New Applied Studies in Management, Economics & Accounting
Vol. 6, No. 2(22), 2023, pp. 71-85

New Applied Studies in Management, Economics & Accounting E-ISSN: 2783-3119 nasme-journal.ir

Natural gas supply chain under uncertainty condition

Reza Mohammadi[1]
1. Master of Industrial Management, Department of Management & Accounting, Shahid-Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract
In today's competitive world, uncertainty is an integral part of all optimization problems. One of the cases where uncertainty has the greatest impact on optimization issues is SCN design. In most of the conducted studies, parameters such as demand, transportation cost and capacity of tehsils have been published in an uncertain manner. In this type of problem, various methods have been used to control these uncertainty parameters, which can be referred to as fuzzy programming, robust optimization, two-stage stochastic programming, multi-stage stochastic programming, multi-stage fuzzy stochastic programming, fuzzy robust optimization. Each of the mentioned methods has limitations in terms of its implementation. in the fuzzy programming method, there is no deviation from the data collected by experts' opinions. In probabilistic methods, it is very difficult to determine the exact type of distribution function. Therefore, many researchers have investigated the strengths and weaknesses of each method in their studies. Therefore, in this paper we try to review the strength and weakness of these methods to apply the best approaches for different situations. In this paper, a real-world case study of a natural gas supply chain is investigated. By using concepts related to natural gas industry and the relations among the components of transmission and distribution network, a Five-level supply chain has been introduced and presented schematically.

Keywords: Natural gas supply chain, Uncertainty, Fuzzy, Production management, Two – Stage stochastic programming

*Corresponding author: Reza Mohammadi, Rez.Mohammadi@Mail.sbu.ac.ir

فصلنامه مطالعات نوین کاربردی در مدیریت، اقتصاد و حسابداری
سال ششم. شماره ۲ (پیاپی ۲۲). تابستان ۱۴۰۲. صفحات ۸۵-۷۱

New Applied Studies in Management, Economics & Accounting
E-ISSN: 2783-3119
nasme-journal.ir

زنجیره تأمین گاز طبیعی تحت شرایط عدم قطعیت

رضا محمّدی* | کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

در دنیای رقابتی امروز، عدم اطمینان بخش جدایی‌ناپذیر تمام مسائل بهینه‌سازی است. یکی از مواردی که عدم قطعیت بیشترین تأثیر را بر روی آن می‌گذارد، طراحی شبکه زنجیره تأمین است. در اغلب مطالعات صورت گرفته، پارامترهایی مانند تقاضا، هزینه حمل و نقل و ظرفیت تسهیلات به صورت عدم قطعی بیان شده‌اند. در این نوع مسائل از روش‌های مختلفی برای کنترل این پارامترهای عدم قطعی استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی فازی، بهینه‌سازی استوار، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای، برنامه‌ریزی فازی تصادفی چند مرحله‌ای و برنامه‌ریزی فازی استوار اشاره کرد. هر یک از این روش‌ها از نظر اجرایی خود دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. در روش برنامه‌ریزی فازی، هیچ انحرافی از داده‌های گردآوری شده از خبرگان وجود ندارد. در روش‌های احتمالی، تعیین نوع دقیق تابع توزیع بسیار مشکل است. بنابراین بسیاری از پژوهشگران در مطالعات خود به بررسی نقاط قوت و ضعف هر کدام از این روش‌ها پرداخته‌اند. از این روی، در مقاله حاضر به بررسی و مرور نقاط قوت و ضعف هر کدام از این روش‌ها پرداخته شده تا بتوان بهترین رویکرد را در شرایط مختلف برگزید. همچنین در این مقاله، یک مطالعه موردی برای یک شبکه واقعی زنجیره تأمین گاز طبیعی ترسیم گردیده است. با استفاده از مفاهیم مرتبط با زنجیره تأمین گاز طبیعی و روابط بین اجزای مختلف شبکه انتقال و توزیع، یک زنجیره تأمین پنج سطحی به صورت شماتیک معرفی و ارائه شده است.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین گاز طبیعی، عدم قطعیت، فازی، مدیریت تولید، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای.

* نویسنده مسئول: رضا محمّدی، Rez.Mohammadi@Mail.sbu.ac.ir

۱. مقدمه

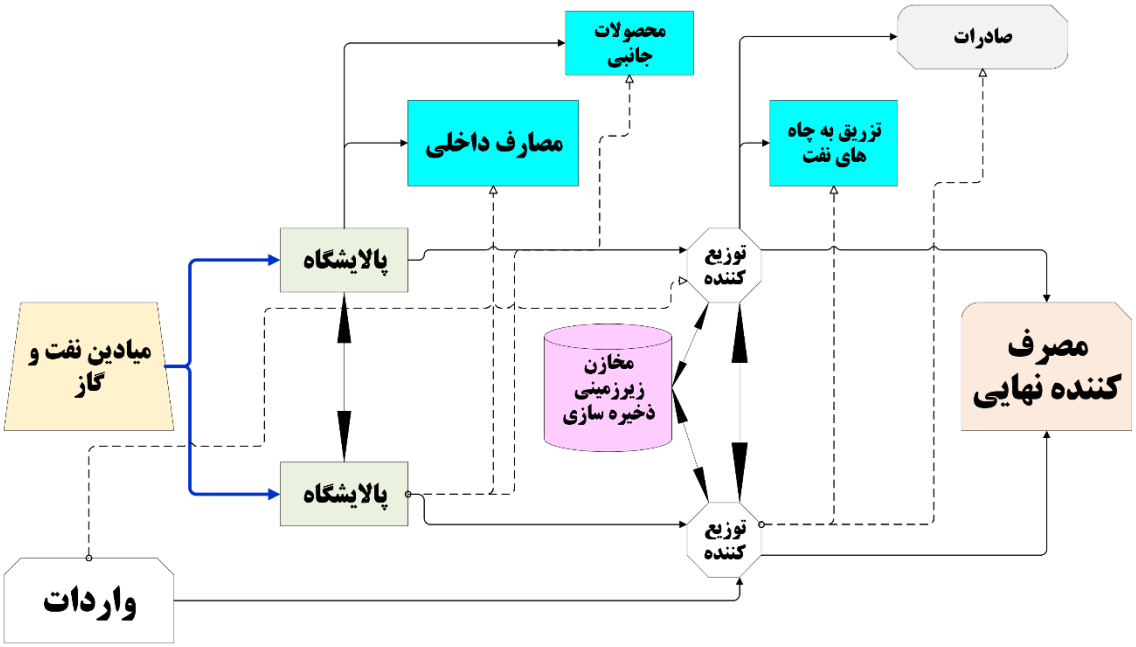
گاز طبیعی یکی از پاک‌ترین منابع سوختی جهان است، زیرا بر خلاف سایر هیدروکربن‌ها، در هنگام سوختن و احتراق گازهای غیرسمی مانند دی‌اکسید کربن، بخار آب و چند اکسید نیروژن‌دار تولید می‌کند. علاوه بر آن فرآیند استفاده از گاز طبیعی جهت تولید برق به انتشار میزان قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با استفاده از زغال‌سنگ می‌گردد. مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ در ایالات متحده انجام شده نشان می‌دهد که جایگزینی زغال‌سنگ به جای گاز طبیعی جهت تولید نیروی برق به میزان ۲۲ درصد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، در بیشتر نقاط جهان از گاز طبیعی جهت پخت و پز، گرمایش خانگی و غیره استفاده می‌گردد؛ به عنوان مثال نیمی از منازل مسکونی در ایالات متحده از گاز طبیعی برای گرمایش استفاده می‌کنند و در کشورهای عضو اتحادیه اروپا نیز بیش از ۴۵ درصد خانه‌ها ترجیح می‌دهند از گاز طبیعی برای گرمایش استفاده نمایند (الهیدوس و الانصاری، ۲۰۲۰). امروزه روش‌های مدیریت تولید سابق، که یکپارچگی کمتری را در فرآیندهایشان داشتند، بهره‌وری خود را از دست داده‌اند و زنجیره تأمین به صورت فرآیندی منسجم برای مدیریت منظم جریان مواد، جریان اطلاعات و جریان مالی مطرح شده است. همچنین گستردگی رقابت و فناوری در جهان به صورتی است که شرکت‌های کمی می‌توانند به صورت فردی و بدون همکاری با سازمان‌های دیگر، محصولی را تولید یا خدمتی را ارائه نمایند. عموماً سازمان‌های بسیاری در تولید یک محصول یا ارائه خدمت نقش دارند. ارائه‌دهندگان و تولیدکنندگان قطعات یا تولیدکنندگان محصول سعی می‌کنند تا از طریق کانال‌های مختلف، محصولات و خدمات نهایی را به دست مشتریان برسانند. هرکدام از سطوح درگیر در تأمین، تولید و توزیع یکی از حلقه‌های زنجیره تأمین است. زنجیره تأمین به افراد و ارگان‌های درگیر در تولید محصول و ارائه خدمت گفته می‌شود که با یکدیگر همکاری دارند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

