تحلیل زنجیره تأمین زیست‌توده زباله با بهره‌گیری از نقشه‌های شناختی فازی

مریم امانی [*]
احمدرضا قاسمی [**]
علی رجب‌زاده قطری [***]
عادل آذر [****]

چکیده

نظر به افزایش تقاضای انرژی‌های تجدیدپذیر، زیست‌توده را می‌توان به‌عنوان منبع کلیدی انرژی‌های تجدیدپذیر دانست. زیست‌توده زباله در سطح جهانی به دلیل سیاست‌های مدیریت زباله و حفظ محیط‌زیست بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. این منابع دارای پتانسیل زیادی برای تولید برق هستند هدف تبدیل آن‌ها به انرژی برق، مدیریت زباله‌ها و حفظ محیط‌زیست است، لذا زنجیره تأمین نقش مهمی را در فراهم‌آوری مؤثر و کارآمد منابع زیست‌توده زباله برای تولید انرژی ایفا می‌کند. در این پژوهش، در گام نخست با مصاحبه از خبرگان اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران شناسایی شد. با استفاده از روش نقشه‌شناختی فازی ابتدا روابط علی بین اجزای زنجیره بررسی و سپس به سناریوهای مختلف اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در جهت تولید انرژی پرداخته شد. نتایج روابط علی نقشه‌شناختی فازی نشان داد که تولید زیست‌توده زباله، پیش‌پردازش (تفکیک)، ذخیره‌سازی در محل دفن و حمل‌ونقل اولیه به ترتیب دارای درجه خروجی ۵،۵، ۳،۰۸، ۲،۹۷ و ۲،۸۶ هستند. در بررسی سناریوهای

---

* دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، پردیس فارابی قم، ایران
Amani.maryam@ut.ac.ir

** استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه تهران، پردیس فارابی قم، ایران (نویسنده مسئول) Ghasemiahmad@ut.ac.ir

*** دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Alirajabzadeh@modares.ac.ir

**** استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Aazar@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۵ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۱۱**

***فصلنامه راهبرد*، سال بیست و هفتم، شماره نودویک، تابستان ۱۳۹۸، صص ۲۲۴-۱۹۷**

مختلف، نتایج نشان داد با افزایش میزان تأثیر تولید زیست‌توده زباله میزان تأثیر سایر اجزای زنجیره در جهت تولید انرژی نیز افزایش می‌یابد. ولی با افزایش میزان تأثیر حمل‌ونقل اولیه، ذخیره‌سازی در محل دفن میزان تأثیر سایر اجزا به همان نسبت کاهش می‌یابد تا جایی که رابطه تأثیرگذاری آن‌ها منفی می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که تولید زیست‌توده زباله نسبت به سایر اجزای زنجیره تأمین تأثیرگذارتر و دارای اهمیت بیشتری برای تولید انرژی هست.

واژه‌های کلیدی: *انرژی‌های تجدیدپذیر، زیست‌توده زباله، زنجیره تأمین، تولید انرژی، نقشه‌شناختی فازی*

مقدمه

توسعه علم و فن‌آوری در جهان، آسایش و رفاه زندگی بشر را به دنبال دارد، اما باعث بروز مشکلاتی شامل آلودگی محیط‌زیست، تغییرات گسترده آب و هوایی در زمین و غیره برای انسان‌ها شده است. سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های زیست‌محیطی بی‌شماری را ایجاد می‌کنند. سوختن این نوع سوخت‌ها باعث واردشدن گازهای سمی به محیط می‌شود که تنفس انسان را دچار مشکل و محیط‌زیست را آلوده می‌کند. از این‌رو، جایگزینی انرژی‌های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی، زیست‌توده[1] و غیره به‌جای انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی، از آلودگی‌های زیست‌محیطی و مخاطرات ناشی از آن می‌کاهد(Raychaudhuri & Kumar chosh, 2016: 915). همچنین پایان‌پذیر بودن سوخت‌های فسیلی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی باعث شده است تا به گسترش استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر و افزایش سهم آن‌ها در سبد انرژی جهان توجه بیشتری شود (Paluo et al, 2015:245).

در سال ۲۰۰۵، ۱۳,۳ درصد انرژی اولیه جهان از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شده است که سهم هر یک از منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی زیست‌توده ۷۹/۷ درصد انرژی برق‌آبی حدود ۱۶/۵ درصد، انرژی زمین‌گرمایی ۳/۱ درصد، انرژی خورشیدی ۰,۰۹ درصد، انرژی بادی ۰,۴۸ درصد و انرژی جزر و مد ناچیز بوده است (Ren, 2005: 8).

از این‌رو، زیست‌توده نقشی بی‌بدیل در تولید انرژی دارد. زیست‌توده یکی از

---

1. Biomass

منابع انرژی تجدیدپذیر از بین منابع زیست‌توده است. زیست‌توده زباله به‌طور فعال در سطح جهانی به دلیل سیاست‌های مدیریت زباله و حفظ محیط‌زیست بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. هزینه زیاد عملیات تدارکات زیست‌توده زباله برای تولید انرژی و تقاضای رو به رشد زیست‌توده زباله و افزایش پیچیدگی زنجیره تأمین زیست‌توده زباله، نیاز به رویکردهای مدیریت زنجیره تأمین زیست‌توده زباله را نشان می‌دهد(Lakovou et al, 1860 2010)؛ بنابراین زنجیره تأمین، نقش مهمی را در فراهم‌آوری مؤثر و کارآمد منابع زیست‌توده برای تولید انرژی ایفا می‌کند (Mafakheri & Nasiri, 2014: 117).

بر مبنای نتایج علمی و عملی یکی از پروژه‌های اجراشده در سازمان انرژی‌های نو ایران مبنی‌بر پتانسیل‌سنجی زباله‌های شهری در شهرهای با جمعیت بیش از ۲۵۰ هزار نفر در کشور، بر مبنای سرانه سال ۱۳۸۵، پتانسیل تولید برق از زباله‌های ۳۰ شهر در ایران، برابر با ۶۸۷ مگاوات مبتنی‌بر فناوری زباله‌سوزی، هضم بی‌هوازی و روش گازی‌سازی قابل استحصال است (گزارش پتانسیل‌سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر، سایت ساتبا، ۱۳۹۷). طبق آمار آژانس بین‌المللی انرژی[1] (IEA) که در سال ۲۰۱۶ منتشر شده است، سهم انرژی تولیدشده از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ایران نسبت به سایر کشورهای جهان ۱,۷ درصد است که از این ۱/۷ درصد انرژی تجدیدپذیر تولیدشده حدوداً ۵ درصد آن به‌صورت انرژی الکتریکی تولید شده است (سایت آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۷). طی گزارش بیان‌شده دفتر زیست‌توده سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق تاکنون برق تولیدی از زباله خیلی کم است، لذا کشور ایران تاکنون نتوانسته است از ظرفیت موجود زیست‌توده زباله در جهت تولید انرژی برق استفاده کند.

با توجه به اهمیت مدیریت زنجیره تأمین زیست‌توده زباله جهت افزایش کارآمدی تولید انرژی از زیست‌توده زباله این تحقیق سعی بر آن دارد تا ابتدا اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله را در جهت تولید انرژی پاک شناسایی کند

---

2. International Energy Agency

و اهمیت و تأثیرات علی بین اجزای زنجیره تأمین زیست‌تـوده زبالـه را بـه دسـت آورد. سپس به بررسی سناریوهای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در راستای تولیـد انرژی پاک بپردازد. پژوهش حاضر درصدد پاسخگویی به پرسش‌های زیر است:

۱) اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زبالـه در راسـتای تولیـد انـرژی پـاک در ایران چه هستند؟

۲) اهمیت نسبی اجزای زنجیره تـأمین زیسـت‌تـوده زبالـه در راسـتای تولیـد انرژی پاک در ایران چگونه است؟

۳) تأثیرات علی بین اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در راسـتای تولیـد انرژی پاک در ایران چگونه است؟

۴) سناریوهای اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در راستای تولید انـرژی پاک در ایران چگونه است؟

۱. پیشینه پژوهش

عبدول قانی[1] و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطـی بـرای شبکه زنجیره تأمین بقایای زیست‌توده محصولات کشاورزی مدلی ارائه دادنـد کـه با در نظر گرفتن هزینه زیاد حمل‌ونقل، سود کشـاورزان حـداکثر شـود. از آنجاکـه بقایای محصولات کشاورزی دارای هزینه حمل‌ونقل بـالایی هسـتند و کشـاورزان این بقایا را بعد از برداشت محصول خود در زمین کشاورزی خود می‌سـوزانند تـا هزینه حمل‌ونقل زیادی برای جابه‌جایی ایـن بقایـا پرداخـت نکننـد. یـک مطالعـه موردی برای اعتبارسنجی مدل مورد تجزیه‌وتحلیل قـرار گرفـت. نتـایج نشـان داد حمل‌ونقل بقایای ذرت باعث کاهش انتشار گازهای گلخانـه‌ای مـی‌شـود (Abdul Ghani et al, 2018: 39).

