

Examining the Impact of Sanctions and the Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA) on the Input-Output Network of the Iranian Economy: A Complex Networks Approach

Parviz Rostamzadeh

Assistant Professor, Shiraz University, Shiraz, Iran (Corresponding author).

parvizrostamzadeh@shirazu.ac.ir

 0000-0000-0000-0000

Masumeh Mohammadi

Master's degree graduate, Shiraz University, Shiraz, Iran.

m.mohammadi.su@gmail.com

 0009-0003-9472-8827

Zeinab Yadegar

Assistant Professor, Shiraz University, Shiraz, Iran.

gh.yadegar@hotmail.com

 0000-0000-0000-0000

Abstract

After World War II, sanctions have gained a strategic position in international policies as a tool to advance political objectives without resorting to military intervention. While Iran has been under varying levels of sanctions imposed by the United States and its allies since the beginning of the Islamic Revolution, it has faced broader and more targeted sanctions, particularly in the fields of oil exports and access to financial resources, since the early 2010s. With the approval of the Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA) in 2015, part of these pressures were temporarily alleviated. Since Iran's economy is structurally dependent on oil, evaluating the effects of these sanctions and the openings created by the JCPOA on key sectors of Iran's economy appears to be an unavoidable necessity. Accordingly, this study aims to analyze the impact of sanctions and the JCPOA on the structural position of Iran's economic sectors. Using the theory of complex networks, it compares the input-output network structure of Iran's economy in 2001, 2011, and 2016. The results of comparing these three networks indicate that the level of intra-network connections between economic sectors increased after the imposition of oil sanctions, while after the signing of the JCPOA, these links diminished. Additionally, an analysis of the structural position of various sectors shows that the impact of these developments was not uniform, with some sectors experiencing an upgrade, while others faced a decline in their position within the country's economic network. The findings of this research can provide a clear outlook for economic policymakers in identifying vulnerable sectors and formulating effective strategies to cope with the consequences of sanctions.

Keywords: Iran's economy, Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA), Sanctions, Input-output table, Complex network.

JEL Classification: C88, D85, F51, O53

بررسی میزان تأثیرپذیری شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران از تحریم‌ها و برنامه جامع اقدام مشترک (برجام): رویکرد شبکه‌های پیچیده

پرویز رستم‌زاده

استادیار دانشگاه شیراز، شیراز، ایران (نویسنده مسئول).

parvizrostamzadeh@shirazu.ac.ir

0000-0000-0000-0000

معصومه محمدی

کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

m.mohammadi.su@gmail.com

0009-0003-9472-8827

زینب یادگار

استادیار دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

gh.yadegar@hotmail.com

0000-0000-0000-0000

چکیده

پس از جنگ جهانی دوم، تحریم‌ها به عنوان ابزاری برای پیشبرد اهداف سیاسی، بدون توسل به مداخله نظامی، جایگاهی راهبردی در سیاست‌های بین‌المللی یافته‌اند. درحالی‌که ایران از ابتدای انقلاب اسلامی همواره با سطوح مختلفی از تحریم‌ها از سوی آمریکا و متحدانش تحت فشار قرار گرفته است، از اوایل دهه ۱۳۹۰ با تحریم‌هایی گسترده‌تر و هدفمندتر، به ویژه در حوزه صادرات نفت و دسترسی به منابع ارزی، مواجه شده است. با تصویب برنامه جامع اقدام مشترک (برجام) در سال ۱۳۹۴، مقرر گردید بخشی از این فشارها به طور موقت کاهش یابد. از آنجاکه اقتصاد ایران به طور ساختاری به نفت وابسته است، ارزیابی آثار این تحریم‌ها و گشایش‌های ناشی از برجام بر بخش‌های کلیدی اقتصاد ایران، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. براین اساس، پژوهش حاضر با هدف تحلیل تأثیر تحریم‌ها و توافق برجام بر موقعیت ساختاری بخش‌های اقتصادی ایران، با بهره‌گیری از نظریه شبکه‌های پیچیده، به بررسی تطبیقی ساختار شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ پرداخته است. نتایج حاصل از مقایسه این سه شبکه نشان می‌دهد میزان ارتباطات درون شبکه‌ای میان بخش‌های اقتصادی پس از اعمال تحریم‌های نفتی افزایش یافته است، درحالی‌که پس از امضای برجام از شدت این پیوندها کاسته شده است. همچنین، تحلیل جایگاه ساختاری بخش‌های مختلف نشان می‌دهد که تأثیر این تحولات، یکنواخت نبوده و برخی بخش‌ها با ارتقا و برخی دیگر با تنزل جایگاه در شبکه اقتصادی کشور مواجه شده‌اند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند چشم‌اندازی روشن برای سیاست‌گذاران اقتصادی در راستای شناسایی بخش‌های آسیب‌پذیر و تدوین راهبردهای مؤثر برای مقابله با پیامدهای تحریم‌ها فراهم سازد.

