

ارزیابی و طراحی شبکه زنجیره تأمین لجستیک پیشرو-معکوس نیروگاه بیوگاز شیراز

نجمه توکلی^۱، محمد شریفی^{۲*}، مجید خانعلی^۳، حسن قاسمی مبتکر^۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی - انرژی، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

*۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبه: محمد شریفی E-mail: m.sharifi@ut.ac.ir

چکیده

از آغاز قرن بیست و یکم حدود ۸۰ درصد انرژی جهان از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. مشکلات ناشی از آلاینده‌های زیست‌محیطی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی، توجه زیادی را به منابع انرژی تجدیدپذیر و سایر منابع انرژی کم‌کربن و ارزان، برای تولید برق جلب کرده‌است. به همین دلیل، در این مقاله به بررسی نیروگاه بیوگاز شیراز پرداخته شده‌است. در این مطالعه به منظور بررسی اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه بیوگاز زباله‌سوز شیراز، از لجستیک معکوس-پیشرو توسط نرم‌افزار GAMS بهره گرفته شده که محصولات از سطوح پایینی زنجیره تأمین به سطوح بالاتر بازگردانده می‌شوند و به دلیل کاهش هزینه‌ها، افزایش سود، بالا بردن رضایت‌مندی مشتریان و رعایت قوانین زیست‌محیطی اهمیت بالایی دارد. نتایج نشان داد که متان تئوری تولید شده از فرآیند هضم ۲۷/۳۵ درصد و ارزش حرارتی بالا و پایین بیوگاز به ترتیب ۲۲/۳۲ و ۲۰/۱۱ مگاژول بر مترمکعب است. به ازای ۱۸ مولد با دبی جرمی ورودی هر مولد ۸۸۸/۵۷ کیلوگرم در روز و زمان ماند ۹/۵۷ روز، بیوگاز تولید شده ۳۹۴۹/۳۲۶ مترمکعب بر روز خواهد بود که توان به دست آمده با فرض توان بالا و پایین ارزش حرارتی سوخت در نیروگاه ۳۵۷/۰۹ و ۳۲۱/۸۰۹ کیلووات خواهد بود. نتایج حاصل از بررسی تابع اقتصادی و زیست‌محیطی نشان داد که هرچه میزان تابع هدف اقتصادی بیشتر می‌شود، سود زنجیره بیشتر شده، مقدار تابع هدف زیست‌محیطی نیز بیشتر می‌شود. از آنجایی که تابع هدف زیست‌محیطی از نوع کمینه‌سازی است، افزایش آن به معنی بدتر شدن آن است.

کلید واژه‌ها: بیوگاز، پسماندهای جامد شهری، سوخت فسیلی، لجستیک پیشرو-معکوس

How to cite:

Tavakoli N, Sharifi M, Khanali M, Ghasemi-Mobtaker H, N. 2023, Evaluation and design of forward-reverse logistics supply chain network of Shiraz biogas power plant. *Journal of Agricultural Mechanization* 8 (3): 11-25.

Evaluation and design of forward-reverse logistics supply chain network of Shiraz biogas power plant

Najme Tavakoli¹, Mohammad Sharifi^{2*}, Majid Khanali³, Hassan Ghasemi-Mobtaker⁴

Received: July 9, 2023

Accepted: November 1, 2023

1- Ph.D. Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2*- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (m.sharifi@ut.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Abstract

Since the beginning of the 21st century, about 80% of the world's energy is supplied by fossil fuels. The problems caused by the environmental pollutants resulting from the consumption of fossil fuels and the reduction of fossil fuel reserves have drawn a lot of attention to renewable energy sources and other low-carbon and cheap energy sources for electricity generation. For this reason, in this article, Shiraz biogas power plant has been investigated. In this study, in order to investigate the economic and environmental aspects of the Shiraz waste incinerator biogas plant, reverse-forward logistics was used by GAMS software, where the products from the lower levels of the supply chain are returned to the higher levels and due to cost reduction Increasing profits, increasing customer satisfaction and complying with environmental laws are very important. The results showed that the theoretical methane produced from the digestion process is 27.35% and the high and low calorific value of biogas is 22.32 and 20.11 megajoules per cubic meter, respectively. For 18 generators with an input mass flow rate of each generator of 888.57 kg per day and a residence time of 9.57 days, the biogas produced will be 3949.326 cubic meters per day, the power obtained assuming high power and low calorific value of the fuel in The power plant will be 357/09 and 321/809 kW. The results of the examination of the economic and environmental function showed that as the amount of the economic objective function increases, the profit of the chain increases, and the amount of the environmental objective function also increases. Since the environmental objective function is of the minimization type, its increase means its deterioration.

Keywords: biogas, municipal solid waste, fossil fuel, forward-reverse logistics.

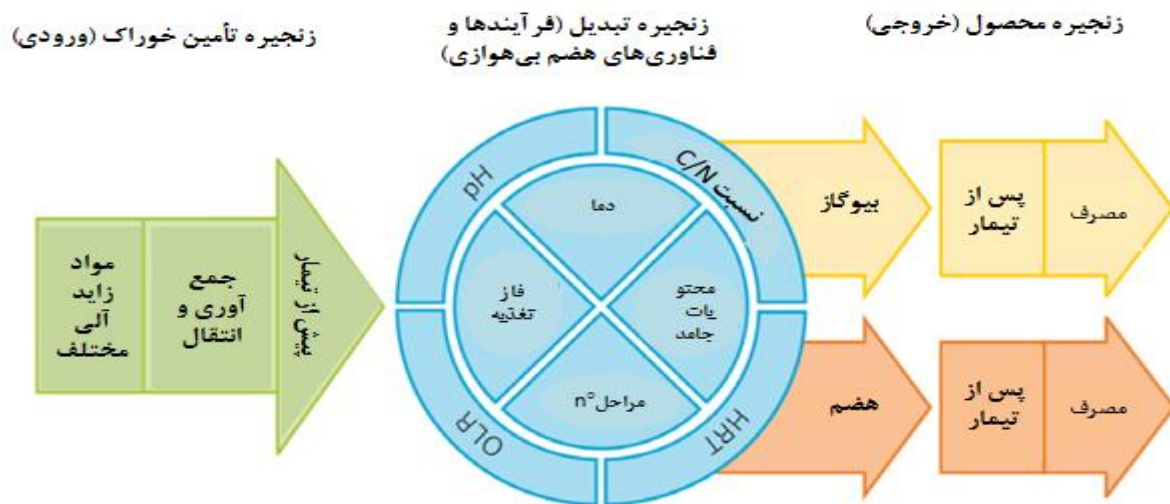
۱- مقدمه

انرژی، نیروی محرک توسعه اقتصادی و صنعتی شدن کشورها است. در حال حاضر سوخت‌های فسیلی عمده‌ترین منبع انرژی موجود در جهان هستند. برخی معایب آن‌ها از جمله عدم تجدیدپذیری، قیمت بالا و انتشار آلاینده‌ها باعث شده است تا سیاست‌گذاران و مدیران بخش انرژی با انجام مطالعات ساختاری، تغییر حامل‌های انرژی، حرکت به سوی سوخت‌های پاک را در رأس برنامه‌های کاری خود قرار دهند، زیرا طبیعت به‌عنوان خاستگاه انسان و سایر موجودات و بستر فعالیت‌های آن‌ها، توانایی پذیرش و پالایش میزان معینی از آلاینده‌ها را دارد. امروزه با افزایش جمعیت متمرکز، به‌ویژه در کلان‌شهرها، روزانه میلیون‌ها تن ضایعات و آلاینده‌ها تولید شده که حجم بالایی از آن‌ها به‌خصوص در کشورهای درحال توسعه و جهان سوم بدون نظارت خاصی وارد بسترهای طبیعی می‌شوند. بسیاری از بسترهای طبیعی اطراف شهرها مثل رودخانه‌ها، مسیل‌ها، تالاب‌ها و زمین‌های حاشیه‌ی شهرها به زباله‌دانی اجتماعات انسانی تبدیل شده است و پخش این آلاینده‌ها مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را به همراه دارد. افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای جهانی، بالا آمدن سطح آب دریاها، تغییرات آب و هوایی و اثرات مخرب زیست‌محیطی بر جوامع انسانی و زیستگاه‌های طبیعی که حاصل مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و رشد صنایع است و همچنین محدود بودن این منابع و نیز رشد روزافزون مصرف انرژی منجر به پیاده‌سازی طرح توسعه پایدار شده است. یکی از فناوری‌های مورد توجه در زمینه بهره‌برداری از این منابع انرژی، فناوری بیوگاز است. با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و به تبع آن افزایش ضایعات و آلاینده‌ها (به‌ویژه در کلان‌شهرها)، که پذیرش و پالایش آن‌ها بیش از توان طبیعت است، نیاز به فناوری بیوگاز شدیداً احساس می‌شود.

بیوگاز به‌عنوان یکی از منابع عمده انرژی می‌تواند مستقیماً برای گرمایش و تولید برق استفاده شود و همچنین گزینه مناسبی برای استفاده در موتورهای احتراق داخلی، میکرو توربین‌ها، پیل‌های سوختی و دیگر تأسیسات تولیدکننده انرژی است (Zarei, 2018).

در کشور ایران نیز تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کاربرد بیوگاز در حال انجام است؛ لذا بیوگاز چشم‌انداز بسیار روشنی را در آینده برای بخش انرژی کشور ترسیم می‌نماید. آن‌چه که انرژی بیوگاز را نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر متمایز می‌کند جمع‌آوری و کنترل مواد آلی زائد شهری و صنایع می‌باشد که تأثیر به‌سزایی در حفاظت محیط‌زیست داشته و از ورود گازهای گلخانه‌ای زیاد به اتمسفر جلوگیری می‌نماید.

