-- Iranian Energy Economics------
Summer 2023, 45(12), 41-69
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.72228.1979

ATU PRESS

Original Research
Received: 23/Jan/2023
Accepted: 24/Jan/2023
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Value Chain Analysis of Petrochemical Products and Providing an Optimized Pattern of Petrochemical Production: Application of Fuzzy Multi-Object Linear Planning for Producing Petrochemical Products

Hamid Amadeh — Associate Professor of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
Abdolrasoul Ghasemi — Associate Professor of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
Hojjatollah Mirzaei — Assistant Professor of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
Hamid Bakhtiari* — Ph.D. Candidate in Oil and Gas Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Abstract

This paper focuses on the analysis of the petrochemical products manufacturing value chain and the presentation of petrochemical products' optimal manufacturing pattern in petrochemical industries affiliates of pension funds. The case study in this research is JAM and MASJIDSOLEYMAN Petrochemical companies. Period of this research is 5 years. In this case study, the determiner faces paradoxical objectives simultaneously. The fuzzy multi-objective linear programming (FMOLP) method has been used based on the α-cut of fuzzy parameters in this research. The goal of this research is to extract the amount of products that have maximized profit and value-added and minimized risk simultaneously which face technological, market, financial, budget, legal, and national interest-related limitations. This method is often interested in the proper POSs that have finite tradeoffs between objective functions. One numerical sample has been used to show the possibility of using the said method in multi-objective optimizing issues for the production of propylene. Because of the efficiency and satisfaction of the obtained new solutions for this method, this method undoubtedly can be useful to solve the FMOLP problems. A decrease in the production of ethylene and light polyethylene and an increase in propylene and butadiene production is the most important policy recommendation of this research.

Keywords: Production Chain, Planning the Production, Petrochemical Industries, Petrochemical

JEL Classification: Q32 , L71 , C65 , C61

* Corresponding Author: Hamid_bakhtiari1382@yahoo.com
How to Cite: Amadeh, H., Ghasemi, A., Mirzaei, H., Bakhtiari, H. (2023). Value Chain Analysis of Petrochemical Products. Providing an Optimized Pattern of petrochemical Production: Application of Fuzzy Multi-Object Linear Planning for Producing Of Petrochemical Product. Iranian Energy Economics, 45 (12), 41-69.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۲، شماره ۴۵، زمستان ۱۴۰۱، ۴۱-۶۹
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.72228.1979

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

تحلیل زنجیره ارزش تولید محصولات پتروشیمی و ارائه الگوی بهینه تولید محصولات پتروشیمی: کاربرد برنامه‌ریزی چند هدفه فازی در تولید محصولات پتروشیمی

حمید آماده | دانشیار اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
عبدالرسول قاسمی | دانشیار اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
حجت‌الله میرزایی | استادیار اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
حمید بختیاری* | دانشجوی دکتری رشته اقتصاد نفت و گاز، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله به تحلیل زنجیره ارزش تولید محصولات پتروشیمی و ارائه الگوی بهینه تولید محصولات پتروشیمی در صنایع پتروشیمی وابسته به صندوق‌های بازنشستگی پرداخته شده است. جامعه مورد مطالعه شرکت پتروشیمی جم و مسجد سلیمان می‌باشد. دوره زمانی مورد نظر ۵ سال می‌باشد. در جامعه مورد مطالعه، تصمیم‌گیرنده به‌طور همزمان با اهداف متناقضی روبه‌روست. در این تحقیق از برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی براساس برش «آلفا» پارامترهای فازی استفاده شد. هدف این تحقیق، استخراج تولید بهینه هریک از محصولات به نحویست که به‌طور همزمان حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی ریسک و حداکثرسازی ارزش افزوده حاصل گردد و محدودیت‌های مختلفی از جمله محدودیت‌های زیست محیطی، محدودیت‌های منابع، تکنولوژیک، بازاری، مالی و زیست محیطی لحاظ گردد. این روش برای مواردی مطلوب است که دارای معاوضه‌های محدودی بین توابع هدف هستند. یک نمونهٔ عددی برای نشان دادن امکان به کار بردن روش مذکور در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه برای تولید اولفین‌ها از گاز طبیعی استفاده شده است. با توجه به کارایی و رضایت‌بخش بودن راه‌حل‌های جدید به‌دست‌آمده در این روش، این روش می‌تواند برای حل مسائل برنامه ریزی خطی چند هدفه فازی مفید باشد. کاهش مقدار تولید اتیلن، کاهش مقدار تولید پلی اتیلن سبک ، و افزایش تولید بوتادین و پروپیلن مهمترین توصیه سیاستی این تحقیق می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تولید، برنامه‌ریزی تولید، صنایع پتروشیمی، محصولات پتروشیمی

طبقه‌بندی JEL: C61 , C65 , L71 , Q32

* نویسنده مسئول: Hamid_bakhtiari1382@yahoo.com

۱. مقدمه

ایران یکی از نقاط استراتژیک در نقشه انرژی جهان می‌باشد که از منابع عظیم نفت وگاز بهره‌مند است. ایران با در اختیار داشتن بیش از ۳۳ تریلیون متر مکعب ذخایر متعارف گاز طبیعی و ۱۵۷ میلیارد بشکه ذخایر قابل برداشت نفت خام، از پتانسیل و مزیت نسبی مناسبی برای توسعه صنعت پتروشیمی با هدف تکمیل زنجیره ارزش نفت و گاز برخوردار است. (میرجلیلی و توسلی، ۱۳۹۷) وابستگی بالای درآمدهای صادراتی کشور به درآمد حاصل از صادرات نفت سبب شده است که هرگونه تغییر در قیمت‌های نفت برنامه‌های اقتصادی و عمرانی کشور را با تغییر مواجه ساخته و درنتیجه روند رشد اقتصادی کشور را دستخوش نوسانات ناخواسته می‌سازد. لذا توجه به صادرات غیرنفتی و بهبود عملکرد صنعت پتروشیمی می‌تواند یکی از حیاتی‌ترین برنامه‌های توسعه کشور در سال‌های اخیر باشد.

در برنامه‌های توسعه اخیر کشور توجه خاصی به صنعت پتروشیمی شده و پروژه‌های زیادی در حال احداث می‌باشد. پرسش این است که چه ساز و کارهایی برای منطقی نمودن فرآیند تولید در زنجیره‌های آن برای این صنعت در کشور مورد توجه قرار گرفته است به نحوی‌که سودآوری و ارزش افزوده بیشتری را برای این صنعت فراهم نماید و آیا اصولا «برای حضور در عرصه پر رقابت بازار بین‌المللی محصولات پتروشیمی بینش علمی و همه جانبه‌نگر در صنعت پتروشیمی کشور وجود دارد؟» در این مقاله تلاش شده است تا ضمن تحلیل زنجیره ارزش تولید محصولات پتروشیمی در شرکت‌های زیر مجموعه صندوق بازنشستگی کشوری مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی، الگوی بهینه تولید این محصولات ارائه گردد. از این رو در ابتدا مبانی نظری تحقیق ارائه شده است و پس از آن پیشینه تحقیقات مرتبط مورد بررسی قرار گرفته است. سپس مدل تحقیق مورد بررسی و تصریح قرار گرفته و در ادامه با استفاده از داده‌های شرکت‌های مورد مطالعه و مدل مذکور، مقدار بهینه تولید استخراج گردیده و در نهایت ضمن جمع‌بندی، توصیه‌های سیاستی نیز ارائه گردیده است.

۲. مبانی نظری

صنعت پتروشیمی به آن دسته از صنایعی اطلاق می‌شود که در آن‌ها هیدروکربورهای نفت با گاز طبیعی از طریق تغییر شکل یا فعل و انفعالات شیمیایی به محصولات جدیدی تبدیل

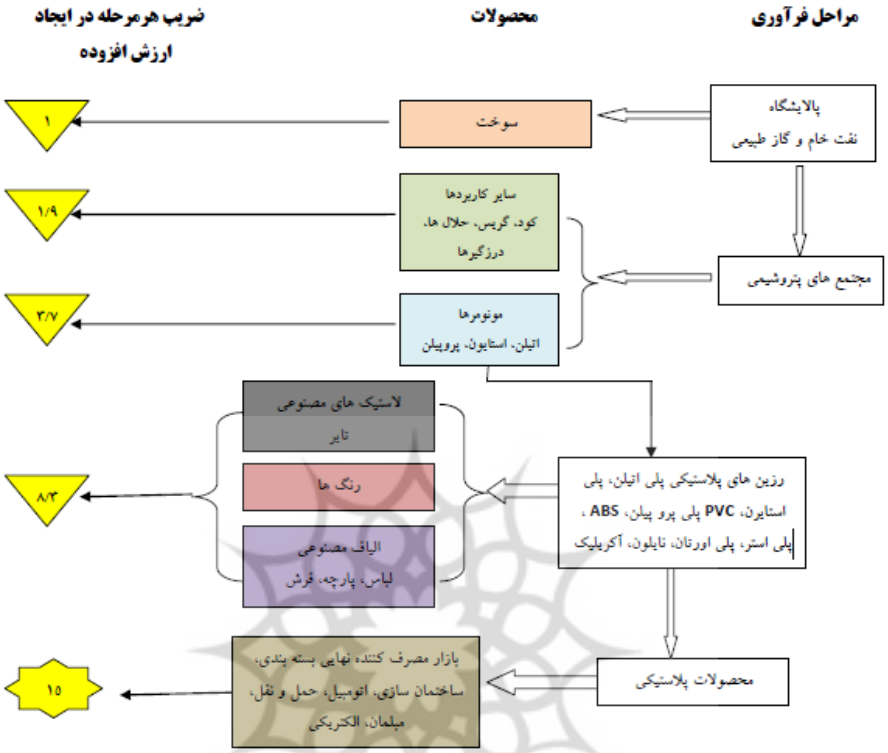
می‌شوند. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان فرآیند تولید محصولات پتروشیمی را زنجیره‌ای از اجزای زیر معرفی کرد که هر چه سمت و سوی حرکت در طول این زنجیره به سمت حلقه‌های تکمیلی باشد، مزایای ارزش افزوده بیشتر، اشتغال‌زایی، توسعه تکنولوژی و تنوع‌پذیری محصولات را برای کشور به ارمغان می‌آورد:

جزء اول شامل صنایع پایه (صنایع بالادستی پتروشیمی) است. خوراک محصولات تولید شده در این زنجیره به‌طور مستقیم از محصولات هیدروکربوری نفت یا گاز طبیعی تأمین می‌شود. ازجمله محصولات تولید شده در این گروه می‌توان به محصولات شیمیایی ازجمله متانول، اتیلن، پروپیلن، اوره و آمونیاک، آروماتیک‌ها و ... اشاره کرد. جزء دوم را صنایع میانی تشکیل می‌دهند. این صنایع خوراک خود را از محصولات تولید شده در صنایع پایه (جزء اول) تأمین و انواع پلیمرها از قبیل پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پی.وی.سی، محصولات شیمیایی میانی متعدد از جمله اسید استیک، ام.تی.بی.ای (اکتان افزا) و بسیاری محصولات دیگر تولید می‌کنند و جزء سوم را صنایع تکمیلی پتروشیمی تشکیل می‌دهند این صنایع صنایعی هستند که مواد اولیه خود را عمدتا از صنایع میانی تأمین می‌کنند و در اغلب موارد محصول تولیدی خود را به صنایع مصرفی و مصرف‌کننده نهایی تحویل می‌دهند. صنایع لاستیک و پلاستیک، شوینده‌ها، رنگ و رزین، در این گروه قرار می‌گیرند. علاوه بر این اجزاء، صنایع جانبی نیز می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. این صنایع، صنایع تأمین‌کننده قطعات و ماشین آلات و صنایع ارائه‌دهنده خدمات فنی و مهندسی مورد نیاز صنعت پتروشیمی را شامل می‌شود. (اسفندیاری و مرادی، ۱۳۹۱)

❖ ارزش افزوده در زنجیره تولید پتروشیمی و لزوم توجه به آن

زنجیره ارزش در صنعت پتروشیمی کشور به واسطه ایجاد ارزش افزوده‌ای که می‌تواند به صورت بالقوه خلق نماید می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. نفت خام و گاز طبیعی با تکیه بر دانش فنی و قرار گرفتن در زنجیره ارزش می‌توانند تا ۱۵ برابر ارزش خود در مقایسه با زمانی که تبدیل به سوخت می‌شوند ایجاد ارزش نمایند. (مولهال و برایسون، ۲۰۱۴)

شکل ۱. ضرایب ارزش افزوده نفت و گاز



مأخذ: مولهال و برایسون، ۲۰۱٤

در حوزه حمایت از صادرات و تکمیل زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز به‌طور خاص می‌توان به بندهای «۱۰»، «۱۳» و «۱۵» سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی اشاره کرد. در بندهای «۱۰»، «۱۳» و «۱۵» به ترتیب به افزایش صادرات به تناسب ارزش افزوده، افزایش صادرات پتروشیمی و تکمیل زنجیره ارزش نفت و گاز و بالابردن صادرات پتروشیمی اشاره شده است که تمامی این موارد به افزایش ارزش صادرات محصولات پتروشیمی کشور از طریق تکمیل زنجیره ارزش نفت و گاز و پتروشیمی اشاره دارد. (میرجلیلی و توسلی، ۱۳۹۷)

عمده محصولات تولیدی در پتروشیمی ایران را می‌توان در ۵ دسته کلی جای داد که به تفصیل در جدول زیر آمده است. واحدهای پتروشیمی بر اساس مجموعه‌ای از عوامل و مزیت‌های رقابتی به تولید یک یا چند دسته از این محصولات می‌پردازند.

جدول ۱. محصولات اصلی پتروشیمی ایران

الفین‌ها	آروماتیک‌ها	محصولات شیمیایی	پلیمرها	کودها	خوراک و سوخت‌ها
اتیلن پروپیلن بوتادین	بنزن تولوئن مخلوط زایلین‌ها	متانول اتیلن گلایکول اسید استیک فرمالدهید منواتیلن گلایکول الکیل بنزن خطی اتیلن دی کلراید وینیل کلراید منومر ترفتالیک اسید اتیل هگزانول وینیل استات منومر	پلی اتیلن پلی پروپیلن پلی استایرن PET ABS PVC PC SBR PBR	آمونیاک اوره	اتان پروپان بوتان برش سبک و سنگین

مأخذ: میرجلیلی و توسلی، ۱۳۹۷

یکی از ارزشمندترین مواد قابل استخراج از ذخایر هیدروکربوری اولفین‌ها هستند. اتیلن اولین ماده پایه صنعت پتروشیمی می‌باشد. پروپیلن ماده اصلی تولید پلی پروپیلن می‌باشد. پروپیلن، بعد از اتیلن، دومین ماده پایه صنعت پتروشیمی از حیث میزان مصرف در دنیا است. پلی پروپیلن با سهم ۶۶ درصدی در زنجیره ارزش این ماده، بیشترین سهم را در مصرف پروپیلن در دنیا دارا می‌باشد. سایر محصولات کلیدی و باارزش، همچون پروپیلن اکساید با ۸ درصد، آکریلونیتریل ۷ درصد، آکریلیک اسید با ۴ درصد، کیومن با ۴ درصد، دو اتیل هگزانول با ۴ درصد در جایگاه دوم تا ششم از حیث میزان مصرف پروپیلن قرار دارند. بوتانول و ایزوپروپانول نیز با ۳ و ۱ درصد در جایگاه‌های بعدی مصرف پروپیلن هستند. (انصاری، ۱۳۸۵)

پلی پروپیلن که با نام اختصاری PP شناخته می‌شود، یکی از اصلی‌ترین و پرمصرف‌ترین پلیمرهای دنیا است که برای نخستن بار در دهه ۱۹۵۰ در مقیاس آزمایشگاهی تولید شد. این پلیمر، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده پروپیلن است که ابتدا از طریق پلیمریزاسیون به روش زیگلر- ناتا و با ساختار n(CH2CH(CH3)--) تولید و در سال ۱۹۵۴ تولید آن به صورت صنعتی آغاز شد. پلی پروپیلن صنعتی در مقایسه با سایر پلیمرها دارای ویژگی عدم جذب رطوبت است و به همین دلیل کاربرد آن در صنعت پلاستیک و الیاف رو به افزایش است.

در حال حاضر ظرفیت اسمی تولید پروپیلن ایران ۱ میلیون و ۱۱۵ هزار تن در سال است که تمامی این ظرفیت مبتنی بر روش‌های با بازدهی پایین می‌باشد. ۹۵ درصد پروپیلن

تولیدی در کشور به پلی پروپیلن و تنها ۵ درصد آن نیز در مجتمع پتروشیمی شازند اراک به دو اتیل هگزانول تبدیل می‌گردد. این در حالی است که سایر محصولات با ارزش موجود در زنجیره ارزش این ماده استراتژیک به دلایل مختلف از جمله نبود پروپیلن کافی در داخل کشور تولید نمی‌شوند. (میرجلیلی و توسلی، ۱۳۹۷)

با توجه به وجود منابع متنوع گازی و پراکندگی مکان‌های دارای قابلیت توسعه صنعت پتروشیمی در ایران، می‌بایست بررسی‌های دقیقی بر روی انتخاب سطح بهینه تولید محصولات پتروشیمی در کشور صورت پذیرد.

۳. پیشینه پژوهش

عبدالسّتار صفایی و رضا برادران کاظم زاده در سال ۱۳۸۷ در مقاله «مدل برنامه‌ریزی تولید یکپارچه در زنجیره تأمین» برنامه‌ریزی تولید را در شرکت‌های بزرگ که دارای چند سایت تولیدی می‌باشند را مورد بررسی قرار داده‌اند. مدل ریاضی مورد استفاده در مقاله مذکور با هدف حداقل کردن هزینه‌های کلی تولید، با در نظر گرفتن محدودیت‌های پوشش تقاضا در دوره زمانی مورد نظر فرمول‌بندی شده است. هریک از سایت‌ها با توجه به نوع تکنولوژی، ماشین آلات، نیروی انسانی و دسترسی به منابع و نوع راه‌های ارتباطی با دیگر سایت‌ها عملکردی متفاوت دارند. درواقع در این حالت تمرکز مدیران از منافع رقابتی به شکل منفرد به کل زنجیره تأمین تغییر یافته است و قابلیت رقابت یک بنگاه چند سایتی به شدت به توانایی و انعطاف‌پذیری آن در پاسخگویی به تغییر تقاضا در بازار مشتریان بستگی دارد و دلیل حرکت بسیاری از بنگاه‌ها به سمت تولید ناب براساس سفارش انبوه نیز همین نکته است. (صفایی و کاظم‌زاده، ۱۳۸۷)

محمدرضا مهرگان، عالیه کاظمی و امین کامیاب مقدس در تیرماه ۱۳۸۹ در مقاله «انتخاب مدل مناسب برنامه‌ریزی تولید برای صنعت سیم و کابل» به بررسی طراحی مدل مناسب برنامه‌ریزی تولید برای صنعت سیم و کابل پرداخته‌اند. ایشان در این پژوهش به بررسی برنامه‌ریزی تولید تلفیقی و چند روش تحقیق در عملیات شامل: برنامه‌ریزی خطی، آرمانی و روش تاپسیس[1] پرداختند و نهایتاً با استفاده از روش تاپسیس مناسب‌ترین مدل برای تولید انتخاب شد. (مهرگان و همکاران، ۱۳۸۹)

1. Topsis

عادل آذر و اکرم السادات حسینی در پاییز ۱۳۹۳ مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی مدل برنامه‌ریزی تولید چند محصولی در زنجیرهٔ تأمین براساس رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی» برنامه‌ریزی تولید صنعت برنز را در کشور بررسی نموده‌اند. در مدل مورد استفاده در مقاله مذکور از برنامه‌ریزی آرمانی برای ترکیب توابع هدف و رسیدن به جواب بهینه استفاده شده است. برنامه‌ریزی آرمانی یکی از مهم‌ترین مواد مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه است، درواقع در این پژوهش بیان داشتند که در برنامه‌ریزی آرمانی تصمیم‌گیرنده برای هریک از اهداف خود یک سطح مطلوب عددی تعیین می‌کند و آن‌ها را به‌عنوان آرمانی در نظر می‌گیرد که تلاش مدل در رسیدن به آن‌هاست. (آذر و حسینی، ۱۳۹۳)