کلیدواژه‌ها: اقتصاد ایران، برنامه جامع اقدام مشترک (برجام)، تحریم، جدول داده - ستانده، شبکه پیچیده.

طبقه‌بندی JEL: C88, D85, F51, O53

شاپای الکترونیک: ۲۵۸۸-۶۵۶۸ / پژوهشکده تحقیقات راهبردی / فصلنامه علمی پژوهشی راهبرد اقتصادی

doi 10.22034/es.2025.489307.1812



مسئولیت مقاله از نظر محتوای علمی و نظرهای مطرح‌شده در متن آن، به عهده نویسندگان و یا نویسنده مسئول مقاله می‌باشد و مورد تأیید / عدم تأیید صاحب امتیاز نشریه راهبرد اقتصادی نمی‌باشد.

مقدمه و بیان مسئله

تحریم‌های بین‌المللی یکی از ابزارهای مهم در عرصه سیاست خارجی به‌شمار می‌روند که می‌توانند تأثیرات قابل‌توجهی بر رشد و توسعه اقتصادی کشورها داشته باشند. در سال‌های اخیر، تحریم‌های بین‌المللی علیه ایران به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این تحریم‌ها، به‌ویژه در شرایط جهانی که بخش‌های مختلف اقتصادی به‌طور فزاینده‌ای با یکدیگر در ارتباط هستند، می‌توانند بحران‌های گسترده‌ای ایجاد کنند و اثرهای آن‌ها فراتر از بخش‌های هدف قرار گرفته، کل اقتصاد را تحت تأثیر قرار دهد (منظور و رجبی، ۱۳۹۸)؛ به‌عنوان نمونه، تحریم‌های اعمال‌شده بر بخش انرژی روسیه در سال ۲۰۲۲ به‌خوبی نشان داد که شوک‌های واردشده به یک حوزه خاص می‌توانند در کوتاه‌مدت آسیب‌های جدی به اقتصاد و نظام مالی کشور تحریم‌شده وارد کنند و حتی کشورهای وابسته به آن، مانند کشورهای اروپایی را نیز با چالش مواجه سازند (Berner & et al., 2022).

یکی از مهم‌ترین آموزه‌های تحریم‌ها در دهه اخیر این است که باید اثرهای تحریم‌ها به‌صورت ویژه بر بخش‌های مختلف اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان با هدف مدیریت ریسک به تقویت انعطاف‌پذیری و کاهش آسیب‌پذیری بخش‌های اقتصادی پرداخت (Kreibich & et al., 2022). شوک‌های اقتصادی مختلف می‌توانند مسیر پویای متغیرهای کلان را در طول زمان تحت تأثیر قرار دهند. تحریم‌های بین‌المللی ازجمله شوک‌های تأثیرگذار بر اقتصاد ایران بوده‌اند. وابستگی ایران به درآمدهای ارزی حاصل از صادرات انرژی، موجب شده است که تحریم‌کنندگان بخش انرژی را به‌عنوان نقطه آسیب‌پذیر اقتصاد ایران هدف قرار دهند (صیادی و برکشلی، ۱۳۹۱).

