فصلنامهٔ مهندسی مدیریت نوین
دورهٔ نهم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۲

بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی

حمیدرضا محمودی[۱]، مرتضی بذرافشان[۲]، محدثه احمدی پور[۳]

چکیده

هدف از این پژوهش ارائهٔ چارچوبی برای بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و شبیه‌سازی است. این تحقیق از نظر هدف جزء تحقیقات کاربردی است، همچنین، از نظر ماهیت، کمی است. زیرا تماماً از ابزارهای کمی مانند روش‌های مدل‌سازی ریاضی، شبیه‌سازی و روش‌های حل فراابتکاری استفاده شده است. در این چارچوب، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای خطوط انتقال نفت و گاز را می‌توان به حداقل رساند تا نیازهای فشار و شبکهٔ انتقال برآورده شود. همچنین می‌توانیم تولید آلاینده‌ها را در بخش‌های مرتبط با زنجیره به حداقل برسانیم. با به‌کارگیری یک مورد مطالعهٔ واقعی، تمام تصمیمات ممکن برای در نظر گرفتن جنبه‌های زیست‌محیطی زنجیرهٔ تأمین در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، ساختار و تصمیمات زنجیرهٔ تأمین عموماً بر دو کارکرد هدف شامل کاهش هزینه‌های انتقال و نگهداری و آلودگی در تصفیه خانه‌ها و مراکز توزیع استوار است. نتایج نشان داد که استفاده از مدل پیشنهادی، هزینه‌ها را تا ۳۱ درصد و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۵۱ درصد کاهش می‌دهد. همچنین افزایش ۸ درصدی ظرفیت میادین و پالایشگاه‌ها و افزایش ۶۵ درصدی صادرات رخ خواهد داد. با استفاده از نتایج به دست آمده از حل مدل می‌توان سهم هر فرآوردهٔ نفتی را در بهای تمام شده و هر قسمت از زنجیره را در تولید گازهای گلخانه‌ای تعیین کرد. بر اساس نتایج، نفت بیشترین و روغن‌ها کمترین هزینه را دارند. علاوه بر این، پالایشگاه‌ها بیشترین تأثیر و مخازن ذخیره کمترین تأثیر را بر آلودگی محیط‌زیست دارند.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌سازی، انتشار گازهای گلخانه‌ای

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.(نویسندهٔ مسئول)
bazrafshan@liau.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

تاریخ وصول:۱۴۰۲/۴/۲۴ **تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۷/۶**

مقدمه

امروزه افزایش مداوم در قیمت نفت و نوسان در آن، باعث شده که میعانات نفتی به یکی از مهم‌ترین منابع مهم انرژی در جهان تبدیل شوند. همچنین، خاورمیانه به‌عنوان ذخیره‌گاه اصلی این منبع مهم به دلیل حضور کشورهایی همچون ایران، عربستان سعودی و کشورهای حاشیهٔ خلیج‌فارس از اهمیت بسزایی برخوردار است. با زیاد شدن جمعیت و بهبود اقتصاد، در قسمت صنایع برای گسترش بخش‌های صنعتی به دلیل افزایش درآمد، تقاضا برای استفاده از گاز افزایش پیدا کرده است. سازمان اطلاعات انرژی ایالات متحده آمریکا در طی گزارشی اعلام کرده است که مصرف انرژی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ دو برابر شده است (گزارش سالیانهٔ انرژی، ۲۰۱۰) و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ به میزان تقریبی چهار تریلیون مترمکعب برسد (گزارش سالیانهٔ انرژی، ۲۰۰۹). سیستم‌های توزیع و انتقال دو جزء اساسی شبکهٔ میعانات نفتی به شمار می‌روند. یک سیستم انتقال را می‌توان به‌صورت یک سیستم خط لولهٔ فشارقوی در نظر گرفت که نفت را در یک فاصلهٔ طولانی از تأمین‌کننده به مراکز پالایشگاهی از طریق لوله‌هایی به قطر زیاد انتقال می‌دهد. نفت خام، در حجم زیاد از طریق ایستگاه‌های متراکم‌کننده که در نقاط استراتژیک از خط انتقال قرار گرفته‌اند، انتقال داده می‌شود. سیستم‌های توزیع، سیستم‌هایی هستند که نفت خام را از سیستم انتقال گرفته و آن را به مصرف‌کنندهٔ نهایی که تجاری، صنعتی و نیروگاه‌های برق هستند انتقال می‌دهند. توزیع به‌وسیلهٔ شرکت‌های محلی انجام می‌شود. وجود روابط منطقی بین افت فشار و نرخ جریان در شبکهٔ خطوط انتقال نفت خام، به علت جریان متغیر باعث شده تا با مسائل متفاوت‌تری نسبت به سایر مسائل جریان شبکه روبرو شویم که معمولاً باعث غیرخطی شدن مسئله می‌گردد. برای مثال، زمانی که نفت خام در درون لوله قرار می‌گیرد لازم است فشار داخل لوله به‌گونه‌ای تغییر کند که نفت خام در درون آن جریان پیدا کند. ایستگاه‌های متراکم‌کنندهٔ تقویت فشار، انرژی ضروری برای نگهداری فشار مورد نیاز در طول لوله را تهیه می‌کنند. کمینه‌سازی هزینهٔ انتقال نفت خام با انتخاب قطر لولهٔ مناسب و با در نظر گرفتن محدودیت‌های عدم افت فشار در گره‌ها و حجم جریان انتقال نفت خام، همواره یکی از چالش‌های مهم در صنعت

نفت است. به‌طوری که بیش از ۳۰ درصد قیمت نهایی نفت خام پالایش‌شده مربوط به هزینهٔ توزیع و انتقال است؛ بنابراین، در این مقاله، با تمرکز بر این مسائل یک چارچوب بهینه‌سازی مبتنی بر مدل‌سازی شبیه‌سازی برای حل یک مسئلهٔ غیرخطی عدد صحیح با هدف کمینه‌کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی برای خطوط انتقال نفت و گاز ارائه می‌شود که احتیاجات فشار در طول شبکهٔ انتقال را برآورده سازد. همچنین، در بحث مسائل محیط‌زیستی و اهمیت فراوان این حوزه تصمیم‌گیرندگان و محققان سعی می‌کنند که فاکتورهای محیط‌زیستی (کاهش آلودگی و گازهای گلخانه‌ای) را در فرآیند تصمیم‌گیری خود بگنجانند. بر این اساس طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین زیست‌محیطی نیاز به نگاه اساسی دارد (رضایی و همکاران[1]، ۲۰۱۷)؛ بنابراین، یکی از کارهایی که می‌تواند به افزایش سودآوری در یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین منجر شود در نظر گرفتن توابع هدف جدید زیست‌محیطی یا سبز است. تمام سازمان‌ها به دنبال طراحی درست و مناسب زنجیرهٔ تأمینی هستند که علاوه بر تصمیمات تاکتیکی به تصمیمات استراتژیکی هم دست یابند. این کار باعث می‌شود که مهم‌ترین دغدغهٔ سازمان‌های نوظهور طراحی درست این زنجیره باشد. اهدافی که به دنبال آن هستیم شامل (تعیین مکان قرارگیری تسهیلات شامل، تولیدی، مکان‌های توزیع، انبارها و جایگاه‌های بازیافت و جمع‌آوری و تخصیص بهینهٔ این تسهیلات و مشتریان به یکدیگر و تعیین ظرفیت تسهیلات) به‌گونه‌ای است که بتواند به‌صورت بهینه باشد. تصمیماتی که به‌صورت بلندمدت و یا استراتژیک اخذ خواهد شد، شامل (تصمیم‌گیری در مورد تعداد و محل تسهیلات تولید و ذخیره‌سازی، میزان ظرفیت هر تسهیل، جمع‌بندی تقاضای بازار و تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تأمین‌کننده از دیدگاه هزینهٔ کل) است. همچنین، تصمیماتی که به‌صورت کوتاه‌مدت و عملیاتی اخذ خواهد شد شامل تعیین سطوح موجودی و اعمال برنامه‌ریزی تخفیف و... به‌صورت مناسب است (لطفی و همکاران[2]، ۲۰۲۲). شرایط رقابت جهانی و حساسیت‌ها نسبت به محیط‌زیست، سازمان‌ها و مراکز تولید را مجبور به رعایت الزامات زیست-

[1] Rezaee
[2] Lotfi

محیطی نسبت به احیا یا توسعهٔ محصولات کم‌خطر کرده است که این امر موجب پی‌بردن به اهمیت طراحی زنجیره‌های تأمین جدید با قابلیت‌های مناسب در کنار زنجیره-های تأمین سنتی شده است؛ بنابراین، افزودن توابع هدف زیست‌محیطی، علاوه بر در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، می‌تواند منافع شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین را افزایش دهد (جمال[1]، ۲۰۲۲).

زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی که شامل فرآیند تولید، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی و توزیع محصولات نفتی است، اهمیت بسیاری در صنعت نفت دارد (آلفارس[2]، ۲۰۲۳). ضرورت زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی به دلیل موارد زیر است: ۱-تأمین پایداری: زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی، پایهٔ اصلی تأمین مستمر و پایداری محصولات نفتی برای مصرف‌کنندگان است. مثلاً، اگر یک کشور نفتی قادر به تأمین نفت خام، سوخت و سایر محصولات نفتی نباشد، این ممکن است منجر به نقصان جدی و قطعی در عملکرد حمل‌ونقل، تولیدی، صنعتی و خدماتی شود. ۲- امنیت: زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی باعث حفظ امنیت ملی و منطقه‌ای می‌شود. برای مثال، اگر یک کشور قادر به تولید و تأمین نفت نباشد، ممکن است به قدری وابسته به عرضهٔ خارجی شود که منجر به تأثیرگذاری منفی بر امنیت ملی و تأمین منابع نفتی شود. ۳- اقتصاد: زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی به صنعت نفت و کشوری که در آن تولید می‌شود، رونق و سودآوری می‌بخشد. این بخش صنعتی گرچه نیاز به سرمایه‌گذاری و فناوری پیشرفته دارد، اما به‌عنوان یکی از سرمایه‌گذاری‌های سنگین و جوان‌تر دولتی، تأثیر اقتصادی بسیاری دارد. ۴- مدیریت ریسک: زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی می‌تواند بهترین روش برای مدیریت ریسک‌های مربوط به صنعت نفت باشد. تأمین یک میعان نفتی مناسب و بدون توقف برای مصرف‌کنندگان، می‌تواند ریسک رویدادهای ناگوار نظیر قطعی در عرضه و رشد قیمت‌ها را کاهش دهد (جمال[3]، ۲۰۲۲)؛

[1] Jamal
[2] Alfares
[3] Jamal

بنابراین، رویکرد اصلی این مقاله در راستای ارائهٔ یک چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر شبیه‌سازی برای زنجیرهٔ تأمین توزیع و انتقال شبکهٔ میعانات نفتی به‌منظور برآورده کردن نیاز مشتری با استفادهٔ حداکثری از ظرفیت منابع (احتیاجات فشار در طول شبکه) است. علی‌رغم اینکه، هدف نهایی در چنین شبکه‌هایی معمولاً کمینه‌سازی هزینه-های عملیاتی و سرمایه‌گذاری است، اما نگرانی در مورد مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی، دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی را بر آن داشته است تا با ایجاد مقررات، شرکت‌های فعالی را در حوزهٔ انرژی به سمت سرمایه‌گذاری در توسعهٔ پایدار سوق دهند (تائوتنچیان و همکاران[1]، ۲۰۱۹). این توجهات و فشارهای رو به رشد، شرکت‌ها را مجبور می‌کند تا پایداری را در فعالیت‌های خود در کل زنجیرهٔ تأمین در نظر بگیرند؛ بنابراین، برای دستیابی به توسعهٔ پایدار، باید در برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و تصمیم گیری، مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مورد توجه قرار گیرد (مالوستیو و همکاران[2]، ۲۰۱۸). علاوه بر این، توسعه‌ای که توانایی نسل‌های آینده را برای تأمین نیازهای خود در نظر بگیرد و نیازهای امروز را برآورده کند، توسعهٔ پایدار نامیده می‌شود؛ بنابراین، تأمین تقاضای نسل‌های آینده نگرانی مهم دیگری است که باید در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری دولت‌ها و شرکت‌ها از طریق پایداری مورد توجه قرار گیرد. آلودگی هوا، تغییر آب و هوا و گرم شدن کرهٔ زمین تحت تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به بسیاری از مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی می‌شود. آلودگی هوا، عمدتاً ناشی از سوخت‌های فسیلی و تشدید شده توسط تغییرات آب و هوایی است که به تمام اعضای حیاتی بدن آسیب می‌رساند. علاوه بر این، تخمین زده شده است که آلودگی هوا منجر به سه میلیون مرگ زودرس در سال ۲۰۱۵ شده است (واتس و همکاران[3]، ۲۰۱۸). در نتیجه، سلامت عمومی در معرض خطر است و اگر اقدامی فوری انجام نشود، آسیب در

[1] Tautenhain
[2] Malvestio
[3] Watts

سال‌های آینده افزایش خواهد یافت. سوخت‌های فسیلی، متشکل از زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی، مهم‌ترین منابع اصلی انرژی در جهان هستند. به‌علاوه، منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای احتراق سوخت‌های فسیلی است که با حدود ۹۸٪ انتشار کربن از سوزاندن این منابع به طور مستقیم، بلکه از زنجیرهٔ تأمین آن از جمله استخراج، فرآوری و حمل‌ونقل ساطع می‌شوند (بالکومبه و همکاران[1]، ۲۰۱۶).