گروه آموزشی مهندسی صنعت دانشگاه هانی یانگ مطالعه‌ای در باب بررسی مدل بهینه‌سازی تجزیه و تولید در زنجیره تأمین انجام دادند. طی این بررسی در این مقاله دو تفاوت در تعیین موقعیت تجزیه وجود دارد. تعیین‌کننده‌های استراتژی و تعیین‌کننده‌های آنالیز. داده‌های آنالیز شده از مدل‌های ریاضی و یا مدل‌های تقلیدی برای ایجاد وضعیت بهینه‌سازی تجزیه به کار می‌روند. این مقاله درواقع فرم خاصی از میزان تقاضای پایدار را از چرخه تولید بررسی می‌کند. در واقع چنین به نظر می‌آید که نتیجه نهایی براساس مدل ریاضی است که تحت تئوری کنترل بهینه به راه‌حل بهینه دست یافته است، به علاوه در این بررسی به تأثیرات پیش بینی اشتباهات و مدت چرخه تولید بر اساس مقیاس پرداخته شده است. مهم‌ترین ایراد در مدل جن[1] تعیین کردن تولید نهایی و سطح دارایی نهایی است که هر دو به میزان زیادی به سیاست برنامه بستگی دارد. درواقع این پژوهش مشکل موقعیت جداسازی برنامه‌ریزی تولید و استراتژی موجود را هم در نظر گرفته است و راه حل پیشنهادی را بر پایه مدل ریاضی که براساس نظریه کنترل بهینه است ارائه می‌دهد. (هائو و همکاران، ۲۰۰۷)

رویکرد دیگر برای حل مسألهٔ زمان‌بندی تک ـ ماشین چند هدفه توسط لی و همکاران نشان داده شده است. آن‌ها از ارزش‌های زبانی برای ارزیابی هر معیار (بسیار ضعیف، ضعیف، مناسب، خوب و بسیار خوب) و بازنمایی ارزش‌های نسبی آن‌ها (بسیار غیرمهم، غیرمهم، نسبتاً مهم، مهم، و بسیار مهم) استفاده کردند. هم چنین، از روش جستجوی ممنوع به‌عنوان ابزاری تصادفی برای یافتن راه حلی نسبتاً بهینه برای یک تابع هدفِ فازیِ تجمیعی استفاده شده است. (لی و همکاران، ۲۰۰۲)

1. GEN

توکلی مقدم و همکاران رویکرد فازی برنامه‌ریزی هدف را برای حل مدل مختلط عدد صحیح یک مسألهٔ زمان‌بندی تک ـ ماشینی را ارائه نمودند که زمان جریان و کل تأخیر وزنی را کاهش می‌دهد. آن‌ها به دلیل ناسازگاری بین این دو هدف، رویکرد فازی برنامه‌ریزی هدف را برای حل مدل ریاضی گسترده یک مسأله زمان‌بندی تک ـ ماشینی پیشنهاد دادند. این رویکرد بر اساس میزان تمایل تصمیم گیرنده[1] و تحمل مرتبط با ارزش‌های هدف ساخته شده است. هیو و همکاران مسائل زمان‌بندی دو ـ معیاره تک ـ ماشینی را شامل دیرکرد وزنی بیشینه و تعداد کارهای دارای دیرکرد در نظر می‌گیرد. چون یکی از این دو معیار، معیار اصلی و دیگری معیار ثانویه می‌باشد، شواهد نامعین سخت را برای مسائل زمان‌بندی ارائه می‌کنند. آن‌ها روابط پیچیدهٔ بین مسائل مختلف را در نظر گرفتند و الگوریتم‌های چندجمله‌ای را برای موارد خاص و نیز الگوریتم‌های سریع ابتکاری را برای [این] مورد کلی پیشنهاد دادند. (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۶)

زیمرمان ابتدا رویکرد «برنامه‌ریزی خطی فازی»[2] خود را به مسأله «برنامه‌ریزی خطی چند-هدفه»[3] گسترش داد. او برای هر تابع هدفی این مسأله فرض کرده بود که «تصمیم‌گیرنده » هدفی فازی دارد مثلاً «تابع‌های هدف باید لزوماً کمتر یا برابر با برخی از مقادیر باشند.» سپس تابع عضویت خطی متناظر تعریف شده و کمینه اپراتور (= عامل) پیشنهادی توسط بلمان و زاده برای ترکیب همهٔ تابع‌های هدف به کار رفته است. با معرفی یک متغیر کمکی، این مسأله را می‌تواند به مسألهٔ معادل و قراردادی برنامه ریزی خطی[4] تبدیل کرد و به راحتی با روش سیمپلکس حل کرد. اثر بعدی در مورد برنامه‌ریزی فازی هدف[5] ارائه شده است. (واتس و زیمرمان، ۱۹۸۶)

فیاض روح بخش و همکاران در سال ۲۰۲۲ رویکرد برش آلفا را برای حل مسائل چندهدفه فازی ارائه داده‌اند. بر اساس برش α پارامترهای فازی، برخی راه‌حل‌های جدید ارائه شده‌اند که عبارتند از راه‌حل‌های بهینه ضعیف، مناسب و کاملاً پارتو. این روش برای مواردی مطلوب است که دارای معاوضه‌های محدودی بین توابع هدف هستند. این اولین مقاله‌ای است که انواع مختلف α-POSها را برای مسأله‌های چندهدفه فازی تعریف می‌کند

1. Decision Maker (DM)
2. Fuzzy Linear Programming (FLP)
3. Multi-Objective Linear Programming (MOLP)
4. Linear Programming (LP)
5. Fuzzy Gole Programming (FGP)

و با حفظ ماهیت فازی مسأله، آن‌ها را به دست می‌آورد. در این روش مدل مسأله (چند هدفی) تغییر نمی‌کند. بنابراین، می‌توان از روش‌های مختلفی برای حل مسائل برنامه‌نویسی چند هدفه استفاده کرد. مفهوم α-POS برای مسائل چندهدفه (MOP) با پارامترهای فازی اولین بار توسط ساکاوا[1] معرفی و بر اساس آن چندین روش تعاملی پیشنهاد شد. همچنین رویکردی توسط لوانجولا[2] پیشنهاد شد که در آن با استفاده از نزدیک‌ترین عملگر تقریب بازه، مسأله فازی ابتدا به یک مسأله غیر فازی تبدیل و سپس حل می‌شود. بر اساس این رویکردها راه‌حل جدیدی برای حل یک مسأله برنامه‌ریزی خطی چند هدفه که شامل سه نوع هدف فازی شامل «حداقل فازی»، «حداکثر فازی» و «برابر فازی» باشند، توسط روحبخش و همکاران معرفی گردید. (فیاض روح بخش و همکاران، ۲۰۲۲)

به نظر می‌رسد مطالعه دقیق و روش‌مندی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی به نحوی که بتواند چند هدف متناقض را با توجه به محدودیت‌های مختلف دنبال نماید برای بخش پتروشیمی کشور انجام نشده است. همچنین مطالعات صورت گرفته نیز توصیه سیاستی دقیقی را به‌صورت شفاف برای بهینه‌سازی تولید ارائه نداده‌اند.

٤. روش[3] / تصریح مدل

به جهت کاربرد نتایج این تحقیق در تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌ها می‌توان پژوهش حاضر را از نظر هدف کاربردی نیز نامید. لذا، از لحاظ هدف، این پژوهش از نوع کاربردی – توسعه‌ای است. از نظر نحوه گردآوری داده‌ها نیز به دلیل بررسی وضع موجود متغیرهای تحقیق و روابط آن‌ها در جامعه مورد بررسی، پژوهش حاضر جزء تحقیقات توصیفی ـ پیمایشی است.

تحقیق مورد نظر از تکنیک اصلی «برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی»[4] استفاده می‌نماید. بر پایه این تکنیک تلاش می‌گردد تا بین وضعیت موجود و وضعیت‌های آرمانی تولید محصولات پتروشیمی مقایسه و تحلیل کمّی صورت پذیرد. داده‌های کمّی مورد استفاده در پژوهش، داده‌های مقطع عرضی و داده‌های سری زمانی می‌باشد.

---

1. Sakawa
2. Luhandjula
3. Method
2. Fuzzy Multi-Objective Linear Programming (FMOLP)

❖ برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی

برنامه‌ریزی تولید فرآیند تصمیم‌گیری در مورد منابع مصرفی سازمان است که سازمان برای عملیات‌های آینده‌اش به آن‌ها نیاز دارد، و نیز تخصیص این منابع مصرفی در جهت تولید محصول مورد نظر در تعداد مورد نیاز و با کمترین هزینه، و پیش‌بینی و فراهم آوردن به موقع مجموعه عوامل مورد نیاز برای ساخت و تولید محصولات مورد نظر، و تعیین کمیّت آن‌ها می‌باشد. (مدیری و آریانژاد، ۱۳۸۵)

در این مقاله با توجه به نوع محصول، شرکت تولیدکننده محصول و بازارهایی که محصول در آن عرضه می‌شود اهدافی به شرح ذیل مورد نظر قرار گرفته است:

✓ حداکثرسازی سود شرکت تولیدکننده

$$Max\ Z_P = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{l} V_{ijk}\tilde{X}_{ijk} \qquad (۱)$$

✓ حداقل‌سازی ریسک تولید

$$Min\ Z_R = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{l} \sigma_{ijk}\tilde{X}_{ijk} \qquad (۲)$$

✓ حداکثرسازی ارزش افزوده تولید

$$Max\ Z_{VA} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{l} \alpha_{ijk}\tilde{X}_{ijk} \qquad (۳)$$

که در آن:

$\tilde{X}_{ijk}$ محصول=i شرکت=j بازار=k

V_{ijk}، σ_{ijk} و α_{ijk}، ضریب اهمیت محصول شرکت مورد نظر که در بازار مورد نظر عرضه شده است در سود، ریسک و ارزش افزوده.

