



فصلنامه مدیریت عملیات

سال سوم، شماره ۹، بهار ۱۴۰۲

## مدل سازی ریاضی و شبیه سازی بهبود جریان انتقال محصولات پتروشیمی در یک زنجیره تأمین سبز

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶

حمیدرضا محمودی \*

مرتضی بذرافشان \*\*

محدثه احمدی پور \*\*\*

 [10.30495/JOM.2023.1992353.1098](https://doi.org/10.30495/JOM.2023.1992353.1098)

### چکیده:

هدف از این پژوهش مدل سازی ریاضی و شبیه سازی بهبود جریان انتقال محصولات پتروشیمی در یک زنجیره تأمین سبز است. این تحقیق از نظر هدف، جزء تحقیقات کاربردی است، همچنین، از نظر ماهیت، کمی است. زیرا تماماً از ابزارهای کمی مانند روش های مدل سازی ریاضی، شبیه سازی و روش های حل فراابتکاری استفاده شده است. بر اساس این چارچوب، هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی و انتشار گازهای گلخانه ای برای خطوط انتقال نفت و گاز را می توان به حداقل رساند تا نیازهای فشار و شبکه انتقال برآورده شود. همچنین می توانیم تولید آلاینده ها را در بخش های مرتبط با زنجیره به حداقل برسانیم. با به کارگیری یک مورد مطالعه واقعی، تمام تصمیمات ممکن برای در نظر گرفتن جنبه های زیست محیطی زنجیره تأمین در نظر گرفته می شود؛ بنابراین، ساختار و تصمیمات زنجیره تأمین عموماً بر دو کارکرد هدف شامل کاهش هزینه های انتقال و نگهداری و آلودگی در تصفیه خانه ها و مراکز توزیع استوار است. مدل پیشنهادی با دقت مطلوبی قابل اعتماد است که در مقایسه با مدل سازی شبیه سازی و الگوریتم فراابتکاری -NSGA-II قرار گرفته است و می تواند اهداف را به خوبی برآورد کند. نتایج نشان داد که استفاده از مدل پیشنهادی هزینه ها را تا ۳۱ درصد و انتشار گازهای گلخانه ای را تا ۵۱ درصد کاهش می دهد. همچنین افزایش ۸ درصدی ظرفیت میادین و پالایشگاه ها و افزایش ۶۵ درصدی صادرات رخ خواهد داد. با استفاده از نتایج به دست آمده از حل مدل می توان سهم هر فرآورده نفتی را در بهای تمام شده و هر قسمت از زنجیره را

\* گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

\*\* گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران (نویسنده مسئول) Bazrafshan@liau.ac.ir

\*\*\* گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

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- 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 ذخیره-گاه اصلی این منبع مهم به دلیل حضور کشورهای هم‌چون ایران، عربستان سعودی و کشورهای حاشیه خلیج فارس 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 سالیانه انرژی، ۲۰۱۰) و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ به میزان تقریبی چهار تریلیون مترمکعب برسد (گزارش سالیانه انرژی، ۲۰۰۹). سیستم‌های توزیع و انتقال دو جزء اساسی شبکه میعانات نفتی به شمار می‌روند. یک سیستم انتقال را می‌توان به صورت یک سیستم خط لوله فشارقوی در نظر گرفت که نفت را در یک فاصله 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 مصرف‌کننده نهایی که تجاری، صنعتی و نیروگاه‌های برق هستند انتقال می‌دهند. توزیع به وسیله شرکت‌های محلی انجام می‌شود. وجود روابط منطقی بین افت فشار و نرخ جریان در شبکه 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 به گونه‌ای تغییر کند که نفت خام در درون

آن جریان پیدا کند. ایستگاه‌های متراکم‌کننده تقویت فشار، انرژی ضروری برای نگهداری فشار مورد نیاز در طول لوله را تأمین می‌کنند. کمینه‌سازی هزینه انتقال نفت خام با انتخاب قطر لوله 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. به طوری که بیش از ۳۰ درصد قیمت نهایی نفت خام پالایش شده مربوط به هزینه توزیع و انتقال است؛ بنابراین، در این مقاله با تمرکز بر این مسائل یک چارچوب بهینه‌سازی مبتنی بر مدل‌سازی شبیه‌سازی برای حل یک مسئله غیرخطی عدد صحیح با هدف کمینه‌کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی برای خطوط انتقال نفت و گاز ارائه می‌شود که احتیاجات فشار در طول شبکه انتقال را برآورده سازد. همچنین، در بحث مسائل محیط زیستی و اهمیت فراوان این حوزه، تصمیم‌گیرندگان و محققان سعی می‌کنند که فاکتورهای محیط زیستی (کاهش آلودگی و گازهای گلخانه‌ای) را در فرآیند تصمیم‌گیری خود بگنجانند. بر این اساس طراحی شبکه زنجیره تأمین زیست‌محیطی نیاز به نگاه اساسی دارد (رضایی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷)؛ بنابراین، یکی از کارهایی که می‌تواند به افزایش سودآوری در یک شبکه زنجیره تأمین منجر شود، در نظر گرفتن توابع هدف جدید زیست‌محیطی یا سبز است. تمام سازمان‌ها به دنبال طراحی درست و مناسب زنجیره تأمینی هستند که علاوه بر تصمیمات تاکتیکی به تصمیمات استراتژیکی هم دست یابند. این کار باعث می‌شود که مهم‌ترین دغدغه 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 بهینه این تسهیلات و مشتریان به یکدیگر و تعیین ظرفیت تسهیلات) به گونه‌ای است که بتواند به صورت بهینه باشد. تصمیماتی که به صورت 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

---

<sup>۱</sup> Rezaee

هزینه کل) است. همچنین، تصمیماتی که به صورت کوتاه مدت و عملیاتی اخذ خواهد شد شامل تعیین سطوح موجودی و اعمال برنامه ریزی تخفیف و... به صورت مناسب است (لطفی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۲). شرایط رقابت جهانی و حساسیت‌ها نسبت به محیط زیست، سازمان‌ها و مراکز تولید را مجبور کرده به رعایت الزامات زیست محیطی نسبت به احیا یا توسعه محصولات کم خطر بپردازند که این امر موجب پی بردن به اهمیت طراحی زنجیره-های تأمین جدید با قابلیت‌های مناسب در کنار زنجیره‌های تأمین سنتی شده است؛ بنابراین، افزودن توابع هدف زیست محیطی، علاوه بر در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، می‌تواند منافع شبکه زنجیره تأمین را افزایش دهد (جمال<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲)؛ بنابراین، رویکرد اصلی این مقاله در راستای ارائه یک چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر شبیه‌سازی برای زنجیره تأمین توزیع و انتقال شبکه میعان‌ات نفتی به منظور برآورده کردن نیاز مشتری با استفاده حداکثری از ظرفیت منابع (احتیاجات فشار در طول شبکه) است. علی‌رغم اینکه، هدف نهایی در چنین شبکه‌هایی معمولاً کمیته‌سازی هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری است، اما نگرانی در مورد مسائل زیست محیطی و اجتماعی، دولت‌ها و سازمان‌های بین-المللی را بر آن داشته است تا با ایجاد مقررات، شرکت‌های فعالی را در حوزه انرژی به سمت سرمایه‌گذاری در توسعه پایدار سوق دهند (تائوتنچیان و همکاران، ۲۰۱۹). این توجهات و فشارهای رو به رشد، شرکت‌ها را مجبور می‌کند تا پایداری را در فعالیت‌های خود در کل زنجیره تأمین در نظر بگیرند؛ بنابراین، برای دستیابی به توسعه پایدار، باید در برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری، مسائل زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی مورد توجه قرار گیرند (مالوستیو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). علاوه بر این، توسعه‌ای که توانایی نسل‌های آینده را برای تأمین نیازهای خود در نظر بگیرد و نیازهای امروز را برآورده کند، توسعه 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