کشور ایران دارای ذخایر اثبات شده گازی در حدود ۳۴ تریلیون مترمکعب بوده و از این حیث رتبه اول را در دنیای دارد. ۸۰ درصد از ذخایر به گونه‌ای است که نفت خام همراه آن، مقدار چشم‌گیری نبوده و لزوم توسعه بخش گاز طبیعی و نفت را در دو سوی مختلف ملزم کرده است. بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ ایران توانسته تولیدات گاز خود را از ۱۱۰ به ۵۵۰ میلیون مترمکعب در روز ارتقاء دهد که به معنی متوسط رشد ۱۷ میلیون مترمکعبی در روز است. این در حالی است که از سال ۲۰۱۳، با وجود تحریم‌ها و مشکلات بین‌المللی، ایران توانست با اتمام برخی فازهای پروژه پارس جنوبی، تولیدات خود را تا ۷۵۰ میلیون مترمکعب در روز افزایش دهد. بنابراین با اتمام بخش‌هایی از پروژه پارس جنوبی، حدود ۲۵ درصد به ظرفیت تولید گاز طبیعی افزوده شد. این افزایش در سال ۲۰۱۴ باعث شد سهم گاز طبیعی به عنوان اصلی‌ترین منبع تولید انرژی اولیه، از نفت خام پیشی گیرد. ایران سومین کشور بزرگ تولیدکننده گاز طبیعی در جهان است که بخش زیادی از تولیدات خود را به مصرف داخلی می‌رساند. سهم گرمایش از تولیدات ۲۹ درصد، توان تولید ۲۴ درصد، صنایع غیرپتروشیمی ۱۵ درصد، صنایع پتروشیمی ۱۳ درصد، تزریق ۹ درصد و حمل و نقل ۳ درصد است. همچنین بیش از ۹۰ درصد از خانوارها از گاز طبیعی برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند و این سوخت جایگزین هیدروکربن‌های مایع شده و برای تأمین گرمایش و پخت و پز استفاده می‌شود به طوری که طی ۲۵ سال گذشته، به میزان ۱۸۰ میلیون مترمکعب در روز، افزایش مصرف را ایجاد کرده است. در این میان مصرف گاز طبیعی در بخش تولید توان ۱۴۰ میلیون مترمکعب و در بخش سایر صنایع ۱۷۰ میلیون مترمکعب در مجموع، افزایش داشته است. با این توصیفات، مقدار گازی که برای تزریق استفاده

می‌شود، در حدود ۸۰ میلیون مترمکعب در روز باقی مانده است و تغییر چندانی نداشته است. تجارت خالص گاز طبیعی نیز در حدود صفر یا منفی بوده است (اقتصاد، ۱۳۹۸).

۲. زنجیره گاز طبیعی

گاز طبیعی متشکل از اجزای مختلفی که عمدتاً شامل متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، پروپان (C_3H_8)، بوتان (C_4H_{10})، پنتان (C_5H_{12}) به همراه دیگر هیدروکربن‌ها مانند دی‌اکسید کربن (CO_2)، نیتروژن (N_2) و سولفید هیدروژن (H_2S) است. درصد ترکیب هر کدام از این اجزاء بستگی به مخزنی که بهره‌برداری می گردد، محل واقع شدن مخزن، عمق مخزن و دیگر عوامل بستگی دارد. صنعت گاز طبیعی شامل پنج بخش اصلی و عمده است: تأمین که مشخصاً مرتبط با اکتشاف و بهره‌برداری از مخازن نفت و گاز است؛ تولید که در پالایشگاه‌ها صورت پذیرفته و گاز خشک و دیگر محصولات را تولید می کند؛ انتقال که شامل جابجایی و ارسال حجم بالایی از گاز از مخازن و محل‌های بهره‌برداری و ارسال آن به پایانه‌های صادراتی و محل‌های تویع است؛ سیستم توزیع که به معنای انتقال گاز به دست مشتریان نهایی و مصرف‌کنندگان نهایی است. و سیستم ذخیره‌سازی که هدف اصلی آن فشرده‌سازی و ذخیره‌سازی گاز به منظور مصرف در دوره‌های آتی است. مخازن زیرزمینی ذخیره‌سازی گاز طبیعی، یکی از رایج‌ترین شیوه‌های ذخیره‌سازی است. زمانی که تقاضا برای گاز طبیعی بیشتر از عرضه آن است از این مخازن گاز استخراج گردیده و کمبود گاز با تزریق به خط شبکه سراسری جبران می‌شود (زارعی و امین‌ناصری، ۲۰۱۹). مدل‌سازی فرآیند ایجاد نمایشی ساده از دنیای واقعی و کار با آن به منظور درک و کنترل برخی از جنبه‌های آن است. هدف اولیه از مدل‌سازی ایجاد بینشی است که به واسطه آن بتوان درک بهتر و درست‌تری از مشکل و موقعیت موجود به دست آورد. مدل‌سازی را در درجه اول برای بهبود مهارت تفکر به کار می‌بندیم (محمّدی، ۱۴۰۱).