دلاپورته[2] و همکاران تحقیقی با عنوان «تأثیر ساختار زنجیره تأمین زیست‌توده و قیمت زیست‌توده بر روی تأمین مواد اولیه انرژی زیستی» در سـال ۲۰۱۸ انجـام دادند. در این تحقیق سیاست‌های تولید انرژی زیستی با استفاده از مـدل یکپارچـه

1. Abdul Ghani
2. De Laporte

اقتصادی، بیوفیزیکی و مکان‌یابی با توجه به قیمت مختلف زیست‌توده و ساختار زنجیره تأمین زیست‌توده ارزیابی شد. در مدل مکان‌یابی سه سناریو ۱) حمل مستقیم زیست‌توده از مزرعه به ایستگاه تولید نانوتیک؛ ۲) تجمع و ذخیره‌سازی زیست‌توده‌ها در مزرعه و سپس حمل به ایستگاه بندر روتردام؛ ۳) حمل زیست‌توده‌های جمع‌شده به بندر انتاریو با توجه به قیمت زیست‌توده در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که عرضه زیست‌توده تحت تأثیر ساختار زنجیره تأمین و قیمت زیست‌توده است و زمانی که ذخیره‌سازی زیست‌توده در زمین انجام می‌گردد، هزینه حمل‌ونقل کمتر می‌شود(De Laporte et al, 1053: 2018).

هسیون لیم و هونگ لام[1](۲۰۱۶) اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و امنیتی سوخت‌های فسیلی را عامل توجه به منابع انرژی پایدار همچون زیست‌توده می‌دانند. با این‌حال، زیست‌توده دارای هزینه حمل‌ونقل بالایی است و این محدودیت شرایط فناوری‌های زیست‌توده را متفاوت می‌کند. در این پژوهش، نویسندگان روش جدیدی به نام تحلیل چرخه عمر اجزای زیست‌توده[2] برای بررسی ویژگی‌های اجزای زیست‌توده در مراحل تولید و کاربرد آن استفاده کردند. نتایج این پژوهش پس از استفاده از روش چرخه عمر اجزای زیست‌توده، بهبود چشمگیر زنجیره تأمین زیست‌توده موجود را نشان داد (Hsion lim & Hong lam, 2016: 733).

مورات یازان[3]و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان «طراحی زنجیره تأمین پایدار زیست‌توده نسل دوم» به مقایسه طراحی‌های مختلف عملکرد زنجیره تأمین زیست‌توده نسل دوم با تمرکز بر واحدهای صنعتی آذرکافت (پیرولیز) و مجموعه‌های متمرکز در مقابل غیرمتمرکز زیست‌توده از لحاظ پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی پرداخته‌اند. در این پژوهش، سناریوهای آذرکافت در مقایسه با سناریوهای ارتقای سوخت و تولید الکتریسیته بررسی شده‌اند. بدین منظور چهار

1. Hsion lim & Hong lam
2. Biomass Element Life Cycle Analysis
3. Murat yazan

سناریو شناسایی و مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد که پردازش زیست‌توده نسل دوم هزینه‌بر بوده و روغن پالایش‌شده ۶۵ درصد گران‌تر از نمونه‌های فسیلی است. از لحاظ معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی، واحد سیار عملکرد بهتری از واحدهای ثابت نشان دادند. نسبت خروجی به ورودی انرژی بین ۶,۹۹ و ۷,۵۴ قرار داشته و انتشار کربن دی‌اکسید بین ۹۶ و ۱۳۸ کیلوگرم به ازای هر تن روغن پالایش‌شده است (Murat yazan et al, 2016: 173).

پاولو[1] و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود با عنوان «مدل‌سازی کاربردی عملکرد زنجیره تأمین زیست‌توده سبز»، سه نوع سیستم زنجیره تأمین را از نظر برداشت زیست‌توده در مکان اولیه، جمع‌آوری کل زیست‌توده در مکان اولیه، بارگیری زیست‌توده از مکان اولیه و حمل‌ونقل، تخلیه زیست‌توده در شرایط متفاوت با توجه به هزینه کل مورد بررسی قرار دادند. مدل کاربردی فعالیت‌ها، اقدامات، فرایندها و عملیات تولید و اجرا توسط نرم‌افزار ExtendSim شبیه‌سازی شده است. مدل ارائه‌شده در این تحقیق می‌تواند به‌عنوان یک سیستم پشتیبانی جهت شناسایی موانع با بررسی و آزمایش گزینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد و این باعث می‌شود سیستم بر مبنای هزینه کل عملیات یا زمان کل عملیات بهینه‌سازی شود (Pavlou et al, 2016: 29).

شقایق آقایی (۱۳۹۵) در پایان‌نامه خود به طراحی زنجیره تأمین زیست‌توده زیستی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل پرداخت و زنجیره تأمین سوخت زیستی از برداشت زیست‌توده تا تحویل به مشتری را مورد بررسی قرار داد. مدل ارائه‌شده در دو حالت قطعیت و تحت عدم قطعیت مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج جواب‌های بهینه برای هر دو مدل نشان داد، پالایشگاه بهتر است در مکانی احداث شود که فاصله کمتری با مکان‌های برداشت داشته باشد. همچنین زیست‌توده‌ای بیشتر مورد مصرف قرار می‌گیرد که هزینه اولیه کمتری به زنجیره اعمال کند (آقایی، ۱۳۹۵).

پریسا مصطفی‌زاده (۱۳۹۴) پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «توسعه مدل

---

1. Pavlou

ریاضی برای شبکه زنجیره تأمین هیدروژن با استفاده از زیست‌توده‌ها با توجه به مسائل زیست‌محیطی» را در دانشگاه تهران انجام داده است. در این تحقیق به مسئله بهینه‌سازی تصمیمات در سطح زنجیره تأمین هیدروژن پرداخته شده است. زنجیره تأمین مذکور چهارسطحی شامل سطوح تأمین مواد اولیه (زباله‌های شهری و بقایای کشاورزی)، تولید هیدروژن، انبارش و تقاضا است. بهینه‌سازی در این تحقیق به‌منظور کمینه‌سازی میزان آلایندگی زنجیره تأمین و هزینه کل زنجیره است. نتایج نشان داد قراردادن هدف کمینه‌سازی میزان آلایندگی در اولویت اول، منجر به طراحی و مدیریت زنجیره تأمین مذکور به‌گونه‌ای می‌شود که سیاستگذار با صرف هزینه بیشتر، درصدد کاهش آلایندگی‌های فرایند تأمین تا مصرف هیدروژن برمی‌آید (مصطفی‌زاده، ۱۳۹۴: ۱).

هندالیان‌پور (۱۳۹۳) در پایان‌نامه خود به توسعه مدل ریاضی برای شبکه زنجیره تأمین سبز تحت شرایط عدم قطعیت جهت استفاده از زیست‌توده‌ها پرداخت. مدل اول برای انتخاب بهترین مکان جهت احداث پالایشگاه ارائه شد و نتایج نشان داد که این مدل در مقایسه با مدل‌های پیشین دارای خطای کمتری است (هندالیان‌پور، ۱۳۹۳: ۱).