---

<sup>1</sup> Lotfi

<sup>2</sup> Jamal

<sup>3</sup> Malvestio

توجه قرار گیرد. آلودگی هوا، تغییر آب و هوا و گرم شدن کره 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<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸). در نتیجه، سلامت عمومی در معرض خطر است و اگر اقدامی فوری انجام نشود، آسیب در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت. سوخت‌های فسیلی، متشکل از زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی، مهم‌ترین منبع اصلی انرژی در جهان هستند. به علاوه، منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای احتراق سوخت‌های فسیلی است که با حدود ۹۸٪ انتشار کربن از سوزاندن این منابع به طور مستقیم، بلکه از زنجیره تأمین آن از جمله استخراج، فرآوری و حمل‌ونقل ساطع می‌شوند (بالکومبه و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶)؛ بنابراین، در این مقاله یک چارچوب برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین میعانات نفتی، برای طراحی و برنامه‌ریزی به‌منظور اتخاذ تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی 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 شبکه انتقال را برآورده سازد، به علاوه، نیازهای مشتری با استفاده 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 زنجیره تأمین، هزینه انتقال نفت خام و همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را با بهینه‌سازی شبیه‌سازی کاهش داد؟ بنابراین، برای پاسخگویی به سؤال فوق مهم‌ترین جنبه‌های نوآوری و سهم مشارکت تحقیق به‌صورت زیر مشخص می‌شود که عبارتند از: ارائه یک چارچوب کاملاً کمی مبتنی بر مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی برای توجیه رفتار در یک زنجیره

---

<sup>1</sup> Watts

<sup>2</sup> Balcombe

تأمین نفت خام به منظور ارضای نیاز مشتریان و کاهش هزینه‌ها و گازهای گلخانه‌ای و ارائه مدلی مناسب در خصوص سرمایه‌گذاری محصولات پتروشیمی در یک زنجیره تأمین سبز با ملحوظ دانستن آلاینده‌های زیست‌محیطی.

باقی‌مانده 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، روش‌های حل مربوط به مدل پیشنهادی ارائه شده است. در بخش چهارم نتایج تحقیق ارائه شده است. سرانجام، در بخش پنجم نتیجه‌گیری کلی به همراه پیشنهادهای برای تحقیقات آتی به همراه بینش‌های مدیریتی ارائه شده است.

## ۲- مرور ادبیات

آزاده و همکاران، یک مدل ریاضی خطی با پارامترهای فازی که فقط جریان گاز متان را بین گره‌های زنجیره تأمین بهینه می‌کند و هزینه کل و انتشار کل گازهای گلخانه‌ای را بدون در نظر گرفتن توسعه زنجیره تأمین به حداقل می‌رساند، ارائه شده است (آزاده و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵). بهروز و بوزرجمهری، یک مدل بهینه‌سازی پویا را برای برنامه‌ریزی شبکه انتقال در صنعت نفت و گاز با عدم قطعیت تقاضای آینده بررسی کردند (بهروز و بوزرجمهری، ۲۰۱۷). وانگ و همکاران، ارتباطات خطوط لوله و ایستگاه‌های کمپرسور را در شبکه انتقال نفت با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تعیین کردند (وانگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸). عطیه و همکاران، یک مدل چندهدفه را برای به حداقل رساندن هزینه کل و به حداکثر رساندن درآمد کل برای تصمیم‌گیری تاکتیکی زنجیره‌های تأمین نفت و گاز پیشنهاد دادند (عطیه و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). زارعی و امین ناصری، یک مدل خطی عدد صحیح مختلط را برای به حداقل رساندن هزینه‌های توسعه، افزایش

---

<sup>1</sup> Azadeh

<sup>2</sup> Wang

<sup>3</sup> Attia

ظرفیت و محل قرارگیری خطوط لوله انتقال و تأسیسات و همچنین بهینه‌سازی جریان متان در زنجیره تأمین گاز طبیعی بدون در نظر گرفتن توسعه پایدار، توسعه دادند (زارعی و امین ناصری، ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی و به‌کارگیری رویکرد متامدلینگ و توسعه متامدل یک برنامه‌ریزی میان‌مدت و کوتاه‌مدت در یک مجتمع معدنی مس در ایران ارائه کردند. ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۲) با ساخت یک مسئله چندهدفه طبق رویکرد متامدلینگ با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و شبیه‌سازی توانستند به طور همزمان ضمن تعیین ترکیب بهینه تجهیزات جابه‌جایی در یک مجتمع معدن در ایران، زمان جابه‌جایی این تجهیزات را برای افزایش میزان تولیدات کم نمایند. علاوه بر این، ابراهیمی و باقری در پژوهش خود یک شبکه چندلایه برای زنجیره 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 (ابراهیمی و باقری<sup>۱</sup>، ۲۰۲۲). الناقبی و همکاران، در این پژوهش یک مدل ریاضی برای زنجیره تأمین چندلایه با چند محصول و یک افق برنامه‌ریزی چنددوره‌ای ارائه کرده‌اند (الناقبی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۳). جهانگیری و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از رویکرد متامدلینگ و برآورد یک متامدل از گروه رگرسیون توانستند با استفاده همزمان از مدل شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی ریاضی مدت‌زمان انتظار بیماران در بخش اورژانس یک بیمارستان دولتی در ایران را از طریق تعیین ترکیب بهینه کادر درمان در دوران همه‌گیری پاندمی کرونا کاهش دهند.