در این پژوهش از روش‌های مدل‌سازی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی همزمان استفاده می‌شود؛ بنابراین، می‌توان گفت مدل‌سازی و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی از برنامه‌های مرتبط با سیستم‌های کامپیوتری هستند که امروزه در علوم و مهندسی نقش مهمی دارند و به مهندسان کمک می‌کنند تا هزینه و زمان مصرف شده برای تحقیق را کاهش دهند. از طرف دیگر سهولت آموزش نیز از مزایای دیگر این سه ابزار برای افراد عادی است (بنسون[2]، ۱۹۹۷)؛ بنابراین، در این مقاله یک چارچوب برای بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین میعانات نفتی با رویکرد شبیه‌سازی و مدل‌سازی پیشنهاد می‌شود. بر طبق این چارچوب می‌توان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی برای خطوط انتقال نفت و گاز را به‌گونه‌ای مینیمم کرد که احتیاجات فشار در طول شبکهٔ انتقال را برآورده سازد، به‌علاوه، نیازهای مشتری با استفادهٔ حداکثری از ظرفیت منابع که همان احتیاجات فشار در طول شبکه است در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، این تحقیق در راستای پاسخگویی به مهم‌ترین سؤال تحقیق به شرح زیر است:

- چطور می‌توان با استفاده از طراحی یک زنجیرهٔ تأمین، هزینهٔ انتقال نفت خام و همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را با بهینه‌سازی شبیه‌سازی کاهش داد؟

بنابراین، برای پاسخگویی به سؤال فوق مهم‌ترین اهداف تحقیق در دو دستهٔ علمی و کاربردی به‌صورت زیر مشخص می‌شود که عبارتند از:

هدف علمی تحقیق: ارائهٔ یک چارچوب کاملاً کمی مبتنی بر مدل‌سازی ریاضی و شبیه-

[1] Balcombe
[2] Benson

سازی برای توجیه رفتار در یک زنجیرهٔ تأمین نفت خام به‌منظور ارضای نیاز مشتریان و کاهش هزینه‌ها و گازهای گلخانه‌ای.

هدف کاربردی تحقیق: ارائهٔ مدلی مناسب در خصوص سرمایه‌گذاری محصولات پتروشیمی در یک زنجیرهٔ تأمین سبز با ملحوظ دانستن آلاینده‌های زیست‌محیطی.

باقیماندهٔ مقاله به صورتی که مشخص می‌شود سازماندهی شده است. در بخش دوم، یک مرور ادبیات از مطالعات تاریخی تحقیق ارائه شده است. در بخش سوم، چارچوب روش پیشنهادی تحقیق ارائه شده است. در این بخش ضمن آشنایی با مدل‌سازی ریاضی، روش حل مربوط به مدل پیشنهادی ارائه شده است. در بخش چهارم نتایج تحقیق ارائه شده است. سرانجام، در بخش پنجم نتیجه‌گیری کلی به همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی به همراه بینش‌های مدیریتی ارائه شده است.

مروری بر مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

امروزه شرکت‌ها بایستی با چالش‌های نوین چندگانه دست‌وپنجه نرم کنند. از جمله اینکه باید مشکلات مربوط به تغییرات آب و هوایی را شناسایی کنند، با اثرات منفی بحران‌های مالی و قیمت‌ها روبه‌رو شوند، به منافع عمومی اکولوژی از قبیل لجستیک سبز و تبیین سبز رسیدگی کنند و از پایداری محیطی و کافی بودن انرژی‌ها اطمینان حاصل نمایند. همچنین فشار مضاعفی از طریق وضع قوانین محیطی (از جمله قوانین محیط-زیست اتحادیهٔ اروپا)، رسانه‌های جمعی و به طور کلی افکار عمومی جامعه، تقاضای در حال رشد و قابل‌توجه مشتریان برای شفافیت و افزایش آگاهی‌های آن‌ها در خصوص شرایط ساخت و توزیع کالاها (از جمله مسائل زیست‌محیطی، ایمنی و حقوق بشر) بر شرکت‌ها اعمال می‌شود (کاستیلو و همکاران[1]، ۲۰۱۸).

صنعت نفت و گاز یکی از پیچیده‌ترین و بزرگ‌ترین بخش‌های صنعت در جهان است. به طور کلی، این صنعت در مقایسه با سایر صنایع کشور از حساسیت بالایی برخوردار می‌باشد. انرژی به سبب نقش تعیین‌کنندهٔ خود در به حرکت درآوردن چرخ صنعت، یکی

[1] Castillo

از مهم‌ترین مسائلی است که توجه سیاست‌گذاران را به خود جلب می‌نماید. در میان منابع مختلف انرژی، نفت و گاز همچنان به‌عنوان منبع اصلی تأمین انرژی در سراسر دنیا شناخته می‌شوند و مؤسسات مشاورهٔ بین‌المللی، تحلیل‌گران و قانون‌گذاران بازار انرژی علی‌رغم روند رو به رشد تقاضا برای انرژی‌های جایگزین، مشتقات نفت و گاز را در افق میان‌مدت اصلی‌ترین منابع تأمین انرژی در بخش‌های مختلف صنعت، تجارت و حمل‌ونقل می‌دانند. به‌علاوه در بسیاری از کشورها نفت و گاز، منبعی برای تأمین انرژی برق است؛ بنابراین، افزایش تقاضا برای انرژی برق به‌عنوان انرژی پاک، تأثیر مستقیمی بر افزایش تقاضا برای نفت و گاز دارد و این مسئله اهمیت صنعت نفت و گاز را دوچندان می‌سازد. از طرف دیگر در اقتصاد امروزه دیگر رقابت یک شرکت در برابر یک شرکت دیگر نیست؛ بلکه رقابت بر سر یک زنجیره با یک زنجیرهٔ دیگر است. مدیریت زنجیرهٔ تأمین از مواردی است که دارای اهمیت زیادی می‌باشد و در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است (روی و همکاران[1]، ۲۰۱۸). امروزه نه‌تنها توسعهٔ صنایع مختلف بلکه ادامهٔ حیات نیازمند انرژی است. انرژی نقش مهمی در زندگی انسان دارد و زندگی بدون آن تقریباً غیرممکن است. انرژی همچنین از منظر رقابت، همکاری، جنگ، همگرایی، واگرایی و روابط بین کشورها در سیاست ملی و بین‌المللی نقش اساسی دارد؛ بنابراین، منابع انرژی، مسیرهای انتقال انرژی، بازارهای مصرف، تجارت انرژی، فناوری انرژی و سایر عوامل از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در دنیای امروز، انرژی از طریق حامل‌های مختلفی مانند نفت، گاز، محصولات جانبی آن‌ها، زغال‌سنگ، انرژی هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود؛ بنابراین، با توجه به نقش مؤثر انرژی در توسعهٔ اقتصادی، افزایش مصرف انرژی با رشد و توسعهٔ کشورها و با توجه به محدودیت منابع به‌ویژه گاز طبیعی، نیاز به مدیریت صحیح در تولید و مصرف گاز طبیعی به‌عنوان پاک‌ترین سوخت فسیلی است. داشتن کم‌ترین اثرات زیست‌محیطی برای جلوگیری از بحران‌های آینده ضروری است (لو و همکاران[2]، ۲۰۱۹).

[1] Roy
[2] Lu

در ادبیات موضوع تحقیق، سه مسئلهٔ شبکه‌ای اصلی وجود دارد که برای برخورد با چالش‌های مختلف موجود در شبکه‌های انتقال میعانات نفت و گاز استفاده می‌شوند. در مسائل طراحی شبکهٔ میعانات، تابع هدف ممکن است مینیمم کردن هزینهٔ سرمایه‌گذاری یا ماکزیمم کردن ارزش خالص فعلی باشد. در مسائل جریان شبکه، هدف مینیمم کردن هزینه و برآورد تقاضای مشتریان است. در این نوع از مسائل، متغیرهای تصمیم مسئله به‌گونه‌ای تعریف شده‌اند که بتوانند جریان میعانات در شبکهٔ لوله را تعیین کنند. در مسائل گسترش شبکه، هدف زمان‌بندی و برنامه‌ریزی نحوهٔ سرمایه‌گذاری است. برای به‌دست آوردن نحوهٔ گسترش بهینهٔ ظرفیت، باید تصمیماتی از قبیل اندازه و محل خط لوله و ایستگاه‌های متراکم‌کننده گرفته شوند (حامدی و همکاران، ۲۰۰۹). سانچز و ریوز در مقاله‌ای تلاش کردند تا جواب بهینه برای عملیات ایستگاه متراکم‌کننده در یک شبکهٔ خط لولهٔ انتقال با هدف مینیمم کردن مصرف سوخت ایستگاه‌های متراکم‌کننده را محاسبه کنند (براز سانچز و همکاران[1]، ۲۰۰۹). این شبکه به‌وسیلهٔ خط لوله و یال‌های مربوط به ایستگاه‌های متراکم‌کننده و نیز گره‌های متناظر که در نقاط تقاطع یال‌ها قرار گرفته بودند نمایش داده می‌شد. در مقاله‌های دیگر، رویکردهای ابتکاری برای مینیمم کردن هزینه‌های ایستگاه متراکم‌کننده پیشنهاد شده است. الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای اولین بار در مطالعهٔ چبوبا و همکاران جهت بهینه‌سازی عملیات جریان گاز استفاده شد (چبوبا و همکاران[2]، ۲۰۰۹). در مقالهٔ دیگری چانگ و همکاران به بررسی مسئلهٔ انتقال نفت خام با ساختار درختی چرخه‌ای پرداختند. در این مقاله از الگوریتم ابتکاری برای پیدا کردن جواب استفاده شده است. چانگ و همکاران یک برنامهٔ ریاضی چندهدفه برای مسئلهٔ شبکهٔ انتقال پیشنهاد دادند. هزینهٔ سرمایه‌گذاری، قابلیت اطمینان و اثرات محیطی، سه تابع هدف مختلفی بودند که در مدل مورد استفاده قرار گرفتند. آن‌ها مسئله را با الگوریتم ژنتیک حل کرده و یک روش تصمیم‌گیری فازی برای انتخاب بهترین سناریوی برنامه‌ریزی شبکه اختیار کردند (چانگ و همکاران[3]، ۲۰۰۳). حامدی و همکاران برای

[1] Borraz-Sánchez
[2] Chebouba
[3] Chung

حل مسئلهٔ شبکهٔ انتقال که متشکل از یک تابع هدف بوده و به‌صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چنددوره‌ای مدل شده بود، از یک الگوریتم سلسله‌مراتبی استفاده کردند (حامدی و همکاران، ۲۰۱۱). یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط توسط هانس و مجید برای بهینه‌سازی و کنترل دستگاه‌های تقویت فشار پیشنهاد شده است. هدف مطالعه، حداقل‌سازی هزینه‌های عملیاتی شبکه و برآورده کردن تقاضاهای مشتری در سیستم است. ولدیوهانز و مجید یک مدل شبیه‌سازی را با دخالت دادن پارامترهای ایستگاه تقویت فشار شامل سرعت، فشار مکش و تخلیه توسعه دادند (هانس و مجید[1]، ۲۰۱۱). وو و همکاران یک مدل بهینه‌سازی برای خطوط اصلی گاز طبیعی، با هدف ایجاد تعادل بین حداکثر سود عملیاتی و حداکثر مقدار انتقالی ارائه دادند. از روش جمع وزنی برای ترکیب این دو تابع هدف استفاده شد که یک تابع هدف هیبریدی به‌دست آمده است (وو و همکاران[2]، ۲۰۱۴). سانچز و هاگلند یک مدل ریاضی غیرخطی برای شبکهٔ انتقال میعانات با هدف مینیمم کردن هزینهٔ سوخت ارائه دادند (سانچز و هاگلند[3]، ۲۰۱۱) مسیرا و همکاران نیز در تحقیق خود مسئلهٔ مینیمم کردن مصرف سوخت در ایستگاه‌های متراکم‌کننده را مدنظر قرار دادند. آن‌ها از یک رویکرد برنامه‌ریزی هندسی جدید برای بهینه کردن عملیات متراکم‌کننده در خطوط لوله استفاده کردند (مسیرا و همکاران[4]، ۲۰۱۵). میدهان و همکاران مدلی بهینه برای توسعهٔ زیرساخت‌های صنعت نفت و گاز اعم از تولید، پالایش، انتقال و همچنین مباحث مربوط به تصمیمات سرمایه-گذاری ارائه دادند. طراحی زیرساخت‌ها و آنالیز سرمایه برای تصمیم‌گیرندگان حوزهٔ نفت و گاز به علت تحمیل مبالغ هنگفت وابسته به میادین نفت و گاز، تجهیزات پالایشگاهی، خطوط انتقال، ایستگاه‌های تقویت فشار و سایر المان‌های زیرساختی، نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. تصمیم‌گیرندگان باید دقیقاً بدانند کدام المان در چه زمانی و با چه ظرفیتی مورد سرمایه‌گذاری قرار بگیرد. مدل ترکیبی بهینه‌سازی برای آنالیز مباحث فوق

[1] Woldeyohannes **&**Majid
[2] Wu
[3] Borraz-Sánchez **&** Haugland
[4] Misra

در مقاله به‌خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است و در نهایت یک مدل بهینه‌سازی خطی مختلط عدد صحیح که شامل هر دو عامل تصمیم‌گیری در تصمیمات سرمایه‌گذاری و عملیاتی تعریف شده، است (میدهان و همکاران[1]، ۲۰۱۵).