بیوگاز به گازهای تولید شده در اثر تخمیر و تجزیه بی‌هوازی مواد آلی به‌وسیله باکتری‌های بی‌هوازی به‌ویژه متان‌زا که در یک محفظه‌ی تخمیر به وجود می‌آیند، اطلاق می‌شود (Noorollahi et al., 2015). در تبدیل زیست‌توده به انرژی، روش‌های مختلفی از جمله سوزاندن، گازی‌سازی، پیرولیز، تخمیر و هضم بی‌هوازی وجود دارد. در این میان هضم بی‌هوازی روش غالب در تولید بیوگاز به‌صورت تجاری و کوچک‌مقیاس (روستایی) است (Ong et al., 2014). هضم بی‌هوازی یک واکنش پیچیده بیوشیمیایی است که طی چند گام توسط مجموعه‌ای از میکروارگانیسم‌ها که برای زندگی نیازی به اکسیژن ندارند انجام می‌شود. بر این اساس آن‌ها در یک محیط بی‌هوازی، مواد آلی پیچیده (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها) را شکسته و به مولکول‌هایی با جرم مولکولی کم‌تر و محلول در آب (قندها، آمینواسیدها و چربی‌ها) تبدیل می‌کنند. متان و کربن‌دی‌اکسید محصولات نهایی عمده این فرآیند هستند که به آن‌ها بیوگاز گفته می‌شود. کل فرآیند تبدیل مواد آلی پیچیده به بیوگاز را می‌توان به چهار مرحله تقسیم کرد که به ترتیب عبارت‌اند از هیدرولیز، اسیدزایی، استات‌زایی و متان‌زایی. قابل‌ذکر است که در هضم بی‌هوازی این چهار مرحله هم‌زمان رخ می‌دهد (Zarei, 2018). زنجیره فرآیند هضم بی‌هوازی را می‌توان به سه بخش اساسی دسته‌بندی کرد (شکل ۱): زنجیره تأمین خوراک (ورودی)، زنجیره تبدیل (فرآیند و فناوری‌های هضم بی‌هوازی) و زنجیره محصول (خروجی).



شکل ۱: زنجیره فرآیند هضم بی‌هوایی

Figure 1: Anaerobic digestion process chain (Mao et al., 2015)

و استفاده شده وادار کرده است. از آنجا که به دلایل مختلف، جریان مواد و محصولات در جهت عکس زنجیره تأمین موضوعی اجتناب‌ناپذیر است، طراحی شبکه لجستیک معکوس امری ضروری است. تعاریف مختلفی از لجستیک معکوس وجود دارد که یکی از کامل‌ترین تعاریف عبارت است از "لجستیک معکوس فرآیند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل کارا و مؤثر جریان ورودی و ذخیره‌سازی کالاهاى دست دوم و اطلاعات مربوط به آنها در خلاف جهت زنجیره تأمین سنتی با هدف بازبایی ارزش یا دفع مناسب است" (Sasse, 1995). زنجیره تأمین، شبکه‌های بزرگی هستند و اجزای این شبکه بزرگ، سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی شده‌اند، بنابراین بهبود عملکرد زیست محیطی و اجتماعی در کنار عملکرد اقتصادی نیاز است. مکانیزم‌های مختلفی نیاز است تا ضایعات را کاهش دهند و یا از آنها بهره‌وری کنند. لجستیک معکوس در این میان کمک کننده است (Jabbar zade et al., 2020).

Tarokh & Naseri (2011) در مطالعه خود بیان کردند که در طی دهه گذشته، شبکه‌های لجستیک معکوس به دلیل قوانین زیست محیطی، افزایش اهمیت اقتصادی و آگاهی‌های مشتریان، مورد توجه روزافزونی قرار گرفته‌اند. یکپارچه‌سازی شبکه لجستیک پیشرو و معکوس هنگام طراحی شبکه لجستیک، یکی از عوامل بسیار مهم در زنجیره تأمین است. یک موضوع ضروری برای مدل‌سازی مسئله طراحی سیستم‌های لجستیک معکوس، در نظر گرفتن تعداد بیشتری از گزینه‌های بازبایی است. در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه پیشرو/معکوس

منابع تولید بیوگاز عبارتند از (Mao et al., 2015):

۱. ضایعات لیگنوسلولزی^۱، ضایعات جامد شهری^۲، ضایعات مواد غذایی^۳، کودهای دامی^۴، لجن فعال^۵ (فاضلاب‌ها).

خوشبختانه درصد بالایی از این ضایعات و آلاینده‌ها را مواد تجزیه‌پذیر تشکیل می‌دهند و در دسته‌بندی منابع تولید بیوگاز قرار می‌گیرند و به‌عنوان خوراک و ماده اولیه در فناوری بیوگاز می‌تواند استفاده شود. استفاده از این فناوری نه تنها مشکلات دفع و تصفیه این آلاینده‌ها را حل می‌کند و آنها را به منابع ارزشمندی برای تولید انرژی پاک و ارزان تبدیل می‌سازد، بلکه دارای منافع زیست محیطی از جمله تولید کود طبیعی با درصد بالای نیتروژن، کاهش میزان تخریب منابع محیط‌زیست و کاهش دی‌اکسیدکربن است. از طرفی کشاورزان معتقدند که واحدهای بیوگاز در تأمین مقدار زیادی کود با کیفیت مرغوب اهمیت دارند که حاوی مقدار زیادی مواد مغذی است. بنابراین بیوگاز از نظر اقتصادی و اجتماعی و زیست محیطی مورد توجه است (Mao et al., 2015).

در طی دهه گذشته، به دلیل قوانین زیست‌محیطی، یکی از مباحثی که مورد توجه روزافزونی قرار گرفته‌اند، شبکه‌های لجستیک معکوس هستند. لجستیک معکوس به دلیل توانایی بازبایی ارزش از محصولات برگشتی و استفاده شده توجه بسیاری دریافت کرده و به عنصری کلیدی تبدیل شده است که به دلیل الزامات قانونی، مسئولیت‌های اجتماعی، نگرانی‌های زیست محیطی، منافع اقتصادی و آگاهی مشتریان، تولیدکنندگان را نه تنها به تولید محصولات سازگار با محیط زیست، بلکه به پس گرفتن و جمع‌آوری محصولات برگشتی

4. Livestock Manure
5. Activated Waste Sludge (AWS)

1. Lignocellulosic Waste
2. Municipal Solid Waste (MSW)
3. Food Waste (FW)

دوباره با استفاده از ماژول‌های قدیمی و جدید و با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه طراحی شده است (Pokharel & Mutha, 2009). Min & Co (2006) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی مختلط برای شبکه لجستیک قطعی به همراه بازیابی محصول پیشنهاد کردند و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل طراحی شده استفاده شد. Lee et al (2009) یک مدل ریاضی سامانه تولید دوباره را به صورت مدل شبکه لجستیک معکوس چندمرحله‌ای، چندمحصولی برای کمینه‌سازی کل هزینه‌های حمل و نقل لجستیک معکوس و هزینه ثابت احداث مراکز دمنواژ و مراکز پردازش فرموله کردند و برای حل این مسئله، یک الگوریتم ژنتیک به همراه روش کدگذاری مبتنی بر اولویت پیشنهاد شد.

Lieckens & Vandaele (2007) یک مدل برنامه‌ریزی قطعی غیر خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه لجستیک معکوس تک‌سطحی، تک‌محصولی با زمان‌های انتظار تصادفی پیشنهاد کردند. مدل با مطرح کردن تئوری صف برای پرداختن به برخی از جنبه‌های پویایی مانند زمان سیکل و موقعیت‌های موجودی و نیز پرداختن به درجه بالاتری از نبود قطعیت ذاتی لجستیک معکوس تعمیم یافته و برای دستیابی به حل بهینه از الگوریتم ژنتیک بر اساس روش تکاملی تفاضلی استفاده شد.

Qin & Ji (2009) برای مقابله با نبود قطعیت در طی فرایند بازیابی به طراحی شبکه لجستیک معکوس در محیط فازی پرداخته‌اند و بر اساس معیارهای مختلف تصمیم‌گیری، سه نوع مدل بهینه‌سازی با رویکرد برنامه‌ریزی فازی فرموله کردند و برای حل مدل‌ها، یک الگوریتم هوشمند ترکیبی برای ادغام الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی را معرفی نمودند.

در سال‌های اخیر مطالعات اندکی به طراحی شبکه لجستیک یکپارچه پرداخته‌اند. Lee & Dong (2008)، یک مدل برنامه‌ریزی قطعی خطی عدد صحیح مختلط، برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه برای محصولات کامپیوتری را با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی قطعی برای مدیریت سیستماتیک جریان‌های لجستیک پیشرو و معکوس پیشنهاد کردند. آن‌ها یک شبکه ساده به همراه یک مرکز تولید منفرد و تعداد معلومی از تسهیلات ترکیبی توزیع-جمع‌آوری را در نظر گرفته و آن را با استفاده از الگوریتم هیوریستیک جستجوی ممنوع حل کردند مدل ارائه شده در این مطالعه، یکی از عمومی‌ترین مدل‌ها برای طراحی شبکه‌های لجستیک معکوس است.

Zho & Wang (2008) با یکپارچه‌سازی گزینه‌های بازیابی شامل تعمیر و تولید دوباره به طراحی یک شبکه کلی لجستیک معکوس برای تعمیم مدل پیشنهادی توسط (Felichman, 2001) پرداختند و یک مدل MILP برای حل مدل ارائه کردند.