شکل ۱. چارچوب کلی شبکه زنجیره تأمین گاز طبیعی

۳. عدم قطعیت در زنجیره تأمین گاز طبیعی

در بیشتر طراحی‌های زنجیره‌ای زنجیره تأمین، هدف این بوده که محصولات از یک لایه به لایه دیگر ارسال شود تا بتوانیم تقاضاها را تأمین کنیم تا مبلغ هزینه‌های استراتژیک و تاکتیکی/ عملیاتی به حداقل برسد. با این حال پیچیدگی‌های موجود در روابط متقابل اجزای مختلف همراه با عدم قطعیت در سراسر زنجیره، تصمیم‌گیری زنجیره تأمین را دچار چالش کرده است؛ به طوری که می‌توان گفت زنجیره‌های تأمین سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که عوامل (زیرسیستم‌های) آن دارای تعامل با یکدیگر است و بدین طریق ویژگی‌های جدید به دست می‌آورند. در طراحی شبکه زنجیره تأمین با توجه به معیارهای متفاوت اثرگذار بر عملکرد زنجیره به جای در نظر گرفتن تنها یک عامل، معیارهای دیگر نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. ماهیت پویا و پیچیده زنجیره تأمین درجه بالایی از عدم قطعیت را در تصمیم‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تحمیل می‌کند و تأثیر معناداری بر عملکرد کلی شبکه زنجیره تأمین می‌گذارد (صالحی مقدم و همکاران، ۱۴۰۱).

در دنیای امروز، عدم قطعیت بخش جدایی‌ناپذیر همه مسائل بهینه‌سازی است. یکی از مواردی که عدم قطعیت بیشترین تأثیر را بر روی آن می‌گذارد، زنجیره تأمین است. در اکثر مطالعات انجام شده، پارامترهایی مانند تقاضا، هزینه حمل و نقل و ظرفیت تسهیلات به صورت عدم قطعی در نظر گرفته شده‌اند (اسمتزلر خاموس و همکاران، ۲۰۲۱؛ سونگ و همکاران، ۲۰۱۸). امروزه عدم قطعیت یکی از مشکلات و چالش‌های بزرگ در مدیریت زنجیره تأمین می‌باشد که از دلایل پیدایش آن می‌توان به فقدان اطلاعات قطعی و دقیق و نیز پویایی و پیچیدگی اجزای زنجیره تأمین اشاره کرد. عدم قطعیت را می‌توان به عنوان اختلاف بین مقدار اطلاعات مورد نیاز برای اجرای یک کار و مقدار اطلاعاتی که واقعاً در دسترس می‌باشد، تعریف کرد. در فرآیندهای تصمیم برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، عدم قطعیت عامل مهمی است که می‌تواند روی کارایی و اثربخشی زنجیره‌های تأمین اثرگذار باشد (حسن‌پور و همکاران، ۱۴۰۰).

٤. بهینه‌سازی تحت شرایط عدم قعیت

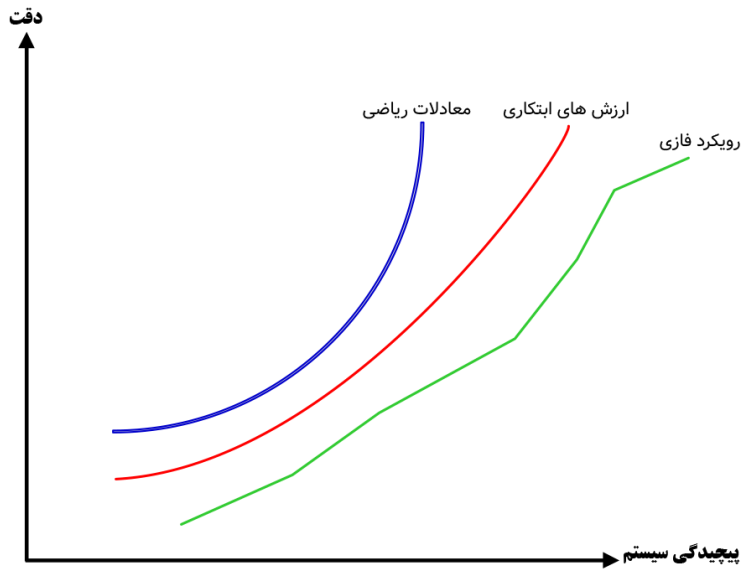
هیچ روش یکتا و منحصر بفردی جهت حل تمامی مسائل بهینه‌سازی وجود ندارد. از این روی روش‌های متعددی برای حل مسائل مختلف تا کنون توسعه داده شده است. روش‌های جستجوی بهینه که به عنوان تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی شناخته می‌شوند، عموماً به عنوان بخشی از مطالعات زمینه تحقیق در عملیات می‌باشند (محمّدی و محمّدی، ۱۴۰۰). در برنامه‌ریزی ریاضی معمولاً مسائل با پیش‌فرض قطعی بودن داده‌ها حل می‌شوند؛ در حالی که در دنیای واقعی بیشتر داده‌ها دچار عدم قطعیت هستند. پیش‌فرض اصلی برنامه‌ریزی‌های ریاضی، توسعه مدل بر اساس داده‌های صریحاً معین و برابر با مقداری اسمی است. در نتیجه در مسائل بهینه‌سازی نمی‌توان از این مطلب چشم‌پوشی کرد؛ زیرا گاهی یک عدم قطعیت ناچیز در داده‌ها، حل بهینه موجود را کاملاً بی‌معنی می‌کند (بهزادی و سیف‌برقی، ۱۳۹۷).

۱,٤. برنامه‌ریزی فازی

متاسفانه در دنیای واقعی اغلب مسائل کاملاً معین نیستند. بدین معنی که به دلیل اطلاعات ناقص و یا غیرقابل دسترس بودن اطلاعات دقیق، ورودی‌های مساله اغلب غیردقیق می‌باشند. علاوه بر آن ممکن است محدودیت‌ها و تابع هدف نیز به طور واضح بیان نشده باشند. بنابراین می‌توان گفت مدل‌های دقیق ریاضی انعطاف لازم برای حل تمامی مسائل علمی را ندارند.

وجود بعضی از موانع و مشکلات، لزوم کاربرد برنامه‌ریزی مناسب که در شرایط عدم قطعیت کاربرد دارد را بسیار مفید و ضروری می‌نماید و استفاده از روش‌هایی که از داده‌های نادقیق و فازی بهره می‌گیرند، می‌توانند گامی بسیار مفید و مهم در راستای توان کاربردی آن‌ها باشند. حال آنکه، نادقیق بودن در رهیافت برنامه‌ریزی می‌تواند مقادیر منابع، پارامترهای مورد استفاده و یا هر دو را در بر گیرد. از این رو روش‌های برنامه‌ریزی کلاسیک به دلیل نیاز به اطلاعات و داده‌های دقیق و قطعی نمی‌توانند نتایج قابل قبولی را ارائه نمایند. زمانی که داده‌های مساله در یک بازه تفسیر شوند مفهوم اعداد بازه‌ای و رویکرد بازه‌ای به پارامترها و مسایل وارد شد، و محققین با توجه به مفهوم اعداد بازه‌ای مدل‌های بازه‌ای را برای مواجهه با ابهام موجود در مسائل ارایه دادند. بدین ترتیب که کمترین و بیشترین مقدار آن پارامتر به ترتیب در حد پایین و بالای بازه قرار می‌گیرد. سپس با استفاده از عملیات مجموعه‌های بازه‌ای و خواص آن، مدل بازه‌ای به یک مدل برنامه‌ریزی قطعی تبدیل می‌شود که با حل آن می‌توان به جواب مدل بازه‌ای رسید (محمودی، ۱۳۹۷).

