

بهینه سازی ساختار شبکه پالایشگاه با استفاده از مدل سازی ریاضی

محدثه پودینه^۱، فرهاد شهرکی^۲، محمد رضا سردشتی بیرجندی^{۳*}، میر محمد خلیلی پور^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، mohadesepodine7@gmail.com

۲. استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، fshahraki@eng.usb.ac.ir

۳. استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، m.r_sardashti@eng.usb.ac.ir

۴. دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، a.khalilipour@eng.usb.ac.ir

*نویسنده مسئول: محمد رضا سردشتی بیرجندی، m.r_sardashti@eng.usb.ac.ir

چکیده

محصولات حاصل از نفت خام به طور گسترده در صنعت و زندگی روزمره استفاده می شوند. پالایش نفت یکی از پیچیده ترین صنایع شیمیایی به شمار می رود و شامل فرایندهای متعددی است. هدف نهایی پالایشگاه های نفت، کاهش هزینه ها و افزایش سود است. در بهینه سازی این هزینه ها و یا دستیابی به سود بیشتر، می توان اقدامات بهینه را به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم مشخص کرد. در این مقاله، به بررسی و مقایسه ساختار بهینه شبکه پالایشگاهی با در نظر گرفتن تمامی محدودیت های مربوط به فشار، منابع، مصرف کننده ها، هزینه های عملیاتی و سرمایه گذاری، با استفاده از دو رویکرد برنامه ریزی ریاضی خطی (LP) و غیر خطی (NLP) پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد که بهینه سازی غیر خطی ساختار شبکه پالایشگاه در مقایسه با وضعیت موجود، حدود ۲ درصد افزایش در سودآوری نسبت به مدل خطی را به همراه دارد.

کلمات کلیدی: پالایشگاه - بهینه سازی - برنامه ریزی خطی - برنامه ریزی غیر خطی .

مقدمه

نفت خام یکی از پرکاربردترین منابع سوختی جهان محسوب می شود که به طور گسترده در صنایع مختلف و زندگی روزمره مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله محصولات متنوعی که مستقیماً از نفت خام تولید می شود می توان به بنزین، گاز مایع، نفت سفید، نفت کوره، روغن موتور و غیره اشاره کرد. با توجه به قوانین زیست محیطی و نیازهای مصرف کنندگان، از جمله صنایع پتروشیمی و شیمیایی، نفت خام به محصولات متنوع با مشخصات مختلف پالایش می شود. پالایشگاه به عنوان واحدی

که فرآیند تبدیل نفت خام به محصولات گوناگون را بر عهده دارد، تعریف می‌گردد. اولین پالایشگاه واقعی در سال ۱۸۶۰ تأسیس شد [۱]. از آن زمان تاکنون، صنعت پالایش نفت دستخوش تغییرات و پیشرفت‌های زیادی با استفاده از تکنولوژی‌های نوین شده است. این تغییرات باعث شده‌اند صنعت پالایش از یک جداسازی ساده به فرآیندی پیچیده و بازدهی بالاتر تبدیل شود. از جمله تکنولوژی‌های جدید می‌توان به تقطیر اتمسفری، تقطیر در خلأ، شکست حرارتی، شکست هیدروژنی، تبدیل کاتالیستی، کاهش گرانروی، گوگردزدایی، و کک‌سازی اشاره کرد [۱]. در دهه‌های اخیر، به دلیل پیشرفت‌های فناوری و تغییرات جدید، از سال ۱۹۸۰ به بعد پالایشگاه‌های جدیدی احداث نشده است. در عوض، مهندسان پالایش بر بهبود کارایی اقتصادی واحدها و کنترل و بهینه‌سازی فرآیندها تمرکز کرده‌اند [۲]. تقریباً از اواسط دهه ۱۹۵۰ استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و بهینه‌سازی در پالایشگاه‌ها، با معرفی برنامه‌ریزی خطی (LP)^۱، آغاز شد و تا به امروز با توجه به رقابت‌های بازار جهانی، این روند ادامه داشته است [۳]. سیموندز [۴] از یک مدل LP برای حل مسئله ترکیب و پالایش بنزین استفاده کرده است. در بررسی این مطالعه، مزیت اصلی برنامه‌ریزی خطی (LP) را می‌توان در همگرایی سریع و سهولت اجرای آن مشاهده کرد. با این حال، نقطه ضعف این روش در برخورد با مسائل پیچیده و غیرخطی آشکار می‌شود. در مقاله آلن [۵]، یک مدل LP برای پالایشگاهی ساده شامل سه بخش واحد تقطیر، کربینگ و ترکیب ارائه شده است. اگرچه این مدل برای سیستم‌های ساده و خطی مناسب است، اما از جنبه‌های پیچیدگی‌های غیرخطی در پالایشگاه‌های بزرگ و پیچیده انتقاداتی وارد است. اولین تلاش برای استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی^۲ (NLP) توسط مور و همکاران [۶] صورت گرفت. این مطالعه با هدف استفاده از NLP در تولید بنزین پالایشگاه انجام شد. با وجود موفقیت در شبیه‌سازی نتایج با داده‌های واقعی، این مدل فاقد الگوریتم‌های پیچیده حل مسئله بود که منجر به محدودیت‌هایی در کارایی آن شد. پژوهش پینتو و مورو [۷] نیز در این راستا، مدل غیرخطی دیگری برای برنامه‌ریزی تولید پالایشگاهی ارائه کردند. این مدل با استفاده از چند فرض کلیدی، توانست جریان‌های میانی با خواص مختلف را ترکیب کند تا محصولات نهایی مورد نظر تولید شود. این روش به‌ویژه در ترکیب جریان‌ها و تولید محصولات چندگانه موفق بود، اما همچنان در مواجهه با رفتارهای پیچیده فرآیندها محدودیت‌هایی داشت.

پینتو و همکاران [۸] علاوه بر بررسی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی زمانی پالایشگاه‌ها را نیز مورد بحث قرار دادند. این مدل شامل دو بخش بود: توسعه مدل ارائه‌شده توسط مور و همکاران [۶] و ارائه برنامه‌ریزی زمانی بر اساس زمان گسسته و پیوسته. این مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی MINLP^۳ حل شد، که به‌طور همزمان مسائل پیچیده گسسته و پیوسته را مدیریت می‌کرد. نقدی که به این پژوهش وارد است، پیچیدگی محاسباتی زیاد آن است که در عمل می‌تواند مانع پیاده‌سازی وسیع آن در پالایشگاه‌ها شود.

ژانگ و ژو [۹] استراتژی تجزیه مدل‌سازی ساختارهای بزرگ پالایشگاهی به دو سطح اصلی و فرعی را مورد بررسی قرار دادند. این روش از طریق حل سطح فرعی و استفاده از نتایج آن در سطح اصلی بهینه‌سازی انجام می‌شود. با این حال، روش مذکور در مواجهه با تعاملات پیچیده بین سطوح مختلف پالایشگاه محدودیت‌هایی دارد. ژانگ و همکاران [۱۰] نیز استراتژی بهینه‌سازی همزمان برای برنامه‌ریزی کل پالایشگاه را پیشنهاد دادند که شبکه هیدروژن، یوتیلیتی‌ها، و کل شبکه پالایشگاه را به‌طور همزمان بهینه‌سازی می‌کرد. استفاده از برنامه‌ریزی خطی (LP) در این تحقیق توانست ساختار بهینه پالایشگاه را با تمرکز بر حداکثرسازی سود پالایشگاه شناسایی کند، اما روش‌های خطی در مدل‌های پیچیده ممکن است محدودیت‌هایی داشته باشند.