جدول ۱. خلاصه تحقیقات انجام‌شده در حوزه زنجیره تأمین زیست‌توده

ردیف	نویسندگان	سال انتشار	عنوان پژوهش	مؤلفه‌های بکار گرفته‌شده در پژوهش
۱	Abdol Ghani et al	۲۰۱۸	طراحی شبکه زنجیره تأمین زیست‌توده با بقایای زیست‌توده	برداشت، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی، نیروگاه
۲	De Laporte et al	۲۰۱۶	تأثیر ساختار زنجیره تأمین زیست‌توده و قیمت زیست‌توده بر روی تأمین مواد اولیه انرژی زیستی	حمل‌ونقل، برداشت، نیروگاه، پیش‌پردازش، ذخیره‌سازی
۳	Hsion Lim & Loong Lam	۲۰۱۶	بهینه‌سازی زنجیره تأمین زیست‌توده از طریق تجزیه‌وتحلیل اجزای چرخه عمر زیست‌توده	برداشت، حمل‌ونقل، نیروگاه
۴	Murat Yazan et al	۲۰۱۶	طراحی زنجیره تأمین پایدار زیست‌توده نسل دوم	برداشت زیست‌توده، پیش‌پردازش، پردازش، حمل‌ونقل
۵	De Meyer et al	۲۰۱۶	توجه به بازسازی و رشد زیست‌توده با استفاده از بهینه‌سازی زنجیره تأمین زیست‌توده	برداشت، ذخیره‌سازی، پیش‌پردازش، حمل‌ونقل، تبدیل انرژی
۶	Pavlo et al	۲۰۱۶	مدل‌سازی کاربردی عملکرد زنجیره تأمین زیست‌توده سبز	برداشت، حمل‌ونقل، پیش‌پردازش، ذخیره‌سازی، نیروگاه
۷	Paulo et al	۲۰۱۵	بهینه‌سازی زنجیره تأمین باقی‌مانده زیست‌توده	برداشت، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی،

			جنگلی برای تولید انرژی زیستی	نیروگاه
۸	Grigoroudis et al	۲۰۱۴	الگوریتم بازگشتی DEA برای طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین زیست‌توده	برداشت زیست‌توده، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، پیش‌پردازش، نیروگاه.
۹	Zhang et al	۲۰۱۲	توسعه یک مدل شبیه‌سازی زنجیره تأمین برای تولید انرژی سوختی	برداشت زیست‌توده، حمل‌ونقل زیست‌توده، ذخیره زیست‌توده
۱۰	Kim et al	۲۰۱۱	طراحی بهینه و تجزیه‌وتحلیل حساسیت از شبکه زنجیره تأمین زیست‌توده برای سوخت‌های زیستی تحت عدم اطمینان	برداشت زیست‌توده، حمل‌ونقل، نیروگاه
۱۱	Lakovou et al	۲۰۱۰	مدیریت زنجیره تأمین زیست‌توده زباله	جمع‌آوری زیست‌توده زباله، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی، پیش‌پردازش، تبدیل انرژی

منبع: یافته‌های پژوهش

در تحقیقات انجام‌شده در زمینه زنجیره تأمین زیست‌توده بیشتر به تعریف فعالیت‌ها و اجزای این زنجیره، مدل‌سازی ریاضی عملکرد زنجیره تأمین زیست‌توده در برخی از منابع زیست‌توده جهت کاهش هزینه‌ها، شبیه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین زیست‌توده برای تولید انرژی که برای انتخاب مکان مناسب تسهیلات و کاهش هزینه بوده، پرداخته شده است. هدف اکثریت تحقیقات انجام‌شده در زمینه زنجیره تأمین زیست‌توده بهینه‌سازی این زنجیره جهت کاهش هزینه حمل‌ونقل از محل برداشت زیست‌توده تا تبدیل آن به انرژی است و تاکنون تحقیقی انجام نشده است که به روابط علی بین اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده پرداخته باشد و سناریوهای مختلف اجزای این زنجیره را با نقشه‌شناختی فازی بررسی کرده باشد. با توجه به اهمیت زنجیره تأمین زیست‌توده زباله این خلأ پژوهشی در ایران به چشم می‌خورد، لذا در این پژوهش سعی بر آن است تا زنجیره تأمین زیست‌توده زباله بومی برای کشور ایران ارائه شود. سپس با نقشه‌شناختی فازی می‌توان روابط علی بین اجزای زنجیره و سناریوهای مختلف بر عملکرد زنجیره تأمین را بررسی کرد.

۲. مبانی نظری پژوهش

انرژی‌های تجدیدپذیر: انرژی تجدیدپذیر، انرژی است که منبع تولید آن، برخلاف انرژی‌های تجدیدناپذیر (فسیلی) قابلیت آن را دارد که توسط طبیعت در یک بازه زمانی کوتاه دوباره به وجود آید و پس از مصرف به‌راحتی جایگزین شوند؛ مانند

انرژی خورشیدی، انرژی باد، زمین‌گرمایی، زیست‌توده، جزر و مد (احمدپور، ۱۳۹۳: ۴).

زیست‌توده[1]: زیست‌توده یکی از منابع مهم انرژی‌های تجدیدپذیر است و به هر موجود زنده که قابلیت رشد و نمو داشته و بر مبنای قانون طبیعی تقسیم شود، اطلاق می‌گردد که شامل جنگل‌ها، اجزای گیاهان، برگ‌ها، موجودات زنده اقیانوس‌ها، زائدات حیوانی پسماندهای شهری و غذایی می‌شوند. این مواد قابلیت ذخیره انرژی در خود را دارا است. درواقع، در خلال پدیده فتوسنتز دی‌اکسیدکربن از طریق آب‌وخاک و هوا توسط انرژی خورشیدی در گیاهان ذخیره می‌شود و باعث رشد و نمو آن‌ها می‌گردد، این انرژی خورشیدی در مواقع مصرف قابلیت تبدیل به انرژی را دارا است. زیست‌توده قابلیت تولید برق، حرارت، سوخت‌های مایع، سوخت‌های گازی و انواع کاربردهای مفید شیمیایی را دارا است (Critchlow & Leroi, 2012).

زیست‌توده زباله: به باقی‌مانده‌ها و پس‌مانده‌های ناشی از فعالیت‌های موجود زنده به‌خصوص انسان که به‌صورت جامد، مایع و گاز خواسته یا ناخواسته توسط آن تولید و دور ریخته می‌شود و از نظر آن زائد تلقی می‌شود؛ مانند زباله‌های شهری، زباله‌های صنعتی و غیره. (Lakovou et al, 1862: 2010).

زنجیره تأمین[2]: زنجیره تأمین شبکه‌ای از سازمان‌های درگیر که طی فرایندها و فعالیت‌های مختلف ارزشی را در قالب یک کالا یا خدمات به مشتری ارائه می‌دهند، است. در تعریفی دیگر، زنجیره تأمین به‌عنوان مجموعه‌ای فرایند یکپارچه در قالب اجزا مختلف کسب‌وکار شامل (تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، خرده‌فروش) است که با یکدیگر در جهت دریافت مواد خام، تبدیل مواد خام به محصولات نهایی و تحویل محصولات نهایی به خرده‌فروش کار می‌کنند.

به‌طورکلی زنجیره تأمین شامل دو یا تعداد بیشتری سازمان‌های مجزا است که از طریق جریان مواد، اطلاعات و جریان مالی به یکدیگر متصل هستند.

---

1. Biomass
2. Supply chain

سازمان‌های درگیر در یک زنجیره تأمین ممکن است مواد اولیه را تهیه کرده یا محصولات میانی یا محصولات نهایی را تولید کنند (Shapiro, 2007).

زنجیره تأمین زیست‌توده: مدیریت زنجیره تأمین نقش مهمی در مدیریت تولید انرژی زیستی ایفا می‌کند. مدیریت زنجیره تأمین زیست‌توده به‌عنوان مدیریت یکپارچه تولید انرژی زیستی از کشت زیست‌توده تا تولید انرژی زیستی را شامل می‌شود که دارای چهار جز اصلی کشت و برداشت، انتقال، ذخیره‌سازی و پیش‌پردازش است (Grigoroudis et al, 2014: 115).