در بررسی مقالات مرتبط با بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی، هیچ مطالعه‌ای که به طراحی و برنامه‌ریزی استراتژیک یک زنجیرهٔ تأمین پایدار که به شبکهٔ حامل‌های نفتی بپردازد، وجود ندارد. برای مثال، حامدی و همکاران، یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی عدد صحیح مختلط تک‌هدفه، تک‌محصولی و چندمرحله‌ای را برای زنجیرهٔ تأمین گاز طبیعی ایجاد کردند که در این مطالعه اجزای گاز طبیعی به جز متان را نادیده گرفتند (حامدی و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر این، آزاده و همکاران، در مطالعه‌ای دیگر، یک مدل ریاضی خطی با پارامترهای فازی که فقط جریان گاز متان را بین گره‌های زنجیرهٔ تأمین بهینه می‌کند و هزینهٔ کل و انتشار کل گازهای گلخانه‌ای را بدون در نظر گرفتن توسعهٔ زنجیرهٔ تأمین به حداقل می‌رساند، ارائه شده است (آزاده و همکاران[2]، ۲۰۱۵). عطیه و همکاران، یک مدل چندهدفه را برای به حداقل رساندن هزینهٔ کل و به حداکثر رساندن درآمد کل برای تصمیم‌گیری تاکتیکی زنجیره‌های تأمین نفت و گاز پیشنهاد دادند (عطیه و همکاران[3]، ۲۰۱۹). زارعی و امین ناصری، یک مدل خطی عدد صحیح مختلط را برای به حداقل رساندن هزینه‌های توسعه، افزایش ظرفیت و محل قرارگیری خطوط لولهٔ انتقال و تأسیسات و همچنین بهینه‌سازی جریان متان در زنجیرهٔ تأمین گاز طبیعی بدون در نظر گرفتن توسعهٔ پایدار، توسعه دادند. ابراهیمی و باقری در پژوهش خود یک شبکهٔ چندلایه برای زنجیرهٔ تأمین نفت و گاز شامل استخراج، تصفیه، ذخیره‌سازی و ارسال به بازار هدف طراحی کردند، علاوه بر این، یک مدل ریاضی دوهدفه فرموله می‌شود که تلاش می‌کند سود کل حاصل از فروش سوخت‌های فسیلی را به حداکثر برساند و قابلیت اطمینان کارخانه‌های فرآوری را برای پاسخگویی به تقاضای متقاضیان به حداکثر برساند. علاوه بر این، ممکن است اختلالاتی در مرحلهٔ استخراج به دلیل خرابی استخراج‌کننده‌ها

[1] Midthun
[2] Azadeh
[3] Attia

ایجاد شود. برای این منظور، چندین سناریوی اختلال برای مقابله با اختلالات احتمالی ارائه شده است. علاوه بر این، یک مطالعهٔ موردی در دنیای واقعی در صنعت نفت و گاز ایران برای تأیید مدل پیشنهادی اعمال شده و با استفاده از محدودیت **ε**-افزوده و روش‌های برنامه‌ریزی هدف حل شده است. همچنین، تحلیل حساسیت برای ارائهٔ برخی بینش‌های مدیریتی مفید انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش محدودیت **ε** به‌عنوان بهترین رویکرد از نظر زمان **CPU** و مقادیر توابع هدف انتخاب شده است. علاوه بر این، افزایش تقاضا منجر به استفاده از مراکز تجمع بیشتر شد که باعث افزایش موجودی‌ها و عوامل اقتصادی مانند هزینه‌ها شد. به همین ترتیب هزینه‌های ارسال محصولات به مراکز تجمع نیز در انتخاب آن‌ها بسیار مؤثر است؛ بنابراین، مکان‌یابی مراکز تجمع کاری، بسیار مهم و دقیق است که تحت تأثیر شرایط جغرافیایی، تجهیزات حمل‌ونقل و نزدیکی به متقاضیان کلیدی است (ابراهیمی و باقری[1]، ۲۰۲۲). الناقبی و همکاران، در پژوهش خود بیان کردند که با تغییر سریع محیط زنجیرهٔ تأمین امروزی، گنجاندن عدم قطعیت به شیوه‌ای صریح در مدل‌های برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین ضروری است؛ بنابراین، یک مدل تصادفی برای برنامه‌ریزی تاکتیکی زنجیرهٔ تأمین نفت خام تحت عدم قطعیت‌های هزینه و تقاضا پیشنهاد کردند. این پژوهش مدل ریاضی یک زنجیرهٔ تأمین چندلایه با چند محصول و یک افق برنامه‌ریزی چنددوره‌ای را در نظر می‌گیرد. موجودی و جریمه‌های سفارش پشتیبان را ادغام می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که چگونه مدل به طور مستقیم برای برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین اعمال می‌شود. نتایج عددی نیز تأثیر عدم قطعیت هزینه را بر تصمیمات برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین و دستاوردهای هم‌افزایی نشان می‌دهد. همچنین ارزش مدل‌سازی عدم قطعیت را در برابر برنامه‌ریزی قطعی اندازه‌گیری می‌کند (الناقبی و همکاران[2]، ۲۰۲۳).

اگرچه صنعت نفت و گاز بخش‌های مختلفی با اجزای متنوع را در بر می‌گیرد، بیشتر محققان فقط بر روی شبکه‌های انتقال و توزیع در این حوزه تمرکز کرده‌اند (زارعی و

[1] Ebrahimi & Bagheri
[2] Alnaqbi

امین ناصری[1]، ۲۰۲۰). واسکونسلوس و همکاران، یک مدل ریاضی خطی برای شناسایی ظرفیت حمل‌ونقل شبکهٔ خط لولهٔ انتقال گاز طبیعی در برزیل ایجاد کردند (واسکانسلوس و همکاران[2]، ۲۰۱۳). وانگ و همکاران، ارتباطات خطوط لوله و ایستگاه-های کمپرسور را در شبکهٔ انتقال نفت با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تعیین کردند (وانگ و همکاران[3]، ۲۰۱۸). کبیریان و همتی یک مدل بهینه-سازی غیرخطی یکپارچه را برای فرمول‌بندی یک برنامهٔ استراتژیک برای پیداکردن بهترین طرح‌های توسعه‌ای بلندمدت به‌منظور تعیین محل، نوع و برنامهٔ نصب ایستگاه-های تقویت فشار در خطوط لوله برای به حداقل رساندن هزینه‌های کل شبکهٔ گاز موجود، توسعه دادند. (کبیریان و همکاران، ۲۰۰۷). آندره و همکاران، یک مدل غیرخطی گسترش ظرفیت برای شبکه‌های انتقال نفت ایجاد کردند (آندره و همکاران[4]، ۲۰۰۹). بهروز و بوزرجمهری، یک مدل بهینه‌سازی پویا را برای برنامه‌ریزی شبکهٔ انتقال در صنعت نفت و گاز با عدم قطعیت تقاضای آینده بررسی کردند (بهروز و بوزرجمهری، ۲۰۱۷).

در مطالعات بهینه‌سازی مدل ریاضی مبتنی بر شبیه‌سازی در میان منابع گوناگون بر استفاده از رویکرد متامدلینگ بسیار توصیه شده است. برای مثال، جهانگیری و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از رویکرد متامدلینگ و برآورد یک متامدل از گروه رگرسیون توانستند با استفادهٔ هم‌زمان از مدل شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی ریاضی مدت زمان انتظار بیماران در بخش اورژانس یک بیمارستان دولتی در ایران را از طریق تعیین ترکیب بهینهٔ کادر درمان در دوران همه‌گیری پاندمی کرونا کاهش دهند. همچنین، در مطالعه‌ای دیگر، ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۲) با ساخت یک مسئلهٔ چندهدفه طبق رویکرد متامدلینگ با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و شبیه‌سازی توانستند به طور هم‌زمان ضمن تعیین ترکیب بهینهٔ تجهیزات جابه‌جایی در یک مجتمع معدن در ایران، زمان جابه‌جایی این تجهیزات را

[1] Zarei & Amin-Naseri
[2] Vasconcelos
[3] Wang
[4] Andre

برای افزایش میزان تولیدات کم نمایند. علاوه بر این، ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی و به‌کارگیری رویکرد متامدلینگ و توسعهٔ متامدل یک برنامه‌ریزی میان‌مدت و کوتاه‌مدت در یک مجتمع معدنی مس در ایران ارائه کردند.

بر اساس مرور مطالعات انجام شده، هدف این مطالعه طراحی یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین نفت خام به‌منظور برآورده کردن نیاز مشتری و استفادهٔ حداکثری از ظرفیت منابع و احتیاجات فشار خط لوله به‌منظور کاهش هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری و به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای است. برای این منظور یک چارچوب بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه-سازی برای این زنجیرهٔ تأمین ایجاد شده است؛ بنابراین، مهم‌ترین شکاف‌های تحقیقاتی که در طول اجرای این تحقیق به چشم خورده است به شرح زیر اعلام می‌گردد.

- مطالعه‌ای در حوزهٔ مربوط به مطالعات میعانات نفتی که قادر باشد به طور هم‌زمان هزینه‌های انتقال و آلودگی‌های زیست‌محیطی در مراکز تصفیه-کننده و توزیع را در نظر بگیرد مشاهده نشده است.
- با توجه به ادبیات اکثر مقالات در حوزهٔ تحقیقاتی مربوطه، منحصراً به روش‌های مدل‌سازی ریاضی پرداختند و به روش‌های ترکیبی بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی توجه نشده است.
- هیچ کدام از مقالات این حوزه از فاکتور آلودگی محیط‌زیست برای مسئلهٔ خود استفاده نکردند، در این تحقیق از این فاکتور استفاده شده است.

در جدول ۱، برخی مقالات مرتبط با موضوع طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۱- طبقه‌بندی مقالات

نام نویسنده	سال انتشار	نوع مسئله			هدف مسئله						
		تراکم کننده	انتقال	تقویت فشار		ابتکاری	ژنتیک	سلسله مراتبی	MILP	جمع وزنی	هندسی

سانچز و ریوز	۲۰۰۹	•			کمینه کردن مصرف سوخت ایستگاه متراکم‌کننده						
ریوز و مرکادو	۲۰۰۹		•		مسئلهٔ انتقال نفت خام	•					
چانگ و همکاران	۲۰۰۹		•		برنامه‌ریزی چندهدفه با در نظر گرفتن هزینهٔ سرمایه‌گذاری، قابلیت اطمینان، اثرات محیطی		•				
حامدی	۲۰۱۱		•		یک مسئلهٔ تک-هدفه عدد صحیح مختلط چنددوره‌ای ارائه دادند			•	•		
اورایکول و همکاران	۲۰۱۱			•	دستگاه کنترل فشار را بهینه‌سازی و کنترل کردند.			•			
لی و همکاران	۲۰۱۴				خطوط اصلی انتقال گاز را بهینه‌سازی کردند.					•	
سیدانت و همکاران	۲۰۱۵	•			کمینه کردن مصرف سوخت						•

زارعی و امین ناصری	۲۰۱۹	•	•	•	کمینه کردن هزینه-های توسعه			•			

روش تحقیق

این تحقیق از نظر هدف جزء تحقیقات کاربردی است؛ چون با هدف برخورداری از نتایج یافته‌ها برای حل مسائل موجود در بازارهای تجاری مورد نظر انجام می‌شود. همچنین، از نظر ماهیت، کمی است. زیرا تماماً از ابزارهای کمی مانند روش‌های مدل-سازی ریاضی، شبیه‌سازی و روش‌های حل فراابتکاری استفاده شده است.

روش تحقیق پیشنهادی به طور کلی مشتمل بر سه بخش اصلی است. در گام اول، بررسی منابع نظری داخلی و خارجی موجود انجام می‌شود. در این مرحله با هدف شناسایی خلأ تحقیقاتی و برطرف کردن آن از طریق ارائهٔ پیشنهاد جدید مطالعات بر روی نزدیک‌ترین تحقیقات مربوط به حوزهٔ تحقیقاتی انجام می‌شود. در گام دوم، کلیهٔ اطلاعات لازم از قبیل داده‌های لازم برای پارامترهای شناسایی شده و متغیرهایی که قصد سنجش آن‌ها را در تحلیل‌های بعدی داریم جمع‌آوری می‌گردد. در گام سوم، مدل‌سازی مربوط به مسئلهٔ تشخصیص داده شده انجام می‌شود. مدل‌سازی در این تحقیق در زمرهٔ استفاده از مدل‌های ریاضی است. فرآیند مدل‌سازی یک حرکت رو به جلو است و فقط در صورت نیاز داشتن به اصلاحات به عقب بر می‌گردیم تا با انجام اصلاحات مجدداً مدل ریاضی ساخته شده را بررسی نماییم. سرانجام، در گام چهارم به ارائهٔ نتایج جمع-بندی شده و طبقه‌بندی شده از مدل‌سازی ریاضی خواهیم پرداخت. در روش کتابخانه‌ای این تحقیق، برای جمع‌آوری اطلاعات از بخش پیشینهٔ مطالعات داخلی و خارجی و مبانی نظری تحقیق برای شناسایی متغیرهای اصلی مسئله استفاده خواهد شد. با استفاده از فیش‌برداری از پایان‌نامه‌ها، کتاب‌ها، تحقیقات و مطالعات سایر پژوهشگران، مجلات تخصصی و منابع تئوریک داخلی و خارجی مربوطه، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری می-شود. نویسنده متعهد می‌شود در صورت استفاده از هر یک از منابع ذکر شده اخلاق

نگارشی رعایت شود. در این تحقیق، از طریق بررسی در اسناد بایگانی شده که زیر مجموعهٔ روش مطالعهٔ میدانی هستند استفاده خواهد شد.