لی و همکاران [۱۱] با استفاده از مدل‌های ریاضی برای واحدهای تقطیر و FCC^۴ در مدل‌سازی شبکه پالایشگاهی، موفق به ارائه راه‌حل‌های مؤثری برای این واحدها شدند. این مدل‌ها از داده‌های تجربی و فرآیندهای غیرخطی به دست آمدند که

¹ Linear Programming

² Non-Linear Programming

³ Mixed Integer Non-Linear Programming

⁴ Fluid catalytic cracking

اعتبار آن‌ها را افزایش می‌دهد، اما همچنان در برخی جنبه‌ها نیاز به بررسی‌های بیشتر برای تطبیق با واقعیت‌های عملی وجود دارد.

اورمو و همکاران [۱۲] نیز از یک مدل ریاضی MINLP برای مدلسازی کل پالایشگاه نفت استفاده کردند. مدل آن‌ها شامل متغیرهای گسسته (مانند انتخاب حالت‌های عملیاتی واحدهای فرآیند) و متغیرهای پیوسته (مانند جریان‌های میانی و فعالیت واحدهای فرآیند) بود. اگرچه این مدل جامع و دقیق به نظر می‌رسد، اما پیچیدگی آن در عمل ممکن است چالش‌هایی ایجاد کند.

در سال ۲۰۱۲ گودار و همکاران تکنیک‌های کاهش مدل ریاضی ابتکاری را با هدف افزایش فرآیندهای بهینه‌سازی انرژی در سراسر پالایشگاه معرفی کردند. آنها با پرداختن به محدودیت‌های مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (LP)، با استفاده از مدل‌های دقیق بدست آمده برای فرآیندهای پالایشگاه با استفاده از داده‌های فرآیندی پالایشگاه و نیز شبکه عصبی مصنوعی ساختار بهینه پالایشگاه را پیشنهاد دادند. این تحقیق نه تنها بهینه‌سازی انرژی را در پالایشگاه‌ها پیش می‌برد، بلکه راه‌حل‌های عملی را برای بهبود دقت و در عین حال حفظ راندمان محاسباتی ارائه می‌دهد، بنابراین کمک قابل توجهی به روش‌شناسی و شیوه‌های پایداری این حوزه می‌کند [۱۳].

در سال ۲۰۱۵ شی و همکاران توانستند با استفاده از روش لاگرانژ دو مرحله، ساختار شبکه کلی پالایشگاه را بهینه نمایند. این رویکرد تجزیه لاگرانژی معرفی شده در فرآیند بهینه‌سازی هم برنامه‌ریزی پالایشگاه و هم مسائل زمان‌بندی نفت خام را با هم مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم تجزیه لاگرانژ در به دست آوردن راه حل‌های بهینه یا نزدیک به بهینه برای مسائل زمان‌بندی در مقیاس بزرگ در عملیات پالایشگاه موثر است [۱۴].

دوآن و همکاران در سال ۲۰۱۸ برای جلوگیری از حل مدل‌های پیچیده MINLP موجود در شبکه پالایشگاه، با خطی‌سازی معادلات غیر خطی، توانستند ساختار بهینه شبکه پالایشگاه را بدست آورند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که حل مستقیم برنامه ریزی ریاضی MINLP بسیار ناکارآمد در کیفیت راه حل و زمان می‌باشد. علت آن وجود محدودیت‌های دوطرفه غیرمحدب (non-convex bilinear constraints) و وجود تعداد زیادی از متغیرهای عدد صحیح (auxiliary integer variables) می‌باشد [۱۵].

یوتومو و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای برای بهبود تولید پالایشگاهی با ایجاد مدلی ریاضی که شامل ترکیبی از سیستم‌های تولید و تاسیسات بود و نیز با استفاده از ترکیبی از نفت خام‌های مختلف به جای تنها یک نوع، انجام دادند. نتایج حاصل از این رویکرد منجر به سود بیشتر در مقایسه با روش‌های سنتی گردید. نتایج همچنین نشان می‌دهد که عوامل کلیدی مؤثر بر سودآوری پالایشگاه عبارتند از هزینه مواد و قیمت تولید که اهمیت آنها را در تصمیم‌گیری برای برنامه ریزی تولید برجسته می‌باشد [۱۶].

نتیجه‌گیری کلی از این مطالعات این است که در برنامه‌ریزی ساختار شبکه پالایشگاه، معادلات موازنه مواد و جریان‌ها معمولاً در نظر گرفته می‌شود [۱۲]. در اکثر تحقیقات تابع هدف حداکثر کردن سود پالایشگاه در نظر گرفته شده است [۱۲]. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که اگر تابع هدف و قیود همگی خطی باشند، یک روش قوی تحت عنوان برنامه ریزی خطی برای حل مسئله بهینه‌سازی وجود دارد که برای این نوع خاص، اگر جوابی وجود داشته باشد، یک جواب یکتاست. اما در اکثر اوقات مسائل یا فرمولاسیون اصلی، خود خطی نخواهند بود. یکی از مشکلات بهینه‌سازی برای سیستم‌های فیزیکی وجود تابع هدف یا قیود پیچیده در مسئله می‌باشد. تابع هدف یا قیود ممکن است توابع غیرخطی از متغیرها باشند. وقتی یک فرآیند واقعی مدنظر است، وجود رفتار خطی بسیار نادر است.

علی‌رغم تحقیقات گسترده در مورد تکنیک‌های بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی پالایشگاه، یک تحلیل مقایسه‌ای مستقیم از روش‌های LP و NLP که بر روی یک ساختار پالایشگاهی، مورد بررسی قرار نگرفته است. این تحلیل مقایسه‌ای در این مقاله بر روی پالایشگاه شازند اراک مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در روش NLP، مدل غیرخطی متغیرهای عملیاتی مهم مانند عدد اکتان و فشار بخار رید که مدل آنها بر اساس شرایط واقعی پالایشگاه بدست می‌آید، در نظر گرفته شده است.

مدل‌های ریاضی و بهینه‌یابی

مدل‌های ریاضی در بسیاری از زمینه‌های علوم و مهندسی کاربرد گسترده‌ای دارند. یک مدل ریاضی، مجموعه‌ای از روابط (معادلات، نامعادلات و شروط منطقی) است که به‌صورت انتزاعی، نمایانگر رفتار و عملکرد سیستم واقعی مورد نظر است. این مدل‌ها می‌توانند با استفاده از سه رویکرد کلی توسعه یابند: (۱) رویکرد بنیادی، (۲) روش‌های تجربی و (۳) روش‌های مبتنی بر مشابَهت‌ها و مقیاس‌بندی‌ها.

در رویکرد (۱)، از تئوری‌های علمی تأییدشده، مانند قوانین نیوتن، برای استنتاج معادلات استفاده می‌شود که به‌طور مستقیم بر پایه اصول علمی بنا شده‌اند. در روش (۲)، داده‌های تجربی ورودی و خروجی سیستم مورد تحلیل قرار می‌گیرند و به منظور تولید یک مدل تجربی یا به‌اصطلاح "جعبه سیاه" به‌کار می‌روند. روش (۳) نیز به استفاده از مشابَهت‌ها برای شناسایی ویژگی‌های سیستم واقعی می‌پردازد، به‌نحوی که با مطالعه یک سیستم مشابه و قابل فهم، مدل‌سازی انجام می‌شود [۱۷].