در صورت اعمال تحریم‌های بین‌المللی بر کشورهای تولیدکننده نفت، درآمد و مخارج دولت کاهش یافته و نرخ ارز افزایش می‌یابد. اولین پیامد مورد انتظار افزایش نرخ تورم است که موجب کاهش تقاضای مصرفی می‌شود. ازسوی دیگر، هزینه‌های بخش‌های تولیدی و خدماتی افزایش یافته و هزینه هر واحد تولیدی بیشتر می‌شود که منجر به کاهش سود و حجم فعالیت اقتصادی خواهد شد. این فرایند به بروز پدیده رکود تورمی در اقتصاد می‌انجام (پورعبداللّهان کوپچ؛ پناهی و جوادزاده، ۱۳۹۸). به‌منظور درک دقیق‌تر ساختار اقتصادی، می‌توان تعاملات متقابل میان تمامی

بخش‌های یک سیستم اقتصادی را در قالب یک شبکه پیچیده^۱ مدل‌سازی کرد (Lee & et al., 2021). بهره‌گیری از نظریه شبکه‌های پیچیده امکان نگاهی نوآورانه و جامع‌تر به سیستم‌های اقتصادی را فراهم می‌سازد. در چنین شبکه‌هایی، اهمیت هر بخش اقتصادی بر اساس معیارها و شاخص‌های مختلفی سنجیده می‌شود. چنانچه این شبکه در معرض شوک‌های خارجی، نظیر تحریم‌های بین‌المللی قرار گیرد، ساختار کلی آن می‌تواند به شدت تحت تأثیر قرار گیرد؛ بنابراین، بررسی ساختار اقتصادی کشور از منظر نظریه شبکه، ضروری به نظر می‌رسد. با تحلیل ساختار شبکه داده - ستانده، سیاست‌گذاران قادر خواهند بود تا میزان حساسیت هریک از بخش‌های اقتصادی را نسبت به تحریم‌ها و برجام شناسایی کرده و و راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری این بخش‌ها طراحی و اجرا کنند (پورعبادالهیان کویچ و دیگران، ۱۳۹۸).

تابه حال مطالعات متعددی پیرامون تأثیر تحریم‌ها و برجام بر اقتصاد ایران انجام شده است، ازجمله می‌توان به پژوهش‌های کیومرثی و همکاران (۱۳۹۷)، پورعبادالهیان کویچ؛ پناهی و جوادزاده (۱۳۹۹)، شیشه‌گری و همکاران (۱۴۰۱)، لاوداتی و هاشم پسران^۲ (۲۰۲۲)؛ دیزجی^۳ (۲۰۲۱)؛ قاسمی‌نژاد و جهان‌پرور^۴ (۲۰۲۱)؛ قمی^۵ (۲۰۲۲)؛ فرزندگان و باتمانقلیچ^۶ (۲۰۲۴)؛ جباری^۷ و همکاران (۲۰۲۴)؛ مستافویف^۸ و همکاران (۲۰۲۵) و کبیر و محمدیانی^۹ (۲۰۲۴) اشاره نمود که هریک با رویکرد خاصی پیامدهای اقتصادی تحریم‌ها و برجام را بر جنبه‌های مختلف اقتصاد ایران مورد ارزیابی قرار داده‌اند. با وجود اینکه در ساختار واقعی اقتصاد، بخش‌های مختلف به صورت شبکه‌ای با یکدیگر ارتباط دارند و تحریم‌ها و برجام می‌توانند این ارتباطات را تحت تأثیر قرار دهند، تاکنون در هیچ‌یک از مطالعات، تأثیرات تحریم‌ها و برجام بر شبکه ارتباطات میان بخش‌های مختلف اقتصادی بررسی نشده است. تنها جهانی (۱۳۹۸) به‌طور خاص به تحلیل شبکه ارتباطات میان بخش‌های اقتصادی پرداخته است؛ بااین‌حال، مطالعه او تنها به

1. Complex Network

2. Laudati & Hashem pesaran

3. Dizaji

4. Ghasseminejad & Jahan-Parvar

5. Ghomi

6. Farzanegan & Batmanghelidj

7. Jabari

8. Mustafeyev

9. Kabir & Mohammadyani

شناسایی ساختار کلی شبکه اقتصاد ایران و بخش‌های کلیدی آن محدود بوده و اثرهای تحریم‌ها و برجام بر جایگاه این بخش‌ها را نادیده گرفته است.