مسائل دنیای واقعی معمولاً ساختار پیچیده‌ای دارند که به دلیل وجود ابهام و عدم قطعیت در تعریف و درک آن‌هاست. از زمانی که انسانی توانست فکر کند، همواره با ابهام در مسائل مختلف، اجتماعی، فنی و اقتصادی مواجه بوده است. حتی اختراع رایانه و توسعه کاربردی آن در تحلیل مسائل دنیای واقعی نیز نتوانست مشکل ابهام و عدم قطعیت را حل نماید. این سئوال مطرح می‌شود که آیا راهی وجود دارد که کامپیوتر نیز همانند انسان بتواند به طور تقریبی مسائل را با اطلاعات نادقیق و ناکافی درک و تحلیل نماید؟ پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۷۳ با بیان اصل ناسازگاری توانست پاسخی برای این سئوال مطرح کند، هرچه میزان آگاهی از یک سیستم افزایش یابد پیچیدگی سیستم کاهش یافته و دقت درک و تحلیل سیستم افزایش می‌یابد. زمانی که پیچیدگی سیستم کاهش یابد، دقت روش مدل‌سازی افزایش یافته و لذا ابزار مفیدی برای تحلیل سیستم مهیا می‌شود (یعقوبی آستانی، ۱۳۸۹).



شکل ۲. رویکردهای تحلیل سیستم در مواجهه با پیچیدگی و میزان دقت

در مجموعه‌های کلاسیک، عضویت یا عدم عضویت یک عنصر در مجموعه به صورت قطعی بیان می‌شود. فرض کنید X یک مجموعه‌ی مرجع دلخواه، و A زیرمجموعه‌ای از X باشد. زیرمجموعه‌ی A از X را می‌توان توسط اعضای آن

مجموعه، به صورت $A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ یا توسط یک ویژگی معین عناصر آن مجموعه به صورت $A = \{x \in X | \, p(x)\}$ نمایش داد. همچنین زیرمجموعه‌ی A را می‌توان با استفاده از مفهوم تابع مشخصه بیان نمود. تابع مشخصه‌ی A با x_A نمایش داده می‌شود و به صورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد:

$$x_A: X \to \{0,1\}$$
$$x_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \qquad (1)$$

به این ترتیب مجموعه‌ی A را می‌توان به صورت $A = \{(x, x_A(x)) | x \in X\}$ نیز نمایش داد. همانطور که در رابطه (۱) می‌بینیم، برای هر x از X، $x_A(x)$ تنها یکی از مقادیر ۰ یا ۱ را اختیار می‌کند. حال اگر برد تابع مشخصه $x_A(x)$ را از مجموعه‌ی $\{0,1\}$ به بازه $[0,1]$ گسترش دهیم تابعی به دست خواهیم آورد که به ازای هر x از X، عددی از بازه $[0,1]$ را نسبت می‌دهد. این تابع، تابع عضویت A نامیده می‌شود و با $\mu_A(x)$ نشان داده می‌شود.

پیش‌فرض اصلی برنامه‌ریزی‌های ریاضی توسعه مدل بر اساس داده‌های صریح معین و برابر با مقدار اسمی است. در این گونه مدل‌ها اثر عدم قطعیت داده‌ها بر روی بهینگی و موجه بودن جواب را نادیده می‌گیرند. در نتیجه در مسائل دنیای واقعی ممکن است با تغییر یکی از داده‌ها، تعداد زیادی از محدودیت‌ها نقض شده و جواب به دست آمده بهینه و موجه‌شدنی نباشد. از دلایل عدم قطعیت در داده‌های یک مساله بهینه‌سازی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱) برخی از داده‌های مساله به هنگام حل آن، موجود نمی‌باشند و باید پیش‌بینی شوند. در اینجا خطای پیش‌بینی[1] وجود دارد.

۲) برخی از داده‌ها را نمی‌توان به طور دقیق اندازه گرفت و آن‌ها را حول یک مقدار اسمی گرد می‌کنند که در اینجا خطای اندازه‌گیری[2] وجود دارد.

۳) در بعضی از موارد متغیرهای تصمیم را نمی‌توان همانگونه که محاسبه شده‌اند پیاده‌سازی کرد، این نوع، خطای پیاده‌سازی[3] است.

بهینه‌سازی تصادفی و بهینه‌سازی استوار دو رویکرد اصلی برای مواجهه با عدم قطعیت است (قادری، ۱۳۹۸).

۲,٤. برنامه‌ریزی استوار

بهینه‌سازی استوار نیز به عنوان یک جایگزین قوی می‌تواند عدم قطعیت را در شکل مجموعه عدم قطعیت‌های کران‌دار مدلسازی کند. در این تئوری، پارامترها به صورت سناریوهای گسسته و یا در یک دامنه پیوسته تعریف می‌شوند. هدف این تئوری به دست آوردن جواب بهینه‌ای است که نسبت به تقریباً تمامی پارامترهای عدم قطعیت حساسیت نداشته باشد. تئوری برنامه‌ریزی یا بهینه‌سازی استوار روش ریسک‌گریزی را برای مقابله با عدم قطعیت فراهم می‌سازد. در این تئوری یک راه حل برای یک مساله بهینه‌سازی درصورتی استوار است که هم دارای استوار شدنی و هم بهینگی استوار باشد. استوار شدنی به این معنی است که مقدار تابع هدف برای این راه حل باید نزدیک به مقدار بهینه باقی بماند یا دارای حداقل انحرافات

[1] Prediction Error
[2] Measurement Error
[3] Implementation Error

نامطلوب از مقدار بهینه برای تقریباً تمام مقادیر ممکن پارامترهای نامطمئن باشد (استواری جواب). بنابراین با توجه به شرایط عدم قطعیت حاکم بر پارامترهای زنجیره تأمین، باید با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار بتواند شبکه‌ای را طراحی کرد که در عین بهینگی، با سطح بالایی موجه نیز باشد (فرخ، ۱۳۹۵).