برای پرداختن به نبود قطعیت در طراحی شبکه لجستیک یکپارچه، یک مدل بهینه‌سازی تصادفی بر مبنای سناریو ارایه گردید

چندلایه، چندمحصولی، تک دوره‌ای به همراه ظرفیت‌های محدود شده و با شرایط نبود قطعیت ارائه می‌شود که به طور همزمان گزینه‌های بازیابی، تعمیر، تولید دوباره و همچنین گزینه دفع ضایعات را در برمی‌گیرد و هدف آن کمینه‌سازی هزینه کل شبکه است. Mahmoodi et al (2020) در مطالعه خود عنوان کردند که پاسخگویی به نیازمندی‌های سازمان و تأمین به‌موقع این نیازمندی‌ها، به میزان مناسب، با قیمت و کیفیت مناسب، در زمان و مکان مناسب، از تأمین‌کنندگان مناسب، جز با ایجاد یکپارچگی میان بخش‌های مختلف سازمان از جمله تأمین‌کنندگان، مصرف‌کنندگان، مراکز ذخیره‌سازی و توزیع، حمل‌ونقل و سایر بخش‌های ارائه‌دهنده خدمات لجستیکی در سازمان، محقق نخواهد شد.

با توجه به اهمیت یکپارچگی در سازمان لجستیک، در این تحقیق مفهوم جامعی از یکپارچگی در لجستیک تبیین گردیده و تلاش شده است با بررسی تحقیقات در حوزه یکپارچگی لجستیک و زنجیره تأمین، چارچوب مفهومی جامع برای یکپارچه‌سازی سازمان لجستیک ارائه گردد. لجستیک معکوس توجه علمی را از اوایل دهه ۱۹۹۰ به خود جلب کرده است. در دهه گذشته، مدل‌های بسیاری برای طراحی شبکه لجستیکی بر اساس تئوری مکان‌یابی تأسیسات توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها از مدل‌های ساده مکان‌یابی تسهیلات بدون ظرفیت تا مدل‌های پیچیده چندهدفه متغیرند (Pishvae et al., 2009).

با نگاهی به ادبیات زنجیره تأمین دریافت می‌شود که بخش عظیمی از آن در زمینه طراحی شبکه لجستیک پیشرو است و بخش اندکی به طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف بهینه‌سازی جریان معکوس از مشتریان به مراکز بازیابی و دفع مناسب، تعیین تعداد مراکز جمع‌آوری، بازیابی و دفع، مکان‌های آنها و ظرفیت‌هایشان می‌پردازد. در پژوهشی با مروری بر ادبیات لجستیک معکوس نشان داده که پژوهش در این زمینه چندوجهی است. به‌ویژه پس از سال ۲۰۰۵، به دلیل به رسمیت شناختن لجستیک معکوس به عنوان مشتقی از زنجیره تأمین و لجستیک افزایش یافته است (Pokharel & Mutha, 2009).

در اوایل سال ۲۰۰۱، یک مدل MILP برای تحلیل تأثیر بازیابی محصول بر طراحی شبکه لجستیک توسعه دادند و نشان دادند که رویکرد یکپارچه، یعنی بهینه‌سازی همزمان شبکه پیشرو و معکوس، در مقایسه با طراحی ترتیبی هر دو شبکه، صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه دارد، که می‌تواند باعث جلوگیری از زیربهرینگی ناشی از طراحی جداگانه لجستیک پیشرو و معکوس نیز بشود (Farahani & Pishvae, 2008).

مدل‌سازی پخارل، یک مدل بهینه‌سازی سود است که به صورت یک مسئله MILP فرموله شد. در این مدل‌سازی به لجستیک معکوس از زاویه پیمانه‌ای بودن محصول نگاه شده و یک مدل ریاضی جهت طراحی شبکه‌های استراتژیک برای لجستیک معکوس و تولید

شامل می‌شوند، فقط به طراحی شبکه لجستیک معکوس بدون در نظر گرفتن شبکه لجستیک پیشرو می‌پردازند. در این میان مدل *Zho & Wang* (2008) به دلیل در نظر گرفتن گزینه‌های تعمیر و تولید دوباره به طور همزمان و یک شبکه لجستیک یکپارچه، عمومی‌تر به نظر می‌رسد، اما این مدل نیز چند مشخصه مهم مسائل دنیای واقعی از جمله محدودیت‌های ظرفیت، تولید چندمحصولی و نبود قطعیت در جریان‌های برگشتی/تفاض را در نظر نگرفته‌است.

در جدول ۱ به تفاوت برخی مطالعات پیشین با پژوهش حاضر پرداخته شده است:

که شبکه مورد مطالعه، یک شبکه لجستیک یکپارچه پیشرو-معکوس حلقه بسته با هدف کمینه‌سازی هزینه کل، با استفاده از یک مدل *SMILP*^۱ بود (Pishvae et al., 2009). برای طراحی یکپارچه شبکه‌های لجستیک پیشرو-معکوس، یک مدل *MINLP*^۲ دوهدفه برای کمینه‌سازی هزینه‌های کل و بیشینه‌سازی پاسخگویی شبکه لجستیک توسعه داده شد و برای حل مدل، یک هیوریستیک بر مبنای الگوریتم ممتیک پیشنهاد شد (Pishvae et al., 2010).

با مروری بر ادبیات دریافت می‌شود که بیشتر مدل‌های ارائه شده، فقط یک گزینه بازیابی محصول یعنی گزینه تولید دوباره را در نظر گرفته‌اند و مدل‌هایی که به طور همزمان گزینه‌های بیشتری را

جدول ۱- مطالعات پیشین

Table 1. Previous studies

نحوه بررسی مسئله	شبکه یکپارچه در تولید اولیه و تولید از برگشتی‌ها	بررسی ظرفیت مرکز در استفاده از ضایعات بازگشتی	تولید مجدد از ضایعات			پژوهش پیشین
			بازیافت ضایعات	دفع ضایعات	تولید مجدد از ضایعات	
مدل‌سازی	*	*		*	*	Sasse, 1995
مدل‌سازی	*			*	*	Pishvae et al., 2009
مدل‌سازی	*	*				Min et al., 2006
مدل‌سازی	*	*				Lee et al., 2009
مدل‌سازی		*		*	*	Fleischmann et al., 2001
مدل‌سازی	*				*	Ong et al., 2014
توصیف			*	*	*	Mahmoodi et al., 2021
مدل‌سازی	*	*	*	*	*	تحقیق حاضر

پیشرو/معکوس با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند شرایط زیست محیطی، آگاهی مشتریان، صرفه‌های اقتصادی، مسئولیت‌های اجتماعی و کسب امتیاز وفاداری مشتریان به صورت فزاینده‌ای در حال گسترش هستند. در طراحی شبکه لجستیک معکوس گزینه‌های استفاده مجدد در تولید، تعمیر، بازیافت، تولید مجدد و دفع را می‌توان در نظر گرفت، زیرا این گزینه‌ها باعث افزایش سود گردیده و امروزه افزایش سود پروژه جزء اهداف مهم اغلب پروژه‌ها می‌باشد. بنابراین، با توجه به موارد ذکر شده در خصوص اهمیت تولید بیوگاز و بکارگیری نقش شبکه‌های لجستیک پیشرو/معکوس در این فناوری، پیداست که

در مورد شبکه مورد استفاده برای تهیه بیوگاز باید تصمیماتی اتخاذ شود که این تصمیمات شامل فرآیندهای پیچیده سلسله مراتبی، با در نظر گرفتن بهترین مصالحه در بین عوامل متنوع (اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و ...) است، از این رو یکپارچه‌سازی شبکه لجستیک، هنگام طراحی شبکه لجستیک زنجیره تأمین بسیار مهم است. یکی از زمینه‌های مناسب برای یکپارچه‌سازی در شبکه‌های لجستیک، طراحی یکپارچه شبکه لجستیک پیشرو/معکوس است که می‌تواند باعث جلوگیری از زیربهدینی^۳ ناشی از طراحی جدا از هم شبکه لجستیک مستقیم و معکوس شود. شبکه‌های لجستیک

3. suboptimization

1. Simulated Annealing

2. Mixed Integer Non Linear Programming

میزان بیوگاز تولیدی نیروگاه محاسبه خواهد شد. در گام بعد با استفاده از مدل سازی لجستیک پیشرو/معکوس بهینه ترین حالتی که نیروگاه با در نظر گرفتن پارامترهای زیست محیطی می تواند به حداکثر سود دست پیدا کند مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

گردید. در معادله ۱ میزان غلظت واقعی گاز متان محلول نشان داده شده است که نماد $V_S (CH_4/VS)$ برابر با نسبت حجم استوکیومتریکی گاز متان تولید شده به جرم جامد فرار می باشد و M ، ضریب تبدیل اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) به جرم جامد فرار می باشد.

معادله $C_{camd} = v_s \left(\frac{CH_4}{VS} \right) \times M (S_{cvs}(1) - S_{ce}(0))$ (۱)
 $M = 1.583$ (conversion factor COD to VS)
 میزان غلظت گاز متان در جمع کننده گاز در معادله ۲ نشان داده شده است:

معادله (۲):
 $C_{cmgc} = -K_L \times \frac{A_{interfacial\ gas\ transfer\ area}}{V_{volume\ of\ liquid}} \times (C_{cgs1} - C_{camd}) \times \vartheta_h$
 که در آن ضریب انتشار گاز متان و غلظت اشباع گاز در مایع برابر با:
 $K_L = 0.0984 \frac{m}{day}$
 $C_{cgs1} = 0.0057 \frac{kg}{m^3}$

در گام بعدی، دبی حجمی گاز متان تولید شده نشان داده شده است که نماد $V_S (CH_4/VBS)$ ، برابر با نسبت حجم استوکیومتریکی گاز متان تولید شده به بازدهی تبدیل تجزیه جرم جامد فرار می باشد:

معادله (۳):
 $Q_{(CH_4)} = v_s (CH_4/VBS) \times m_{vbs}$
 که دبی جرمی گاز متان و دبی حجمی بیوگاز تولید شده عبارتند از:
 معادله (۴):
 $m_{(CH_4)} = Q_{(CH_4)} \times p_{(CH_4)}$
 جرم مخصوص گاز متان برابر است با:

معادله (۵):
 $\rho_{CH_4} = 0.714 \frac{m}{m^3_n} Q_{biogas}$
 $= \frac{Q_{(CH_4)} \times 100}{X_{CH_4}}$