در اقتصاد واقعی، بخش‌های مختلف به‌طور متقابل با یکدیگر در ارتباط می‌باشند. یکی از ابزارهای مؤثر برای نمایش این ارتباطات، جدول داده – ستانده است. این جدول نشان می‌دهد هر بخش اقتصادی چه میزان نهاده از سایر بخش‌ها دریافت می‌کند و چه میزان ستانده به‌عنوان نهاده به دیگر بخش‌ها ارائه می‌دهد (Bon & Minami, 2024). در این پژوهش، برای بررسی روابط میان بخش‌های اقتصادی، سه شبکه داده – ستانده بر اساس جداول داده – ستانده سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ تشکیل شده‌اند. انتخاب این سه مقطع زمانی از یک‌سو به‌دلیل دسترسی به داده‌های رسمی (جداول داده – ستانده) و قابل مقایسه از سوی مرکز آمار ایران و ازسوی دیگر به‌دلیل بروز تحولات مهم اقتصادی و سیاسی در این سال‌ها صورت گرفته است. این انتخاب امکان ارائه تصویری جامع از ساختار و تغییرات ارتباطات بین بخشی در بازه‌ای بلندمدت را فراهم می‌سازد تا بتوان با بهره‌گیری از شاخص‌های خرد و کلان نظریه شبکه‌های پیچیده، به تحلیل این روابط پرداخت.

از آنجاکه تاکنون در هیچ مطالعه‌ای از منظر نظریه شبکه‌های پیچیده به بررسی تأثیر تحریم‌های بین‌المللی و توافق برجام را بر ساختار شبکه‌ای اقتصاد ایران و ارتباطات میان بخش‌های اقتصادی پرداخته نشده است، این پژوهش تلاش می‌کند این شکاف پژوهشی را پوشش دهد. در این راستا، سه شبکه اقتصادی ترسیم شده‌اند: شبکه اول نمایانگر وضعیت قبل از اعمال تحریم‌های گسترده (سال ۱۳۸۰)، شبکه دوم مربوط به دوره تشدید تحریم‌ها (سال ۱۳۹۰)، و شبکه سوم منعکس‌کننده ساختار اقتصادی پس از امضای توافق برجام (سال ۱۳۹۵) است. مقایسه این شبکه‌ها، زمینه‌ای برای تحلیل تأثیرپذیری ساختار اقتصادی کشور از تحولات سیاسی و بین‌المللی فراهم می‌آورد.

در ادامه در بخش دوم ادبیات پژوهش، در بخش سوم روش پژوهش، در بخش چهارم یافته‌های پژوهش، در بخش پنجم نتیجه‌گیری و در بخش آخر پیشنهادها ارائه می‌شود.

۱. ادبیات پژوهش

۱-۱. مبانی نظری

۱-۱-۱. تحلیل شبکه در اقتصاد کلان

در دهه‌های اخیر، نظریه شبکه‌های پیچیده به‌طور فزاینده‌ای در مطالعات اجتماعی و اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است. این نظریه با هدف درک ساختار و پویایی تعاملات در سیستم‌های پیچیده، امکان مدل‌سازی روابط چندگانه و درهم‌تنیده میان اجزای سیستم را فراهم می‌آورد. به‌ویژه در حوزه اقتصاد، شبکه‌های پیچیده ابزاری قدرتمند برای تحلیل تعاملات میان نهادها و بخش‌های مختلف اقتصادی به‌شمار می‌آیند (Zhang & et al., 2021; Erdőháti-Kiss & et al., 2023).

در چهارچوب این نظریه، اقتصاد کلان به‌عنوان یک شبکه چندبخشی متشکل از واحدهای تولیدی، خدماتی، تجاری و نهادهای مالی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این شبکه، روابط بین‌بخشی نه تنها بر جریان اطلاعات و منابع تأثیر می‌گذارند بلکه نقش کلیدی در انتقال شوک‌ها و بحران‌ها دارند. به‌این ترتیب، تحلیل این روابط به درک بهتر سازوکارهای پیچیده اقتصاد کلان و پیش‌بینی رفتارهای سیستم کمک می‌کند (Telarico & et al., 2023; Song & et al., 2024).

