

Modeling the effects of oil price and its production technology shocks on Iran's macroeconomic variables: DSGE approach

Hossein Tavakolian^{*}, Teimor Mohammadi^{}**

Younes Khodaparast^{*}**

Abstract

The Key Role of the Oil Industry in the Iranian Economy Has Caused the Shocks in This Industry to Affect the Entire Economy. In this Study, We have investigated the Effects of Oil Price and Production Technology Shocks on Macroeconomic Variables by Designing a Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) Model. This Model Includes the Household, Firm, Oil, National Development Fund, Government, and Foreign Sectors and the Data of the Years 1352-1396 have been used to Estimate the Parameters. The Results have shown that Oil Price and Technological Shocks have a Positive and Significant Effect on Oil Investment, Employment, Consumption, Government Expenditure, and a Negative Effect on non-oil Investment and GDP. According to Negative Consequence of Oil Price and Technological Shocks on Macroeconomic Situation, Oil Revenue Weaken non-oil Sector. Contrary to Technological Shock, Oil Price Shock has a Negative Impact on Oil Production and Export. The Macroeconomics Mechanism explains that at First

* Associate Professor of Economics, Faculty of Economics, University of Allameh Tabatabaee,
hossein.tavakolian@atu.ac.ir

** Associate Professor of Economics, Faculty of Economics, University of Allameh Tabatabaee,
atmahmadi@gmail.com

*** Ph.D. in Oil and Gas Economics, Faculty of Economics, University of Allameh Tabatabaee,
(Corresponding Author), u.khodaparast@gmail.com.

Date received: 2021/4/25, Date of acceptance: 2021/10/26



Copyright © 2018, This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Steps Inflation Would Stable Due to the Inflow of Oil Revenues and Increased Imports but then it will Increase Due to High Liquidity.

Keywords: DSGE Model, Oil Industry, Technology Shock, Oil Price Shock, Macroeconomic Variables

JEL Classification: O13, Q31, Q43

مدل‌سازی اثرات تکانه‌های قیمت نفت و ارتقای تکنولوژی تولید آن بر متغیرهای کلان اقتصادی ایران: رویکرد DSGE

حسین توکلیان*

تیمور محمدی**، یونس خداپرست***

چکیده

نقش و جایگاه کلیدی صنعت نفت در اقتصاد ایران موجب شده که تکانه‌های وارد بر این صنعت، بر کل اقتصاد اثرگذار باشد. از این رو، در مطالعه حاضر سعی شده که با طراحی یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE)، اثرات تکانه‌های قیمت و تکنولوژی تولید نفت، بر متغیرهای کلان اقتصادی بررسی شود. این مدل شامل بخش خانوار، بنگاه، نفت، صندوق توسعه ملی، دولت و بخش خارجی بوده و برای برآورد پارامترها از داده‌های سال‌های ۱۳۵۲-۱۳۹۶ استفاده شده است. طبق نتایج به دست آمده، هر دو تکانه، اثر مثبت و معنی‌داری بر سرمایه‌گذاری نفتی، اشتغال، مخارج دولت و مصرف داشته و در مقابل، سرمایه‌گذاری و GDP غیرنفتی را کاهش داده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که درآمدهای نفتی حاصل از این دو تکانه، نه تنها در جهت تقویت بخش غیرنفتی نبوده، بلکه موجب تضعیف آن شده است. در این بین، اثر تکانه قیمت نفت، بر تولید و صادرات نفت، منفی بوده، حال آنکه تکانه تکنولوژی بر این متغیرها اثر مثبت داشته است. در زمینه اثرگذاری این

* دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، hossein.tavakolian@atu.ac.ir

** دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، atmahmadi@gmail.com

*** دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسئول)،
u.khodaparast@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۴



Copyright © 2018, This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

تکانه‌ها بر تورم نیز باید گفت که در ابتدا به دلیل ورود درآمدهای نفتی و افزایش واردات، تورم کنترل شده، اما در ادامه به دلیل رشد حجم پول، نرخ تورم افزایش یافته است.

کلیدواژه‌ها: مدل DSGE، صنعت نفت، تکانه تکنولوژی، تکانه قیمت نفت، متغیرهای کلان اقتصادی

طبقه‌بندی JEL: O13، Q31، Q43

۱. مقدمه

بخش نفت هم از حیث جایگاه آن در تولید ناخالص داخلی کشور و هم به لحاظ سهم درآمدهای ارزی، اهمیت زیادی در اقتصاد ایران دارد (اصغرپور و برادران خانیان، ۱۳۹۷: ۲) و به عنوان یکی از بخش‌های کلیدی اقتصاد، دارای ظرفیت‌های بالایی در خلق ارزش افزوده و تسریع رشد اقتصادی است. براساس آمارهای بانک مرکزی، در سال ۱۳۹۸ حدوداً ۱۴/۴ درصد از تولید ناخالص داخلی و ۴۸/۸ درصد از کل درآمدهای صادراتی کشور مربوط به بخش نفت بوده است. البته این میزان، تنها وابستگی مستقیم بوده و بخش عمده‌ای از درآمدهای غیرنفتی دولت نیز به درآمدهای نفتی وابسته است. این آمار و ارقام همگی نشان‌دهنده نقش بسیار مهم صنعت نفت در اقتصاد ایران است. ازاین‌رو، توجه به عواملی که صنعت نفت و به تبع آن درآمدهای نفتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، حائز اهمیت فراوان است. این عوامل طیف گسترده‌ای دارند که تکانه‌های قیمت نفت از جمله مهم‌ترین آنها است.

مطابق با آنچه بیان شد، شاید بتوان مهم‌ترین اثر تکانه‌های قیمت نفت بر کشورهای صادرکننده مانند ایران را بی‌ثباتی درآمد ناشی از نوسانات قیمت نفت دانست که امکان برنامه‌ریزی مستمر و پایدار را برای دولت‌ها منتفی می‌کند و موجب می‌شود که در زمان وفور منابع، پروژه‌های نسنجیده شروع شود. این موضوع در ضایع شدن منابع تأثیر بسزایی دارد و به نوبه خود موجب اختلال در نظام اقتصادی و در نتیجه کاهش رشد اقتصادی می‌شود (عباسیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۴). علاوه براین، تکانه‌های قیمت نفت با تغییر درآمدهای ارزی، سایر متغیرهای کلان اقتصادی مانند سطح مصرف و خدمات رفاهی، هزینه‌های جاری و عمرانی دولت، سطح نقدینگی و به تبع آن تورم، را نیز متأثر می‌سازد. ضمن اینکه به دلیل ارتباط گسترده صنعت نفت با سایر بخش‌های اقتصادی، تغییر سطح

فعالیت‌های اقتصادی ناشی از تکانه‌های قیمت نفت، درآمد مالیاتی دولت نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

از دیگر مولفه‌های اثرگذار بر صنعت نفت و وضعیت کلان اقتصادی کشورهای صادرکننده نفت، ارتقای سطح تکنولوژی در این صنعت است. ارتقای تکنولوژی موجب افزایش بهره‌وری عوامل تولید می‌شود که با توجه به اینکه برخی عوامل تولید نظیر کالاهای واسطه‌ای و سرمایه‌ای در بخش غیرنفتی تولید می‌گردد، اثر تکانه تکنولوژی تنها محدود به بخش نفت نخواهد بود. همچنین با ارتقای تکنولوژی می‌توان انتظار داشت که میزان استخراج از میدان کشور افزایش یابد که این موضوع از کانال درآمدی بر متغیرهای اقتصادی اثرگذار خواهد بود. تکانه تکنولوژی به دلیل اثر جایگزینی (اثر مثبت) و اثر درآمدی (اثر منفی) می‌تواند اشتغال کل را تغییر دهد که اثر کل آن به برآیند دو اثر جایگزینی و اثر درآمدی بستگی دارد.

با توجه به نقش بسیار مهم تکانه‌های قیمت نفت و تکنولوژی تولید آن بر صنعت نفت و کلان اقتصاد، در مطالعه حاضر سعی می‌شود که اثرگذاری این تکانه‌ها بر متغیرهای اقتصادی ایران (تولید ناخالص داخلی، مصرف، اشتغال، مخارج دولت، سرمایه‌گذاری، تولید و صادرات نفت، درآمدهای دولت، حجم پول و تورم) مورد بررسی قرار گیرد. در این ارتباط باید گفت که بسیاری از مطالعات، اثر تکانه قیمت نفت بر اقتصاد ایران را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند، اما مطالعه حاضر از دو جنبه با سایر مطالعات صورت گرفته متمایز بوده و نوآوری دارد. نخست، نحوه مدلسازی بخش نفت است که در مطالعات صورت گرفته، عمدتاً در قالب دو معادله اتورگرسو مرتبه اول برای قیمت و تولید نفت خلاصه و در مدل وارد شده‌اند، اما در مطالعه حاضر سعی می‌شود که با طراحی یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE) و مدلسازی جدیدی از بخش نفت، برخی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تولید نفت همچون حجم ذخایر اثبات شده، فعالیت‌های اکتشافی، سرمایه‌گذاری و میزان استفاده از کالاهای واسطه‌ای داخلی و خارجی، وارد مدل‌های DSGE شود. این امر می‌تواند نتایج تحقیق را واقعی‌تر سازد. نوآوری دوم مقاله این است که به دلیل مدلسازی جدید بخش نفت، امکان بررسی اثرات تکانه‌های تکنولوژی تولید بر متغیرهای کلان اقتصادی نیز فراهم می‌شود که این موضوع در سایر مطالعات مغفول مانده است. در این راستا، در ادامه این مطالعه، ابتدا ادبیات نظری و تجربی مرتبط با

موضوع تحقیق بیان می‌شود و سپس مدل DSGE که برای این منظور طراحی شده به تفصیل تشریح می‌گردد. در بخش چهارم این مطالعه، تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از برآورد مدل بیان شده و بخش پایانی نیز به جمع‌بندی و ارائه راهکار اختصاص می‌یابد.

۲. ادبیات نظری و تجربی

۱.۲. تکانه قیمت نفت و متغیرهای کلان اقتصادی

یکی از مهم‌ترین اثرات تکانه قیمت نفت، اثر این تکانه بر نرخ ارز است که حییب و همکاران (Habib, 2016: 446)، آن را از سه کانال مستقیم ۱- رابطه مبادله، ۲- اثر ثروت و ۳- تخصیص مجدد سبد دارایی تشریح کرده‌اند. براساس رابطه مبادله، اگر بخش غیرقابل مبادله کشور اول، انرژی‌بری بیشتری نسبت به بخش قابل مبادله داشته باشد، قیمت محصولات غیرقابل مبادله در این کشور نسبت به کشور دوم افزایش می‌یابد. این موضوع موجب می‌شود که با توجه به ثابت بودن قیمت کالاهای قابل مبادله به دلیل تجارت، تورم کشور اول نسبت به کشور دوم بیشتر شود و به تبع آن ارزش پول کشور اول نسبت به کشور دوم رشد یابد (چن و چن، (Chen & Chen, 2007: 399)). ایده کانال ثروت این است که به دنبال افزایش قیمت نفت، ثروت (برحسب دلار) به کشورهای صادرکننده نفت منتقل خواهد شد و این موضوع منعکس کننده بهبود صادرات و تراز تجاری بر حسب پول داخلی است. به همین دلیل انتظار می‌رود که با افزایش قیمت نفت، ارزش پول کشورهای صادرکننده نفت افزایش و ارزش پول کشورهای واردکننده کاهش یابد (بکمن و همکاران (Beckmann, 2017: 10)). همچنین بر اساس کانال سبد دارایی، اثرات قیمت نفت بر دلار آمریکا نسبت به پول رایج کشورهای صادرکننده نفت، به دو عامل ۱- وابستگی ایالات متحده به واردات نفت نسبت به سهم صادرات ایالات متحده به کشورهای تولید کننده نفت و ۲- ترجیحات نسبی صادرات نفت به دارایی های دلاری آمریکا بستگی دارد. انتظار می‌رود اگر میزان وابستگی آمریکا به واردات نفت زیاد باشد و کشورهای صادرکننده نفت تمایل به خرید دارایی های دلاری نداشته باشند، نرخ ارز موثر کشورهای صادرکننده نفت افزایش یابد.

تکانه های قیمت نفت می‌تواند تورم کشورهای صادر کننده نفت را متأثر سازد. براساس مطالعه سالیسو و همکاران (Salisu, 2017)، افزایش ناگهانی درآمدها ناشی از تکانه

قیمت نفت، موجب بهبود وضعیت تراز پرداخت‌ها، کاهش نرخ ارز و به دنبال آن نرخ تورم می‌شود. همچنین تغییرات نرخ ارز ناشی از تکانه‌های قیمت نفت، بر میزان بیکاری کشورها نفتی نیز اثرگذار است. برای مثال، با توجه به افزایش ارزش پول ملی ناشی از شوک مثبت نفتی، قیمت کالای صادراتی در مقاصد صادراتی افزایش یافته و در نتیجه تولید و تقاضای نیروی کار در بنگاه‌هایی که به بازار صادراتی وابسته‌اند کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش ارزش پول ملی، ارزش صادرات از کشورهای دیگر را کاهش می‌یابد و در نتیجه منجر به کاهش شاخص قیمت در بازار داخلی و کاهش تقاضای نیروی کار در بازار داخلی می‌شود (دای و ژو، (Dai and Xu, 2017: 55)).

از سوی دیگر تکانه قیمت نفت با تغییر درآمدهای ارزی، می‌تواند سطح مصرف و خدمات رفاهی کشورهای صادرکننده را تغییر دهد. همچنین تکانه نفت، با تغییر رشد اقتصادی کشورهای صادرکننده نفت، درآمد مالیاتی دولت را تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ضمن اینکه در این کشورها، درآمدهای نفتی یکی از مهم‌ترین منابع درآمدی دولت محسوب می‌شود که تکانه‌های قیمت نفت می‌تواند این درآمدها و به تبع آن هزینه‌های جاری و عمرانی دولت را با متأثر سازد. علاوه بر این، درآمدهای نفتی باعث افزایش ذخایر خارجی بانک مرکزی شده و خالص دارایی‌های خارجی بانک مرکزی افزایش می‌دهد که منجر به افزایش حجم نقدینگی در اقتصاد شده و این وضعیت مانند سیاست پولی انبساطی عمل می‌کند (کمپس و بک (Kamps and Beck, 2009: 7)).