هر مدل ریاضی برای یک سیستم شامل چهار عنصر اصلی است: متغیرها، پارامترها، قیود و روابط ریاضی [۱۷]. متغیرها می‌توانند مقادیر مختلفی داشته باشند که تعیین این مقادیر حالت‌های متفاوت سیستم را تعریف می‌کند. متغیرها ممکن است پیوسته، عدد صحیح، یا ترکیبی از هر دو باشند. پارامترها، در یک یا چند مقدار خاص ثابت می‌مانند و تغییر آن‌ها به ایجاد مدل‌های متفاوت برای سیستم منجر می‌شود. قیود نیز محدودیت‌هایی را بر متغیرها اعمال می‌کنند که ممکن است به شکل معادلات یا نامعادلات تعریف شوند.

روابط ریاضی در مدل‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: معادلات، نامعادلات و شروط منطقی. معادلات مدل اغلب شامل موازنه جرم، موازنه انرژی، روابط تعادلی، محاسبات خصوصیات فیزیکی و روابط طراحی مهندسی هستند که فیزیک سیستم را توصیف می‌کنند. نامعادلات مدل نیز به محدودیت‌های عملیاتی مانند محدوده‌های مجاز عملیات، کارایی مورد نیاز، و محدودیت‌های مربوط به انتقال جرم و حرارت می‌پردازند. شروط منطقی، روابطی هستند که بین متغیرهای پیوسته و گسسته ارتباط برقرار می‌کنند و پیچیدگی مسئله را افزایش می‌دهند.

مسئله بهینه‌سازی در واقع یک مدل ریاضی است که علاوه بر متغیرها، پارامترها، قیود و روابط ریاضی، یک یا چند معیار کارایی دارد. معیار کارایی در قالب تابع هدف تعریف می‌شود و ممکن است کمینه کردن هزینه، بیشینه کردن سود یا بهبود بازدهی محصول خاص باشد. در صورتی که بیش از یک معیار کارایی وجود داشته باشد، با مسئله بهینه‌سازی چند هدفه مواجه خواهیم بود. در چنین مسائل بهینه‌سازی، معمولاً تعداد متغیرها بیشتر از تعداد قیود برابر است که نشان‌دهنده وجود درجه آزادی برای بهینه‌سازی است. در صورتی که تعداد متغیرها و قیود برابر باشند، مسئله به حل یک سیستم غیرخطی از معادلات، به‌همراه نامعادلات اضافی، کاهش می‌یابد.

توسعه بهینه‌سازی^۱

روش جامع و یگانه‌ای برای حل تمامی مسائل بهینه‌سازی وجود ندارد. با این حال، طیف وسیعی از روش‌های بهینه‌سازی برای حل انواع مختلف مسائل توسعه یافته‌اند.

تاریخچه روش‌های بهینه‌سازی به زمان نیوتن، لاگرانژ و کوشی بازمی‌گردد. با توسعه حساب دیفرانسیل و انتگرال، روش‌های بهینه‌سازی نیز پیشرفت کردند. همکاری نیوتن و لیبِنیتز در توسعه حساب دیفرانسیل، پایه‌های حساب تغییرات را ایجاد کرد، که بعدها توسط ریاضیدانانی همچون برنولی، اولر، لاگرانژ و ویراشتراس توسعه یافت. از جمله دستاوردهای مهم در این زمینه، معرفی روش لاگرانژ برای حل مسائل بهینه‌سازی با قیود بود. همچنین کوشی نخستین استفاده از روش

¹Development Of Optimization

Steepest Descent را برای حل مسائل بهینه‌سازی بدون قیود به نمایش گذاشت.

در ادامه، روش سیمپلکس توسط دانتزینگ برای مسائل برنامه‌ریزی خطی معرفی شد که مبنای برنامه‌ریزی خطی در سال‌های بعد شد. برنامه‌ریزی پویا نیز از جمله دستاوردهای کلیدی دانتزینگ در این زمینه است. در ریاضیات، مسائل برنامه‌ریزی خطی به بهینه‌سازی یک تابع هدف خطی می‌پردازد، که باید یک سری قیود خطی در قالب تساوی‌ها و نامساوی‌ها را رعایت کند. به‌طور غیررسمی، برنامه‌ریزی خطی عبارت است از استفاده از یک مدل ریاضی خطی برای به‌دست آوردن بهترین خروجی با توجه به شرایط مشخص‌شده. به‌طور رسمی‌تر، هدف در مسائل برنامه‌ریزی خطی یافتن نقطه‌ای در یک چندوجهی است که تابع هدف در آن نقطه بیشترین یا کمترین مقدار را داشته باشد. در صورت وجود چنین نقاطی، جستجو در میان رئوس چندضلعی‌ها معمولاً به یافتن حداقل یکی از این نقاط منجر می‌شود، چرا که مقدار ماکزیمم یا مینیمم در مرزهای چندضلعی رخ می‌دهد. فرمول‌بندی استاندارد برنامه‌ریزی خطی به صورت زیر نمایش داده می‌شود [۱۸].

$$\begin{aligned} \text{Max } f(x) &= cx \\ \text{st. } a_i x &\leq b_i \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

در اینجا $x \geq 0$ ، قیود نامنفی بودن متغیرها بخشی از محدودیت‌های اصلی مسئله محسوب می‌شوند و مقادیر سمت راست قیود b_i می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. اگر قیود به‌صورت نامساوی باشند ($a_i x \leq b_i$)، با ضرب طرفین در عدد منفی، می‌توان آن‌ها را به‌صورت معکوس ($-a_i x \leq -b_i$) تبدیل کرد. همچنین، اگر قیود تساوی داشته باشیم، می‌توان با جایگذاری یک متغیر در معادلات دیگر، محدودیت تساوی را حذف کرد و مسئله را ساده‌تر نمود. یکی از فرضیات اصلی در برنامه‌ریزی خطی این است که تمامی توابع، اعم از توابع هدف و قیود، خطی هستند. اگرچه این فرض در بسیاری از مسائل واقعی برقرار است، اما در مواردی نیز صادق نیست. در واقع، اقتصاددانان اغلب دریافته‌اند که در بسیاری از مسائل برنامه‌ریزی اقتصادی، غیرخطی بودن توابع نه تنها یک استثنا بلکه یک قاعده کلی است [۱۸]. به همین دلیل، توجه به برنامه‌ریزی غیرخطی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف برنامه‌ریزی غیرخطی یافتن مقادیر $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ است که تابع هدف و قیود را برآورده کنند، به طوری که:

$$\begin{aligned} \text{Max } f(x) \\ \text{st. } g_i(x) &\leq b_i \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

که $f(x)$ و $g_i(x)$ توابعی معلوم از n متغیر تصمیم هستند. در نهایت، هر مسئله بهینه‌سازی شامل سه بخش اصلی است [۱۳ و ۱۴].

۱. حداقل یک تابع هدف^۱ برای بهینه‌سازی (مانند سود، هزینه، و غیره).

۲. قیود تساوی^۲ (معادلات).

۳. قیود نامساوی^۳ (نامعادلات).