این رویکرد به‌ویژه در شبیه‌سازی‌های اقتصادی و ارزیابی ریسک‌های نظام‌مند کاربرد دارد و امکان تحلیل ساختارهای بین‌بخشی و شناسایی گره‌های کلیدی در شبکه اقتصادی را فراهم می‌آورد. همچنین، این رویکرد می‌تواند تاب‌آوری سیستم‌های اقتصادی را در برابر بحران‌ها، اختلالات بیرونی و شرایطی نظیر بحران‌های مالی، همه‌گیری‌ها یا تحریم‌های اقتصادی بررسی کند. درک ساختار شبکه‌ای اقتصاد به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا نقاط آسیب‌پذیر را شناسایی کرده و مداخلات مؤثری را برای مقابله با آن‌ها طراحی کنند (Chen & et al., 2018; Zheng & et al., 2022).

برای ارزیابی جایگاه عناصر در شبکه‌های پیچیده، از شاخص‌های مرکزیت استفاده می‌شود. در این مقاله، از شاخص‌های زیر بهره گرفته شده است:

مرکزیت درجه: مرکزیت درجه شاخصی است که میزان ارتباطات یک گره را با سایر گره‌ها در شبکه اندازه‌گیری می‌کند. گره‌هایی که مرکزیت درجه بالاتری دارند، به‌دلیل داشتن تعداد ارتباطات بیشتر با دیگر گره‌ها، قادرند تأثیرات خود را سریع‌تر به سایر

گره‌ها منتقل کنند (Baek & et al., 2022). در شبکه اقتصادی ایران، بخش‌هایی مانند: انرژی، نفت و بانک‌ها که ارتباطات گسترده‌ای با دیگر بخش‌ها دارند، می‌توانند گره‌هایی با مرکزیت درجه بالا باشند. این بخش‌ها به دلیل تعداد زیاد ارتباطاتشان، تأثیرات خود را سریع‌تر به سایر گره‌ها منتقل می‌کنند (Cai & et al., 2023).

تحلیل مرکزیت درجه می‌تواند نشان دهد که کدام بخش‌های اقتصادی بیشترین تعاملات را با سایر بخش‌ها دارند. در نتیجه، تغییرات در این بخش‌ها می‌تواند تأثیرات گسترده‌تری بر کل شبکه داشته باشد؛ به‌طورمثال، کاهش درآمدهای ارزی ایران ناشی از تحریم‌های نفتی می‌تواند منابع مالی دولت را کاهش دهد و آن را از توانایی تأمین هزینه‌ها و اجرای پروژه‌ها بازدارد. این وضعیت همچنین ممکن است بانک‌ها را با مشکلات نقدینگی مواجه کند، چرا که برای تأمین مالی پروژه‌های انرژی و صنایع به منابع مالی نیاز دارند. در نتیجه، این مشکلات می‌تواند به سایر بخش‌های اقتصادی، از جمله صنایع و اشتغال، سرایت کرده و اختلالاتی در فرایند اقتصادی ایجاد کند (دشتبان فاروجی و درگاهی، ۱۴۰۰).

مرکزیت رتبه صفحه^۱: مرکزیت رتبه صفحه یکی از مفاهیم شناخته‌شده در تحلیل شبکه‌های پیچیده است که برای اندازه‌گیری اهمیت نسبی گره‌ها در یک شبکه استفاده می‌شود. این شاخص ابتدا توسط گوگل برای رتبه‌بندی صفحات وب توسعه یافت و امروزه در تحلیل شبکه‌های پیچیده به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق این شاخص، گره‌هایی که ارتباطات مهم‌تری با سایر گره‌ها دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند (Zhang & et al., 2022).

در شبکه اقتصادی ایران، بخش‌هایی که نقش کلیدی در ساختار اقتصادی دارند و ارتباطات مهمی با دیگر بخش‌ها برقرار می‌کنند، مانند بخش نفت و انرژی، ممکن است مرکزیت رتبه صفحه بالایی داشته باشند. این بخش‌ها در شرایط بحرانی می‌توانند تأثیرات گسترده‌تری بر سایر بخش‌ها بگذارند (Shahnazi & et al., 2023).