همچنین محدودیت‌هایی به شرح ذیل در جهت نیل به اهداف در نظرگرفته شده است:

● محدودیت‌های تکنولوژیک: منظور آن دسته محدودیت‌هایی است که از نظر فنی مانع توسعه و گسترش تولید محصولات پتروشیمی در کشور می‌شود. از این رو فناوری‌های در نظر گرفته شده شامل فناوری‌های با بازدهی بالا از جمله تبدیل پروپان به پروپیل (PDH)، تبدیل کاتالیستی متانول به الفین‌های سبک (MTO/P) و تبدیل اتیلن و بوتیلن به پروپیلن می‌باشد.

● محدودیت‌های مالی و بودجه‌ای: این محدودیت‌ها بیشتر به واسطه فقدان نقدینگی لازم مالکین شرکت‌های پتروشیمی برای سرمایه‌گذاری، به‌روزرسانی و توسعه خطوط تولید محصولات می‌باشد.

$$I_{pt} \leq I_{ft} \times \mathrm{B} \qquad (۶)$$

I_{pt} = سرمایه‌گذاری برای تولید پروپیلن در شرکت‌های پتروشیمی در هر سال

I_{ft} = کل سرمایه بودجه سرمایه‌گذاری صندوق‌های بازنشستگی در سال

B = متوسط سهم سرمایه‌گذاری در بخش نفت و گاز از کل سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در طول سال‌های گذشته

از این رو فرض بر این گرفته می‌شود که به دلایل فقدان سرمایه لازم و همچنین محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها، تغییر فناوری‌های مورد استفاده امکان‌پذیر نبوده و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده صرفا در حد تعمیرات، نگهداری و بهسازی فرآیندهای تولیدی در کارخانه می‌باشد.

● محدودیت‌های ناشی از تأمین خوراک مجتمع‌های پتروشیمی

در این محدودیت فرض بر این گرفته می‌شود که امکان افزایش یا تغییر مقدار خوراک مصرفی در مجتمع‌های مورد بررسی وجود نداشته و تغییرات در میزان و کیفیت خوراک مجتمع‌ها عمدتا ناشی از موارد برون‌زا از جمله تغییرات فصلی و تغییر در کیفیت تصفیه خوراک تحویل داده شده در نظر گرفته شده است.

● محدودیت مصرف مواد و لوازم مورد استفاده در فرآیند تولید

فرض گردیده است مصرف مواد و لوازم مرتبط با تولید از جمله آب در مجتمع پتروشیمی (مصرف یوتیلیتی‌ها) ثابت بوده و تنها تحت تأثیر عواملی از جمله تغییر فصل و اجرای برنامه‌های تعمیرات و نگهداری تغییر یابد.

● محدودیت‌های مرتبط با قوانین و مقررات زیست محیطی

$$\gamma \geq \theta$$

γ = سهم خوراک گاز مصرفی از کل مصارف گاز

θ = نسبت میزان آلایندگی ایجاد شده در هر واحد تولیدی به کل آلایندگی ایجاد شده که به صورت استاندارد به تولید CO_2 تبدیل شده است.

$$\rho = \text{درصد ظرفیت مورد بهره‌برداری} \times \text{استاندارد اسمی آلایندگی واحد} \times \text{نرخ سلامت واحد} \quad (۷)$$

ρ = میزان آلایندگی ایجاد شده در هر واحد تولیدی

در این مقاله فرض بر این شده است که آلایندگی تولید شده توسط مجتمع ثابت و حداکثر معادل مقدار فعلی باشد.

داده‌ها و اطلاعات کمی با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی[1] مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

برنامه‌ریزی خطی عبارت است از برنامه‌ریزی فعالیت‌ها به منظور به دست آوردن یک نتیجه بهینه، نتیجه‌ای که با توجه به هدف مشخص مدل ریاضی از کلیه گزینه‌های موجه دیگر بهتر باشد. کلمه خطی بدین معناست که تمام روابط ریاضی این مدل لزوما باید توابع خطی باشند. (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۱۰)

ابتدا، یک مدل «برنامه‌ریزی خطی چند-هدفه»[2] از مسأله چند هدفه ساخته می‌شود. این مدل تلاش دارد ارزش افزوده را افزایش دهد. علاوه بر این، این الگو با تلفیق مجموعه‌های فازی و رویکردهای برنامه‌ریزی هدف، به مدل «برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی»[3] تبدیل می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی چند هدفه شامل مراحل زیر می‌باشد:

- ✓ فرمول‌بندی مسأله
- ✓ علامت‌گذاری و تعاریف ذیل آن برای توصیف مسألهٔ چندهدفه از جمله شاخص‌ها و پارامترها و اهمیت هریک از آن‌ها
- ✓ متغیرهای تصمیم‌گیری
- ✓ مدل ریاضی

❖ الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی[4]

الگوی اصلی «برنامه‌ریزی خطی چند ـ هدفه» را می‌توان با استفاده از تابع عضویت خطی تکه‌ای به الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی تبدیل کرد تا اهداف فازی تصمیم‌گیرنده را در الگوی ارائه شده «برنامه‌ریزی خطی چند-هدفه» بازنمایی کند. به‌طورکلی، یک تابع

1. FMOLP
2. MOLP
2. FMOLP
4. FMOLP

عضویت خطی تکه‌ای ارائه شده در را می‌توان اتخاذ کرد تا بتوان مسأله مد نظر را درون مسألهٔ معمولی برنامه ریزی خطی حل کرد. این الگوریتم در بر گیرندهٔ مراحل ذیل است:

مرحلهٔ اول: تعیین میزان تابع عضویت برای مقادیر مختلف هر تابع هدف $Z_i(i = 1,2)$

مرحلهٔ دوم: ترسیم تابع عضویت خطی تکه‌ای

مرحلهٔ سوم: فرمول‌بندی معادلات خطی برای هر تابع عضویت خطی تکه‌ای $f_i(Z_i)(i = 1,2)$

فواصل مقادیر احتمالی برای هر تابع هدف Z_i توسط کاربرد به‌عنوان $\left[Y_{i,v_i+1}, Y_{i_0}\right]$ مشخص شده که بر تابع عضویت تکه‌ای دلالت دارد.

مرحلهٔ ۴: وارد کردن رویکرد فازی

سپس مسأله را می‌توان به مسألهٔ معادل و معمولی برنامه ریزی خطی تغییر شکل داد.

مرحلهٔ ۵ روند تصمیم‌گیری محاوره‌ای اجرا و اصلاح می‌گردد. اگر تصمیم‌گیرنده از راه حل ابتدایی راضی نباشد، باید این مدل را تغییر داد تا راه حل قابل قبولی یافته شود.

در این بخش، ابتدا برخی از مقدمات استفاده شده در این مقاله مرور می‌شوند:

$W^1, W^2 \in \mathbb{R}^P$

$$W^1 \leqq W^2 \Leftrightarrow W_K^1 \leq W_K^2, \qquad K = 1,2,\dots,p, \tag{۸}$$

$$W^1 \leq W^2 \Leftrightarrow W_K^1 \leq W_K^2 \quad \text{برای همه } K \in \{1,2,\dots,p\} \; and \; W_j^1 < W_j^2 \text{ برای یک } j, \tag{۹}$$

$$W^1 < W^2 \Leftrightarrow W_K^1 < W_K^2, \qquad K = 1,2,\dots,p, \tag{۱۰}$$

تعریف: یک عدد فازی، یک مجموعه فازی $\widetilde{\mathrm{M}}$ روی $\mathbb{R}$ با تابع عضویت است که دارای ویژگی‌های زیر است:

$$\mu_{\widetilde{M}}(x), \text{ نیمه پیوسته بالایی است} \tag{۱۱}$$

$\mu_{\widetilde{M}}(x) = [c,d]$ 0 خارج از بازه

$\mathrm{c} \leq \mathrm{a} \leq \mathrm{b} \leq \mathrm{d}$ اعداد حقیقی a و b وجود دارند به‌طوری‌که

$\mu_{\widetilde{M}}(x), [c,a]$ افزایشی یکنواخت در

$\mu_{\widetilde{M}}(x), [b,d]$ کاهشی یکنواخت در

$\mu_{\widetilde{M}}(x) = 1, a \leq x \leq b.$

برش α از عدد فازی $\widetilde{M}$ یک بازه بسته است که با $\widetilde{M}_\alpha = [a_\alpha^1, a_\alpha^r]$ نشان داده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\widetilde{M}_\alpha = [a_\alpha^1, a_\alpha^r] = \begin{cases} \{x \in \mathbb{R} | \, \mu_{\widetilde{M}}(x) \geq \alpha\} & 0 < \alpha \leq 1 \\ cl(supp(\widetilde{M})) & \alpha = 0 \end{cases} \quad (۱۲)$$

همچنین $supp(\widetilde{M}) = \{x \in \mathbb{R} | \, \mu_{\widetilde{M}}(x) \geq 0\}$ و $cl(supp(\widetilde{M}))$ بسته شده آن است.

