم تعداد مراکز توزیع، تولید، جمع آوری، تعمیر، باز تولید، بازیافت، انهدام و توزیع مجدد که پتانسیل احداث را دارا می باشند محدود می کنند.

$$\sum_j \sum_h A_{jh} \leq MAJ \quad (5)$$

محدودیت های (۶) محدودیت ظرفیت حمل جریان محصول بین مراکز مختلف را نشان می دهد.

$$\sum_t QJK_{jkft} \leq F_{fjk} \cdot \bar{CAP}J_{fjk} \quad \forall f, j, k \quad (6)$$

$$QMMB_{mt} = \gamma \sum_k \sum_f QKM_{kmft} + \quad (۱۶)$$

$$\theta \sum_l \sum_f QLM_{lmft} \quad \forall m, t$$

محدودیت (۱۷) نشان دهنده تعادل موجودی در مراکز استخراج روغن دانه های جاتروفا می باشد.

$$QIK_{kt} = QIK_{k,t-1} + \sum_j \sum_f QJK_{jkft} - \quad (۱۷)$$

$$\left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \sum_m \sum_f QKM_{kmft} \quad \forall k, t$$

محدودیت (۱۸) نشان دهنده محدودیت های تعادل موجودی برای UCO، زیست دیزل و گلسیرین در تسهیلات مرتبط است.

$$QILL_{lt} = QILL_{l,t-1} + \sum_i \sum_f QIL_{ilft} - \quad (۱۸)$$

$$\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot \sum_m \sum_f QLM_{lmft} \quad \forall l, t$$

محدودیت های (۱۹) و (۲۰) به ترتیب نشان دهنده محدودیت های ضروری منطقی روی متغیرهای تصمیم گسسته و پیوسته می باشند.

$$A_{jh}, B_{kh}, C_{lh}, D_{mh}, E_{nh}, F_{fjk}, G_{fil}, H_{fkm}, I_{ftm}, KB_{fmn}, KG_{fmn}, MB_{fno}, MG_{fnp} \in \{0,1\} \quad (۱۹)$$

$$\forall j, h, k, l, m, n, f, i, o, p$$

$$QJK_{jkft}, QIL_{ilft}, QKM_{kmft}, QLM_{lmft}, QMNB_{mnft}, QMNG_{mnft}, QNO_{noft}, QNP_{npft}, \quad (۲۰)$$

$$QIK_{kt}, QILL_{lt}, QIMB_{mt}, QIMG_{mt}, QINB_{nt}, QING_{nt}, NNS_{ot}, NNS_{pt}, QMJ_{jt}, QMMB_{mt},$$

$$QMMG_{mt}, QMK_{kt}, QML_{lt} \geq 0, \forall j, k, f, t, i, l, m, n, o, p$$

کردن) مقدار آن را داریم، پخش شده اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می کند. سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی اش و بهترین محلی که در گذشته در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می کند. همه ی ذرات جهتی برای حرکت انتخاب می - کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می - رسد. این مراحل چندین بار تکرار می شوند تا آن که جواب مورد نظر به دست بیاید. در واقع انبوه ذرات که مقدار کمینه یک تابع را جستجو می کنند، همانند دسته ای از پرندگان عمل می کنند که به دنبال غذا می گردند (۱۲). در ادامه به پیاده سازی مدل مطرح شده با استفاده از داده های شرکت پالایش نفت اصفهان می پردازیم. زنجیره تامین مورد بررسی دارای بیست مرکز بالقوه تامین جاتروفا ($j=1, \dots, 20$)، سی مرکز تامین پسماند روغن خوراکی ($i=1, \dots, 30$)، هفت مرکز بالقوه استخراج روغن

محدودیت (۱۳) نشان می دهند که همه دانه های جاتروفا و UCO جمع اوری شده اند و به سوی مراکز استخراج روغن و تصفیه UCO در هر دوره منتقل شده اند.

$$\sum_l \sum_f QIL_{ilft} = \bar{S}U_{it} \quad \forall i, t \quad (۱۳)$$

محدودیت (۱۴) نشان می دهند که همه دانه های جاتروفا در هر مرکز کشت، در هر دوره تولید می گردند.