مرکزیت نفوذ^۲: مرکزیت نفوذ یکی از شاخص‌های کلیدی در تحلیل شبکه‌های پیچیده است که نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری یک گره بر دیگر گره‌ها در شبکه است. به عبارت دیگر، گره‌هایی که از مرکزیت نفوذ بالاتری برخوردار هستند، به عنوان منابع معتبر و تأثیرگذار شناخته می‌شوند که قادرند تأثیرات و تغییرات در یک بخش را به دیگر بخش‌ها منتقل کنند (Boito & Grena, 2021).

1. PageRank Centrality
2. Authorities Centrality

در شبکه اقتصادی ایران، بخش‌هایی مانند نفت و انرژی که در مسیرهای تجاری و اقتصادی قرار دارند و ارتباطات گسترده‌ای با سایر بخش‌ها دارند، می‌توانند از مرکزیت نفوذ بالاتری برخوردار باشند. این بخش‌ها در شرایط مختلف اقتصادی، مانند تحریم‌ها یا برجام، قادرند نقش برجسته‌ای در انتقال اثرهای نوسانات اقتصادی و تغییرات سیاستی به سایر بخش‌ها ایفا کنند (Shahnazi & et al., 2023).

با استفاده از تحلیل شبکه پیچیده و شاخص‌های مرکزیت نفوذ، می‌توانیم تغییرات جایگاه بخش انرژی در اقتصاد ایران را در شرایط مختلف (مانند: تحریم‌ها یا برجام) بررسی کنیم. این رویکرد نظری ابزار مفیدی برای تحلیل وابستگی‌های متقابل اقتصادی و تأثیرات متغیرهای کلیدی بر بخش انرژی ایران فراهم می‌کند (Shahnazi & et al., 2023).

ضریب خوشه‌بندی^۱: ضریب خوشه‌بندی نشان می‌دهد که همسایگان یک رأس تا چه حد به یکدیگر متصل هستند. این ضریب برابر است با نسبت تعداد اتصالات موجود بین همسایگان یک رأس به بیشترین تعداد اتصالاتی که می‌توان بین آن‌ها برقرار کرد (Doostmohammadian & et al., 2024).

چگالی شبکه^۲: چگالی به‌عنوان یک شاخص برای اندازه‌گیری میزان اتصال درونی رئوس شبکه استفاده می‌شود. این معیار نسبت تعداد اتصالات واقعی مشاهده‌شده در شبکه به کل اتصالات ممکن را نشان می‌دهد. چگالی شبکه عددی بین صفر تا یک است که نشان می‌دهد رئوس شبکه تا چه حد به یکدیگر متصل هستند (Li & et al., 2024).

۱-۲. تحریم‌های اقتصادی

اعمال تحریم‌های بین‌المللی بر هریک از بخش‌های اقتصادی، صرفاً به آن بخش محدود نمی‌شود بلکه می‌تواند بر عملکرد سایر بخش‌ها نیز تأثیرگذار باشد. ارتباط میان اجزای مختلف اقتصاد را می‌توان در قالب یک شبکه پیچیده مدل‌سازی کرد. تحلیل شبکه‌های پیچیده، ابزاری نوین برای درک ساختارهای اقتصادی است که در سال‌های اخیر نقش مهمی در مطالعات این حوزه ایفا کرده است. نظریه شبکه‌های پیچیده، امکان بررسی روابط میان بخش‌های اقتصادی و تحلیل تأثیر تحریم‌های نفتی و توافق برجام بر این روابط را فراهم می‌آورد (Erdőháti-Kiss & et al., 2023;).

1. Clustering Coefficient

2. Network Density

(Zheng & et al., 2022).