نگاشت‌شناختی فازی: نقشه‌شناختی یا همان مدل‌های گرافیکی علت و معلول توسط رابرت اسکلورد[1] (۱۹۷۶) در حوزه علوم سیاسی معرفی شد. کوسکو[2] (۱۹۸۶) برای نخستین‌بار ابزارهای فازی را برای ترسیم این مدل‌ها مورد استفاده قرار داد و مدل‌های نقشه‌شناختی فازی را برای نخستین‌بار مطرح کرد. نقشه‌های شناختی فازی، روش‌های ترکیبی هستند که از لحاظ بعضی مفاهیم بین سیستم‌های فازی و شبکه‌های عصبی قرار دارند. آن‌ها دانش را از حالت نمادین و وضعیت‌های مرتبط به آن مانند فرایندها، خط‌مشی‌ها و رخدادها در حالت قابل قیاس بیان می‌کنند. مشخصه اصلی این مدل‌گرافی هدایت شده است که با استفاده از آن فرایند نتیجه‌گیری و بررسی روابط علت و معلولی میان برخی عوامل نمایش داده می‌شود. ایجاد یک مدل شناختی نیازمند ورودی‌هایی است که از تجارب و دانش افراد خبره در موضوع مورد نظر به دست می‌آید (قاسمی و قبادیان، ۱۳۹۴: ۱۰۴).

۳. روش‌شناسی پژوهش

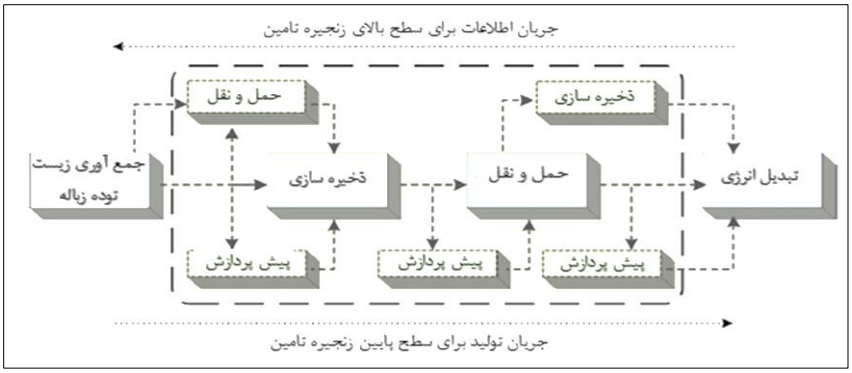
بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که منابع انرژی تجدیدپذیر نقش مهمی در استراتژی‌های فعلی جهان برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و جایگزینی بخشی از سوخت‌های فسیلی ایفا می‌کنند. جمع‌آوری زیست‌توده زباله از محل برداشت تا تولید آن به انرژی، دارای پیچیدگی زیاد و هزینه تدارکات بالا است. کارایی زنجیره تأمین زیست‌توده در زمینه اقتصادی برای تولید انرژی مهم هست.

---

1. Robert exlord
2. Kosko

در تحقیقات پیشین، حوزه زنجیره تأمین زیست‌توده و زیست‌توده زباله، فعالیت‌های جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و تبدیل انرژی به‌عنوان اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله بیان شده است.

شکل ۱. زنجیره تأمین زیست‌توده زباله



Lakovou et al, 1862: 2010

زنجیره تأمین زیست‌توده، یک زنجیره تأمین کلی برای تمامی مناطق جهان نیست. زنجیره تأمین زیست‌توده به‌صورت بومی است.

تحقیق حاضر از نوع هدف توسعه‌ای- کاربردی و از نظر روش توصیفی- تحلیلی است. روش تحقیق توصیفی- تحلیلی به وضعیت کنونی پدیده می‌پردازد یا موضوعی را مورد مطالعه قرار می‌دهد. پژوهشگر علاوه‌بر تصویرسازی آنچه هست به تشریح و تبیین دلایل چگونه بودن و چرایی وضعیت مسئله و ابعاد آن می‌پردازد. برای تبیین و توجیه دلایل، نیاز به تکیه‌گاه استدلالی محکمی دارد. این تکیه‌گاه از طریق جستجو در ادبیات و مبانی نظری تحقیق فراهم می‌شود، سپس به بررسی روابط ابعاد مسئله تحقیق و نتیجه‌گیری می‌پردازد (کرمخانی و علی‌مدد، ۱۳۹۶). در این پژوهش با مرور پیشینه و مبانی نظری ابعاد مسئله تحقیق که اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله است، شناسایی شد و با مصاحبه از خبرگان حوزه زیست‌توده که تعداد ۴ نفر بودند؛ اجزای نهایی زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران شناسایی و مورد تأیید قرار گرفت. سپس برای بررسی روابط بین اجزای

زنجیره تأمین، پرسشنامه نقشه‌شناختی فازی طراحی و بین ۷ نفر از خبرگان توزیع و جمع‌آوری شد. در پایان، داده‌های جمع‌آوری‌شده برای محاسبه تأثیرات علی و بررسی سناریوهای مختلف با نرم‌افزار Mental Modeler مورد تحلیل قرار گرفت. این نرم‌افزار یک نرم‌افزار مدل‌سازی است که به افراد و جوامع کمک می‌کند تا دانش خود را در یک فرمت استاندارد برای تجزیه‌وتحلیل سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار دهند. مدل‌سازی در این نرم‌افزار دارای سه‌گام است. گام نخست، تعریف اجزای مهم سیستم مورد مطالعه؛ گام دوم، تعریف روابط بین این اجزا و گام سوم اجرای سناریوهای "What if" برای تعیین چگونگی عکس‌العمل سیستم تحت دامنه‌ای از تغییرات ممکن است (Mental Modeler, 2018).

شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

جدول ۲. مشخصات خبرگان

ردیف	سمت	سن	جنسیت	تجربه (سال)	رشته تحصیلی (مقطع)
۱	مدیر دفتر توسعه فناوری ساتبا	۴۵	مرد	۱۸ سال	شیمی (دکترا)
۲	مدیر گروه تحقیقات ساتبا	۴۸	مرد	۱۵ سال	شیمی (کارشناسی ارشد)
۳	مدیر بخش ساوه	۳۸	مرد	۸ سال	شیمی (کارشناسی ارشد)
۴	مدیر دفتر زیست‌توده ساتبا	۵۰	مرد	۲۰ سال	محیط‌زیست (کارشناسی ارشد)

منبع: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری برق ایران

مدل نقشه‌شناختی فازی یک نمودار علت و معلول است که نمایشگر روابط بین اجزای اساسی در نظام‌های پیچیده است. یک مدل FCM از یک‌سری گره‌ها یا مفاهیم تشکیل شده است که به‌وسیله کمان‌های وزن‌دار با یکدیگر ارتباط داخلی دارند. هر ارتباط داخلی میان دو گره دارای وزنی است که معادل نیرو رابطه علت و معلولی میان آن دو گره است. یک نقشه‌شناختی با فنون مختلف شامل استفاده از پرسشنامه‌ها برای استخراج نظرات خبرگان و ترسیم متغیرها و روابط، بررسی از تحلیل محتوا برای کشف روابط در متون نوشتاری، استفاده از داده‌های کمی و فرایند مصاحبه عمیق با افراد مختلف و خبرگان می‌تواند به تصویر کشیده شود.

گام‌های FCM به شرح زیر است:

گام اول: تهیه ماتریس اولیه عوامل؛

گام دوم: تنظیم ماتریس فازی شده عوامل؛

گام سوم: ایجاد ماتریس قدرت ارتباط؛

گام چهارم: تهیه ماتریس نهایی عوامل (قاسمی و قبادیان، ۱۳۹۴: ۱۰۵).

