

Paper Type: Original Article



Analyzing the Effects of Feedstock and Utility Inflation on the Development of Iran's Petrochemical Industry Using a System Dynamics Approach

Mohammad Hossein Saberi Moghadam¹ , Mohammad Reza Fathi^{*1} , Mehdi Nasrollahi² 

¹ Department of Industrial Management, Farabi College, University of Tehran, Qom, Iran; mhsaberi@ut.ac.ir; Reza.fathi@ut.ac.ir.

² Department of Industrial Management, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran; m.nasrollahi@soc.ikiu.ac.ir.

Citation:



Saberi Moghadam, M. H., Fathi, M. R., & Nasrollahi, M. (2025). Analysis of the effects of feedstock and utility inflation on the development of Iran's petrochemical industry using a system dynamics approach. *Innovation management and operational strategies*, 6(2), 192-215.

Received: 27/11/2024

Reviewed: 21/01/2025

Revised: 19/02/2025

Accepted: 05/03/2025

Abstract

Purpose: The petrochemical industry in Iran, as one of the country's primary revenue-generating sectors, plays a crucial role in job creation, mitigating the effects of sanctions, and preventing raw material sales. This study aims to identify the factors influencing the development of the petrochemical industry by considering budgetary structures and comprehensively modeling the dynamic systems of this sector, including crude oil and natural gas exports, the National Development Fund, and the Oil and Gas Fund. The research also focuses on production and sales within the petrochemical industry to assess the impact of inflation on feedstock and utilities.

Methodology: This research adopts a system dynamics approach to model the budget formation in developing the capacity of the petrochemical industry. It employs causal models and simulates flow-stock models using the Vensim software. The modeling process incorporates budget allocation structures for projects and petrochemical complexes capable of producing products, utilizing over 450,000 data points related to production and sales across the entire petrochemical industry in Iran from 2011 to 2023.

Findings: The results of the modeling closely align with empirical outcomes, indicating that Iran's final petrochemical production increased from 28.7 million tons in 2011 to 52 million tons in 2023. Additionally, the nominal capacity of complexes rose from 54.1 million tons to 90.2 million tons. Assuming an annual increase in feedstock and utility prices (inflation) ranging from 1% to 10%, industry costs have surged by \$2.9 billion. However, due to a 76% increase in production capacity, the net revenue of the industry has remained at approximately \$26 billion.

Originality/Value: This research provides a comprehensive and reliable framework for analyzing and planning the development of production capacity within the petrochemical industry through system dynamics modeling. Furthermore, it quantitatively elucidates the role of optimal budget allocation and examines the impact of rising costs on production and revenue in this sector. The study explores the effects of various influential factors on petrochemical product output, including the implications of inflation on feedstock and utilities, as well as the effects of increasing inflation rates.

Keywords: Iran's petrochemical industry, System dynamics, Production and development, Feedstock and utility inflation.



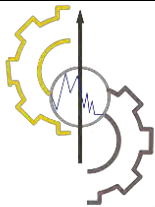
Corresponding Author: Reza.fathi@ut.ac.ir



10.22105/imos.2025.498371.1426



Licensee. **Innovation Management & Operational Strategies**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



تحلیل اثرات تورم خوراک و یوتیلیتی بر توسعه صنعت پتروشیمی ایران با استفاده از رویکرد پویایی

سیستم

محمد حسین صابری مقدم^۱، محمدرضا فتحی^{۱*}، مهدی نصراللهی^۲

^۱ گروه مدیریت صنعتی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران.

^۲ گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

چکیده

هدف: صنعت پتروشیمی ایران به عنوان یکی از اصلی ترین صنایع ارزآور کشور، نقش کلیدی در ایجاد اشتغال، کاهش اثرات تحریم و جلوگیری از خام فروشی ایفا می کند. این پژوهش با هدف شناسایی عوامل موثر در توسعه صنعت پتروشیمی، با در نظر گرفتن ساختارهای بودجه ریزی و مدل سازی جامع پویای سیستمی این صنعت شامل صادرات نفت خام و گاز طبیعی، صندوق توسعه ملی، صندوق نفت و گاز، تولید و فروش صنعت پتروشیمی، به منظور شناسایی تاثیر تورم بر خوراک و یوتیلیتی تدوین شده است.

روش شناسی پژوهش: این تحقیق با رویکرد پویایی شناسی سیستم ها به مدل سازی شکل گیری بودجه در توسعه ظرفیت صنعت پتروشیمی با استفاده از مدل های علی و شبیه سازی مدل های جریان-انباشت در نرم افزار ونسیم صورت پذیرفته است. این مدل سازی با در نظر گرفتن ساختارهای تخصیص بودجه به طرح ها و مجتمع های پتروشیمی که قابلیت تولید محصولات را دارند و با جمع آوری و پالایش بیش از ۴۵۰ هزار داده مربوط به تولید و فروش کل صنعت پتروشیمی کشور در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ انجام شده است.

یافته ها: نتایج مدل سازی با دقت بسیار خوبی به نتایج تجربی نزدیک بوده و نشان می دهد که تولیدات نهایی پتروشیمی ایران از ۲۸/۷ میلیون تن در سال ۱۳۹۰ به ۵۲ میلیون تن در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است. همچنین ظرفیت اسمی مجتمع ها از ۵۴/۱ میلیون تن به ۹۰/۲ میلیون تن رسیده است. با فرض افزایش سالانه ۱٪ تا ۱۰٪ قیمت خوراک و یوتیلیتی (تورم)، هزینه های صنعت پتروشیمی ۲/۹ میلیارد دلار افزایش یافته است؛ اما به دلیل افزایش ۷۶٪ ظرفیت تولید، درآمد خالص صنعت در حدود ۲۶ میلیارد دلار باقی مانده است.

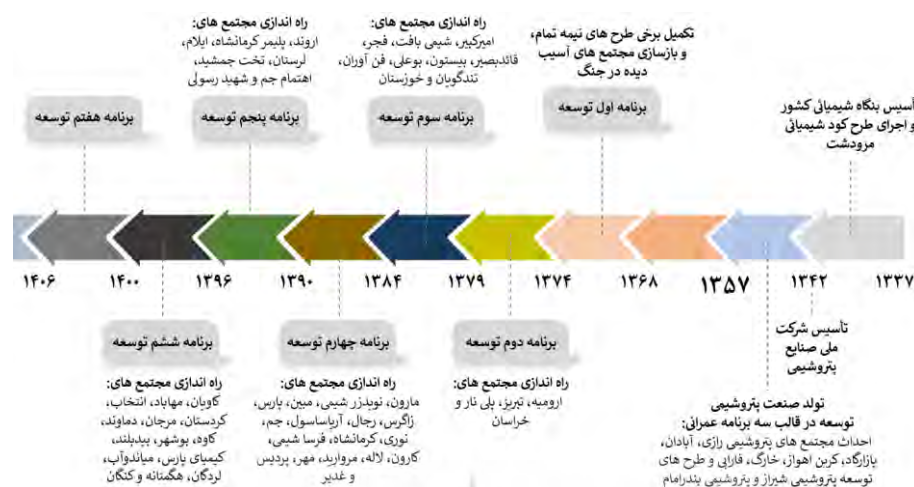
اصالت/ارزش افزوده علمی: این پژوهش با استفاده از مدل سازی پویای سیستمی، ساختاری جامع و قابل اتکا برای تحلیل و برنامه ریزی جهت توسعه ظرفیت تولید صنعت پتروشیمی ارائه می دهد؛ همچنین، در این مدل سازی نقش تخصیص بهینه بودجه و تاثیر افزایش هزینه ها بر تولید و درآمد این صنعت به صورت کمی تبیین شده و تاثیر هر یک از عوامل موثر بر تولید محصولات پتروشیمی، از جمله اثرات تورم بر خوراک و یوتیلیتی و افزایش درصد تورم، مورد بررسی قرار گرفته است.

کلیدواژه ها: صنعت پتروشیمی ایران، پویایی شناسی سیستم، تولید و توسعه، تورم خوراک و یوتیلیتی.

۱- مقدمه

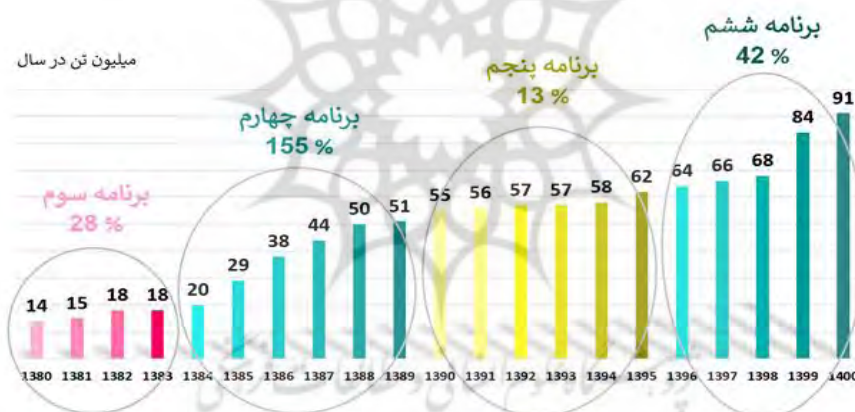
شرکت ملی صنایع پتروشیمی به عنوان یکی از چهار شرکت اصلی وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران، در زمینه تولید نهایی محصولات پتروشیمی و مواد با ارزش افزوده حاصل از خوراک های مایع و برش های نفتی و گاز طبیعی فعالیت می کند. صنعت پتروشیمی در ایران از قدمتی ۵۰ ساله

برخوردار است و تاسیس آن به دهه ۱۳۳۰ شمسی بازمی‌گردد [1]. از راه‌اندازی کارخانه کود شیمیایی مروشدت در سال ۱۳۴۲ تا پیروزی انقلاب اسلامی، توسعه این صنعت در قالب سه برنامه عمرانی به اجرا درآمد که عمده اهداف آن تامین نیاز داخلی کشور به کودهای شیمیایی و برخی مواد پایه شیمیایی و پتروشیمیایی بود. احداث مجتمع‌های پتروشیمی رازی (شاهپور)، آبادان، بازارگاد، کربن اهواز، خارگ، فارابی و طرح‌های توسعه پتروشیمی شیراز و بندر امام (ایران-ژاپن) از نتایج این دوره است [2].



شکل ۱- روند شکل‌گیری صنعت پتروشیمی [2].

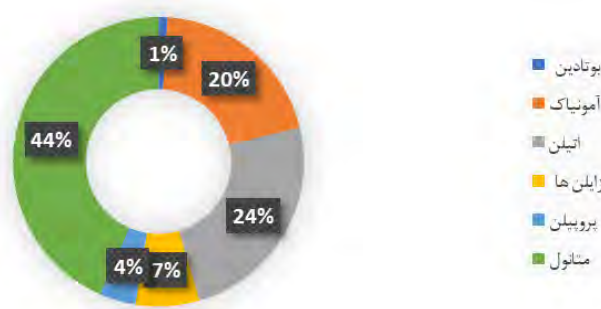
Figure 1- The evolution process of the petrochemical industry [2].



شکل ۲- رشد ظرفیت صنعت پتروشیمی بر اساس برنامه‌های توسعه [3].

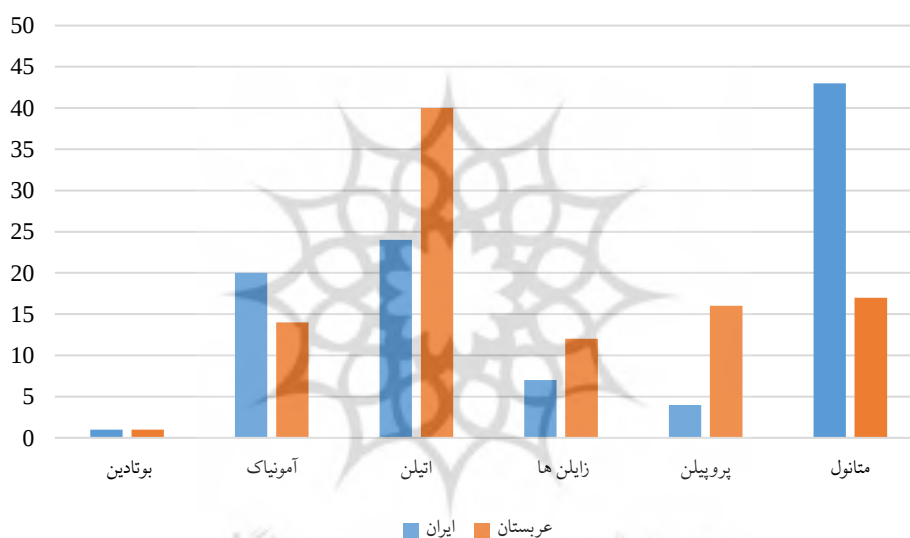
Figure 2- Growth of petrochemical industry capacity based on development plans [3].

سرمایه‌گذاری به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در توسعه اقتصادی و اجتماعی شناخته می‌شود. در صنعت پتروشیمی، این موضوع اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ چراکه بر اساس سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی، این صنعت به‌طور قابل توجهی به بخش خصوصی واگذار شده است [4]. ایران با برخورداری از ذخایر عظیم نفت و گاز، به‌عنوان یکی از کشورهای دارای منابع انرژی طبیعی ارزشمند و استراتژیک شناخته می‌شود. با حدود ۲۱۰/۲ میلیارد بشکه ذخایر نفت اثبات شده (۱۰٪ از کل ذخایر نفت خام جهان) و ۳/۳۲ تریلیون مترمکعب ذخایر گاز طبیعی (۱۷٪ از کل ذخایر گاز طبیعی جهان)، ایران در مجموع از لحاظ ذخایر هیدروکربوری در جایگاه نخست جهان قرار دارد [5]. با این حال، استفاده بهینه از این ذخایر طبیعی انرژی علاوه بر سودآوری، منجر به وابستگی اقتصاد کشور به این منابع خواهد شد. در سال‌های اخیر، ضعف ساختاری بازارهای سرمایه، تورم و افزایش قیمت خوراک و یوتیلیتی، عدم تعادل در صادرات و تورم‌های شدید اقتصادی، استقلال کشور را از این منابع تحت تاثیر قرار داده است [6]؛ بنابراین، هدف‌گذاری برای افزایش تاب‌آوری صنعت پتروشیمی و تنوع محصولات تولیدی در کشور ضروری است. جهت شناخت بیشتر این موضوع محصولات پایه پتروشیمی دو کشور ایران و عربستان با یکدیگر در شکل‌های ۳ و ۴ مقایسه می‌گردد:

تولید محصولات پایه در ایران
۳۲ میلیون تن

شکل ۳- مقایسه تولید محصولات پایه در ایران [7].