بر اساس مرور مطالعات انجام شده، هدف این مطالعه طراحی یک شبکه زنجیره تأمین نفت خام به‌منظور برآورده کردن نیاز مشتری و استفاده حداکثری از ظرفیت منابع

---

<sup>1</sup> Ebrahimi & Bagheri

<sup>2</sup> Alnaqbi

و احتیاجات فشار خط لوله به منظور کاهش هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری و به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای است. برای این منظور یک چارچوب بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای این زنجیره تأمین ایجاد شده است. مدل پیشنهادی این پژوهش، به مدیران صنعت و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند که با اجرای شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز، عملکرد زنجیره تأمین را بهبود دهند؛ بنابراین، مهم‌ترین شکاف‌های تحقیقاتی که در طول اجرای این تحقیق به چشم خورده است به شرح زیر اعلام می‌گردد. مطالعه‌ای در حوزه مربوط به مطالعات میعانات نفتی که قادر باشد به طور همزمان هزینه‌های انتقال و آلودگی‌های زیست‌محیطی در مراکز تصفیه‌کننده و توزیع را در نظر بگیرد مشاهده نشده است. با توجه به ادبیات اکثر مقالات در حوزه تحقیقاتی مربوطه منحصراً به روش‌های مدل‌سازی ریاضی پرداختند و توجه به روش‌های ترکیبی بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی توجه نشده است. هیچ کدام از مقالات این حوزه از فاکتور آلودگی محیط‌زیست برای مسئله خود استفاده نکردند، در این تحقیق از این فاکتور استفاده شده است.

### ۳- روش تحقیق

چارچوب پیشنهاد شده در این مطالعه یک مدل جدید مبتنی بر بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی در زنجیره تأمین میعانات نفتی به منظور یکپارچه‌سازی هزینه‌کرد و کنترل آلاینده‌های محیط‌زیست در صنعت پتروشیمی و پالایشگاهی ارائه شده است. طراحی یک زنجیره 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. به طور کلی توابع هدفی که در مدل‌سازی ریاضی به آن‌ها توجه شده است عبارتند از: هزینه‌های انتقال (A)، هزینه موجودی (B)، میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز تصفیه‌کننده (C) و میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز توزیع (D). 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 مسئله دو هدفه تبدیل شده است.

#### تشریح سیستم

در این تحقیق، قصد داریم برای یک پالایشگاه ضمن ارائه یک برنامه‌ریزی مقرون به صرفه، 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 زنجیره تأمین پالایشگاه از تولید تا توزیع فرآورده‌های نفتی در قالب شبکه حامل‌های نفتی ارائه دهیم. در این تحقیق، با هدف طراحی یک شبکه زنجیره تأمین فرآورده‌های نفتی در پالایشگاه تهران، اهداف منطبق با ظرفیت منابع را به‌منظور کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری (موجودی و هزینه توزیع) و آلاینده‌های زیست-محیطی اقدام می‌شود. برای این منظور یک چارچوب بهینه‌سازی یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و توزیع فرآورده‌های نفتی برای زنجیره مذکور ایجاد شده است. زنجیره پیشنهادی برای طراحی، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی شبکه میعانات نفتی در ابعاد استراتژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. 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 زنجیره تأمین در حالت کلی شامل بررسی همزمان هزینه‌های موجودی و انتقال و آلاینده‌های زیست‌محیطی است. در حقیقت، تفاوت عمده این تحقیق با سایر تجربیات دیگر که در گذشته انجام شده است در استفاده از مدل‌سازی همزمان این دو هدف است. در واقع این تحقیق، توسعه‌ای بر مدل‌های گذشته سانگه و همکاران (۲۰۱۹) و زارعی و همکاران (۲۰۲۰) است.

#### نمادگذاری

در این بخش کلیه نمادهای به کار گرفته شده برای توصیف مجموعه‌ها؛ پارامترها و متغیرهای مسئله توضیح داده شده‌اند.

مجموعه‌ها	
نماد	توضیحات
$I$	مجموعه میدان‌ها برای استخراج، $1, \dots, I$
$J$	مجموعه تصفیه‌کننده‌ها در پالایشگاه، $1, \dots, J$
$P$	مجموعه محصولات که شامل فرآورده‌های نفتی است، $1, \dots, P$
$T$	مجموعه دوره‌ها، $1, \dots, T$
$D$	مجموعه توزیع‌کنندگان $1, \dots, D$
$S$	مجموعه انبارهای نفت خام، $1, \dots, S$
$C$	مجموعه مصرف‌کننده میعانات، $1, \dots, C$
$H$	مجموعه پالایشگاه‌ها، $1, \dots, H$
اندیس‌ها	
$i \in I$	اندیس مربوط به مجموعه میدان‌ها،
$j \in J$	مجموعه تصفیه‌کننده‌ها،
$p \in P$	مجموعه محصولات،
$t \in T$	مجموعه دوره‌ها،
$d \in D$	مجموعه توزیع‌کنندگان،
$s \in S$	مجموعه انبارهای نفت خام،
$c \in C$	مجموعه مصرف‌کننده میعانات،
$h \in H$	مجموعه پالایشگاه‌ها.
پارامترها	
$capacity_i$	حداکثر ظرفیت میدان $i$ ام،
$Cx_{ijt}$	هزینه انتقال میعانات از میدان $i$ ام به تصفیه‌کننده $j$ ام در زمان $t$ ام،
$Cyd_{jdpt}$	هزینه انتقال میعانات از تصفیه‌کننده $j$ ام به توزیع‌کننده $d$ در زمان $t$ ام،
$Cyc_{jcpt}$	هزینه انتقال میعانات از تصفیه‌کننده $j$ ام به مصرف‌کننده میعانات در زمان $t$ ام،
$Cyh_{jhpt}$	هزینه انتقال میعانات از تصفیه‌کننده $j$ ام به پالایشگاه $h$ ام در زمان $t$ ام،
$Cds_{dst}$	هزینه انتقال میعانات از توزیع‌کننده $d$ به انبار $s$ ،
$Csd_{sdt}$	هزینه انتقال نفت خام از انبار $s$ به توزیع‌کننده $d$ ،
$\gamma ds_{dst}$	درصد انتقال نفت خام از توزیع‌کننده $d$ به انبار $s$ ،
$\gamma sd_{sdt}$	درصد انتقال نفت خام از انبار $s$ به توزیع‌کننده $d$ ،
$CI_{jt}$	هزینه واردات مواد اولیه وارد شده به مرکز تصفیه $j$ در زمان $t$ ،