$$QMJ_{jt} = \bar{S}U_{jt} \cdot QJ_j \quad \forall j, t \quad (۱۴)$$

محدودیت (۱۵) نشان می دهند که میزان روغن جاتروفا تولید شده و UCO تصفیه شده، مرتبط به تسهیلات در هر دوره هستند.

$$QMK_{kt} = \alpha \cdot \sum_j \sum_f QJK_{jkft} \quad \forall k, t \quad (۱۵)$$

محدودیت (۱۶) نشان می دهند که که میزان زیست دیزل و گلسیرین تولید شده در مراکز پالایش در هر دوره از روغن جاتروفا و تصفیه UCO دریافت شده از تسهیلات مرتبط بدست می آیند.

رویکرد حل مسئله و نتایج محاسباتی

الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه

برای برخی از حیوانات که به صورت گروهی زندگی می کنند از جمله دسته های ماهی، رفتارهای پیچیده ای به هنگام حرکت قابل مشاهده هستند. در چنین مجموعه ای، هر کدام از حیوانات فقط از چند قانون ساده تبعیت می کنند و رفتارهای پیچیده ای که در کل جمع قابل مشاهده هستند، چیزی جز ترکیب این قوانین ساده نیستند. جیمز کندی و ابرهات صاحبان اصلی این الگوریتم می باشند. آن ها در ابتدا قصد داشتند که با بهره گیری از مدل های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی، نوعی از هوش محاسباتی را به وجود بیاورند که به توانایی های فردی ویژه نیازی نداشته باشد و اولین شبیه سازی آنها برای پیدا کردن دانه توسط پرندگان در سال ۱۹۹۵ صورت گرفت (۱۱). در این الگوریتم، تعدادی از موجودات وجود دارند، که به آن ها ذره گفته می شود و در فضای جستجوی تابعی که قصد کمینه کردن (و یا بهینه

گلیسرین ($p=1, \dots, 15$)، دو سطح ظرفیت ($h=1, 2$) و دو نوع وسیله حمل و نقل ($f=1, 2$) می باشد. جدول ۱ نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با استفاده از روش خیمینز را به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت (α) نشان می دهد.

جاتروفا ($k=1, \dots, 7$)، شش مرکز بالقوه تصفیه پسماند روغن خوراکی ($l=1, \dots, 6$)، هشت مرکز بالقوه پالایش ($m=1, \dots, 8$)، بیست و پنج مرکز بالقوه توزیع ($n=1, \dots, 25$)، سی مرکز مشتری زیست دیزل ($o=1, \dots, 30$)، پانزده مرکز مشتری

جدول ۱- نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با روش خیمینز

Table 1. The results of solving model

α	مقدار تابع هدف اقتصادی (Z1)	مقدار تابع هدف محیط زیستی (Z2)	مقدار تابع هدف زمان رسیدن محصول (Z3)
۰/۷	۲۱۲۳۶۴۴	۲۳۱۴۷	۱۱۸۷
۰/۸	۲۲۲۸۸۴۰	۲۲۸۷۱	۱۱۸۷
۰/۹	۲۲۸۶۷۴۳	۲۲۴۷۸	۱۱۸۷
۱	۲۳۰۱۴۱۸	۲۱۹۸۶	۱۱۸۷

مشتریان در زنجیره تامین زیست توده می باشد. تابع هدف هزینه شامل هزینه حمل و نقل یا انتقال جریان بین تسهیلات، هزینه ثابت راه اندازی، هزینه های تولید، هزینه تقاضای ارضا نشده و هزینه های نگهداری می باشد. در تابع هدف دوم حداقل کردن گاز کربن دی اکسید ناشی از عملیات درون تسهیلات و انتقال جریان بین تسهیلات به عنوان تابع هدف زیست محیطی در نظر گرفته شده است. تابع هدف سوم مدل همواره سعی در کاهش زمان رساندن محصول به مشتری دارد. از موضوعاتی که در تحقیقات آینده می تواند مورد توجه قرار گیرد می توان به توسعه مدل طراحی شبکه زنجیره تامین زیست توده با در نظر گرفتن ابعاد پایداری اشاره کرد.