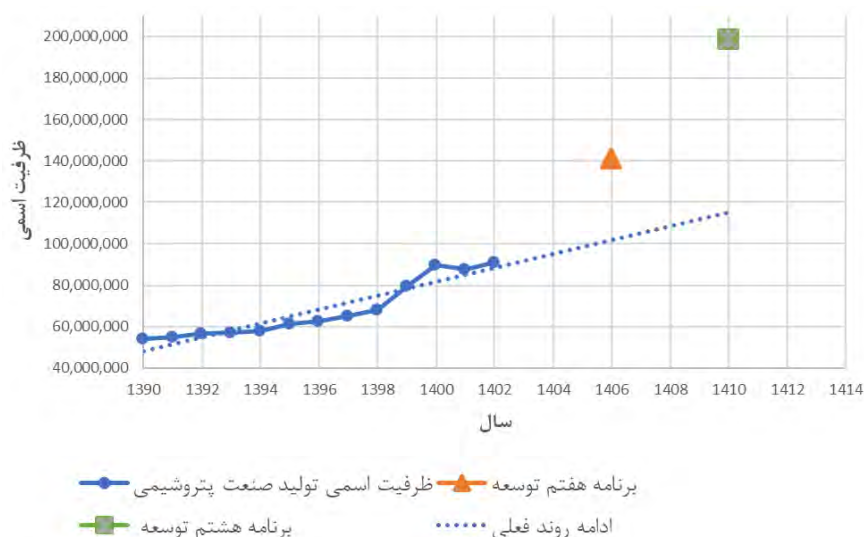
Figure 3- Comparison of basic product production in Iran [7].



شکل ۴- مقایسه درصد ظرفیت تولید محصولات پایه ایران و عربستان [7].

Figure 4- Comparison of basic product production capacity percentages in Iran and Saudi Arabia [7].

اهمیت سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و عوامل موثر بر توسعه صنعت پتروشیمی، از جمله بودجه حاصل از صادرات نفت و گاز و صندوق توسعه ملی دارای اهمیت می‌باشد و از آنجاکه طبق برنامه هفتم توسعه، ایران باید تا انتهای سال ۱۴۰۴ جایگاه اول منطقه از نظر حجم تولید محصولات پتروشیمی را کسب کند [7]. اختلاف بین هدف‌گذاری ظرفیت تولید در برنامه ششم توسعه و ظرفیت تولید فعلی نیز در شکل ۵ نمایش داده شده است [8].



شکل ۵- مقایسه ظرفیت اسمی تولید برنامه هفتم و هشتم توسعه [7].

Figure 5- Comparison of nominal production capacity in the seventh and eighth development plans [7].

در صورت تداوم روند فعلی فعالیت‌ها، میزان انحراف تولیدات صنعت پتروشیمی از برنامه‌های هفتم و هشتم توسعه به ترتیب ۴۱ و ۷۹ میلیون تن خواهد بود. مطابق با این برنامه‌ها، شناسایی عوامل موثر بر میزان تولید صنعت پتروشیمی، ازجمله نحوه اختصاص سرمایه‌گذاری، تاثیر تورم و میزان ارزآوری خالص پتروشیمی‌ها، به‌عنوان هدف اصلی برای این صنعت حایز اهمیت است. این موضوع می‌بایست با نگاهی جامع و کلان موردبررسی قرار گیرد [8].

بدین منظور، بررسی یکی از عوامل اثرگذار با عنوان درصد افزایش قیمت (تورم) خوراک و یوتیلیتی به‌عنوان هدف اصلی این پژوهش در نظر گرفته شده است؛ بنابراین، سوال اصلی این تحقیق به این صورت بیان می‌شود که تاثیر تورم قیمت خوراک و یوتیلیتی چگونه و به چه مقدار بر میزان تولید صنعت پتروشیمی ایران اثر می‌گذارد؟ نتایج این تحقیق با ایجاد درکی مناسب برای محققان حوزه انرژی می‌تواند در پیشرفت و گسترش مطالعات این حوزه موثر واقع شود. همچنین، مدیران و کارشناسان فعال در صنعت پتروشیمی می‌توانند با تکیه بر شناسایی عوامل موثر، به تدوین برنامه‌های مناسبی برای آینده این صنعت بپردازند.

جنبه نوآوری این تحقیق، بررسی صنعت پتروشیمی به‌صورت جامع با در نظر گرفتن عوامل بالادست (صادرات نفت خام و گاز طبیعی، قیمت خوراک) به‌عنوان مولفه‌های موثر در بودجه، صندوق توسعه ملی و صندوق توسعه نفت و گاز تا پایین‌دست (تولید و فروش محصولات نهایی) است. اکثر مطالعات پیشین در کشور به بررسی صنایع نفت و گاز پرداخته‌اند و به‌ندرت مطالعاتی در زمینه توسعه صنایع پتروشیمی به‌صورت جامع و کامل انجام شده است. همچنین، بیشتر این موارد محدود به بررسی جنبه‌های فنی صنعت پتروشیمی بوده است.

بررسی صنعت پتروشیمی با استفاده از ابزار پویایی سیستم در چارچوب ارایه تصویری جامع از کل سیستم و نحوه تخصیص بودجه، جریان سرمایه و اعمال هزینه‌های خوراک و یوتیلیتی به‌منظور افزایش منافع اقتصادی در صنعت پتروشیمی، مساله‌ای است که تاکنون در هیچ‌یک از مطالعات گذشته مشاهده نشده است. ساختار این مقاله به شرح زیر است:

در بخش دوم، مرور مطالعات گذشته صورت می‌گیرد؛ بخش سوم شامل بررسی روش تحقیق خواهد بود؛ در بخش چهارم، مدل توسعه داده‌شده شامل مدل علی-معلولی، مدل جریان-انباشت، نتایج مدل‌سازی شده و اعتبارسنجی آن‌ها و نهایتاً بررسی اثر خوراک و یوتیلیتی ارایه می‌شود. نهایتاً در بخش پنجم، نتیجه‌گیری حاصل از انجام تحقیق ارایه خواهد شد.

۲- مرور ادبیات

نیل از نخستین دانشمندان طرفدار رویکرد سیستمی بوده و به مدل‌سازی بخش‌های بالادست نفت و گاز، از جمله اکتشاف، تولید و تقاضا در صنعت آمریکا پرداخت. به عبارتی، می‌توان مدل‌سازی ایشان را نخستین مدل‌سازی دستی پویایی انرژی در صنعت نفت آمریکا عنوان کرد. در ادامه این مسیر، مدل‌سازی پویایی سیستم^۱ در دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط فارستر [9] (استاد دانشگاه ماساچوست) با عنوان روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی برای ارزیابی تصمیم‌گیری در محیط‌های پویا (غیر ثابت) صنعتی مطرح گردید. هم‌زمان با ایشان، استرمن و همکاران [10] مدلی برای صنعت نفت آمریکا ارائه نمودند که علاوه بر متغیرهای فوق، شامل پارامترهای قیمت، درآمد و سرمایه‌گذاری نیز می‌شد. این مدل با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و ترکیب داده‌ها و پارامترها توسعه یافته است.

لاییدی و همکاران [11] طراحی و بهینه‌سازی زنجیره تامین در صنعت پتروشیمی را بررسی نمودند. ایشان در زمینه بهبود عملکرد و کارایی زنجیره تامین این صنعت به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش توان رقابتی، مدل‌هایی ارائه کردند. همچنین، موارد مختلفی از جمله بهینه‌سازی تولید و توزیع محصولات پتروشیمی، مدیریت فروش و صادرات و مسایل مرتبط با انتخاب مکان‌های تولید و توزیع را مورد بررسی قرار دادند. دیگر مسایل مورد توجه در این مقاله شامل بررسی عوامل مختلفی مانند قیمت خوراک محصولات پتروشیمی، نوع محصولات پتروشیمی، نیازمندی‌های بازار، شبکه توزیع و مدیریت ریسک بود. از ابزارهای مورد استفاده ایشان می‌توان به شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی، تجزیه و تحلیل حساسیت اشاره کرد. نهایتاً، با مدل‌سازی صنعت پتروشیمی و ارائه راهکارهایی برای بهبود مدل‌ها و رویکردهای بهینه‌سازی، ایشان به مدیران و تصمیم‌گیران این صنعت کمک کردند تا کارایی و بهره‌وری زنجیره تامین خود را افزایش دهند و با توجه به تغییرات متغیرهای محیطی از جمله تورم خوراک و یوتیلیتی، تصمیم‌گیری‌های بهتری انجام دهند [11]. مشایخی و همکاران [12] عوامل موثر بر تأخیر پروژه‌های صنعت پتروشیمی را با استفاده از رویکرد پویایی سیستم بررسی کردند. ایشان در نتایج خود راه‌حلی جهت کاهش تأخیر اجرای پروژه‌های صنعتی و همچنین کاهش اثرات ناشی از تأخیر در احداث مجتمع‌های پتروشیمی ارائه دادند. همچنین، سیستم تخصیص بودجه جهت توسعه صنعت پتروشیمی را به‌عنوان یکی از روش‌های افزایش ظرفیت تولید مدل‌سازی کردند.

بهرامی [13] به مدل‌سازی و پیش‌بینی قیمت محصولات پتروشیمی با تمرکز بر تولید آمونیاک پرداختند. ایشان برای مدل‌سازی قیمت این محصول از شبکه عصبی^۲ استفاده نمودند. همچنین، از دو تحلیل بنیادی و تکنیکی برای پیش‌بینی قیمت آمونیاک در بلندمدت و کوتاه‌مدت بهره بردند. نتایج حاصل از رویکرد بنیادی نشان‌دهنده اهمیت قیمت گاز طبیعی (خوراک) به‌عنوان عامل تعیین‌کننده در قیمت آمونیاک بود. نتایج تحلیل تکنیکی نیز نشان می‌دهد که پیش‌بینی قیمت کوتاه‌مدت آمونیاک به مقدار رضایت‌بخشی با قیمت واقعی آن در بازار مطابقت دارد، اما اثر اعمال دستوری قیمت خوراک را به‌عنوان پارامتر اصلی تعیین‌کننده قیمت محصول می‌دانند. ایشان همچنین پیشنهاد استفاده از قیمت‌های جهانی را برای خوراک و یوتیلیتی مطرح کردند. خطیری [14] به بررسی مدیریت زنجیره تامین پایدار در صنعت پتروشیمی (مطالعه موردی: شرکت پتروشیمی نوری) و اثرات آن بر تولیدات محصول این مجتمع پتروشیمی با در نظر گرفتن تورم قیمت یوتیلیتی پرداختند. آن‌ها با جمع‌آوری داده‌های تولیدی این شرکت و تحلیل نتایج خبرگان بیان کردند که در بین ابعاد پارامترهای مرتبط با پایداری تولید محصولات پتروشیمی، بعد اقتصادی به دلیل در نظر گرفتن قیمت خوراک و یوتیلیتی بیشترین اهمیت را در زنجیره تامین صنعت پتروشیمی دارد. سلطانیان تلک آبادی و همکاران [15] به مدل‌سازی سیاست قیمت‌گذاری خوراک در تولید اوره-آمونیاک با استفاده از رویکرد پویایی سیستم پرداخته و اثرات سیاست‌های مختلف را ارزیابی کردند. آنان پس از مصاحبه‌های عمیق با خبرگان، پارامترها، حلقه‌ها و ارتباط علی بین متغیرهای موثر بر سیستم را شناسایی نمودند. از جمله عوامل موثر می‌توان به قیمت فروش جهانی آمونیاک به‌عنوان محصول نهایی و درصد تخفیف خوراک برای فروش داخلی مجتمع‌های تولیدی یکپارچه اوره و آمونیاک اشاره کرد.

حسینی و همکاران [16] در مطالعه خود به بررسی تولید نفت خام در ایران به‌عنوان بخش بالادست صنعت پتروشیمی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم پرداختند. آن‌ها عوامل موثر بر میزان فروش نفت خام و تأثیر هر یک از این عوامل را مشخص کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که حداکثر تولید نفت خام ایران بین سال‌های ۲۰۳۵ تا ۲۰۴۲ خواهد بود. همچنین، در مدل‌سازی خود، نحوه صادرات نفت خام و فروش آن را به‌منظور توسعه صنعت نفت ارائه کردند. در مطالعه دیگری، حسینی و همکاران [17] با استفاده از رویکرد سیستمی، یک مدل مفهومی برای تعیین قیمت نفت ارائه

¹ System Dynamics (SD)² Artificial Neural Networks (ANN)

دادند. آن‌ها به بررسی عوامل مختلف موثر بر قیمت‌گذاری نفت پرداختند و مدلی را ارائه کردند که مورد استقبال فعالان بازار نفت و پژوهشگران قرار گرفت.

مالیشوا و همکاران [18] در پژوهش خود به بررسی چالش‌های مجتمع‌های پتروشیمی در تولید محصولات رقابتی پرداختند. در این پژوهش، از پویایی‌شناسی سیستم برای مدل‌سازی استفاده شده است. آن‌ها با اولویت قرار دادن زنجیره ارزش، پشتیبانی لجستیک، قیمت خوراک و یوتیلیتی، فرایندهای تجاری و مدیریت چرخه عمر محصولات پتروشیمی، بیان کردند که سودآوری، عدم وابستگی و رقابت‌پذیری مجتمع‌های پتروشیمی با تعادل قیمت خوراک و کنترل افزایش قیمت آن به طرز شگفت‌آوری افزایش یافته است. کووان و همکاران [19] با استفاده از پویایی سیستم و رگرسیون خطی شبکه عصبی، به بررسی چارچوب پیش‌بینی قیمت و برنامه‌ریزی برای تولید در صنعت پتروشیمی در شرایط عدم اطمینان قیمت خوراک پرداختند. همچنین، آن‌ها یک چارچوب تصمیم‌گیری برای پیش‌بینی قیمت محصولات بر مبنای قیمت خوراک با استفاده از سه مدل پویایی سیستم، رگرسیون خطی چندگانه^۱ و شبکه عصبی مصنوعی ارائه نمودند. نتایج نشان داد که چارچوب ارائه شده توسط پویایی سیستم با بالاترین دقت برای صنعت پتروشیمی همراه بوده است.

حسینی فراشاه و همکاران [8] مدلی پویا برای تدوین سیاست‌های موثر در تدوین بودجه به منظور افزایش ظرفیت تولید در صنعت پتروشیمی ایران ارائه کردند. ساختار تخصیص بودجه از طریق اعمال پارامترهای مختلف مانند قیمت خوراک و یوتیلیتی، ظرفیت تولید، میزان فروش داخلی و ظرفیت صادرات تا سال ۲۰۲۵ برای ایران در نظر گرفته شده است. میزان فروش داخلی و صادرات در این سال ۳۰ میلیارد دلار برای کشور پیش‌بینی شده است. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی و ثبات قیمت خوراک (عدم وجود تورم)، ظرفیت تولید و بازگشت سرمایه به ترتیب ۴٪ و ۱۳٪ بهبود یافت. همچنین، آن‌ها پیشنهاد نمودند که بودجه توسعه پتروشیمی از صندوق توسعه صنعت نفت و گاز و صندوق توسعه ملی به دلیل بازگشت سرمایه معقولانه، افزایش یابد. شهیدی نیا و همکاران [20] به مدل‌سازی پویای سیستم تولید و بهای تمام‌شده محصولات پتروشیمی در یکی از شرکت‌های تولیدی نوپا (مطالعه موردی: شرکت صنایع پتروشیمی تخت جمشید) پرداختند. اهداف این مطالعه شامل ارائه راهکارهایی برای کاهش بهای تمام‌شده، قیمت خوراک و بررسی سناریوهای مختلف بر قیمت تولیدات بود. بر اساس شبیه‌سازی رفتار مدل و تحلیل حساسیت، پنج راهکار برای افزایش سودآوری و کاهش قیمت تمام‌شده ارائه شد؛ افزایش بودجه از طریق سهامداران به منظور خرید تجهیزات و دانش فنی به دلیل گسترش ظرفیت تولیدی مجتمع پتروشیمی باعث کاهش اثر افزایش قیمت خوراک در برنامه پنج‌ساله مجتمع خواهد شد.