بخش دوم و سوم شامل مدل فرآیند یا سیستم مورد نظر هستند و بخش اول معمولاً به‌عنوان مدل اقتصادی شناخته می‌شود. منظور از یک حل عملی برای مسئله بهینه‌سازی، مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهاست که قیود را با دقت مطلوبی

¹ Objective function

² Equality constraints

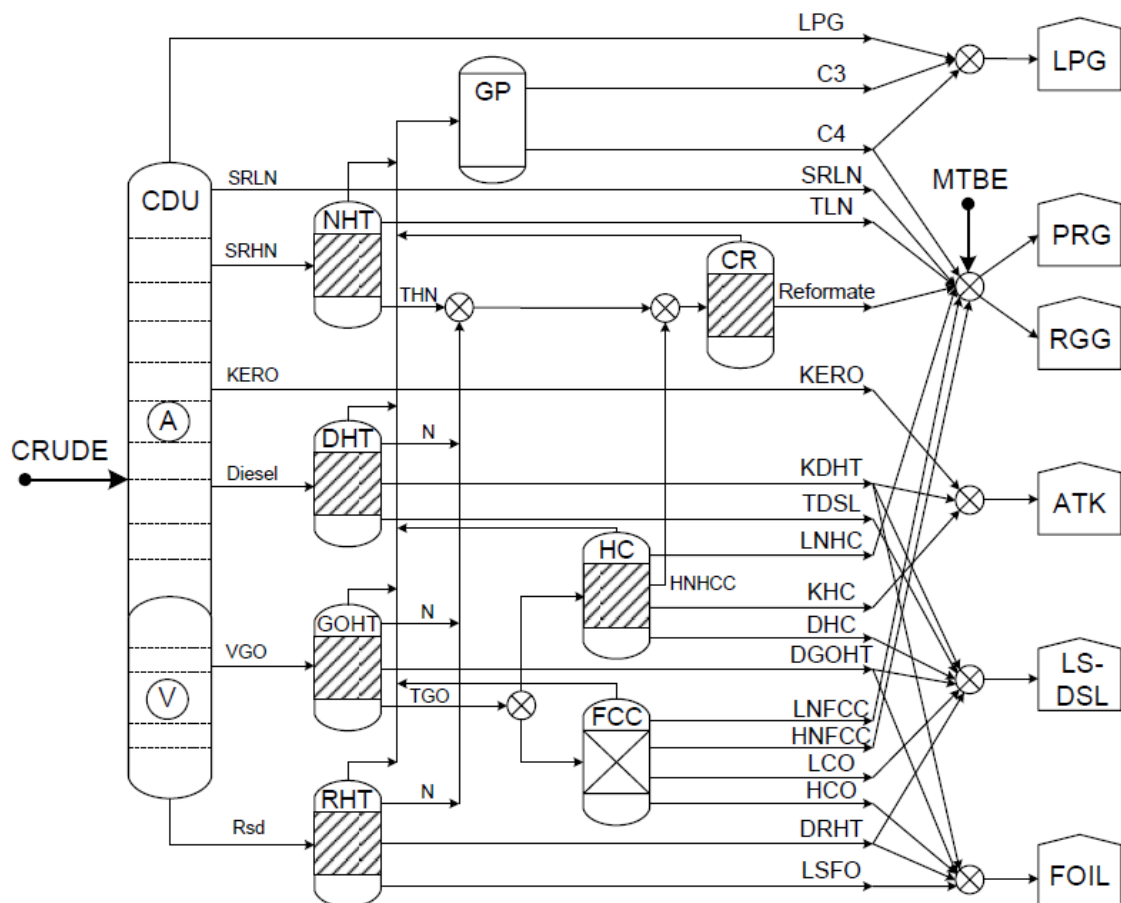
³ Inequality constraints

ارضا کند. یک حل بهینه نه تنها قیود را ارضا می‌کند، بلکه مقدار بهینه تابع هدف را نیز به دست می‌آورد. در بسیاری از موارد، این حل یکتا است؛ اما در برخی موارد نیز ممکن است چندین حل بهینه وجود داشته باشد. اگر حل یکتا وجود داشته باشد، مسئله تنها به حل یک سری معادلات تبدیل می‌شود و نیازی به روش‌های بهینه‌سازی پیچیده نیست. اما در غیر این صورت، مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌شود. روش یا الگوریتم بهینه‌سازی که برای هر مسئله انتخاب می‌شود، بستگی به عوامل مختلفی دارد: الف. نوع تابع هدف و صراحت آن. ب. ماهیت قیود. ج. تعداد متغیرهای مستقل و وابسته. در ادامه، شش گام اصلی برای تحلیل و حل مسائل بهینه‌سازی ارائه شده است. این گام‌ها لزوماً به ترتیب اجرا نمی‌شوند، اما در نهایت باید تمامی آن‌ها طی شوند:

۱. تحلیل فرآیند برای شناسایی متغیرهای عملیاتی و تهیه فهرستی از آن‌ها.
 ۲. تعریف معیار مناسب برای بهینه‌سازی و تعیین تابع هدف بر حسب متغیرهای مرتبط.
 ۳. توسعه بیان ریاضی فرآیند یا سیستم که متغیرهای ورودی و خروجی را به هم مرتبط کند و قیود تساوی و نامساوی را در نظر بگیرد.
 ۴. در صورت پیچیدگی زیاد مسئله، تقسیم آن به قسمت‌های قابل مدیریت یا ساده‌سازی مدل.
 ۵. استفاده از تکنیک مناسب بهینه‌سازی برای حل مسئله.
 ۶. بررسی نتایج و ارزیابی حساسیت آن‌ها نسبت به تغییرات در ضرایب و فرضیات.
- گام‌های ۱ و ۲ با تعریف ریاضی مسئله و شناسایی متغیرها سروکار دارند. در گام ۴، پیشنهاد می‌شود که مدل ریاضی تا حد ممکن ساده‌سازی شود. در نهایت، گام ۵ به محاسبات و حل عددی برای رسیدن به نقطه بهینه می‌پردازد. گام آخر نیز شامل بررسی صحت نتایج و تحلیل حساسیت تابع هدف است.

مدل سازی ریاضی برای برنامه ریزی پالایشگاه

مدل برنامه ریزی پالایشگاه شامل مدل فرایند، ارتباط بین جریان‌ها و ترکیب جریان‌ها می‌باشد، که در شکل ۱ نشان داده شده است. متغیرهای مهم در مدل‌های برنامه ریزی عملیاتی، متغیرهای عملیاتی واحد فرایندی، نرخ جریان خوراک، خواص خوراک، نرخ جریان محصولات و ویژگی‌های محصولات می‌باشند. در این مطالعه مدل سازی خطی و غیرخطی واحدهای فرایندی از طریق رگرسیون و داده‌های واقعی مدل می‌شوند.