با توجه به تنوع کانال‌های اثرگذاری تکانه قیمت نفت بر متغیرهای کلان اقتصادی، مطالعات زیادی به بررسی این اثرگذاری پرداخته‌اند. الادونی (Oladunni, 2020)، با طراحی یک مدل DSGE برای نیجریه، اثر تکانه‌های قیمت نفت بر متغیرهای کلان اقتصادی را بررسی کرده و دریافته‌اند که با وقوع شوک مثبت قیمت نفت، میزان اشتغال، مصرف، صادرات نفت، تورم و نرخ ارز افزایش یافته و در مقابل تولید داخلی کاهش می‌یابد. مختارف و همکاران (Mukhtarov, 2019)، اثرات تکانه نفتی بر متغیرهای اقتصادی آذربایجان را مورد بررسی قرار داده و دریافته‌اند که تکانه قیمت نفت اثر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی، صادرات و تورم و اثر منفی بر نرخ ارز دارد. برقوالت و لارسن (Bergholt and Larsen, 2016)، با طراحی یک مدل DSGE، اثرات تکانه‌های قیمتی نفت بر اقتصاد نروژ را بررسی کرده و دریافته‌اند که شوک‌های متعارف در بازار نفت، تقریباً ۱۰ درصد از

چرخه تجارت نروژ را توضیح می‌دهند و در مقابل بخش زیادی از اثرات سرریز از بخش غیرنفتی مانند نوآوری در کارآیی سرمایه‌گذاری بین‌المللی نشأت می‌گیرد. در مطالعات داخلی، کیانی و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از یک مدل DSGE، به تحلیل اثرات متفاوت ناشی از تکانه‌های نفتی با منشاءهای مختلف در کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت پرداخته‌اند. ایشان دریافته‌اند که تکانه با منشاء عرضه نفت ایران، باعث کاهش تولید، تراز تجاری غیرنفتی، اشتغال، تورم و مصرف کشور شده درحالی‌که تکانه با منشاء طرف تقاضا از طریق افزایش درآمد نفتی باعث افزایش تولید، تراز تجاری غیرنفتی، اشتغال، مصرف و تورم می‌شود. نادمی و کالمرزی (۱۳۹۷)، با طراحی یک مدل DSGE، اثرات تکانه‌های قیمت نفت و همچنین شدت تحریم‌ها بر نرخ بیکاری ایران را بررسی کرده و دریافته‌اند که تکانه مثبت قیمت نفت، موجب کاهش بیکاری شده و در مقابل شوک منفی قیمت، نرخ بیکاری را افزایش می‌دهد. دمیری و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تأثیر مستقیم تکانه نفتی بر تراز تجاری ایران مثبت اما تأثیر غیرمستقیم آن منفی است. در نهایت تأثیر مستقیم بر تأثیر غیرمستقیم غلبه می‌کند و تکانه نفتی مثبت سبب بهبود نسبت تراز تجاری کل به تولید ناخالص داخلی، کاهش نسبت تراز تجاری غیرنفتی به تولید ناخالص داخلی و افزایش تولید، سرمایه‌گذاری و تورم می‌شود. التجائی و ارباب‌افضلی (۱۳۹۳) اثرات نامتقارن تکانه‌های قیمت نفت بر متغیرهای کلان اقتصاد ایران را بررسی کرده و دریافته‌اند که اثرات تکانه‌های منفی در کاهش رشد اقتصادی بیشتر از اثرات تکانه‌های مثبت به صورت افزایش رشد اقتصادی بوده است. همچنین، نرخ تورم و نرخ رشد مخارج جاری دولت نیز در پاسخ به تکانه‌های مثبت و منفی، رفتار کاملاً نامتقارن از خود نشان می‌دهند.

۲.۲ تکانه تکنولوژی تولید نفت و متغیرهای کلان اقتصادی

علاوه بر تکانه قیمت نفت، تکانه ارتقای تکنولوژی تولید نفت نیز می‌تواند متغیرهای کلان اقتصادی کشورهای صادرکننده را متأثر سازد. یکی از کانال‌های اثرگذاری تکانه‌های تکنولوژی، افزایش بهره‌وری عوامل تولید نفت است. سرمایه، نیروی کار و کالاهای واسطه‌ای (تجهیزات مورد نیاز برای تولید نفت) از جمله مهم‌ترین نهاده‌ها در فرآیند تولید نفت هستند و بسیاری از آنها در بخش غیرنفتی اقتصاد تولید می‌شوند. از این رو، تغییر در

بهره‌وری این نهاده‌ها ناشی از تکانه تکنولوژی، می‌تواند تولید آنها و به تبع آن تولید ناخالص داخلی غیرنفتی را متأثر سازد. همچنین ارتقای تکنولوژی می‌تواند با تغییر فرآیندهای تولید، بکارگیری تجهیزات پیشرفته، میزان تولید نفت را افزایش و هزینه‌های تولید را کاهش دهد. برای مثال، استفاده از روش‌های نوین ازدیاد برداشت، می‌تواند ضریب بازیافت نفت را افزایش دهد که این امر موجب افزایش میزان برداشت نفت از میادین می‌شود.

مسئله تغییر در میزان تولید نفت ناشی از تکانه تکنولوژی از طریق افزایش امکان صادرات نفت و کسب درآمدهای ارزی، درآمدهای دولت را افزایش می‌دهد. این موضوع، دست دولت را برای افزایش هزینه‌های عمرانی باز کرده و به تبع آن هزینه‌های نهایی تولید نیز کاهش می‌یابد. این کانال، یکی از مهم‌ترین کانال اثرگذاری تکانه تکنولوژی بر بخش غیرنفتی است. اثر تکانه تکنولوژی بر اشتغال مبهم است. اگر با ورود درآمدهای نفتی ناشی از تکانه تکنولوژی، درآمدهای خانوار افزایش یابد، ممکن است خانوار ساعات کاری خود را کاهش دهند. اما از سوی دیگر به دلیل افزایش تولید نفت ناشی از تکانه تکنولوژی، نیاز به نیروی کار در بخش نفت افزایش می‌یابد. اثر نهایی تکانه تکنولوژی بر اشتغال، به برآیند این دو اثر بستگی دارد. اثرگذاری تکانه تکنولوژی بر تورم کشورهای صادرکننده نفت نیز مبهم است. از یک طرف با افزایش تولید و صادرات نفت ناشی از این شوک، ورود درآمدهای ارزی به کشور افزایش می‌یابد و این موضوع می‌تواند میزان نقدینگی جامعه و به دنبال آن تورم را افزایش دهد. با این حال، اثرگذاری منفی بر تورم نیز قابل تصور است، زیرا همانگونه که بیان شد با افزایش درآمدهای دولت و میزان سرمایه‌گذاری‌های دولتی، هزینه نهایی تولید کاهش می‌یابد که این امر زمینه کاهش تورم را فراهم می‌کند.

از آنجا که اکثر کشورهای تولیدکننده نفت، از تکنولوژی‌های پایین استفاده می‌کنند، یکی از اقدامات این کشورها برای دسترسی به فناوری‌های به روز، انعقاد قراردادهای نفتی با شرکت‌های بین‌المللی است. در ایران نیز که قراردادهای نفتی از نوع خدماتی محسوب می‌شوند، همواره تأکید بر انتقال فناوری مورد توجه جدید قانونگذار بوده است. برای مثال در قراردادهای جدید نفتی (IPC) یکی از چالش برانگیزترین پیوسته‌ها مربوط به انتقال فناوری بوده که نگارندگان این قرارداد یکی از مزیت‌های قراردادهای جدید نسبت به قراردادهای قبلی را قابلیت این قراردادها در ارتقای فناوری در صنعت نفت می‌دانند.

بررسی مطالعات خارجی و داخلی در زمینه اثرگذاری تکانه‌های تکنولوژی بر متغیرهای اقتصادی نشان می‌دهد که در این زمینه مطالعات زیادی صورت نگرفته است. در این ارتباط زبیر (Zubair, 2019)، با طراحی یک مدل DSGE برای نیجریه، به بررسی اثرات تکانه تکنولوژی بر متغیرهای اقتصادی پرداخته و دریافته که یک تکانه مثبت بهره‌وری در بخش نفت، مصرف، سرمایه‌گذاری حقیقی، تولید نفت، تولید کل و اشتغال را افزایش داده اما تورم، نرخ ارز و تولید بخش غیرنفتی کاهش می‌دهد. مطالعه تبارعی (Tabarraei, 2018)، برای گروهی از کشورهای صادرکننده نفت، نشان می‌دهد که تکانه تکنولوژی در بخش نفت، اثر مثبت بر تولید ناخالص داخلی، مصرف و اشتغال داشته و در مقابل تورم، انباشت سرمایه و هزینه‌های دولت کاهش می‌یابد. بالکی و برون (Balke and Brown, 2018)، با طراحی یک مدل DSGE، اثرات تکانه‌های بهره‌وری در تولید نفت آمریکا بر متغیرهای کلان را بررسی کرده و دریافته که تکانه مثبت، موجب افزایش GDP، اشتغال و تولید نفت و همچنین کاهش قیمت و واردات نفت آمریکا شده است. در مطالعات داخلی، کمی‌سازی اثرات تکانه تکنولوژی در بخش نفت چندان مطرح نبوده و بیشتر بر تحلیل‌های کیفی تأکید شده است. برای مثال، امیرقدوسی و همکاران (۱۳۹۵)، به آسیب‌شناسی عدم توفیق توسعه تکنولوژیک صنعت نفت ایران پرداخته و با توجه به موضوعاتی همچون سیاست‌گذاری‌های دولت در ایجاد ساز و کارهای نهادی موثر در صنعت نفت، ایجاد ظرفیت‌های جذب تکنولوژی، ایجاد دانش از سوی شرکت‌های پیمانکار نفتی، پیشنهادهایی را برای توسعه تکنولوژیک صنعت نفت در ایران ارائه نموده‌اند. درخشان و تکلیف (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای با عنوان "انتقال و توسعه فناوری در بخش بالادستی صنعت نفت ایران" الزامات، چالش‌ها و راهکارهای این موضوع را بیان نموده و دریافته که اتکا بر سرمایه‌گذاری‌های خارجی در چارچوب قراردادهای نفتی با شرکت‌های بین‌المللی راهکار مناسبی برای انتقال و توسعه تکنولوژی در صنعت نفت نیست، مگر اینکه اولاً رشد دانش بینان و دانش عملیاتی مرتبط با صنعت نفت کشور زمینه‌های مناسبی برای جذب فناوری فراهم کرده باشد و ثانیاً حضور فعال نهادهای تنظیم‌گر با اهداف نظارت، مدیریت و بهبود کارایی در بازار فناوری توانسته باشد زمینه‌های مناسبی فراهم آورد که بتوان از ظرفیت‌های جذب به نحو مؤثری بهره‌برداری نمود.

۳. مدل تعادل عمومی پویای تصادفی

۱.۳ خانوار

در چارچوب مدل، به پیروی از ژائو و همکاران (Zhao, 2016: 105) و خیابانی و امیری (۱۳۹۳: ۱۴۲)، بخش خانوار مطلوبیت تنزیل شده انتظاری بین دوره‌ای خود را با فرایند زیر حداکثر می‌کند:

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\frac{1}{1-\eta_c} (C_t)^{1-\eta_c} + \frac{1}{1-\eta_m} \left(\frac{M_t}{P_t} \right)^{1-\eta_m} - \frac{\xi_t}{1+\eta_l} (l_t)^{1-\eta_l} \right] \quad (1)$$

به گونه‌ای که E_0 عملگر انتظارات، C_t مصرف خصوصی، $\frac{M_t}{P_t}$ مانده حقیقی پول، l_t سطح اشتغال نیروی کار و β عامل تنزیل زمان است. در این رابطه، $\frac{1}{\eta_c}$ کشش جانشینی بین دوره‌های مصرف، $\frac{1}{\eta_m}$ کشش تقاضا برای مانده حقیقی پول و $\frac{1}{\eta_l}$ کشش عرضه نیروی کار و ξ_t شوک عرضه نیروی کار است که از یک فرایند اتوگرسیو درجه یک تبعیت می‌کند. مصرف خصوصی (C_t) شامل کالاهای غیر نفتی ($C_{NO,t}$) و نفت ($C_{O,t}$) بوده و به تقلید از هوو و همکاران (Hou, 2016: 23)، رابطه آن به صورت زیر است:

$$C_t = \left[Y_1 \frac{1}{\chi_1} (C_{NO,t})^{\frac{\chi_1-1}{\chi_1}} + (1 - Y_1) \frac{1}{\chi_1} (Z_{1,t} C_{O,t})^{\frac{\chi_1-1}{\chi_1}} \right]^{\frac{\chi_1}{\chi_1-1}} \quad (2)$$

در این رابطه، Y_1 سهم کالاهای غیر نفتی را از کل مصرف و χ_1 کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف میان کالاهای غیرنفتی و نفت است که هرچقدر بزرگ‌تر باشد، کشش جانشینی میان این دو نوع کالا بیشتر خواهد بود. $Z_{1,t}$ نیز شوک بهره‌وری مصرف نفت خانوارها را نشان می‌دهد و از طریق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\ln(Z_{1,t}) = \rho_{Z_1} \ln(Z_{1,t-1}) + \varepsilon_{Z_1,t} \quad \varepsilon_{Z_1,t} \sim N(0, \sigma_{Z_1}^2) \quad (3)$$

قید هزینه خانوار برای کالاهای غیرنفتی و نفت به صورت رابطه (۴) خواهد بود که در آن $P_{NO,t}$ شاخص قیمت کالاهای غیرنفتی و $P_{O,t}$ شاخص قیمت کالاهای نفتی است.

$$P_{NO,t} C_{NO,t} + P_{O,t} C_{O,t} = P_t C_t \quad (4)$$

به منظور تعیین سطح بهینه تقاضا خانوار برای کالاهای غیرنفتی و کالای نفت، با حداقل سازی مخارج مصرفی (رابطه ۴) نسبت به قید رابطه ۲، می توان سطح بهینه مصرف کالاهای غیرنفتی و نفت و همچنین شاخص قیمت کل را به صورت زیر به دست آورد.

$$C_{NO,t} = Y_1 \left(\frac{P_{NO,t}}{P_t} \right)^{-\chi_1} C_t \quad (5)$$

$$C_{O,t} = (1 - Y_1) \left(\frac{P_{O,t}}{P_t} \right)^{-\chi_1} C_t \quad (6)$$

$$P_t = \left[Y_1 (P_{NO,t})^{1-\chi_1} + (1 - Y_1) (P_{O,t})^{1-\chi_1} \right]^{\frac{1}{1-\chi_1}} \quad (7)$$

از سوی دیگر قید بودجه واقعی خانوار نیز به صورت زیر قابل تعریف است.

$$C_t + \Omega_{I,t} I_{NO,t} + m_t + b_t + t_t = w_t L_t + r_t^k K_{NO,t-1} + \frac{m_{t-1}}{\pi_t} + (1 + r_{t-1}^B) \frac{b_{t-1}}{\pi_t} + div_t \quad (8)$$

که w_t نرخ دستمزد حقیقی، r_t^k نرخ بازده حقیقی سرمایه، r_{t-1}^B نرخ بازدهی اوراق قرضه داخلی، $\pi_t = \frac{P_t}{P_{t-1}}$ نرخ تورم، $\Omega_{I,t} = \frac{P_{I,t}}{P_t}$ قیمت نسبی سرمایه، $m_t = \frac{M_t}{P_t}$ مانده حقیقی پول، $b_t = \frac{B_t}{P_t}$ مقدار حقیقی اوراق قرضه، $I_{NO,t}$ سرمایه ناخالص، div_t سود حقیقی توزیع شده بنگاه برای خانوار و t_t نیز خالص مالیات ها است.

رابطه انباشت سرمایه که ارتباط میان سرمایه گذاری و انباشت سرمایه را نشان می دهد و به عنوان دومین قید خانوارها مطرح است، همانند مطالعه خان و تسوکالاس (khan and Tsoukalas, 2011: 119)، به صورت زیر فرض شده است.

$$K_{NO,t} = (1 - \delta_1) K_{NO,t-1} + \left[1 - S \left(\frac{\varepsilon_{NO,t}^I I_{NO,t}}{I_{NO,t-1}} \right) \right] I_{NO,t} \quad (9)$$

این رابطه، δ نرخ استهلاک، ε_t^I تکانه سرمایه گذاری و $S(\cdot)$ تابع هزینه تعدیل سرمایه گذاری است. همچنین فرض می شود که تکانه سرمایه گذاری از یک فرایند اتورگرسیو مرتبه اول تبعیت می کند.