درصد متان استوکیومتریکی برابر است با:

$X_{CH_4} = 55.982\%$
 کل دبی حجمی بیوگاز تولید شده در معادله ۶ نشان داده شده است (Akunna, 2019):

معادله (۶):
 $Q_{total\ biogas} = Q_{biogas} \times N_{reactor}$
 در گام بعد به وسیله لجستیک پیشرو معکوس دو تابع اقتصادی و زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفت و بهینه ترین حالت نیروگاه

یک ساختار شبکه حلقه بسته برای طراحی زنجیره تأمین ضروری است که با کنترل هم زمان لجستیک مستقیم و معکوس علاوه بر افزایش سود، تأثیرات زیست محیطی زنجیره تأمین بیوگاز را مورد بررسی قرار دهد. در این مطالعه، با توجه به میزان ورودی نیروگاه،

۳- روش تحقیق

در این پژوهش، نیروگاه بیوگاز پسماندسوز شهر شیراز با وسعت حدوداً ۱۵۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. جمعیت کلان شهر شیراز بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، بالغ بر ۱۵۶۵۵۷۲ نفر بوده است که بر این اساس، شیراز پنجمین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران و پرجمعیت ترین شهر جنوب کشور به شمار می رود (Anonymous, 2016). این جمعیت با نرخ رشد جمعیت ۱/۷۲ در سال ۱۴۰۱ به ۱۷۳۴۲۴۸ خواهد رسید. با در نظر گرفتن نرخ مصرف فعلی ۰/۷ کیلوگرم در روز برای هر نفر (سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز ۱۴۰۱)، میزان پسماند تولید شده معادل ۱۲۱۳۹۷۳ کیلوگرم در روز می باشد. ناوگان جمع آوری و حمل پسماندها شامل ۱۶۰ خودروی کاملاً مکانیزه است که بعد از جمع آوری روزانه پسماندها از سطح مناطق ده گانه، به دو ایستگاه میانی حمل شده و در نهایت به وسیله ۱۳ دستگاه تریلر به محل پردازش و دفن مهندسی انتقال می یابد. نیروگاه بیوگاز شیراز که در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت برای اولین بار در کشور در سال ۱۳۷۶، عملیات جمع آوری، استحصال و سوزاندن بیوگاز را با ۱۸ مولد در دفنگاه پسماندهای شهر شیراز به اجرا درآورد. پس از آن در سال ۱۳۸۶ احداث نیروگاه برق بیوگازسوز یک مگاواتی با پیش بینی بهره برداری حداقل ۱۳ سال (قرارداد فروش برق) آغاز و در دی ماه سال ۱۳۸۸ و برق تولیدی وارد شبکه توزیع برق گردید. این نیروگاه به مساحت یک هکتار در محل سایت دفن پسماندها تأسیس گردیده و شامل دو موتور ژنراتور بیوگازسوز است که ظرفیت اسمی هر یک ۶۲۵ کیلو وات ساعت بوده و از طریق پست اصلی به شبکه ۲۰ کیلوولت توزیع برق شیراز متصل شده است. بیوگاز عمدتاً متشکل از گازهای متان و کربن دی اکسید بوده و بعد از بازیابی می تواند به عنوان یک سوخت در موتورهای احتراق داخلی، توربین های گازی، پیل های سوختی، بویلرها و گرمکن های صنعتی و یا در ساخت مواد شیمیایی مورد استفاده قرارگیرد. واکنش های تخمیری در دستگاه بیوگاز شامل مجموعه ای از فعالیت های شیمیایی و بیولوژیکی و گروهی از باکتری های اسیدزا و متانزا در محفظه تخمیر است که رشد، ادامه حیات و میزان بیوگاز تولیدی آن ها به شرایط تخمیر بستگی دارد. از جمله عوامل مؤثر بر عملکرد دستگاه بیوگاز، درجه حرارت، نوع راکتور و نحوه کارکرد آن، حضور موجودات زنده ذره بینی از نوع بی هوازی، وجود مواد بازدارنده، غلظت مواد، زمان ماند، میزان اسیدی بودن PH، مواد مغذی، مواد سمی، اختلاط محتویات، رطوبت، نسبت کربن به نیتروژن می باشد. در این مطالعه ابتدا حجم متان و بیوگاز تولید شده محاسبه

به دست آمد و تأثیر این دو تابع بر یکدیگر بررسی گردید. نمادهای زیر حالت توسعه یافته‌ای از نمادهای مورد استفاده در مدل Torabi et al (2011) هستند که در مدل مورد بررسی تحقیق حاضر در نظر گرفته شده‌اند:

$I = \{1, \dots, N_p\}$ مجموعه‌ی نقاط بالقوه برای مراکز تولید/ تولید مجدد (کارخانه) $i \in I$
 $J = \{1, \dots, N_d\}$ مجموعه‌ی نقاط بالقوه برای مراکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری $j \in J$
 $K = \{1, \dots, N_r\}$ مجموعه‌ی نقاط بالقوه برای مراکز CRC $k \in K$
 $O = \{1, \dots, N_x\}$ مجموعه‌ی نقاط بالقوه برای مراکز دفع $o \in O$
 $R = \{1, \dots, N_e\}$ مجموعه‌ی نقاط بالقوه برای مراکز باز یافت $r \in R$
 $L = \{1, \dots, N_c\}$ مجموعه‌ی نقاط ثابت مشتریان $l \in L$
 $M = \{1, \dots, N_g\}$ مجموعه‌ی محصولات موجود $m \in M$
هزینه‌ها:

\mathcal{F}_i^p : هزینه‌ی ثابت احداث کارخانه i

\mathcal{F}_j^d : هزینه‌ی ثابت احداث مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j

\mathcal{F}_k^r : هزینه‌ی ثابت احداث مرکز CRC k

\mathcal{F}_o^x : هزینه‌ی ثابت احداث مرکز دفع o

\mathcal{F}_r^e : هزینه‌ی ثابت احداث مرکز باز یافت r

C_{mijl}^f : در جریان پیشرو - کلیه‌ی هزینه‌های متغیر برآورده سازی یک واحد از تقاضای مشتری l از محصول m ، توسط کارخانه i و مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j

C_{mkjl}^f : در جریان پیشرو - کلیه‌ی هزینه‌های متغیر برآورده سازی یک واحد از تقاضای مشتری l از محصول m ، توسط مرکز CRC k و مرکز توزیع - جمع‌آوری j

C_{mljk}^r : در جریان معکوس - کلیه‌ی هزینه‌های متغیر بازپس‌گیری یک واحد محصول m (قابل تعمیر)، از مشتری l از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j به مرکز CRC k

C_{mljki}^r : در جریان معکوس - کلیه‌ی هزینه‌های متغیر بازپس‌گیری یک واحد محصول m (قابل تولید مجدد)، از مشتری l از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j و مرکز CRC k به کارخانه i

C_{mljko}^r : در جریان معکوس - کلیه‌ی هزینه‌های متغیر بازپس‌گیری یک واحد محصول m (برای دفاع)، از مشتری l از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j و مرکز CRC k به مرکز دفع o

C_{mljkr}^r : در جریان معکوس - کلیه‌ی هزینه‌های متغیر بازپس‌گیری یک واحد محصول m (برای باز یافت)، از مشتری l از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j و مرکز CRC k به مرکز باز یافت r

C_{ml}^u : هزینه‌ی جریمه یک واحد تقاضای برآورده نشده‌ی محصول

m از مشتری l

C_{ml}^w : هزینه‌ی جریمه یک واحد محصول m جمع‌آوری نشده از مشتری l

C_o : هزینه دفع در مرکز دفع o به ازای هر واحد محصول

C_r : هزینه باز یافت در مرکز باز یافت (برای تمام کالاها یکسان فرض می‌شود)

C_{im} : هزینه تولید/ تولید مجدد یک واحد محصول m در کارخانه i

C_{km} : هزینه بازرسی در مرکز CRC k به ازای هر واحد محصول m

C_{rpm} : هزینه تعمیر در مرکز CRC k به ازای هر واحد محصول m

پارامترها:

d_{ml} : تقاضای محصول m از جانب مشتری l

r_{ml} : برگشتی‌های محصول استفاده شده m از جانب مشتری l

β_{ml} : حداکثر درصد تعمیرات

γ_m : حداقل درصد دفع

η_m : حداکثر درصد باز یافت

cap_{im}^p : حداکثر ظرفیت تولید محصول m در کارخانه i

cap_j^d : حداکثر ظرفیت توزیع در مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j

جمع‌آوری j

cap_k^r : حداکثر ظرفیت مرکز CRC k

cap_{ml}^u : حداکثر ظرفیت دفع o

cap_{ml}^c : حداکثر ظرفیت تولید مجدد در کارخانه i

cap_{ml}^m : حداکثر ظرفیت جمع‌آوری در مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j

جمع‌آوری j

cap_r^e : حداکثر ظرفیت باز یافت در مرکز باز یافت r

متغیرهای تصمیم:

X_{mijl}^f : جریان پیشرو - درصدی از تقاضای محصول m از جانب مشتری l که از کارخانه i و مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j برآورده می‌شود.

X_{mkjl}^f : جریان پیشرو - درصدی از تقاضای محصول m از جانب مشتری l که توسط مرکز CRC k و مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j برآورده می‌شود.