زمانی یک جواب برای مدل بهینه‌سازی، جوابی استوار نامیده می‌شود که آن جواب تحت همه سناریوها ((نزدیک)) به بهینه باقی بماند و همچنین زمانی یک مدل استوار است که تحت همه سناریوها ((تقریباً)) موجه باشد. با توجه به این تعاریف، مدل بهینه‌سازی استوار را توسعه داده‌اند، این بهینه‌سازی مرتبط با مسائلی است که جنس داده‌های آن از نوع سناریو باشد (مقادیر داده‌های مساله تحت مجموعه‌ای از سناریوها توصیف می‌شود). در حالت کلی در مواجهه با مدل‌های بهینه‌سازی ما با دو بخش مجزا مواجه هستیم، بخش ساختاری، که ثابت است و فاقد هرگونه نوسان در داده‌های ورودی آن می‌باشد و بخش کنترل، که تابعی دستخوش داده‌های نامطمئن و نوسانی است. مدل LP بهینه‌سازی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{Minimize} && c^T x + d^T y \\ &\text{Subject to:} && Ax = b \\ & && Bx + Cy = e \\ & && x, y \geq 0 \\ & && x \in R^{n_1}, \qquad y \in R^{n_2} \end{aligned} \tag{۲}$$

که در آن x بیانگر متغیرهای تصمیم پارامترهای قطعی و y نشان‌دهنده‌ی متغیرهای تصمیم بخش کنترل[1]است. مدل LP شامل دو نوع محدودیت می‌باشد؛ محدودیت‌های ساختاری[2]که ضرایب آن‌ها ثابت (ضرایبی مطمئن) و محدودیت‌های کنترل[3]که ضرایب این محدودیت‌ها در برگیرنده حالت غیرقطعی هستند. همچنین مجموعه‌ای محدود از سناریوها تحت عنوان $\Omega = \{1, 2, \dots, S\}$ برای پارامترهای غیرقطعی مدل فرض می‌کنیم و متناسب با هر سناریو $s \in \Omega$ مجموعه‌ی $\{d_s, B_s, C_s, e_s\}$ به عنوان تحقق عملکرد هر سناریو تعریف شده است، از طرفی P_s احتمال رخداد هر سناریو را نشان می‌دهد که $\sum p_s = 1$ می‌باشد. صورت کلی مدل بهینه‌سازی استوار مالوی و همکاران به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{Minimize} && \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_S) + \omega\left(\sum \rho(\delta_1, \dots, \delta_S)\right) \\ &\text{S.to:} && Ax = b \\ & && B_s x + C_s y_s + Z_s = e_e \qquad \forall s \in \Omega \\ & && x \geq 0, \qquad y_s \geq 0, \qquad \forall s \in \Omega \end{aligned} \tag{۳}$$

در مدل استوار فوق، مجموعه $\{y_1, y_2, \dots, y_S\}$، مجموعه‌ای از متغیرهای کنترل برای هر سناریو $s \in \Omega$، است. همچنین $(\delta_1, \dots, \delta_S)$ مجموعه‌ای از بردارهای خطاست که مقدار ناموجهی مجاز در محدودیت‌های کنترل تحت سناریوی s را اندازه‌گیری می‌کند. با توجه به سناریوهای چندگانه، تابع هدف $\xi = c^T x + d^T y$ متغیری تصادفی است که مقدار $\xi_s = c^T x + d_s^T y_s$ را با احتمال P_s می‌گیرد. در حقیقت مدل بهینه‌سازی استوار فوق قادر است مبادله بین استواری جواب و

[1] Control Variables
[2] Structural Constraints
[3] Control Constraints

استواری مدل را بسنجد. در حقیقت این مدل استوار مبتنی بر سناریو، کاربردی از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی[1]احتمالی است (یحیی‌زاده اندواری و همکاران، ۱۳۹۵).

۳,٤. برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای

بهینه‌سازی تصادفی هنر و علم تصمیم‌گیری در مورد بهترین عمل ممکن است، وقتی که هزاران امکان انحراف از آن وجود دارد. بهینه‌سازی تصادفی متعلق به شاخه عمومی برنامه‌ریزی تحت عدم قطعیت است که شامل مباحثی همچون برنامه‌ریزی پویا، درخت تصمیم‌گیری، شبیه‌سازی، فرآیندهای تصادفی و قیود احتمالی است. در بهینه‌سازی تصادفی عدم قطعیت در مدل ترکیب شده است. مدل‌های بهینه‌سازی تصادفی از این واقعیت که ((توزیع احتمالی)) حاکم بر داده‌ها مشخص و یا قابل تخمین است، بهره می‌برند. در چنین حالتی، هدف پیدا کردن یک سیاست است که برای تمامی (یا تقریباً تمامی) نمونه‌های داده قابل قبول باشد و عملکرد مورد انتظار مدل (یا سیستم) را بهینه‌سازی کند (قادری، ۱۳۹۸). در مدلسازی تصادفی یک راه حل تحت پارامترهای تصادفی مورد بررسی قرار می‌گیرد، این پارامترها می‌توانند به صورت توزیع پیوسته یا سناریوهای گسسته بیان شوند. به رغم کاربرد گسترده مدل‌های تصادفی، این مدل‌ها در زمان فقدان داده‌های تاریخی کافی برای تقریب توابع احتمال پارامترهای عدم قطعیت نمی‌توانند مناسب باشند؛ علاوه بر این پیچیدگی محاسباتی بالا، مخصوصاً در مسایل با تعداد سناریوهای بالا مانع از بکارگیری این مدل‌ها در مسایل واقعی می‌شود (فرخ، ۱۳۹۵).

برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو یک روش کاربردی برای بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت است. کیفیت راه‌حل‌های تولیدی توسط این روش، به تقریب مناسب تابع توزیع پارامترها بستگی زیادی دارد (کامامتو و لی،۲۰۲۳). برنامه‌ریزی تصادفی برای مواقعی که تصادفی بودن منبع اصلی عدم قطعیت پارامترهای غیرقطعی است و توزیع احتمال آن‌ها معلوم باشد مناسب است. دو روش عمده برای برنامه‌ریزی تصادفی تا کنون شناخته شده‌اند:

برنامه‌ریزی احتمالی یا محدودیت شانس

برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای یا برنامه‌ریزی منابع (ناصری و باوندی، ۱۳۹۶).

در برنامه‌ریزی احتمالی (مورد اول) تمرکز روی قابلیت سیستم برای مواجهه با شدنی بودن راه‌حل در محیط‌های غیرقطعی است؛ که در واقع همان حداقل سطح رضایت بخش مورد نیاز برای محقق کردن محدودیت‌های احتمالی است. روش دوم زمانی که نشدنی بودن جواب با هزینه‌های جریمه در نظر گرفته شود مناسب است (دهقان و همکاران،۱۴۰۱).