هدف خانوارها یافتن مسیرهای بهینه برای مصرف، سرمایه گذاری، حجم سرمایه، عرضه نیروی کار، تراز حقیقی پول و اوراق قرضه است، به نحوی که تابع مطلوبیت (۱) نسبت به قیود (۸) و (۹) حداکثر شود.

$$\mathcal{L} = E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left\{ \left[\frac{1}{1-\eta_c} (C_t)^{1-\eta_c} + \frac{1}{1-\eta_m} \left(\frac{M_t}{P_t} \right)^{1-\eta_m} - \frac{\xi_t}{1+\eta_l} (l_t)^{1+\eta_l} \right] + \lambda_t (w_t L_t + r_t^k K_{NO,t-1} + \frac{m_{t-1}}{\pi_t} + (1+r_{t-1}^B) \frac{b_{t-1}}{\pi_t} + div_t - C_t - \Omega_{l,t} I_{NO,t} - m_t - b_t - t_t) + \mu_t \left[(1-\delta_1) K_{NO,t-1} + I_{NO,t} \left[1 - S \left(\frac{\varepsilon_{NO,t}^l I_t}{I_{t-1}} \right) \right] - K_{NO,t} \right] \right\} \quad (10)$$

در رابطه فوق \mathcal{L} تابع لاگرانژ، $\lambda_{1,t}$ ضریب لاگرانژ مرتبط با قید بودجه و $\mu_{1,t}$ ضریب لاگرانژ مربوط به رابطه انباشت سرمایه است. شروط مرتبه اول با توجه به معادله فوق به صورت زیر است:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_t} = 0 \Rightarrow C_t^{-\eta_c} - \lambda_t = 0 \Rightarrow \lambda_t = C_t^{-\eta_c} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial l_t} = 0 \Rightarrow -\beta^t \xi_t (l_t)^{-\eta_l} + \beta^t \lambda_t w_t = 0 \Rightarrow w_t = \frac{\xi_t (l_t)^{-\eta_l}}{C_t^{-\eta_c}} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial b_t} = 0 \Rightarrow -\beta^t \lambda_t + E_t \beta^{t+1} (1+r_t^B) \frac{\lambda_{t+1}}{\pi_{t+1}} = 0 \Rightarrow E_t \frac{\lambda_t}{\lambda_{t+1}} = \beta E_t \frac{(1+r_t^B)}{\pi_{t+1}} \quad (13)$$

با جایگزینی رابطه (۱۱) در رابطه (۱۳)، معادله اولر به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$E_t \frac{C_t^{-\eta_c}}{C_{t+1}^{-\eta_c}} = \beta E_t \frac{(1+r_t^B)}{\pi_{t+1}} \quad (14)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial m_t} = 0 \Rightarrow (m_t)^{-\eta_m} = \lambda_t \left(1 - \beta E_t \frac{\lambda}{\pi_{t+1}} \right)$$

با توجه به اینکه $\frac{1}{(1+r_t^B)} = \beta E_t \frac{\lambda}{\pi_{t+1}}$ است، با جایگذاری آن در رابطه فوق، معادله تقاضای حقیقی پول به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\Rightarrow (m_t)^{-\eta_m} = \left(\frac{r_t^B}{1+r_t^B} \right) C_t^{-\eta_c} \quad (15)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial I_t} = 0 \Rightarrow -\Omega_{l,t} + q_t \left\{ 1 - S \left(\frac{\varepsilon_{NO,t}^l I_{NO,t}}{I_{NO,t-1}} \right) - I_{NO,t} \frac{\varepsilon_{NO,t}^l}{I_{NO,t-1}} S' \left(\frac{\varepsilon_{NO,t}^l I_{NO,t}}{I_{NO,t-1}} \right) \right\} + \beta E_t \left\{ q_{t+1} \varepsilon_{NO,t+1}^l \left(\frac{I_{NO,t+1}}{I_{NO,t}} \right)^2 S' \left(\frac{\varepsilon_{NO,t+1}^l I_{NO,t+1}}{I_{NO,t}} \right) \right\} = 0 \quad (16)$$

در اینجا $q_t = \frac{\mu_{1,t}}{\lambda_{1,t}}$ همان نرخ نهایی توپین است که برابر با نسبت ارزش بازاری بر حسب ارزش جایگزینی و یا ارزش سرمایه نصب شده بر حسب هزینه جایگزینی است.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K_{NO,t}} = 0 \Rightarrow E_t [\beta^{t+1} \lambda_{t+1} r_{t+1}^k] - \beta^t \mu_t + E_t [\beta^{t+1} \mu_{t+1} (1-\delta_1)] = 0$$

$$\Rightarrow q_t = \beta E_t \left[\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} r_{t+1}^k + q_{t+1} (1-\delta) \right] \quad (17)$$

معادله فوق یک نوع قیمت‌گذاری برای سرمایه است که بیان می‌کند، قیمت نسبی سرمایه برابر با بازدهی مورد انتظاری است که در دوره بعد خواهیم گرفت.

۱.۱.۳ مصرف و سرمایه‌گذاری داخلی و وارداتی

همانند مطالعه گالی و موناسیلی (Gali and Monacelli, 2005: 709) و اولادونی (2020: 8)، بخشی از کالاهای غیرنفتی مصرفی خانوار در داخل تولید شده و بخشی از طریق واردات تأمین می‌شود. رابطه زیر شاخص مصرف کالاهای غیرنفتی خانوار $(C_{NO,t})$ را به صورت ترکیبی از کالاهای غیرنفتی تولید داخل $(C_{NO,t}^D)$ و کالاهای غیرنفتی وارداتی $(C_{NO,t}^F)$ معرفی می‌کند.

$$C_{NO,t} = \left[Y_2^{\frac{1}{\chi_2}} (C_{NO,t}^D)^{\frac{\chi_2-1}{\chi_2}} + (1 - Y_2)^{\frac{1}{\chi_2}} (C_{NO,t}^F)^{\frac{\chi_2-1}{\chi_2}} \right]^{\frac{\chi_2}{\chi_2-1}} \quad (18)$$

که Y_2 سهم کالاهای غیرنفتی داخلی در شاخص کالاهای غیرنفتی و χ_2 کشش بین دوره‌ای مصرف میان کالاهای غیرنفتی داخلی و وارداتی است. قید هزینه خانوار برای کالاهای غیرنفتی تولید داخل و کالاهای غیرنفتی وارداتی به صورت زیر است:

$$P_{NO,t}^D C_{NO,t}^D + P_{NO,t}^F C_{NO,t}^F = P_{NO,t} C_{NO,t} \quad (19)$$

که در آن $P_{NO,t}^D$ قیمت کالاهای غیرنفتی داخلی و $P_{NO,t}^F$ قیمت کالاهای غیرنفتی وارداتی است. با حداقل‌سازی مخارج مصرف‌کننده نسبت به قید مصرف سطح مشخصی از مصرف کالاهای غیرنفتی، تقاضای بهینه برای کالاهای غیرنفتی داخلی و وارداتی و همچنین شاخص قیمت کالاهای غیرنفتی به دست می‌آید.

$$C_{NO,t}^D = Y_2 \left(\frac{P_{NO,t}^D}{P_{NO,t}} \right)^{-\chi_2} C_{NO,t} \quad (20)$$

$$C_{NO,t}^F = (1 - Y_2) \left(\frac{P_{NO,t}^F}{P_{NO,t}} \right)^{-\chi_2} C_{NO,t} \quad (21)$$

$$P_{NO,t} = \left[\alpha_2^{\frac{1}{\chi_2}} (P_{NO,t}^D)^{\frac{\chi_2-1}{\chi_2}} + (1 - \alpha_2)^{\frac{1}{\chi_2}} (P_{NO,t}^F)^{\frac{\chi_2-1}{\chi_2}} \right]^{\frac{\chi_2}{\chi_2-1}} \quad (22)$$

در ارتباط با سرمایه‌گذاری خانوار نیز فرایندی مشابه با مصرف وجود دارد و فرض می‌شود که کل سرمایه‌گذاری‌ها به صورت ترکیبی از کالاهای سرمایه‌ای تولید داخل و وارداتی و به شکل زیر است:

$$I_{NO,t} = \left[\omega_1^{\frac{1}{\gamma_1}} (I_{NO,t}^D)^{\frac{\gamma_1-1}{\gamma_1}} + (1 - \omega_1)^{\frac{1}{\gamma_1}} (I_{NO,t}^F)^{\frac{\gamma_1-1}{\gamma_1}} \right]^{\frac{\gamma_1}{\gamma_1-1}} \quad (23)$$

در اینجا نیز $I_{NO,t}^D$ میزان کالای سرمایه‌ای داخلی و $I_{NO,t}^F$ کالای سرمایه‌ای وارداتی است. ω_1 نشان‌دهنده سهم کالای سرمایه‌ای داخلی و γ_1 کشش جانشینی بین کالاهای سرمایه‌ای داخلی و وارداتی است. از این رو، قید هزینه خانوار برای سرمایه‌گذاری به صورت زیر است که در آن به ترتیب $P_{NO,t}^{ID}$ و $P_{NO,t}^{IF}$ قیمت کالای سرمایه‌ای داخلی و وارداتی است.

$$P_{NO,t}^{ID} I_{NO,t}^D + P_{NO,t}^{IF} I_{NO,t}^F = P_{NO,t}^I I_{NO,t} \quad (24)$$

با حداقل‌سازی مخارج سرمایه‌گذاری نسبت به قید (۲۳)، تقاضا برای کالای سرمایه‌ای داخلی و وارداتی و همچنین شاخص قیمت سرمایه‌گذاری کل به صورت زیر حاصل می‌شود.

$$I_{NO,t}^D = \omega_1 \left(\frac{P_{NO,t}^{ID}}{P_{NO,t}^I} \right)^{-\gamma_1} I_{NO,t} \quad (25)$$

$$I_{NO,t}^F = (1 - \omega_1) \left(\frac{P_{NO,t}^{IF}}{P_{NO,t}^I} \right)^{-\gamma_1} I_{NO,t} \quad (26)$$

$$P_{NO,t}^I = \left[\omega_1^{\frac{1}{\gamma_1}} (P_{NO,t}^{ID})^{\frac{\gamma_1-1}{\gamma_1}} + (1 - \omega_1)^{\frac{1}{\gamma_1}} (P_{NO,t}^{IF})^{\frac{\gamma_1-1}{\gamma_1}} \right]^{\frac{\gamma_1}{\gamma_1-1}} \quad (27)$$

۲.۳ بنگاه‌های تولیدکننده غیرنفتی

۱.۲.۳ بنگاه تولیدکننده کالای واسطه‌ای

این بنگاه‌ها در شرایط رقابت کامل فعالیت نموده و به پیروی از مطالعه بودنسترین و همکاران (Bodenstein, 2011: 171)، با ترکیب نهاده نفت ($X_{O,t}$) و نهاده ترکیبی (VA_t) تحت فرآیند زیر، اقدام به تولید کالاهای واسطه‌ای (y_t^{NO}) می‌کنند.

$$y_t^{NO}(i) = \left[(\Gamma_Y)^{\frac{1}{\varphi_1}} (VA_t)^{\frac{\varphi_1-1}{\varphi_1}} + (1 - \Gamma_Y)^{\frac{1}{\varphi_1}} (Z_{2,t} X_{O,t})^{\frac{\varphi_1-1}{\varphi_1}} \right]^{\frac{\varphi_1}{\varphi_1-1}} \quad (28)$$

در این رابطه Γ_Y سهم نهاده ترکیبی از تولید کالاهای غیرنفتی و φ_1 نیز کشش جانشینی بین نهاده ترکیبی و نهاده نفت در تولید کالای غیر نفتی است. $Z_{2,t}$ نیز شوک بهره‌وری مصرف نفت در بخش تولید کالای واسطه‌ای است که به صورت رابطه (۲۹) تعیین می‌شود. همچنین نهاده ترکیبی، از ترکیب نیروی کار و سرمایه که به ترتیب با قیمت‌های w_t و r_t^k از خانوار دریافت می‌شود، براساس تابع کاپ‌داگلاس (۳۰) تولید می‌گردد.

$$\ln(Z_{2,t}) = +\rho_{Z_2} \ln(Z_{2,t-1}) + \varepsilon_{Z_2,t} \quad \varepsilon_{Z_2,t} \sim N(0, \sigma_{Z_2}^2) \quad (29)$$

$$VA_t(i) = A_t^{VA} (L_{NO,t})^{\theta_1} (K_{NO,t-1})^{1-\theta_1} \quad (30)$$

مسئله پیش روی بنگاه‌های واسطه‌ای، حداقل‌سازی هزینه مقید به تابع تولید (۳۱) است:

$$\min_{L_t, K_{t-1}, X_{O,t}} E = w_t L_{NO,t} + r_t^k K_{NO,t-1} + \Omega_{O,t} X_{O,t} + \psi_{,t}(i) \left\{ y_t^{NO}(i) - \left[(\Gamma_Y)^{\frac{1}{\varphi_1}} \left(A_t^{VA} (L_{NO,t})^{\theta_1} (K_{NO,t-1})^{1-\theta_1} \right)^{\frac{\varphi_1-1}{\varphi_1}} + (1 - \Gamma_Y)^{\frac{1}{\varphi}} (Z_{2,t} X_{O,t})^{\frac{\varphi_1-1}{\varphi_1}} \right]^{\frac{\varphi_1}{\varphi_1-1}} \right\} \quad (31)$$

در مسئله حداقل‌سازی فوق، $\psi_t(i)$ هزینه نهایی تولید کالای واسطه‌ای $\Omega_{O,t}$ بیانگر قیمت نفت است. شروط مرتبه اول مسئله فوق به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial E}{\partial L_{NO,t}} = 0 \Rightarrow w_t - \psi_{,t}(i) \theta_1 (y_t^{NO}(i))^{\frac{1}{\varphi_1}} (\Gamma_Y)^{\frac{1}{\varphi_1}} \frac{1}{L_{NO,t}} (VA_t(i))^{\frac{\varphi_1-1}{\varphi_1}} = 0 \quad (32)$$

$$\frac{\partial E}{\partial K_{t-1}} = 0 \Rightarrow r_t^k - \psi_{,t}(i) (1 - \theta_1) (y_t^{NO}(i))^{\frac{1}{\varphi_1}} (\Gamma_Y)^{\frac{1}{\varphi_1}} \frac{1}{K_{NO,t-1}} (VA_t(i))^{\frac{\varphi_1-1}{\varphi_1}} = 0 \quad (33)$$

$$\frac{\partial E}{\partial X_{O,t}} = 0 \Rightarrow \Omega_{O,t} - \psi_{,t}(i) (y_t^{NO}(i))^{\frac{1}{\varphi_1}} (1 - \Gamma_Y)^{\frac{1}{\varphi_1}} (Z_{2,t})^{\frac{\varphi_1-1}{\varphi_1}} (X_{O,t}(i))^{-\frac{1}{\varphi_1}} = 0 \quad (34)$$

از دو رابطه (۳۲) و (۳۳) داریم:

$$\Rightarrow r_t^k \theta_1 K_{NO,t-1} = w_t (1 - \theta_1) L_{NO,t} \quad (35)$$

از سوی دیگر، از دو رابطه (۳۲) و (۳۴) داریم:

$$\Rightarrow X_{O,t}(i) = (\theta_1)^{-\varphi_1} \left(\frac{1-\Gamma_Y}{\Gamma_Y} \right) \frac{1}{Z_{2,t}} \left(\frac{w_t L_{NO,t}}{\Omega_{O,t}} \right)^{\varphi_1} (VA_t(i))^{1-\varphi_1} \quad (36)$$