نخستین بار، فرضیه تحریم در سال ۱۹۶۷ توسط گالتونگ مطرح شد؛ وی تحریم را ابزاری برای ابراز نارضایتی و مهار رفتارهای خاص کشور هدف معرفی کرد (Ustiasvili & et al., 2023). تحریم‌ها، اقدامات اجباری و غیرنظامی‌ای هستند که توسط یک کشور یا گروهی از کشورها علیه کشورها، سازمان‌ها یا اشخاص دیگر به منظور فشار برای تغییر سیاست‌های آن‌ها اعمال می‌شوند (Meyer & et al., 2023). به عبارت دیگر، تحریم‌ها بخشی از دیپلماسی بین‌المللی به شمار می‌آیند که از طریق آن، کشور فرستنده نارضایتی خود از رفتار سیاسی کشور هدف را اعلام کرده و از منافع ملی خود در برابر تهدیدهایی همچون تسلیحات هسته‌ای و تروریسم بین‌المللی حمایت می‌کند (جهانی، ۱۳۹۸، ص. ۳۶).

اهداف اصلی کشور یا سازمان‌های اعمال‌کننده تحریم، متقاعدسازی، وادارسازی یا تهدید کشور هدف یا نهادهای وابسته به آن برای توقف رفتارهایی است که در تضاد با منافع سیاست‌گذار تحریم‌کننده قرار دارد. در این چهارچوب، «فرستنده» می‌تواند یک کشور، مجموعه‌ای از کشورها یا سازمان‌هایی مانند سازمان ملل باشد و «هدف»، کشوری است که مستقیماً در معرض تحریم قرار گرفته است (Morgan & et al., 2023). هدف نهایی تحریم‌ها، تغییر در رفتارهای سیاسی کشور هدف است (Crozet & Hinz, 2020).

تحریم‌های اعمال‌شده علیه جمهوری اسلامی ایران را می‌توان در شش دوره زمانی تقسیم‌بندی کرد:

- ≠ دوره نخست انقلاب و گروگان‌گیری (۱۹۷۹-۱۹۸۱)؛
- ≠ دوره جنگ تحمیلی (۱۹۸۱-۱۹۸۸)؛
- ≠ دوره بازسازی (۱۹۸۹-۱۹۹۵)؛
- ≠ دوره مهار دوجانبه در دولت کلینتون (۱۹۹۶-۲۰۰۱)؛
- ≠ دوره پس از حملات ۱۱ سپتامبر و قطعنامه‌های شورای امنیت (۲۰۰۱-۲۰۰۶)؛
- ≠ دوره تشدید تحریم‌ها تا توافق برجام (۲۰۰۶-۲۰۱۶) (حسنوند و دیگران، ۱۳۹۷، ص. ۶۶۹).

در نهایت، مذاکرات بین‌المللی پیرامون برنامه هسته‌ای ایران در تاریخ ۲۴ تیر ۱۳۹۴ به توافق چندجانبه‌ای تحت عنوان «برنامه جامع اقدام مشترک» (برجام) منجر شد. بر اساس این توافق، برخی از تحریم‌های بین‌المللی از جمله تحریم‌های ثانویه بر صادرات نفت ایران در تاریخ ۲۶ دی ۱۳۹۴ لغو گردید. با این حال، خروج

یک‌جانبه ایالات متحده از توافق در تاریخ ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۷ باعث بازگشت مجدد تحریم‌ها، به‌ویژه در حوزه صادرات نفت شد (Brown, 2020). در این پژوهش، تأثیر تحریم‌های اقتصادی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ که عمدتاً در قالب تحریم‌های نفتی شناخته می‌شوند و همچنین تأثیر امضای برجام، بر ساختار شبکه‌ای اقتصاد ایران و ارتباط میان بخش‌های مختلف اقتصادی بررسی می‌شود.

۱-۳. تحریم‌های اقتصادی و اختلال در ساختار شبکه‌ای

تحریم‌های اقتصادی به‌عنوان ابزار ژئوپلیتیکی، با ایجاد موانع در جریان تجارت، سرمایه، فناوری و اطلاعات، ممکن است ساختار شبکه‌ای اقتصاد کشور هدف را تحت تأثیر قرار دهند. در خصوص ایران، محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها، به‌ویژه در زمینه صادرات نفت، دسترسی به نظام بانکی جهانی و واردات تجهیزات و فناوری‌های کلیدی، روابط بین‌بخشی اقتصاد را مختل کرده و می‌تواند منجر به تغییر در جایگاه و نقش بخش‌های مختلف در شبکه اقتصادی شود (Erdőháti-Kiss & et al., 2023; Song & et al., 2024).