چارچوب پیشنهاد شده در این مطالعه یک مدل جدید مبتنی بر بهینه‌سازی مدل شبیه-سازی در زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی است که به‌منظور یکپارچه‌سازی هزینه‌کرد و کنترل آلایندگی محیط‌زیست در صنعت پتروشیمی و پالایشگاهی ارائه شده است. مهم‌ترین بخش‌های پیش‌بینی شده برای انجام این تحقیق در ادامه توضیح داده شده‌اند.

- **شناسایی عوامل زنجیرهٔ تأمین:** ابتدا لازم است کلیهٔ جنبه‌های مربوط به زنجیرهٔ تأمین مورد بررسی (اعم از نقش‌های کلیدی زنجیره و عوامل پایداری) به طور دقیق شناسایی گردد. این زنجیرهٔ تأمین باید قابلیت اتخاذ تصمیم در بعد استراتژیک و فنی برای طراحی، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی شبکه را داشته باشد؛ بنابراین، از این حیث دارای اهمیت بسیار بالایی است.
- **ساخت مدل ریاضی زنجیرهٔ تأمین:** برای مدل‌سازی و حل مسئله، یک مدل ریاضی چندهدفه متناسب با شرایط مسئله ارائه می‌شود. این مدل قادر خواهد بود تا مقدار بهینهٔ عوامل زنجیرهٔ تأمین را محاسبه نماید.
- **ساخت مدل شبیه‌سازی کامپیوتری:** برای تحلیل رفتار زنجیرهٔ تأمین و مقایسهٔ نتایج مدل ریاضی با دنیای واقعی از مدل شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

بر طبق موارد ذکر شده در توصیف چارچوب پیشنهادی، بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی و طراحی یک زنجیرهٔ تأمین پایدار برای انتقال و توزیع نفت خام برای کاهش هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها و همچنین کاهش تأثیر سوء گازهای گلخانه‌ای موضوع اصلی این تحقیق است. این تحقیق از نظر نوع، یک تحقیق کمی – کیفی بشمار می‌رود؛ بنابراین، از حیث شناسایی متغیرها (شناسایی اجزای زنجیرهٔ تأمین و عوامل تأثیرگذار در محیط-زیست) با طرح پرسش‌نامه و در میان گذاشتن آن‌ها با خبرگان حوزهٔ تحقیقاتی و تحلیل نتایج به دست آمده، به شناخت متغیرهای کیفی اقدام می‌شود. اما در سایر قسمت‌های تحقیق با ارائهٔ چارچوب محاسباتی، کمی می‌باشد. ماهیت اصلی روش در این مطالعه، در زمرهٔ روش‌های ریاضی و بهینه‌سازی است؛ بنابراین، بر ارائهٔ روش حل مسئله در

چارچوب منطق ریاضی متمرکز شده است. فرآیند مدل‌سازی در دو بعد شبیه‌سازی و ریاضی انجام می‌گیرد. دغدغهٔ اصلی در این مطالعه به‌گونه‌ای است که هم مدل‌سازی شبیه‌سازی و هم مدل‌سازی ریاضی و از همه مهم‌تر نحوهٔ ارتباط بین این دو با توجه به ساختاری که هر دو نوع مدل‌سازی تبعیت می‌کنند را به دشواری می‌توان تشریح کرد، چرا که یک فرآیند خلاقانه است و پژوهشگر دائماً از حرکت رو به جلو از مفاهیم و ایدهٔ اساسی به سمت کاربرد و محاسبه و بازگشت و اصلاح ایده‌های اولیه است. اگر حرکت از ایدهٔ اساسی به سمت کاربرد و محاسبه با مشکل مواجه شود و نتوان مدل ریاضی قابل اتکایی برای محاسبه بر اساس ایدهٔ اولیه ارائه داد ناگزیر باید به ایدهٔ اولیه برگشته و آن را به نحوی اصلاح کنیم تا امکان ارائهٔ یک روش محاسباتی فراهم گردد. دشواری کار به همین‌جا ختم نمی‌شود. پس از ارائهٔ مدلی که تصور می‌شود منعکس‌کنندهٔ ایدهٔ اولیه است ناگزیر باید برخی ویژگی‌های حداقلی در مورد مدل را بررسی کنیم. به‌عنوان نمونه مدلی که صرفاً برای برخی داده‌ها کاربرد داشته باشد و نتوان اثبات کرد که به‌ازای هر مجموعه از داده‌ها با شرایط مشخص، شدنی و قابل کاربرد است از ارزش چندانی برخوردار نیست. به‌کارگیری مدل بر روی داده‌های فرضی و واقعی دو مرحلهٔ مهم دیگر از مدل‌سازی ریاضی است که در این مطالعه به آن نیز توجه می‌شود. به طور کلی توابع هدفی که در مدل‌سازی ریاضی به آن‌ها توجه شده است عبارتند از: هزینه‌های انتقال (A)، هزینهٔ موجودی (B)، میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز تصفیه‌کننده (C) و میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز توزیع (D). برای غلبه به ضعف روش‌ها در زمانی که تعداد اهداف بیش از دو هدف است، با توجه به هم‌واحد بودن برخی اهداف با یکدیگر مانند اهداف (A و B) و (C و D)، جمع اهداف هم‌واحد به‌عنوان هدف نهایی در نظر گرفته شده است و مسئله به یک مسئلهٔ دو هدفه تبدیل شده است؛ بنابراین، اهدافی که در مدل‌سازی در نظر گرفته شده است به‌صورت زیر می‌باشد.

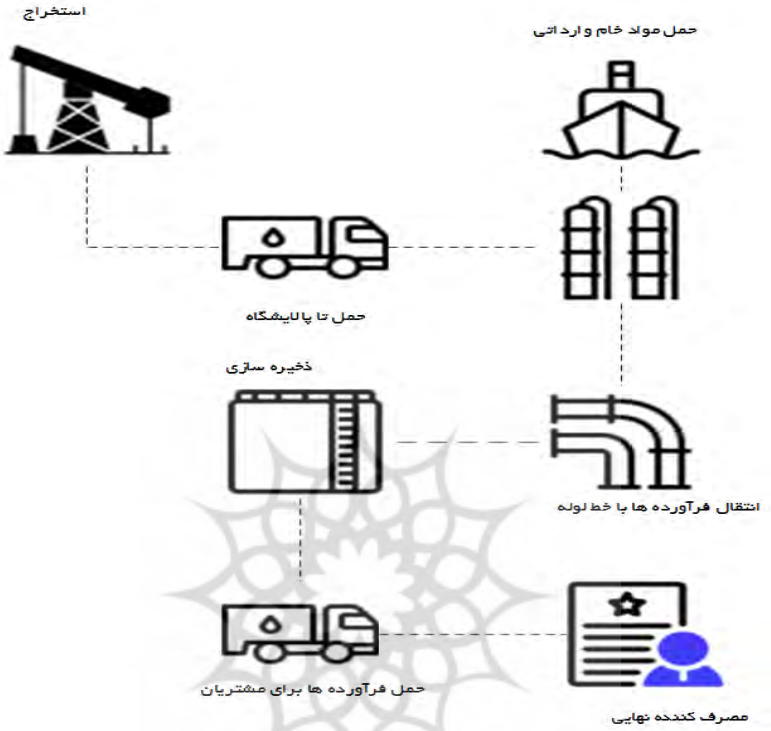
$$\text{Min } (F_1) = A+B$$

$$\text{Min } (F_2) = C+D$$

تشریح سیستم

در این تحقیق، قصد داریم برای یک پالایشگاه ضمن ارائهٔ یک برنامه‌ریزی مقرون‌به‌صرفه، تولید را از حیث هزینه‌های حمل‌ونقل و موجودی که قادر است عوامل زیست‌محیطی را در نظر بگیرد برای توزیع فرآورده‌های نفتی طراحی نماییم. در حقیقت می‌خواهیم یک برنامه‌ریزی استراتژیک برای زنجیرهٔ تأمین پالایشگاه از تولید تا توزیع فرآورده‌های نفتی در قالب شبکهٔ حامل‌های نفتی ارائه دهیم. در این تحقیق، با هدف طراحی یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین فرآورده‌های نفتی در پالایشگاه تهران، اهداف منطبق با ظرفیت منابع را به‌منظور کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری (موجودی و هزینهٔ توزیع) و آلاینده‌های زیست‌محیطی اقدام می‌شود. برای این منظور یک چارچوب بهینه‌سازی یکپارچهٔ برنامه‌ریزی تولید و توزیع فرآورده‌های نفتی برای زنجیرهٔ مذکور ایجاد شده است. زنجیرهٔ پیشنهادی برای طراحی، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی شبکهٔ میعانات نفتی در ابعاد استراتژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انتقال اجزای میعانات، در درون پالایشگاه اتصال خط لوله و برای خارج از پالایشگاه از تجهیزات جابه‌جایی استفاده شده است؛ بنابراین، ساختار و تصمیمات ممکن زنجیرهٔ تأمین در حالت کلی شامل بررسی هم‌زمان هزینه‌های موجودی و انتقال و آلاینده‌های زیست‌محیطی است. در حقیقت، تفاوت عمدهٔ این تحقیق با سایر تجربیات دیگر که در گذشته انجام شده است در استفاده از مدل‌سازی هم‌زمان این دو هدف می‌باشد. در واقع این تحقیق، توسعه‌ای بر مدل‌های گذشتهٔ سانگاه و همکاران (۲۰۱۹) و زارعی و همکاران (۲۰۲۰) است. در شکل ۲، به‌صورت شماتیک ساختار فرآیند مسئلهٔ مورد نظر نشان داده شده است. بعد از استخراج مواد خام مورد نیاز پالایشگاه‌ها، مواد خام از طریق کامیون‌های حامل سوخت به پالایشگاه منتقل می‌شوند. لازم به ذکر است که بخشی از مواد خام برای تبدیل به فرآورده‌های نفتی از طریق واردات از خارج کشور از طریق کشتی تهیه می‌شود. سپس، در پالایشگاه بعد از انجام اقدامات لازم از طریق خطوط لولهٔ انتقال به محل‌های ذخیره‌سازی منتقل می‌شوند. از محل‌های ذخیره‌سازی در کامیون‌های حمل‌کنندهٔ سوخت،

سوخت‌گیری می‌شوند تا در اختیار مشتری نهایی برای مصارف شخصی یا صنعتی قرار بگیرد.



شکل ۲. ساختار فرآیند مسئله

به طور کلی توابع هدفی که در مدل‌سازی ریاضی در این تحقیق در نظر گرفته شده‌اند عبارتند از: هزینه‌های انتقال (A) و هزینهٔ موجودی (B). همچنین، میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز تصفیه‌کننده (C) و میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز توزیع (D) از دیگر اهداف این مسئله هستند. برای غلبه بر ضعف روش‌ها در زمانی که تعداد اهداف بیش از دو هدف است، با توجه به هم‌واحد بودن برخی اهداف با یکدیگر مانند اهداف (A و B) و (C و D)، جمع اهداف هم‌واحد به‌عنوان هدف نهایی در نظر گرفته شده است و مسئله به یک مسئلهٔ دو هدفه تبدیل شده است. هزینهٔ انتقال شامل مجموع هزینه‌های حمل مواد خام از طریق کامیون‌های حمل سوخت از میدان‌ها به پالایشگاه، هزینهٔ انتقال مواد خام وارداتی از خارج کشور، هزینهٔ انتقال مواد در درون پالایشگاه با

استفاده از خطوط لوله و هزینهٔ انتقال فرآورده‌های نفتی با کامیون‌های حامل سوخت برای قرار دادن در اختیار مشتری نهایی است. هزینهٔ موجودی عبارت است از هزینهٔ نگهداری فرآورده‌ها در بخش ذخیره‌سازی. لازم به ذکر است که هزینهٔ مواجهه با کمبود در مدل مجاز نیست. همچنین، میزان آلاینده‌ها در مراکز تصفیه‌کننده و توزیع‌کننده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای تبدیل مسئله به یک مسئلهٔ تک‌هدفه و غلبه بر سختی آن در زمانی که با بیش از یک هدف روبرو هستیم، با توجه به هم‌واحد بودن اهداف با یکدیگر، جمع اهداف هم‌واحد به‌عنوان هدف نهایی به‌عنوان هزینهٔ سرمایه‌گذاری و میزان آلایندگی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین، هزینهٔ سرمایه‌گذاری در این تحقیق برابر با مجموع هزینهٔ انتقال و هزینهٔ موجودی در نظر گرفته شده است و میزان آلایندگی، مقدار گازهای گلخانه‌ای تولید شده در مراکز تصفیه‌کننده و توزیع‌کننده در نظر گرفته شده است.