با جایگذاری مقدار تعادلی $L_{NO,t}$ و $K_{NO,t-1}$ در رابطه (۳۰)، مقدار تعادلی VA_t به دست می‌آید. سپس با جایگذاری مقدار تعادلی $X_{O,t}$ و VA_t در تابع تولید (رابطه ۲۸) می‌توان هزینه نهایی تولید را به صورت زیر به دست آورد:

$$mc_t = \psi_t = \left\{ \Gamma^\varphi [(1-\theta)^{-(1-\theta)} (\theta)^{-\theta} (A_t^{VA})^{-1} (r_t)^{1-\theta} w_t^\theta]^{1-\varphi} (1-\Gamma)^\varphi (p_{O,t})^{1-\varphi} \right\}^{\frac{1}{1-\varphi}} \quad (37)$$

هدف بعدی بنگاه‌های واسطه‌ای، تعیین سطحی از قیمت است که جریان سود آن را در طول یک دوره زمانی حداکثر کند. در این مرحله بنگاه‌ها با مسئله‌ای به عنوان چسبندگی قیمت مواجه هستند. از این رو، برای وارد کردن فرض چسبندگی قیمت از روش کالوو (Calvo, 1983)، استفاده می‌شود. کالوو به منظور الگوسازی چسبندگی قیمت، از مبانی احتمال استفاده کرده و بنگاه‌های واسطه‌ای اقتصاد را به دو دسته تقسیم می‌کند. دسته‌ای از بنگاه‌ها با احتمال ζ درصد ($\zeta \in [0,1]$) قیمت خود را ثابت نگه می‌دارند و بقیه بنگاه‌ها با احتمال $(1-\zeta)$ درصد دوباره قیمت بهینه جدید انتخاب می‌کنند (توکلیان و صارم، ۱۳۹۶: ۱۴۶). بنابراین برای ζ درصد از بنگاه‌هایی که قادر به تعدیل قیمت خود نیستند، قیمت در هر دوره با توجه به تورم دوره قبل به صورت زیر شاخص بندی می‌شود.

$$P_{NO,t}(i) = (\pi_{NO,t-1})^\tau P_{NO,t-1}(i) \quad (38)$$

که $\pi_{NO,t} = \frac{P_{NO,t}}{P_{NO,t-1}}$ نرخ ناخالص تورم کالای واسطه‌ای و τ پارامتر درجه شاخص بندی قیمت است. مسئله بنگاه‌هایی که در دوره t قادر به تعدیل قیمت خود هستند، انتخاب قیمت $P_{NO,t}^*(i)$ به نحوی است که جمع انتظاری و تنزیل شده سود با توجه به تابع تقاضای کالای واسطه به وسیله تولیدکنندگان نهایی حداکثر شود. این مسئله به صورت زیر است:

$$\max_{P_{NO,t}(i)} E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\zeta\beta)^j \frac{\lambda_{1,t+j}}{\lambda_{1,t}} \left[\left(\frac{\prod_{k=0}^{j-1} (\pi_{NO,t+k})^\tau}{P_{NO,t+j}} \right)^{1-\chi_y} (1-\chi_y) (P_{NO,t}^*)^{-\chi_y} - mc_{t+j} (-\chi_y) \left(\frac{\prod_{k=0}^{j-1} (\pi_{NO,t+k})^\tau}{P_{NO,t+j}} \right)^{-\chi_y} (P_{NO,t}^*)^{-\chi_y-1} \right] Y_{t+j}^{NO} = 0 \quad (39)$$

شرط مرتبه اول رابطه فوق، بعد از ساده‌سازی به صورت زیر خواهد بود:

$$P_{NO,t}^* = \frac{E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\zeta\beta)^j \frac{\lambda_{1,t+j}}{\lambda_{1,t}} m c_{t+j} \left(\frac{P_{NO,t+j}}{\prod_{k=0}^{j-1} (\pi_{NO,t+k})} \right)^{\chi_y} Y_{t+j}^{NO}}{Q_t E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\zeta\beta)^j \frac{\lambda_{1,t+j}}{\lambda_{1,t}} \left(\frac{P_{NO,t+j}}{\prod_{k=0}^{j-1} (\pi_{NO,t+k})} \right)^{\chi_y - 1} Y_{t+j}^{NO}} \quad (40)$$

با تقسیم رابطه (۴۰) بر $P_{NO,t}$ و با تعریف $Q_t = \frac{P_{NO,t}^*}{P_{NO,t}}$ ، $\mu = \frac{\chi_y}{\chi_y - 1}$ و $C_{t+j} = Y_{t+j}^{NO}$ قابل تعریف است:

$$\left[E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\zeta\beta)^j \left(\frac{P_{NO,t+j}}{P_{NO,t}} \right)^{(\chi_y - 1)} \left(\frac{P_{NO,t-1}}{P_{NO,t+j-1}} \right)^{\tau(\chi_y - 1)} (Y_{t+j}^{NO})^{1-\delta} \right] Q_t = \mu \left[E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\zeta\beta)^j \left(\frac{P_{NO,t+j}}{P_{NO,t}} \right)^{(\chi_y - 1)} \left(\frac{P_{NO,t-1}}{P_{NO,t+j-1}} \right)^{\tau(\chi_y - 1)} (Y_{t+j}^{NO})^{1-\delta} \right] \quad (41)$$

از سوی دیگر با توجه به اینکه در هر دوره ζ درصد از بنگاه‌ها، قیمت خود را از رابطه (۳۸) و $1 - \zeta$ درصد از باقیمانده نیز قیمت بهینه خود $P_{NO,t}^*$ را از طریق مسئله (۳۹) تعیین می‌کنند، شاخص قیمت کالای داخلی به صورت خواهد بود.

$$P_{NO,t} = \left[\zeta (\pi_{NO,t-1}^{\tau} P_{NO,t-1})^{1-\chi_y} + (1 - \zeta) (P_{NO,t}^*)^{1-\chi_y} \right]^{\frac{1}{1-\chi_y}} \quad (42)$$

با لگاریتمی خطی کردن رابطه (۴۱) و لحاظ کردن معادله (۴۲)، منحنی فیلیپس نتوکنیزی به صورت لگاریتمی خطی زیر به دست می‌آید:

$$\hat{\pi}_t = \frac{\tau}{1+\beta\tau} \hat{\pi}_{t-1} + \frac{\beta}{1+\beta\tau} E_t \hat{\pi}_{t+1} + \frac{(1-\zeta\beta)(1-\zeta)}{(1+\beta\tau)\zeta} \widehat{m\bar{c}}_t \quad (43)$$

۲.۲.۳ بنگاه تولیدکننده کالای نهایی

فرض می‌شود که تولیدکننده کالای نهایی، کالای تولید شده توسط تولیدکنندگان واسطه‌ای را از طریق تکنولوژی CES زیر ترکیب می‌کند:

$$y_t^{NO} = \left[\int_0^1 y_t^{NO}(i)^{\frac{\chi_y - 1}{\chi_y}} di \right]^{\frac{\chi_y}{\chi_y - 1}} \quad (44)$$

که χ_y کشش قیمتی تقاضای کالای نام است. تولیدکنندگان کالای نهایی، به دنبال حداکثر کردن سود از طریق تعیین مقدار بهینه کالای هستند و تابع هدف آن‌ها به صورت زیر است:

$$\max_{y_t^{NO}(i)} \mathcal{L} = P_{NO,t} \left[\int_0^1 y_t^{NO}(i)^{\frac{\chi_y-1}{\chi_y}} di \right]^{\frac{\chi_y}{\chi_y-1}} - \int_0^1 P_{NO,t}(i) y_t^{NO}(i) di \quad (45)$$

در اینجا $P_{NO,t}$ قیمت کالای نهایی و $P_{NO,t}(i)$ قیمت کالای واسطه‌ای است. با حل مسئله فوق، تابع تقاضای کالای واسطه‌ای به صورت رابطه (۴۶) به دست می‌آید که با جایگذاری آن در رابطه (۴۴)، شاخص قیمت کالای تولیدکننده به صورت رابطه (۴۷) حاصل می‌شود.

$$y_t^{NO}(i) = \left(\frac{P_{NO,t}(i)}{P_{NO,t}} \right)^{-\chi_y} y_t^{NO} \quad (46)$$

$$P_{NO,t} = \left[\int_0^1 (P_{NO,t}(i))^{(1-\chi_y)} di \right]^{\frac{1}{1-\chi_y}} \quad (47)$$

۳.۳ بنگاه واردکننده

این بنگاه‌ها کالاهای همگن را از بازارهای جهانی خریداری و به کالای نهایی تبدیل می‌کنند. در نهایت این کالاها توسط خانوار به عنوان کالای مصرفی و سرمایه‌ای و یا توسط بنگاه‌های صنعت نفت به عنوان کالای واسطه‌ای و سرمایه‌ای خریداری می‌شوند. کالاهای نهایی وارداتی، ترکیبی از کالای متمایز است که با فناوری تولید زیر، توسط بنگاه‌های واردکننده عرضه می‌شود.

$$IM_t^F = \left[\int_0^1 IM_t^F(i)^{\frac{\chi_{IM}^F-1}{\chi_{IM}^F}} di \right]^{\frac{\chi_{IM}^F}{\chi_{IM}^F-1}} \quad (48)$$

که χ_{IM}^F کشش قیمتی تقاضا برای کالاهای وارداتی است. واردکنندگان به دنبال حداکثرسازی سود هستند و تابع هدف آن‌ها به شکل زیر خواهد بود.

$$\max_{IM_t^F(i)} \mathcal{L} = P_{IM,t} \left[\int_0^1 IM_t^F(i)^{\frac{\chi_{IM}^F-1}{\chi_{IM}^F}} di \right]^{\frac{\chi_{IM}^F}{\chi_{IM}^F-1}} - \int_0^1 P_{IM,t}(i) IM_t^F(i) di \quad (49)$$

با حل مسئله فوق، تابع تقاضای کالاهای مصرفی که هر کدام از بنگاه‌های واردکننده با آن مواجه هستند به صورت رابطه (۴۹) به دست می‌آید که با جایگذاری آن در رابطه (۴۸)، شاخص قیمت کالای وارداتی (رابطه ۵۰) حاصل می‌شود.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial IM_t^F} = 0 \quad \Rightarrow \quad IM_t^F(i) = \left(\frac{P_{IM,t}(i)}{P_{IM,t}} \right)^{-\chi_{IM}^F} IM_t^F \quad (50)$$

$$P_{IM,t} = \left[\int_0^1 \left(P_{IM,t}(i) \right)^{(1-\chi_{IM}^F)} di \right]^{\frac{1}{(1-\chi_{IM}^F)}} \quad (51)$$

با توجه به اینکه واردکنندگان در وضعیت رقابت انحصاری کالای خود را عرضه می‌کنند، قدرت قیمت‌گذاری دارند و از این حیث، چهارچوب تعیین قیمت توسط بنگاه‌های وارداتی مشابه چهارچوب در نظر گرفته شده برای بنگاه‌های واسطه‌ای است. برای این منظور همانند مدل آدولفسون و همکاران (Adolfson, 2007: 484) از روش کالوو (۱۹۸۳) استفاده شده و مسئله نامقید بنگاه‌های واردکننده کالاهای وارداتی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} \max_{P_{IM,t}(i)} E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta S_{IM})^j \frac{\lambda_{IM,t+j}}{\lambda_{IM,t}} & \left[\left(\frac{\prod_{k=0}^{j-1} (\pi_{IM,t+k})^{\tau_{IM}} P_{IM,t}(i)}{P_{IM,t+j}} \right)^{1-\chi_{IM}^F} - \right. \\ \left. mc_{IM,t+j} \left(\frac{\prod_{k=0}^{j-1} (\pi_{IM,t+k})^{\tau_{IM}} P_{IM,t}(i)}{P_{IM,t+j}} \right)^{-\chi_{IM}^F} \right] & IM_{t+j}^F(i) \end{aligned} \quad (52)$$

در رابطه فوق با توجه $mc_{IM,t+j}$ هزینه نهایی حقیقی بنگاه واردکننده است که از تقسیم هزینه نهایی اسمی به شاخص قیمت کالای وارداتی، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$mc_{IM,t+j} = \frac{MC_{IM,t+j}}{P_{IM,t+j}} = \frac{S_{t+j} P_{IM,t+j}^W}{P_{IM,t+j}} \quad (53)$$

که در آن S_{t+j} نرخ ارز اسمی و $P_{IM,t+j}^W$ قیمت جهانی کالای وارداتی است. در اینجا فرض می‌شود که بنگاه‌های واردکننده، قیمت را بیشتر از هزینه خرید خود در نظر می‌گیرند و سود می‌کنند. در این حالت $mc_{IM,t+j}$ برابر شکاف قانون قیمت واحد بوده و بیانگر میزان انحراف قیمت جهانی کالاهای وارداتی از قیمت آن در بازار داخلی است (منظور و تقی‌پور، ۱۳۹۴). همانند آنچه که برای بنگاه تولیدکننده کالای واسطه‌ای انجام شد، پس از محاسبه

مدلسازی اثرات تکانه‌های قیمت نفت ... (حسین توکلبان و دیگران) ۷۳

شرط مرتبه اول از رابطه (۵۲)، شاخص قیمت کالای وارداتی را به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$P_{IM,t} = \left[\varsigma_{IM} ((\pi_{IM,t})^{\tau_{IM}} P_{IM,t})^{1-\chi_{IM}^F} + (1 - \varsigma_{IM})(P_{IM,t}^*)^{1-\chi_{IM}^F} \right]^{\frac{1}{1-\chi_{IM}^F}} \quad (54)$$

همچنین می‌توان رابطه پویایی‌های تورم کالای مصرفی وارداتی را به صورت لگاریتم خطی، به صورت زیر به دست آورد:

$$\hat{\pi}_{IM,t} = \frac{\tau_{IM}}{1+\beta\tau_{IM}} \hat{\pi}_{IM,t-1} + \frac{\beta}{1+\beta\tau_{IM}} E_t \hat{\pi}_{IM,t+1} + \frac{(1-\beta\varsigma_{IM})(1-\varsigma_{IM})}{(1+\beta\tau_{IM})\varsigma_{IM}} \widehat{mc}_{IM,t} \quad (55)$$

۴.۳ بخش نفت

در این مطالعه برای الگوسازی بخش نفت از مدل برقولت و همکاران (Bergholt, 2019)، استفاده شده اما تغییرات اندکی در آن لحاظ شده است. نخست اینکه مولفه‌هایی همچون تولید فعلی و از بین رفتن ذخایر دوره قبل به دلیل عدم رعایت موازین تولید صیانتی از میدان در رابطه ذخایر نفت لحاظ شده است. دوم اینکه بخش نفت به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمت اول شرکت‌های زنجیره عرضه هستند که کالاها و خدماتی را تولید می‌کنند که برای تولید نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شرکت‌ها با استفاده از نیروی کار، سرمایه و همچنین کالاهای واسطه‌ای که از بخش غیرنفتی دریافت می‌کنند، خدماتی از جنس تولید نفت را به شرکت ملی نفت ارائه می‌دهند. از این رو، ارتباط بخش نفت با بخش غیرنفتی از این طریق برقرار می‌شود و اثرگذاری بخش نفت تنها مختص به کانال ورود درآمدهای ارزی ناشی از صادرات نفت نخواهد بود. قسمت دوم، همان شرکت ملی نفت است که با استفاده از خدمات تولیدی بخش اول، به استخراج نفت می‌پردازد.