هزینه مصرف میعانات در مراکز مصرف‌کننده میعانات $C$ در زمان $t$ ,	$CIc_{ctp}$
هزینه مصرف نفت خام در مراکز توزیع $d$ در زمان $t$ ,	$CI d_{dtp}$
هزینه مصرف نفت خام در مراکز پالایشگاه $h$ در زمان $t$ ,	$CI h_{htp}$
درصد مقدار محصول $p$ (فرآورده‌های نفتی) از گازهای ورودی میدان $\bar{a}_m$ ,	$\lambda_{ip}$
مقدار تقاضای مرکز مصرف‌کننده $C$ از میعانات $P$ در دوره $t$ ,	$DC_{ctp}$
مقدار تقاضای مرکز توزیع‌کننده $d$ از میعانات $P$ در دوره $t$ ,	$Dd_{dtp}$
مقدار تقاضای مرکز کارخانه‌های پتروشیمی $h$ از میعانات $P$ در دوره $t$ ,	$Dh_{htp}$
مقدار تقاضای نفت خام برای مراکز صادرات $e_x$ در دوره $t$ ,	$DE_{ex,t}$
هزینه انتقال مواد اولیه از مراکز واردات $\bar{a}_m$ به مرکز توزیع $d$ در زمان $t$ ,	$CI dm_{im,d,t}$
هزینه خرید مواد وارد شده از خارج به مرکز تصفیه $j$ در زمان $t$ ,	$CI'_{jt}$
هزینه مصرف میعانات در مراکز مصرف‌کننده میعانات $C$ در زمان $t$ ,	$CIc'_{ctp}$
هزینه مصرف نفت خام در مراکز توزیع $d$ در زمان $t$ ,	$CI d'_{dtp}$
هزینه تولید نفت خام در مراکز پالایشگاه $h$ در زمان $t$ ,	$CI h'_{htp}$
<b>متغیرها</b>	
مقدار انتقال میعانات از میدان $\bar{a}_m$ به تصفیه‌کننده $j$ ام در زمان $t$ ام،	$x_{ijt}$
مقدار انتقال متان از تصفیه‌کننده $j$ ام به توزیع‌کننده $d$ در زمان $t$ ام،	$yd_{jdpt}$
مقدار انتقال نفت خام از تصفیه‌کننده $j$ ام به مصرف‌کننده میعانات در زمان $t$ ام،	$yc_{jcpt}$
مقدار انتقال اتان از تصفیه‌کننده $j$ ام به پالایشگاه $h$ ام در زمان $t$ ام،	$yh_{jhpt}$
مقدار انتقال میعانات از توزیع‌کننده $d$ به انبار $S$ ,	$ds_{dst}$
مقدار انتقال میعانات از انبار $S$ به توزیع‌کننده $d$ ,	$sd_{sdt}$
مقدار موجودی میعانات وارد شده از میدان به مرکز تصفیه $j$ در زمان $t$ ,	$II_{jt}$
مقدار موجودی میعانات نفتی در مراکز مصرف‌کننده میعانات $C$ در زمان $t$ ,	$Ic_{ctp}$
مقدار موجودی میعانات در مراکز توزیع $d$ در زمان $t$ ,	$Id_{dtp}$
مقدار موجودی میعانات در مراکز پالایشگاه $h$ در زمان $t$ ,	$Ih_{htp}$
مقدار موجودی میعانات در مراکز انبار $S$ در زمان $t$ ,	$IS_{st}$
مقدار مواد خریداری شده برای مرکز تصفیه $j$ در زمان $t$ ,	$II'_{jt}$
مقدار تولید میعانات نفتی در مراکز مصرف‌کننده میعانات $C$ در زمان $t$ ,	$Ic'_{ctp}$
مقدار تولید نفت خام در مراکز توزیع $d$ در زمان $t$ ,	$Id'_{dtp}$

$Ih'_{htp}$	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)

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

(۲)

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

(۳)

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

(۴)

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

معادله (۱)، هزینه‌های انتقال را محاسبه می‌کند، معادله (۲) هزینه موجودی را محاسبه می‌کند، معادله (۳) میزان آلودگی زیست‌محیطی در مراکز تصفیه‌کننده را محاسبه می‌کند و معادله (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:

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq capacity_i \quad \forall i \in I, t \in T \quad (5)$$

$$Ii_{jt} = Ii_{jt-1} + \sum_{i \in I} x_{ijt} - \sum_{i \in I} \sum_{p2 \in P} yd_{jdpt} - \sum_{c \in C} \sum_{p1 \in P} yc_{jdpt} - \sum_{h \in H} \sum_{p3 \in P} yh_{jhpt} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (6)$$

$$Ic_{cpt} = Ic_{c,t-1,p} + \sum_{i \in I} x_{ijt} - \sum_{j \in J} yc_{jdpt} - DC_{cpt} \quad \forall c \in C, t \in T, p1 \in P \quad (7)$$

$$\sum_{d \in D} yd_{jdpt} \leq \sum_{i \in I} \lambda_{ip} \cdot x_{ijt} \quad \forall j \in J, t \in T, p2 \in P \quad (8)$$

$$\sum_{c \in C} yc_{jcpt} \leq \sum_{i \in I} \lambda_{ip} \cdot x_{ijt} \quad \forall j \in J, t \in T, p1 \in P \quad (9)$$

$$\sum_{c \in C} yc_{jcpt} \leq \sum_{i \in I} \lambda_{ip} \cdot x_{ijt} \quad \forall j \in J, t \in T, p3 \in P \quad (10)$$

$$Id_{dtp} = Ic_{d,t-1,p} + \sum_{im \in IM} idm_{im,d,t} - \sum_{ex \in EX} DE_{ex,t} - \sum_{s \in S} \gamma ds_{st} \cdot ds_{dst} \quad \forall d \in D, t \in T, p2 \in P \quad (11)$$

$$+ \sum_{s \in S} \gamma sd_{st} \cdot sd_{sdt} + \sum_{j \in J} yd_{jdpt} - Dd_{dtp}$$

محدودیت (۵)، تضمین می‌کند که حداکثر مقدار ارسالی از میدان به تصفیه‌کننده-ها در نظر گرفته شود، محدودیت (۶)، مقدار موجودی نفت خام ورودی از تصفیه‌کننده‌ها را نشان می‌دهد، محدودیت (۷)، این محدودیت مقدار موجودی میعانات نفتی را در مراکز مصرف‌کننده میعانات در نظر می‌گیرد، محدودیت (۸)، تضمین می‌دهد مقدار نفت خام

که باید از تصفیه‌کننده  $J$  به سایر توزیع‌کنندگان ارسال شود نباید بیشتر از حداکثر محصول تصفیه‌شده مورد نظر ورودی باشد. محدودیت (۹)، تضمین می‌دهد مقدار میعانات که باید از تصفیه‌کننده  $J$  به سایر توزیع‌کنندگان ارسال شود نباید بیشتر از حداکثر محصول تصفیه‌شده مورد نظر ورودی باشد، محدودیت (۱۰)، تضمین می‌دهد مقدار نفت خام که باید از تصفیه‌کننده  $J$  به سایر توزیع‌کنندگان ارسال شود، نباید بیشتر از حداکثر محصول تصفیه‌شده مورد نظر ورودی باشد و محدودیت (۱۱)، مقدار نفت خام در مراکز توزیع را محاسبه می‌کند.

#### توسعه مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد

در این تحقیق در یک سیستم پالایشگاهی، مراحل تولید مطابق با شکل ۳ است، و به صورت متوالی با تقاضای مشخص و در نظر گرفتن ظرفیت تولید فعالیت می‌کند. سیستم تولید در این تحقیق به صورت یک زنجیره 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 خصوصیات 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 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: چرخه برداشت ثابت، به عنوان یک دوره تنظیم می‌شود و دوره  $n$  به عنوان فاصله زمانی از  $n$  تا بلافاصله قبل از زمان  $n + 1$  تنظیم می‌شود. برای هر تقاضای مشخص که در دوره  $n$  وارد می‌شود، در صورت موجودی محصولات، یک واحد محصول در ابتدای دوره  $n + 1$  عرضه می‌شود. در صورت عدم موجودی محصولات، تقاضای مشتری عقب‌افتاده محسوب می‌شود (یعنی یک تقاضای عقب‌افتاده به وجود می‌آید). فرض بر این است که ظرفیت‌های تولید و تقاضای

مشتری در هر دوره متغیرهای تصادفی مستقل هستند. کل تقاضای عقب‌افتاده به عنوان مجموع تقاضای عقب‌افتاده و تعداد کانبان‌های سفارش داده شده برای تولید در هر ماه مشخص می‌شود.