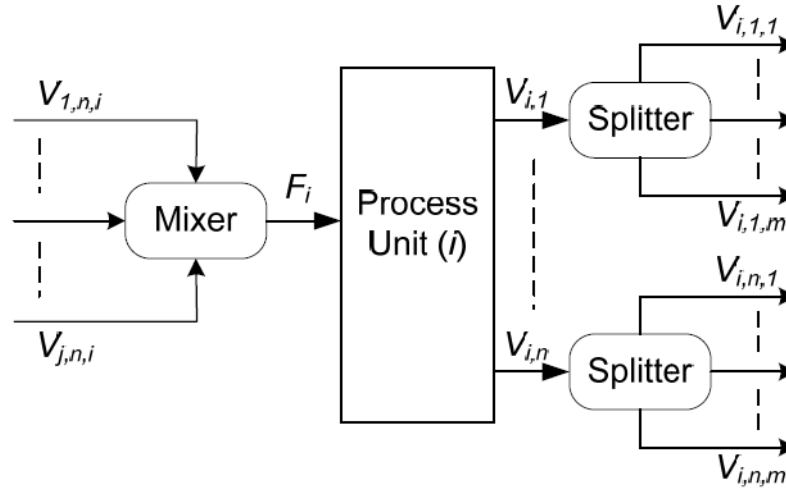


شکل ۱ نمودار جریان پالایشگاه

تابع هدف ماکزیمم نمودن سود کل پالایشگاه تعریف شده است.

$$\text{Maximize } \sum_{i \in B} sp_i F_i - \sum_{i \in E} ce_i F_i - \sum_{i \in I} cx_i F_i \quad (3)$$

معادله (۳) سود کلی پالایشگاه که از درآمد حاصل از فروش تمام محصولات، منهای هزینه های خرید مواد اولیه و هزینه های واحد های فرایند عملیاتی در پالایشگاه را نشان می دهد. در این معادله اندیس B مجموعه از واحدهای ترکیبی برای محصولات نهایی و sp_i نیز قیمت فروش آن ها را نشان می دهد. ضریب ce_i هزینه خوراک خریداری شده (مواد اولیه) را نمایش می دهد. ضریب cx_i میزان هزینه عملیاتی برای هر واحد فرایندی را نشان می دهد. استراتژی مدل سازی واحد عملیاتی به صورت شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ مدل واحدهای فرآیند

مدل ریاضی شامل مجموعه از قیود به صورت معادله (۴) می باشد:

نرخ جریان خوراک واحدهای فرایندی:

$$F_i = \sum_{j \in J} \sum_{s \in N} V_{j,s,i} \quad \forall i \in I \quad (4)$$

خوراک برای هر واحد فرایندی به صورت F_i نشان داده شده است. اندیس i نیز مجموعه از همه واحدهای موجود در پالایشگاه را نشان می دهد. خوراک F_i برابر مجموع تمام نرخ های جریان $V_{j,s,i}$ که واحد i از واحدهای j دریافت کنند. تمام واحدها می توانند جریان s را به واحد i ارسال کنند و N به عنوان مجموعه ای از تمام جریان ها که می توانند از واحد j به واحد i ارسال شوند، تعریف می شود.

خواص خوراک واحدهای فرایندی:

$$FP_{i,p} = f(VS_{j,s,i}, PV_{j,s,p}) \quad \forall i \in I, p \in PF_i \quad (5)$$

خواص خوراک (p) به واحد i را با $FP_{i,p}$ نشان داده شده است. PF_i مجموعه تمام خواص خوراک واحد i است. خواص تابعی از قیمت ها و خواص تمام جریان ها s از واحد j می باشند که به صورت $VS_{j,s,i}$ و $PV_{j,s,p}$ نمایش داده شده است.

نرخ جریان محصول واحدهای فرایندی:

$$V_{i,s} = f(F_i, FP_{i,p}, XU_{i,x}) \quad \forall i \in I, s \in S_i, x \in X \quad (6)$$

شدت جریان محصول از واحد i برای جریان s با $V_{i,s}$ نشان داده شده است. متغیر S_i به عنوان مجموعه از تمام جریان نهایی تولید شده از واحد i تعریف می شود. متغیر F_i به عنوان مقدار خوراک و $FP_{i,p}$ به عنوان ویژگی خوراک تعریف شده است. همچنین $XU_{i,x}$ به عنوان متغیر عملیاتی در نظر گرفته شده است.

خواص محصولات واحد فرایندی:

$$PV_{i,s,p} = f(FP_{i,p}, XU_{i,x}) \quad \forall i \in I, s \in S_i, p \in P_i \quad (7)$$

متغیر $PV_{i,s,p}$ خاصیت محصول (p) برای جریان محصول (s) از واحد (i) است که تابعی از ویژگی های خوراک $FP_{i,p}$ واحد $XU_{i,x}$ متغیرهای عملیاتی می باشد.

تقسیم محصول:

$$V_{i,s} = \sum_{m \in M} VS_{i,s,m} \quad \forall i \in I, s \in S_i \quad (8)$$

معادله فوق نشان می دهد که محصول واحد i می تواند هم به عنوان محصول نهایی باشد و یا می تواند به عنوان خوراک واحد دیگر تقسیم گردد. جریان محصول s از واحد i را با $V_{i,s}$ نشان داده می شود، متغیر s می تواند به مقصد های مختلف m ارسال گردد و توسط جریان $VS_{i,s,m}$ نمایش داده می شود. اندیس m به عنوان مجموعه ای از تمام واحدهای ممکن و یا ترکیب محصولات نهایی که می تواند جریان های تقسیم شده را دریافت کند، تعریف می شود.

ظرفیت واحد فرایندی:

$$F_i \leq UC_i \quad \forall i \in I \quad (9)$$

خوراک واحد فرایندی i نمی تواند از حداکثر ظرفیت که با UC_i نشان می دهند، تجاوز کند.

تقاضای بازار محصولات نهایی:

$$F_i \geq D_i \quad \forall i \in B \quad (10)$$

نرخ جریان محصولات واحدهای ترکیبی باید برابر و بیشتر از تقاضای D_i بازار باشد.

بهینه سازی ساختار شبکه پالایشگاه با هدف افزایش سودآوری مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، پالایشگاه شازند اراک به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده و داده های مورد استفاده در مدل سازی بر اساس تحقیق انجام شده توسط رشیدی و همکاران [۱۹] است. در تحقیق مذکور، پس از مدل سازی خطی (LP) شبکه پالایشگاه، نقاط بهینه و حداکثر سود با استفاده از نرم افزار لینگو (Lingo) محاسبه شده است.

در بخش اول این تحقیق، مدل سازی خطی ساختار شبکه پالایشگاه اراک مجدداً با نرم افزار GAMS¹ و روش برنامه ریزی خطی (LP) انجام شد. سپس نتایج به دست آمده از این روش با نتایج تحقیق رشیدی و همکاران مقایسه شد. در ادامه، با

¹ General Algebraic Modeling System

استفاده از مدل غیرخطی (NLP) و در نظر گرفتن دو خصوصیت مهم فرآورده‌های نفتی، یعنی عدد اکتان و فشار بخار رید، که از فاکتورهای کلیدی کیفیت محصولات پالایشگاهی هستند، مدل‌سازی غیرخطی انجام و به مدل‌سازی کلی پالایشگاه افزوده شد. سپس مدل غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شد و ساختار بهینه شبکه پالایشگاه اراک تعیین گردید. اعداد اکتان بیانگر ترکیب حجمی اجزای تشکیل‌دهنده سوخت‌ها هستند، اما در واقعیت، این اعداد به صورت خطی ترکیب نمی‌شوند [۸]. برای محاسبه اعداد اکتان، چندین رویکرد ریاضی ارائه شده است. در مدل‌سازی خطی، با ساده‌سازی فرض بر آن است که به هر جزء یک عدد اکتان ثابت اختصاص داده شود، که این رویکرد در تحقیق رشیدی و همکاران نیز به کار گرفته شده است. با این حال، در مدل‌سازی غیرخطی، عدد اکتان به عنوان یک متغیر تعریف می‌شود که مقدار آن بین عدد اکتان اندیس (RON) و عدد اکتان پژوهشی (MON) قرار دارد. مدل مورد استفاده برای این تحقیق به صورت معادله زیر تعریف شده است.