۱.۴.۳ سرمایه‌گذاری در بخش نفت

سرمایه‌گذاری در بخش نفت به صورت ترکیبی از کالاهای سرمایه‌ای تولید داخل و وارداتی به صورت زیر خواهد بود.

$$I_{O,t} = \left[(\omega_2)^{\frac{1}{\gamma_2}} (I_{O,t}^D)^{\frac{\gamma_2-1}{\gamma_2}} + (1 - \omega_2)^{\frac{1}{\gamma_2}} (I_{O,t}^F)^{\frac{\gamma_2-1}{\gamma_2}} \right]^{\frac{\gamma_2}{\gamma_2-1}} \quad (56)$$

$$I_{O,t}^D = I_{NIOC,t} + \beta_F F_t + \varepsilon_t^{NIOC} \quad (57)$$

که $I_{O,t}^D$ کالای سرمایه‌ای داخلی و $I_{O,t}^F$ کالای سرمایه‌ای وارداتی است. ω_2 نشان دهنده سهم کالای سرمایه‌ای داخلی و γ_2 کشش جانشینی بین کالاهای سرمایه‌ای داخلی و وارداتی است. $I_{NIOC,t}$ میزان سرمایه‌گذاری شرکت ملی نفت از منابع داخلی خود و $\beta_F F_t$ نیز میزان سرمایه‌ای است که صندوق توسعه ملی برای سرمایه‌گذاری در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز اختصاص می‌دهد. همچنین فرض می‌شود که قیمت سرمایه‌گذاری داخلی و وارداتی در بخش نفتی به ترتیب برابر با قیمت کالای مصرفی داخلی و وارداتی است. بنابراین قید هزینه بنگاه‌ها برای سرمایه‌گذاری در این بخش به صورت زیر است.

$$P_{NO,t}^D I_{O,t}^D + P_{NO,t}^F I_{O,t}^F = P_t^I I_{O,t} \quad (58)$$

با حداقل سازی رابطه (۵۸) نسبت به قید (۵۶)، تقاضا برای کالای سرمایه‌ای داخلی (رابطه ۵۹) و وارداتی (رابطه ۶۰) بخش نفت، استخراج می‌شود و با جایگزاری آنها در رابطه (۵۸)، قیمت سرمایه‌گذاری کل بخش نفت به صورت رابطه (۶۱) به دست می‌آید.

$$I_{O,t}^D = \omega_2 \left(\frac{P_{NO,t}^D}{P_t^I} \right)^{-\gamma_2} I_{O,t} \quad (59)$$

$$I_{O,t}^F = (1 - \omega_2) \left(\frac{P_{NO,t}^F}{P_t^I} \right)^{-\gamma_2} I_{O,t} \quad (60)$$

$$P_t^I = \left[\omega_2 (P_{NO,t}^D)^{1-\gamma_2} + (1 - \omega_2) (P_{NO,t}^F)^{1-\gamma_2} \right]^{\frac{1}{1-\gamma_2}} \quad (61)$$

همچنین، رابطه انباشت سرمایه در بخش نفت به صورت معادله (۶۲) فرض شده که در آن، δ_2 نرخ استهلاک و $S(\cdot)$ تابع هزینه تعدیل سرمایه‌گذاری است.

$$K_{O,t} = (1 - \delta_2) K_{O,t-1} + \left[1 - S \left(\frac{I_{O,t}}{I_{O,t-1}} \right) \right] I_{O,t} \quad (62)$$

۲.۴.۳ شرکت‌های زنجیره عرضه در بخش نفت

تابع تولید شرکت‌های موجود در زنجیره عرضه به صورت زیر است:

$$y_{S,t} = (X_{S,t})^{\theta_x} (K_{O,t-1})^{\theta_k} (L_{O,t})^{\theta_l} \quad (63)$$

در رابطه فوق، $Y_{S,t}$ میزان تولید کالاهای زنجیره عرضه صنعت نفت، $X_{S,t}$ نهاده‌های واسطه‌ای (مانند قطعات، تجهیزات و مواد مورد نیاز برای استخراج)، $K_{O,t-1}$ سرمایه و $L_{O,t}$ نیروی کار است. مسئله حداکثرسازی بنگاه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MAX_{L_{O,t}, K_{O,t}, X_{S,t}} E = SR_t \Omega_{S,t} [A_t^S (X_{S,t})^{\theta_x} (K_{O,t-1})^{\theta_k} (L_{O,t})^{\theta_l}] - \Omega_{X,S,t} X_{S,t} - r_t^k K_{O,t-1} - w_t L_{O,t} \quad (64)$$

شروط مرتبه اول مسئله که نشان‌دهنده تقاضا برای هر عامل تولید است به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial E}{\partial X_{S,t}} = 0 \Rightarrow X_{S,t} = \theta_x SR_t \frac{\Omega_{S,t}}{\Omega_{X,S,t}} Y_{S,t} \quad (65)$$

$$\frac{\partial E}{\partial K_{O,t}} = 0 \Rightarrow K_{O,t-1} = \theta_k SR_t \frac{\Omega_{S,t}}{r_t^k} Y_{S,t} \quad (66)$$

$$\frac{\partial E}{\partial L_{O,t}} = 0 \Rightarrow L_{O,t} = \theta_l SR_t \frac{\Omega_{S,t}}{w_t} Y_{S,t} \quad (67)$$

در اینجا نیز بخشی از نهاده‌های واسطه‌ای مورد نیاز شرکت‌های فعال در زنجیره عرضه، در داخل تولید شده و بخشی دیگر از طریق واردات تأمین می‌شود. لذا از این طریق می‌توان ارتباط بخش نفت را با بخش غیرنفتی با جزئیات بیشتری بررسی کرد. رابطه (۶۸) شاخص تولید نهاده واسطه را به صورت ترکیبی از نهاده‌های واسطه‌ای داخلی ($X_{S,t}^D$) و وارداتی ($X_{S,t}^F$) نشان می‌دهد. در اینجا، Γ_X سهم نهاده‌های واسطه‌ای داخلی، φ_2 کشش جانشینی بین نهاده‌های واسطه‌ای داخلی و وارداتی و $Z_{3,t}$ شوک بهره‌وری مصرف نهاده داخلی است.

$$X_{S,t} = \left[(\Gamma_X)^{\frac{1}{\varphi_2}} (Z_{3,t} X_{S,t}^D)^{\frac{\varphi_2-1}{\varphi_2}} + (1 - \Gamma_X)^{\frac{1}{\varphi_2}} (X_{S,t}^F)^{\frac{\varphi_2-1}{\varphi_2}} \right]^{\frac{\varphi_2}{\varphi_2-1}} \quad (68)$$

اگر $P_{NO,t}^D$ قیمت نهاده‌های واسطه‌ای داخلی و $P_{NO,t}^F$ قیمت نهاده‌های واسطه‌ای وارداتی باشد، قید بودجه بنگاه‌های زنجیره عرضه به صورت زیر خواهد بود:

$$P_{NO,t}^D X_{S,t}^D + P_{NO,t}^F X_{S,t}^F = P_{X,S,t} X_{S,t} \quad (69)$$

با حداقل‌سازی هزینه بنگاه‌ها (رابطه ۶۹) نسبت به قید تقاضای سطح مشخصی از نهاده‌های واسطه‌ای (رابطه ۶۷)، تقاضای بهینه نهاده‌های واسطه‌ای داخلی (رابطه ۷۰) و وارداتی (رابطه ۷۱) به دست می‌آید. با جایگذاری این توابع تقاضا در رابطه (۶۹) شاخص قیمت نهاده‌های واسطه‌ای بخش زنجیره عرضه نفت (رابطه ۷۲) حاصل می‌شود.

$$X_{S,t}^D = \Gamma_X \left(\frac{P_{NO,t}^D}{P_{XS,t}} \right)^{-\varphi_2} \frac{1}{Z_{3,t}} X_{S,t} \quad (70)$$

$$X_{S,t}^F = (1 - \Gamma_X) \left(\frac{P_{NO,t}^F}{P_{XS,t}} \right)^{-\varphi_2} X_{S,t} \quad (71)$$

$$P_{XS,t} = \left[\Gamma_X \left(\frac{1}{Z_{3,t}} \right) (P_{NO,t}^D)^{1-\varphi_2} + (1 - \Gamma_X) (P_{NO,t}^F)^{1-\varphi_2} \right]^{\frac{1}{1-\varphi_2}} \quad (72)$$

۳.۴.۳ شرکت ملی نفت ایران

قسمت دوم بخش نفت، همان شرکت ملی نفت است که با ترکیب خدمات تولیدی بخش اول ($y_{S,t}$) و ذخایر نفت اثبات شده موجود در میادین ($R_{O,t}$)، به صورت زیر، نفت تولید می کند.

$$Y_{O,t} = Z_{O,t} (R_{O,t})^{\theta_2} (y_{S,t})^{1-\theta_2} \quad (73)$$

$$\ln(Z_{O,t}) = \rho_{Z_O} \ln(Z_{O,t-1}) + \varepsilon_{Z_{O,t}} \quad \varepsilon_{Z_{O,t}} \sim N(0, \sigma_{Z_1}^2) \quad (74)$$

در اینجا $Y_{O,t}$ تولید نفت $Z_{O,t}$ شوک تکنولوژی تولید نفت است. رابطه ای که برای $R_{O,t}$ در نظر گرفته شده است به صورت زیر است که در آن $\rho_d R_{O,t-1}$ درصدی از ذخایر نفتی دوره قبل است که به دلیل عدم رعایت موازین تولید صیانتی از بین رفته و $\rho_{Y_O} Y_{O,t}$ نیز ذخایر نفتی اضافه شده در دوره جاری ناشی از عملیات اکتشاف را نشان می دهد.

$$R_{O,t} = R_{O,t-1} - \rho_d R_{O,t-1} - Y_{O,t} + \rho_{Y_O} Y_{O,t} \Rightarrow R_{O,t} = \rho_R R_{O,t-1} - (1 - \rho_{Y_O}) Y_{O,t} \quad (75)$$

با توجه به این موارد، شرکت ملی نفت به دنبال حداکثرسازی ارزش حال انتظاری سود خود با توجه به قید تابع تولید نفت (۷۳) و قانون حرکت ذخایر نفت (۷۵) به شکل زیر است:

$$\mathcal{L} = \mathbb{E}_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta_t \left\{ \left[(\Omega_{O,t}^W (Z_{O,t} (R_{O,t})^{\theta_2} (y_{S,t})^{1-\theta_2})) - \Omega_{S,t} y_{S,t} - \Omega_{R,t} R_{O,t} \right] + \lambda_{O,t} \left[R_{O,t} - \rho_R R_{O,t-1} + (1 - \rho_{Y_O}) (Z_{O,t} (R_{O,t})^{\theta_2} (y_{S,t})^{1-\theta_2}) \right] \right\} \quad (76)$$

در اینجا β_t عامل تنزیل و $\Omega_{O,t}^W = \frac{P_{O,t}^W}{P_t^W}$ و $\Omega_{R,t} = \frac{P_{R,t}}{P_t^W}$ و $\Omega_{S,t} = \frac{P_{S,t}}{P_t^W}$ به ترتیب قیمت حقیقی نفت جهانی، ذخایر نفتی و خدمات نفتی است. شروط مرتبه اول از مسئله حداکثرسازی شرکت نفت به صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y_{s,t}} = 0 \Rightarrow \Omega_{S,t} = (1 - \theta_2) \left[\frac{Y_{O,t}}{y_{s,t}} \Omega_{O,t}^W - (1 - \rho_{Y_O}) \frac{Y_{O,t}}{y_{s,t}} \lambda_{O,t} \right] \quad (۷۷)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial R_{O,t}} = 0 \Rightarrow \Omega_{R,t} = \theta_2 \left[\frac{Y_{O,t}}{R_{O,t}} \Omega_{O,t}^W - (1 - \rho_{Y_O}) \frac{Y_{O,t}}{R_{O,t}} \lambda_{O,t} \right] + \lambda_{O,t} - \beta \rho_R \mathbb{E}_t \lambda_{O,t+1} \quad (۷۸)$$

۵.۳ صندوق توسعه ملی

همانند مدل صیادی و همکاران (۱۳۹۵: ۶۱)، فرض می‌شود که انباشت ذخایر صندوق توسعه ملی (NDF_t) در هر دوره از فرآیند زیر تبعیت می‌کند:

$$NDF_t = NDF_{t-1} + \alpha_F (P_{O,t}^W O_{E,t}) + \alpha_{ND} NDF_t - F_t \quad (۷۹)$$

که α_F سهم صندوق از درآمدهای صادرات نفت، F_t تسهیلات اعطایی صندوق، α_{ND} درصدی از خالص بدهی بنگاه‌های دریافت‌کننده تسهیلات، به صندوق است که در هر دوره به صندوق بازپرداخت می‌شود. چنانچه فرض کنیم ϕ_F درصد از منابع صندوق در هر دوره تسهیلات داده می‌شود، آنگاه $F_t = \phi_F NDF_t$ خواهد بود که با جایگذاری آن در رابطه (۷۹) و تقسیم بر شاخص CPI، داریم:

$$ndf_t = ndf_{t-1} + \alpha_F SR_t \Omega_{O,t}^W O_{E,t} + \alpha_{ND} ndf_t - \phi_F ndf_t \quad (۸۰)$$

همچنین خالص حقیقی بدهی‌های بنگاه‌های دریافت‌کننده تسهیلات به صندوق، از طریق رابطه (۸۱) مدلسازی شده که در آن α_{ND} درصدی از بازگشت تسهیلات اعطایی به صندوق در هر دوره و rd سود تسهیلات اعطایی صندوق است ($f_t = \phi_F ndf_t$).

$$\Rightarrow nd_t = nd_{t-1} + (1 + rd) \phi_F ndf_t - \alpha_{ND} nd_t \quad (۸۱)$$

۶.۳ بخش دولت و بانک مرکزی

با توجه به عدم استقلال بانک مرکزی در ایران، دولت و مقام پولی به صورت کاگزاری واحد در نظر می‌شود. دولت به‌دنبال تأمین مالی هزینه‌ها است و برای این منظور، از درآمدهای حاصل از فروش نفت، فروش اوراق مشارکت و دریافت مالیات بهره می‌گیرد. در صورتی که سه منبع درآمدی مذکور برای تأمین هزینه‌های دولت کافی نباشد، با توجه به فرض عدم استقلال بانک مرکزی، دولت می‌تواند بخشی از هزینه‌های خود را از طریق

استقراض از بانک مرکزی که به معنای خلق پول است، تأمین مالی کند. از این رو، قید بودجه حقیقی دولت به صورت زیر است:

$$G_t + \frac{(1+r_{t-1}^B)b_{t-1}}{\pi_t} = t_t + SR_t(1 - \alpha_F - \alpha_{NIOC}) \Omega_{0,t}^W O_{E,t} - b_t + \Delta gd_{t_t} \quad (۸۲)$$

در این رابطه α_F ، α_{NIOC} و به ترتیب سهم صندوق توسعه ملی و شرکت ملی نفت ایران از درآمدهای دلاری فروش نفت است که هر ساله در قانون بودجه کشور تعیین می شود. همچنین SR_t نرخ ارز حقیقی، $O_{E,t}$ حجم صادرات نفت، Δgd_{t_t} درآمد دولت از محل خلق پول و G_t مخارج دولت است. به پیروی از خیابانی و امیری (۱۳۹۳: ۱۵۵)، فرض می شود که مخارج دولت (G_t) تابعی کاپ داگلاس از درآمدهای نفتی ($gor_t = SR_t(1 - \alpha_F - \alpha_{NIOC}) \Omega_{0,t}^W O_{E,t}$) و شوک مخارج دولت ($\varepsilon_{G,t}$) به شکل زیر است.

$$G_t = f(gor_t, t_t) = (gor_t)^\nu \cdot (t_t)^{1-\nu} \cdot (e)^{\varepsilon_{G,t}} \quad (۸۳)$$