برای طراحی مدل سیستم مذکور، مفروضات اشاره شده در ذیل 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.
- نحوه فرآیند سفارش‌گذاری به صورتی است که در هر شیفت کاری سفارش-گذاری انجام می‌شود و سفارش‌های انجام شده در حقیقت برای تأمین نیاز شیفت کاری بعدی است که در آن شیفت کاری بعد تحویل داده می‌شود.
- احتمال انتشار گاز گلخانه‌ای توسط هر محصول، از توزیع احتمالی  $[0.01, 0.1]$  است.

مدل شبیه‌سازی برای توصیف سازوکار فوق در نرم‌افزار ARENA نشان طراحی شده است.

#### روش حل مسئله

در این تحقیق مدل پیشنهادی از دو طریق قطعی و فراابتکاری حل شده است. برای حل قطعی از روش اپسیلون محدودیت و برای حل فراابتکاری NSGA-II استفاده شده است. در ادامه به تشریح هر دو 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. یکی از نسخه‌های اصلاح‌شده روش

اپسلیون محدودیت، چارچوبی است که پیروز و خرم (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 مسئله بهینه‌سازی تک‌هدفه برای هر هدف را حل می‌کنیم. سپس طول گام را تعیین می‌کنیم.

#### روش فراابتکاری حل مسئله: الگوریتم NSGA-II

در این تحقیق برای حل مسئله به روش ابتکاری از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)، استفاده شده است که یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم‌های موجود برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است و کارایی آن در حل مسائل مختلف، به اثبات رسیده است.

#### ۴- یافته‌ها

##### نتایج عددی تحقیق

در این بخش، با ملحوظ دانستن موارد تعیین شده در بخش قبل به‌عنوان پارامترهای از پیش تعیین شده مسئله برنامه‌ریزی شده برای کنترل متغیرهای در نظر گرفته شده به صورتی که در ادامه مشخص می‌شود در یک مسئله در ابعاد کوچک محاسبه می‌شود. مسئله مذکور به‌ازای مقادیر مجموعه‌هایی که در جدول ۲ مشخص شده است؛ در نرم‌افزار GAMS به اجرا درآمده است. شدنی بودن مدل ریاضی پیشنهادی با تعیین یک مجموعه جواب نشان داده شده است.

جدول ۲- مجموعه‌های تعریف شده برای مسئله در ابعاد کوچک

مقدار	مجموعه‌های تعریف شده
$i_1; i_2; i_3$	میدان‌ها
$j_1; j_2$	تصفیه‌کننده‌ها
اتان و متان	محصولات



$t_1; t_2; t_3$	دوره‌های زمانی
$h_1; h_2$	پتروشیمی
$d_1; d_2; d_3$	توزیع‌کننده‌ها
$e_1; e_2$	مبادی صادرات
$s_1; s_2$	انبارها

در این صورت، مقدار انتقال میعانان از میدان  $i$  به تصفیه‌کننده  $j$  در زمان  $t$  ام  $(x_{ijt})$  مطابق با جدول ۳ محاسبه می‌شود.

جدول ۳- مقدار بهینه  $x_{ijt}$

به از	$J_1$			$J_2$		
	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره اول	دوره دوم	دوره 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 میعانان که شامل (متان و اتان) است در جدول ۴ نشان داده شده است. مقدار انتقال میعانان در دوره اول از میدان  $i_1$  به مرکز تصفیه‌کننده اول برابر صفر است. همچنین، این مقدار از مراکز دوم و سوم در تمامی دوره‌ها به مراکز تصفیه اول و دوم برابر صفر است. علاوه بر این، بیشترین میزان انتقال میعانان در دوره سوم از میدان اول به مرکز اول برابر با ۱۰۶,۰۸۰ است. همچنین، مقدار موجودی میعانان وارد شده از میدان  $i$  به مرکز تصفیه  $j$  در میان  $t$   $(II_{jt})$  نشان داده شده است.

جدول ۴- مقدار  $II_{jt}$

مرکز تصفیه	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم
$J_1$	۰	۰	۲۰,۷۴۹
$J_2$	۰	۷,۹۰۶	۱۳,۶۰۱

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

جدول ۵- مقدار بهینه  $(yh_{jhpt})$

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

همچنین، در جدول ۶، مقدار انتقال متان از تصفیه‌کننده  $j$  ام به توزیع‌کننده  $d$  در زمان  $t$  ام  $(yd_{jdpt})$  نشان داده شده است.

جدول ۶- مقدار  $yd_{jdpt}$

به	دوره اول			دوره دوم			دوره سوم		
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_1$	$d_2$	$d_3$
از $j_1$	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 دوره اول، فقط از طریق تصفیه‌کننده دوم، به توزیع‌کننده سوم به مقدار ۲۱,۹۸۴ انجام می‌شود. همچنین، از مرکز تصفیه اول و دوم به توزیع‌کننده اول و دوم به ترتیب متان به میزان ۱۸,۴۱۹ و ۱۹,۶۰۷ منتقل می‌شود. علاوه بر این، از مراکز تصفیه‌کننده اول و دوم در دوره سوم فقط به توزیع‌کننده

سوم به مقدار ۲۷,۳۳۱ و ۴,۷۵۳ منتقل می‌شود. مقدار مواد اولیه و وارداتی از مراکز واردات  $i_m$  به مرکز توزیع  $d$  در طی دوره‌های زمانی  $t$  ( $im_{imdt}$ ) مطابق با جدول ۷ است.

جدول ۷- مقدار  $im_{imdt}$

به - از	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳
$i_1 \rightarrow d_1$	۵۵,۸۸۶	.	۴۸,۱۵۰
$i_1 \rightarrow d_2$	۵۱,۸۸۶	.	۴۹,۱۵۰
$i_1 \rightarrow d_3$	.	.	.
$i_2 \rightarrow d_1$	.	.	.
$i_2 \rightarrow d_2$	.	.	.
$i_2 \rightarrow d_3$	۳۹,۹۰۲	.	.

با توجه به نتایج محاسبه شده، میزان مواد اولیه و وارداتی به مراکز توزیع در دوره دوم برابر با صفر است. همچنین، مواد اولیه وارد شده ارسالی به مرکز توزیع اول در دوره اول بیشترین مقدار را دارد که برابر با ۵۵,۸۸۶ است. سرانجام، در جدول ۸ مقدار انتقال میعانات از انبار  $S$  به توزیع‌کننده  $d$  ( $sd_{sdt}$ ) نشان داده شده است.