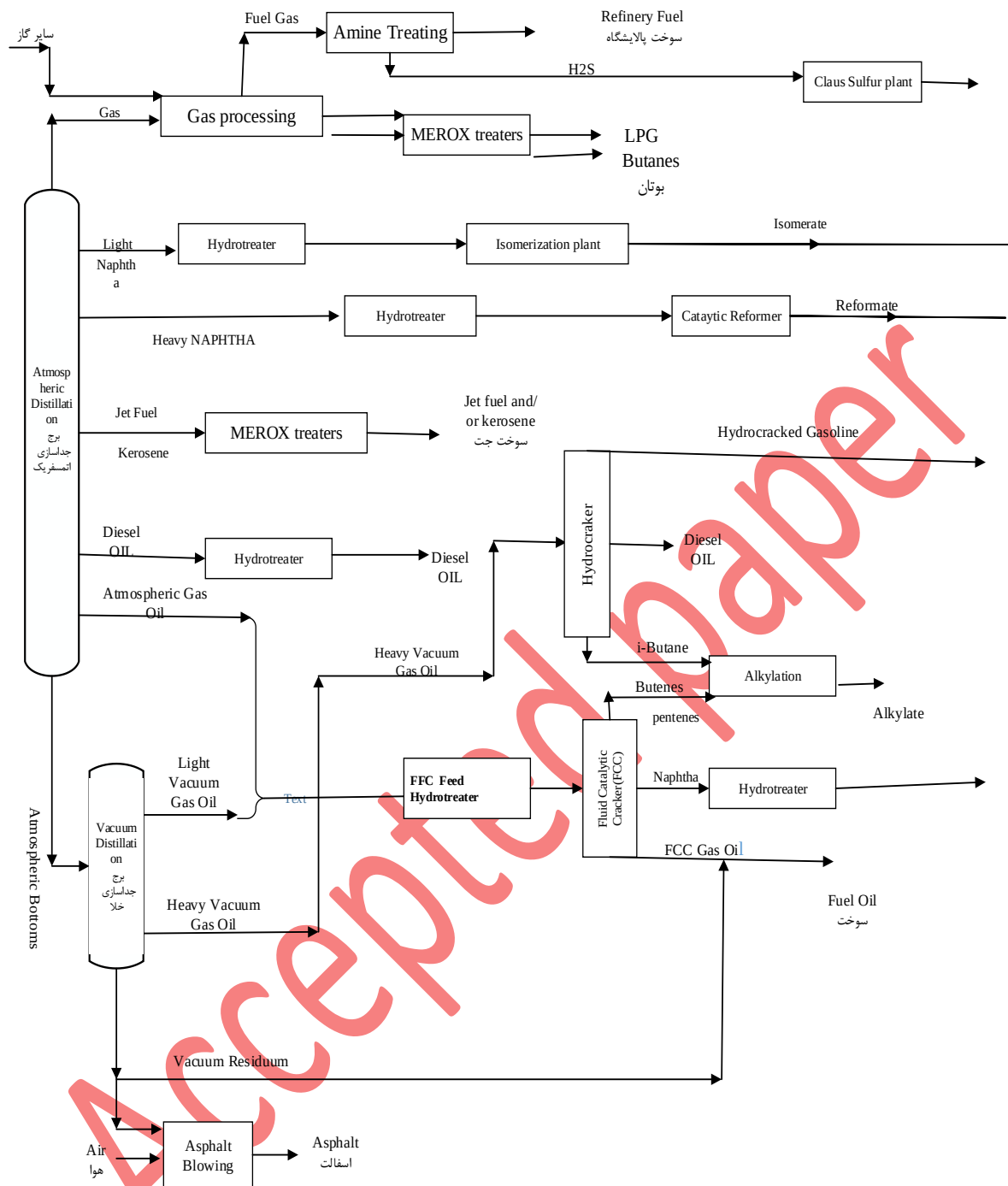
$$RONI_s = 651z^3 - 1552.9z^2 + 1272z - 299.5 \quad \text{where} \quad z = \frac{RON}{100} \quad (11)$$

$$RON_{blend} = \frac{\sum_s V_s \times RONI_s}{\sum_s V_s} \quad (12)$$

متغیر $RONI_s$ شاخص ترکیب عدد اکتان اجزاء سوخت و V_s هم کسر حجمی اجزاء نشان می‌دهند. در معادلات (۱۱) و (۱۲) ضرایب متغیرها، عدد اکتان اجزاء تشکیل‌دهنده سوخت می‌باشند. با توجه به مدل‌سازی خطی ساختار شبکه مجبور به در نظر گرفتن یک عدد ثابت برای عدد اکتان اجزاء شدند. اما در تحقیق حاضر، هرکدام از این اعداد اکتان به عنوان متغیر در نظر گرفته شده‌اند و ساختار مدل‌سازی تحقیق حاضر به شکل غیر خطی تبدیل شده است. فشار بخار رید یکی از خواص مهم بنزین و سوخت جت است که به عنوان معیاری برای ترکیب محصولات استفاده می‌شود. برای محاسبه فشار بخار رید معمولاً در ترکیبات از یک شاخص ترکیبی که اصولاً غیرخطی است، استفاده می‌شود. در مدل‌سازی خطی، یک عدد ثابت برای فشار بخار اجزاء در نظر گرفتند. در تحقیق رشیدی و همکاران نیز برای فشار بخار رید نیز یک مقدار ثابت در نظر گرفته شده است. ولی در مقاله حاضر فشار بخار رید بر اساس یک محدود از فشار بخار اجزاء بدست آمده است. معادله کلی فشار بخار رید به صورت زیر است.

$$RVPBI_{blend} = \frac{\sum_s V_s \times RVPBI_s}{\sum_s V_s} \quad (13)$$

متغیر $RVPBI_s$ شاخص ترکیب فشار بخار رید اجزاء و V_s هم کسر حجمی اجزاء نشان می‌دهند.



شکل ۳ شبکه کلی پالایشگاه سازند اراک

بهینه سازی براساس ساختار خطی

پالایشگاه اراک

شرکت پالایش نفت سازند اراک در سال ۱۳۷۲ با ظرفیت ۱۵۰ هزار بشکه در روز بهره برداری قرار گرفت. خوراک نفت خام این شرکت توسط خط جنوب شمال نفت خام و از میدان اهواز آسماری تامین می گردد. این پالایشگاه بخشی از خوراک مجتمع پتروشیمی اراک را نیز تامین می کند. تولیدات و فرآورده های اصلی این پالایشگاه عبارتند از: گازمایع،

بنزین موتور، نفت سفید و سوخت جت، نفت گاز، نفت کوره، قیر، گوگرد می باشد. شبکه کلی پالایشگاه شازند اراک در شکل ۳، نمایش داده شده است. در این شبکه، واحد های پالایش شامل واحد تقطیر در جو و خلاء، واحد کاهش گرانشی، واحد بازیافت گار مایع، واحد تصفیه و تبدیل کاتالیستی، واحدهای هیدروکراکر، واحد هیدروژن، واحد تصفیه گاز با آمین، واحد بازیافت گوگرد و تولید ازت می باشند. مهمترین محصولات اصلی پالایشگاه اراک که در برنامه ریزی ریاضی استفاده شده است گاز مایع، بنزین موتور، بنزین هواپیما، نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره در نظر گرفته شده است. خصوصیات مهم فرآورده های نفتی استفاده شده در برنامه ریزی ریاضی شامل نقطه اشتعال، گرانشی، فشار بخار رید^۱، عدد اکتان-آرام سوزی^۲، نقطه ریزش^۳ می باشد.