جیمز [21] در تدوین کتاب "پالایش نفت و فرآورده‌های شیمیایی"، به مدل‌سازی تولید صنعت پتروشیمی، به‌ویژه از منظر دانش فنی، فرآورده‌ها و تکنولوژی‌های مرتبط با پالایش نفت و صنعت پتروشیمی پرداخته است. او فرآورده‌ها، تکنولوژی‌ها، لایسنس‌ها و مدل‌سازی در زمینه صنعت پتروشیمی را در کتاب خود ارائه نمود. مستاجریان و همکاران [22] تأثیر استراتژی‌های قیمت‌گذاری بر صادرات محصولات پتروشیمی در ایران را بررسی کردند. مدل موردنظر بر پایه مرور جامع ادبیات موجود، مطالعات موردی و نظرات کارشناسان صنعت بنا شده است. این مدل به شناسایی استراتژی‌های اصلی قیمت‌گذاری که شرکت‌های پتروشیمی در ایران به کار می‌برند، مانند حداکثر کردن سود، افزایش سهم بازار و حفظ سطح کیفیت می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه قیمت‌گذاری به منظور حداکثر کردن سود ممکن است منجر به سودهای کوتاه‌مدت شود، اما می‌تواند توانایی رقابت شرکت‌ها در بازار جهانی را محدود کند. برعکس، قیمت‌گذاری برای افزایش سهم بازار می‌تواند به رشد بلندمدت منجر شود، اما نیازمند سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در تحقیق و توسعه است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به شرکت‌های پتروشیمی در ایران کمک کند تا تصمیمات استراتژیک قیمت‌گذاری اتخاذ کنند که هم عوامل داخلی و هم خارجی را مدنظر قرار دهند و موفقیت بلندمدت خود را در بازار جهانی تضمین کنند.

کزازی و همکاران [23] به بررسی پیشرفت استراتژیک صنایع پتروشیمی ایران با هدف تدوین یک چارچوب استراتژیک برای توسعه این صنعت پرداختند. ایشان با استفاده از روش‌شناسی دوگانه، تحلیل کیفی شامل بررسی ادبیات و مصاحبه با ۱۵ کارشناس را انجام دادند که به شناسایی ۱۰ عنصر تقویت قابلیت، ۲۸ عامل فرصت، ۱۲ استراتژی و ۱۵ نشانگر موفقیت منجر شد. در بخش کمی، از روش DEMATEL برای بررسی ارتباطات بین اجزا بهره‌گیری شد و مشخص گردید که میزان خوراک و حجم تولید بزرگ‌ترین تأثیر را بر پیشرفت پتروشیمی در ایران دارند. غضنفری و همکاران [24] به بررسی روش‌های تبدیل تهدیدات ناشی از تحریم‌ها به فرصت‌های اقتصادی در صنعت پتروشیمی ایران و همچنین بررسی نرخ رشد این

¹ Multiple Linear Regression (MLR)

صنعت در دوران تحریم پرداختند. این تحقیق به صورت توصیفی-اکتشافی و با استفاده از یک استراتژی تحقیق مختلط انجام شده است. در بخش کیفی، از تحلیل محتوا و مصاحبه نیمه ساختاریافته با کارشناسان استفاده شده و در بخش کمی، از روش نظرسنجی بهره‌برداری گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که تحریم‌ها منجر به بروز پنج ریسک اصلی (بازاریابی، مالی، تامین و تدارکات، فناوری و تولید) و ۲۶ زیرریسک مرتبط شده‌اند. ریسک مالی بالاترین رتبه را دارد و در میان زیرریسک‌ها، افزایش هزینه‌های معاملاتی و اختلال در اجرای تعهدات قراردادی بیشترین اهمیت را دارند. همچنین، بررسی نرخ رشد صنعت پتروشیمی ایران نشان می‌دهد که تولید، صادرات و ارزش خارجی در این دوره به ترتیب بیش از ۶۸٪، ۷۰٪ و ۵۸٪ رشد داشته‌اند [24].

همان‌طور که در مرور ادبیات پیشین مشاهده گردید، نحوه بودجه‌ریزی مبتنی بر صادرات نفت خام و گاز طبیعی از عوامل موثر بر توسعه صنعت پتروشیمی بوده که به‌طور مستقیم بر صندوق توسعه ملی و صندوق توسعه نفت و گاز تاثیر دارد [25]. در مدل‌سازی صنعت پتروشیمی، اثر تورم قیمت خوراک به‌عنوان پارامتر اصلی تعریف شده است [17]، [23]. اکثر مدل‌سازی‌های صورت گرفته به‌صورت پویایی سیستم و با استفاده از نرم‌افزار ونسیم انجام شده است [17]، [25]، [26]. نوآوری انجام شده در این خصوص شامل مدل‌سازی هم‌زمان صادرات نفت خام، گاز طبیعی، اعمال درصد تحریم‌ها، ایجاد صندوق‌های توسعه ملی و نفت و گاز، سرمایه‌گذاری خصوصی، اجرای پروژه و مدل‌سازی تمامی محصولات تمامی مجتمع‌های پتروشیمی کل کشور در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ با اعمال اثر تورم قیمت خوراک و یوتیلیتی بر میزان صادرات و فروش محصولات پتروشیمی می‌باشد.

۳- روش تحقیق

با توجه به پیچیدگی‌های فراوان در ساختار صنعت پتروشیمی و با در نظر گرفتن این نکته که مساله مدل‌سازی تولید در این صنعت تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله تنوع محصولات و نوع خوراک قرار دارد، نیاز به ابزاری احساس می‌شود که قادر به تحلیل این پیچیدگی‌ها باشد. این ابزار باید توانایی مدل‌سازی ساختار فوق را تا سطح قابل قبولی از جزئیات داشته باشد و روابط خطی و بازخوردهای بین متغیرها را در برگرد. هدف از این مدل‌سازی، طراحی راهکارهای موثر و آرایه آن‌ها به ذینفعان و سیاست‌گذاران مختلف است. بدین منظور، در این تحقیق از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم استفاده شده است، زیرا این رویکرد تمامی ویژگی‌های مذکور را داراست و برای بررسی، تحلیل و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده مناسب است [27].

طبق اصول استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها [28]، گام‌های اجرایی این تحقیق به شرح زیر انجام شده است: در مرحله اول، مساله و نیازهای مرتبط تشریح شده‌اند که این مهم در بخش مرور ادبیات پیشین صورت گرفته است. سپس نمودارهای علی و معلولی و همچنین نمودارهای کمی ترسیم می‌شوند. در مرحله بعد، مدل کمی شامل نمودار انباشت-جریان آرایه می‌شود و با استفاده از روابط ریاضی و جمع‌آوری داده‌ها از منابع مختلف [5]، [28]، [29] شبیه‌سازی انجام می‌گیرد. در بخش بعدی، اعتبارسنجی مدل صورت می‌گیرد و رفتار شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی مقایسه می‌شود. در گام آخر، تاثیر افزایش قیمت خوراک و یوتیلیتی (تورم) به‌منظور افزایش منافع اقتصادی بررسی می‌شود. دامنه تحقیق از منظر زمانی برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل پارامترهای مختلف، از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ هجری شمسی مطابق با برنامه‌های پنجم و ششم توسعه [30] برای کل صنعت پتروشیمی ایران در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی، تمامی داده‌های تولید و فروش صنعت پتروشیمی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ که بیش از ۴۵۰ هزار داده است، از مدیریت تولید شرکت ملی صنایع پتروشیمی جمع‌آوری، پالایش و بررسی شده است [3]. همچنین برای داده‌های مربوط به صندوق توسعه ملی و بودجه، به ترتیب از اسناد صندوق توسعه ملی و قوانین بودجه سال‌های مذکور استفاده شده است [30].

۴- مدل‌ها، یافته‌ها و بررسی عوامل موثر

با توجه به برنامه‌های ابلاغ شده توسعه هفتم و هشتم [31] در شکل ۵ و نیز جایگاه حال حاضر صنعت پتروشیمی در انتهای برنامه‌های پنجم و ششم [31] می‌توان دلایل بسیاری برای عدم بروز رشد تولید در این صنعت در ایران اشاره کرد [17]. دلیل مهم بروز این مساله که به‌عنوان اصلی‌ترین فرضیه پویا^۱ در این تحقیق بیان می‌شود این است که نحوه سرمایه‌گذاری چگونه منجر به رشد صنعت پتروشیمی شده است؟ تورم در خوراک و

¹ Dynamic Hypothesis

یوتیلیتی چگونه بر هزینه‌های صنعت پتروشیمی اثر می‌گذارد [16]؟ همان‌طور که در مقدمه بیان گردید؛ سرمایه لازم در توسعه صنعت پتروشیمی می‌بایست از طریق صندوق‌های توسعه صنعت نفت و گاز [32]، صندوق توسعه ملی [30]، سرمایه‌گذاری حقیقی داخلی و خارجی [7] و دریافت سرمایه از طریق هزینه سوخت و یوتیلیتی صورت می‌پذیرد که با توجه به سیاست‌های نامناسبی که در سال‌های اخیر اجرایی شده‌اند، این سرمایه‌گذاری هم کافی نبوده و هم در جهت مناسب و درستی هدایت نشده است. مطابق مرور ادبیات پیشین شرایط تخصیص جریان سرمایه‌گذاری به‌منظور افزایش ظرفیت، تاکنون به‌صورت جامع و با در نظر گرفتن صندوق‌های توسعه صنعت پتروشیمی و لحاظ نمودن قیمت خوراک و یوتیلیتی به‌صورت یکپارچه صورت پذیرفته است. بدین منظور شناسایی و بررسی عوامل اصلی و موثر مدل در تخصیص بودجه توسعه محصولات پتروشیمی، در این تحقیق پیشنهاد شده است [2]. بدین منظور لازم است مطابق مرور ادبیات پیشین، بین گروه-محصولات مختلف تولیدی در پتروشیمی، همانند تقسیم‌بندی محصولات از طریق مدیریت برنامه‌ریزی و توسعه صنعت پتروشیمی، تفکیک صورت گیرد که به شرح ذیل بیان می‌گردد [2]:

۱. گروه-محصولات آروماتیک
۲. گروه-محصولات مواد پایه و شیمیایی
۳. گروه-محصولات کودشیمیایی و مواد وابسته
۴. گروه-محصولات مواد پلیمری
۵. گروه-محصولات خوراک و سوخت

۴-۱- مدل‌های علیت^۱

نمودار علیت فروش نفت خام و گاز طبیعی

صادرات نفت خام و میعانات آن و همچنین فروش گاز طبیعی به‌عنوان یکی از منابع اصلی درآمد حاصل از صادرات کشور می‌باشد که فرضیات و عوامل موثر بر صادرات آن‌ها بیان می‌گردد که درآمد حاصل از صادرات نفت خام و میعانات آن با در نظر گرفتن مصرف داخلی، کشف میادین جدید و نیز بر اساس قیمت‌های مصوب جهانی (قیمت نفت جهانی وست تگزاس اینترمدیت) صورت گیرد [2]. از طرفی می‌بایست اثر تحریم در صادرات نفت لحاظ گردد [16]. همچنین در بحث صادرات گاز طبیعی علاوه بر مصرف داخلی، میزان واردات و نیز قیمت جهانی می‌بایست حجم مبادله به‌دلیل تغییر چگالی گاز هم در نظر گرفته شود [33]، بدین منظور نخست در جداول هر یک از زیرسیستم‌ها بخش‌ها، متغیرها و نوع آن‌ها مشخص می‌گردد. سپس حلقه‌های علی منجر به تقویت و یا تعدیل نیز معرفی می‌گردد. جدول ۱ اطلاعات مربوط به زیرسیستم فروش و صادرات منابع طبیعی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- زیرسیستم‌های فروش نفت و گاز، بخش‌ها، متغیرها و نوع آن‌ها برای شناسایی نمودار علیت [17].

Table 1- Oil and gas sales subsystems, sectors, variables and their types to identify the causality diagram [17].

ردیف	زیرسیستم	بخش	نام متغیر	نوع
1	زیرسیستم منابع طبیعی،	بخش صادرات نفت و گاز	درآمد حاصل از صادرات میعانات نفتی	کمکی / درون‌زا
2	فروش و صادرات صنعت		صادرات خالص گاز	کمکی / درون‌زا
3	نفت و گاز		حجم نفت خام	حالت
4			کشف میادین جدید نفتی	ثابت / برون‌زا
5			درصد تحریم درآمد فروش نفت	ثابت / برون‌زا
6			حجم گاز ترش	حالت
7			حجم گاز مصرفی داخل کشور	ثابت / برون‌زا
8			مصرف داخلی نفت	ثابت / برون‌زا
9			ضرایب تبدیل حجم گاز	ثابت / برون‌زا
10			درآمد حاصل از صادرات نفت	کمکی / درون‌زا
11			حجم گاز وارداتی در کشور	ثابت / برون‌زا

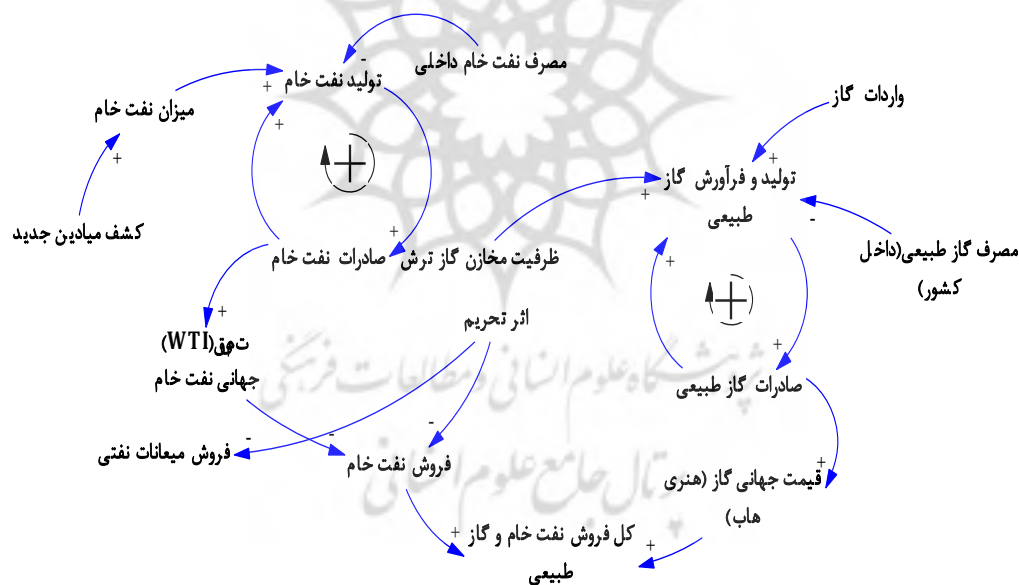
¹ Causality Diagram

جدول ۱- ادامه.