در جدول ۱، مقادیر سه تابع هدف حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن اثرات محیط زیستی و حداقل کردن زمان رسیدن محصول به مشتری به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت نشان داده شده است. این مقادیر با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه بدست آمده اند. همان طور که از نتایج نمایش داده شده در جدول ۱ بر می آید، دو تابع هدف اقتصادی و زیست محیطی با یکدیگر در تضاد هستند. به این معنا که حرکت هر یک به سمت مطلوب (ارضا بیش تر تابع هدف) مستلزم حرکت تابع هدف دیگر به سمت نامطلوب خواهد بود.

نتیجه گیری

در این مطالعه مدلی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین زیست توده طراحی شد که با در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی و کوتاه تر شدن مدت زمان تحویل محصول به مشتری تا حدودی خلا مقالات پیشین پوشش داده شد. این موضوع در ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است، همچنین مدل مورد استفاده در این تحقیق با در نظر گرفتن یک شبکه چند محصولی سعی در بازتاب واقعی تر شبکه های تامین موجود در واقعیت نموده است. مدل مطرح شده دارای سه تابع هدف (۱) حداقل کردن هزینه کل، (۲) حداقل کردن اثرات محیط زیستی و (۳) حداقل کردن زمان رسیدن محصول به

References

1. Sathre, R. (2014). Comparing the heat of combustion of fossil fuels to the heat accumulated by their lifecycle greenhouse gases, *Fuel*, 115, 674–677.
2. Bashiri, M and M. Sherafati. (2013). Advanced Bi-objective closed loop supply chain network design considering correlated criteria in fuzzy environment, *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, 1(1), 25-36. (In Persian)

- supply chain design under multiple uncertainties, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 55, 237–256.
9. Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvae, M.S., Rabbani, M. (2016). A sustainable second-generation biodiesel supply chain network design problem under risk, *Omega*, in press.
 10. Tong, K., Gong, J., Yue, D., You, F. (2013). Stochastic programming approach to optimal design and operations of integrated hydrocarbon biofuel and petroleum supply chains, *ACS Sustain. Chem. Engine*, 2, 49–61.
 11. Singh, A., Chu, Y., You, F. (2014). Biorefinery supply chain network design under competitive feedstock markets: an agent-Based simulation and optimization approach, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 53, 15111–15126.
 12. Pishvae, M.S. and Torabi S.A. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, 161, 2668–2683.
 13. Tang, C.S. and Zhou, S. (2012). Research advances in environmentally and socially sustainable operations, *European Journal of Operational Research*, 223, 585–594.
 3. Simchi- Levi, D., P. Kaminsky and E. Simchi- Levi. (2003). *managing the Supply chain: The Definitive Guide for the Business professional*, Mcgraw-hill.
 4. Morrow, W.R., Griffin, W.M., Matthews, H.S. (2006). Modeling switchgrass derived cellulosic ethanol distribution in the United States, *Environ. Sci. Technol*, 40, 2877–2886.
 5. Ren, J., Manzardo, A., Toniolo, S., Scipioni, A., Tan, S., Dong, L., Gao, S. (2013). Design and modeling of sustainable bioethanol supply chain by minimizing the total ecological footprint in life cycle perspective, *Bioresour Technol*, 146, 771–774.
 6. Sharma, B., Ingalls, R.G., Jones, C.L., Huhnke, R.L., Khanchi, A. (2013). Scenario optimization modeling approach for design and management of biomass-to-biorefinery supply chain system, *Bioresour Technol*, 150, 163–171.
 7. Tong, K., Gleeson, M.J., Rong, G., You, F. (2014). Optimal design of advanced drop-in hydrocarbon biofuel supply chain integrating with existing petroleum refineries under uncertainty, *Biomass Bioenergy*, 60, 108–120.
 8. Bairamzadeh, S., Pishvae, M.S., Saidi-Mehrabad, M. (2015) Multi objective robust possibilistic programming approach to sustainable bioethanol