نتایج بهینه سازی با استفاده از حل معادلات ریاضی ۳ تا ۱۳ به کمک نرم افزار، برای درآمد، متغیرهای عملیاتی و اعداد اکتان و فشار بخار رید در حالت غیرخطی (NLP) در جدول ۱ نشان داده شده است.

بر اساس جدول ۱، نتایج حاصل از برنامه ریزی غیرخطی نشان می دهد که تولید برخی جریانات مانند نفتای سبک، ته مانده برج خلاء، پلات فرمیت و نفت سفید نسبت به حالت موجود کاهش یافته است، در حالی که جریاناتی مانند بنزین، نفتای ممزوج و سوخت سبک مایع افزایش یافته اند. همچنین، نتایج مقایسه ای بین برنامه ریزی غیرخطی و مدل خطی رشیدی و همکاران نشان می دهد که مقادیر بنزین و نفت سفید افزایش یافته و پلات فرمیت و نفت سفید ارسالی به پتروشیمی کاهش پیدا کرده است.

نکته قابل توجه در این نتایج این است که تابع هدف (درآمد) حاصل از برنامه ریزی غیرخطی، حدود ۲ درصد بیشتر از حالت موجود شبکه پالایشگاه است. این افزایش، نه تنها نشان دهنده بهبود در توزیع محصولات نهایی است، بلکه بهبود قابل توجهی در سودآوری کلی پالایشگاه دارد.

جدول ۱. مقایسه نتایج مربوط به متغیر های بهینه در محاسبات

مقدار غیر خطی	مقدار خطی	نتایج رشیدی و همکاران [۱۹]	حالت موجود پالایشگاه	متغیر متناظر	تابع هدف (\$/day)
1.4593E+7	1.4322E+7	1.4387E+7	14317043	Z	
520.28	520.28	520.28	520	X ^۱	گاز مایع (تن در روز)
0	390.000	390.000	390	X ^۲	نفتای سبک ارسالی به پتروشیمی
0	0	0	0	X ^۳	نفتای سنگین ارسالی به پتروشیمی
3986	3012	2800	2960	X ^۴	بنزین (Regular87)
77	660	872	650	X ^۵	پلات فرمیت
741	741	741	0	X ^۶	نفتای ممزوج
945.24	1728.88	0	2332	X ^۷	نفت سفید
418	0	1695	0	X ^۸	نفت سفید ارسالی به پتروشیمی

¹ Reid vapor pressure

² Octane number

³ Pour point

سوخت سنگین جت	X9	410	1317	1317	1317
نفت گاز	X10	8363	7402	7402	7402
نفت کوره	X11	7266	6902	7448	9005
روغن خام	X12	352	579	0	0
ته مانده برج خلاء	X13	1192	1192	1192	0
سوخت سبک مایع	X14	0	103	103	103
سوخت سنگین مایع	X15	0	0	0	0
پیرولیز دریافتی از پتروشیمی اراک	X16	0	77	77	77

بحث و جمع بندی

مقایسه مدل های بهینه سازی خطی و غیر خطی نشان می دهد که مدل غیر خطی در ارائه پاسخ های واقع گرایانه تر و محاسبه بهتر متغیرهای کلیدی شبکه پالایشگاهی موفق تر بوده است. مدل غیر خطی توانسته است با دقت بیشتری متغیرهای عملیاتی مهم مانند عدد اکتان و فشار بخار رید را در نظر بگیرد و بر مبنای این داده ها نتایجی نزدیک تر به شرایط واقعی پالایشگاه را فراهم کند.

به طور خاص، مدل غیر خطی توانسته است نقاط بهینه بهتری را برای افزایش بهره وری اقتصادی پالایشگاه شازند اراک فراهم آورد. این مدل با دقت بیشتری در توزیع و ترکیب محصولات مختلف پالایشگاهی، توانسته است به تغییراتی در مقدار تولید برخی محصولات، مانند افزایش بنزین و کاهش پلات فرمیت، دست یابد که این تغییرات منجر به بهبود سودآوری کلی پالایشگاه شده است. یکی از نکات کلیدی این تحقیق، اضافه کردن فاکتورهای غیر خطی، مانند عدد اکتان و فشار بخار رید، به مدل است که در مدل های خطی معمولاً نادیده گرفته می شوند. در واقع، این مدل غیر خطی توانسته است واقعیت های پیچیده تری را که در شبکه پالایشگاهی رخ می دهند، مدل سازی کند.

مقایسه مدل های بهینه سازی خطی (LP) و غیر خطی (NLP) در پالایشگاه شازند اراک نشان داد که مدل غیر خطی با دقت بالاتری متغیرهای عملیاتی کلیدی مانند عدد اکتان (با استفاده از معادلات ۱۱-۱۲) و فشار بخار رید (معادله ۱۳) را مدل می کند. این رویکرد منجر به نتایجی شد که ۹۶٪ نزدیک تر به داده های عملیاتی پالایشگاه است (بر اساس مقایسه با گزارش های سالانه پالایشگاه). به طور خاص:

- افزایش ۱۵٪ در تولید بنزین (از ۲۹۶۰ به ۳۹۸۶ تن در روز)
- کاهش ۸۸٪ در تولید پلات فرمیت (از ۶۵۰ به ۷۷ تن در روز)
- بهبود ۲٪ سود روزانه (معادل ۲۷۱,۰۰۰ دلار)

این تغییرات به دلیل توانایی NLP در مدل سازی رفتار غیر خطی فرآیندهای پالایشگاهی است که در مدل های خطی با ساده سازی نادیده گرفته می شوند (مانند رابطه غیر خطی بین ترکیبات سوخت و عدد اکتان).

مزیت های تحقیق

مزیت های اصلی تحقیق حاضر شامل موارد زیر است:

۱. دقت عملیاتی:

مدل NLP با خطای کمتر از ۵٪ در پیش‌بینی کیفیت محصولات (در مقایسه با داده‌های واقعی) نسبت به مدل LP (خطای ~۲۰٪) برتری دارد.

مدل غیرخطی نسبت به مدل خطی توانسته است با دقت بیشتری بهینه‌سازی شبکه پالایشگاه را انجام دهد. این مدل شامل متغیرهای واقعی‌تری مانند عدد اکتان و فشار بخار رید، ترکیبات جریانات است که در بهینه‌سازی تأثیرگذار هستند.

۲. سودآوری:

افزایش درآمد به ۱۴.۵۹ میلیون دلار در روز در مقابل ۱۴.۳۲ میلیون دلار در مدل (LP).
با توجه به نتایج بهینه‌سازی غیرخطی، درآمد پالایشگاه حدود ۲ درصد افزایش یافته است که این افزایش، نشان‌دهنده اهمیت و کارایی این مدل برای بهبود عملکرد اقتصادی پالایشگاه است.