۱.۶.۳ ترانزنامه بانک مرکزی

همانند مطالعه ولی بیگی و همکاران (۱۳۹۶: ۲۱)، فرم حقیقی ترانزنامه بانک مرکزی به صورت زیر است که m_t پایه پولی بوده (سکه و اسکناس در دست مردم و ذخایر قانونی بانکها نزد بانک مرکزی)، gd_t خالص بدهی های دولت به بانک مرکزی و fr_t خالص دارایی های خارجی بانک مرکزی است که از رابطه (۸۵) به دست می آید.

$$m_t = gd_t + SR_t fr_t \quad (۸۴)$$

$$fr_t = \frac{fr_{t-1}}{\pi_t^W} + (1 - \alpha_F - \alpha_{NIOC}) \Omega_{0,t}^W O_{E,t} - IM_t \quad (۸۵)$$

۲.۶.۳ سیاست پولی

برای مدل سازی نحوه کنترل نرخ رشد پایه پولی، مطابق با روش توکلیان و صارم (۱۳۹۶: ۱۶۵)، فرض می کنیم مقام پولی، پایه پولی را در هر دوره با نرخ μ مدیریت می کند. همچنین برای نرخ رشد μ نیز رابطه اتورگرسیو مرتبه اول (رابطه ۸۷) لحاظ شده است.

$$\mu_t = \frac{M_t}{M_{t-1}} = \frac{\frac{M_t}{P_t}}{\frac{M_{t-1}}{P_{t-1}}} \cdot \frac{P_t}{P_{t-1}} = \frac{m_t}{m_{t-1}} \pi_t \quad (۸۶)$$

$$\ln(\mu_t) = \rho_\mu \ln(\mu_{t-1}) + \varepsilon_t^\mu, \quad \varepsilon_t^\mu \sim N(0, \sigma^\mu) \quad (۸۷)$$

۳.۶.۳ سیاست‌گذاری نرخ ارز

برای تصریح قاعده سیاستی نرخ ارز باید گفت که بانک مرکزی سیاست مدیریت شناور نرخ ارز را با دو هدف، دنبال می‌کند. هدف نخست، حفظ رقابت‌پذیری در اقتصاد است و برای این مهم، شکاف بین تورم داخلی و خارجی را در نظر می‌گیرد. هدف دوم، حفظ ذخایر ارزی کشور است. با توجه به این امر، براساس مطالعه پیریس و ساکس‌گارد (Peiris and Saxegaard, 2010: 267)، قاعده سیاست ارزی کشور را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\Delta S_t}{\Delta S} = \left(\frac{\Delta S_{t-1}}{\Delta S}\right)^{k_0} \left(\frac{\pi_t}{\pi_t^W}\right)^{k_1} \left(\frac{SR_t + fr_t}{m_t} \frac{m}{SR + fr}\right)^{k_2} \varepsilon_{S,t} \quad (۸۸)$$

که در این رابطه ΔS_t تغییر در نرخ اسمی ارز، π_t نرخ تورم داخلی، π_t^W نرخ تورم خارجی ε_t^S شوک نرخ ارز که از یک رابطه اتورگرسیو مرتبه اول تبعیت می‌کند.

۷.۳ تسویه بازار کالا

یکی از ویژگی‌های بارز مدل‌های DSGE، تسویه کامل بازارها بوده که مفهوم آن، برابری عرضه و تقاضا برای کالاهای داخلی است. برای این منظور تولید کل برابر با تولید بخش غیرنفتی بعلاوه تولید نفتی در نظر گرفته می‌شود.

$$Y_t = Y_{O,t} + Y_{NO,t} \quad (۸۹)$$

$$Y_{O,t} = O_{E,t} + C_{O,t} + X_{O,t} \quad (۹۰)$$

$$Y_{NO,t} = C_{NO,t} + I_t + G_t + X_{S,t}^D - IM_t \quad (۹۱)$$

$$IM_t = C_{NO,t}^F + X_{S,t}^F + I_t^F \quad (۹۲)$$

$$I_t = I_{O,t} + I_{NO,t} \quad (۹۳)$$

$$I_t^F = I_{O,t}^F + I_{NO,t}^F \quad (۹۴)$$

$$L_t = L_{O,t} + L_{NO,t} \quad (۹۵)$$

۴. برآورد مدل و تجزیه و تحلیل نتایج

در مطالعه حاضر ابتدا معادلات مدل، لگاریتم خطی شده و برای برآورد مدل از روش مقداردهی به پارامترها و رویکرد بیزی استفاده شده است. برای این منظور از داده‌های سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۵۲ که از بانک اطلاعات سری زمانی بانک مرکزی، آمارنامه سالیانه اوپک و صندوق توسعه ملی اخذ شده و روندزدایی به روش فیلتر هدریک پرسکات (Hodrick-Prescott) روی آنها صورت گرفته، استفاده شده است. بسیاری از پارامترها و نسبت‌های مورد استفاده در مدل، نیاز به برآورد نداشته و از داده‌های اقتصاد ایران یا مطالعات انجام شده استخراج شده که در جدول (۱) آمده است. در این جدول، پارامترهای ζ (از مطالعه خیابانی و امیری، ۱۳۹۳)، \bar{F}^B (از مطالعه پرمه و همکاران، ۱۳۹۵) و ω_1 (از مطالعه دمیری و همکاران، ۱۳۹۶) نیز کالیبره شده‌اند.

جدول (۱): نسبت‌ها و پارامترهای کالیبره شده

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
ζ	۱/۱	\bar{F}^k	۰/۰۸۶	γ_1	۰/۹۶۳۶	ζ_R	۰/۵۹۴۰۴۶۴
ω_1	۰/۴۰۶۰۸۱	γ_2	۰/۹۰۹۶۸۵	Γ_Y	۰/۹۲۸	α_F	۰/۳
\bar{F}^B	۰/۲	ω_2	۰/۷۸۱۳۸۸	β_F	۰/۳۸	α_{ND}	۰/۲
ϕ_F	۰/۱۵	ϕ_F	۱/۲۰۲۸۵۶	Γ_X	۰/۵۱	ϕ_{ndf}	۲/۵۰۴۳۱
β_{NIOC}	۰/۴۲۲۹۸	ϕ_{YR}	۰/۰۰۰۳۴	ϕ_S	۲/۵	ψ_{ndf}	۰/۵۴۳۱۵۴
ψ_S	۰/۷۸	ϕ_R	۰/۰۲۳۲۴۷۴	ψ_R	۰/۰۰۷۳۳۲۴	rd	۰/۰۶
α_{NIOC}	۰/۱۴۵	ϕ_{fr}	۰/۱۰۲۷۷۹	ϕ_{IM}	۱/۵۷۲۸۳۰	ϕ_m	۰/۳۹۳۲۰۶
ψ_m	۰/۵۹۹۰۶۸	ϕ_Y	۰/۳۲۰۷۴۸	ψ_Y	۰/۶۷۹۲۵۲	ϕ_{YO}	۰/۶۶۵۹۷۱
ψ_{YO}	۰/۲۰۰۴۱۶	ζ_{YO}	۰/۱۳۳۶۱۲	ϕ_{YNO}	۰/۵۱۷۳۲۰	ψ_{YNO}	۰/۳۲۶۰۳۱
ζ_{YNO}	۰/۲۹۲۴۱۵	ψ_{XSD}	۰/۱۶۸۱۳۱	ψ_{IMNO}	۰/۳۰۳۸۹۷	ψ_{IO}	۰/۰۳۴۰۶۱
ψ_{INO}	۰/۹۶۵۹۳۹	ζ_{CNOF}	۰/۱۴۷۷۳۸	chico1	۲/۳	chico2	۱/۵
ζ_{IOF}	۰/۰۱۲۹۵۳	ζ_{INOF}	۰/۹۸۷۰۴۶	ζ_{XSF}	۰/۳۱۳۳۸۱	ζ_{IF}	۰/۶۳۷۱۶۸
ϕ_{LO}	۰/۰۹۵۶۴۳	ϕ_{LNO}	۰/۹۰۳۵۵۷				

منبع: یافته‌های پژوهش

برای برآورد پارامترها به روش بیزی نیز از داده‌های تولید ناخالص داخلی نفتی، مصرف نفت در بخش خانوار و بخش تولید، سرمایه‌گذاری، اشتغال، مخارج دولت، درآمدهای مالیاتی، حجم پول، رشد نرخ ارز اسمی بازار غیررسمی، قیمت نفت و CPI آمریکا، استفاده شده است. در این رویکرد به‌وسیله الگوریتم متروپولیس-هستینگز (با دو نمونه موازی و حجم نمونه ۱/۸ میلیون)، پارامترها با نرم‌افزار داینر در محیط متلب برآورد شده‌اند. برای برآورد پارامترها به روش بیزی، ابتدا براساس ویژگی‌های پارامترها، میانگین و توزیع پیشین پارامترها تعیین می‌شود و سپس مد پسیین و فاصله اطمینان ۹۰ درصدی پارامترها با استفاده از ترکیب توزیع تابع راستنمایی و احتمال پیشین، براساس اطلاعات موجود در داده‌های واقعی و قضیه بیزی به‌دست می‌آید که در جدول (۲) نتایج این برآوردها آمده است.

جدول (۲): مقادیر پیشین و برآورد پارامترهای مدل

انحراف معیار پسین	میانگین پسین	میانگین پیشین	توزیع پیشین	پارامتر
۰/۰۲۹۳	۱/۶۰۴۲	۱/۵۷	گاما	عکس کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف (η_c)
۰/۰۶۳۷	۰/۹۶۱۹	۰/۹۶۵	بتا	نرخ تنزیل زمانی (β)
۰/۰۲۴۴	۰/۰۸۲۸	۰/۰۴۵	بتا	نرخ استهلاك بخش غیرنفتی (δ_1)
۰/۰۱۰۰	۰/۴۹۸۶	۰/۵	گاما	کشش جانشینی مصرف کالای نفتی و غیرنفتی (χ_1)
۰/۰۴۸۳	۱/۵۵۷۴	۱/۵۶	گاما	کشش جانشینی مصرف کالای غیرنفتی داخلی و وارداتی (χ_2)
۰/۰۱۹۷	۱/۴۹۹۲	۱/۵	گاما	کشش جانشینی کالای سرمایه‌ای غیرنفتی داخلی و وارداتی (χ_1)
۰/۰۲۰۱	۲/۲۱۵۶	۲/۲۱	گاما	عکس کشش عرضه کار (η_l)
۰/۰۲۰۳	۲/۳۸۹۳	۲/۳۹	گاما	عکس کشش تقاضای مانده حقیقی پول (η_m)
۰/۰۴۲۵	۰/۶۳۴۸	۰/۵۸	بتا	کشش جانشینی نیروی کار و سرمایه در تابع تولید نهاده ترکیبی (θ_1)
۰/۰۱۷۶	۰/۲۷۶۴	۰/۳۵	بتا	کشش جانشینی نهاده ترکیبی و نهاده نفت (φ_1)
۰/۰۲۱۳	۰/۷۱۸۷	۰/۷۱۵	بتا	درجه شاخص‌بندی قیمت داخلی (τ)
۰/۰۲۰۰	۰/۶۳۱۸	۰/۶۵۷	بتا	درصد بنگاه‌هایی که قادر به تعدیل قیمت نیستند (ς)
۰/۰۱۹۳	۰/۵۰۰۶	۰/۵۰۰۸	بتا	درجه شاخص‌بندی قیمت کالای وارداتی (τ_{IM})
۰/۰۲۰۹	۰/۱۹۹۷	۰/۱۹۸۶	بتا	درصد بنگاه‌هایی که قادر به تعدیل قیمت کالای وارداتی نیستند (ς_{IM})

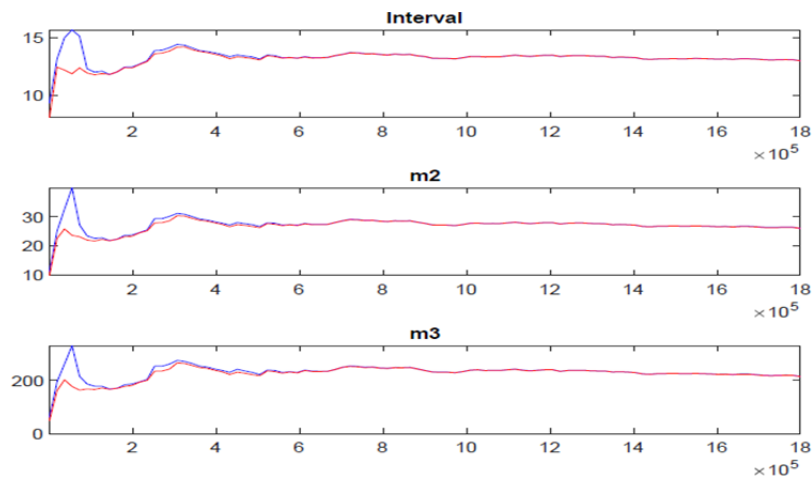
۰/۰۲۰۱	۰/۶۳۹۷	۰/۶۴	گاما	کشش جانشینی کالای سرمایه‌ای نفتی داخلی و وارداتی (γ_2)
۰/۰۲۰۴	۰/۰۸۱۲	۰/۰۷۹	بتا	نرخ استهلاک بخش نفتی (δ_2)
۰/۰۴۹۳	۰/۴۹۳۷	۰/۴۸	بتا	سهم نهاده واسطه‌ای در تابع تولید بنگاه‌های تولیدکننده خدمات تولید نفت (θ_x)
۰/۰۵۰۹	۰/۳۰۳۵	۰/۳	بتا	سهم سرمایه در تابع تولید بنگاه‌های تولیدکننده خدمات تولید نفت (θ_k)
۰/۰۴۸۰	۰/۲۲۰۲	۰/۲۲	بتا	سهم نیروی کار در تابع تولید بنگاه‌های تولیدکننده خدمات تولید نفت (θ_l)
۰/۰۲۰۱	۰/۶۰۱۴	۰/۶	گاما	کشش جانشینی نهاده واسطه‌ای داخلی و وارداتی (φ_2)
۰/۰۴۸۳	۰/۲۹۷۲	۰/۳	گاما	سهم ذخایر در تابع تولید نفت (θ_2)
۰/۰۵۰۶	۰/۹۷۸۸	۰/۹۸	گاما	درصد جایگزین شدن ذخایر نسبت به تولید (ρ_{γ_0})
۰/۰۲۰۷	۰/۹۴۹۷	۰/۹۵	بتا	یک منهای درصدی از ذخایر که به دلیل عدم رعایت موازن تولیدصیانتی از بین می‌رود (ρ_R)
۰/۰۲۱۳	۰/۷۱۱۰	۰/۷۴	بتا	کشش درآمدهای نفتی (ν)
۰/۰۵۱۱	۰/۵۹۲۳	۰/۵۹	بتا	ضریب درآمد در معادله مالیات (ρ_t)
۰/۰۱۲۶	۰/۴۲۴۹	۰/۵۳۱	بتا	ضریب خودرگرسیون در معادله رشد نقدینگی (ρ_{π})
۰/۰۳۹۸	۰/۸۸۳۶	۰/۸۷۹۲	نرمال	ضریب اهمیت خودرگرسیون نرخ ارز در تابع سیاست ارزی (k_0)
۰/۰۵۰۳	-۱/۸۰۰۰	-۱/۸۰۲۸	نرمال	ضریب اهمیت تورم در تابع سیاست ارزی (k_1)
۰/۰۵۰۳	-۱/۶۴۳۶	-۱/۷۱۶۱	نرمال	ضریب اهمیت ذخایر خارجی در تابع سیاست ارزی (k_2)
۰/۰۵۳۸	۰/۶۷۵۸	۰/۷۴۱۶	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه عرضه نیروی کار (ρ_{ξ})
۰/۰۲۱۳	۰/۷۹۵۲	۰/۸	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه کارایی مصرف نفت در بخش خانوار (ρ_{z_1})
۰/۰۱۹۳	۰/۷۹۳۹	۰/۸	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه کارایی مصرف نفت در بخش تولید (ρ_{z_2})
۰/۰۴۶۹	۰/۶۹۶۷	۰/۷	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه تکنولوژی نفت ρ_{z_0}
۰/۰۲۰۷	۰/۷۸۷۵	۰/۸	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه سرمایه‌گذاری در بخش غیرنفتی (ρ'_{N0})
۰/۰۲۱۵	۰/۷۹۶۹	۰/۸	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه بهره‌وری نهاده واسطه‌ای داخلی (ρ_{z_3})