یک عدد فازی با تابع عضویت

$$\mu_{\widetilde{N}}(x) = \begin{cases} \dfrac{x - n_1}{n_2 - n_1} & n_1 \leq x \leq n_2 \\ 1 & x = n_2 \\ \dfrac{x - n_3}{n_2 - n_3} & n_2 \leq x \leq n_3 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۱۳)$$

TFN با $\widetilde{N} = (n_1, n_2, n_3)$ نشان داده می‌شود که در آن n_1 و n_3 انتهای چپ و راست نقطه $supp(\widetilde{N})$ و n_2 مرکز $\widetilde{N}$ هستند. به راحتی می‌توان نشان داد که برش α از TFN به صورت زیر است:

$$\widetilde{N}_\alpha = [n_\alpha^1, n_\alpha^r] = [n_1 + \alpha(n_2 - n_1), n_3 - \alpha(n_3 - n_2)] \quad (۱۴)$$

❖ مسأله «برنامه‌ریزی خطی چند ـ هدفه»[1] با پارامترهای فازی

در این بخش، انواع مختلفی از POS ها، یعنی اکید، ضعیف، و مناسبِ α-POSها برای مسأله الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی بر اساس برش‌های α اعداد فازی به‌عنوان یک بسط POS برای مسأله MOP تعریف می‌شود. سپس، تکنیکی برای استفاده از آن‌ها پیشنهاد می‌گردد. مسأله الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\begin{aligned} &\text{Min } \tilde{Z}_k = \tilde{C}_k x, \qquad k = 1,2,\dots,p \\ &s.t. \qquad x \in S(\tilde{A}, \tilde{B}) \end{aligned} \quad (۱۵)$$

که در آن $S(\tilde{A}, \tilde{B}) = \{x \in \mathbb{R}^n | \tilde{A}_i x \geq \tilde{b}_i, i = 1,2,\dots,m; x \geq 0\}$ مجموعه امکان‌پذیر است و $\tilde{C}_k = (\tilde{c}_{k1}, \tilde{c}_{k2}, \dots, \tilde{c}_{kn}), \tilde{A}_i = (\tilde{a}_{i1}, \tilde{a}_{i2}, \dots, \tilde{a}_{im})$ و $\tilde{B} = (\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \dots, \tilde{b}_m)^T$ بردارهای پارامترهای فازی را در توابع و محدودیت‌های هدف نشان می‌دهد.

1. MOLP

فرض کنید:

$\mu_{\tilde{c}_{k1}}(c_{k1}), \mu_{\tilde{c}_{k2}}(c_{k2}), \dots, \mu_{\tilde{c}_{k2}}(c_{kn}), \mu_{\tilde{a}_{i1}}(a_{i1}),$

$\mu_{\tilde{a}_{i2}}(a_{i2}), \dots, \mu_{\tilde{a}_{in}}(a_{in})$ و $\mu_{\tilde{b}_i}(b_i)$

به ترتیب توابع عضویت اعداد فازی $\tilde{c}_{k1}, \tilde{c}_{k2}, \dots, \tilde{c}_{kn}, \tilde{a}_{i1}, \tilde{a}_{i2}, \dots, \tilde{a}_{in}$ و $\tilde{b}_i$ را نشان می‌دهند.

برای این مسأله که در آن پارامترها اعداد فازی هستند، مفهوم POS تعریف شده برای «برنامه‌ریزی خطی چند-هدفه»[1] نمی‌تواند به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، ساکاوا [2] برای اولین بار POS فازی یا α-POS را معرفی و یک روش راه‌حلی برای دستیابی به آن پیشنهاد نمود. برای این منظور، برش α اعداد فازی $\tilde{c}_{kj}$ و $\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_i$ معرفی شده است.

برای سادگی در نمادگذاری، فرض می‌شود $\tilde{A} = (\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_m)^T$، $\tilde{B} = (\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_m)^T$ و $\tilde{C} = (\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_p)$ و برش α اعداد فازی $\tilde{c}_{kj}$ و $\tilde{b}_j$ و $\tilde{a}_{ij}$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C})_\alpha = \{(a,b,c) | \mu_{\tilde{a}_{ij}}(a_{ij}) \geq \alpha, \mu_{\tilde{b}_i}(b_i) \geq \alpha, \mu_{\tilde{c}_{kj}}(c_{kj}) \geq \alpha, \quad (۱۶)$$

$$i = 1,2,\dots,m, \quad j = 1,2,\dots,n, \quad k = 1,2,\dots,p\}$$

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T, a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}), c = (c_1, c_2, \dots, c_p),$$

$$c_k = (c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kn}), b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T.$$

حال فرض کنید که تصمیم گیرنده[3] درجه $\alpha \in [0,1]$ را انتخاب کند. سپس مسأله «برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی»[4] را می‌توان به‌عنوان مسأله برنامه‌ریزی خطی چند هدفه غیرفازی زیر تفسیر کرد که به ضرایب $(a,b,c) \in (\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C})_\alpha$ بستگی دارد:

$$\text{Min } z_k = c_k x \qquad k = 1,2,\dots,p \quad (۱۷)$$

$$s.t.$$

$$x \in S(a,b) = \{x \in \mathbb{R}^n | a_i x \geq b_i, i = 1,2,\dots,m; x \geq 0\}$$

1. MOLP
2. Sakawa
3. Decision Maker (DM)
2. FMOLP

نتیجه می‌شود که تعداد نامتناهی از چنین مسائلی بسته به ضرایب $(a,b,c) \in (\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})_\alpha$ و مقادیر (a,b,c) به‌طور دلخواه از بین $(\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})_\alpha$ انتخاب می‌شوند، به این معنا که درجه همه توابع عضویت برای اعداد فازی در «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» از سطح α بیشتر است. با این شرایط برای تعیین درجه α، می‌توان «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» را به‌عنوان مسأله برنامه‌ریزی غیرفازی α چند هدفه (α-MOP) به صورت زیر نوشت:

$$
\begin{aligned}
&(\alpha - MOP): \\
&\text{Min } z_k = c_k x \qquad k = 1,2,\dots,p \\
&s.t. \\
&x \in S(a,b) = \{x \in \mathbb{R}^n | a_i x \geq b_i, i = 1,2,\dots,m; x \geq 0\} \\
&(a,b,c) \in (\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})_\alpha
\end{aligned}
\qquad (۱۸)
$$

که در آن $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ و $c_k = (c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kn})$ پارامترهای (a,b,c) به‌عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین مسأله فوق غیرخطی است. ساکاوا مفهوم α-POS را به (α-MOP) به‌عنوان یک بسط طبیعی مفهوم بهینه پارتو برای MOP به شرح زیر معرفی نموده است:

یک راه‌حل عملی $\bar{x} \in S(\bar{a},\bar{b})$ یک α-POS به (α-MOP) نامیده می‌شود اگر $(a,b,c) \in (\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})_\alpha$ و $x \in S(a,b)$ دیگری به صورت $c_k x \leq \bar{c}_k \bar{x}$ برای همه kها و $c_j x < \bar{c}_j \bar{x}$ برای حداقل یک j وجود نداشته باشد. پارامترهای $(\bar{a},\bar{b},\bar{c})$ پارامترهای α بهینه نامیده می‌شوند.

گاهی اوقات ممکن است α-POS برای مسأله «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» وجود نداشته باشد. بنابراین، یک راه‌حل کمی ضعیف‌تر از α-POS به نام α-POS ضعیف برای مسأله «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» تعریف می‌شود. مجموعه‌ای از α-POSهای ضعیف دارای مجموعه راه‌حل‌های بزرگ‌تری نسبت به مجموعه قبلی هستند و مجموعه‌ای از α-POSهای ضعیف خالی نیستند.

یک راه‌حل عملی $\bar{x} \in S(\bar{a},\bar{b})$ یک α-POS ضعیف (α-MOP) نامیده می‌شود اگر $(a,b,c) \in (\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})_\alpha$ و $x \in S(a,b)$ دیگری به صورت $c_k x < \bar{c}_k \bar{x}$ برای همه kها وجود نداشته باشد. پارامترهای $(\bar{a},\bar{b},\bar{c})$ پارامترهای ضعیف بهینه α نامیده می‌شوند.

در ادامه نوع خاصی از α-POSها تعریف شده است. با وجود ضعیف بودن α-POS، این نوع راه‌حل، مجموعه محدودی از α-POSها را برای مسأله (α-MOP) ارائه می‌دهد.

یک راه‌حل عملی $\bar{x} \in S(\bar{a}, \bar{b})$ یک α-POS اکید به (α-MOP) نامیده می‌شود اگر $x \in S(a,b), x \neq \bar{x},\ (a,b,c) \in (\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C})_\alpha$ دیگری به صورت $c_k x < \bar{c}_k \bar{x}$ برای همه kها وجود نداشته باشد. پارامترهای $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$ پارامترهای اکید α بهینه نامیده می‌شوند.

مجموعه همه α-POS ها، α-POSهای اکید و α-POSهای ضعیف به ترتیب به‌صورت $X_{\alpha WP}, X_{\alpha SP}, X_{\alpha P}$ به مسأله (α-MOP) نشان داده می‌شوند. با این حال، در ادامه، با حل یک مسأله MOLP که به α بستگی دارد، انواع مختلفی از α-POSها به دست می‌آیند.

۱. فرض کنید $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{m\times n}$ و $\tilde{B} = [\tilde{b}_{ij}]_{m\times 1}$ ماتریس‌های فازی متشکل از اعداد فازی هستند. برای مقدار ثابت درجه α، ماتریس‌های حاوی برش α عناصر ماتریس‌های $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ به ترتیب با $\tilde{A}_\alpha = [A^l_\alpha, A^r_\alpha]$ و $\tilde{B}_\alpha = [b^l_\alpha, b^r_\alpha]$ نشان داده می‌شوند. سپس برای هر $x \geq 0, A^l_\alpha x \geq b^r_\alpha, A^r_\alpha x \geq b^l_\alpha$ به ترتیب کوچکترین و بزرگترین مناطق امکان‌پذیر هستند.

۲. فرض کنید $z_k = c_k x$، k امین تابع هدف است، به‌طوری‌که $c_k \in \tilde{C}_{k\alpha} = [c^l_{k\alpha}, c^r_{k\alpha}]$. سپس برای هر $x \geq 0$ داده شده $c_k x \geq c^l_{k\alpha} x$ خواهد بود.

اگر $\bar{x}$ یک POS برای مسأله مورد نظر باشد، پس $\bar{x}$ یک α-POS به (α-MOP) با پارامترهای α بهینه $(a^r_\alpha, b^l_\alpha, c^l_\alpha)$ است.

حداقل برای یک j ، x یک راه‌حل امکان‌پذیر برای مسأله مذکور است، زیرا مجموعه امکان‌پذیر مسأله زیر مجموعه‌ای از مجموعه امکان‌پذیر مسأله اصلی است. همه این موارد نشان می‌دهد که $\bar{x}$، POS مسأله نیست بلکه یک تناقض محسوب می‌شود.