X_{mljk}^r : جریان معکوس - درصدی از محصول برگشتی m از جانب به مشتری l که می‌تواند تعمیر شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j به مرکز CRC k

X_{mljki}^r : جریان معکوس - درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند باز تولید شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j و مرکز CRC k به کارخانه i

X_{mljko}^r : جریان معکوس - درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند باز تولید شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j و مرکز CRC k به مرکز دفع o

X_{mljkr}^r : جریان معکوس - درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند باز یافت شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری j و مرکز CRC k به مرکز باز یافت r

X_{ml}^u : جریمه یک واحد تقاضای برآورده نشده‌ی محصول

$$\begin{aligned}
 & -\sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} C_{mljki}^r r_{ml} X_{mljki}^r - \\
 & \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{o \in O} C_{mljko}^r r_{ml} X_{mljko}^r - \\
 & -\sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} C_{mljkr}^r r_{ml} X_{mljkr}^r - \\
 & \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} C_{ml}^u d_{ml} U_{ml} - \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} C_{ml}^w r_{ml} W_{ml} \\
 \min f_2 = & \sum_i \sum_j \sum_t ET_{ij} * Q_{ijt}^p + \sum_j \sum_k \sum_t ET_{jk} * \\
 & Q_{jkt}^p + \sum_k \sum_{l1} \sum_t ET_{kl1} * Q_{kl1t}^{p1} + \\
 & \sum_k \sum_{l2} \sum_t ET_{kl2} * Q_{kl2t}^{p2} + \sum_k \sum_{l3} \sum_t ET_{kl3} * \\
 & Q_{kl3t}^{p3} + \sum_{i'} \sum_{k'} \sum_t ET_{i'k'} * Q_{i'k't}^{p4} + \\
 & \sum_{k'} \sum_{l'} \sum_t ET_{k'l'} * Q_{k'l't}^{p4} + \sum_k \sum_{l'} \sum_t ET_{kl'} * \\
 & Q_{kl't}^{p4} + \sum_k \sum_{l3} \sum_t \gamma * ET_{l3} * Q_{kl3t}^{p3} \\
 \text{S.to:}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{mljk}^r r_{ml} \quad \forall m \quad (8) \\
 & \in M, k \\
 & \in K \\
 & = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{mkgi}^f d_{ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{mijl}^r + \quad \forall m \quad (9) \\
 & \in M, l \\
 & \in L \\
 & = 1 \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{mki}^f + U_{ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(\sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \right) \quad \forall m \quad (10) \\
 & \in M, k \\
 & \in K \\
 & + \sum_{r \in R} X_{mljkr}^r \\
 & + X_{mljk}^r + W_{ml} \\
 & = 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{mljki}^r r_{ml} \quad \forall m \quad (11) \\
 & \in M, i \\
 & \in I \\
 & \leq \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} X_{mijl}^r + d_{ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & Y_m (X_{mljk}^r + \sum_{i \in I} X_{mljki}^r) \quad \forall m \quad (12) \\
 & \in M, l \\
 & \in L, j \\
 & \in J, k \\
 & \in K \\
 & + \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \\
 & + \sum_{r \in R} X_{mljkr}^r \\
 & \leq \sum_{o \in O} X_{mljko}^r
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \beta_m (X_{mljk}^r + \sum_{i \in I} X_{mljki}^r) \quad \forall m \quad (13) \\
 & \in M, l \\
 & \in L, j \\
 & \in J, k \\
 & \in K \\
 & + \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \\
 & + \sum_{r \in R} X_{mljkr}^r \\
 & \geq X_{mljk}^r
 \end{aligned}$$

جانب مشتری 1 که بایستی دفع شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی

توزیع - جمع آوری زو مرکز CRC k به مرکز دفع o

X_{mljkr}^r : جریان معکوس - درصدی از محصول برگشتی m از

جانب مشتری 1 که می تواند بازیافت شود، برگشته از طریق مرکز

ترکیبی توزیع- جمع آوری زو مرکز CRC k به مرکز بازیافت r

U_{ml} : درصد تقاضای برآورده نشده ی محصول m از جانب مشتری

1

W_{ml} : درصد جمع آوری نشده محصول m از جانب مشتری 1

$Y_i^p = 1$: اگر کارخانه i احداث گردد.

$Y_j^d = 1$: اگر مرکز ترکیبی توزیع- جمع آوری ز احداث گردد.

$Y_k^r = 1$: اگر مرکز CRC k احداث گردد.

$Y_o^x = 1$: اگر مرکز دفع o احداث گردد.

$Y_r^e = 1$: اگر مرکز بازیافت r احداث گردد.

محاسبه ضرایب:

$C^{ab.m}$: هزینه حمل و نقل واحد محصول m بر اساس فاصله بین

مراکز a و b

t_{ab} : هزینه حمل و نقل بر اساس فاصله بین مراکز a و b

CS_{rp} : میزان صرفه جویی به ازای هر واحد محصول به خاطر تعمیر

در مرکز بازیابی متمرکز CRC k

CS_{rm} : میزان صرفه جویی به ازای هر واحد محصول به خاطر

تولید مجدد در کارخانه ی i

CS_{rc} : میزان صرفه جویی به ازای هر واحد محصول به خاطر

بازیافت در مرکز بازیافت r

$$= C^{rp.m} \times t_{ij} + C^{dc.m} \times t_{ji} + c_m C_{mkjl}^f$$

$$C_{mkjl}^f = C^{rd.m} \times t_{kj} + C^{dc.m} \times t_{jl} - CS_{rp} + c_m$$

$$\times t_{lj} + C^{dr.m} \times t_{jk} + C_{rpm} + c_{km} C_{mljk}^r = C^{cd.m}$$

$$\times t_{ij} + C^{dr.m} \times t_{jk} + C^{rp.m} \times C_{mljki}^r = C^{cd.m}$$

$$t_{kj} + c_m + c_{km} - CS_{rm}$$

$$\times t_{ij} + C^{dr.m} \times t_{jk} + C^{rx.m} \times C_{mljko}^r = C^{cd.m}$$

$$t_{ko} + c_o + c_{km}$$

$$\times t_{ij} + C^{dr.m} \times t_{jk} + C^{re.m} \times C_{mljkr}^r = C^{cd.m}$$

$$t_{kr} + c_r + c_{km} - CS_{rc}$$

با توجه به نمادگذاری فوق، مسئله طراحی شبکه لجستیک پیشرو /

معکوس با هدف کمینه سازی هزینه کل به صورت زیر فرمول بندی

می شود (Torabi et al., 2011):

(7)

$$\begin{aligned}
 \max f_1 = & \left(\sum_k \sum_{l1} \sum_t \sum_{p1} SP_{l1} * Q_{ktl1}^{p1} + \right. \\
 & \left. \sum_k \sum_{l2} \sum_t \sum_{p2} SP_{l2} * Q_{ktl2}^{p2} \right) - \sum_{i \in I} f_i^p - Y_i^p - \\
 & \sum_{j \in J} f_j^d - Y_j^p - \sum_{k \in K} f_k^r - Y_k^r - \sum_{o \in O} f_o^x - Y_o^x - \\
 & \sum_{i \in I} f_i^e - Y_i^e - \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{mijl}^f d_{ml} X_{mijl}^f \\
 & - \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{mkjl}^f d_{ml} X_{mkjl}^f - \\
 & \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{mljk}^r r_{ml} X_{mljk}^r
 \end{aligned}$$

رابطه (۷) نشان دهندهی ۲ تابع هدف مدل می‌باشد که تابع هدف اول سود به دست آمده از کل زنجیره را محاسبه می‌کند که عبارت است از درآمد ناشی از نیروگاه منهای هزینه‌های نیروگاه که عبارتند از هزینه احداث مراکز تولید / تولید مجدد (i) مراکز ترکیبی توزیع - جمع‌آوری مراکز (j)، مراکز CRC k مراکز دفع (o)، و مراکز بازیافت (r)، هزینه برآورد تقاضا از کارخانه‌ها، هزینه برآورد تقاضا از مرکز CRC و هزینه بازیابی محصولات بازگشتی شامل هزینه بازیابی، تعمیر، تولید مجدد، دفع و بازیافت. تابع هدف دوم که همان تابع هدف زیست‌محیطی است، شامل کمینه‌سازی کل میزان کربن‌دی‌اکسید منتشرشده در اثر حمل‌ونقل زباله بین سطوح مختلف در شبکه و میزان کربن‌دی‌اکسید منتشرشده ناشی از نگهداری زباله در محل دفن است. در این مدل محدودیت (۸) تضمین می‌نماید که تمامی محصولات تعمیر شده جهت برآوردن تقاضای مشتریان استفاده می‌شوند. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) محدودیت‌های منطقی هستند تضمین می‌کنند که تمام تقاضای مشتریان و برگشتی‌ها در نظر گرفته می‌شوند. نامساوی (۱۱) تضمین‌کننده کل جریان‌های خروجی حداقل به بزرگی کل جریان‌های ورودی برای هر کارخانه می‌باشد. نامساوی (۱۲) حداقل درصد دفع برای هر جریان برگشت را اعمال می‌کند در حالی که نامساوی (۱۳) حداکثر درصد تعمیر را مطابق با شدنی بودن فنی ارائه کرده و نامساوی (۱۴) حداکثر درصد بازیافت را اعمال می‌نماید. نامساوی‌های (۱۵) تا (۲۱) شرایط معمول احداث تسهیلات و عدم تجاوز جریان بین تسهیلات از ظرفیتشان را تضمین می‌کنند. محدودیت (۲۲) قید غیر منفی بودن را بر روی متغیرهای تصمیم باقی نگه می‌دارد و در نهایت محدودیت (۲۳) ماهیت دودویی متغیرهای مکان را تعیین می‌نماید.