جدول ۸- مقدار  $sd_{sdt}$

به - از	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳
$s_1 \rightarrow d_1$	.	.	.
$s_1 \rightarrow d_2$	.	.	.
$s_1 \rightarrow d_3$	.	.	.
$s_2 \rightarrow d_1$	۱۱۲,۹۶۰	.	.
$s_2 \rightarrow d_2$	۸۶,۷۶۰	.	.
$s_2 \rightarrow d_3$	۲۳۴,۱۰۴	.	.

#### ارزیابی مدل ریاضی با الگوریتم NSGA-II

به‌منظور طراحی آزمایش‌ها در الگوریتم NSGA-II، ابتدا برای پارامترهای آن ۳ سطح مختلف (کم با کد ۱، متوسط با کد ۲ و زیاد با کد ۳) تعریف می‌شود و سپس آزمایش‌های

از پیش تعریف شده در این الگوریتم به‌ازای تمام ترکیبات ممکن اجرا می‌شود. مقادیر پیشنهادی برای پارامترهای این الگوریتم مطابق جدول ۹ است.

جدول ۹- پارامترها و سطوح آن‌ها برای الگوریتم NSGA-II

پارامتر	مقادیر هر سطح		
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
Population size (PS)	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
Crossover rate (CR)	۰/۵	۰/۷	۰/۹
Mutation rate (MR)	۰/۲	۰/۳	۰/۵
Maximum iterations (Max_iter)	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰

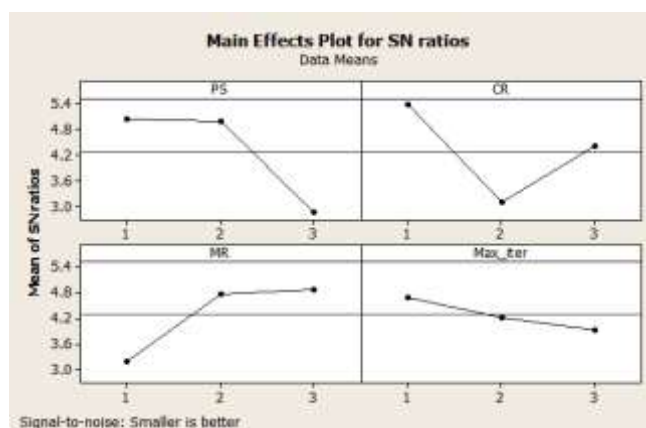
سپس با طرح L9 تاگوچی آزمایش‌های مختلف را ایجاد و برای هر کدام الگوریتم NSGA-II اجرا شده است. نتایج اجرا در جدول ۱۰ ارائه شده است. در این جدول کلیه حالات ممکن به‌ازای سطوح مختلفی که برای فاکتورهای الگوریتم NSGA-II در نظر گرفته شده است نشان داده شده است. برای مثال در آزمایش اول، کلیه فاکتورهای به‌ازای کمترین سطح خود در آزمایش شرکت دارند. در آزمایش دوم، فاکتور PS با مقدار کمترین سطح و سایر فاکتورها با مقدار سطح متوسط مربوط به خود حضور دارند. به همین ترتیب سایر حالت ممکن بر اساس قاعده جایگشت در آمار تکمیل می‌شود. با اجرای هر آزمایش و محاسبه مقدار شاخص MID سطح پاسخ مورد نظر با استفاده از این شاخص برآورد می‌شود.

جدول ۱۰- مقادیر متغیر پاسخ در تکنیک تاگوچی برای NSGA-II

شماره اجرا	پارامترهای الگوریتم				شاخص MID
	PS	CR	MR	Max_iter	
۱	۱	۱	۱	۱	۰/۵۳۴
۲	۱	۲	۲	۲	۰/۶۱۲
۳	۱	۳	۳	۳	۰/۵۳۷

شماره اجرا	پارامترهای الگوریتم				شاخص MID
	PS	CR	MR	Max_iter	
۴	۲	۱	۲	۳	۰/۴۹۱
۵	۲	۲	۳	۱	۰/۵۷۶
۶	۲	۳	۱	۲	۰/۶۳۷
۷	۳	۱	۳	۲	۰/۵۹۹
۸	۳	۲	۱	۳	۰/۹۷۳
۹	۳	۳	۲	۱	۰/۶۴۲

حال با ارائه این خروجی‌ها به نرم‌افزار MINITAB نمودار S/N به صورت شکل ۱ ارائه می‌شود. بر اساس مقدار محاسبه شده نسبت سیگنال به نویز به ازای کلیه سطوح در نظر گرفته شده برای هر یک از فاکتورها، هر چه این مقدار برای سطح مورد نظر کمتر باشد، مقدار آن سطح برای آن فاکتور انتخاب می‌شود.



شکل ۱- خروجی مینی تب برای روش تاگوچی در الگوریتم NSGA-II

حال بر اساس خروجی ارائه شده در نمودار فوق بهترین مقدار هر پارامتر در جدول ۱۱ مشخص شده است و سایر مثال‌ها با این مقادیر پارامترهای الگوریتم، اجرا می‌شود. در جدول ۱۱ مقدار بهینه پارامترها ارائه شده است.

جدول ۱۱- مقدار بهینه متغیرها در NSGA-II

پارامتر	مقدار بهینه
Population size (PS)	۲۰۰
Crossover rate (CR)	۰/۷
Mutation rate (MR)	۰/۲
Maximum iterations (Max_iter)	۲۰۰

با تعیین پارامترهای بهینه برای اجرای الگوریتم فراابتکاری، مطابق با جدول ۱۲ نمونه‌های عددی مختلفی در ابعاد گوناگون را در نظر می‌گیریم. همان‌طور که مشخص است ۸ نمونه عددی موجود است. نمونه‌های ۱ تا ۴ برای ابعاد کوچک و نمونه‌های ۵ تا ۸ مربوط به نمونه‌های متوسط است. هر چه ابعاد مسئله بیشتر می‌شود تعداد گره‌های مسئله نیز بیشتر می‌شود. به‌عنوان مثال در نمونه اول میدان، تصفیه‌کننده، توزیع‌کننده، مصرف‌کننده، پالایشگاه‌ها و انبار نفت خام برابر ۱ است.