این رویکرد سناریوهایی با احتمالات مختلف برای رخ دادن داده‌ها، فرض می‌کند. این تکنیک در مقایسه با روش تک سناریوی قطعی معمولاً جواب‌های واقعی‌تری تولید می‌کند و به طور مستقیم کمبودهای مدل‌های قطعی را پوشش می‌دهد. مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی، ساختاری مشابه با مدل‌های قطعی دارند، با این تفاوت که در این مدل‌ها به جای ثابت فرض کردن پارامترها، یک توزیع احتمال برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. هدف، گرفتن تصمیمی است که برای همه‌ی حالات ممکن، شدنی باشد و مقدار متوسط تابعی از متغیرهای تصادفی و تصمیمات، بهینه گردد. در این رویکرد موجه بودن یک جواب در برنامه‌ریزی تصادفی استفاده از محدودیت شانس نیز بیان می‌شود. سه مشکل اساسی برای این رویکرد وجود دارد:

[1] Stochastic Non-Linear Programming Model

شناخت توزیع دقیق داده‌ها و در نتیجه عددی کردن سناریوهایی که از این توزیع‌ها عدد می‌گیرند. محدودیت‌های شانس ویژگی محدب بودن مساله اصلی را از بین می‌برد و بر پیچیدگی آن به مقدار زیادی می‌افزاید. ابعاد مدل بهینه‌سازی به دست آمده به صورت نجومی با زیاد شدن تعداد سناریوها افزایش می‌یابد که چالش‌های محاسباتی عمده‌ای را موجب می‌گردد (امیری‌فرد، ۱۳۹۷). شکل عمومی مدل برنامه‌ریزی تصادفی به فرم زیر است:

$$\min_{x\in X} c^T x + E\big(Q(x)\big) \qquad (۴)$$

که در رابطه (۴)، x برداری از متغیرهای تصمیم مرحله اول، X دسته‌ای از تصمیمات ممکن و $Q(x)$ تابعی وابسته است. مقدار واقعی پارامترهای نامعین در مرحله دوم شناخته می‌شوند که تصمیمات بعدی (y) می‌توانند گرفته شوند. بنابراین $E\big(Q(x)\big)$ در مساله برنامه‌ریزی تصادفی (۴) برابر است با $\sum_{s\in S}\pi^s \times Q(x,\zeta^s)$ که در آن:

$$Q(x,\zeta^s) = \min_{y^s}\{(q^s)^T y^s : W^s y^s = h^s - T^s x, y^s \geq ۰\} \qquad (۵)$$

٤,٤. تحلیل حساسیت در شرایط عدم قطعیت

از آنجا که روش تحلیل حساسیت و همچنین برنامه‌ریزی تصادفی از روش‌های سنتی و کلاسیک در مواجهه با عدم قطعیت در داده‌های مسائل بهینه‌سازی می‌باشند، روش بهینه‌سازی استوار می‌تواند جایگزینی بسیار مناسب برای این روش‌ها باشد. زیرا در بهینه‌سازی استوار، بر خلاف برنامه‌ریزی تصادفی به همه مقادیر پارامترهای غیرقطعی مساله ارزش یکسانی داده می‌شود. به عبارت دیگر در بهینه‌سازی استوار بزرگ‌ترین منطقه عدم اطمینان با هدف – نزدیک شدن تا حد ممکن- به حالت ایمن انتخاب می‌شود، این عمل در برنامه‌ریزی احتمالی ممکن نیست؛ زیرا بودجه تحمل عدم اطمینان از قبل ثابت و برابر با یک فرض شده است. یعنی با تلاش برای افزایش احتمال رویداد یک حالت، احتمال رویداد حالت‌های دیگر کاهش پیدا می‌کند. همچنین در برنامه‌ریزی احتمالی، نیاز به تعیین مقدار پارامترهای مدل بر پایه یک مقدار تصادفی از یک توزیع احتمالی مشخص است، که در مواردی تابع توزیع احتمالی مقدار پارامترها ناشناخته است. در روش تحلیل حساسیت نیز تغییرات یک پارامتر در حالت ثابت بودن سایر پارامترها بررسی می‌شود، به علاوه در تحلیل حساسیت، پارامترهای مساله قطعی هستند در حالی که در بهینه‌سازی استوار پارامترها غیرقطعی و گسسته می‌باشند (گنجی‌افسوران، ۱۳۹۸).

۵. پیشینه پژوهش

زرین‌پور و امیدواری (۱۳۹۹) در پژوهشی یک مدل ریاضی برای طراحی زنجیره تأمین نفت خام با در نظر گرفتن مسائل مربوط به مکان‌یابی تسهیلات، تخصیص تقاضا، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و توزیع ارائه دادند. در مدل پیشنهادی، الزامات زیست‌محیطی مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته خواهد شد و به‌موجب آن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل نفت نمی‌تواند از یک مقدار مشخص فراتر رود. نظر به اینکه در دنیای واقعی به ندرت می‌توان مقدار دقیق پارامترها را مشخص کرد، عدم‌قطعیت پارامترهای بودجه، ظرفیت حمل‌ونقل، ظرفیت واحدهای بهره‌برداری، میزان صادرات، مقدار استخراج و تولید نفت خام، تقاضای محصولات پالایشگاهی و میزان تولید آن‌ها در مدل پیشنهادی لحاظ می‌شود. برای برخورد با عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مدل از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. نتایج عددی

کارایی مدل پیشنهادی را تأیید می‌کنند و نشان می‌دهند با افزایش سطح عدم‌قطعیت سودآوری کاهش می‌یابد؛ اما می‌توان با مهار عدم‌قطعیت پارامترها و مدیریت مناسب تولید و توزیع سودآوری زنجیره تأمین نفت را تضمین کرد.

صفری و برادران (۱۳۹۸) یک مدل مکان‌یابی دو هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند. در این مقاله، زنجیره تأمین حلقه بسته با محصولات متنوع (چند محصولی) مطالعه شده و یک مدل برنامه‌ریزی خطی ریاضی دو هدفه (کاهش هزینه‌های کل زنجیره و میزان آلایندگی‌های زیست محیطی) به منظور تعیین متغیرهای راهبردی مساله شامل مکان‌یابی مراکز تولید، جمع‌آوری و انهدام محصولات و متغیرهای عملیاتی در دوره‌های مختلف برنامه‌ریزی (چند دوره‌ای) شامل جریان‌های بین تسهیلات به تفکیک وسایل نقلیه و موجودی‌های هر تسهیل ارائه شده است. به دلیل وجود عدم قطعیت در پارامترهایی مانند تقاضا و میزان کالای برگشتی از مشتریان، مدل پیشنهادی در شرایط عدم قطعیت (بهینه‌سازی استوار) توسعه یافته است. ضمن بررسی اعتبارسنجی مدل، کاربرد مدل پیشنهادی برای طراحی شبکه تأمین و بازیافت بطری‌های شیشه‌ای با هدف کاهش هزینه‌های احداث مراکز و حمل و نقل‌ها برای محصولات مختلف و در کل دوره برنامه‌ریزی به اضافه کمینه کردن کل گاز دی‌اکسید کربن تولیدی بررسی شده است. تحلیل حساسیت مدل بهینه‌سازی استوار در پایان انجام گرفته است.