در این مدل پیشنهادی محدودیت (۸) بحث هماهنگ‌سازی ورودی (کالاهای قابل تعمیر) و خروجی (کالایی که می‌تواند تقاضای مشتری را برآورده کند) مرکز CRC را منعکس می‌نماید. علاوه بر این متغیر X_{mljko}^r همراه با پارامترهای γ در محدودیت (۱۲)، β در محدودیت (۱۳) و η در محدودیت (۱۴) نشان‌دهنده درجه انعطاف‌پذیری در مورد به مبحث تعمیر، دفع و بازیافت می‌باشد. افزوده شدن محدودیت (۱۵) به مدل ارائه شده در مدل تریبی و همکاران، یکی از گام‌های این تحقیق برای نزدیک‌تر کردن مدل به دنیای تولید واقعی است تا شرایط بازیافت نیز در مدل اعمال گردد. در این مدل هر دو شبکه‌ی حلقه باز و بسته می‌توانند در نظر گرفته شوند، همچنین برگشتی‌های محصولات، با انتخاب مناسب پارامترهای d_{ml} و r_{ml} می‌توانند در نظر گرفته شوند. برای حالت $d_{ml}r_{ml} > 0$ یعنی زمانی که هر دو پارامتر مثبت هستند، یک زنجیره تأمین حلقه بسته مدل می‌شود، در حالی که برای حالت $d_{ml}r_{ml} = 0$ زنجیره تأمین در یک حلقه باز عمل می‌کند.

$$\eta_m (X_{mljk}^r + \sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljko}^r + \sum_{r \in R} X_{mljkr}^r) \geq \sum_{r \in R} X_{mljkr}^r \quad \forall m \in M, l \in L, j \in J, k \in K \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J} X_{mijl}^f d_{ml} \leq \text{cap}_{im}^p Y_i^p \quad \forall m \in M, i \in I, l \in L \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} X_{mijl}^f d_{ml} + \sum_{k \in K} X_{mkjl}^f d_{ml} \leq \text{cap}_j^d Y_j^d \quad \forall m \in M, j \in J, l \in L \quad (16)$$

$$\sum_{j \in J} X_{mljk}^f \Gamma_{ml} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r \Gamma_{ml} + \sum_{j \in J} \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \Gamma_{ml} + \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} X_{mljkr}^r \Gamma_{ml} \leq \text{cap}_k^r Y_k^r \quad \forall m \in M, k \in K, l \in L \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K} X_{mljk}^r \Gamma_{ml} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r \Gamma_{ml} + \sum_{k \in K} \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \Gamma_{ml} + \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} X_{mljkr}^r \Gamma_{ml} \leq \text{cap}_{rj}^d Y_{rj}^d \quad \forall m \in M, j \in J, l \in L \quad (18)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mljki}^r \Gamma_{ml} \leq \text{cap}_{ri}^d Y_{ri}^d \quad \forall m \in M, i \in I, l \in L \quad (19)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mljko}^r \Gamma_{ml} \leq \text{cap}_o^x Y_o^x \quad \forall m \in M, c \in O, l \in L \quad (20)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mljkr}^r \Gamma_{ml} \leq \text{cap}_r^e Y_r^e \quad \forall m \in M, r \in R, l \in L \quad (21)$$

$$0 \leq X_{mijk}^f, X_{mljki}^r, X_{mljko}^r, X_{mljkr}^r, U_{ml}, W_{ml} \leq 1 \quad \forall m \in M, i \in I, j \in J, k \in K, o \in O, r \in R, l \in L \quad (22)$$

$$Y_i^p, Y_j^d, Y_k^r, Y_o^x, Y_r^e \in \{0,1\} \quad \forall m \in M, i \in I, j \in J, k \in K, o \in O, r \in R, l \in L \quad (23)$$

همه ی مشتریان I به دست می آید. به طور مشابه از طریق مقدار C_{ml}^U هر دو نگرش فشاری و کششی به بازار نهایی برای محصولات تعمیر شده/ تولید مجدد شده را می توان مدل نمود.

طریق بررسی منابع، تهیه فرم گردآوری داده و تکمیل آن توسط پرسنل؛ همچنین بازدید میدانی جمع آوری گردید. یافته ها حاکی از آن است که سناریو پنجم که سناریو وضعیت موجود منطقه است در قسمت خروجی های سمی و شاخص اکولوژیکی در بین تمامی سناریوها بیشترین بار زیست محیطی را وارد می کند. میزان مصرف انرژی در سناریو اول و پنجم به دلیل دفن غیر بهداشتی بالاتر از سناریوهای دیگر بود. به ترتیب بیشترین و کمترین نقش در تولید گاز متان را سناریوی پنجم و چهارم دارند. با توجه به شاخص اکولوژیکی، سناریوی چهارم، بهترین سناریو بوده است که این سناریو همان سناریوی مورد استفاده در سازمان مدیریت پسماند در تحقیق حاضر است. بنابراین می توان گفت که با این سیستم مدیریتی تابع هدف زیست محیطی تحقیق، حداقل خواهد بود.

در این پژوهش هر یک از مناطق ده گانه شهر شیراز به عنوان یک نقطه تولید پسماند و محل جمع آوری در هر ناحیه در مرکز آن در نظر گرفته شده است. در حال حاضر تعداد دو ایستگاه انتقال موقت پسماند در شهر فعال است و با در نظر گرفتن شرایط و معیارهای مختلف پنج مکان برای احداث ایستگاه های انتقال موقت جدید در نظر گرفته شده است.

متغیرهای ورودی و خروجی در نظر گرفته شده برای تعیین مکان مناسب مراکز بازیابی مرکزی، قیمت زمین، فاصله تا سایت دفن نهایی، مساحت منطقه مورد نظر، میزان تولید پسماند و جمعیت منطقه است که متغیرهای قیمت زمین و فاصله تا سایت دفن نهایی به عنوان متغیرهای ورودی و بقیه به عنوان متغیرهای خروجی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش ۳۵ مکان برای مراکز بازیابی مرکزی پیشنهاد شده که با توجه به ورودی ها و خروجی های ذکر شده برای هر مکان، کارایی آن ها و در نهایت ۳ مکان که کارایی بالای ۰/۹ داشتند، انتخاب شده است. یک سایت دفن نهایی در ۱۸ کیلومتری شهر شیراز، متشکل از دو خط تفکیک صنعتی، یک کارخانه بیوکمپوست، یک کارخانه بازیافت و یک محل دفن بهداشتی زباله موجود است. در این سایت همچنین یک خط تفکیک صنعتی برای زباله هایی وجود دارد که از میوه فروشی ها، گل فروشی ها و سبزی فروشی ها جمع آوری می شوند. این زباله ها برای تهیه ورمی کمپوست به کارخانه ورمی کمپوست ارسال می شوند. با در نظر گرفتن شرایط گوناگون برای انتخاب مکان مناسب مراکز ترکیبی توزیع-جمع آوری، سه مکان در نظر گرفته شده که هر کدام شامل دو خط تفکیک صنعتی، یک کارخانه بیوکمپوست، یک کارخانه بازیافت

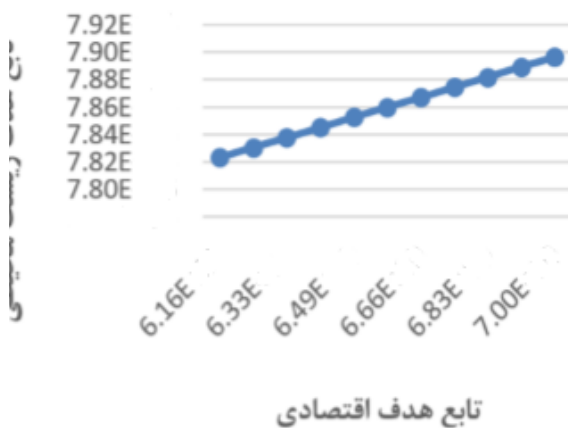
علاوه بر انتخاب یک مقدار بالا برای هزینه جریمه C_{ml}^W که بر مقدار پایین برای W_{ml} اشاره می کند، اجرای قانون را منعکس می نماید. با قرار دادن $C_{ml}^W = 0$ تصمیم جمع آوری کاملاً اقتصادی گرا برای

۴- نتایج و بحث

در بخش اول مطالعه، نتایج نشان می دهد که متان تئوری تولید شده از فرآیند هضم ۲۷/۳۵ درصد و ارزش حرارتی بالا و پایین بیوگاز به ترتیب ۲۲/۳۲ و ۲۰/۱۱ مگاژول بر مترمکعب می باشد. انتظار می رود به ازای ۱۸ راکتور با دبی جرمی ورودی هر راکتور ۸۸۸/۵۷ کیلوگرم در روز و زمان ماند ۹/۵۷ روز، بیوگاز با دبی حجمی ۳۹۴۹/۳۲۶ مترمکعب بر روز خواهد بود که حداکثر توان و انرژی الکتریکی به دست آمده با فرض توان بالای ارزش حرارتی سوخت در نیروگاه، ۳۵۷/۰۹ کیلووات و ۳۱۲۸۱۱۳/۴۱۴ کیلووات ساعت خواهد بود و حداکثر توان و انرژی الکتریکی به دست آمده با فرض توان پایین ارزش حرارتی سوخت در نیروگاه، ۳۲۱/۸۰۲ کیلووات و ۲۸۱۸۹۸۹/۵۹۱ کیلووات ساعت خواهد بود. در پژوهش شریعت حسینی و همکاران (۲۰۲۱) که به ارزیابی تولید بیوگاز از پسماند جامد شهری با استفاده از راکتورهای تخمیر بی هوازی پیوسته در شهر مشهد با ۱۶ راکتور پرداختند که حداکثر توان و انرژی الکتریکی به دست آمده با فرض توان بالای ارزش حرارتی سوخت در نیروگاه مشهد برابر با ۶۴۹/۶۹۱ کیلووات و ۵۶۹۱/۲۹۹ مگاوات ساعت بود و حداکثر توان و انرژی الکتریکی به دست آمده با فرض توان پایین ارزش حرارتی سوخت، به دلیل جمعیت بیشتر کلانشهر مشهد و حجم بالای پسماند ورودی به نیروگاه می باشد (Shariaat Hosseini et al., 2021). در پژوهشی دیگر نصیری، مدیر دفتر انرژی زیست توده سازمان انرژی های نو ایران، امکان سنجی نیروگاه بیوگاز ساوه را مورد بررسی قرار داد. نتایج این بررسی اقتصادی نشان داد که ارزش فعلی خالص کل با نرخ تنزیل ۱۲ درصد، ۲۱۰۳۱/۶ میلیون ریال، نرخ بازگشت داخلی سرمایه ۲۲/۶۴ درصد است و درآمد سالانه نیروگاه ۱۲۵۱۷/۸ میلیون ریال است. از بررسی اقتصادی صورت گرفته معلوم می گردد که پروژه از توجیه اقتصادی جهت اجرا برخوردار می باشد. نرخ بازگشت داخلی سرمایه و آورده سرمایه گذار نشان می دهد که این سرمایه گذاری ریسک پذیر بوده و از درآمد مناسبی برخوردار است. به علاوه این پروژه باعث کاهش مقادیر زیادی گازهای گلخانه ای و نیز آلاینده های آب و خاک و هوا می گردد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Nasiri, 2008). در تحقیق (Zezooli et al (2019)، ۵ سناریو شامل: بازیافت، کمپوست و دفن غیر بهداشتی؛ بازیافت، کمپوست و دفن بهداشتی؛ بازیافت، زباله سوز و دفن بهداشتی؛ بازیافت، کمپوست، هاضم بی هوازی، زباله سوز، دفن بهداشتی؛ بازیافت و دفن غیر بهداشتی؛ برای مدیریت پسماند شهر نور در نظر گرفته شده است. داده های مورد نیاز سیاهه نویسی چرخه زندگی از