۰/۰۵۴۲	۰/۷۴۴۴	۰/۸	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه مخارج دولت (ρ_G)
۰/۰۴۰۹	۰/۸۲۵۷	۰/۸	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه نرخ ارز (ρ_S)
۰/۰۵۴۲	۰/۶۴۵۰	۰/۸	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه قیمت نفت ($\rho_{\Omega_{ow}}$)
۰/۰۰۵۰	۰/۹۴۹۶	۰/۹۵	بتا	ضریب خودرگرسیون تکانه تورم جهانی (ρ_{π^w})
۰/۰۴۴۵	۰/۳۹۰۴	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه عرضه نیروی کار (σ_ξ)
۰/۰۲۴۲	۰/۲۲۲۵	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه کارایی مصرف نفت در بخش خانوار (σ_{z_1})
۰/۰۱۳۵	۰/۱۰۴۲	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه کارایی مصرف نفت در بخش تولید (σ_{z_2})
۰/۰۱۹۴	۰/۱۷۴۶	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه تکنولوژی نفت (σ_{z_0})
مقدار انتخابی متناسب با اقتصاد ایران		۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه بهره‌وری نهاده واسطه‌ای داخلی (σ_{z_3})
۰/۲۳۶۳	۱/۲۱۳	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه سرمایه‌گذاری در بخش غیرنفتی (σ'_{NO})
۰/۰۷۲۲	۰/۶۰۳۶	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه نرخ ارز (σ_S)
۰/۰۲۵۵	۰/۲۲۸۱	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه مخارج دولت (σ_G)
۰/۰۲۹۱	۰/۲۶۰۹	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه رشد نقدینگی (σ_{mu})
۰/۰۱۸۹	۰/۱۸۰۵	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه مالیات (σ_t)
۰/۰۳۱۷	۰/۲۹۶۷	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه قیمت نفت (σ_{ow})
۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۶۰	۰/۱	گامای معکوس	انحراف معیار تکانه تورم جهانی (σ_{π^w})

منبع: یافته‌های پژوهش.

آزمون تشخیصی بروکز و گلמן (Brooks and Gelman) نیز صحت تخمین پارامترها و قابل اتکا بودن آنها را تأیید می‌کند. براساس این آزمون، اگر واریانس درون نمونه‌ای و بین نمونه‌ای تمام پارامترها به هم نزدیک شده در نهایت به مقدار ثابتی همگرا شود، می‌توان

گفت نتایج برآورد رویکرد بیزی با استفاده از روش MCMC از صحت مناسبی برخوردار هستند. همان‌گونه که در نمودار (۱) آمده است، زنجیره‌ها همگرا شده و به مقدار ثابتی میل کرده‌اند که نشان از صحت برآورد پارامترها دارد.



نمودار (۱): آزمون تشخیصی بروکز و گلמן برای کلیه پارامترها

منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار ۲، واکنش متغیرهای کلان اقتصادی به تکانه تکنولوژی تولید نفت را نشان می‌دهد. براساس نمودار، تکانه یک درصدی تکنولوژی، تولید نفت را به میزان ۰/۱۵ درصد افزایش داده و اثر آن بعد از هشت دوره خنثی شده است. ارتقای تکنولوژی از طریق بالا بردن بازدهی و عملکرد چاه‌های موجود و کاهش مدت زمان حفر چاه‌های جدید و همچنین بهبود مدیریت مخازن نفتی، امکان افزایش تولید نفت را فراهم ساخته و در مقابل می‌تواند هزینه‌های تولید را کاهش دهد.

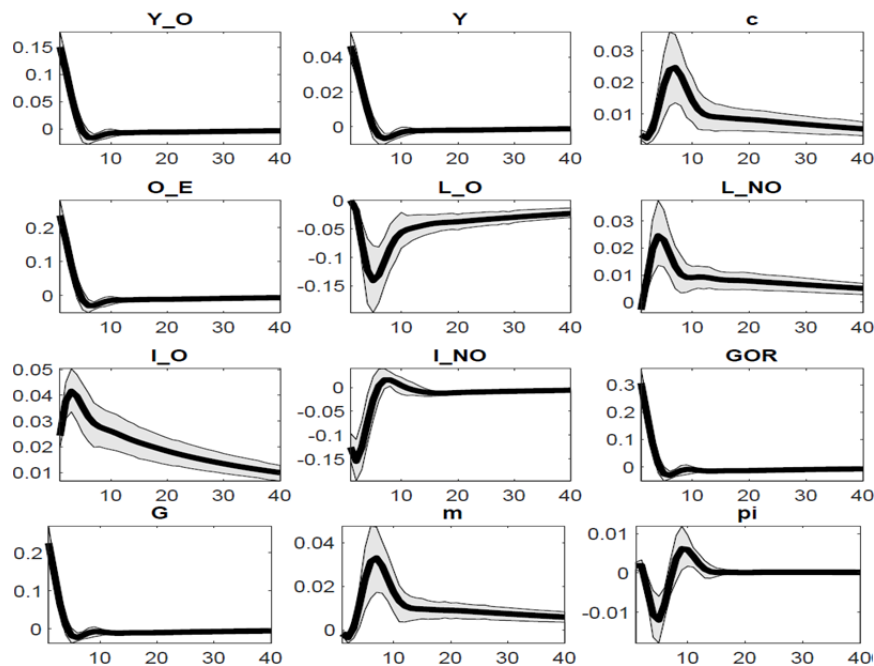
با وقوع تکانه تکنولوژی، تولید ناخالص داخلی غیرنفتی کاهش می‌یابد. در توضیح این وضعیت باید گفت که با افزایش درآمدهای نفتی حاصل از صادرات نفت، واردات کالاهای قابل مبادله افزایش یافته و تولیدکنندگان این کالاها با مشکل مواجه می‌شوند. ضمن اینکه به دلیل تزریق درآمدهای ارزی به اقتصاد و کاهش نرخ ارز، قیمت کالاهای صادراتی افزایش می‌یابد و این موضوع با کاهش قدرت رقابتی بخش‌های تولیدکننده غیرنفتی، بر تولید این بخش‌ها اثر منفی خواهد گذاشت. مجموعه موارد فوق موجب می‌شود که به‌رغم افزایش

تولید ناخالص داخلی کل (نفتی و غیرنفتی)، بخشی از اثرات مثبت تزریق درآمدهای نفتی ناشی از تکانه تکنولوژی نفت، به اقتصاد ختشی شود. اثر این تکانه بر مصرف نیز مثبت است، زیرا از یک طرف به دلیل افزایش تولید، دسترسی به کالای نفتی افزایش یافته و این امر در افزایش مصرف کل اثرگذار است و از طرف دیگر به دلیل افزایش درآمدهای نفتی و به دنبال آن، واردات بیشتر کالاهای مصرفی، زمینه افزایش مصرف فراهم شده است.

یک تکانه تکنولوژی، صادرات نفت را به میزان $0/2$ درصد افزایش می‌دهد. همچنین تکانه تکنولوژی تولید نفت، میزان اشتغال کل را افزایش، اما اشتغال در بخش نفت را کاهش داده است. در این ارتباط می‌توان گفت که تکنولوژی تولید در صنعت نفت، عموماً متکی بر سرمایه است و ارتقای آن موجب کاهش اشتغال در این بخش می‌شود. با این حال، اشتغال در بخش غیرنفتی افزایش یافته است، زیرا همانگونه که بیان شد، به دلیل سرمایه‌محور بودن صنعت نفت، ارتقای تکنولوژی نیاز به کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای را افزایش می‌دهد. عمده این کالاها در بخش غیرنفتی اقتصاد تولید می‌شود و از این حیث، ارتقای تکنولوژی با تقویت تقاضا در بخش غیرنفتی، اشتغال در این بخش را افزایش خواهد داد. با توجه به برآیند اثر ارتقای تکنولوژی تولید نفت بر میزان اشتغال در بخش نفتی و غیرنفتی، نتایج نشان می‌دهد که اشتغال کل در واکنش به این تکانه، افزایش می‌یابد. تکانه تکنولوژی، سرمایه‌گذاری نفتی را نیز افزایش می‌دهد، زیرا دو منبع سرمایه‌گذاری در بخش نفت، یعنی منابع داخلی شرکت ملی نفت و منابع صندوق توسعه ملی به دلیل رشد درآمدهای نفتی، افزایش می‌یابد. لذا زمینه برای افزایش سرمایه‌گذاری در بخش نفت فراهم خواهد شد. از سوی دیگر به دلیل اینکه تکانه تکنولوژی، هزینه‌های تولید نفت را کاهش می‌دهد، به نوعی با صرفه‌جویی در هزینه‌ها، منابع درآمدی شرکت ملی نفت را افزایش داده و در نتیجه سرمایه‌گذاری در بخش نفتی افزایش می‌یابد. با این حال، در بخش غیرنفتی، سرمایه‌گذاری کاهش یافته که شاید در توضیح آن بتوان گفت که افزایش مخارج دولت به برون‌رانی سرمایه‌گذاری بخش خصوصی منجر شده و موجب کاهش سرمایه‌گذاری در بخش غیرنفتی شده است.

تکانه تکنولوژی از کانال افزایش صادرات نفت، درآمدهای نفتی دولت را نیز افزایش داده است. این موضوع توانایی هزینه‌کرد دولت را زیاد کرده و در نتیجه مخارج دولت در واکنش به تکانه تکنولوژی زیاد شده است. یکی دیگر از اثرات تکانه تکنولوژی، افزایش

حجم پول است، زیرا با افزایش صادرات نفت، پایه پولی (ذخایر ارزی بانک مرکزی) و متعاقب آن حجم پول افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه حاضر این وضعیت را تأیید کرده، زیرا به دنبال وقوع یک تکانه مثبت تکنولوژی، حجم پول افزایش یافته و اثرات آن نیز به آرامی کاسته شده است. در زمینه نحوه اثرگذاری تکانه تکنولوژی بر تورم نیز باید یادآور شد که در ادبیات نظری اثر این تکانه مبهم بوده، زیرا از یک طرف با افزایش حجم پول، تورم در کشور افزایش می‌یابد، اما از طرف دیگر به دلیل کاهش هزینه‌ها ناشی از افزایش واردات، امکان کاهش تورم نیز وجود دارد. با توجه به این توضیح، همان‌گونه که نمودار (۲) نشان می‌دهد، در اثر این تکانه، نرخ تورم در ابتدا کاهش یافته و در ادامه افزایش پیدا می‌کند. در توضیح آن باید گفت که در اثر تکانه تکنولوژی نفت، بانک مرکزی در ابتدا با افزایش درآمدهای نفتی، از طریق پایین نگه داشتن نرخ ارز و افزایش واردات کالاها و خدمات، اقدام به کنترل نرخ تورم می‌کند، اما در ادامه که دلارهای نفتی تبدیل به ذخایر خارجی بانک مرکزی می‌شود، این سیاست نمی‌تواند تداوم پیدا کند و در نتیجه نرخ تورم افزایش می‌یابد.



نمودار (۲): توابع واکنش آنی تکانه تکنولوژی تولید نفت

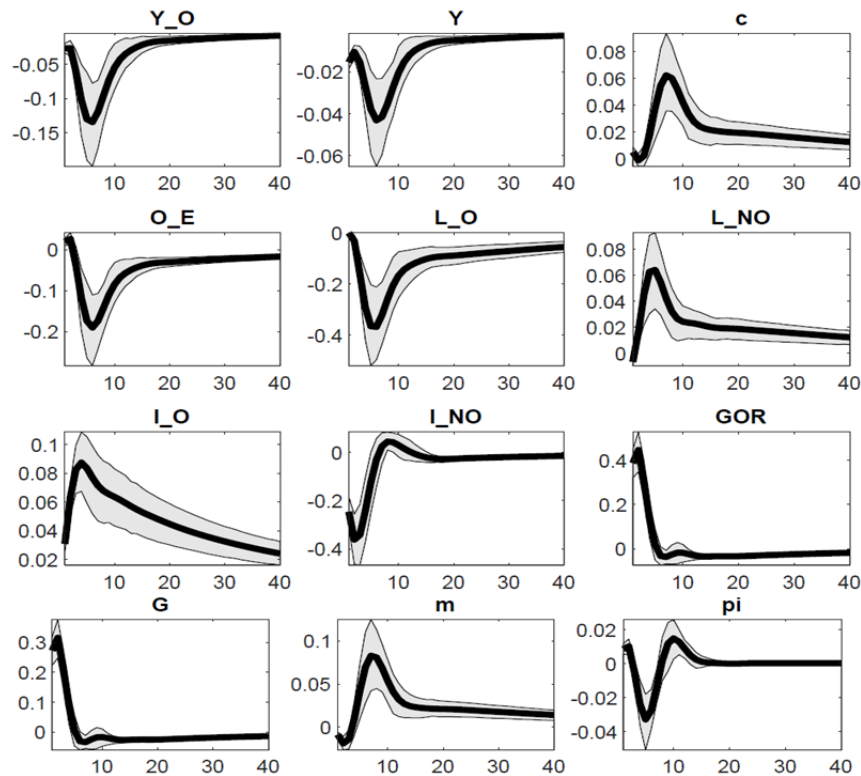
منبع: یافته‌های پژوهش.

در نمودار شماره ۳، اثر تکانه مثبت قیمت نفت بر متغیرهای کلان اقتصادی قابل مشاهده است. براساس نتایج، تکانه قیمت نفت موجب کاهش تولید نفت ایران خواهد شد. شاید یکی از دلایل این امر، دستیابی کافی به درآمدهای ارزی مورد نیاز بودجه (به دنبال افزایش قیمت نفت) و همچنین اولویت یافتن سیاست‌های تولید صیانتی از میادین و به تبع آن کاهش فشار به مخازن باشد. مطابق آنچه در مورد تکانه تکنولوژی بیان شد، در اینجا نیز به دلیل ورود منابع ارزی به کشور و به دنبال آن افزایش واردات و کاهش قدرت رقابتی تولیدکنندگان داخلی، اثر تکانه قیمت نفت بر تولید ناخالص داخلی غیرنفتی منفی بوده است. از این رو، تکانه قیمت نفت، موجب کاهش تولید ناخالص داخلی کل شده است. همچنین با وقوع یک تکانه مثبت قیمت نفت، مصرف کل افزایش می‌یابد، زیرا به دلیل افزایش درآمدهای نفتی، واردات کالاها افزایش یافته و این موضوع موجب افزایش سطح مصرف در کشور خواهد شد. در این بین، واکنش اشتغال کل به تکانه قیمت نفت، مثبت بوده و موجب شده که تا سه دوره اشتغال افزایش یابد و سپس اثر آن به آرامی تخلیه می‌شود. اگر اشتغال را به تفکیک بخش نفت و غیرنفت بررسی کنیم خواهیم دید که تکانه مثبت قیمت نفت، اشتغال نفتی را کاهش داده است که کاهش تولید نفت، عامل اصلی در کاهش اشتغال در بخش نفت بوده است. با این حال، در بخش غیرنفتی اشتغال افزایش یافته است.