پاپی و همکاران (۱۳۹۷) به ارائه مدل برنامه‌ریزی بهینه استوار زنجیره عرضه نفت خام و توسعه بهینه میادین نفتی در شرایط عدم قطعیت: مطالعه موردی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب ایران پرداختند. در این تحقیق، بهینه‌سازی در فعالیت‌های بخش بالادستی صنعت نفت بررسی می‌شود و مسئله مدیریت زنجیره تأمین نفت‌خام مدل‌سازی و حل می‌گردد. هدف از تحقیق آنها، ارائه یک مدل بهینه‌سازی ریاضی به‌منظور کمک به تصمیم‌گیری در زمینه بهره‌برداری از میادین نفتی و مدیریت زنجیره تأمین نفت‌خام است، به‌طوری‌که سود خالص فعلی حاصل از تولید و فروش نفت‌خام بیشینه گردد. برای این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته چند دوره‌ای ارائه شد که در آن، متغیرهای تصمیم‌گیری استراتژیک و عملیاتی از جمله تعیین مکان حفاری چاه‌ها، مکان‌یابی بوسترها و واحدهای تولید (بهره‌برداری)، نحوه نصب خطوط لوله بین تسهیلات، میزان استخراج نفت‌خام و در نهایت مقدار تولید و عرضه نفت‌خام طی دوره‌های یک افق زمانی معین، محاسبه می‌شود. از آنجا که پارامترهای قیمت و تقاضای نفت‌خام در تصمیمات زنجیره تأمین نفت‌خام بسیار مهم و تأثیرگذار بوده و مقدار این دو پارامتر معمولاً با عدم‌قطعیت‌های تصادفی و یا شناختی همراه می‌باشند، در مدل پیشنهادی، از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار جهت مواجهه با عدم‌قطعیت آن‌ها استفاده شده تا ریسک تصمیمات کنترل گردد. در بخش پایانی تحقیق، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل و رویکرد حل پیشنهادی، به مطالعه موردی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب ایران پرداخته شده و از نرم‌افزار GAMS (CPLEX Solver) جهت اجرای مدل پیشنهادی استفاده شده است. نتایج عددی، کاربردی بودن بالای مدل MILP ارائه شده را نشان می‌دهد که با استفاده از آن می‌توان به بیشینه کردن NPV فروش نفت‌خام در افق‌های زمانی دلخواه پرداخت. همچنین دو معیار بهینه بودن و امکان‌پذیر بودن نتیجه به‌دست آمده، صحت رویکرد RPP پیشنهادی را در جهت کنترل بهینه عدم‌قطعیت تصدیق می‌نماید.

قلیان‌جویباری و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به مدل‌سازی زنجیره تأمین مواد غذایی با استفاده از روش‌های فراابتکاری و تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. در این پژوهش زنجیره تأمین مواد غذایی کشاورزی به صورت چندهدفه و با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی حل گردیده است. رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حل این مساله انتخاب شده است. همچنین

برای حل مساله در ابعاد بزرگ با توجه به NP-Hard بودن مساله از روش الگوریتم کشتل[1] استفاده شده است. برای ارزیابی جواب‌های حاصله از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده گردیده است.

بتهایی و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود به طراحی مدل نوینی از مکان‌یابی- تخصیص و مسیریابی با در نظر گرفتن همزمان تحویل در زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند. در این مدل زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفت. تقاضای غیرقطعی مشتریان در این مساله با استفاده از سناریوهای مختلف در مدل وارد گردید. جهت حل مساله در ابعاد کوچک از روش برنامه‌ریزی احتمالی- استوار فازی استفاده شده بود. همچنین روش‌های حل NSGA II و MOPSO جهت حل در ابعاد بزرگ مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج پژوهش نشان از کارایی روش حل مدل در ابعاد کوچک و برتری روش NSGA II برای حل در ابعاد بزرگ را نشان داد.

یون و همکاران (۲۰۲۲) مدل چند دوره‌ای زنجیره تأمین هیدروژن مشتق از گاز طبیعی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. تابع هدف اصلی مساله به حداقل رساندن هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تولید هیدروژن است. روش مورد استفاده مدل‌سازی نیز برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح است.

زارعی و امین‌ناصری (۲۰۱۹) زنجیره تأمین گاز طبیعی را مورد بررسی قرار دادند. مدل مورد استفاده یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته بود.تابع هدف اصلی مدل کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به هزینه‌های انتقال گاز بین خطوط لوله، تخصیص و مکان‌یابی تسهیلات، ظرفیت خطوط مورد نیاز جهت انتقال، تعداد خطوط لوله، توسعه ظرفیت، استحصال، تولید، توزیع، ذخیره‌سازی، صادرات و واردات می‌باشد. در این مدل از روش سناریونگاری استفاده گردیده است. حجم تقاضا برای این مدل به صورت پارامتر تصادفی در نظر گرفته شده است.

٦. بحث و نتیجه‌گیری

در حوزه مدل‌های تصمیم‌گیری کمّی، رویکردهای مختلفی توسعه داده شده است که عبارتند از: رویکردهای رفتاری، رویکردهای سازمانی، رویکردهای مبتنی بر پژوهش عملیاتی و رویکردهای مبتنی بر تصمیم‌گیری و تحلیل‌های چند معیاره. در حوزه پژوهش عملیاتی، روش‌های کمی زیادی برای کمک به روند تصمیم‌گیری وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی خطی اشاره کرد. روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل شبکه‌ای، تاپسیس، الکتره و اسمارت نیز زیرمجموعه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره محسوب می‌شوند؛ اما باید توجه نمود که مدیران در دنیای کنونی با میزان زیادی از عدم قطعیت مخصوصاً در حوزه‌های مرتبط با زنجیره تأمین مواجه‌اند و علاوه بر آن در موارد زیادی زمان و اطلاعات کافی برای تصمیم‌گیری وجود ندارد. بنابراین عملاً استفاده از این روش‌ها در بسیاری از موارد غیرممکن است. در این زمان است که روش‌های مکمل و جایگزین توسط تصمیم‌گیران باید مورد استفاده قرار گیرند.

واضح است که تمام فعالیت‌ها و رخدادهای زنجیره تأمین در معرض عدم قطعیت قابل توجهی هستند. عدم قطعیت درگیر در زنجیره تأمین گاز طبیعی را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود: ۱) محیطی و ۲) سیستمی. عدم قطعیت محیطی

[1] Keshtel Algorithm

به عملکرد هر یک از اعضای زنجیره تأمین شامل تأمین کنندگان، تولیدکنندگان و غیره نسبت داده می‌شود. عدم قطعیت‌های سیستمی به فرآیندهای معمول در زنجیره تأمین نسبت داده می‌شوند؛ از جمله: تولید، توزیع و غیره. عدم قطعیت فوق‌الذکر به صورت منفی بر کیفیت تصمیمات اتخاذ شده در سطوح استراتژیک، تکنیکی و عملیاتی زنجیره تأمین اثر می‌گذارد. با توجه به نکات اشاره شده در متن مقاله، و لزوم در نظر گرفتن عدم قطعیت در اتخاذ تصمیمات مختلف در شبکه زنجیره تأمین، می‌بایست در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین گاز طبیعی، این دو جنبه عدم قطعیت در نظر گرفته شده و آن‌ها را به گونه‌ای با هم هماهنگ نمود تا به صورت بهتر و بهینه‌تری ویژگی‌های عملی مشکلات دنیای واقعی را نشان دهند که برای این منظور، روش‌های بهینه‌سازی پیشرفته‌تری مانند برنامه‌ریزی تصادفی، برنامه‌ریزی استوار، برنامه‌ریزی فازی و غیره به کار گرفته شود.