در ادامه معکوس قضیه فوق مورد بررسی قرار می‌گیرد. یعنی:

اگر $\bar{x}$ یک α-POS به (α-MOP) با پارامترهای α بهینه $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$ باشد، پس $\bar{x}$، POS مسأله مورد نظر است.

با توجه به قضایای فوق، تمام α-MOPها به (α-MOP) را می‌توان با حل مسأله MOLP به دست آورد. برخی از نتایج، برای POS*های* ضعیف و اکید که در قضایای فوق بیان شده‌اند نیز صادق است.

اگر $\bar{x}$ یک POS ضعیف برای مسأله است، پس $\bar{x}$ یک α-POS ضعیف به (α-MOP) با پارامترهای $(a^r_\alpha, b^l_\alpha, c^l_\alpha)$ است.

اگر $\bar{x}$ یک α-POS ضعیف به (α-MOP) با پارامترهای α بهینه $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$ باشد، پس $\bar{x}$ یک POS ضعیف برای مسأله است.

اگر $\bar{x}$ یک POS اکید برای مسأله است، پس $\bar{x}$ یک α-POS به (α-MOP) با پارامترهای α بهینه $(a_\alpha^r, b_\alpha^l, c_\alpha^l)$ است.

اگر $\bar{x}$ یک α-POS اکید به (α-MOP) با پارامترهای α بهینه $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$ باشد، پس $\bar{x}$ یک POS اکید برای مسأله است.

قضایای فوق نشان می‌دهد که با حل مسأله فوق می‌توان تمام α-POS*های مسأله* (α-MOP) را به صورت ضعیف و اکید به دست آورد. گاهی اوقات در داخل مجموعه‌ای از α-POSهای مسأله «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» ، تصمیم گیرنده[1] مایل است راه‌حل‌هایی داشته باشد که مبادلات بین مقادیر تابع هدف را محدود کند. در این راه‌حل‌ها، تصمیم گیرنده می‌تواند یکی از توابع هدف مورد نظر را با پذیرش بدتر شدن برخی دیگر بهبود بخشد. چنین نقاطی که به درستی α-POS نامیده می‌شوند، در زیر تعریف شده‌اند:

یک راه‌حل عملی $\bar{x} \in S(\bar{a}, \bar{b})$ یک مسأله α-POS مناسب برای تبدیل به (α-MOP) نامیده می‌شود اگر α-POS باشد و یک عدد حقیقی مانند $M > 0$ وجود داشته باشد که برای همه kها و $x \in S(a, b)$ و $(a, b, c) \in (\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C})_\alpha$ و $c_k x < \bar{c}_k \bar{x}$ ، شاخصی مانند j وجود داشته باشد به‌طوری که:

$$\frac{\bar{c}_k \bar{x} - c_k x}{c_j x - \bar{c}_j \bar{x}} \leq M \,,\, c_j x > \bar{c}_j \bar{x} \qquad (۱۹)$$

پارامترهای $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$ پارامترهای مناسب α بهینه نامیده می‌شوند.

مجموعه‌ای از همه α-POSهای مناسب برای تبدیل به (α-MOP) مشخص و با $X_{\alpha PP}$ نشان داده می‌شوند. واضح است که روابط زیر بین $X_{\alpha P}, X_{\alpha SP}, X_{\alpha PP}, X_{\alpha WP}$ وجود دارد:

$$X_{\alpha SP} \subseteq X_{\alpha P} \subseteq X_{\alpha WP}, \qquad X_{\alpha PP} \subseteq X_{\alpha P}$$

در ادامه، یک قضیه برای تعیین درست α-POSها پیشنهاد می‌شود:

فرض کنید $X \subseteq \mathbb{R}^n$ محدب باشد و $f_k: X \to R$ توابع محدب برای $k = 1, \dots, p$ باشند. سپس $\hat{x} \in X$ برای MOP مذکوربه صورت مناسبی کارآمد است اگر و تنها اگر $\hat{x}$ راه حل بهینه مسأله باشد.

$$\min_{x \in X} \sum_{k=1}^{p} \lambda_k f_k(x) \qquad (۲۰)$$

با وزن‌های مثبت $\lambda_k, k = 1, \dots, p.$

1. Decision Maker (DM)

فرض شود $\bar{x}$ یک POS مناسب برای مسأله بالا باشد. سپس $\bar{x}$ یک α-POS مناسب تبدیل به (α-MOP) با پارامترهای α بهینه $(a_\alpha^r, b_\alpha^l, c_\alpha^l)$ است.

حال فرض می‌شود $\bar{x}$، α-POS مناسب نباشد. سپس به ازای $M > 0$، $x \in S(a,b),(a,b,c) \in (\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})_\alpha$ و $k \in \{1,2,\dots,p\}$ به صورت $c_k x < c_{ka}^l \bar{x}$ و $\frac{c_{ka}^l \bar{x} - c_k x}{c_j x - c_{ja}^l \bar{x}} > M$ برای همه jها با شرط $c_j x > c_{ja}^l \bar{x}$ وجود دارد. به عبارت دیگر $(c_{ka}^l \bar{x} - c_k x) > M\,(c_j x - c_{ja}^l \bar{x})$.

تعریف می‌شود $M := (p-1) max_{j\neq k} \frac{\lambda_j}{\lambda_k}$

از این رو داریم:

$$c_{ka}^l \bar{x} - c_k x > (p-1)\frac{\lambda_j}{\lambda_k}\left(c_j x - c_{ja}^l \bar{x}\right), \qquad \forall_j \neq k \tag{۲۱}$$

با ضرب هر یک از این نامساوی‌ها با $\frac{\lambda_k}{p-1}$ و جمع کردن آن‌ها با j که $j \neq k$، خواهیم داشت:

$$\sum_{\{j;j\neq k\}}^{p} \frac{\lambda_k}{p-1}\,(c_{ka}^l \bar{x} - c_k x) > \sum_{\{j;j\neq k\}}^{p} \lambda_j \left(c_j x - c_{ja}^l \bar{x}\right) \tag{۲۲}$$

$$\Rightarrow \lambda_k\,(c_{ka}^l \bar{x} - c_k x) > \sum_{\{j;j\neq k\}}^{p} \lambda_j \left(c_j x - c_{ja}^l \bar{x}\right)$$

$$\Rightarrow \sum_{k=1}^{p} \lambda_k\, c_{ka}^l \bar{x} > \sum_{k=1}^{p} \lambda_k\, c_k x.$$

از سوی دیگر، به ازای همه k ها، $c_k x \geq c_{ka}^l \bar{x}$ و $0 < \lambda_k$ را داریم. از این رو:

$$\sum_{k=1}^{p} \lambda_k\, c_k x \geq \sum_{k=1}^{p} \lambda_k\, c_{ka}^l \bar{x}. \tag{۲۳}$$

که این دو دلالت بر آن دارند که:

$$\sum_{k=1}^{p} \lambda_k\, c_{ka}^l \bar{x} > \sum_{k=1}^{p} \lambda_k\, c_{ka}^l \bar{x}. \tag{۲۴}$$

پس x یک راه‌حل امکان‌پذیر برای این مسأله است، زیرا مجموعه امکان‌پذیر مسأله فوق، زیرمجموعه‌ای از مجموعه مسائل امکان‌پذیر است.

اگر $\bar{x}$ یک α-POS مناسب به (α-MOP) با پارامترهای α بهینه $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$ باشد، پس $\bar{x}$ یک POS مناسب برای مسأله بالاست.

مسأله حاصل شده یک مسأله معمولی «برنامه‌ریزی خطی چند-هدفه»[1] است. بنابراین، می‌توان آن را با روش‌های موجود برای حل مسائل MOP مانند روش محدودیت الاستیک، محدودیت ε، مجموع وزنی، ترکیبی، روش‌های واژگانی و غیره حل کرد. بنابراین، گزینه‌های مختلفی برای به دست آوردن راه‌حل‌ها وجود دارد. از آنجایی که مسأله فوق محدب است، روش جمع وزنی می‌تواند انواع مختلف α-POSها را ارائه بدهد. همچنین، روش جمع وزنی روشی قابل اتکا برای استفاده می‌باشد. بنابراین از روش جمع وزنی برای حل مسأله استفاده می‌شود.

$$\text{Min } W = \sum_{k=1}^{p} \mathcal{W}_k c_{k\alpha}^{l} x \qquad (۲۵)$$

$$s.t. \qquad a_{i\alpha}^{r} x \geq b_{i\alpha}^{l} \quad i = 1,2,\dots,m$$

$$x \geq 0$$

هنگامی که $\mathcal{W} = (\mathcal{W}_1, \mathcal{W}_2, \dots, \mathcal{W}_p) \in \mathbb{R}^n$ بردار وزن‌های غیر منفی است. جزء $\mathcal{W}_k$ در مسأله بالا را می‌توان به‌عنوان اهمیت نسبی تابع هدف k تفسیر کرد.

فرض کنید $\bar{x}$ یک راه حل بهینه برای مسأله فوق باشد. سپس نتایج زیر برقرار است:

۱. اگر $\mathcal{W} \in \mathbb{R}_{\geq}^{p}$ آنگاه $\bar{x}$، POS ضعیف است.

۲. اگر $\mathcal{W} \in \mathbb{R}_{>}^{p}$ آنگاه $\bar{x}$، POS مناسب است.

۳. اگر $\mathcal{W} \in \mathbb{R}_{\geq}^{p}$ و x یک راه حل بهینه منحصر به فرد برای مسأله مورد نظر باشد، آنگاه $\bar{x}$، اکیدا POS است. (روحبخش و همکاران، ۲۰۲۲)

۵. یافته‌های تحقیق

❖ یافته‌های ناشی از برنامه‌ریزی چندهدفه فازی

برای اجرای مدل با استفاده از نمونه‌های عددی، تولید محصولات اولفینی و پلی اتیلن سبک در شرکت‌های پتروشیمی زیرمجموعه صندوق بازنشستگی مورد بررسی و استفاده قرار گرفت. فرضیات زیر برای اجرای نمونه‌های عددی در نظر گرفته شده‌اند.