Table 1 – Continued.

ردیف	زیرسیستم	بخش	نام متغیر	نوع
12			حجم ظرفیت صادرات نفت	کمکی / درون‌زا
13			کل صادرات گاز طبیعی	کمکی / درون‌زا
14			کل صادرات نفت خام	کمکی / درون‌زا
15		بخش اثر قیمت‌های جهانی	هزینه خوراک گروه-محصولات پتروشیمی	حالت
16			قیمت جهانی گاز طبیعی	ثابت / برون‌زا
17			قیمت واحد گروه-محصولات پتروشیمی	ثابت / برون‌زا
18			قیمت جهانی نفت سبک WTI	ثابت / برون‌زا
19			درصد تورم و افزایش قیمت خوراک و یوتیلیتی	ثابت / برون‌زا
20			هزینه واحد یوتیلیتی گروه-محصولات پتروشیمی	ثابت / برون‌زا
21			هزینه یوتیلیتی گروه-محصولات پتروشیمی	حالت

نمودار علیت فروش نفت خام و گاز طبیعی، دارای دو حلقه تقویتی و چندین عامل خارجی تعدیل‌کننده می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۶ آورده شده است، میزان تولید و صادرات نفت و گاز با یکدیگر ارتباط مستقیم و تقویتی داشته ولی منابع تجدیدنپذیر محدود بوده و به‌عنوان یک حد بالا برای متغیرها تعریف شده است [16]. افزایش میزان مصرف داخلی برای نفت و گاز به‌عنوان تعدیل‌دهنده منفی جهت تولید آن محصولات دیده می‌شود. اثر تحریم در واقعیت منجر به کند شدن و تخفیف به خریداران می‌شود ولی در مدل علیت پژوهش حاضر به‌عنوان عامل کاهش درآمد صنعت نفت دیده شده است [16]، [17].



شکل ۶ - نمودار علیت فروش نفت خام و گاز طبیعی [17].

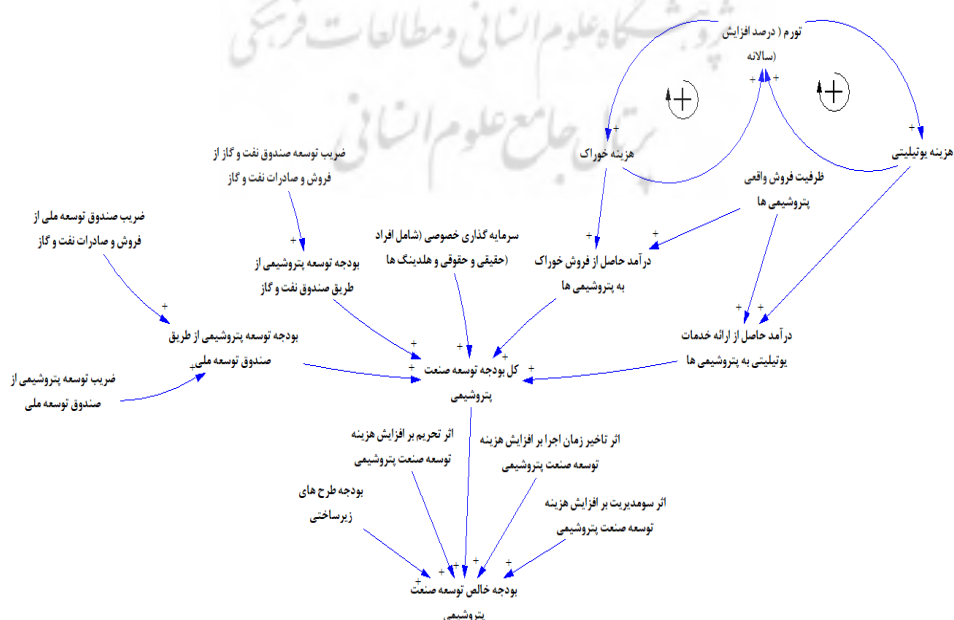
Figure 6- Causality diagram of crude oil and natural gas sales [17].

درآمدهای سالیانه حاصل از صادرات در صنعت نفت و گاز بر طبق قانون بودجه به سه بخش خزانه کشور، صندوق توسعه ملی و صندوق توسعه صنعت نفت و گاز کشور (طبق قانون بودجه) واریز می‌گردد [32]. صندوق توسعه صنعت نفت و گاز شامل صرف هزینه‌های استخراج و تولید محصولات، هزینه‌های سرمایه‌ای (زیرساخت صنایع نفت و گاز) و هزینه‌های جاری برای هر چهار شرکت اصلی وزارت نفت (شرکت ملی نفت ایران، شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران، شرکت ملی گاز ایران و شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران) می‌شود [32]. صندوق توسعه ملی سالانه با واریز درصد حق صادرات نفت و گاز شارژ شده و با ارایه تسهیلات و وام به بخش خصوصی موجب توسعه ظرفیت صنایع پتروپالایشگاهی کشور می‌شود [30]. جداول متغیرها و انواع آن برای زیرسیستم سرمایه‌گذاری و توسعه صنعت پتروشیمی مطابق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲- زیرسیستم سرمایه‌گذاری و توسعه صنعت پتروشیمی، بخش‌ها، متغیرها و نوع آن‌ها برای شناسایی نمودار علیت
Table2- Petrochemical industry investment sub-system, sectors, variables and their types to identify the causality diagram.

ردیف	زیرسیستم	بخش	نام متغیر	نوع
1	زیرسیستم	بخش درآمد حاصل از	درآمد صندوق توسعه نفت و گاز حاصل از صادرات نفت و گاز	کمکی / درون‌زا
2	سرمایه‌گذاری و	صادرات و سرمایه‌گذاری	ضرایب درآمد صندوق توسعه نفت و گاز حاصل از صادرات	ثابت / برون‌زا
3	توسعه صنعت		ضرایب وصول شده صندوق توسعه ملی از فروش نفت و گاز	ثابت / برون‌زا
4	پتروشیمی		ضرایب گشایش اعتبار شده صندوق توسعه ملی	ثابت / برون‌زا
5			ضرایب توسعه پتروشیمی از صندوق توسعه ملی	ثابت / برون‌زا
6			ضرایب توسعه پتروشیمی از صندوق توسعه نفت و گاز	ثابت / برون‌زا
7			سرمایه بخش خصوصی	ثابت / برون‌زا
8			کل درآمد حاصل از خوراک	کمکی / درون‌زا
9			کل درآمد حاصل از یوتیلیتی	کمکی / درون‌زا
10			درآمد صندوق توسعه ملی از صادرات نفت و گاز	کمکی / درون‌زا
11		بخش توسعه و زیرساخت	بودجه اختصاصی برای اجرای طرح‌های آینده	ثابت / برون‌زا
12			درصد افزایش هزینه به دلیل مدیریت ناکارآمد	ثابت / برون‌زا
13			تعداد سال تاخیر در اجرا	ثابت / برون‌زا
14			بودجه طرح‌های زیرساختی	ثابت / برون‌زا
15			درصد افزایش هزینه به دلیل تحریم تجهیزات	ثابت / برون‌زا
16			درصد افزایش هزینه به دلیل تاخیر در اجرا	ثابت / برون‌زا

افزایش صادرات نفت و گاز موجب افزایش ذخایر مالی صندوق توسعه ملی می‌شود. سپس صندوق توسعه ملی با ارایه تسهیلات بیشتر موجب افزایش سرمایه‌گذاری در صنعت پتروشیمی و پالایشگاه می‌شود [30]. یکی دیگر از منابع تخصیص بودجه از طریق اشخاص حقیقی و حقوقی (شرکت‌ها و هولدینگ‌ها) صورت می‌پذیرد. آخرین منبع برای سرمایه‌گذاری در صنعت پتروشیمی درآمد حاصل از فروش خوراک و هزینه یوتیلیتی به قانون بودجه کشور می‌باشد [32]. پس از ایجاد صندوق توسعه صنعت پتروشیمی، اختصاص بودجه به طرح‌های صنعت پتروشیمی، توسط هولدینگ‌ها و زیر نظر مدیریت برنامه‌ریزی و طرح‌های شرکت ملی صنایع پتروشیمی صورت می‌پذیرد [2]. عوامل مختلفی از قبیل تعداد سال تاخیر در اجرای پروژه، اثر زمانی تاخیر در اجرای پروژه، اثر تحریم بر تجهیزات و هزینه طرح‌های زیرساختی بر خرج کرد صنعت پتروشیمی اثر می‌گذارد که در قالب نمودار علی معلولی شکل ۷ ارایه شده است [25].



شکل ۷- نمودار علیت بودجه توسعه صنعت پتروشیمی [25].

Figure 7- causality diagram of petrochemical industry development budget [25].

نمودار علیت تولید و توسعه صنعت پتروشیمی

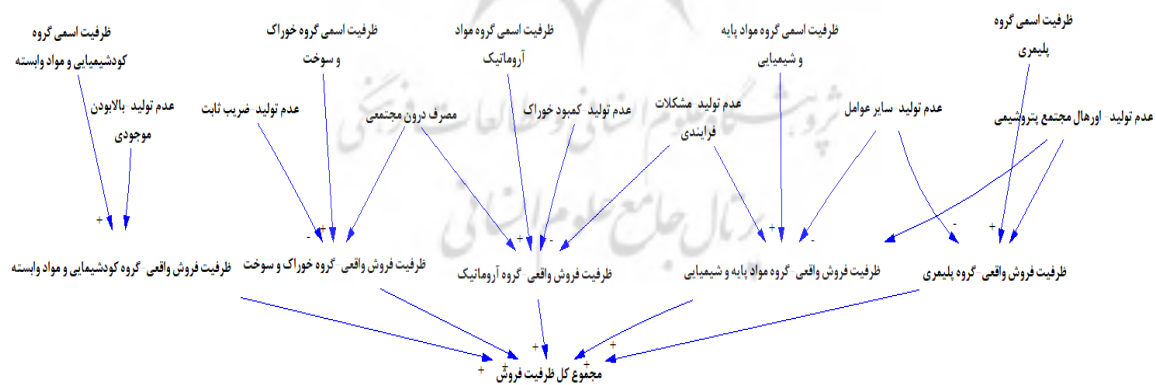
تولید صنعت پتروشیمی وابسته به متغیرهای متنوعی از قبیل هزینه‌های سرمایه‌ای ساخت، میزان کمبود تولید، دلایل کمبود تولید می‌باشد که انواع آن در جدول ۳ و در زیرسیستم تولید آورده شده است [3].

جدول ۳- معرفی زیرسیستم‌های تولید پتروشیمی، بخش‌ها، متغیرها و نوع آن‌ها برای شناسایی نمودار علیت.

Table 3- Petrochemical production sub-system, sectors, variables and their types to identify the causality diagram.

ردیف	زیرسیستم	بخش	نام متغیر	نوع
1	زیرسیستم تولید	بخش تولید و عدم تولید	حجم ظرفیت فروش گروه-محصولات پتروشیمی	کمکی / درون‌زا
2		محصولات پتروشیمی	هزینه سرمایه‌ای گروه-محصولات پتروشیمی	ثابت / برون‌زا
3			کمبود تولید برای گروه-محصولات پتروشیمی	کمکی / درون‌زا
4			تولیدات گروه-محصولات پتروشیمی	کمکی / درون‌زا
5			مصرف درون مجتمعی گروه-محصولات پتروشیمی	ثابت / برون‌زا
6			حجم ظرفیت گروه-محصولات پتروشیمی	کمکی / درون‌زا
7			کمبود تولید ناشی از اشکالات تعمیراتی	ثابت / برون‌زا
8			کمبود تولید ناشی از بالا بودن موجودی	ثابت / برون‌زا
9			کمبود تولید ناشی از اشکالات فرایندی	ثابت / برون‌زا
10			خالص درآمد حاصل از فروش محصولات پتروشیمی	کمکی / درون‌زا
11			درآمد گروه-محصولات پتروشیمی	کمکی / درون‌زا
12			کمبود تولید ناشی از کمبود خوراک	ثابت / برون‌زا

ظرفیت اسمی حال حاضر صنعت پتروشیمی شامل دو قسمت مجتمع‌های بهره‌برداری شده تا سال ۱۳۹۰ و ظرفیت توسعه مجتمع‌های افتتاح شده از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۲ می‌باشد. لازم به ذکر است که همواره ظرفیت اسمی مجتمع، ظرفیت واقعی فروش را بیان نمی‌کند و عوامل موثر فراوانی از قبیل دلایل عدم تولید (کمبود خوراک، مشکلات فرایندی، مشکلات اورهال، بالابود موجودی و ...) و مصرف درون مجتمعی اشاره کرد منجر به کاهش تولید صنعت پتروشیمی می‌شود که در شکل ۸ با عنوان نمودار علیت توسعه صنعت پتروشیمی آورده شده است [16]، [25].



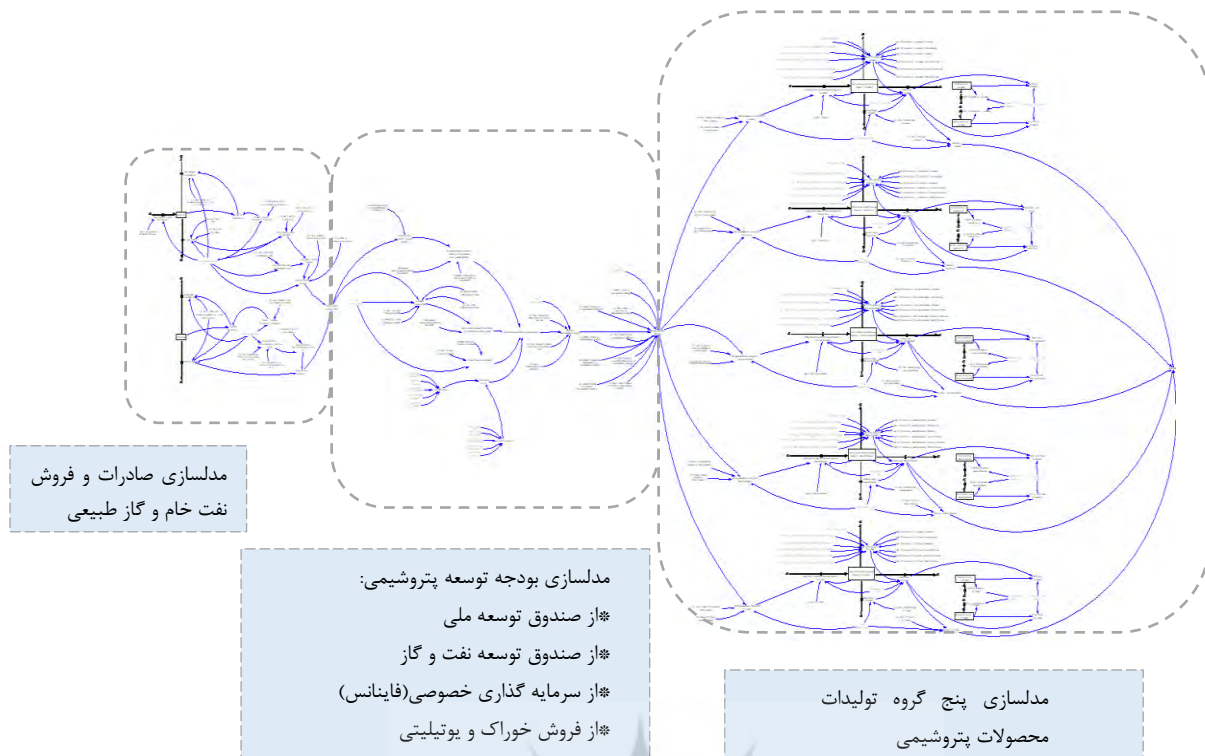
شکل ۸ - نمودار علیت تولیدات صنعت پتروشیمی [25].