جدول ۱۲- ابعاد نمونه‌های عددی

ابعاد	نمونه‌ها	مراکز تصفیه- کننده	مراکز توزیع- کننده	میدان‌ها پالایشگاه	مصرف- کنندگان	انبار نفت خام
کوچک	نمونه ۱	۱	۱	۱	۱	۱
	نمونه ۲	۲	۲	۲	۱	۲
	نمونه ۳	۲	۲	۳	۱	۲
	نمونه ۴	۲	۳	۳	۱	۳
	نمونه ۵	۳	۳	۳	۲	۳
متوسط	نمونه ۶	۳	۳	۴	۲	۳
	نمونه ۷	۴	۴	۴	۲	۳
	نمونه ۸	۴	۴	۴	۲	۴

جدول ۱۳ نتایج حل مدل را در سایزهای متوسط و کوچک نشان می‌دهد. چهار نمونه اول مربوط به میانگین جواب‌های مدل در حالت کوچک و چهار نمونه بعدی مربوط به

میانگین جواب‌های مدل در سائز متوسط است. در این جدول نتایج حل دقیق با نتایج روش NSGA-II و مدل شبیه‌سازی مقایسه شده است. همچنین زمان حل هر یک از روش‌ها در ستون آخر آورده شده است. با توجه به اختلاف کم خطای روش‌های مدل‌سازی ضمن تأیید صحت مدل ریاضی توسعه داده شده، صحت عملکرد و کارایی الگوریتم NSGA-II اثبات می‌شود و می‌توان برای حل مسائل در ابعاد بزرگ نیز به NSGA-II اعتماد کرد. نتایج حل بیانگر آن است که با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله زمان حل هر سه روش افزایش می‌یابد البته سرعت افزایش زمان حل روش مجموع وزن‌دار شده به مراتب بیشتر از NSGA-II و شبیه‌سازی است؛ بنابراین، با توجه به نتایج جدول ۱۳ می‌توان برای حل مسائل در ابعاد بزرگ به الگوریتم NSGA-II اعتماد کرد و عملکرد مناسبی را پیش‌بینی کرد.

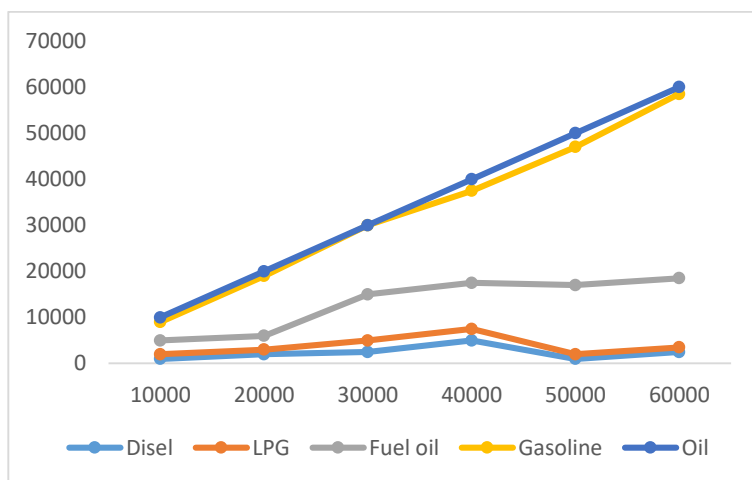
جدول ۱۳- نتایج مقایسه‌ای حل در ابعاد کوچک و متوسط

ردیف	اپسیلون محدودیت			NSGA-II			شبیه‌سازی		
	$f_2$	$f_1$	زمان (ثانیه)	$f_2$	$f_1$	زمان (ثانیه)	$f_2$	$f_1$	زمان (ثانیه)
۱	۲۸۹,۴	۵۰۹	۱	۲۸۹,۴	۵۰۹	۱	۲۸۹,۴	۵۰۹	۱
۲	۳۰۰,۲	۵۴۱	۳۷	۳۰۰,۲	۵۴۲	۵	۳۰۰,۲	۵۴۱	۶
۳	۳۰۲,۱	۶۴۹	۴۹	۳۰۳,۳	۶۵۰	۶	۳۰۳,۶	۶۴۹	۲۵
۴	۳۲۰,۳	۶۹۱	۹۹	۳۲۱,۹	۶۹۳	۱۴	۳۳۳,۸	۶۹۲	۳۵
۵	۶۲۹	۱۴۵۴	۱۰۲۱	۶۳۱,۶	۱۴۵۷	۲۷	۶۳۲,۵	۱۴۵۳	۲۰۰
۶	۷۳۷,۵	۱۵۶۸	۱۴۱۳	۷۴۰,۴	۱۵۷۲	۳۴	۷۳۶,۴	۱۵۶۶	۲۵۰
۷	۸۰۴,۶	۱۶۰۰	۲۹۳۴	۸۰۶,۳	۱۶۰۴	۳۹	۸۰۵,۹	۱۶۰۳	۳۵۰
۸	۹۸۳,۳	۱۹۰۹	۷۳۷۱	۹۸۷,۶	۱۹۱۱	۶۳	۹۸۸,۷	۱۹۰۷	۴۰۰

#### تحلیل حساسیت

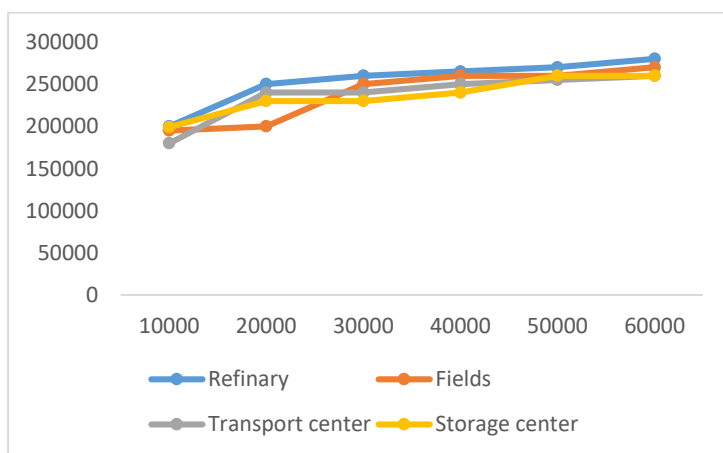
در این بخش، تأثیر تغییر پارامتر کلیدی مانند حداکثر ظرفیت مراکز بر تصمیمات مدل پیشنهادی بررسی می‌شود. این تغییر پارامتر در مشاوره با کارشناسان نفت مشخص شد.

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، تغییر حداکثر ظرفیت تأثیر قابل توجهی بر روی نفت روغنی و بنزین دارد.



شکل ۲- 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 ۳ و ۴ و ۵ تغییر اثر پارامتر ظرفیت حداکثر بر هزینه‌های انتقال، هزینه‌های موجودی و آلودگی زیست‌محیطی به ترتیب نشان داده شده است.

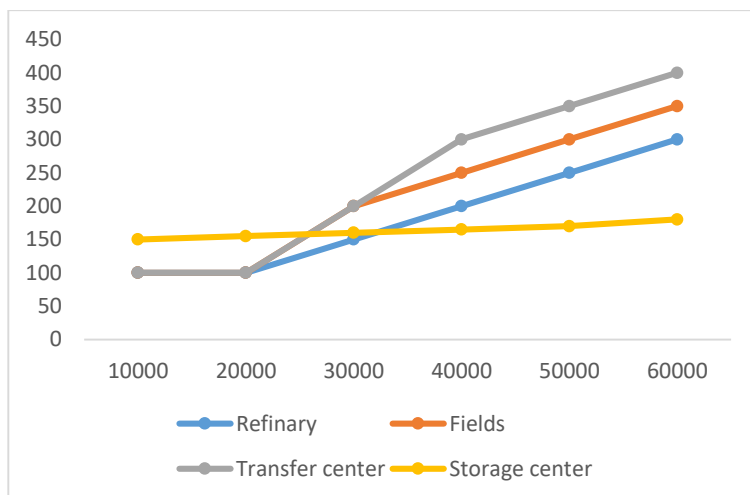


شکل ۳- اثر ظرفیت بر هزینه‌های انتقال





شکل ۴- اثر ظرفیت بر هزینه موجودی



شکل ۵- اثر ظرفیت بر میزان آلودگی

### ۵- نتیجه‌گیری

ضرورت برنامه‌ریزی بر کسی پوشیده نیست و به طور خاص موضوع برنامه‌ریزی در فرآیند تولید، گاه دارای چنان مزایایی است که در صورت عدم وجود، سازمان‌های تولیدی را از مسیر سالم رشد و ادامه حیات در محیط رقابتی منحرف می‌سازد. در صورت پیاده‌سازی