- نمادگذاری

در این بخش کلیهٔ نمادهای بکار گرفته شده برای توصیف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله توضیح داده شده‌اند.

مجموعه‌ها:

I: مجموعهٔ میدان‌ها برای استخراج، $1, \dots, I$

J: مجموعهٔ تصفیه‌کننده‌ها در پالایشگاه، $1, \dots, J$

P: مجموعهٔ محصولات که شامل فرآورده‌های نفتی است، $1, \dots, P$

T: مجموعهٔ دوره‌ها، $1, \dots, T$

D: مجموعهٔ توزیع‌کنندگان $1, \dots, D$

S: مجموعهٔ انبارهای نفت خام، $1, \dots, S$

C: مجموعهٔ مصرف‌کنندهٔ میعانات، $1, \dots, C$

H: مجموعهٔ پالایشگاه‌ها، $1, \dots, H$

اندیس‌ها:

$i \in I$: اندیس مربوط به مجموعهٔ میدان‌ها،

$j \in J$: مجموعهٔ تصفیه‌کننده‌ها،

$p \in P$: مجموعهٔ محصولات،

$t \in T$: مجموعهٔ دوره‌ها،

$d \in D$: مجموعهٔ توزیع‌کنندگان،

$s \in S$: مجموعهٔ انبارهای نفت خام،

$c \in C$: مجموعهٔ مصرف‌کنندهٔ میعانات،

$h \in H$: مجموعهٔ پالایشگاه‌ها.

پارامترها:

$capacity_i$: حداکثر ظرفیت میدان i ام،

Cx_{ijt}: هزینهٔ انتقال میعانات از میدان iام به تصفیه‌کنندهٔ jام در زمان t ام،

Cyd_{jdpt}: هزینهٔ انتقال میعانات از تصفیه‌کنندهٔ jام به توزیع‌کنندهٔ d در زمان t ام،

Cyc_{jcpt}: هزینهٔ انتقال میعانات از تصفیه‌کنندهٔ j ام به مصرف‌کنندهٔ میعانات در زمان tام،

Cyh_{jhpt}: هزینهٔ انتقال میعانات از تصفیه‌کنندهٔ j ام به پالایشگاه h ام در زمان t ام،

Cds_{dst}: هزینهٔ انتقال میعانات از توزیع‌کنندهٔ d به انبار s،

Csd_{sdt}: هزینهٔ انتقال نفت خام از انبار s به توزیع‌کنندهٔ d،

γds_{dst}: درصد انتقال نفت خام از توزیع‌کنندهٔ d به انبار s،

γsd_{sdt}:درصد انتقال نفت خام از انبار s به توزیع‌کنندهٔ d،

CI_{jt}: هزینهٔ واردات مواد اولیهٔ وارد شده به مرکز تصفیهٔ j در زمان t،

CIc_{ctp}: هزینهٔ مصرف میعانات در مراکز مصرف‌کنندهٔ میعانات c در زمان t،

CId_{dtp}: هزینهٔ مصرف نفت خام در مراکز توزیع d در زمان t،

CIh_{htp}: هزینهٔ مصرف نفت خام در مراکز پالایشگاه h در زمان t،

λ_{ip}: درصد مقدار محصول p (فرآورده‌های نفتی) از گازهای ورودی میدان iام،

DC_{ctp}: مقدار تقاضای مرکز مصرف‌کنندهٔ c از میعانات P در دورهٔ t،

Dd_{dtp}: مقدار تقاضای مرکز توزیع‌کنندهٔ d از میعانات P در دورهٔ t،

Dh_{htp}: مقدار تقاضای مرکز کارخانه‌های پتروشیمی h از میعانات P در دورهٔ t،

$DE_{ex,t}$: مقدار تقاضای نفت خام برای مراکز صادرات e_x در دورهٔ t،

$CIdm_{im,d,t}$: هزینهٔ انتقال مواد اولیه از مراکز واردات i_m به مرکز توزیع d در زمان t،

CI'_{jt}: هزینهٔ خرید مواد وارد شده از خارج به مرکز تصفیهٔ j در زمان t،

CIc'_{ctp}: هزینهٔ مصرف میعانات در مراکز مصرف‌کنندهٔ میعانات c در زمان t،

CId'_{dtp}: هزینهٔ مصرف نفت خام در مراکز توزیع d در زمان t،

CIh'_{htp}: هزینهٔ تولید نفت خام در مراکز پالایشگاه h در زمان t.

متغیرها:

کلیهٔ متغیرهای این تحقیق از نوع پیوسته است و از هیچ متغیر صحیح و باینری تبعیت نمی‌کند. این متغیرها عبارتند از:

x_{ijt}: مقدار انتقال میعانات از میدان iام به تصفیه‌کنندهٔ jام در زمان t ام،

yd_{jdpt}: مقدار انتقال متان از تصفیه‌کنندهٔ jام به توزیع‌کنندهٔ d در زمان t ام،

yc_{jcpt}: مقدار انتقال نفت خام از تصفیه‌کنندهٔ jام به مصرف‌کنندهٔ میعانات در زمان t ام،

yh_{jhpt}: مقدار انتقال اتان از تصفیه‌کنندهٔ jام به پالایشگاه hام در زمان t ام،

ds_{dst}: مقدار انتقال میعانات از توزیع‌کنندهٔ d به انبار s،

sd_{sdt}: مقدار انتقال میعانات از انبار s به توزیع‌کنندهٔ d،

II_{jt}: مقدار موجودی میعانات وارد شده از میدان به مرکز تصفیهٔ j در زمان t،

Ic_{ctp}: مقدار موجودی میعانات نفتی در مراکز مصرف‌کنندهٔ میعانات c در زمان t،

Id_{dtp}: مقدار موجودی میعانات در مراکز توزیع d در زمان t،

Ih_{htp}: مقدار موجودی میعانات در مراکز پالایشگاه h در زمان t،

IS_{st}: مقدار موجودی میعانات در مراکز انبار s در زمان t،

II'_{jt}: مقدار مواد خریداری شده برای مرکز تصفیهٔ j در زمان t،

Ic'_{ctp}: مقدار تولید میعانات نفتی در مراکز مصرف‌کنندهٔ میعانات c در زمان t،

Id'_{dtp}: مقدار تولید نفت خام در مراکز توزیع d در زمان t،

Ih'_{htp}: مقدار تولید نفت خام در مراکز پالایشگاه h در زمان t،

$Idm_{im,d,t}$: مقدار مواد اولیه از مراکز واردات i_m به مرکز توزیع d در زمان t،

فرمول‌بندی مسئله

توابع هدف:

با در نظر گرفتن موارد بالا، مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی به فرم قطعی که برای مدل-سازی ریاضی مسئله در نظر گرفته شده در معادلات زیر توسعه داده شده است.

(۱)

$$\sum_{j\in J}\sum_{d\in D}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} yd_{jdpt}.Cyd_{jdpt} + A = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} x_{ijt}.Cx_{ijt} +$$
$$\sum_{j\in J}\sum_{h\in H}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} yh_{jhpt}.Cyh_{jhpt} + \sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} yc_{jcpt}.Cyc_{jcpt} +$$
$$\sum_{d\in D}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T} sd_{sdt}.Csd_{sdt} + \sum_{d\in D}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T} ds_{dst}.Cds_{dst} +$$
$$\sum_{d}\sum_{im\in IM}\sum_{t\in T} Idm_{im,d,t}.CIdm_{im,d,t}$$

معادلهٔ (۱)، هزینه‌های انتقال را محاسبه می‌کند.

(۲)

$$B = \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} CII_{jt}.II_{jt} + \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} CII'_{jt}.II'_{jt}$$
$$\sum_{c\in C}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} Ic_{ctp}.CIc_{ctp} + \sum_{c\in C}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} Ic'_{ctp}.CIc'_{ctp}$$
$$\sum_{d\in D}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} Id_{dtp}.CId_{dtp} + \sum_{d\in D}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} Id'_{dtp}.CId'_{dtp}$$
$$\sum_{s\in S}\sum_{t\in T} IS_{st}.CIS_{st} \sum_{s\in S}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} Ih_{htp}.CIh_{htp} + \sum_{s\in S}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} Ih'_{htp}.CIh'_{htp}$$

معادلهٔ (۲) هزینهٔ موجودی را محاسبه می‌کند.

(۳)

$$C = \sum_{j\in J}\beta_j.\left(\sum_{d\in D}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} yd_{jdpt} + \sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} yc_{jcpt}.Cyc_{jcpt} + \sum_{h\in H}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} yh_{jhpt}.Cyh_{jhpt}\right)$$

معادلهٔ (۳) میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز تصفیه‌کننده را محاسبه می‌کند.

(۴)

$$D = \sum_{d \in D} \beta D_d .(\sum_{t \in T} ds_{dst} .Cds_{dst} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} sd_{sdt} + \sum_{im \in IM} \sum_{t \in T} Idm_{im,d,t} .CIdm_{im,d,t})$$

معادلهٔ (۴) میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز توزیع را محاسبه می‌کند.

با توجه به موارد اشاره شده در بالا، مجموع معادلات (۱) با (۲) و (۳) با (۴) به‌عنوان تابع هدف نهایی به‌صورت $F = 0.5*F2 + 0.5*F2$ در نظر گرفته می‌شود.

محدودیت‌ها:

(۵)

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \le capacity_i \qquad \forall i \in I, t \in T$$

محدودیت (۵)، تضمین می‌کند که حداکثر مقدار ارسالی از میدان به تصفیه‌کننده‌ها در نظر گرفته شود.

(۶)

$$II_{jt} = II_{jt-1} + \sum_{i \in I} x_{ijt} - \sum_{i \in I} \sum_{p2 \in P} yd_{jdpt} - \sum_{c \in C} \sum_{p1 \in P} yc_{jdpt} - \sum_{h \in H} \sum_{p3 \in P} yh_{jhpt} \quad \forall i \in I, t \in T$$

محدودیت (۶)، مقدار موجودی نفت خام ورودی از تصفیه‌کننده‌ها را نشان می‌دهد.

(۷)

$$Ic_{ctp} = Ic_{c,t-1,p} + \sum_{i \in I} x_{ijt} - \sum_{j \in J} yc_{jdpt} - DC_{ctp} \qquad \forall c \in C, t \in T, p1 \in P$$

محدودیت (۷)، این محدودیت مقدار موجودی میعانات نفتی را در مراکز مصرف‌کنندهٔ میعانات در نظر می‌گیرد.

(۸)

$$\sum_{d \in D} yd_{jdpt} \le \sum_{i \in I} \lambda_{ip} .x_{ijt} \qquad \forall j \in J, t \in T, p2 \in P$$

محدودیت (۸)، تضمین می‌دهد مقدار نفت خام که باید از تصفیه‌کنندهٔ j به سایر توزیع-کنندگان ارسال شود نباید بیشتر از حداکثر محصول تصفیه‌شدهٔ مورد نظر ورودی باشد.

(۹)

$$\sum_{c\in C} yc_{jcpt} \le \sum_{i\in I} \lambda_{ip}.x_{ijt} \qquad \forall j \in J, t \in T, p1 \in P$$

محدودیت (۹)، تضمین می‌دهد مقدار میعانات که باید از تصفیه‌کنندهٔ j به سایر توزیع-کنندگان ارسال شود نباید بیشتر از حداکثر محصول تصفیه‌شدهٔ مورد نظر ورودی باشد.

(۱۰)

$$\sum_{c\in C} yc_{jcpt} \le \sum_{i\in I} \lambda_{ip}.x_{ijt} \qquad \forall j \in J, t \in T, p3 \in P$$

محدودیت (۱۰)، تضمین می‌دهد مقدار نفت خام که باید از تصفیه‌کنندهٔ j به سایر توزیع‌کنندگان ارسال شود، نباید بیشتر از حداکثر محصول تصفیه‌شدهٔ مورد نظر ورودی باشد.

(۱۱)

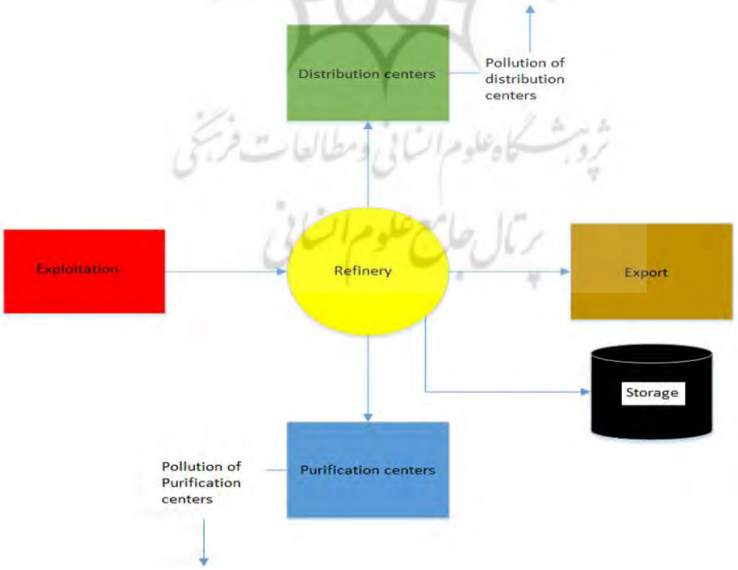
$$Id_{dtp} = Ic_{d,t-1,p} + \sum_{im\in IM} idm_{im,d,t} - \sum_{ex\in EX} DE_{ex,t} - \sum_{s\in S} \gamma ds_{st}.ds_{dst} \quad \forall d \in D, t \in T, p2 \in P$$
$$+ \sum_{s\in S} \gamma sd_{st} sd_{sdt} + \sum_{j\in J} yd_{jdpt} - Dd_{dtp}$$

محدودیت (۱۱)، مقدار نفت خام در مراکز توزیع را محاسبه می‌کند.