7.85E+0.5	6.58E+0.8	۸
7.86E+0.5	6.66E+0.8	۹
7.86E+0.5	6.75E+0.8	۱۰
7.87E+0.5	6.83E+0.8	۱۱
7.88E+0.5	6.92E+0.8	۱۲
7.89E+0.5	7.00E+0.8	۱۳
7.89E+0.5	7.09E+0.8	۱۴
7.90E+0.5	7.17E+0.18	۱۵

مرز بهینه پارتو که از حل مدل به دست آمده، مطابق شکل ۲ است:



شکل ۲- مرز بهینه پارتو

Figure 2- Pareto optimal frontier

از نکات مهمی که در برنامه‌ریزی چندهدفه اهمیت دارد، تناقض بین توابع هدف مختلف است؛ به این مفهوم که بهبود یک تابع هدف منجر به بدتر شدن تابع هدف دیگر شود که این موضوع در نمودار پارتو که در شکل ۱ آورده شده، دیده می‌شود. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، هرچه میزان تابع هدف اقتصادی بیشتر می‌شود، سود زنجیره بیشتر شده، مقدار تابع هدف زیست‌محیطی نیز بیشتر می‌شود. از آنجایی که تابع هدف زیست‌محیطی از نوع کمینه‌سازی است، افزایش آن به معنی بدتر شدن آن است. در جدول‌های ۳ و ۴ میزان تغییرات توابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی به ازای تغییر در میزان فروش و میزان انتشار گاز CO₂ بررسی گردید:

جدول ۳- تغییرات مقدار تابع هدف اقتصادی به ازای تغییر در میزان قیمت فروش

Table 3. Changes in the value of the economic objective function for changes in the sales price

درصد افزایش قیمت فروش				تابع هدف زیست محیطی	تکرار
0.20	0.15	0.09	0.05		
12.00E+0.5	9.00E+0.5	5.50E+0.5	3.00E+0.5	7.80E+0.5	۱
12.16E+0.5	9.12E+0.5	5.47E+0.5	3.04E+0.5	7.81E+0.5	۲
12.32E+0.5	9.24E+0.5	5.54E+0.5	3.08E+0.5	7.81E+0.5	۳
12.48E+0.5	9.36E+0.5	5.61E+0.5	3.12E+0.5	7.82E+0.5	۴
12.66E+0.5	9.50E+0.5	5.70E+0.5	3.17E+0.5	7.82E+0.5	۵
12.82E+0.5	9.62E+0.5	5.77E+0.5	3.21E+0.5	7.83E+0.5	۶

و یک محل دفن بهداشتی زیاده است. در تحقیق پرنگ و همکاران که به شناسایی مکان‌های مناسب برای ایستگاه‌های انتقال موقت نیروگاه بیوگاز شیراز پرداختند، ۵ مکان را مناسب تشخیص دادند که در این پژوهش گزینه‌های دیگری بازبایی مثل مراکز بازبایی و مراکز ترکیبی توزیع- جمع‌آوری را مورد بررسی قرار ندادند (Parang et al., 2014). در تحقیق منصوری و همکاران از توسعه شبکه لجستیک پیشرو-معکوس، در شرایط وقوع بحران و کمبود شدید خون در بخش خدمات درمانی جهت پاسخگویی سریع به متقاضیان استفاده کردند. این مقاله شامل طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته‌ی خون برای تأمین تقاضا با هدف کمینه‌سازی میزان کمبود و هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین است که این مدل‌سازی در این پژوهش نتایج موردنظر را در اختیار مخاطب قرار داد و کارایی لازم را داشت (Mansoori et al., 2017). به منظور نشان دادن ویژگی‌های مدل و کاربردی بودن آن، مدل پیشنهادشده برای حل مسئله موردنظر شامل ۵ ماده اولیه، ۲ مرکز تولید، ۱ مرکز جمع‌آوری/توزیع ترکیبی، ۱ مرکز بازرسی، ۱ مرکز انهدام، ۱ مرکز بازیافت، ۱ مرکز ورمی‌کمپوست و ۱ مرکز تولید بیوگاز مورد استفاده قرارگرفت. محصول بازگشتی دارای دو سطح کیفی خوب و خیلی خوب می‌باشد. با استفاده از روش محدودیت اپسیلون که یکی از رویکردهای شناخته‌شده برای مواجهه با مسائل چندهدفه است. یکی از توابع هدف به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب شده و تابع هدف دیگر به شکل محدودیت در مسئله ظاهر در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از این روش در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲- مقادیر بهینه حل مسئله

Table 2. Optimal values of problem solving

تکرار	مقدار تابع هدف اقتصادی	مقدار تابع هدف زیست محیطی
۱	6.00E+0.8	7.80E+0.5
۲	6.08E+0.8	7.81E+0.5
۳	6.16E+0.8	7.81E+0.5
۴	6.24E+0.8	7.82E+0.5
۵	6.33E+0.8	7.82E+0.5
۶	6.41E+0.8	7.83E+0.5
۷	6.49E+0.8	7.84E+0.5

12.98E+0.5	9.74E+0.5	5.84E+0.5	3.25E+0.9	7.84E+0.5	۷
13.16E+0.5	9.87E+0.5	5.92E+0.5	3.29E+0.5	7.85E+0.5	۸
13.32E+0.5	9.99E+0.5	5.99E+0.5	3.33E+0.5	7.86E+0.5	۹
13.50E+0.5	10.13E+0.5	6.08E+0.5	3.38E+0.5	7.86E+0.5	۱۰
13.66E+0.5	10.25E+0.5	6.15E+0.5	3.42E+0.5	7.87E+0.5	۱۱
13.84E+0.5	10.38E+0.5	6.23E+0.5	3.46E+0.5	7.88E+0.5	۱۲
14.00E+0.5	10.50E+0.5	6.30E+0.5	3.50E+0.5	7.89E+0.5	۱۳
14.18E+0.5	10.64E+0.5	6.38E+0.5	3.55E+0.5	7.89E+0.5	۱۴
14.32E+0.5	10.74E+0.5	6.44E+0.5	3.58E+0.5	7.90E+0.5	۱۵

تحلیل قرار گرفت که نتایج این بررسی در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

تحلیل حساسیت و تغییرات مدل با افزایش مقدار دو پارامتر قیمت فروش و میزان انتشار گاز کربن دی اکسید از ۵ تا ۲۰ درصد مورد

جدول ۴- تغییرات مقدار تابع هدف زیستمحیطی به‌ازای تغییر در میزان انتشار گاز کربن دی اکسید

Table 4. Changes in the value of the environmental objective function due to changes in the amount of carbon dioxide emissions

درصد افزایش میزان انتشار گاز کربن دی اکسید				تابع هدف اقتصادی	تکرار
0.20	0.15	0.09	0.05		
15.60E+0.2	11.70E+0.2	7.02E+0.2	3.90E+0.2	6.00E+0.8	۱
15.62E+0.2	11.71E+0.2	7.03E+0.2	3.91E+0.2	6.08E+0.8	۲
15.62E+0.2	11.71E+0.2	7.03E+0.2	3.91E+0.2	6.16E+0.8	۳
15.64E+0.2	11.73E+0.2	7.04E+0.2	3.91E+0.2	6.24E+0.8	۴
15.64E+0.2	11.73E+0.2	7.04E+0.2	3.91E+0.2	6.33E+0.8	۵
15.66E+0.2	11.75E+0.2	7.05E+0.2	3.92E+0.2	6.41E+0.8	۶
15.68E+0.2	11.76E+0.2	7.06E+0.2	3.92E+0.2	6.49E+0.8	۷
15.70E+0.2	11.78E+0.2	7.07E+0.2	3.93E+0.2	6.58E+0.8	۸
15.72E+0.2	11.79E+0.2	7.07E+0.2	3.93E+0.2	6.66E+0.8	۹
15.72E+0.2	11.79E+0.2	7.07E+0.2	3.93E+0.2	6.75E+0.8	۱۰
15.74E+0.2	11.81E+0.2	7.08E+0.2	3.94E+0.2	6.83E+0.8	۱۱
15.76E+0.2	11.82E+0.2	7.09E+0.2	3.94E+0.2	6.92E+0.8	۱۲
15.78E+0.2	11.84E+0.2	7.10E+0.2	3.95E+0.2	7.00E+0.8	۱۳
15.78E+0.2	11.84E+0.2	7.10E+0.2	3.95E+0.2	7.09E+0.8	۱۴
15.80E+0.2	11.85E+0.2	7.11E+0.2	3.95E+0.2	7.17E+0.8	۱۵

محیط زیست و عدم تولید گازهای گلخانه‌ای نیز محاسبه نشده است و در صورت محاسبه دو عامل فوق میزان سود دهی افزایش خواهد یافت. علاوه بر آن کاهش بخشی از معضلات مدیریت پسماندهای شهری نیز به‌عنوان سود اجتماعی غیرمستقیم این پروژه محسوب می‌گردد که از لحاظ اقتصادی برای آن رقمی منظور نشده است. در مجموع با توجه به سوددهی این پروژه، در صورتی که کمتر از این مبلغ به منظور فراهم نمودن زیر ساخت‌ها و انجام کارهای فرهنگی جهت تسهیل در تفکیک زباله درمیداء پرداخت گردد، پروژه اقتصادی است. لذا اجرای آن قویا توصیه می‌گردد. ضمن اینکه از لحاظ مدیریت پسماندهای شهری نیز بهبود حاصل خواهد شد.