Figure 8- Causality diagram of petrochemical industry productions [25].

۴-۲- مدل انباشت جریان^۱

نمودارهای انباشت جریان شبیه‌سازی شده مطابق مدل‌های بیان شده علیت، به دلیل حجیم بودن مطابق شکل ۹ به سه بخش مختلف تفکیک شده است که در هر قسمت فرضیات و معادلات آن به طور خلاصه ارائه می‌شود.

¹ Stock and flow diagram

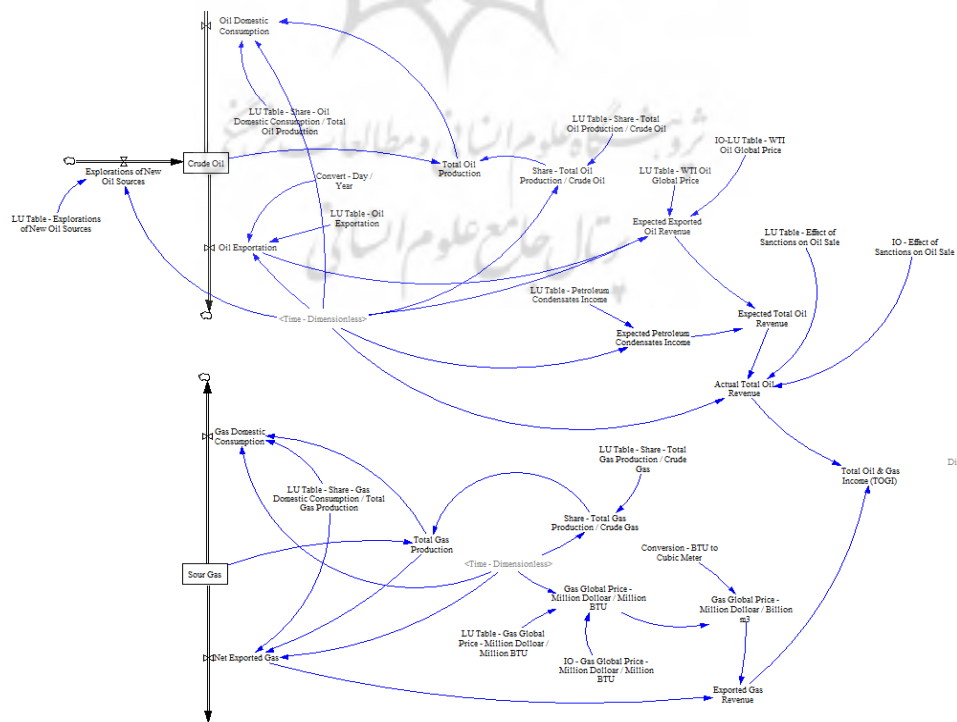


شکل ۹- مدل انباشت جریان صنعت پتروشیمی.

Figure 9- Stock-Flow Model of the Petrochemical Industry.

مدل انباشت جریان صادرات نفت خام و گاز طبیعی

درآمد حاصل از صادرات نفت خام و گاز طبیعی کشور بر اساس میزان فروش آن‌ها منهای مصرف داخلی و تخفیف مربوط به رفع تحریم‌ها صورت می‌پذیرد که در شکل ۱۰ آورده شده است.



شکل ۱۰- نمودار انباشت جریان فروش نفت و گاز [8]، [16].

Figure 10 - Oil and gas sales flow accumulation chart [8], [16].

فرضیات و معادلات مورد استفاده در این مدل به شرح ذیل می باشد [8]، [16]:

۱. فروش نفت خام ایران به قیمت نفت خام وست تگزاس اینترمیدیت^۱ و به صورت سالانه در نظر گرفته شده است.
۲. میدین اکتشافی نفت ایران بر اساس داده های وزارت نفت و موسسه بین المللی انرژی می باشد [34].
۳. واحد قیمت میلیون دلار و واحد تولید میلیون بشکه در نظر گرفته شده است.
۴. تمام داده های مربوط به صادرات از صندوق توسعه ملی و داده های وزارت نفت به دست آمده است [30]، [33].
۵. اثر تحریم در فروش نفت و میعانات نفتی به صورت سالانه و از تفاضل صادرات و درآمد حاصل می شود.
۶. برای صادرات نفت خام و گاز در ابتدا نیاز داخل به صورت سالانه محاسبه و از میزان تولید کاسته شده است [33].
۷. قیمت گاز وارداتی و صادراتی با یکدیگر برابر و بر اساس قیمت گاز صادراتی هنری هاب^۲ در نظر گرفته شده است.
۸. به دلیل عدم شناسایی مخازن و میدین گازی جدید، حجم مخازن گاز کل کشور ثابت در نظر گرفته شده است [25].
۹. به دلیل تغییر حجم گاز در اثر تغییر دما و چگالی صادرات گاز کشور برحسب یک میلیون بی تی یو (1mBTU) در نظر گرفته شده است [33].

جدول ۴- داده ها و مقادیر مربوط به صادرات نفت خام [30]، [33].

Table 4- Data and values related to crude oil exports [30], [33].

سال	ذخایر نفت خام (میلیارد بشکه)	حجم تولید نفت خام (میلیون بشکه)	حجم مصرف نفت خام (میلیون بشکه)	متوسط قیمت نفت (WTI) دلار	حجم فروش (صادرات) نفت خام (میلیون بشکه در روز)	فروش نفت خام (میلیون دلار)	مجموع فروش نفت خام و میعانات نفتی (میلیون دلار)	درآمد نفتی از محل صادرات نفت و میعانات (مرجع: صندوق توسعه ملی) (میلیون دلار)
1390	156.1	1387	197	102	2.42	90096.6	109550.6	98861
1391	157.4	1277.5	427.5	91	2.102	69817.93	84142.93	68058
1392	163.9	1241	481	101	1.215	44790.975	70651.975	64540
1393	171.9	1022	272	81	1.109	32787.585	60110.585	55406
1394	168.5	1058.5	278.5	52	1.145	21732.1	34220.1	31848
1395	177.9	1314	584	62	1.921	43472.23	61193.23	55752
1396	184.1	1423.5	638.5	53	2.33	45073.85	71344.85	65818
1397	190.5	1241	481	71	1.84	47683.6	71525.6	60735
1398	207.7	1523	843	59	0.85	18304.75	33558.75	29016
1399	215.1	1610	1002	61	0.64	14249.6	25203.6	21043
1400	210.2	1480	788	72	0.81	21286.8	32537.8	24723
1401	212.4	1675	1025	78	0.9	25623	35128	26410
1402	211.8	1662	842	73	1.22	32506.9	42826.9	29012

جدول ۵- داده ها و مقادیر مربوط به صادرات گاز طبیعی [33].

Table 5- Data and values related to natural gas exports [33].

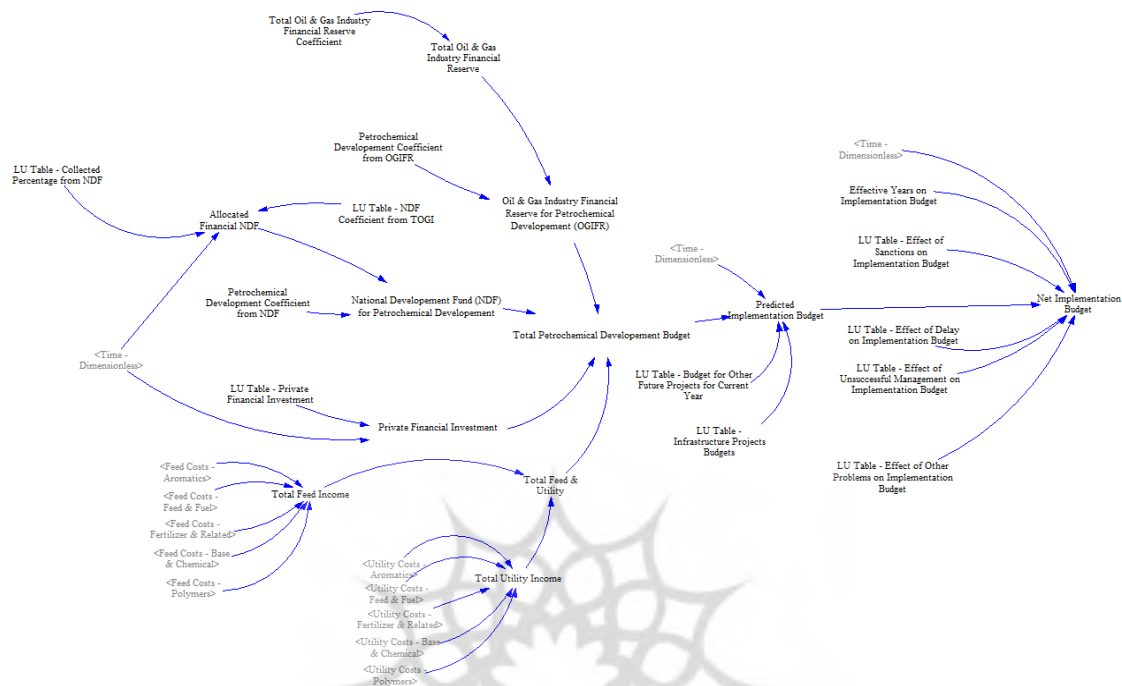
سال	ذخایر گاز طبیعی (تریلیون مترمکعب)	حجم تولید گاز طبیعی (شیرین) (میلیارد مترمکعب در سال)	حجم مصرف گاز طبیعی داخلی (میلیارد مترمکعب در سال)	صادرات گاز طبیعی (میلیارد مترمکعب در سال)	واردات گاز طبیعی (میلیارد مترمکعب در سال)	متوسط قیمت گاز صادراتی بر مبنای هنری هاب (دلار بر یک میلیون بی تی یو)	درآمد حاصل از صادرات (میلیون دلار)
1390	33.9	153	151.5	8.9	7.4	0.14	217.31
1391	33.8	157	152	9.5	4.5	0.11	565.37
1392	33.9	157	153	9.3	5.3	0.13	537.10
1393	33.4	175	172.9	9.6	7.5	0.16	326.50
1394	33.7	184	182.3	11.2	9.5	0.14	234.28
1395	33.8	199	198.1	8.4	7.5	0.12	108.13
1396	33.3	213	205.1	12.7	4.8	0.13	1004.95
1397	33.1	232	220.65	13.42	2.07	0.12	1403.71
1398	33.1	242	225.26	17.24	0.5	0.11	1892.86
1399	32.8	250	233.5	16.7	0.2	0.08	1399.29
1400	32.3	260	241.7	18.6	0.3	0.09	1681.27
1401	32.1	266	247.9	18.2	0.1	0.14	2494.35
1402	32.2	277	257.4	19.8	0.2	0.11	2216.25

¹ West Texas Intermediate (WTI)

² Henry Hub

مدل انباشت جریان بودجه توسعه صنعت پتروشیمی

بودجه توسعه صنعت پتروشیمی از چهار طریق صندوق توسعه ملی، صندوق ذخیره نفت و گاز، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و هلدینگ‌ها و درآمد حاصل از فروش خوراک و یوتیلیتی محاسبه خواهد شد؛ که به صورت کلی در شکل ۱۱ آورده شده است.



شکل ۱۱- نمودار انباشت جریان بودجه توسعه صنعت پتروشیمی [25].

Figure 11- Stock-flow diagram of the petrochemical industry development budget [25].

فرضیات و معادلات مورد استفاده در این مدل به شرح ذیل می‌باشد:

۱. ضرایب درآمدی صندوق توسعه نفت و گاز حاصل از صادرات هر ساله توسط قانون بودجه مصوب مجلس شورای اسلامی و اجرایی توسط قوه مجریه اجرا می‌گردد [32].
۲. ضرایب مربوط به عملکرد صندوق توسعه نفت و گاز شامل هزینه‌های جاری، هزینه‌های عمرانی چهار شرکت اصلی و هزینه مربوط به توسعه صنعت پتروشیمی هر ساله توسط وزارت نفت تعیین می‌گردد [33].
۳. ضرایب درآمدی صندوق توسعه ملی هر ساله توسط بودجه و ضرایب عملکردی آن به صورت سالانه از مصوبات صندوق و ابلاغی‌های مقام معظم رهبری محاسبه می‌شود [30].
۴. میزان سرمایه‌گذاری خصوصی حقیقی و حقوقی به صورت سالانه و توسط مدیریت سرمایه‌گذاری شرکت ملی صنایع پتروشیمی صورت می‌پذیرد. لذا از داده‌های موجود در آن مدیریت استفاده شده است.
۵. ضرایب سالانه صندوق توسعه ملی به دلیل داده تجمعی ده ساله به صورت ثابت در نظر گرفته شده است [30].
۶. درآمد و سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی توسط بخش حقیقی و حقوقی که توسط هلدینگ‌ها و شرکت‌های سرمایه‌گذار در صنعت پتروشیمی می‌باشند نیز به شرح جدول ۶ در بخش توسعه پتروشیمی سرمایه‌گذاری نموده‌اند [7].

جدول ۷- تامین منابع داخلی و خارجی جهت سرمایه‌گذاری در پتروشیمی (فاینانس) [7].

Table 7- Domestic and foreign funding for petrochemical investments (Finance) [7].