توسعهٔ مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد

در این تحقیق یک سیستم پالایشگاهی که مراحل تولید مطابق با شکل ۳ است، به-صورت متوالی با تقاضای مشخص و در نظر گرفتن ظرفیت تولید فعالیت می‌کند. سیستم تولید در این تحقیق به‌صورت یک زنجیرهٔ مارکوف زمان گسسته از نوع، M/G/1 مدل شده است. شرایط لازم و کافی و یک وضعیت پایدار که تحت آن سیستم دارای توزیع حالت پایدار است، در نظر گرفته شده است و سپس با استفاده از شبیه‌سازی گسسته

پیشامد در نرم‌افزار ARENA® مدل‌سازی گرافیکی انجام شده است. سپس با بررسی دقیق مدل بر اساس خصوصیاتی که از سیستم جمع‌آوری شده است نسبت به تحلیل و بررسی آن اقدام شده است. طرح شماتیک مفهومی سیستم تولید که در این تحقیق مورد بحث قرار گرفته است در شکل ۳ نشان داده شده است که با دنبال کردن جریان فرآیند آن سه محصول تولید می‌شوند. در این سیستم فرض شده است که ظرفیت، مشخص و محدود است. فرمول زمان گسسته به صورتی که مشخص شده، در نظر گرفته می‌شود: چرخهٔ برداشت ثابت، به‌عنوان یک دوره تنظیم می‌شود و دورهٔ n به‌عنوان فاصلهٔ زمانی از n تا بلافاصله قبل از زمان $n + 1$ تنظیم می‌شود. برای هر تقاضای مشخص که در دورهٔ n وارد می‌شود، در صورت موجودی محصولات، یک واحد محصول در ابتدای دورهٔ $n + 1$ عرضه می‌شود. در صورت عدم موجودی محصولات، تقاضای مشتری عقب افتاده محسوب می‌شود (یعنی یک تقاضای عقب افتاده به وجود می‌آید). فرض بر این است که ظرفیت‌های تولید و تقاضای مشتری در هر دوره متغیرهای تصادفی مستقل هستند. کل تقاضای عقب افتاده به‌عنوان مجموع تقاضای عقب افتاده و تعداد کانبان‌های سفارش داده شده برای تولید در هر ماه مشخص می‌شود.



شکل ۳. ساختار جریان فرآیند در پالایشگاه

برای طراحی مدل سیستم مذکور، مفروضات اشاره شده در زیر در نظر گرفته شده است.

- سه شیفت کاری ۲۴۰ واحدی، ۲۴۰ واحدی و ۲۲۰ واحدی از سه محصول پتروشیمی وجود دارد.
- در شیفت ۲۴۰ واحدی هر ۱۲۰ ثانیه یک واحد از محصول مورد نظر تولید می‌شود.
- نحوهٔ فرآیند سفارش‌گذاری به صورتی است که در هر شیفت کاری سفارش‌گذاری انجام می‌شود و سفارش‌های انجام شده در حقیقت برای تأمین نیاز شیفت کاری بعدی که در آن شیفت کاری بعد تحویل داده می‌شود.
- احتمال انتشار گاز گلخانه‌ای توسط هر محصول، از توزیع احتمالی [0.01, 0.1] است.

در این بخش مستندات لازم در خصوص توسعهٔ مدل شبیه‌سازی زنجیرهٔ تأمین محصولات پتروشیمی نشان داده شده است. در شکل ۴ (الف و ب) محیط نرم‌افزاری مربوط به توسعهٔ مدل در نرم‌افزار ARENA نشان داده شده است. این مدل بر اساس تنظیماتی که مربوط به حالت پایداری آن است و در زیر مشخص شده است به اجرا درآمده است.

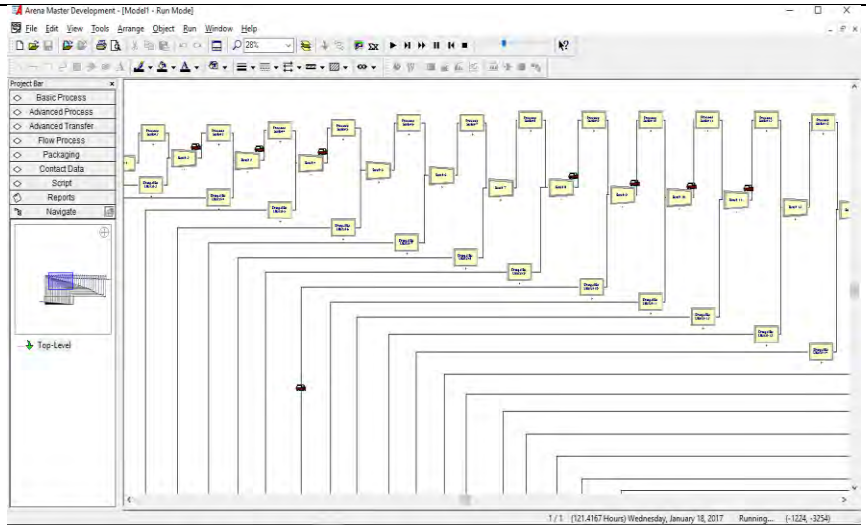
Warm-up period: 4 hour

Number of replication: 10 times

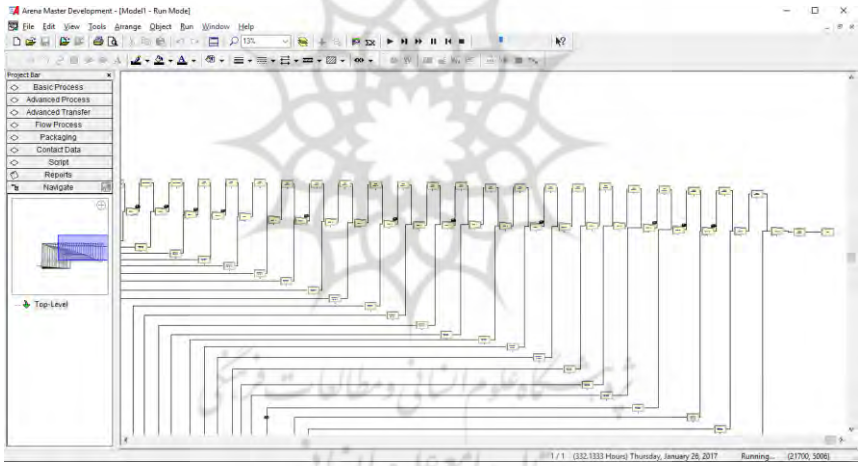
Replication Length: 30 days

Hours per day: 24

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ٤.محیط نرم‌افزاری مدل (الف)



شکل ٤. محیط نرم‌افزاری مدل (ب)

روش حل مسئله

در این تحقیق مدل پیشنهادی از طریق قطعی حل شده است. برای حل قطعی از روش اپسیلون محدودیت استفاده شده است. در ادامه به تشریح این روش پرداخته شده است.

روش قطعی حل مسئله: رویکرد اپسیلون محدودیت

روش حل دقیق در تحقیق حاضر شامل روش اپسیلون محدودیت است. در این بخش به تشریح این الگوریتم پرداخته می‌شود. حل مسئله طبق این روش به این صورت است که هدف اول به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و هدف دوم به حد بالای اپسیلون محدود می‌شود و در قیود مسئله اعمال می‌شود. در این صورت بر اساس روش اپسیلون محدودیت مدل چندهدفه به مدل تک‌هدفه ۱۲ تبدیل می‌شود. در این روش از بین توابع هدف مختلف، یکی انتخاب و سایر توابع هدف با در نظر گرفتن مقادیری که تصمیم‌گیرنده یا مدل‌ساز تعیین می‌کند به محدودیت تبدیل می‌شوند و مسئله به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تک‌هدفه تبدیل می‌شود و به شیوهٔ معمول برنامه‌ریزی خطی حل می‌شود. یکی از روش‌های دقیق به‌دست آوردن راه‌حل‌های پارتوی بهینه، استفاده از روش اپسیلون محدودیت است که اولین بار توسط آلجدان ارائه شده است. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌ها بهینه‌سازی چندهدفه، کاربرد آن برای فضاهای حل غیرمحدب است؛ زیرا روش‌هایی از قبیل ترکیب وزنی اهداف در فضای نامحدب کارایی خود را از دست می‌دهند. زمان محاسباتی یک الگوریتم از ویژگی‌های مهم هر الگوریتم جهت ارزیابی آن است از آنجایی که یکی از ضعف‌های اساسی الگوریتم‌های مبتنی بر جستجوی دقیق از جمله روش اپسیلون محدودیت، بالا بودن زمان محاسباتی آنهاست، بدیهی است که به‌کارگیری الگوریتم فراابتکاری موجب کاهش شدید زمان محاسباتی خواهد شد. یکی از نسخه‌های اصلاح‌شدهٔ روش اپسلیون محدودیت، چارچوبی است که پیروز و خرم[1] (۲۰۱۶) ارائه دادند و ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۰) و ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۱۸) اخیراً استفاده از آن را به دلیل داشتن دو مزیت عمده توصیه کرده‌اند. یکی از مزایای این روش کاهش فضای جستجو برای یافتن نقاط غیرغالب است. یکی دیگر از مزایای این روش زمان اجرای کمتر آن در مقایسه با روش اصلی است. طبق این روش ابتدا مسئلهٔ بهینه‌سازی تک‌هدفه برای هر هدف را حل می‌کنیم. سپس طول گام را

[1] Pirouz & Khorram

تعیین می‌کنیم. سپس مجموعه نقاط مناسب را تولید می‌کنیم و در نهایت بهینه‌سازی تک-هدفه را حل کرده و مرز پارتو را تخمین می‌زنیم.

(۱۲)

$$\min f_1(x)$$
$$f_i(x) \leq e_i$$
$$x \in X$$

در رابطهٔ (۱۲) هدف اول به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و اهداف دوم تا n ام به مقدار حداکثر e_i محدود می‌شود در روش اپسیلون محدودیت با تغییر مقادیر e_i جواب‌های مختلفی به‌دست می‌آید که ممکن است کارا نباشند. با اصلاح تکمیل مدل فوق می‌توان مشکل مذکور را مرتفع نمود که به روش اپسیلون محدودیت اصلاح شده معروف است. در این روش رابطهٔ قبلی به‌صورت مدل ۱۳ بازنویسی می‌شود.

(۱۳)

$$\min f_1(x) - \sum_{i=1}^{2} \phi_i s_i$$
$$fi(x) + s_i = e_i$$
$$x \in X$$
$$s_i \geq 0$$

که در مدل ۱۳، s_i متغیرهای نامنفی کمکی و ϕ_i یک پارامتر برای نرمالسازی اهداف هستند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

یافته‌های پژوهش

در این بخش، با ملحوظ دانستن موارد تعیین شده در بخش قبل به‌عنوان پارامترهای از پیش تعیین شده مسئلهٔ برنامه‌ریزی شده برای کنترل متغیرهای در نظر گرفته شده به

صورتی که در ادامه مشخص می‌شود در یک مسئله در ابعاد کوچک محاسبه می‌شود. مسئلهٔ مذکور به‌ازای مقادیر مجموعه‌هایی که در جدول ۱ مشخص شده است؛ در نرم-افزار GAMS به اجرا درآمده است. شدنی بودن مدل ریاضی پیشنهادی با تعیین یک مجموعه جواب نشان داده شده است.

جدول ۱. مجموعه‌های تعریف شده برای مسئله در ابعاد کوچک

مجموعه‌های تعریف شده	مقدار
میدان‌ها	$i_1; i_2; i_3$
تصفیه‌کننده‌ها	$j_1; j_2$
محصولات	اتان و متان
دوره‌های زمانی	$t_1; t_2; t_3$
پتروشیمی	$h_1; h_2$
توزیع‌کننده‌ها	$d_1; d_2; d_3$
مبادی صادرات	$e_1; e_2$
انبارها	$s_1; s_2$

در این صورت، مقدار انتقال میعانات از میدان i به تصفیه‌کنندهٔ j در زمان tام (x_{ijt}) مطابق با جدول ۲ محاسبه می‌شود.

جدول ۲. مقدار بهینه x_{ijt}

به / از	j_1			j_2		
	دورهٔ اول	دورهٔ دوم	دورهٔ سوم	دورهٔ اول	دورهٔ دوم	دورهٔ سوم
i_1	۰	۷۱/۴۸۹	۱۰۶/۰۸۰	۸۵/۳۳۵	۷۶/۱۰۱	۱۸.۴۴۹
i_2	۰	۰	۰	۰	۰	۰
i_3	۰	۰	۰	۰	۰	۰

بر اساس نتایج محاسبه شده، مجموع مقدار انتقال میعانات که شامل (متان و اتان) است در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار انتقال میعانات در دورهٔ اول از میدان i_1 به مرکز تصفیه‌کنندهٔ اول برابر صفر است. همچنین، این مقدار از مراکز دوم و سوم در تمامی دوره‌ها به مراکز تصفیهٔ اول و دوم برابر صفر است. علاوه بر این، بیشترین میزان انتقال میعانات در دورهٔ سوم از میدان اول به مرکز اول برابر با ۱۰۶/۰۸۰ است. همچنین، مقدار موجودی میعانات وارد شده از میدان i به مرکز تصفیهٔ j در میان t (II_{jt}) نشان داده شده است.