۴. نتایج مرور ادبیات تحقیق و شناسایی اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله

در این مرحله با مطالعه مقالات و پایان‌نامه‌های حوزه زنجیره تأمین زیست‌توده و زیست‌توده زباله اجزای زنجیره تأمین شامل: جمع‌آوری زیست‌توده، حمل‌ونقل زیست‌توده، ذخیره‌سازی زیست‌توده، پیش‌پردازش و تبدیل انرژی شناسایی شد. در بخش پیشینه پژوهش جدول ۱ آورده شده است.

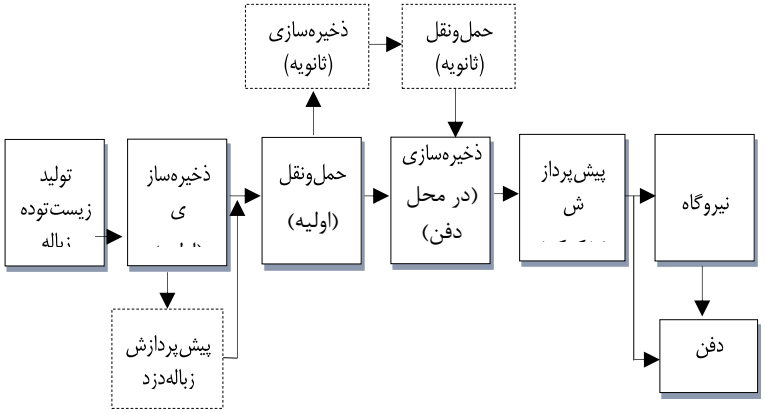
۴-۱. نتایج مصاحبه با خبرگان در جهت شناسایی اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران

جهت تعیین شاخص‌ها و معیارها می‌توان از انواع مختلفی از داده‌های کیفی نظیر گفتگو، مشاهده، مصاحبه، گزارش عمومی، یادداشت‌های روزانه پاسخ‌دهندگان و تعاملات و تفکرات خود پژوهشگر استفاده کرد. روش جمع‌آوری اطلاعات در این مرحله تحقیق، روش مصاحبه است. مصاحبه فرایندی برای کسب اطلاعات است و مصاحبه‌شونده به‌صورت شفاهی به پرسش‌های مصاحبه‌کننده پاسخ

می‌دهد و این نوعی تبادل اجتماعی دوسویه است. در ابتدا مصاحبه از خبره‌ها، پژوهشگر هدف از انجام تحقیق را بیان و با ایجاد روابط صمیمی و جلب اعتماد خبره‌ها زمینه را برای انجام مصاحبه بهتر فراهم کرد. ابتدا مصاحبه به‌صورت انفرادی از خبره‌ها انجام شد. پرسش‌های اصلی مصاحبه شامل: ۱) لطفاً موقعیت کاری و فعالیت خود را در سازمان به‌اختصار بیان کنید. ۲) برای تولید انرژی برق از زیست‌توده زباله به نظر شما چه فعالیت‌هایی انجام می‌شود. ۳) نحوه انجام هر یک از فعالیت‌های مورد نیاز برای جمع‌آوری زیست‌توده زباله تا نیروگاه چگونه است. پژوهشگر در طول مصاحبه، کنترل را در دست داشته و پس از پایان توضیحات مشارکت‌کننده یک‌بار مطالب بیان‌شده توسط او و برداشت خود را از آن بیان می‌کرد تا پس از تأیید مصاحبه‌شونده از صحت مطالب بیان‌شده اطمینان پیدا کند. پس از پایان مصاحبه انفرادی، پژوهشگر تمامی نظرات خبرگان را باهم تجمیع کرد، سپس یک جلسه گروهی با چهار خبره تشکیل داد. تمامی اجزای زنجیره تأمینی که خبرگان بیان کردند و اجزایی که با پیشینه پژوهش به‌دست‌آمده بود را برای خبرگان بیان کرد. از خبرگان خواسته شد با همفکری و بیان نظراتشان فعالیت‌ها و اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله از تولید آن تا رسیدن به نیروگاه جهت تولید انرژی برق را با توجه به مصاحبه‌های قبلی و پیشینه پژوهش برای کشور شناسایی کنند. این جلسه زمانی به پایان رسید که تمامی خبرگان به یک اشباع نظری دست یافتند. بعدازاین مرحله یک جلسه گروهی دیگری تشکیل شد. هدف در آن جلسه مشخص‌کردن ترتیب فعالیت‌ها و اجزای زنجیره تأمین تا تولید انرژی بود. در این جلسه نیز اتمام جلسه با توجه به اشباع نظر خبرگان بود. خبرگان تولید زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی اولیه زیست‌توده زباله، پیش‌پردازش اولیه زیست‌توده زباله توسط زباله‌دزدها، حمل‌ونقل زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی ثانویه، حمل‌ونقل ثانویه، ذخیره‌سازی در محل دفن، پیش‌پردازش یعنی تفکیک زباله‌ها، نیروگاه و محل دفن را به‌عنوان اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران بیان کردند و زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران به‌صورت شکل زیر ترسیم شد. این مدل نسبت به مدل‌های گذشته زنجیره تأمین زیست‌توده زباله

توسعه یافته است و شکل بومی زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران هست.

شکل ۳. مدل زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران



همان‌طور که در شکل مدل زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران مشخص شده است، پیش‌پردازش اولیه توسط زباله‌دزدها، ذخیره‌سازی ثانویه و حمل‌ونقل ثانویه به‌صورت خط‌چین نمایش داده شده است؛ زیرا این اجزا ممکن است بعضی مواقع در زنجیره حضور داشته باشند و بعضی مواقع نیازی به ذخیره‌سازی ثانویه یا حمل‌ونقل ثانویه در زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران نباشد.

۴-۲. تهیه پرسشنامه نگاشت‌شناختی

در این مرحله، پرسشنامه نگاشت‌شناختی طراحی و به ۷ نفر خبره در این حوزه توزیع شد. این پرسشنامه دارای یک ماتریس ۱۰*۱۰ است و از خبرگان خواسته شده است دوبه‌دو اجزا را از نظر تأثیرگذاری مطابق مفاهیم ارزش‌گذاری زیر بررسی کنند.

عدم تأثیر ...۰

تأثیر کم...۰,۲

تأثیر متوسط...۰,۴

تأثیر زیاد...۰,۸

تأثیر خیلی زیاد...۱

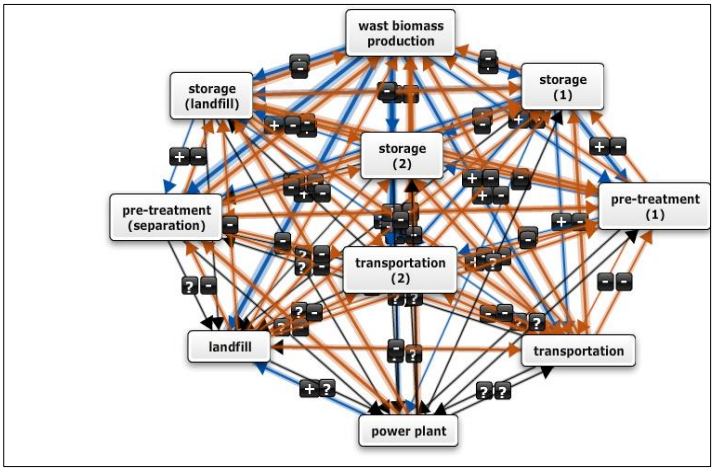
رابطه معکوس... (مقادیر منفی)

از آنجاکه پرسشنامه نگاشت‌شناختی به‌صورت دوبه‌دو و مقایسات زوجی است، نیاز به بررسی پایایی ندارد و روایی محتوایی آن از نظر خبرگان تأیید شد.