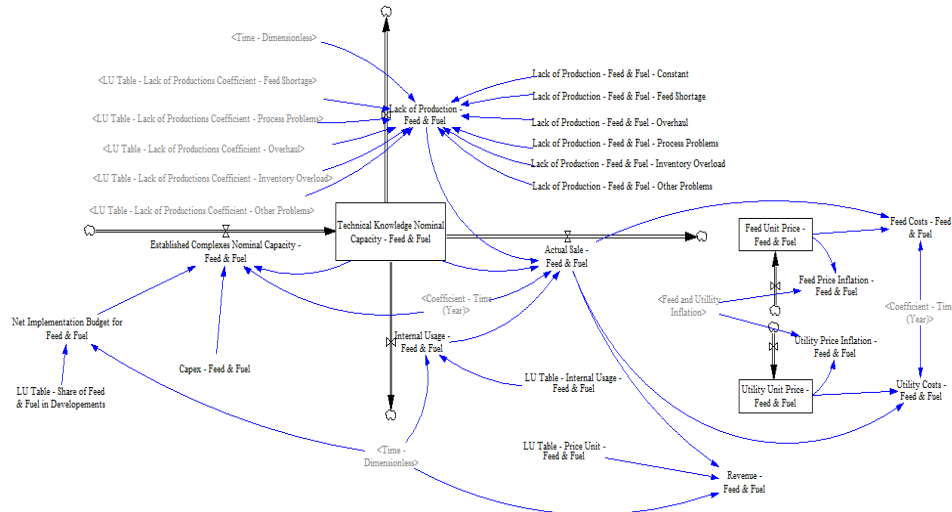
سال	حجم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در پتروشیمی (میلیون دلار)
1390	1920
1391	1560
1392	900
1393	1080
1394	1320
1395	1800
1396	2400
1397	2400
1398	1920
1399	1740
1400	1680
1401	1440
1402	1260

۷. درآمد حاصل از فروش خوراک و یوتیلیتی به پتروشیمی‌ها با در نظر گرفتن نرخ تورم ثابت (درصد اختیاری برای هر سال) برای هر گروه-محصول تولیدی می‌باشد که با توجه به میزان تولید نهایی صنعت پتروشیمی درآمد حاصل از آن محاسبه و به صندوق توسعه وارد می‌گردد.
۸. طرح‌های زیرساختی طی برنامه ششم و هفتم توسعه که برای استفاده در مجتمع‌های پتروشیمی ساخته و بهره‌برداری شده‌اند از قبیل طرح‌های مخازن سبز عسلویه، پتروشیمی دماوند انرژی عسلویه و سایر طرح‌های زیرساختی در بنادر و اسکله می‌باشد که طرح‌های یادشده در مجموع ۱/۶۴ میلیارد دلار هزینه داشته که به‌طور متوسط برای هر سال در طی برنامه پنجم و ششم توسعه [31]، این عدد ۱۳۷ میلیون دلار می‌شود [7].
۹. متوسط سال‌های اجرایی یک مجتمع پتروشیمیایی در مدیریت برنامه‌ریزی شرکت ملی صنایع پتروشیمی جهت صدور مجوز ساخت ۴ سال در نظر گرفته می‌شود [2].
۱۰. مدت‌زمان ساخت تا بهره‌برداری مجتمع‌های پتروشیمی بین ۵ تا ۹ سال خواهد بود که متوسط ۷ سال جهت ساخت پتروشیمی در این مدل‌سازی تعیین شده است. (تاخیر ۳ ساله برای ساخت مجتمع پتروشیمی در نظر گرفته شده است) [2].
۱۱. تاخیر در اجرای پروژه، مدیریت نادرست در اجرای پروژه، اثر تحریم در تامین تجهیزات موردنیاز و سایر عوامل در اجرای پروژه‌های مجتمع‌های پتروشیمی سالانه باعث ایجاد هزینه‌های اضافی برای ساخت مجتمع پتروشیمی می‌شود که به ترتیب ۶٪، ۳٪، ۵٪، ۱٪ سالیانه بر هزینه ساخت مجتمع اضافه می‌کند [35].

مدل انباشت جریان تولیدات صنعت پتروشیمی

همان‌طور که در مرور ادبیات بیان شد تولیدات صنعت پتروشیمی در پنج گروه-محصولات (آروماتیک، خوراک و سوخت، مواد پایه و شیمیایی، مواد پلیمری و کودشیمیایی و مواد وابسته) تقسیم‌بندی می‌شود.

به‌منظور معرفی این قسمت مدل‌سازی یک گروه-محصول نمونه از جمله گروه-محصول خوراک و سوخت با جزئیات مدل‌سازی بیان می‌گردد. لذا سایر گروه-محصولات مختلف نیز به مشابه مورد فوق مدل‌سازی شده‌اند. مدل‌سازی توسعه ظرفیت صنعت پتروشیمی شامل ظرفیت نامی مجتمع‌های بهره‌برداری شده، ظرفیت مجتمع‌های افتتاح‌شده، ظرفیت عدم تولید و میزان مصرف داخلی می‌باشد که در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱۲- نمودار انباشت جریان گروه خوراک و سوخت صنعت پتروشیمی [17], [25].

Figure 12- Stock-flow diagram of the feedstock and fuel group in the petrochemical industry [17], [25].

فرضیات مورد استفاده در این مدل به شرح ذیل می باشد:

۱. ظرفیت نامی تولیدی هر گروه-محصول از حاصل تقسیم بودجه اختصاص یافته به آن گروه تولیدی بر سرمایه لازم بر آن گروه-محصول $CapEx^1$ حاصل می شود. جدول ۸ سرمایه لازم برای هر گروه-محصول به شرح جدول ذیل اعلام می گردد.

جدول ۸- سرمایه لازم برای تولید هر هزار تن تولید محصول پتروشیمی.

Table 8- Required investment for producing each thousand tons of petrochemical products.

گروه محصول پتروشیمی	سرمایه لازم برای هر هزار تن تولید (میلیون دلار)
آروماتیک ها	1.777
خوراک و سوخت	0.59
کود و مواد وابسته	0.43
مواد پایه و شیمیایی	1.011
مواد پلیمری	1.295

۲. عدم تولید محصولات پتروشیمی به صورت سالانه توسط شرکت ملی صنایع پتروشیمی به همراه دلایل عمده عدم تولید شامل (کمبود خوراک، اشکالات تعمیراتی (اورهال تعمیراتی)، اشکالات فرایندی، بالا بودن موجودی و سایر موارد) بیان می گردد [7]. به عنوان مثال برای گروه خوراک و سوخت این مقادیر به شرح جدول ۹ ذیل می باشند:

جدول ۹- عدم تولید گروه-محصولات خوراک و سوخت.

Table 9- Non-production of feedstock and fuel product group.

دلیل عدم تولید خوراک و سوخت (درصد)	1402	1401	1400	1399	1398	1397	1396	1395	1394	1393	1392	1391	1390
کمبود خوراک	66	64	62.6	58.1	46	44	42	40	37	36	32	30	30
اورهال تعمیراتی	20	18	19	21.7	26.2	23	23	22	25	23	25	24	18
اشکالات فرایندی	10	8	9.7	12	9.8	14	14	15	18	19	16	22	20
بالا بودن موجودی	2	5	5.8	6	9	12	12	14	16	17	18	20	23
سایر	2	5	2.8	2.2	9	7	7	9	4	9.4	9	4	9
عدم تولید واقعی (هزار تن)	5049	5999	9760	6823	2160	2130	330	837	1951	2343	3280	2942	1851

¹ Capital Expenditure

۳. با توجه به ارایه درصدهای عوامل عدم تولید و نیز ارایه آمار عدم تولید واقعی، با استفاده از نرم افزار SPSS^۱ برازش خطی برای هر گروه-محصولات انجام شده و از توابع به دست آمده به عنوان توابع عدم تولید در مدل سازی استفاده می گردد.

جدول ۱۰- نمودار خلاصه نتایج مدل سازی عدم تولید گروه خوراک و سوخت.

Table 10- Summary diagram of modeling results for non-production of feedstock and fuel group.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	R Square Change	Durbin-Watson
1	0.916 ^a	0.839	0.724	0.839	2.010

A. predictors: (Constant), other, process problem, repair and overhaul, excess inventory, lack of feed

۴. مدل رگرسیونی در نرم افزار، ۸۳/۹٪ از تغییرات کمبود محصول را توضیح می دهد و دارای همبستگی قوی ($R = 0.916$) بین متغیرهای مستقل و وابسته است. همبستگی قوی بین متغیرهای مستقل (مشکلات فرایندی، تعمیرات، بالابودن موجودی، کمبود خوراک و سایر عوامل) و متغیر وابسته (کمبود محصول) است. آزمون معناداری مدل نشان می دهد که متغیرهای انتخابی به طور قابل توجهی بر کمبود محصول تاثیر دارند ($Sig. F = 0.011$)؛ همچنین، مقدار آزمون دوربین-واتسون نشان می دهد که مشکل خودهمبستگی در باقی مانده های مدل وجود ندارد که این موضوع اعتبار مدل را تقویت می کند.

۵. پس از مدل سازی ظرفیت اسمی و تولید هریک از سبدهای محصولات در بخش های قبل، در این قسمت نحوه فروش محصولات به تفکیک فروش داخلی، صادرات و فروش بین مجتمعی تبیین می شود. حجم محصول قابل فروش از مقدار تولید انجام شده و با توجه به میانگین قیمت های صادراتی و فروش داخلی هر یک از گروه-محصول، مشخص می شود. نهایتاً پس از پالایش داده های مربوط به فروش و صادرات کل صنعت پتروشیمی در طی ۱۰ سال، میانگین قیمت فروش داخلی و صادرات گروه-محصول خوراک و سوخت به شرح جدول ۱۱ ارایه می گردد [3].

جدول ۱۱- متوسط قیمت گروه-محصول خوراک و سوخت [3].

Table 11- Average price of the feedstock and fuel product group [3].

سال	متوسط قیمت محصولات گروه خوراک و سوخت (میلیون دلار بر هزار تن)
1390	0.79
1391	0.76
1392	0.79
1393	0.63
1394	0.37
1395	0.37
1396	0.44
1397	0.50
1398	0.43
1399	0.30
1400	0.56
1401	0.64
1402	0.56

همان طور که بیان گردید برای چهار گروه-محصول دیگر نیز همانند گروه-محصول خوراک و سوخت تمامی محاسبات صورت پذیرفته و در مدل اجرا شده است.

یکی از عوامل موثر در درآمد صندوق های پتروشیمی قیمت خوراک و هزینه یوتیلیتی برای مجتمع های پتروشیمی می باشد. برای هر گروه-محصول پتروشیمی با توجه به گزارش های فنی ساخت محصولات در گزارش های PEP^۲ یک قیمت برای خوراک و یک قیمت برای یوتیلیتی آورده شده است که برحسب هر تن تولید محصول نهایی محاسبه شده است.

جدول مورد استفاده در مدل به شرح جدول ۱۰ می باشد:

¹ Statistical Package for Social Science (SPSS)

² Process Economics Program (PEP)

جدول ۱۲- میانگین قیمت خوراک و یوتیلیتی برای گروه-محصول های مختلف پتروشیمی.

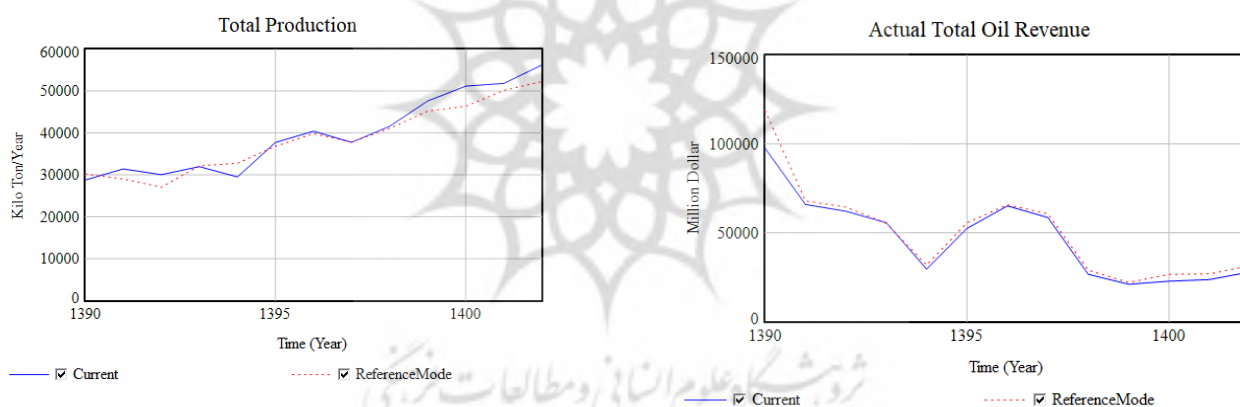
Table 12- Average of feedstock and utility prices for different petrochemical product groups.

گروه محصول پتروشیمی	قیمت خوراک (دلار/تن)	قیمت یوتیلیتی (دلار/تن)
آروماتیک ها	76.48	2.22
خوراک و سوخت	24.62	4.27
کود و مواد وابسته	6.44	0.55
مواد پایه و شیمیایی	10.58	0.91
مواد پلیمری	56.99	2.77

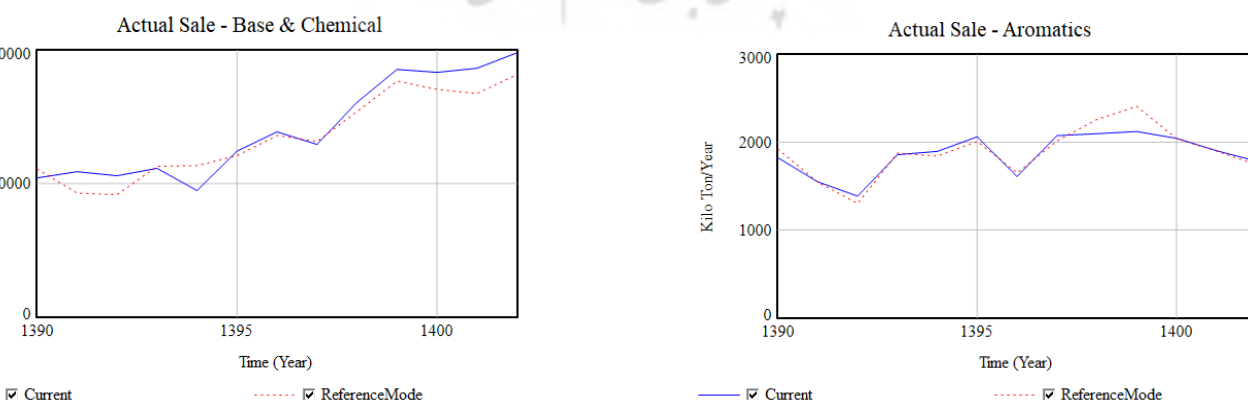
۳-۴- اعتبار سنجی

جهت اعتبار سنجی مدل سازی از پنج روش مقایسه با داده های تاریخی، کفایت مرز، ارزیابی ساختار و پارامترها، خطای انتگرال و تست اعضای خانواده استفاده شد که به شرح ذیل ارایه می گردد:

مقایسه با داده های تاریخی: همان طور که در شکل ۱۴ مشاهده می شود داده های تاریخی برای درآمد حاصل از صادرات نفت خام (فروش نفت با در نظر گرفتن مصرف داخلی و با قیمت جهانی نفت WTI و با کاهش درصد تخفیف مربوط به تحریم ها طی سال های ۱۳۹۰-۱۴۰۲)، مجموع تولیدات کل صنعت پتروشیمی (مجموع تولیدات کل صنعت از سال ۱۳۹۰-۱۴۰۲ برای هر پنج گروه-محصول پتروشیمی) و تولید گروه-محصولات آروماتیک و گروه-محصول شیمیایی طی سال های ۱۳۹۰-۱۴۰۲ برای صنعت پتروشیمی به شرح ذیل آورده شده است:



نتایج حاصل از مدل سازی صادرات نفت خام و مقایسه آن با داده های مراجع



نتایج مدل سازی حجم تولید مواد شیمیایی و مقایسه آن با داده های مراجع

نتایج مدل سازی حجم تولید آروماتیک و مقایسه آن با داده های مراجع

شکل ۱۳- اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل سازی.