جدول ۳. مقدار II_{jt}

مرکز تصفیه	دورهٔ اول	دورهٔ دوم	دورهٔ سوم
j_1	۰	۰	۲۰/۷۴۹
j_2	۰	۷/۹۰۶	۱۳/۶۰۱

بر اساس نتایج به‌دست آمده برای مقدار II_{jt} مقدار موجودی میعانات وارد شده در دورهٔ اول به هر دو مرکز تصفیه برابر صفر است. همچنین، مقدار موجودی مرکز تصفیه در دورهٔ دوم نیز برابر صفر است. در مقابل، مقدار موجودی مرکز تصفیه در دورهٔ سوم برابر با ۲۰/۷۴۹ است که بیشترین مقدار موجودی در طی دوره‌های زمانی است. در جدول ۵، مقدار انتقال میعانات از تصفیه‌کنندهٔ j ام به پالایشگاه h در زمان tام (yh_{jhpt}) نشان داده شده است.

جدول ٤. مقدار بهینه (yh_{jhpt})

به / از	دوره اول		دوره دوم		دوره سوم	
	h_1	h_2	h_1	h_2	h_1	h_2
j_1	۰	۰	۲۲	۰/۰۷۰	۰	۱۲
j_2	۷	۱۹/۳۴۲	۰	۱۵/۵۷۷	۰	۰

همچنین، در جدول ۵، مقدار انتقال متان از تصفیه‌کنندهٔ j ام به توزیع‌کنندهٔ d در زمان tام (yd_{jdpt}) نشان داده شده است.

جدول ۵. مقدار yd_{jdpt}

به / از	دورهٔ اول			دورهٔ دوم			دورهٔ سوم		
	d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3
j_1	۰	۰	۰	۱۸/۴۱۹	۰	۰	۰	۰	۲۷/۳۳۱
j_2	۰	۰	۲۱/۹۸۴	۰	۱۹/۶۰۷	۰	۰	۰	۴/۷۵۳

مقدار انتقال متان از تصفیه‌کننده به توزیع‌کننده در دورهٔ اول، فقط از طریق تصفیه‌کنندهٔ دوم به توزیع‌کنندهٔ سوم به مقدار ۲۱/۹۸۴ انجام می‌شود. همچنین، از مرکز تصفیهٔ اول و دوم به توزیع‌کنندهٔ اول و دوم به ترتیب متان به میزان ۱۸/۴۱۹ و ۱۹/۶۰۷ منتقل می‌شود. علاوه بر این، از مراکز تصفیه‌کنندهٔ اول و دوم در دورهٔ سوم فقط به توزیع‌کنندهٔ سوم به مقدار ۲۷/۳۳۱ و ۴/۷۵۳ منتقل می‌شود. مقدار مواد اولیهٔ وارداتی از مراکز واردات i_m به مرکز توزیع d در طی دوره‌های زمانی t (im_{imdt}) مطابق با جدول ۶ است.

جدول ٦. مقدار im_{imdt}

به – از	دورهٔ ۱	دورهٔ ۲	دورهٔ ۳
$i_1 \rightarrow d_1$	۵۵/۸۸۶	۰	۴۸/۱۵۰
$i_1 \rightarrow d_2$	۵۱/۸۸۶	۰	۴۹/۱۵۰
$i_1 \rightarrow d_3$	۰	۰	۰
$i_2 \rightarrow d_1$	۰	۰	۰
$i_2 \rightarrow d_2$	۰	۰	۰
$i_2 \rightarrow d_3$	۳۹/۹۰۲	۰	۰

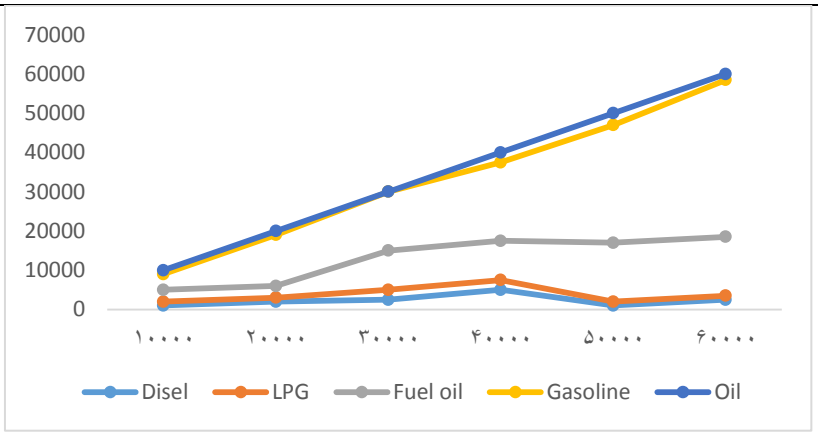
با توجه به نتایج محاسبه شده، میزان مواد اولیهٔ وارداتی به مراکز توزیع در دورهٔ دوم برابر با صفر است. همچنین، مواد اولیهٔ وارد شدهٔ ارسالی به مرکز توزیع اول در دورهٔ اول بیشترین مقدار را دارد که برابر با ۵۵/۸۸۶ است. سرانجام، در جدول ۷ مقدار انتقال میعانات از انبار s به توزیع‌کنندهٔ d (sd_{sdt}) نشان داده شده است.

جدول ۷.مقدار (sd_{sdt})

به – از	دورهٔ ۱	دورهٔ ۲	دورهٔ ۳
$s_1 \rightarrow d_1$	۰	۰	۰
$s_1 \rightarrow d_2$	۰	۰	۰
$s_1 \rightarrow d_3$	۰	۰	۰
$s_2 \rightarrow d_1$	۱۱۲/۹۶۰	۰	۰
$s_2 \rightarrow d_2$	۸۶/۷۶۰	۰	۰
$s_2 \rightarrow d_3$	۲۳۴/۱۰۴	۰	۰

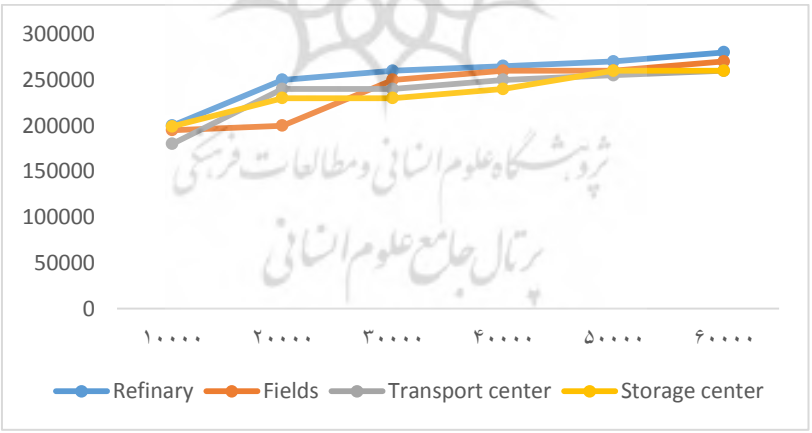
تحلیل حساسیت

در این بخش، تأثیر تغییر پارامتر کلیدی مانند حداکثر ظرفیت مراکز بر تصمیمات مدل پیشنهادی بررسی می‌شود. این تغییر پارامتر در مشاوره با کارشناسان نفت مشخص شد. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، تغییر حداکثر ظرفیت تأثیر قابل‌توجهی بر روی نفت روغنی و بنزین دارد. شکل ۷ میزان تغییر پارامتر را برای مقادیر مختلف در هر محصول نشان می‌دهد.

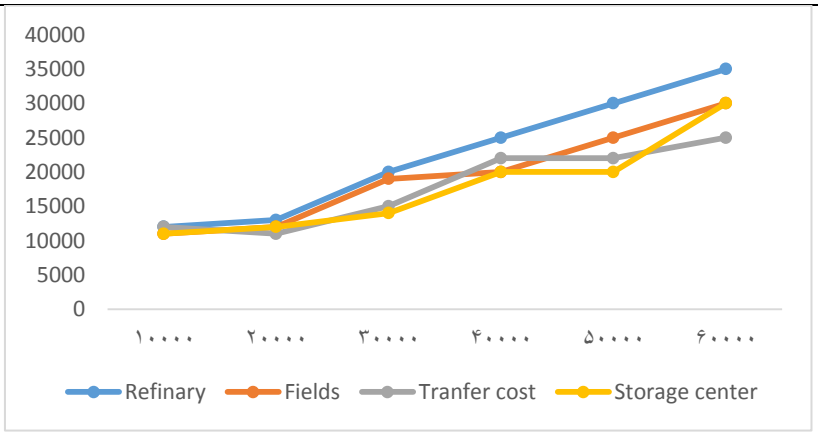


شکل ۵. نتایج شبیه‌سازی تغییر پارامتر ظرفیت بر مقدار محصولات پتروشیمی

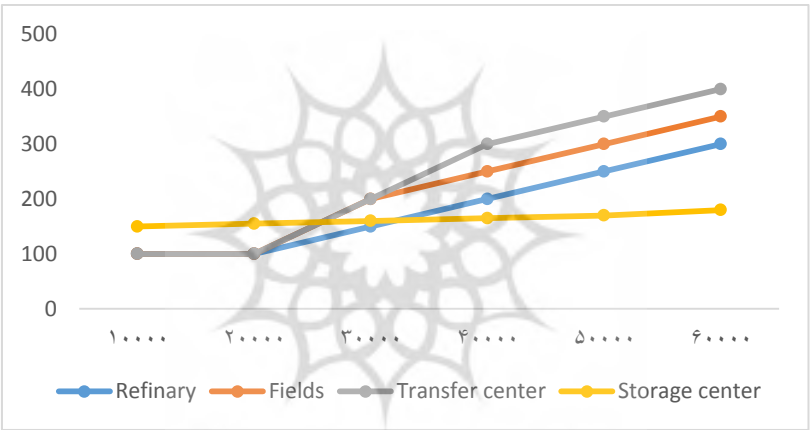
همچنین ذکر این نکته ضروری است که تغییر پارامتر کلیدی روی تمام تابع هدف مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور مقدار تابع هدف برای هر مرکز محاسبه می‌شود. با توجه به نتایج توابع هدف، اثر پارامتر حداکثر ظرفیت نادیده گرفته شد. در شکل ۶ و ۷ و ۸ تغییر اثر پارامتر ظرفیت حداکثر بر هزینه‌های انتقال، هزینه‌های موجودی و آلودگی زیست‌محیطی به ترتیب نشان داده شده است.



شکل ٦.نتایج شبیه‌سازی اثر ظرفیت بر هزینه‌های انتقال



شکل ۷. نتایج شبیه‌سازی اثر ظرفیت بر هزینه موجودی



شکل ۸. نتایج شبیه‌سازی اثر ظرفیت بر میزان آلودگی

بحث و نتیجه‌گیری

صنعت نفت یکی از صنایع زیربنایی کشورهای نفت‌خیز به شمار می‌رود که در کشور ما به‌خاطر متغیرهای مختلف جمعیتی، زیستی و اقلیمی از جایگاه خاص و قدمت نسبتاً طولانی برخوردار است. حجم عظیم نقل و انتقالات نفتی و فرآورده‌های مشتق شده از نفت خام، لزوم تبیین یک روش علمی دقیق در این زمینه را امری بدیهی ساخته است. علی‌رغم قدمت چند دهۀ صنعت پالایش نفت در ایران و توسعۀ روش‌های علمی پالایش و بهینه‌سازی عملیات، موضوع کاربرد مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در برنامه‌ریزی

پالایشگاهی در ایران به اندازهٔ کافی مورد توجه قرار نگرفته است. بر همین اساس، موضوع اصلی این پژوهش، بهره‌گیری از ابزارهای علم بهینه‌سازی به‌منظور بهبود تصمیم‌گیری‌ها در حوزهٔ نفت و گاز است. برای این منظور در این تحقیق، برای اولین بار در ادبیات موضوع، یکپارچگی در تصمیم‌گیری برای تولید و توزیع در صنعت نفت و پتروشیمی در شرایط مدنظر پیاده‌سازی می‌شود. در این تحقیق به ترکیب دو حوزهٔ تصمیم‌گیری مهم در حوزهٔ محصولات پتروشیمی یعنی برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی توزیع پرداخته شده است. در این راستا، این نکته حائز اهمیت است که تصمیمات حوزهٔ برنامه‌ریزی تولید بر روی برنامه‌ریزی توزیع تأثیر مستقیم دارد. چنانچه محصولات طبق زمان‌بندی اصولی آماده و فراهم نشود، واحد توزیع نیز نمی‌تواند نیازهای مشتریان را در موعد مقرر تحویل نماید. به همین دلیل، لازم و ضروری است تا برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی توزیع به‌صورت یکپارچه مورد مطالعه قرار گیرد. در این راستا، ابتدا یک مدل ریاضی به‌منظور بهینه‌سازی متغیرهای تصمیم تولید و توزیع ارائه می‌شود. سپس با استفاده از مدل شبیه‌سازی مدل مورد سنجش قرار می‌گیرد. این پژوهش که با پوشش اهداف یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی توزیع در صنعت پتروشیمی و پالایشگاهی و همچنین، برنامه‌ریزی تولید و توزیع به‌صورت همزمان به‌منظور تأمین نیازهای پالایشگاه‌های فرآورده‌های نفتی دنبال شده است که این کار را با ارائهٔ یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی انجام داده است.