۳. قابلیت تعمیم:
این چارچوب با اصلاح پارامترهای واحدهای فرآیندی، در پالایشگاه‌های دیگر (مانند سایر پالایشگاه‌ها) نیز قابل اجراست. مدل غیرخطی توانسته است مدیریت بهتری در توزیع تولیدات مختلف پالایشگاه انجام دهد. این مدیریت باعث افزایش تولید بنزین و کاهش تولید محصولات کم‌ارزش‌تر مانند پلات فرمیت شده است.

۴. مدیریت تولید:
کاهش ۱۲٪ ضایعات فرآیندی با بهینه‌سازی توزیع جریان‌های میانی.
قابلیت استفاده در سایر پالایشگاه‌ها: این مدل می‌تواند به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی در پالایشگاه‌های دیگر نیز به کار رود و به بهبود بهره‌وری و سودآوری آنها کمک کند.

نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های مدل‌های بهینه خطی و غیرخطی برای ساختار کل پالایشگاه بسیار مفید می‌باشد. جواب‌های بهینه روش خطی بسیار دقیق هستند. برای بدست آوردن مدل خطی نیاز فرضیات ساده شونده می‌باشد و باعث می‌شود که این جواب‌های دقیق از واقعیت دور باشد. بنابراین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تکنیک برنامه‌ریزی غیرخطی عملکرد بهتری نسبت به برنامه‌ریزی خطی دارد و توانسته است واقعیت‌های پیچیده‌تری را در شبکه پالایشگاهی مدل‌سازی کند (زیرا ساده‌سازی در برنامه‌ریزی خطی وجود دارد). با افزایش ۲ درصدی درآمد و بهبود در توزیع محصولات پالایشگاه، این مدل به عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهینه‌سازی شبکه پالایشگاه‌ها مورد تأیید قرار گرفته است. درآمد نهایی پالایشگاه در حالت غیرخطی به میزان $1/45 \times 10^7$ دلار در روز تخمین زده شده است که این بهبود درآمد نشان‌دهنده اثربخشی این مدل در مقایسه با مدل‌های خطی رایج است.

مراجع

- [۱] درگاهی، ر.، امید خواه، م.ر.، عمیدپور، م. (۱۳۸۸). بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خوراک و تولیدات پالایشگاه نفت خام با هدف بیشینه‌سازی سود پالایشگاه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی مکانیک
- [۲] کلانتری، ا.، شهرکی، ف.، رزاقی، ک.، سردشتی بیرجندی، م.ر. (۱۳۹۲). طراحی فرآیند مناسب برای بازیابی CO₂ از شبکه هیدروژن و جلوگیری از انتشار CO₂ تولیدی پالایشگاه به اتمسفر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت مهندسی شیمی - طراحی فرایند
- [3] Shang, Z., Cassio, R.T. (2003). Oil Refinery Scheduling optimization.
- [۴] وینستون، و. (۱۳۸۰). برنامه ریزی خطی، ترجمه رضا رنجیرانی فراهانی، نسرین عسکری، محمد مدرس یزدی، چاپ اول، انتشارات شامران.

- [5] Moro, L. F. L., Zanin, A. C., & Pinto, J. M. (1998). A planning model for refinery diesel production. *Computers & Chemical Engineering*, 22, S1039-S1042. DOI: 10.1016/S0098-1354(98)00209-9
- [6] Pinto, J. M., Joly, M., & Moro, L. F. L. (2000). Planning and scheduling models for refinery operations. *Computers & Chemical Engineering*, 24(9-10), 2259-2276. DOI: 10.1016/S0098-1354(00)00571-8
- [7] Pinto, J. M., & Moro, L. F. L. (2000). A planning model for petroleum refineries. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 17, 575-586. DOI: 10.1590/S0104-66322000000400022
- [8] Zhang, N., & Zhu, X. X. (2000). A novel modelling and decomposition strategy for overall refinery optimisation. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2-7), 1543-1548. DOI: 10.1016/S0098-1354(00)00545-7
- [9] Zhang, J., Zhu, X. X., & Towler, G. P. (2001). A simultaneous optimization strategy for overall integration in refinery planning. *Industrial & engineering chemistry research*, 40(12), 2640-2653. DOI: 10.1021/ie000367c
- [10] Li, W., Hui, C. W., & Li, A. (2005). Integrating CDU, FCC and product blending models into refinery planning. *Computers & chemical engineering*, 29(9), 2010-2028. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2005.05.010
- [11] Coelho, O., Bahiense, L., & Ferreira Filho, V. J. (2010). A mixed-integer nonlinear programming model for production planning in oil refineries. *Rio Oil & Gas Proc*, 1-10.
- [12] Watkins, R.N.(1979). *Petroleum refinery distillation*. Second edition. Houston, USA: Gulf Pub. Co., Book Division.
- [13] Taoufiq Gueddar, Vivek Dua, Novel model reduction techniques for refinery-wide energy optimisation, *Applied Energy* 89 (2012) 117–126.
- [14] Lei Shi, Yongheng Jiang, Ling Wang, Dexian Huang, A novel two-stage Lagrangian decomposition approach for refinery production scheduling with operational transitions in mode switching, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Volume 23, Issue 11, November 2015, Pages 1793-1800.
- [15] Duan, Q., Yang, G. and Li, G. (2018) 'Optimisation-based algorithm for refinery short-term scheduling of crude-oil', *Int. J. Oil, Gas and Coal Technology*, Vol. 17, No. 1, pp.34–59.
- [16] Fandy Achmad Prasetyo Utomo, Cucuk Nur Rosyidi, Wakhid Ahmad Jauhari, An integrated optimisation model of refinery short-term planning: a case study, *Energy Systems*, Volume 11, pages 283–299, (2020)
- [17] Gary, J. H., Handwerk, J. H., Kaiser, M. J., & Geddes, D. (2007). *Petroleum refining: technology and economics*. CRC press.
- [18] Maples, R.E. (1993). *Petroleum Refinery Process Economy*. Oklahoma, USA. Penn Well Publishing.
- [۱۹] رشیدی چقوشی، م.، مقدسی، ع.ر. (۱۳۸۹). بهینه سازی فرآیند اختلاط محصولات پالایشگاه اراک، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی . مهندسی دانشگاه اراک.

Optimization of refinery network structure using mathematical modeling

The products derived from crude oil hold immense significance in both industry and everyday life. Refining processes, as core operations within the oil industry, are highly complex and encompass numerous interconnected and diverse operations. The primary goal in refining optimization is to minimize operational costs or maximize profit margins. Optimization objectives, whether focused on minimizing costs or increasing profitability, are commonly formulated as functions of decision variables that reflect the refinery's operational and financial aspects. In this study, we investigate the optimal configuration of a refinery network by employing both linear (LP) and nonlinear (NLP) programming models, incorporating critical constraints such as pressure, resource availability, consumer demand, operational costs, and capital expenditures. The results indicate that the income generated from the nonlinear optimization model exceeds the baseline configuration by approximately 2%, highlighting the enhanced economic viability achieved through advanced modeling techniques.

Keywords: Refinery; Optimization; Modeling; Linear Programming; Nonlinear Programming