در حالت کلی مسائل تصمیم‌گیری به سه حوزه قطعیت، ریسک و عدم قطعیت تقسیم می‌شوند. در حوزه قطعیت، همه پارامترها قطعی و معلوم هستند. در محیط‌های دارای ریسک، پارامترهای غیرقطعی وجود دارند که مقدار آن‌ها توسط توزیع‌های احتمالی مشخص قابل تخمین است. مسائلی که در این حوزه مطرح می‌شوند بهینه‌سازی تصادفی نامیده می‌شوند. در فضای عدم قطعیت، پارامترها غیرقطعی بوده و به علاوه هیچ اطلاعاتی در مورد توزیع احتمالی آن‌ها در دسترس نیست. مسائلی که در حوزه عدم قطعیت وارد می‌شوند، مسائل بهینه‌سازی استوار نامیده می‌شوند که در آن‌ها تلاش بر این است که عملکرد سیستم در بدترین حالت بهینه شود. در این رویکرد به دنبال جواب‌های نزدیک به بهینه‌ای هستیم که با احتمال بالایی موجه باشند. به عبارت دیگر با کمی صرف نظر کردن از تابع هدف، موجه بودن جواب به دست آمده را تضمین می‌کنیم. در رویکرد برنامه‌ریزی فازی بعضی از اجزای مدل به صورت اعداد فازی در نظر گرفته می‌شوند. در واقع در مورد اطلاعات مبهم، تئوری مجموعه‌های فازی و برنامه‌ریزی فازی را می‌توان برای مقابله با بخش بزرگی از عدم قطعیت‌ها در موقعیت‌های واقعی زندگی به کار برد.

References

Al-Haidous, S., & Al-Ansari, T. (2020). Sustainable Liquefied Natural Gas Supply Chain Management: A Review of Quantitative Models. Sustainability, 12(1).

Ahmadi, E., Maleki, M. H., Sanavi Fard, R., & Fathi, M. R. (2020). Futures Studies of Supply Chain in Oil Industry with Scenario Planning Approach. Semiannual Journal of Iran Futures Studies, 5(1), 81-104.

Bathaee, M., Nozari, H., & Szmelter-Jarosz, A. (2023). Designing a New Location-Allocation and Routing Model with Simultaneous Pick-Up and Delivery in a Closed-Loop Supply Chain Network under Uncertainty. Logistics, 7(1).

Behzadi, M., & Seifbarghi, B. (2019). Two-Stage and Robust Stochastic Optimization of Closed-Loop Supply Chain Network under Uncertainty. Production and Operations Management, 9(2), 77-97.

Eghtesad, A. S. (2020). Perspective of IRAN’s Electricity and Natural Gas in 2040. Majlis Research Center, Report: 16404. (in Persian).

Farrokh, M. (2016). Closed Loop Supply Chain with Fuzzy Robust Optimization (Case Study: Niroo Battery). PhD Thesis, University of Tehran, Operation Research.

GanjiAfsooran, M. (2020). Robust Optimization in Multi-Objective Problems. PHD Thesis, Operation Research, Shahid-Chamran University. (in Persian).

Ghaderi, M. (2019). Robust Optimization for Design Closed Loop Supply Chain. Master Thesis, Gavazang, Zanjan. (in Persian).

Gholian-Jouybari, F., Hashemi-Amiri, O., Mosallanezhad, B., & Hajiaghaei-Keshtli, M. (2023). Metaheuristic algorithms for a sustainable agri-food supply chain considering marketing practices under uncertainty. Expert Systems with Applications, 213, Part A.

Hassanpour, H. A., Taheri, M. R., & Mikaeli, F. (2021). Designing a food supply chain network based on customer satisfaction under uncertainty. Journal of Business Administration Research, 13(26), 395-430. (in Persian).

Kammammettu, S., & Li, Z. (2023). Scenario reduction and scenario tree generation for stochastic programming using Sinkhorn distance. Computers & Chemical Engineering, 170, 108-122.

Mahmoodi, M. (2018). Studying a parametric method for solving linear programming problems under uncertainty. Master Dissertation, Applicant Mathematic, Mazandaran University. (In Persian)

Mohammadi, R., & Mohammadi, D. (2021). A Review of Metaheuristic Algorithms. Arshadan Publisher, ISBN: 6220801865. (in Persian).

Mohammadi, R. (2023). Advanced Operations Research (Modeling from Beginner to Advanced). Publisher: Andishmand Publishing. Co, ISBN: 978-622-5328-03-7. (in Persian).

Naseri, S. H., & Bavandi, S. (2017). Presentation of a model for solving multi-objective programming problems using the hyperbolic membership function. Journal of Operational Research and Its Applications (Applied Mathematics), 14(4), 21-33. (in Persian).

Papi, A., Jabbarzadeh, A., Ghaderi, S. F., & Pishavee, M. S. (2018). Robust Optimal Crude Oil Supply Chain Planning and Oilfield Development under Uncertainty: Case Study of the National Iranian South Oil Company. Quarterly Energy Economics Review, 14(8), 27-64. (in Persian).

Safari, Z. (2019). A Bi-Objective Model to Design Closed-Loop Supply Chain Network under Uncertainty. Industrial Management Studies, 17(54), 223-262. (in Persian).

Salehi Moghadam, SH., Taghavifard, M. T., bbaspour Esfandan, G., & Alirezaei, A. (2022). Multi-Objective Supply Chain Model with Stochastic Demand: An Optimization Approach Based on Simulation and Scenario Development. Journal of Industrial Management Studies, 20(66), 197-249.

Szmelter-Jarosz, A., Ghahremani-Nahr, J., & Nozari, H. (2021). A Neuromorphic Fuzzy Optimization Model for Optimal Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network during COVID-19. J. Risk Financial Manag, 14, 519.

Song, M., Gao, C., Shahidehpour, M., Li, Z., Yang, J., & Yan, H. (2018). Impact of Uncertain Parameters on TCL Power Capacity Calculation via HDMR for Generating Power Pulses. IEEE Trans. Smart Grid, 10, 3112–3124.

Yahyazadeh-Anvari, Y., Olfat, L., & Amiri, M. (2016). Robust Optimization in Supplier Selection and Order Allocation, Industrial Management Studies, 14(40), 25-52. (in Persian).

Yoon, H. J., Seo, S. K., & Lee, C. J. (2022). Multi-period optimization of hydrogen supply chain utilizing natural gas pipelines and byproduct hydrogen. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 157.

Zarei, J., & Amin-Naseri, R. (2019). An integrated optimization model for natural gas supply chain. Energy, 185, 1114-1130.

Zarrinpoor, N., & Omidvari, Z. (2021). A Robust Optimization Model for the Strategic and Operational Design of the Oil Supply Chain. Journal of Industrial Management Perspective, 10(4), 155-191.