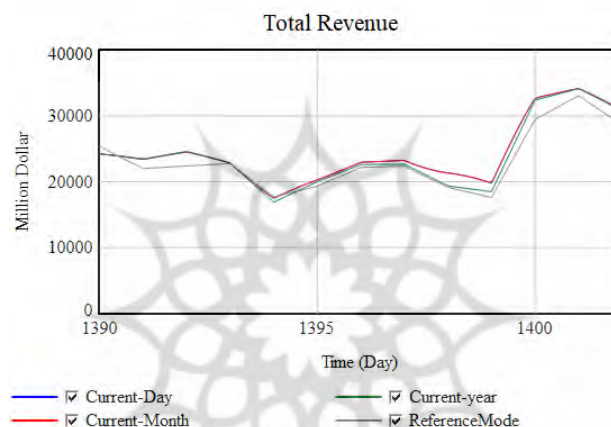
Figure 13- Validation of modeling results.

همان طور که در شکل ۱۳ مشاهده می شود مدل در بازتولید داده های تاریخی و شبیه سازی نتایج و رفتار سیستم، مطلوب عمل نموده است. مطابق شکل ۱۵ و نمودار تولیدات کل صنعت پتروشیمی و بر اساس نتایج شبیه سازی در سال ۱۴۰۲ ایران دارای ظرفیت تولید حدود ۵۱/۹ میلیون تن انواع محصولات پتروشیمی و میزان واقعی تولید ۵۲/۲ میلیون تن (در حدود ۱% خطا) می باشد. همچنین برای میانگین خطای درآمد حاصل از فروش نفت با نتایج مدل شبیه سازی شده ۲/۳۵% خطا به دست آمده است.

کفایت مرزها^۱: مطابق پژوهش های مرور شده در ادبیات پیشین [8]، [17]، [25] تمامی متغیرهای اصلی و موثر به صورت درونزا دیده شده اند. همچنین محدوده زمانی جهت بررسی داده های تاریخی و آماری از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۲ مطابق برنامه پنجم و ششم [31] توسعه بوده است.

ارزیابی ساختار و پارامتر^۲: ساختار بر اساس قوانین و روند دنیای واقعی مدل شده است؛ همچنین داده های مربوط به صندوق توسعه ملی از داده های مربوط به آن شرکت و داده های مربوط به صندوق توسعه نفت و گاز نیز از قانون بودجه هر سال استخراج شده است.

خطای انتگرال^۳: تعیین و بررسی بازه زمانی بر اساس سال می باشد؛ لذا با تغییر بازه زمانی نتایج با یکدیگر و با مقادیر مرجع مقایسه می شود.



شکل ۱۴- مقایسه اجرای بازه های زمانی مختلف جهت بررسی خطای انتگرال.

Figure 14- Comparing the implementation of different time intervals to check the integral error.

نتایج حاصل از بررسی بازه زمانی بر اساس روز و ماه و سال انجام شده است. همان طور که مشاهده می شود این نتایج با یکدیگر انطباق خوبی داشته و با مقادیر مرجع نسبتاً منطبق است. لذا خطای انتگرال برای مدل شبیه سازی شده قابل صرف نظر می باشد.

تست اعضای خانواده^۴: رفتار مدل مشابه رفتار موجود در سیستم های مشابه در مقالات می باشد. به طور مثال می توان بیان کرد که با افزایش تورم حاصل از خوراک و یوتیلیتی هزینه های مربوط به خوراک و یوتیلیتی افزایش می یابد.

۴-۴- نتایج مدل سازی

۴-۴-۱- بررسی اثر درصد تورم در هزینه های خوراک و یوتیلیتی

یکی از عوامل موثر در درآمد صندوق های پتروشیمی هزینه قیمت خوراک و هزینه یوتیلیتی برای مجتمع های پتروشیمی می باشد. بدین منظور برای دو پارامتر فوق، تورم در نظر گرفته شده است که بررسی درصد افزایش آن ها چه تاثیری بر تولیدات و فروش صنعت پتروشیمی خواهد داشت [22]، [23]. همان طور که در بخش های ۴-۱ و ۴-۲ و در مرور ادبیات پیشین بیان گردید در مدل سازی از درصد افزایش قیمت های متفاوت سالیانه ۱%، ۳%، ۵% و ۱۰% استفاده شده است [16]. با توجه به تولیدات سالیانه مجتمع ها و تورم قیمت خوراک و یوتیلیتی اعمال شده بر مدل بر اساس

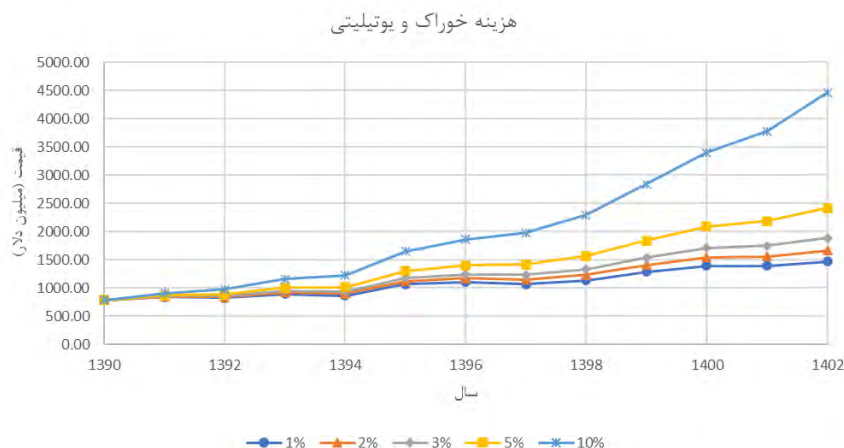
¹ Boundary adequacy

² Structure and parameter assessment

³ Integral error

⁴ Family member

درصد بیان شده در طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۲، مجموع هزینه‌های خوراک و یوتیلیتی در تمامی مجتمع‌های پتروشیمی ایران همانند شکل ۱۵ خواهد شد.



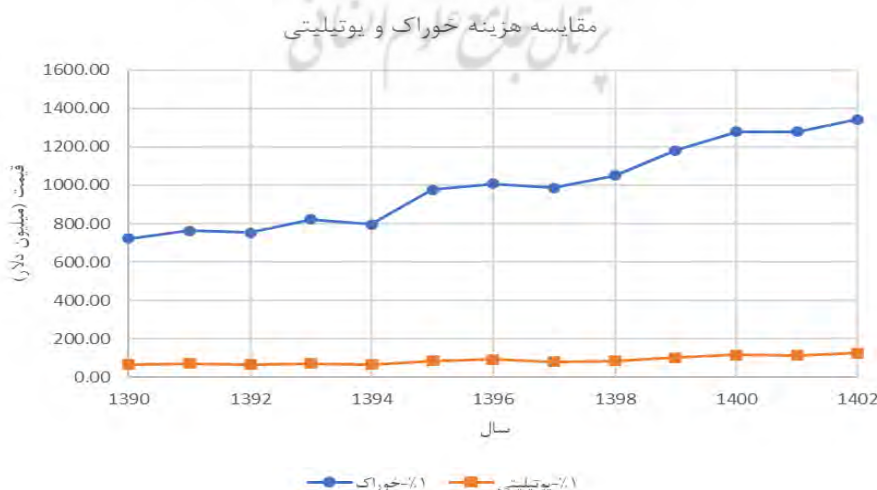
شکل ۱۵- مقایسه مجموع هزینه خوراک و سوخت برای درصدهای مختلف تورم.

Figure 15- Comparison of feedstock and fuel costs for different inflation rates.

همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود برای درصد تورم‌های ۱٪، ۳٪، ۱۰٪، کل هزینه خوراک و یوتیلیتی به ترتیب ۱/۴۷، ۱/۸۸ و ۴/۴۶۵ میلیارد دلار خواهد شد. درصد افزایش هزینه کل برای سه تورم مذکور به ترتیب ۸۶٪، ۱۳۹٪ و ۴۶۶٪ شده است. اختلاف هزینه خوراک و یوتیلیتی برای تورم ۱٪ و ۱۰٪ میزان ۲/۹۹۵ میلیارد دلار برای صنعت پتروشیمی کشور می‌باشد. مستاجریان و همکاران [22] نیز به افزایش هزینه به دلیل افزایش تورم در پژوهش خود به صورت کیفی اشاره نمودند. همان‌طور که مشاهده می‌شود به ازای ۱٪ افزایش تورم خوراک و سوخت ۲۹۹ میلیون دلار هزینه برای صنعت پتروشیمی ایجاد خواهد شد.

۴-۴-۲- مقایسه هزینه خوراک با هزینه یوتیلیتی

از آنجا که ورودی به پتروشیمی‌ها به دودسته عمده خوراک و سوخت در پتروشیمی‌ها تقسیم می‌شود؛ پتروشیمی‌های با خوراک گازی نسبت به پتروشیمی‌های با خوراک مایع وابستگی بیشتر به قیمت گاز دارند [18]. از طرفی با توجه به ایجاد پتروشیمی‌های تخصصی تامین کننده یوتیلیتی در هاب‌های پتروشیمی عسلویه و ماهشهر (پتروشیمی‌های فجر، مبین و دماوند)، قیمت یوتیلیتی به نسبت قیمت خوراک هزینه کم‌تری خواهد داشت [15]. مقایسه هزینه خوراک و یوتیلیتی با فرض تورم ۱٪ و طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۲ مطابق شکل ۱۶ می‌باشد:



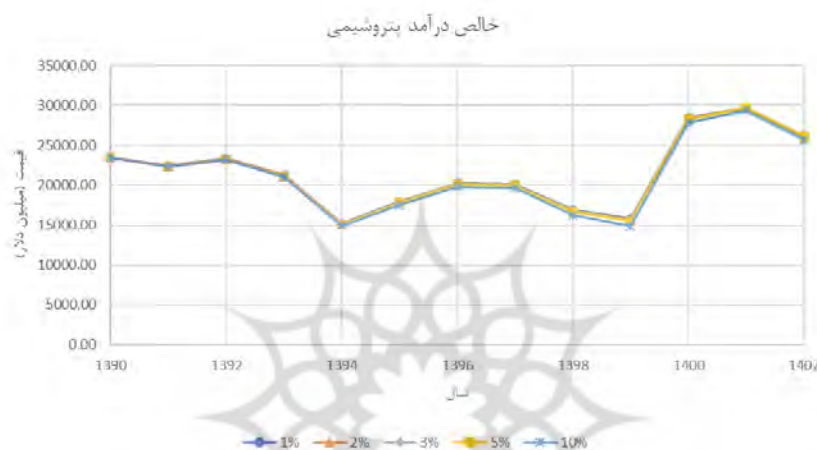
شکل ۱۶- مقایسه قیمت‌های خوراک و یوتیلیتی.

Figure 16- Comparison of feed and utility prices.

همان‌طور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود و مطابق پژوهش‌های پیشین بخش اعظم هزینه پتروشیمی‌ها مربوط به خوراک بوده و با توجه به درصد تورم و میزان تولیدات سالیانه این نسبت تقریباً ثابت باقی مانده است [20]. نسبت هزینه خوراک به مجموع هزینه‌های پتروشیمی در طی این مهر و موم‌ها حدود ۹۰٪ می‌باشد. هزینه خوراک برای تورم ۱٪ و ۱۰٪ به ترتیب ۱/۳ و ۲/۷ میلیارد دلار محاسبه شده است.

۴-۴-۳- مقایسه اثر درصد تورم در درآمد خالص صنعت پتروشیمی

با توجه به افزایش هزینه مربوط به خوراک و یوتیلیتی به دلیل افزایش تورم انتظار می‌رود درآمد خالص حاصل از فروش صنعت پتروشیمی نیز به‌طور فاحشی کاهش یابد. درآمد خالص؛ از تفاضل فروش حاصل از صادرات با هزینه‌های خوراک و یوتیلیتی حاصل می‌شود؛ اما همان‌طور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود علیرغم افزایش ۴۰۰٪ هزینه خوراک و سوخت به دلیل افزایش درصد تورم، طی سالیان برنامه پنجم و ششم توسعه [31]، اختلاف فاحشی در درآمد محصولات پتروشیمی ایران طی این سال‌ها مشاهده نمی‌شود.



شکل ۱۷- خالص درآمد پتروشیمی با درصد تورم‌های مختلف.

Figure 17- Net petrochemical income at different inflation rates.

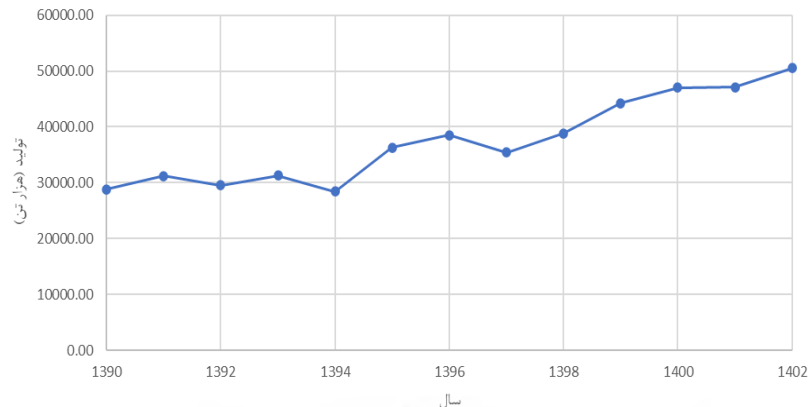
درآمد خالص فروش صنعت پتروشیمی بین درصد تورم‌های مختلف به‌صورت فاحش نبوده و حداکثر اختلاف درآمد بین تورم ۱٪ و ۱۰٪ در تمام این سال‌ها به میزان ۶۰۰ میلیون دلار می‌باشد، درحالی‌که انتظار می‌رفت با توجه به افزایش هزینه خوراک حدوداً ۳ میلیارد دلاری در تورم ۱۰٪، درآمد خالص پتروشیمی کاهش شدیدی پیدا کند. جهت تحلیل موضوع فوق می‌بایست دو پارامتر قیمت فروش محصولات و ظرفیت تولیدی صنعت پتروشیمی را در طی برنامه‌های پنجم و ششم توسعه در نظر گرفت. بدین منظور متوسط قیمت کل محصولات پتروشیمی در طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۲ در شکل ۱۸ آورده شده است.