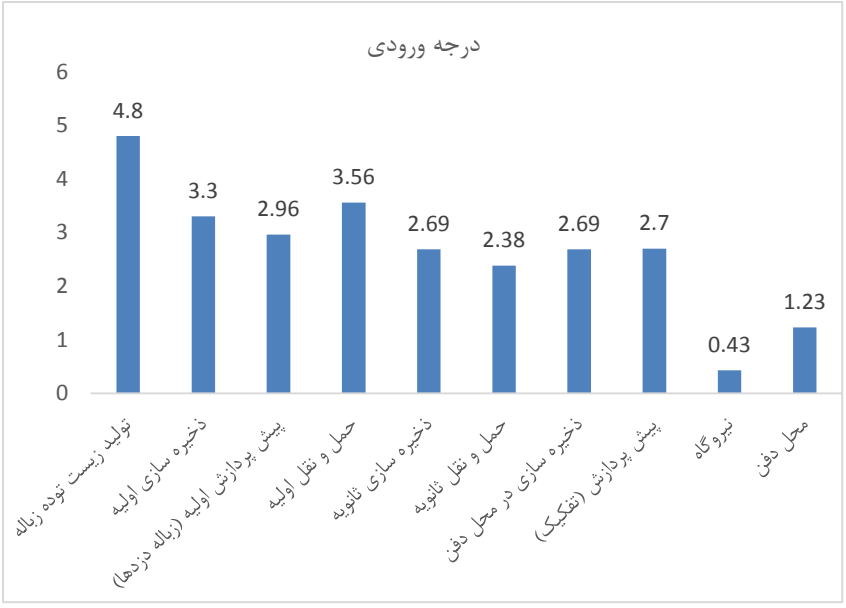
۴-۳. نتایج تعیین روابط علی اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران با استفاده از نقشه‌شناختی فازی

در این مرحله داده‌های پرسشنامه نگاشت‌شناختی جمع‌آوری و سپس داده‌ها وارد نرم‌افزار Mental Modeler شد. ابتدا در نرم‌افزار اجزای زنجیره تأمین تعریف و در بخش ماتریس اجزای زنجیره، میانگین داده‌های پرسشنامه خبرگان در پرسشنامه نگاشت وارد شد. سپس نرم‌افزار روابط علی بین اجزای زنجیره تأمین و میزان درجه ورودی و خروجی را مشخص کرد. میزان درجه ورودی یعنی میزان تأثیرپذیری (فلش‌هایی که به آن وارد می‌شود) هر یک از اجزا، نسبت به سایر اجزا است. میزان درجه خروجی یعنی میزان تأثیرگذاری (فلش‌هایی که از آن خارج می‌شود) اجزای زنجیره تأمین نسبت به سایر اجزای زنجیره و درجه مرکزیت شدت تأثیرگذاری و تأثیرپذیری اجزا را مشخص می‌کند. شکل ۴ روابط علی بین اجزای زنجیره و شکل ۵، ۶ و ۷ درجه ورودی، درجه خروجی و مرکزیت هر یک از اجزا را نشان می‌دهد.

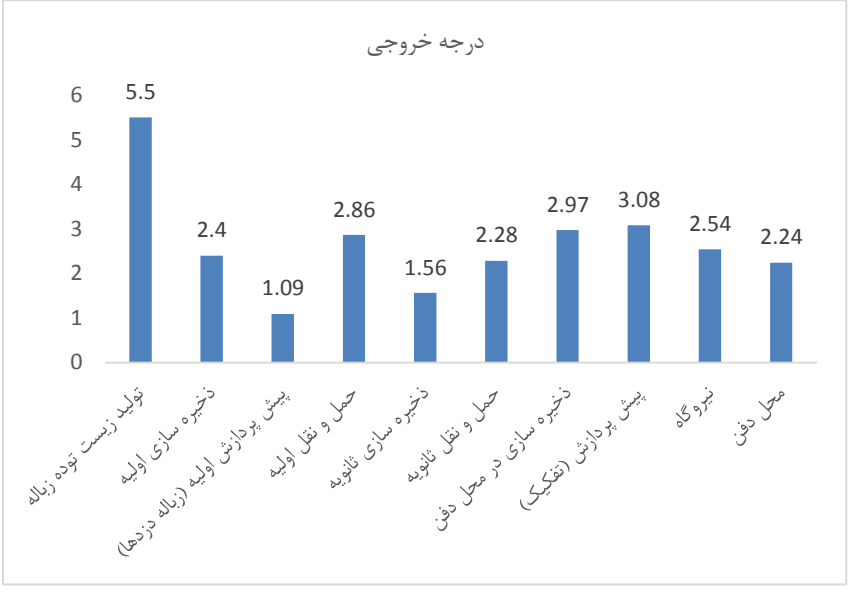
شکل ٤. نمودار روابط علی بین اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران



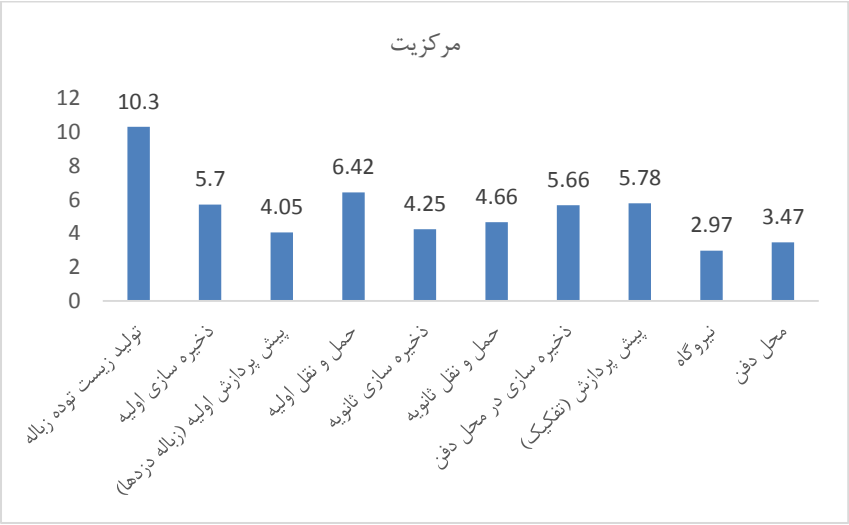
شکل ۵. نمودار میزان درجه ورودی اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران



شکل ٦. نمودار میزان درجه خروجی اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران



شکل ۷. نمودار میزان مرکزیت اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران



همان‌طور که از نمودار درجه خروجی مشخص است، اجزای تولید زیست‌توده زباله، پیش‌پردازش (تفکیک)، ذخیره‌سازی در محل دفن، حمل‌ونقل اولیه و ذخیره‌سازی اولیه دارای درجه خروجی بیشتری نسبت به بقیه اجزا هستند. در جدول زیر میزان درجه ورودی، درجه خروجی و مرکزیت اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله آورده شده است.

جدول ۳. درجه ورودی، درجه خروجی و مرکزیت اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران

ردیف	اجزای زنجیره تأمین	درجه ورودی	درجه خروجی	مرکزیت
۱	تولید زیست‌توده زباله	۴,۸	۵,۵	۱۰,۳
۲	ذخیره‌سازی اولیه	۳,۳	۲,۴	۵,۷
۳	پیش‌پردازش (زباله‌دزدها)	۲,۹۶	۱,۰۹	۴,۰۵
۴	حمل‌ونقل اولیه	۳,۵۶	۲,۸۶	۶,۴۲
۵	ذخیره‌سازی ثانویه	۲,۶۹	۱,۵۶	۴,۲۵
۶	حمل‌ونقل ثانویه	۲,۳۸	۲,۲۸	۴,۶۶
۷	ذخیره‌سازی در محل دفن	۲,۶۹	۲,۹۷	۵,۶۶
۸	پیش‌پردازش (تفکیک زباله‌ها)	۲,۷	۳,۰۸	۵,۷۸
۹	نیروگاه	۰,۴۳	۲,۵۴	۲,۹۷
۱۰	محل دفن (دفن زباله)	۱,۲۳	۲,۲۴	۳,۴۷