موفق یک سیستم مدیریت تولید جامع، شرکت‌ها می‌توانند از مزایای زیادی برخوردار گردند. برنامه‌ریزی تولید در واقع زمان‌بندی و تعیین ترتیب اولویت‌های انجام کارها به صورت بهینه می‌باشد. واضح است که برای یک واحد تولیدی حداقل نمودن هزینه و افزایش بهره‌وری اهمیت زیادی دارد؛ بنابراین، نوبت‌بندی در برنامه (در عدد، زمان و مکان) به منظور حداقل کردن هزینه و افزایش بهره‌وری ضرورت دارد. در این تحقیق به ترکیب دو حوزه تصمیم‌گیری مهم در حوزه محصولات پتروشیمی یعنی برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی توزیع پرداخته شده است. در این راستا، این نکته حائز اهمیت است که تصمیمات حوزه برنامه‌ریزی تولید بر روی برنامه‌ریزی توزیع تأثیر مستقیم دارد. چنانچه محصولات طبق زمان‌بندی اصولی آماده و فراهم نشوند، 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 به صورت یکپارچه مورد مطالعه قرار گیرد. در این راستا، ابتدا یک مدل ریاضی به منظور بهینه‌سازی متغیرهای تصمیم تولید و توزیع ارائه می‌شود. سپس با استفاده از مدل شبیه‌سازی و الگوریتم فراابتکاری قابلیت مدل مورد سنجش قرار می‌گیرد. از آنجایی که مدل‌های برنامه‌ریزی توزیع و نیز مدل‌های برنامه‌ریزی تولید دارای پیچیدگی‌های زیادی هستند، پس در نتیجه ترکیب این دو مسئله از نظر حل هم بسیار پیچیده خواهد بود؛ بنابراین، ابزارهای ساده و متداول نمی‌توانند چنین مدلی را در یک زمان معقول و منطقی بهینه‌سازی کند. به همین دلیل، در مرحله بعد این مدل ریاضی به کمک الگوریتم‌های فراابتکاری نوین از NSGA-II استفاده شده 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 است. استفاده از رویکرد فازی برای تبیین عدم قطعیت در مدل توسعه داده شده و استفاده از سایر روش‌های فراابتکاری نوین مانند گرگ خاکستری یا MOPSO برای مقایسه با نتایج به دست آمده در این تحقیق به عنوان پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود برای مدل‌سازی

مسئله در نظر گرفته شده در این تحقیق از بهینه‌سازی پارامتریک مدل‌های شبیه‌سازی استفاده شود. 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 محاسبه 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 همه جوانب سیستم در نظر گرفته شود و بعضاً برخی فرآیندها و فعالیت‌ها مغفول واقع می‌گردند. با توجه به اینکه این تحقیق در طول همه‌گیری کرونا انجام شده است، جمع‌آوری اطلاعات به سختی میسر بوده است.

#### منابع

- 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. (In Persian)
- 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.
- 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 reduction approach. *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.

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.

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.

Do Rosário Cabrita, M., Duarte, S., Carvalho, H., & Cruz-Machado, V. (2016). Integration of Lean, Agile, Resilient and Green Paradigms in a Business Model Perspective: Theoretical Foundations. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1306-1311.

Farouk, H., Zahraee, S.M., Atabani, A., Mohd Jaafar, M.N., Alhassan, F.H., (2017). Optimization of the esterification process of crude jatropa oil (CJO) containing high levels of free fatty acids: a malaysian case study. *Biofuels*, 1–8.

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 Hussein 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.

Lee, R. (2021), *The Effect of Supply Chain Management Strategy on Operational and Financial Performance*. *Sustainability*, 13, 5138.

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., Montañó, 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  $\epsilon$ -constraint method in multi-objective optimization problems. *Adv. Appl. Stat*, 49, 453.

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*, 5(2), 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.

Udokporo, C.K., Anosike, A., Lim, M., Nadeem, S.M., Garza-Reyes, J.A. and Ogbuka, C.P. (2020), "Impact of lean, agile and green (LAG) on business competitiveness: an empirical study of fast moving consumer goods businesses", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 156.

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.

Zaid, A. A., Jaaron, A. A., & Bon, A. T. (2018). The impact of green human resource management and green supply chain management practices on sustainable performance: An empirical study. *Journal of cleaner production*, 204, 965-979.

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

## Mathematical modeling and simulation of improving the flow of petrochemical products in a green supply chain

Hamidreza Mahmoudi \*

Morteza Bazrafshan \*\*

Mohadeseh Ahmadi Pour\*\*\*



[10.30495/JOM.2023.1992353.1098](https://doi.org/10.30495/JOM.2023.1992353.1098)

### Abstract:

The purpose of this research is mathematical modeling and simulation to improve the transfer flow of petrochemical products in a green supply chain. This research is part of applied research in terms of purpose, but also quantitative. Quantitative tools such as mathematical modeling methods, simulation, and meta-heuristic solution methods have been used. Based on this framework, investment and operating costs and greenhouse gas emissions for oil and gas transmission lines can be minimized to meet the pressure and transmission network needs. We can also minimize the production of pollutants in the related parts of the chain. By applying a real case study, all possible decisions to consider the environmental aspects of the supply chain are considered; Therefore, the structure and decisions of the supply chain are generally based on two objective functions, including the reduction of transportation and maintenance costs and pollution in refineries and distribution centers. The proposed model is reliable with good accuracy compared to simulation modeling and NSGA-II meta-heuristic algorithm and can estimate the goals well. The results showed that using the proposed model reduces costs by 31% and greenhouse gas emissions by 51%. There will also be an 8% increase in the capacity of fields and refineries and a 65% increase in exports. Using the results obtained from solving the model, it is possible to determine the share of each oil product in the total price and each part of the chain in the production of greenhouse gases. According to the results, oil has the highest cost, and oils have the lowest cost. In addition, refineries have the greatest impact, and storage tanks have the least impact on environmental pollution.

**Keywords:** Optimization, Mathematical programming, Modeling, Green house gas emissions

---

\* Department of Industrial Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran, hamidreza\_1990@yahoo.com

\*\* Department of Industrial Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran, Bazrafshan@liau.ac.ir

\*\*\* Department of Industrial Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran, m.ahmadipour87@yahoo.com