شکل ۱۸- متوسط قیمت محصولات پتروشیمی طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۲.

Figure 18- Average prices of petrochemical products from 2011 to 2023.

متوسط قیمت محصولات پتروشیمی در طی این سالها مطابق با قیمت محصولات جهانی کاهشی بوده است که این اتفاق می‌بایست به صورت مضاعف بر کاهش درآمد فروش و صادرات محصولات پتروشیمی اثر بگذارد [34]. این درحالی‌که مطابق شکل ۱۷ درآمد حاصل از صادرات برای درصد تورم‌های مختلف تقریباً برابر می‌باشد. در ادامه ظرفیت مدل‌سازی شده تولید کل مجتمع‌های پتروشیمی در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ به صورت نمودار در شکل ۱۹ آورده شده است. با توجه به بهره‌برداری از مجتمع‌های پتروشیمی در طی این سالها (برنامه پنجم و ششم توسعه) ظرفیت نهایی کل صنعت پتروشیمی از ۳۰ میلیون تن محصول خالص نهایی به ۵۲ میلیون تن افزایش داشته است (۷۶٪ افزایش) [7].



شکل ۱۹- ظرفیت تولید محصولات پتروشیمی در طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۲.

Figure 19- Production capacity of petrochemical products from 2011 to 2023.

میزان تولیدات محصولات نهایی پتروشیمی در کشور در انتهای سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۹۰ از ۲۸/۷ میلیون تن به ۵۲ میلیون تن رسیده (درحالی‌که ظرفیت اسمی افتتاح‌شده مجتمع‌ها در طی همین سال‌ها از ۵۴/۱ میلیون تن به ۹۰/۲ میلیون تن رسیده است) [7]. روند افزایشی افتتاح مجتمع‌های پتروشیمی در طی برنامه‌های پنجم و ششم توسعه توانسته است علیرغم کاهش قیمت جهانی محصولات پتروشیمی و افزایش قیمت خوراک و یوتیلیتی درآمد حاصل از صادرات و فروش محصولات پتروشیمی را ثابت نگه دارد. روند توسعه صنعت پتروشیمی در ایران نشان‌دهنده نیاز به توجه ویژه به توازن تولید محصولات با ارزش اقتصادی بالا است. در صورت عدم توجه به این موضوع و همچنین با افزایش قیمت خوراک و یوتیلیتی، این صنعت ممکن است با بحران درآمد مواجه شود؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات و برنامه‌ریزی‌های آتی با رویکردی جامع و مبتنی بر زنجیره ارزش محصولات پتروشیمی انجام گیرد.

طبق برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته و اهداف تعیین شده برای سال‌های برنامه هفتم و هشتم توسعه، پیش‌بینی می‌شود که میزان تولید (ظرفیت اسمی) باید تا انتهای سال ۱۴۰۶ به ۱۴۱ میلیون تن و تا انتهای برنامه هشتم توسعه (انتهای سال ۱۴۱۰) به ۱۹۹ میلیون تن افزایش یابد؛ اما با ادامه روند فعلی، پیش‌بینی می‌شود که تولیدات پتروشیمی ایران در انتهای برنامه‌های هفتم و هشتم به ترتیب به ۱۰۰ و ۱۲۰ میلیون تن خواهد رسید که این ارقام نشان‌دهنده انحراف ۲۹٪ و ۴۰٪ نسبت به اهداف تعیین شده هستند [31]. با توجه به این چالش‌ها، ضروری است که برنامه‌ریزی‌های آتی با در نظر گرفتن پیشرفت طرح‌های برنامه هفتم و هشتم و همچنین زنجیره‌های ارزش در صنعت پتروشیمی صورت پذیرد. این رویکرد می‌تواند به بهبود عملکرد این صنعت و تحقق اهداف تعیین شده کمک شایانی نماید.

۵- نتیجه‌گیری

این پژوهش به مدل‌سازی صنعت پتروشیمی ایران در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ می‌پردازد. شبیه‌سازی انجام شده با در نظر گرفتن فروش و صادرات نفت خام و گاز طبیعی به منظور توسعه تولید در صنعت پتروشیمی صورت گرفته است. در این مدل‌سازی، درآمد حاصل از صادرات نفت خام و گاز طبیعی به عنوان منبع تامین مالی صندوق توسعه ملی و صندوق توسعه نفت و گاز مورد توجه قرار گرفته است.

در این تحقیق، بیش از ۴۵۰ هزار داده به منظور استفاده در شبیه‌سازی بررسی و پالایش شده‌اند. تمامی گروه-محصولات تولیدی در صنعت پتروشیمی، به همراه داده‌های مربوط به تولید و عدم تولید (از جمله کمبود خوراک و مشکلات فرآیندی و...)، با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مدل‌سازی

عددی در نرم افزار ونسیم مدل گردیده است. نتایج حاصل از مدل سازی با داده های واقعی صنعت پتروشیمی کشور مقایسه و اعتبارسنجی شده است که نشان دهنده صحت قابل قبول نتایج می باشد.

به منظور بررسی اثر قیمت خوراک و یوتیلیتی، درصدهای تورم ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ و ۱۰٪ مدل سازی شده اند. نتایج نشان می دهد که با افزایش تورم از ۱٪ و ۱۰٪، هزینه ای معادل ۲/۹۹۵ میلیارد دلار بر صنعت پتروشیمی کشور تحمیل می شود. به طور متوسط، هر ۱٪ افزایش تورم هزینه ای بالغ بر ۲۹۹ میلیون دلار را برای صنعت پتروشیمی به همراه دارد. همچنین، با افزایش تورم از ۱٪ به ۱۰٪ در این سال ها، حدود ۶۰۰ میلیون دلار هزینه اضافی مشاهده شده است. افزایش درآمد علیرغم افزایش هزینه های خوراک و یوتیلیتی به دلیل افزایش ظرفیت بهره برداری مجتمع های پتروشیمی ایران از ۲۸ میلیون تن به ۵۰ میلیون تن می باشد. این افزایش ۷۶٪ ظرفیت تولیدی، هم زمان با افزایش قیمت خوراک و کاهش قیمت محصولات پتروشیمی، موجب حفظ سطح صادرات و فروش محصولات پتروشیمی در حد قابل قبولی گردیده است. لذا پیشنهاد می شود که در پژوهش ها و برنامه ریزی های آتی با رویکردی جامع و با در نظر گرفتن برنامه های هفتم و هشتم توسعه و مبتنی بر زنجیره ارزش محصولات پتروشیمی صورت پذیرد.

تشکر و قدردانی

از دوستان و همکاران محترمی که در شرکت ملی صنایع پتروشیمی با تبادل نظرها و پیشنهادهای سازنده، بر غنای این پژوهش افزودند، سپاسگزاری می گردد.

حمایت مالی

نویسندگان از هیچ گونه حمایت مالی در تدوین این مقاله استفاده نکرده اند.

حمایت مالی

هیچ گونه تعارض منافع در این مقاله وجود ندارد.

مراجع

- [1] History, P. (2013). *History and Structure of the National Petrochemical Industries Company*. Petrochemical History. (In Persian). Springer. <https://www.nipc.ir>
- [2] Planning-NIPC. (2023). *Planning and development in the petrochemical industry*. Planning-NIPC. Springer. (In Persian). <https://planmanagement-en.nipc.ir>
- [3] *Production support in the petrochemical industry*. (2023). Production-NIPC. (In Persian). <https://production-en.nipc.ir/>
- [4] Farmahini-Farahani, A., & Hadizadeh-Esfahani, A. (2017). *Value chain: concepts, analysis, and application in development and policymaking*. Rozaneh. (In Persian). <https://www.gisoom.com/book>
- [5] Inistry of Oil. (2023). *Ministry of Oil, Monthly magazine on energy technologies*. (In Persian). <https://iies.mop.ir/>
- [6] Business Studies and Research Institute. (2020). *Analyzing the value chain and presenting a package of policies to enhance the competitiveness of the petrochemical industry in the country*. (In Persian). <https://itsr.ir>
- [7] Public Relation Publishment. (2023). *Iran's Petrochemical Yearbook 2010*. (In Persian). <https://www.iranoilgas.com/>
- [8] Farashah, V. H., Hosseini, S. H., Sazvar, Z., & Ganjavi, H. S. (2020). An investigation on the petrochemical industry development in Iran: a system dynamics approach. *International journal of energy technology and policy*, 16(5-6), 493-509. <https://doi.org/10.1504/IJETP.2020.109312>
- [9] Forrester, J. W. (1994). System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System dynamics review*, 10(2-3), 245-256. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sdr.4260100211>
- [10] Sterman, J. D., & others. (2000). Systems thinking and modeling for a complex world. *Management*, 6(1), 7-17. https://sa85c2e82e126a3ae.jimcontent.com/download/version/1360070105/module/6264585279/name/%E6%96%87%E5%AD%97BUSINESS_DYNAMICS.pdf
- [11] Lababidi, H. M. S., Ahmed, M. A., Alatiqi, I. M., & Al-Enzi, A. F. (2004). Optimizing the supply chain of a petrochemical company under uncertain operating and economic conditions. *Industrial & engineering chemistry research*, 43(1), 63-73. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie030555d>

- [12] Mashayekhi, A. N., & Ghili, S. (2010). *System dynamics problem definition as an evolutionary process using ambiguity concept* [presentation]. Proceedings of the international system dynamics conference (Vol. 1157). <https://proceedings.systemdynamics.org/2010/proceed/papers/P1157.pdf>
- [13] Bahrami, Z. (2007). *Modeling and forecasting the price of petrochemical products: ammonia case study* [Thesis] (University Of Tehran - Faculty Of Economics). (In Persian). <https://noordoc.ir/thesis/80473>.
- [14] Khatiri, O. H. (2015). *Studying the impact of a sustainable supply chain on company performance (case study: the country's petrochemical industry* [Thesis PhD] (University Of Tehran. Farabi Campus Library). (In Persian). <https://lib.ut.ac.ir/site/catalogue/1316226>.
- [15] Soltanian-Talakabadi, H., Mohqer, A., & Sadeghi-Moghaddam, M. (2016). Analysis of petrochemical feedstock pricing policy with dynamic systems approach. *Industrial management perspective*, 5(4), 59–78. (In Persian). https://jimp.sbu.ac.ir/article_87243.html
- [16] Hosseini, S. H., Shakouri G, H., & Peighami, A. (2016). A conceptual framework for the oil market dynamics: A systems approach. *Energy exploration & exploitation*, 34(2), 171–198. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0144598716631656>
- [17] Hosseini, S. H., & Shakouri, H. (2016). A study on the future of unconventional oil development under different oil price scenarios: A system dynamics approach. *Energy policy*, 91, 64–74. https://www.samamsystem.com/wp-content/uploads/2019/03/samam_oil-development_1396-01-15_16-50_skh01.pdf
- [18] Malysheva, T. V., Shinkevich, A. I., Ostanin, L. M., Zhandarova, L. F., Muzhzhavleva, T. V., & Kandrashina, E. A. (2018). Organization challenges of competitive petrochemical products production. *Revista espacios*, 39(09). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n09/18390928.html>
- [19] Kwon, H., Do, T. N., & Kim, J. (2020). Comprehensive decision framework combining price prediction and production-planning models for strategic operation of a petrochemical industry. *Industrial & engineering chemistry research*, 59(25), 11610–11620. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.0c01957>
- [20] Shahidinia, S. N., & Mahnaz Hosseinzadeh, M. S. F. 3. (2021). Identifying and evaluating solutions to reduce the cost of petrochemical products using a system dynamics approach. *Research in production and operations management*, 12(1), 103–124. (In Persian). <https://doi.org/10.22108/jpom.2021.127075.1329>
- [21] Speight, J. G. (2023). *Thermal and catalytic processing in petroleum refining operations*. CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003184904/thermal-catalytic-processing-petroleum-refining-operations-james-speight>
- [22] Mostajerian, M., Daei-Karimzadeh, S., Dehghani, A., & Ghobadi, S. (2025). The constructional model of the effects of pricing strategies on the exporting petrochemical products in Iran. *International journal of nonlinear analysis and applications*, 16(2), 165–176. https://journals.semnan.ac.ir/article_8849_031ace23198854ddb7b49c17f237b4b.pdf
- [23] Kazazi, A., Eftekhari Targhi, H., Amiri, M., & Ghazinouri, S. S. (2024). A model for Catch Up in Downstream Petrochemical Industries in Iran. *Iranian journal of oil and gas science and technology*. <https://doi.org/10.22050/ijogst.2024.457630.1711>
- [24] Ghazanfari Shabankareh, M., Shesh Bulookii, A., & Kord, M. (2024). Examining the methods of converting the threats caused by sanctions on Iran's petrochemical industry to economic opportunities and investigating the growth rate of Iran's petrochemical industry during sanction. *International journal of energy sector management*, 18(6), 2357–2378. <https://doi.org/10.1108/IJESM-01-2024-0002>
- [25] Farashah, V. H., Sazvar, Z., & Hosseini, S. H. (2021). A dynamic model to formulate effective capacity expansion policies in Iranian petrochemical Industry to complete the value chain. *Energy policy*, 148, 111992. <https://samamsystem.com/wp-content/uploads/2020/11/1-s2.0-S0301421520307035-main.pdf>
- [26] Mashayekhi Ali, N., Tahmasb, M., & Fatemeh, Y. (2010). Dynamic analysis of petrochemical project progress-a system dynamics approach. <https://www.researchgate.net>
- [27] Sterman, J. (2002). *System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/102741/esd-wp-2003-01.13.pdf>
- [28] Cachon, G. P., & Swinney, R. (2011). The value of fast fashion: Quick response, enhanced design, and strategic consumer behavior. *Management science*, 57(4), 778–795. <https://faculty.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2012/04/Cachon-swinney-2011.pdf>
- [29] Caldart, A. A., & Oliveira, F. (2010). Analysing industry profitability: A “complexity as cause” perspective. *European management journal*, 28(2), 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2009.04.004>
- [30] NDF. (2023). *National development fund of islamic republic of Iran*. Performance Report of the currency facilities of national development fund. (In Persian). <https://en.ndf.ir/>
- [31] Majlis. (2024). *The-law-on-the-five-year-economic, the law on the five-year economic, cultural, and social development plan for 1390-1402*. (In Persian). <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/790196>
- [32] The-Budget-Bill. (2023). *The Budget Bill for the Iranian Year of 2011-2023*. (In Persian). Elsevier. <https://rc.majlis.ir>
- [33] MOP. Ministry Of Petroleum, Research & Development. (In Persian). <https://en.mop.ir>
- [34] IIES. (2023). *Inistitue for international energy studies*. (In Persian). Elsevier. <https://iies.mop.ir>
- [35] TAPPICO. (2023). *Tamin petroleum & petrochemical invesment co., in projects under development*. Wiley Online Library. (In Persian). <https://www.tappico.com>