منبع: یافته‌های پژوهش

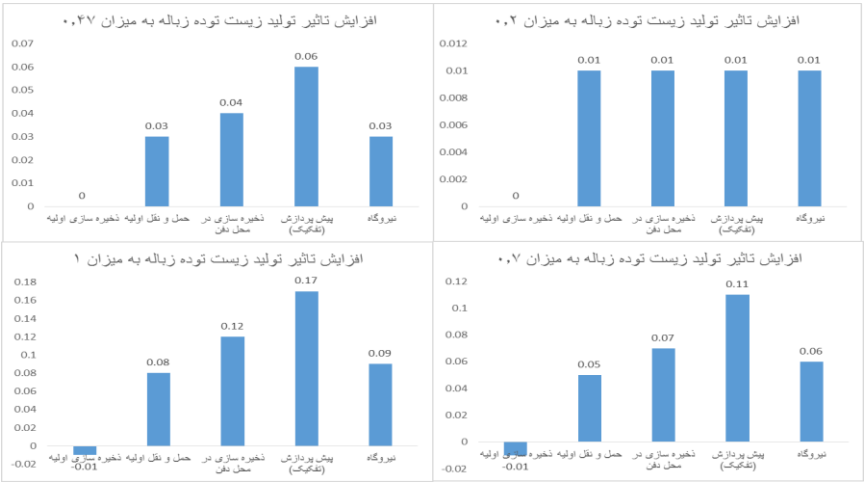
۴-۴. نتایج بررسی سناریوهای مختلف زنجیره تأمین زیست‌توده زباله در ایران

در این مرحله برای بررسی سناریو اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله، اجزایی که دارای درجه خروجی بیشتری هستند، در نظر گرفته می‌شود. در صورت افزایش و کاهش میزان اثرگذاری و تأثیرپذیری اجزا چه تغییراتی برای سایر اجزای اتفاق می‌افتد. در بررسی سناریو تولید زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی اولیه، حمل‌ونقل اولیه، ذخیره‌سازی در محل دفن، پیش‌پردازش (تفکیک زباله‌ها) و نیروگاه در نظر گرفته شده است.

۴-۴-۱. سناریوهای افزایش تأثیر تولید زیست‌توده زباله

در نرم‌افزار Mental Modeler سناریو what if انجام می‌شود؛ یعنی در صورت تغییر یک جز از سیستم، واکنش و عکس‌العمل سایر اجزای سیستم به چه صورت است. در این قسمت میزان تأثیر تولید زیست‌توده زباله افزایش یافته است تا واکنش و عکس‌العمل سایر اجزا نسبت به این تغییر در زنجیره تأمین بررسی شود.

شکل ۸. افزایش تأثیر تولید زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین



با توجه به خروجی نرم‌افزار برای افزایش میزان تأثیر تولید زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین مشاهده می‌شود که تا میزان ۰,۴۷، تغییری در میزان تأثیر ذخیره‌سازی اولیه در زنجیره تأمین ایجاد نمی‌شود، ولی میزان تأثیر حمل‌ونقل

اولیه، ذخیره‌سازی در محل دفن، پیش‌پردازش (تفکیک) و نیروگاه نیز در زنجیره تأمین افزایش می‌یابد. هر چه میزان تأثیر تولید زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین افزایش می‌یابد، میزان تأثیرگذاری آن در زنجیره تأمین معکوس می‌شود و سایر اجزا به همان روند گذشته در حال افزایش هستند.

شکل ۹. افزایش تأثیر حمل‌ونقل اولیه زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین

۴-۴-۲. سناریو افزایش تأثیر حمل‌ونقل اولیه

با توجه به خروجی نرم‌افزار برای افزایش میزان تأثیر حمل‌ونقل اولیه زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین مشاهده می‌شود که تا میزان ۰٫۵، تغییری در میزان تأثیر ذخیره‌سازی در محل دفن، پیش‌پردازش (تفکیک) و نیروگاه در زنجیره تأمین ایجاد نمی‌شود، ولی میزان تأثیر تولید زیست‌توده زباله و ذخیره‌سازی اولیه ابتدا افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل مشخص است، هرچه میزان تأثیر افزایش می‌یابد، تأثیر تولید زیست‌توده زباله و ذخیره‌سازی اولیه معکوس می‌شود؛ یعنی تأثیرپذیر می‌شوند و اگر میزان تأثیر حمل‌ونقل اولیه بیش از ۰٫۵ افزایش یابد بر مرحله پیش‌پردازش (تفکیک) تأثیر گذاشته و تأثیر آن معکوس می‌شود. به‌طور خلاصه می‌توان بیان کرد که افزایش میزان تأثیر حمل‌ونقل اولیه باعث می‌شود

تولید زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی اولیه و تفکیک زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین، تأثیرپذیر شوند.

۴-۴-۳. سناریو افزایش تأثیر ذخیره‌سازی در محل دفن

هر چه میزان تأثیر ذخیره‌سازی در محل دفن افزایش یابد، تأثیر تولید زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی اولیه و حمل‌ونقل اولیه به نسبت افزایش ذخیره‌سازی در محل دفن کاهش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که افزایش بیشتر از ۰٫۵ باعث می‌شود اجزای دیگر تأثیرپذیر شوند و تأثیر آن‌ها معکوس گردد.

شکل ۱۰. افزایش تأثیر ذخیره‌سازی در محل دفن زنجیره تأمین

۴-۴-۴. سناریو افزایش تأثیر پیش‌پردازش (تفکیک) زیست‌توده زباله

هر چه میزان تأثیر تفکیک زیست‌توده زباله افزایش داده می‌شود، تأثیر تولید زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی اولیه و حمل‌ونقل اولیه و ذخیره‌سازی در محل دفن به نسبت افزایش تفکیک کاهش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که افزایش بیشتر از ۰٫۵ باعث می‌شود اجزای دیگر تأثیرپذیر شوند و تأثیر آن‌ها معکوس گردد.

شکل ۱۱. افزایش تأثیر پیش‌پردازش (تفکیک) زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین

سناریوهای مختلف برای تولید زیست‌توده زباله، حمل‌ونقل اولیه و ذخیره‌سازی در محل دفن به‌صورت نمودار در این پژوهش نشان داده شد و سایر اجزای دیگر نیز سناریوهای آن بررسی گردید. با توجه به خروجی نرم‌افزار مشاهده می‌شود که افزایش زیاد در میزان تأثیرگذاری هر یک از اجزای زنجیره تأمین به‌غیراز تولید زیست‌توده زباله تا یک‌میزانی باعث افزایش تأثیر سایر اجزای زنجیره تأمین می‌شود و هرچه این میزان تأثیرگذاری افزایش داده می‌شود، تأثیرگذاری سایر اجزا در زنجیره تأمین، کاهش می‌یابد و سایر اجزا تأثیرپذیر می‌شوند.

افزایش تأثیر تولید زیست‌توده زباله باعث افزایش تأثیر سایر اجزای زنجیره تأمین می‌شود. وقتی میزان افزایش آن از ۰,۷ بیشتر می‌شود، ذخیره‌سازی اولیه تأثیرپذیر می‌گردد و تأثیر آن منفی می‌شود. این نشان می‌دهد که افزایش تأثیر تولید زیست‌توده زباله در زنجیره تأمین باعث کاهش تأثیر ذخیره‌سازی اولیه می‌شود و تا حدی که ممکن است، دیگر نیاز به ذخیره‌سازی اولیه در زنجیره کاهش نیست؛ زیرا با افزایش تأثیر تولید زیست‌توده زباله بقیه اجزا نیز تأثیر آن‌ها افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج مصاحبه با خبرگان حوزه زیست‌توده نشان داد که زنجیره تأمین زیست‌توده

زباله شامل اجزای تولید زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی اولیه، پیش‌پردازش اولیه، حمل‌ونقل اولیه، ذخیره‌سازی ثانویه، حمل‌ونقل ثانویه، ذخیره‌سازی در محل دفن، پیش‌پردازش (تفکیک)، نیروگاه و محل دفن است. زنجیره تأمین زیست‌توده زباله یک زنجیره تأمین پویاست و با توجه به میزان تولید زباله و نحوه حمل‌ونقل اولیه ممکن است در بعضی مواقع نیازی به ذخیره‌سازی ثانویه زیست‌توده زباله و حمل‌ونقل ثانویه نباشد، چراکه این خود باعث افزایش هزینه زنجیره تأمین می‌شود. برای بررسی روابط علی بین اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله و این‌که مشخص شود کدام‌یک از اجزا دارای تأثیر بیشتری در زنجیره تأمین هستند در این پژوهش از مدل نگاشت‌شناختی استفاده شد. نتایج این مرحله نشان داد که تولید زیست‌توده زباله، ذخیره‌سازی اولیه، حمل‌ونقل اولیه، ذخیره‌سازی در محل دفن، تفکیک و نیروگاه به ترتیب دارای درجه خروجی ۵,۵، ۲,۴، ۲,۸۶، ۲,۹۷، ۳,۰۸ و ۲,۵۴ هستند و این نشان‌دهنده اهمیت بیشتر این اجزا در زنجیره تأمین زیست‌توده زباله است.