1. MOLP

✓ حداکثرسازی سود:

برای استخراج تابع سود، پس از بررسی و شناسایی سهم هر یک از محصولات تولیدی از کل هزینه‌ها و درآمدهای مجتمع‌های مورد مطالعه، تابع سود ناشی از تولید محصولات مورد نظر در این مقاله به شرح زیر استخراج گردید:

$$MaxZ_{\pi} = 5.2Q_1 + 2.4Q_2 + 7.9Q_3 + 7.6Q_4 \quad (۲۶)$$

که در آن:

Q_1: اتیلن Q_2: بوتادین Q_3: پروپیلن Q_4: پلی اتیلن سبک

✓ حداکثرسازی ارزش افزوده:

برای استخراج تابع ارزش افزوده مطابق تعاریف ارائه شده در مقاله، پس از بررسی و شناسایی سهم هریک از محصولات تولیدی از کل ارزش افزوده ایجاد شده در مجتمع‌های مورد مطالعه، تابع ارزش افزوده ناشی از تولید محصولات مورد نظر در این مقاله به شرح زیر استخراج گردید:

$$MaxZ_{VA} = 317Q_1 + 335Q_2 + 312Q_3 + 401Q_4 \quad (۲۷)$$

✓ حداقل سازی ریسک:

برای استخراج تابع ریسک مطابق تعاریف ارائه شده در مقاله، نوسانات تولید و عرضه محصولات مورد نظر و عوامل مؤثر بر آن ازجمله نوسان در تأمین خوراک و نوسانات عملیاتی تولید و عرضه محصولات مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت تابع ارزش افزوده ناشی از تولید محصولات مورد نظر در این مقاله به شرح زیر استخراج گردید:

$$MinZ_R = \widetilde{84}Q_1 + \widetilde{28}Q_2 + \widetilde{25}Q_3 + \widetilde{15}Q_4 \quad (۲۸)$$

که معادل است با:

$$MaxZ_R = \widetilde{-84}Q_1 - \widetilde{28}Q_2 - \widetilde{25}Q_3 - \widetilde{15}Q_4 \quad (۲۹)$$

همچنین قیدهای زیر برای مدل در نظر قرار گرفته است:

✓ قید خوراک:

انتظار می‌رود خوراک تخصیص داده شده برای واحد تولیدی ثابت بوده و حداقل افزایش نداشته باشد. بدیهی است با توجه به محدودیت‌هایی که در برخی مواقع فراروی تأمین خوراک حادث می‌شود، ضرایب و حداکثر خوراک تأمین شده را تحت تأثیر قرار

دهد. برای محاسبه قید خوراک، سهم هر یک از محصولات مورد نظر از خوراک تزریق شده به مجتمع‌های مورد مطالعه مورد توجه قرار گرفته است:

$$\widetilde{3.1}Q_1 + \widetilde{8.1}Q_2 + \widetilde{8.2}Q_3 + \tilde{8}Q_4 \leq \widetilde{12.6} \quad (۳۰)$$

✓ قید مصرف یوتیلیتی:

فرض گردیده است مصرف مواد و لوازم مرتبط با تولید ازجمله آب در مجتمع پتروشیمی ثابت بوده و تنها تحت تأثیر عواملی ازجمله تغییر فصل و اجرای برنامه‌های تعمیرات و نگهداری تغییر یابد. برای محاسبه این قید، رابطه فنی تولید هریک از محصولات مورد مطالعه با مواد و لوازم مرتبط با تولید مورد توجه قرار گرفته است:

$$\widehat{4.6}Q_1 + \widehat{15.5}Q_2 + \widehat{14.2}Q_3 + \widehat{2.2}Q_4 \leq \widehat{17} \quad (۳۱)$$

✓ قید تولید گازهای گلخانه‌ای:

یکی دیگر از قیودی که در نظر گرفته شده است، حفظ الگوی زیست محیطی مجتمع بوده و انتظار می‌رود تولید گازهای گلخانه‌ای توسط مجتمع از روال معمول آن بیشتر نگردد. عواملی که باعث تغییر ضرایب تولیدی و سقف تولید گازهای گلخانه‌ای گردد شامل تصفیه بهتر خوراک و استفاده از کاتالیست‌های با کیفیت تر می‌باشد. برای استخراج این قید میزان آلایندگی هریک از محصولات تولیدی مورد توجه قرار گرفته است:

$$\widetilde{1.3}Q_1 + \widetilde{4.4}Q_2 + \tilde{4}Q_3 + \widetilde{6.2}Q_4 \leq \widetilde{8.7} \quad (۳۲)$$

● محدودیت‌های مرتبط با مصالح ملی و تأمین سهم استراتژیک کالا و محدودیت عدم انجام سرمایه گذاری برای راه اندازی خطوط تولید با فناوری جدید

در این مقاله فرض بر این است که مقدار مورد تولید از هیچ‌یک از محصولات نمی‌تواند از ظرفیت اسمی فعلی کارخانه بیشتر باشد. به عبارت دیگر محدودیت در انجام سرمایه‌گذاری‌های اساسی جدید و بکارگیری فناوری‌های نوین مورد توجه قرار گرفته است.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \leq 2000 \quad (۳۳)$$

$$Q_1 \leq 1320$$

$$Q_2 \leq 305$$

$$Q_3 \leq 115$$

$$Q_4 \leq 300$$

علامت مد بالای هریک از اعداد نشانه فازی بودن آن عدد می‌باشدکه هریک از پارامترهای معادلات مقادیر فازی به صورت زیر گرفته‌اند:

$$\begin{aligned} MaxZ &= (4.9,5.2,6.6) \times Q_1 + (1.3,2.4,2.7) \times Q_2 \\ &+(4.8,7.9,10.0) \times Q_3 + (6.0,7.6,8.1) \times Q_4 \end{aligned} \quad (۳۴)$$

$$MaxZ = (19.6,31.7,32.7) \times Q_1 + (23.5,33.5,35.6) \times Q_2 + (24.2,31.2,36.2) \times Q_3 + (24.8,40.1,42.3) \times Q_4$$

$$MinZ = (7.3,8.4,10.2) \times Q_1 + (2.0,2.8,2.9) \times Q_2 + (1.4,2.5,3.1) \times Q_3 + (1,1.5,2.1) \times Q_4$$

$Subject\ to$:

$$(3.2,3.1,3) \times Q_1 + (8.26,8.1,7.9) \times Q_2 + (8.4,8.2,7.3) \times Q_3 + (8.4,8,7.7) \times Q_4 \leq (14,12.6,11.5)$$

$$(5,4.6,4) \times Q_1 + (17,15.5,13.3) \times Q_2 + (16.7,14.2,12) \times Q_3 + (3.2,2.2,1.7) \times Q_4 \leq (19,17,15)$$

$$(1.4,1.3,1.2) \times Q_1 + (5,4.4,4) \times Q_2 + (5.2,4,3.8) \times Q_3 + (7.3,6.2,4.9) \times Q_4 \leq (9,8,7.2)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \leq 2000$$

$$Q_1 \leq 1320$$

$$Q_2 \leq 305$$

$$Q_3 \leq 115$$

$$Q_4 \leq 300$$

$$\begin{aligned} MaxZ &= (6.6 + 1.4\alpha) \times Q_1 + (2.7 + 0.3\alpha) \times Q_2 \\ &+(10.0 + 2.1) \times Q_3 + (8.1 + 0.5\alpha) \times Q_4 \end{aligned} \quad (۳۵)$$

$$MaxZ = (32.7 + 1\alpha) \times Q_1 + (35.6 + 2.1\alpha) \times Q_2 + (36.2 + 5\alpha) \times Q_3 + (42.3 + 2.2\alpha) \times Q_4$$

$$MinZ = (7.3 + 1.1\alpha) \times Q_1 + (2.0 + 0.8\alpha) \times Q_2 + (1.4 + 1.1\alpha) \times Q_3 + (1 + 0.5\alpha) \times Q_4$$

$Subject\ to$:

$$(3 + 0.1\ \alpha) \times Q_1 + (7.9 + 0.2\ \alpha) \times Q_2 + (7.3 + 0.9\ \alpha) \times Q_3 + (7.7 + 0.3\ \alpha) \times Q_4 \leq (14 - 1.4\alpha)$$

$$(4+0.6\alpha)\times Q_1+(13.3+2.2\alpha)\times Q_2 +(12+2.2\alpha)\times Q_3+(1.7+0.5\alpha)\times Q_4\le(19-2\alpha)$$

$$(1.2+0.1\alpha)\times Q_1+(4+0.4\alpha)\times Q_2 +(3.8+0.2\alpha)\times Q_3+(4.9+1.3\alpha)\times Q_4\le(9-\alpha)$$

$$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4\le 2000$$

$$Q_1\le 1320$$

$$Q_2\le 305$$

$$Q_3\le 115$$

$$Q_4\le 300$$

$$\alpha=(0.5)$$

$$\text{Max } Z=7.3\times Q_1+2.85\times Q_2+11.05\times Q_3+8.35\times Q_4 \qquad (۳۶)$$

$$\text{Max } Z=33.2\times Q_1+36.65\times Q_2+38.7\times Q_3+43.4\times Q_4$$

$$\text{Min } Z=7.85\times Q_1+2.4\times Q_2+1.95\times Q_3+1.25\times Q_4$$

برای سهولت در حل مسأله، می‌توان به جای مینیمم، معادله آخر را با ضرب یک منفی در آن تبدیل به ماکسیمم نمود:

$$Max\ Z=7.3\times Q_1+2.85\times Q_2+11.05\times Q_3+8.35\times Q_4 \qquad (۳۷)$$

$$Max\ Z=33.2\times Q_1+36.65\times Q_2+38.7\times Q_3+43.4\times Q_4$$

$$Max\ Z=-7.85\times Q_1-2.4\times Q_2-1.95\times Q_3-1.25\times Q_4$$

$$Subject\ to:$$

$$3.05\times Q_1+8\times Q_2+2.75\times Q_3+1.85\times Q_4\le 7.3$$

$$4.3\times Q_1+14.4\times Q_2+13.1\times Q_3+1.95\times Q_4\le 18$$

$$1.25\times Q_1+4.2\times Q_2+3.9\times Q_3+5.55\times Q_4\le 8.5$$

$$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4\le 2000$$

$$Q_1\le 1320$$

$$Q_2\le 305$$

$$Q_3\le 115$$

$$Q_4\le 300$$

با در نظر گرفتن ضریب اهمیت ۰/۵ برای معادله اول و ۰,۲۵ برای معادلات دوم و سوم که از نظر خبرگان حاصل شده است داریم:

$$6.2 \times Q_1 + 8.85 \times Q_2 + 11.46 \times Q_3 + 12.31 \times Q_4 \quad (۳۸)$$