این پژوهش نشان می‌دهد علاوه بر اینکه احداث نیروگاه تولید برق و حرارت از بیوگاز در شیراز با استفاده از پسماند جامد شهری اقتصادی است، کمک شایان توجهی در راستای جمع‌آوری اصولی و علمی و پسماندها و بهبود مدیریت زباله‌های شهری به مدیران شهرداری شیراز می‌نماید. با توجه به مطالعه و بررسی‌های فنی و اقتصادی به‌عمل آمده در این پژوهش، احداث نیروگاه بیوگاز مذکور نیاز به سرمایه‌گذاری بالایی دارد و پس از گذشت شش سال از شروع از بهره‌برداری کارخانه در بدبینانه‌ترین حالت تمامی سرمایه‌گذاری‌های انجام شده، برگشت داده خواهد شد. این درحالی است که در این بررسی میزان منافع مستقیم حاصل از عدم آلودگی

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مدل طراحی شده نشان می‌دهد که تابع هدف به طور مستقیم تحت تأثیر مقادیر تقاضا و مقادیر محصولات برگشتی می‌باشد. هدف مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مخلوط در این مقاله، کمینه‌سازی هزینه‌های استقرار و احداث تسهیلات، حمل و نقل و جریان مواد بین تسهیلات در راستای افزایش سود است. این مدل، یک مدل کاربردی است و قابلیت حمایت از صنایعی را دارد که محصولات آن در پایان عمر خود قرار دارند. از مزایای این روش این است که سازمان‌های تولیدی می‌توانند با برقراری لجستیک معکوس در سازمان خود و طراحی شبکه‌های هزینه‌های خود را به‌طور چشمگیری کاهش دهند و همه‌ی تغییرات را بعد از مدل کردن به صورت عددی در دست داشته باشند.

هدف از این پژوهش محاسبه تعداد بهینه مراکز بازیابی است به گونه‌ای که ضمن افزایش سود نیروگاه، آثار زیست محیطی در نظر گرفته شود و تاثیر این دو تابع بر یکدیگر مورد بررسی قرار بگیرد. نتایج نشان می‌دهد که:

- متان تئوری تولید شده از فرآیند هضم ۲۷/۳۵ درصد و ارزش حرارتی بالا و پایین بیوگاز به ترتیب ۲۲/۳۲ و ۲۰/۱۱ مگاژول بر مترمکعب می‌باشد.

- به ازای ۱۸ مولد با دبی جرمی ورودی هر مولد ۸۸۸/۵۷ کیلوگرم در روز و زمان ماند ۹/۵۷ روز، بیوگاز تولید شده ۳۹۴۹/۳۲۶ مترمکعب بر روز خواهد بود که توان به دست آمده با فرض توان بالا و پایین ارزش حرارتی سوخت در نیروگاه ۳۵۷/۰۹ و ۳۲۱/۸۰۹ کیلووات خواهد بود.

- نتایج حاصل از بررسی تابع اقتصادی و زیست محیطی نشان داد که هرچه میزان تابع هدف اقتصادی بیشتر می‌شود، سود زنجیره بیشتر شده، مقدار تابع هدف زیست محیطی نیز بیشتر می‌شود.

- از آنجایی که تابع هدف زیست محیطی از نوع کمینه‌سازی است، افزایش آن به معنی بدتر شدن آن است که جهت بهینه‌سازی این امر می‌توان از مولدهای ترکیبی چندمرحله‌ای به جای مولدهای تک مرحله‌ای استفاده کرد.

ایجاد یک سامانه مدیریت لجستیک یکپارچه برای شرکت‌ها، در محیطی رقابتی و فشرده ضروری است. در این مقاله برای جلوگیری از ایجاد زیر بهینگی ایجاد شده در طراحی جدا از هم شبکه لجستیک مستقیم و معکوس، مدلی برای طراحی یکپارچه لجستیک مستقیم-معکوس چند سطحی، چند محصولی، تک دوره‌ای، توسعه داده شده و سعی شده است تمام مراکز لجستیک رو به جلو شامل مراکز تأمین‌کنندگان، مراکز تولید، مراکز توزیع، مراکز مشتریان و برای لجستیک معکوس شامل مراکز جمع‌آوری/احیا، مراکز بازیافت و مراکز دفن و انهدام در نظر گرفته شود.

منابع

- logistics network design for end-of-lease computer products recovery. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 44(3): 455-474..
- Lee, J.E., Gen, M. and Rhee. K.G. (2009). *Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm*. Computers and Industrial Engineering. 56: 951-964.
- Lieckens, K. and Vandaele N. (2007). *Reverse logistics network design with stochastic lead times*. Computers & Operations Research. 34: 395-416.
- Mahmoodi, J, Mosadegh khah, M., and Ghafari, H. (2021). *Presenting a new and comprehensive conceptual model framework of logistics integration*. Scientific Journal of Thomson Chain Management. 23(70): 14-36. (In Persian)
- Mao, C., et al. (2015). *Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 45: 540-555.
- Mansoori, E, Haji Aghaei, M, and Tavakoli moghadam, R, (2017). *The development of the forward and reverse*
- Anonymous. (2016). Statistical Centre of Iran. (In Persian)(<https://www.amar.org.ir/>)
- Akunna, J.C. (2019). *Anaerobic Waste-Wastewater Treatment And Biogas Plants : A Practical Handbook*. Crc Press, Taylor & Francis Group, 153 P.
- Farahani, Z. and Pishvae, M.S. (2008). *A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design*. Journal of Faculty of Engineering, University of Tehran, JFE. 42(7). (In Persian)
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, JM. and Wassenhove, L. (2001). *The impact of product recovery on logistics network design*. Production and Operations Management. 10(2): 156-173.
- Jabarzadeh, Y, Rihani Yamchi, Y. And Ghafari Nasab. (2020). *A multi-objective mathematical model for sustainable integrated supply chain management of apple trees considering foreign markets*. Journal of International Business Management. 3 (1): 139-166. (In Persian)
- Lee, D. H., & Dong, M. (2008). *A heuristic approach to*

- Qin, Zh. and Ji, X. (2009). *Logistics network design for product recovery in fuzzy environment*. European Journal of Operational Research. 202: 479-490.
- Sasse. (1995). *The facilities of biogas units*. translated by Qassem, N, Industrial University. (In Persian)
- Shariaat Hosseini S.A.A, Shakabi, P, and Bashir nezhad, K. (2021). *Evaluation of biogas production from municipal solid waste using continuous anaerobic fermentation reactors in Mashhad*. Scientific Journal of Energy Planning and Policy Research. 22(1): 87-130. (In Persian)
- Tarokh, M.J. and Naseri, A. (2011). *Minimize costs of multi-level supply chains by Genetic algorithm and hybrid approach*. Journal of Industrial Engineering, University of Tehran, 46(1): 15-26. (In Persian)
- Torabi, Sh. Tarakh, M. (2011). *Presenting a general model for optimizing the design of reverse logistics network with capacity under uncertainty*. The second international conference and the fourth national conference on logistics and supply chain. (In Persian)
- Zareei, S. (2018). *Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran*. Renewable energy. 118: 351-356.
- Zezooli. M. A, Karimi. Z, and Rafiei. R, (2019). *Choosing the best options for urban waste management using the life cycle assessment tool (case study: Shahr Noor)*. Journal of health and environment, scientific research quarterly of the Iranian Environmental Health Scientific Association. 12(4): 607-620. (In Persian)
- Zhou, Y. and Wang. Sh. (2008). *Generic Model of Reverse Logistics Network Design*. Journal of Transportaion Systems Engineering and Information Technology. 8(3): 71-78.
- logistics network in Yader-Shara's medical staff during a cross-sectional crisis*. Crisis Management Scientific Research Quarterly. (In Persian)
- Min, H., Ko, H.J. and Ko, C. (2006). *A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns*. Omega. 34: 5-69.
- Nasiri. J. (2008). *Fseaibility of Saveh biogas power plant*. The fourth national waste management conference. (In Persian)
- Noorollahi, Y. Kheirrouz, M. Asl Farabi, H. Yousefi, H and Hajinezhad, A. (2015). *Biogas production potential from livestock manure in Iran*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 50: 748-754.
- Ong, M. D., Williams, R., and Kaffka, S. (2014). *Comparative assessment of technology options for biogas clean-up*. California Biomass Collaborative.
- Parang. S, Halbiyan. A. H, and Khoshbakht. R. (2014). *Biogas recovery from Shiraz landfill, its conversion into electricity and its effect on reducing greenhouse gas emissions*. 4th National Bio Energy Conference. (In Persian)
- Pishvae, M.S., Farahani, R.Z. and Dullaert, W. (2010). *A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design*. Computers & Operations Research. 37: 1100-1112.
- Pishvae, M.S., Jolai, F. and Razmi, J. (2009). *A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design*. Journal of Manufacturing Systems. 28: 107-114.
- Pokharel, S. and Mutha, A. (2009). *Perspectives in reverse logistics: a review*. Resources, Conservation and Recycling. 53(4): 175-182.