در این تحقیق، برای یک پالایشگاه ضمن ارائهٔ یک برنامه‌ریزی مقرون به صرفه تولید از حیث در نظر گرفتن هزینه‌های حمل‌ونقل و موجودی، کاهش عوامل زیست‌محیطی برای توزیع فرآورده‌های نفتی طراحی شده است. در حقیقت می‌خواهیم با استفاده از این برنامه‌ریزی؛ یک برنامه‌ریزی استراتژیک برای زنجیرهٔ تأمین پالایشگاه از تولید تا توزیع فرآورده‌های نفتی در قالب شبکه حامل‌های نفتی ارائه دهیم. در این تحقیق، با هدف طراحی یک شبکه زنجیرهٔ تأمین فرآورده‌های نفتی در پالایشگاه تهران، اهداف منطبق با

ظرفیت منابع را به‌منظور کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری (موجودی و هزینه توزیع) و آلاینده‌های زیست‌محیطی اقدام شده است. برای این منظور یک چارچوب بهینه‌سازی یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و توزیع فرآورده‌های نفتی برای زنجیرهٔ مذکور ایجاد شده است. زنجیرهٔ پیشنهادی برای طراحی، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی شبکهٔ میعانات نفتی در ابعاد استراتژیک مورد استفاده قرار گرفته است. برای انتقال اجزای میعانات، در درون پالایشگاه اتصال خط لوله و برای خارج از پالایشگاه تجهیزات جابه‌جایی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین، ساختار و تصمیمات ممکن زنجیرهٔ تأمین در حالت کلی شامل بررسی همزمان هزینه‌های موجودی و انتقال و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی است. نتایج این تحقیق با تحقیقات حامدی و همکاران (۲۰۰۹)، براز سانچز و همکاران (۲۰۰۹)، سانچز و هاگلند (۲۰۱۱)، عطیه و همکاران (۲۰۱۹)، زارعی و امین ناصری (۲۰۱۹)، ابراهیمی و باقری (۲۰۲۲) و النقابی و همکاران (۲۰۲۳) همراستا می‌باشد.

در زیر چند پیشنهاد برای موضوعاتی که می‌توان با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی در زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی بهینه‌سازی کرد:

۱. بهینه‌سازی ترکیب مختلف حمل‌ونقل: استفاده از روش‌های مختلف حمل‌ونقل مانند تانکرها، لوله‌کش‌ها و شاحنات در زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی. با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی می‌توان به بهینه‌سازی میزان هر روش حمل-ونقل در جهت کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و بهبود زمان‌بندی کمک کرد.

۲. بهینه‌سازی مسیر حمل‌ونقل: مطالعه و بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل بین ایستگاه‌های تولید و مخازن ذخیره‌سازی و همچنین بین مخازن ذخیره‌سازی و مراکز توزیع. با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی می‌توان به توزیع بهتر محصولات نفتی، کاهش هزینه‌ها و بهبود زمان‌بندی کمک کرد.

۳. بهینه‌سازی سطوح ذخیره‌سازی: با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی، می‌توان بهینه‌سازی سطوح ذخیره‌سازی محصولات نفتی را در مخازن، ایستگاه‌های توزیع و سایر نقاط در زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی انجام داد. این بهینه‌سازی می‌تواند به کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی، بهبود عملکرد توزیع و مدیریت بهتر موجودی‌ها کمک کند.

۴. بهبود برنامه‌ریزی تولید: با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی می‌توان برنامه‌ریزی تولید محصولات نفتی را بهبود داد. با توجه به نیازهای بازار، میزان تقاضا و قابلیت تأمین مواد اولیه، می‌توان برنامه‌ریزی تولید را بهینه‌سازی کرد و در نتیجه به کاهش هزینه‌های تولید و بهبود کیفیت محصولات دست یافت.

۵. مدیریت ریسک: استفاده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی می‌تواند در مدیریت ریسک‌های مرتبط با زنجیرهٔ تأمین میعانات نفتی مفید باشد. با ایجاد مدل‌های شبکه و ارزیابی اثرات متغیرهای مختلف بر عملکرد زنجیرهٔ تأمین، می‌توان راهکارهایی را برای مدیریت بهتر ریسک‌ها ارائه داد.

مهم‌ترین محدودیت‌هایی که در اجرای این تحقیق، محقق با آن روبرو بوده است عبارتند از:

- نظر به اینکه حل مدل ریاضی در نرم‌افزار GAMS انجام شده است، این نرم‌افزار در صورت پیچیده شدن برای حل مسائل بزرگ با مشکلاتی روبرو می‌شود که محقق قادر به محاسبهٔ مقدار قطعی برای این مسائل بزرگ نمی‌باشد.
- با توجه به اینکه برای نشان دادن سازوکار سیستم از مدل شبیه‌سازی استفاده شده است، همواره در طول مدل‌سازی ممکن نیست همهٔ جوانب سیستم در نظر گرفته شود و بعضاً برخی فرآیندها و فعالیت‌ها مغفول واقع می‌گردد.

- با توجه به اینکه این تحقیق در طول همه‌گیری کرونا انجام شده است، جمع-آوری اطلاعات به سختی میسر بوده است.

منابع

طی گزارش سالیانهٔ بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۰ که در سایتhttp://www.energy.gov موجود است.

طی گزارش سالیانهٔ بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۰۹ که در سایتhttp://www.energy.gov موجود است.

- Abolghasemian, M., & Darabi, H. (2018). Simulation based optimization of haulage system of an open-pit mine: Meta modeling approach. *Organizational resources management researchs*, *8*(2), 1-17.
- Abolghasemian, M., Kanafi, A. G., & Daneshmand-Mehr, M. (2022). Simulation-Based Multiobjective Optimization of Open-Pit Mine Haulage System: A Modified-NBI Method and Meta Modeling Approach. *Complexity*, *2022*.
- Abolghasemian, M., Kanafi, A. G., & Daneshmandmehr, M. (2020). A two-phase simulation-based optimization of hauling system in open-pit mine. *Iranian journal of management studies*, *13*(4), 705-732.
- Alfares, H. K. (2023). Introduction to Petroleum and Petrochemical Industries. In *Applied Optimization in the Petroleum Industry* (pp. 1-23). Cham: Springer International Publishing.
- Alnaqbi, A., Trochu, J., Dweiri, F., & Chaabane, A. (2023). Tactical supply chain planning after mergers under uncertainty with an application in oil and gas. *Computers & Industrial Engineering*, *179*, 109176.
- Andre, J., Bonnans, F., Cornibert, L.J.E.J.o.O.R., (2009). Optimization of capacity expansion planning for gas transportation

networks. *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1019-1027.

- Attia, A.M., Ghaithan, A.M., Duffuaa, S.O.J.C., Engineering, C., (2019). A Multi-Objective Optimization Model for Tactical Planning of Upstream Oil & Gas Supply Chains. *Computers & Chemical Engineering*, 128, 216-227.
- Azadeh, A., Raoofi, Z., Zarrin, M.J.J.o.N.G.S., Engineering, (2015). A multi-objective fuzzy linear programming model for optimization of natural gas supply chain through a greenhouse gas reductionapproach. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 26, 702-710.
- Balcombe, P., Anderson, K., Speirs, J., Brandon, N., Hawkes, A.J.A.S.C., Engineering,(2016). The natural gas supply chain: The importance of methane and carbon dioxide emissions. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 5(1), 3-20.
- Behrooz, H.A., Boozarjomehry, R.B.J.E., (2017). Dynamic optimization of natural gas networks under customer demand uncertainties. *Energy* 134, 968-983.
- Benson, D. (1997, December). Simulation modeling and optimization using ProModel. In *Proceedings of the 29th Conference on Winter simulation* (pp. 587-593).
- Borraz-Sánchez C. and Haugland D. (2011). Minimizing fuel cost in gas transmission networks by dynamic programming and adaptive discretization, *Computers & Industrial Engineering*, 61(2), 364-372, 2011.
- Borraz-Sánchez C. and Haugland D. (2011). Minimizing fuel cost in gas transmission networks by dynamic programming and adaptive discretization, *Computers & Industrial Engineering*, 61(2), 364-372, 2011.
- Borraz-Sánchez C. and Ríos-Mercado R. Z., (2009). Improving the operation of pipeline systems on cyclic structures by tabu search, *Computers & Chemical Engineering*, 33(1), 58-64.

- Castillo, V. E., Mollenkopf, D. A., Bell, J. E., & Bozdogan, H. (2018). Supply Chain Integrity: A Key to Sustainable Supply Chain Management. Journal of Business Logistics, 39(1), 38-56.
- Chebouba A., Yalaoui F., Smati A., Amodeo L., Younsi K. and Tairi A., (2009). Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization, *Computers & Operations Research*, 36(6), 1916-1923.
- Chung, T., Li K. K., Chen G. J. Xie J. D. and Tang G. Q., (2003). Multi-objective transmission network planning by a hybrid GA approach with fuzzy decision analysis, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 25(3) 187-192.
- Ebrahimi, S. B., & Bagheri, E. (2022). Optimizing profit and reliability using a bi-objective mathematical model for oil and gas supply chain under disruption risks. *Computers & Industrial Engineering*, *163*, 107849.
- Hamedi M., Farahani Z. and Esmaeilian G., (2011). Optimization in natural gas network planning, Logistics operations and management, 1st Ed. Elsevier, London, 393-420.
- Hamedi M., Zanjirani Farahani R., Moattar Husseini M. and Esmaeilian Gh. R., (2009). A distribution planning model for natural gas supply chain, a case study, *Energy Policy*, 37(3), 799-812.
- Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Ghasemi, P., & Chobar, A. P. (2023). Simulation-based optimisation: analysis of the emergency department resources under COVID-19 conditions. *International journal of industrial and systems engineering*, *43*(1), 1-19.
- Jamal, P. A. (2022). Supply chain optimization in petroleum industry: the case of Russia. In *MHCK-2022* (pp. 252-253).
- Kabirian A. and Hemmati M. R., (2007). A strategic planning model for natural gas transmission networks, *Energy policy*, 35(11), 5656-5670.

- Lotfi, R., Kargar, B., Gharehbaghi, A., & Weber, G. W. (2022). Viable medical waste chain network design by considering risk and robustness. Environmental Science and Pollution Research, 1-16.
- Lu, H., Guo, L., & Zhang, Y. (2019). Oil and gas companies' low-carbon emission transition to integrated energy companies. *Science of the total environment*, *686*, 1202-1209.
- Malvestio, A.C., Fischer, T.B., Montaño, M.J.J.o.c.p.,(2018). The consideration of environmental and social issues in transport policy, plan and programme making in Brazil: a systems analysis. Journal of cleaner production 179, 674-689.
- Midthun K. Fodstad T. M. and Hellemo L., (2015). Optimization Model to Analyse Optimal Development of Natural Gas Fields and Infrastructure, *Energy Procedia*, 64, 111-119.
- Misra S., Fisher M. W., Backhaus S., Bent R., Chertkov M. and Pan F., (2015). Optimal compression in natural gas networks a geometric programming approach, *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, 2(1), 47-56.
- Pirouz, B., & Khorram, E. (2016). A computational approach based on the ε-constraint method in multi-objective optimization problems. *Adv. Appl. Stat*, *49*, 453
- Rezaee, A., Dehghanian, F., Fahimnia, B., & Beamon, B. (2017). Green supply chain network design with stochastic demand and carbon price. *Annals of operations research*, *250*, 463-485.
- Roy, J., Ghosh, D., Ghosh, A. and Dasgupta, S. (2019). "Fiscal instruments: crucial role in financing low carbon transition in energy systems", Current Opinion in Environmental Sustainability, Vol. 5, No. 2, pp. 261-269.
- Tautenhain, C.P., Barbosa-Povoa, A.P., Nascimento, M.C.J.C., Engineering, I(2019). A multiobjective matheuristic for designing and planning sustainable supply chains. Computers & Industrial Engineering 135, 1203-1223.

- Vasconcelos, C.D., Lourenço, S.R., Gracias, A.C., Cassiano, D.A.J.J.o.N.G.S., Engineering, (2013). Network flows modeling applied to the natural gas pipeline in Brazil. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 14, 211-224.

- Wang, B., Yuan, M., Zhang, H., Zhao, W., Liang, Y.J.C.E.R., Design, (2018). An MILP model for optimal design of multi-period natural gas transmission network. *Chemical Engineering Research and Design* 129, 122-131.

- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Berry, H., Bouley, T., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W.,(2018). The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. The Lancet 392(10163), 2479-2514.

- Woldeyohannes A. D. and Majid M. A. A., (2011). Simulation model for natural gas transmission pipeline network system, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(1), 196-212**.**

- Wu X., Li Ch., Jia W. and He Y., (2014). Optimal operation of trunk natural gas pipelines via an inertia-adaptive particle swarm optimization algorithm, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 21, 10-18.

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

پرتال جامع علوم انسانی