تکانه مثبت قیمت نفت، سرمایه‌گذاری در بخش نفتی را افزایش داده است، زیرا با افزایش قیمت نفت، به دلیل بالا رفتن منابع داخلی شرکت ملی نفت و صندوق توسعه ملی (به عنوان دو عامل تقویت‌کننده سرمایه‌گذاری در بخش نفت) سرمایه‌گذاری در بخش نفت افزایش می‌یابد. با این حال، سرمایه‌گذاری در بخش غیرنفتی کاهش یافته است. در اینجا نیز همان توضیحاتی که در مورد اثر تکانه تکنولوژی تولید نفت بر سرمایه‌گذاری غیرنفتی بیان شد، به دلیل افزایش واردات و کاهش قدرت رقابتی تولیدکنندگان داخلی، تولید غیرنفتی کم شده و این امر انگیزه سرمایه‌گذاری بخش خصوصی را کاهش داده است. ضمن اینکه افزایش تورم جهانی به تبع آن قیمت کالاهای سرمایه‌ای نیز می‌تواند به عنوان یکی از دلایل کاهش سرمایه‌گذاری‌ها در بخش غیرنفتی مطرح شود.

صادرات نفت که متأثر از تولید نفت در کشور است، در واکنش به تکانه مثبت قیمت نفت کاهش می‌یابد. در این بین، اگر چه صادرات نفت کاهش یافته، اما درآمدهای نفتی دولت و همچنین مخارج دولت افزایش داشته چون کاهش صادرات با افزایش قیمت نفت

جبران شده است. همچنین به دلیل افزایش درآمدهای نفتی ناشی از افزایش قیمت نفت، حجم پول افزایش یافته و این موضوع سبب شده که واکنش متغیر تورم نیز به تکانه قیمت نفت، بعد از کاهش اولیه، مثبت شود.



نمودار (۳): توابع واکنش آنی تکانه قیمت نفت
منبع: یافته‌های پژوهش.

۵. نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تلاش شد که با طراحی یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی و مدلسازی بخش نفت، اثرات تکانه‌های تکنولوژی و قیمت نفت بر متغیرهای کلان اقتصادی ایران بررسی شود. نتایج تخمین مدل به روش بی‌زین، نشان داد که وقوع یک تکانه تکنولوژی، تولید نفت، تولید ناخالص داخلی کل را افزایش می‌دهد اما تولید ناخالص

غیرنفتی کاهش می‌یابد که دلیل آن می‌تواند افزایش واردات ناشی درآمدهای نفتی و به تبع آن آسیب به تولیدات داخلی باشد. همچنین با وقوع این تکانه، صادرات نفت و مصرف کل نیز افزایش یافته است. در این بین، اثر تکانه تکنولوژی بر اشتغال و سرمایه‌گذاری به تفکیک بخشی حاکی از آن است که این تکانه، اشتغال بخش نفت را کاهش و سرمایه‌گذاری در این بخش را افزایش داده است. در بخش غیرنفتی عکس این حالت (اشتغال افزایش و سرمایه‌گذاری) اتفاق افتاده است. از این رو، برآیند این متغیرها موجب شده که اشتغال کل افزایش و سرمایه‌گذاری کل کاهش یابد. تکانه تکنولوژی، درآمدهای نفتی و مخارج دولت، حجم پول را نیز افزایش داده اما تورم، اندکی کاهش یافته است.

در زمینه اثرات تکانه مثبت قیمت نفت نیز باید گفت که این تکانه، تولید نفت را کاهش داده که دلایلی همچون پیگیری سیاست تولید صیانتی از میدین و کاهش فشار به مخازن در زمانی که هدف درآمدی بودجه محقق شده، اشاره کرد. این تکانه مصرف کل را افزایش داده اما به دلیل کاهش تولید نفت، موجب کاهش صادرات آن شده است. در اینجا نیز تولید ناخالص داخلی غیرنفتی در واکنش به تکانه مثبت قیمت نفت کاهش یافته است. همچنین به رغم کاهش صادرات نفت، افزایش قیمت جهانی نفت، درآمدهای دولت و به تبع آن مخارج را افزایش داده است. لازم به ذکر است که به دلیل افزایش منابع ارزی بانک مرکزی ناشی از تکانه مثبت قیمت نفت، حجم پول افزایش یافته که این امر، اثر مثبت بر تورم داشته است.

با در نظر گرفتن مجموع نتایج حاصله، می‌توان گفت که مهم‌ترین پیامدهای مثبت تکانه تکنولوژی تولید نفت، افزایش تولید ناخالص داخلی بر پایه رشد تولید نفت مبتنی بر ارتقای تکنولوژی، افزایش صادرات نفت، سرمایه‌گذاری نفتی، اشتغال کل، درآمدهای دولت و کاهش تورم بوده است. همچنین پیامدهای مثبت تکانه قیمت نفت را می‌توان افزایش سرمایه‌گذاری بخش نفت، اشتغال کل، درآمدها و مخارج دولت دانست. از این رو، با توجه به نقش بسیار مهم تکانه‌های تکنولوژی بر صنعت نفت و اقتصاد کلان، ارتقای تکنولوژی در این صنعت و همچنین توجه به جنبه‌های توسعه‌ی توان علمی و فنی صنعت، باید در دستور کار قرار گیرد. تحقق این مهم موجب می‌شود که توسعه صنعت نفت بر پایه تکنولوژی صورت گیرد و گام اساسی در راستای ایجاد شکوفایی در اقتصاد ملی، برداشته شود. برای این منظور، استفاده از دانش شرکت‌های سازنده تجهیزات نفتی، شرکت‌های

خدماتی مشاوره‌ای و شرکت‌های مهندسی و ساخت خارجی می‌تواند راهگشا باشد، کمالینکه بسیاری از شرکت‌های بزرگ بین‌المللی نیز راهبرد خرید تکنولوژی از این شرکت‌ها را در پیش گرفته‌اند. البته قراردادهای نفتی نیز می‌تواند منشا ورود تکنولوژی در صنعت نفت باشد، مشروط به اینکه ظرفیت‌های فنی برای جذب دانش عملیاتی در بخش بالادستی و آگاهی از دانش‌های بنیادین و وجود سازکارهای مناسب برای ارتقای آنها در کشور وجود داشته باشد.

در مقابل پیامدهای منفی مشترک دو تکانه تکنولوژی تولید و قیمت نفت، کاهش سرمایه‌گذاری و تولید ناخالص داخلی غیرنفتی است که مهم‌ترین دلیل این امر، افزایش واردات، از بین رفتن قدرت رقابت تولیدکنندگان داخلی ناشی از ورود منابع ارزی به کشور و مدیریت ناصحیح این منابع است. بنابراین می‌توان گفت که درآمدهای نفتی نه تنها در جهت تقویت بخش غیرنفتی نبوده، بلکه موجب تضعیف آن شده و بیشترین نقش را تأمین هزینه‌های دولت داشته است. لذا پیشنهاد می‌شود که در دوره‌های افزایش درآمدهای نفتی، این درآمدهای مازاد در صندوق توسعه ملی ذخیره شود تا از پیامدهای منفی که می‌تواند به اقتصاد وارد آید، جلوگیری شود. ضمن اینکه اختصاص سهم بیشتری از منابع صندوق به بخش غیرنفتی نیز باید مدنظر قرار گیرد تا از این طریق، بخش غیرنفتی تقویت شود. هم‌اکنون حدود ۳۸ درصد از درآمدهای صندوق توسعه ملی تنها صرف اعطای تسهیلات به بخش بالادست نفت و گاز می‌شود و اگر تسهیلات اعطایی به پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها را به آن اضافه کنیم، سهم بخش نفت و گاز به بیش از ۶۰ درصد می‌رسد (عمده این تسهیلات مربوط به بخش دولتی و شبه‌دولتی است). این امر نشان می‌دهد که هدف اصلی تشکیل صندوق که همان تبدیل عواید ناشی از فروش نفت و گاز به ثروت‌های مولد و سرمایه‌های زاینده اقتصادی و همچنین تقویت بخش خصوصی است، چندان مورد توجه قرار نگرفته و بازنگری اساسی در مدیریت این دارایی‌ها باید در اولویت قرار گیرد.

کتاب‌نامه

اصغرپور، حسین و برادران خانیان، زینب (۱۳۹۷)، اثرات نامتقارن درآمدهای نفتی بر کسری بودجه دولت در ایران: رویکرد رگرسیون کوانتایل، بررسی مسائل اقتصاد ایران، ۵(۲)، ۱-۲۷.

مدلسازی اثرات تکانه‌های قیمت نفت ... (حسین توکلیان و دیگران) ۹۱

التجائی، ابراهیم و ارباب‌افضلی، محمد (۱۳۹۳)، بررسی تأثیرات نامتقارن شوک‌های قیمت نفت بر متغیرهای کلان اقتصادی ایران، بررسی مسائل اقتصاد ایران، (۱)، ۱-۲۶.

امیرقدسی و همکاران (۱۳۹۵)، آسیب‌شناسی عدم توفیق توسعه تکنولوژیک صنعت نفت ایران از طریق مطالعه تطبیقی با کشور نروژ، مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، ۶(۲۱)، ۱۸۳-۲۰۹.

پرمه و همکاران (۱۳۹۵)، بررسی اثر تکانه‌های اقتصادی بر متغیرهای کلان بخش کشاورزی با استفاده از مدل تعادل عمومی پویای تصادفی، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، (۸۰)، ۷۵-۱۱۸.

توکلیان، حسین و صارم، مهدی (۱۳۹۶)، الگوهای DSGE در نرم‌افزار Dynare (الگوسازی، حل و برآورد مبتنی بر اقتصاد ایران)، تهران، انتشارات پژوهشکده پولی و بانکی.

خیابانی، ناصر و امیری، حسین (۱۳۹۳)، جایگاه سیاستهای پولی و مالی ایران با تأکید بر بخش نفت با استفاده از مدل‌های DSGE، ۱۴(۵۴)، ۱۳۳-۱۷۳.

درخشان، مسعود، تکلیف، عاطفه (۱۳۹۴)، انتقال و توسعه فناوری در بخش بالادستی صنعت نفت ایران: ملاحظاتی در مفاهیم، الزامات، چالش‌ها و راهکارها، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۴(۱۴)، ۳۳-۸۸.

دمیری و همکاران (۱۳۹۶)، تأثیر تکانه نفتی بر تراز تجاری و متغیرهای کلان اقتصاد ایران با استفاده از یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۶(۲۳)، ۳۵-۶۰.

صیادی و همکاران (۱۳۹۵)، تکانه‌های تصادفی و مدیریت درآمدهای نفتی در ایران، رویکرد تعادل عمومی تعصافی پویا (DSGE)، پژوهشنامه اقتصادی، ۱۶(۶۱)، ۳۳-۸۰.

عباسیان و همکاران (۱۳۹۶)، اثرات غیرخطی درآمدهای نفتی بر رفاه اجتماعی در ایران، فصلنامه علمی - پژوهشی رفاه اجتماعی، ۱۷(۶)، ۳۹-۷۱.

کیانی و همکاران (۱۳۹۸)، تاثیر منشاء تکانه‌های قیمت نفت بر پویایی‌های اقتصاد کلان در یک کشور عمده صادرکننده نفت: یک الگوی تعادل عمومی پویای تصادفی باز، تحقیقات مدلسازی اقتصادی، ۱۰(۳۸): ۷-۴۴.

منظور داود، تقی پور انوشیروان (۱۳۹۴)، تنظیم یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE) برای اقتصاد باز کوچک صادرکننده نفت: مورد مطالعه ایران، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۲۳(۷۵): ۷-۴۴.

نادمی، یونس، صداقت کالمرزی، هانیه (۱۳۹۷)، بررسی اثر شوک‌های قیمتی نفت و تحریم‌های اقتصادی بر رژیم‌های بیکاری در ایران با استفاده از رهیافت مارکوف سوئیچینگ، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۷(۲۶)، ۱۳۱-۱۵۶.

ولی‌بیگی، حسن و همکاران (۱۳۹۶)، تحلیل اثر سیاست‌های پولی و مالی بر تجارت خارجی در ایران با رویکرد DSGE، پژوهشنامه بازرگانی، ۲۱(۸۳)، ۱-۳۴.

Adolfson, M., Laséen, S., Lindé, J., & Villani, M. (2007). Bayesian estimation of an open economy DSGE model with incomplete pass-through. *Journal of International Economics*, 72(2), 481-511.

Balke, N. S., & Brown, S. P. (2018). Oil supply shocks and the US economy: An estimated DSGE model. *Energy policy*, 116, 357-372.

Beckmann, J., Czudaj, R., & Arora, V. (2017). The relationship between oil prices and exchange rates: theory and evidence. *US Energy Information Administration working paper series*, 1-62.

Bergholt, D., & Larsen, V. (2016). Business cycles in an oil economy: Lessons from Norway.

Bergholt, D., Larsen, V. H., & Seneca, M. (2019). Business cycles in an oil economy. *Journal of International Money and Finance*, 96, 283-303.

Bodenstein, M., Erceg, C. J., & Guerrieri, L. (2011). Oil shocks and external adjustment. *Journal of International Economics*, 83(2), 168-184.

Calvo, G. A. (1983). Staggered contracts and exchange rate policy. In *Exchange rates and international macroeconomics* (pp. 235-258). University of Chicago Press.

Chen, S. S., & Chen, H. C. (2007). Oil prices and real exchange rates. *Energy Economics*, 29(3), 390-404.

Dai, M., & Xu, J. (2017). Firm-specific exchange rate shocks and employment adjustment: Evidence from China. *Journal of International Economics*, 108, 54-66.

Gali, J., & Monacelli, T. (2005). Monetary policy and exchange rate volatility in a small open economy. *The Review of Economic Studies*, 72(3), 707-734.

Habib, M. M., Buetzer, S., & Stracca, L. (2016). Global Exchange Rate Configurations: Do Oil Shocks Matter? *IMF Economic Review* 64: 443-470.

Hou, K., Mountain, D. C., & Wu, T. (2016). Oil price shocks and their transmission mechanism in an oil-exporting economy: A VAR analysis informed by a DSGE model. *Journal of International Money and Finance*, 68, 21-49.

Khan, H., & Tsoukalas, J. (2011). Investment shocks and the comovement problem. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 35(1), 115-130.

Kamps, A., & Beck, R. (2009). Petrodollars and imports of oil exporting countries, ECB Working Paper No. 1012, 1-38.

- Mukhtarov, S., Aliyev, S., & Zeynalov, J. (2020). The Effect of Oil Prices on Macroeconomic Variables: Evidence from Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 72-80.
- Oladunni, S. (2020). Oil Price Shocks and Macroeconomic Dynamics in an Oil-Exporting Emerging Economy: A New Keynesian DSGE Approach, *CBN Journal of Applied Statistics*, 11(1), 1-34.
- Peiris, S. J., & Saxegaard, M. (2010). An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model for Monetary Policy Analysis in Mozambique. *IMF staff papers*, 57(1), 256-280.
- Salisu, A. A., Isah, K. O., Oyewole, O. J., & Akanni, L. O. (2017). Modelling oil price-inflation nexus: The role of asymmetries. *Energy*, 125, 97-106.
- Tabarraei, M. H. R., Ghiaie, H., & Shahmoradi, A. (2018). Business cycle with bank intermediation in oil economies. *International Monetary Fund*.
- Zubair, A. (2019). Multisector small open economy DSGE model for oil exporting countries: The case of Nigeria (Doctoral dissertation, Cardiff University).
- Zhao, L., X. Zhang, S. Wang, and S. Xu. (2016.) The effects of oil price shocks on output and inflation in China, *Energy Economics*, 53, 101-110.