در بخش سناریونویسی، نتایج نشان داد افزایش تولید زیست‌توده زباله ابتدا باعث افزایش میزان تأثیر سایر اجزا در زنجیره تأمین می‌شود و وقتی میزان تأثیر تولید زیست‌توده زباله به مقدار زیادی افزایش می‌یابد، میزان تأثیرگذاری ذخیره‌سازی اولیه در زنجیره تأمین کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد وقتی تأثیر تولید زیست‌توده زباله افزایش می‌یابد نیازی به ذخیره‌سازی اولیه نیست و از اهمیت آن در زنجیره کاسته می‌شود. نتایج بررسی افزایش میزان تأثیر اجزای حمل‌ونقل اولیه و ذخیره‌سازی در محل دفن نشان داد که با افزایش میزان تأثیر هر یک از آن‌ها، میزان تأثیرگذاری سایر اجزای زنجیره تأمین کاهش یافته و به سمت تأثیرپذیری می‌روند.

این نتایج نشان می‌دهد که در بین اجزای زنجیره تأمین زیست‌توده زباله، تولید زیست‌توده زباله نقش مهمی را در زنجیره تأمین ایفا می‌کند و سایر اجزای زنجیره به تولید زیست‌توده زباله وابسته هستند و این بخش تأثیرگذارترین بخش در زنجیره تأمین زیست‌توده زباله است. بنابراین به سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر

و بهره‌وری ایران پیشنهاد می‌شود بر روی بخش تولید زیست‌توده زباله برنامه‌ریزی و تمرکز بیشتر کند تا بتواند تولید انرژی از زیست‌توده زباله را افزایش دهد.

همچنین پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری در حوزه بازیافت و اهمیت‌دادن به زنجیره تأمین زیست‌توده در راستای تولید انرژی کشور انجام شود و محققان داخل کشور نیز همان‌طور که مطالعات کشورهای دیگر در این حوزه بیشتر است و این تحقیقات از سال ۲۰۱۵ رو به افزایش است، تحقیقات خود را به این حوزه که واقعاً خلأ پژوهشی دارد، سوق دهند تا با ارائه راهکارهای آن‌ها بتوان سهم تولید این منبع را با توجه به این‌که کشور ایران دارای پتانسیل‌های زیادی است؛ افزایش داد. همچنین بخش‌های سازمانی که متولی انرژی تجدیدپذیر هستند، زیرساخت‌های لازم در این حوزه را با توجه به دانش جهانی افزایش دهند.

منابع

احمدپور، امین (۱۳۹۳). «معرفی انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و بررسی مزایای استفاده از آن»، *ششمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد*، تهران: شرکت هم‌اندیشان انرژی کیمیا.

سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق(۱۳۹۷). *گزارش پتانسیل سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر*، قابل دسترس در: http://www.satba.gov.ir.

قاسمی، احمدرضا و محمدرضا قبادیان (۱۳۹۴). «تدوین و رتبه‌بندی سناریوهای صنعت برق ایران با بهره‌گیری از نقشه‌شناختی فازی و تحلیل سناریو»، *مدیریت و توسعه فناوری*، سال دوم، شماره ۴، ۱۳۴-۱۰۱.

قاسمی، احمدرضا، محمدعلی رعیت‌پیشه و جواد عزیزی (۱۳۹۴). *زنجیره تأمین پایدار*، تهران: نگاه دانش.

کرمخانی، جواد و زهرا علی‌مدد (۱۳۹۶). *روش تحقیق و پروپوزال نویسی*، تهران: نگارستان غرب.

مصطفی‌زاده، پریسا (۱۳۹۴). «توسعه مدلی ریاضی برای شبکه زنجیره تولید/ تأمین هیدروژن با استفاده از زیست‌توده‌ها با توجه به مسائل محیط زیستی»، پایان‌نامه درجه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دانشگاه تهران.

هندالیان‌پور، ایاد (۱۳۹۳). «توسعه مدل ریاضی برای شبکه زنجیره تأمین سبز تحت شرایط عدم قطعیت جهت استفاده از زیست‌توده‌ها»، پایان‌نامه درجه کارشناسی ارشد، پردیس البرز دانشگاه تهران.

Critchlow, J. & Leroi, A. (2012). *Making biomass part of your energy mix*, London: Bain and Company.

De Laporte, A. V. Weersink, A. J. & McKenney, D. W. (2016). "Effects of supply chain structure and biomass prices on bioenergy feedstock supply", *Applied energy*, Vol.183, 1053-1064.

De Meyer, A. Cattrysse, D. & Van Orshoven, J. (2016). "Considering biomass growth and regeneration in the optimisation of biomass supply chains", *Renewable energy*, Vol.87, 990-1002.

Ghani, N. M. A. M. A. Vogiatzis, C. & Szmerekovsky, J. (2018). "Biomass feedstock supply chain network design with biomass conversion incentives", *Energy policy*, Vol.116, 39-49.

Grigoroudis, E. Petridis, K. & Arabatzis, G. (2014). "RDEA: A recursive DEA based algorithm for the optimal design of biomass supply chain networks", *Renewable Energy*, Vol.71, 113-122.

Iakovou, E. Karagiannidis, A. Vlachos, D. Toka, A. & Malamakis, A. (2010). "Waste biomass-to-energy supply chain management: a critical synthesis", *Waste management*, Vol.30, No.10, 1860-1870.

International Energy Agency (2016). *Statistics and data/ country Iran*, https://www.iea.org.

Kim, J. Realff, M. Leeb, J. (2011). "Optimal design and global sensitivity analysis of biomass supplychain networks for biofuels under uncertainty", *Computers and Chemical Engineering*, Vol.35: 1738-1751.

Lim, C. H. & Lam, H. L. (2016). Biomass supply chain optimisation via novel biomass element life cycle analysis (BELCA), *Applied Energy*, Vol.161, 733-745.

Mafakheri, F. Nasiri, F. (2014). "Modeling of biomass- to- energy supply chain operations: applications", *challenges and research directions. Energy policy*, Vol.67: 116-126.

Mental Modeler- Fuzzy Logic Cognitive Mapping, home (2019). http://www.mentalmodeler.org/.

Paulo, H. Azcue, X. Barbosa-Póvoa, A. P. & Relvas, S. (2015). "Supply chain optimization of residual forestry biomass for bioenergy production: the case study of Portugal", *Biomass and Bioenergy*, Vol.83, 245-256.

Pavlou, D. Orfanou, A. Busato, P. Berruto, R. Sørensen, C. & Bochtis, D. (2016). "Functional modeling for green biomass supply chains", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.122, 29-40.

Raychaudhuri, A. & Ghosh, S. K. (2016). "Biomass Supply Chain in Asian and European Countries", *Procedia Environmental Sciences*, Vol.35, 914-924.

Renewables (2005). *Global Status Report* (Full Report, EN), http://www.ren21.net.

Shapiro, f. (2007). *Modeling supply chain*, Business & Economics, 618 pages.

Yazan, D. M. van Duren, I. Mes, M. Kersten, S. Clancy, J. & Zijm, H. (2016). "Design of sustainable second-generation biomass supply chains", *Biomass and bioenergy*, Vol.94, 173-186.

Zhang, F. Johnson, D. M. & Johnson, M. A. (2012). "Development of a simulation model of biomass supply chain for biofuel production", *Renewable Energy*, Vol.44, 380-391.