$Subject\ to$:

$$3.05 \times Q_1 + 8 \times Q_2 + 2.75 \times Q_3 + 1.85 \times Q_4 \leq 7.3$$

$$4.3 \times Q_1 + 14.4 \times Q_2 + 13.1 \times Q_3 + 1.95 \times Q_4 \leq 18$$

$$1.25 \times Q_1 + 4.2 \times Q_2 + 3.9 \times Q_3 + 5.55 \times Q_4 \leq 8.5$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \leq 2000$$

$$Q_1 \leq 1320$$

$$Q_2 \leq 305$$

$$Q_3 \leq 1150$$

$$Q_4 \leq 300$$

داده‌های استخراج‌شده با استفاده از نرم‌افزار لینگو مورد تحلیل قرار گرفت و راه‌حل‌های «برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی»[1] برای مثال عددی مورد استفاده مطابق جدول زیر ارائه گردید:

جدول ۲. مقدار تولید بهینه محصولات پتروشیمی در مقایسه با وضعیت فعلی تولید محصولات

محصول	مقدار تولید بهینه (تن در سال)	میانگین تولید در ۵ سال گذشته
Q_1 (اتیلن)	۱/۱۱۹/۰۰۰	۱/۵۱۲/۰۰۰
Q_2 (بوتادین)	۳۹/۰۰۰	۱۷/۰۶۰
Q_3 (پروپیلن)	۸۶۸/۰۰۰	۲۵۱/۰۴۳
Q_4 (پلی اتیلن سبک)	۶۳/۰۰۰	۱۴۶/۰۴۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

۶. تحلیل، جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات

در این مقاله به تحلیل زنجیره ارزش تولید محصولات پتروشیمی و ارائه الگوی بهینه تولید محصولات پتروشیمی در صنایع پتروشیمی وابسته به صندوق‌های بازنشستگی پرداخته شده‌است. در جامعه مورد مطالعه، تصمیم‌گیرنده به‌طور همزمان با اهداف متناقضی روبروست. در این تحقیق از برنامه‌ریزی چند هدفه فازی استفاده شد. هدف روش

2. FMOLP

پیشنهادی به‌طور همزمان حداکثرسازی سود، حداکثرسازی ارزش افزوده و حداقل سازی ریسک بوده‌است که با محدودیت‌هایی از جمله محدودیت‌های تأمین خوراک، تأمین مواد مصرفی، محدودیت‌های مرتبط با مسائل زیست‌محیطی و محدودیت‌های تکنولوژیک و مالی و بودجه‌ای برای انجام سرمایه‌گذاری‌های جدید مواجه می‌باشد.

علاوه بر این، روش «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» پیشنهادی، چارچوبی سیستماتیک ارائه داده است که فرآیند تصمیم‌گیری فازی را برای بدست آوردن راه حلی رضایت بخش تسهیل می‌کند.

یک نمونهٔ عددی برای نشان دادن امکان به کار بردن روش پیشنهادی «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه استفاده گردید. این روش پیشنهادی، یک راه حل مؤثر را بدست می‌دهد. روش پیشنهادی «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» بر اساس روش برش آلفا (α-cut) ساکاوا است. این روش برای مواردی مطلوب است که دارای معاوضه‌های محدودی بین توابع هدف هستند. روش جمع وزنی روشی قابل اتکا برای حل مسائل برنامه‌ریزی چند هدفه است. لذا در این مقاله نیز از روش جمع وزنی استفاده شد. مزیت اصلی این روش این است که انواع مختلف α-POSها را می‌توان با حفظ ماهیت فازی مسأله به مسأله «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» اضافه نمود. در این روش از هیچ تابع رتبه‌بندی برای تبدیل مسأله «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» به «برنامه‌ریزی خطی چند ـ هدفه» استفاده نمی‌شود. لذا این روش بدون شک می‌تواند برای حل مسائل «الگوی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی» مفید باشد. کاهش مقدار تولید اتیلن، کاهش مقدار تولید پلی اتیلن سبک ، و افزایش تولید بوتادین و پروپیلن مهمترین توصیه سیاستی این تحقیق می‌باشد.

۷. تعارض منافع

تعارض منافعی ندارد.

۸. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات و همکاری‌های مدیران و کارشناسان شرکت‌های پتروشیمی جم، شازند و مسجد سلیمان که نویسندگان این مقاله را در تهیه و جمع‌آوری آمار و اطلاعات لازم برای آن یاری نموده‌اند قدردانی می‌گردد.

ORCID

Hamid Amadeh https://orcid.org/0000-0002-6904-2626
Abdolrasol Ghasemi https://orcid.org/0000-0002-6466-1137
Hojjatollah Mirzaei https://orcid.org/0000-0002-3132-6068
Hamid Bakhtiari https://orcid.org/0000-0002-7415-8586

۹. منابع

اسفندیاری، علی و مرادی،امیر(۱۳۹۱). تعیین جایگاه صنایع پتروشیمی در اقتصاد ایران با استفاده از بردار ویژه. *نشریه مدل‌های اقتصادی*، ۶(۱۹)، صفحات ۳۹-۲۱.

انصاری، محمود(۱۳۸۵). بررسی مزیت نسبی محصولات صنعت پتروشیمی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی.

آذر، عادل و حسینی، اکرم السادات (۱۳۹۳). بررسی مدل برنامه ریزی تولید چند محصولی در زنجیره ی تأمین براساس رویکرد برنامه ریزی آرمانی. *فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی*، سال ۱۲، شماره ۳۴.

صفایی، عبدالستار(۱۳۹۰). مدل برنامه ریزی تولید یکپارچه در زنجیره تأمین. دانشگاه تربیت مدرس.

مدیری، محمود و آریا نژاد ، میر بهادر قلی (۱۳۸۵). طراحی مدل ریاضی برنامه ریزی تولید و تحویل در سیستم‌های زنجیره ی تأمین. *مجله اقتصاد و مدیریت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات*، شماره ۷۱.

مهرگان، محمد رضا، کاظمی،عالیه و کامیاب مقدس، امین(۱۳۸۹). انتخاب مدل مناسب برنامه ریزی تولید برای صنعت سیم و کابل. *نشریه دانشور*، دانشگاه شاهد، شماره ۴۹ دانشگاه شاهد.

References

Ansari, M. (2006). Investigating the comparative advantage of Iran's petrochemical industry products. *Allameh Tabataba'i University*, [In Persian]

Azar, A. and Hosseini, A. (2021). Designing a multi-product production planning podel in the supply chain based on the ideal planning approach. *Journal of Industrial Management Studies*, 12(34), pp.1-17. [In Persian]

Esfandiary, A. and Moradi, A. (2012). Identifying the position of petrochemical industry in Iran economy by using eigenvector. *Quarterly Journal of Economic Modeling*, 6(19), pp.21-39. [In Persian]

Fayyaz-Rouhbakhsh, F., Hassanpour, H. and Effati, S. (2022). Solving fuzzy multi objective liner programming problems: an α-cut approach. *Caspian Journal of Mathematical*, 11(1), pp.1-14.

Huo, Y., Leung, J Y-T., Zhao, H. (2007). Bi-criteria scheduling problems: number of tardy jobs and maximum weighted tardiness. *European Journal of Operational Research*, 177(1), pp.116-134.

Lee, H T., Chen, S H. and Kang, H Y. (2002). Multi-criteria scheduling using fuzzy theory and tabu search. *International Journal of Production Research*, 40(5), pp.1221-1234.

Mehregan, M., Kazemi, A. and Kamyab-Moghaddas, A. (2010). Choosing the right production planning model for the wire and cable industry. *Comercial Strategies*, 8(41), pp.237-249. [In Persian]

Mirjalili, F. and Tavassoli, S. (2018). The position of the petrochemical industry in the national economy. *Parliament Research Center*, No. 16183. [In Persian]

Modiri, M. and Aryanejad, M. (2007). Design of a mathematical model for production and delivery planning in the supply chain systems. *Journal of Future Studies Management*, 18(71), pp.9-26. [In Persian]

Mulhall, R. A. and Bryson, J. R. (2014). Energy Price Risk and the Sustainability of Demand Side Supply Chains. *Applied Energy*, 123, pp.327-334.

Safaii, A. and Baradaran-kazemzadeh, R. (2008). Integrated Production Planning Model in the Supply Chain. *6th International Industrial Engineering Conference, Tarbiat Modares University, Tehran*. [In Persian]

Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadi, B. and Safaei, N. (2006). Solving a mixed-integer model of a single machine scheduling problem by a fuzzy goal programming approach. *Wseas Transactions on Business and Economics*, 3(2), pp.45-52.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadi, B., Jolai, F. and Ghodratnama, A. (2010). The use of a fuzzy multi-objective linear programming for solving a multi-objective single-machine scheduling problem. Department of Industrial Engineering, *College of Engineering*, 10(3), pp.919-925.

Watts, R. L. and Zimmerman, J L. (1990). Positive Accounting Theory. *The Accounting Review*, 65(1), pp.131-156.

استناد به این مقاله: آماده، حمید؛ قاسمی، عبدالرسول؛ میرزایی، حجت‌الله؛ بختیاری، حمید. (۱۴۰۱). تحلیل زنجیره ارزش تولید محصولات پتروشیمی و ارائه الگوی بهینه تولید محصولات پتروشیمی: کاربرد برنامه‌ریزی چند هدفه فازی در تولید محصولات پتروشیمی، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۴۵ (۱۲)، ۴۱-۶۹.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.