از منظر نظری، تحریم‌ها ممکن است به‌عنوان حذف یا تضعیف یال‌ها در گراف شبکه اقتصادی تفسیر شوند که نتیجه آن ممکن است افزایش فاصله میان گره‌ها، کاهش تمرکز شبکه و تغییر در مرکزیت برخی گره‌های کلیدی باشد. این تغییرات احتمالی می‌تواند باعث کاهش کارایی، افزایش شکنندگی و کاهش توانمندی سیستم اقتصادی در برابر شوک‌ها گردد (Zheng & et al., 2022; Telarico & et al., 2023).

۱-۲. پیشینه پژوهش

با توجه به اینکه تاکنون در هیچ مطالعه‌ای تأثیر تحریم‌ها و برجام بر روابط میان بخش‌های اقتصادی ایران، بر مبنای شبکه‌های پیچیده و جدول داده - ستانده، مورد بررسی قرار نگرفته است، مرور مطالعات پیشین در دو بخش صورت می‌پذیرد.

در بخش نخست، مطالعات پیشین درباره تأثیر تحریم‌ها و توافق برجام بر ابعاد مختلف اقتصاد ایران، با بهره‌گیری از روش‌های گوناگون، بررسی می‌شود. در بخش مطالعات داخل کشور، کیومرثی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE) به بررسی تأثیر تحریم‌های مالی و انرژی بر شکاف تولید در اقتصاد ایران پرداخته‌اند. در این مطالعه تحریم‌های مالی و انرژی به‌صورت یک شوک مدل‌سازی شده و مسیر پویای متغیرهای کلان اقتصادی بررسی گردیده

است. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این بوده که شوک ناشی از تحریم‌ها می‌تواند مسیر پویای متغیرهای کلان مصرف، تولید، سرمایه‌گذاری و تورم را در طول زمان متأثر سازد و موجب افزایش شکاف تولید شود. همچنین آن‌ها نشان دادند با وضع تحریم‌های انرژی، صادرات کل در نتیجه کاهش وصول درآمدهای نفتی کاهش یافته است. ازسوی دیگر به تبع کاهش توانایی مبادلات مالی در سطح بین‌المللی، واردات نیز کاهش می‌یابد.

پورعبادالهیان کویچ و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی تأثیر تحریم‌ها بر صادرات کالاهای صنعتی در ۲۲ زیر بخش صنعتی در بازه زمانی ۱۳۷۹ الی ۱۳۹۴ با استفاده از روش رگرسیونی پولد^۱ (تجمیعی) پرداخته‌اند. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده علی‌رغم تأثیر منفی تحریم‌ها بر صادرات برخی زیر بخش‌های اقتصادی، برخی دیگر که هدف مستقیم تحریم‌ها نبودند با تأثیرپذیری از کاهش ارزش ریال، مزیت رقابتی پیدا کردند و میزان صادرات خود را افزایش داده‌اند.

شیشه‌گری و همکاران (۱۴۰۱)، با استفاده از مدل جاذبه اثر شدت تحریم‌های انرژی را به‌عنوان یک متغیر روی تجارت بین‌المللی ایران با در نظر گرفتن پنج شریک تجاری مهم (چین، هند، آلمان، ترکیه، امارات متحده عربی) برآورد کرده‌اند. نتایج آن‌ها حاکی از این بوده است که اثر شدت تحریم‌های انرژی بر تجارت بین‌المللی ایران به‌طور قابل‌توجهی منفی بوده است. همچنین میزان اثرگذاری تحریم‌های انرژی بر واردات و صادرات ایران با سایر کشورها متفاوت است که می‌تواند به‌دلیل میزان پیروی شرکای تجاری ایران از تحریم‌ها تحت تأثیر منافع اقتصادی و سیاسی آن‌ها باشد.

در بخش مطالعات خارجی دیزجی^۲ (۲۰۲۱)، به بررسی عملکرد بانک‌های ایران در دوران‌های مختلف تحریم‌ها پرداخته است. همچنین، تأثیر توافق هسته‌ای ایران (برجام) و کاهش جزئی تحریم‌ها بر هزینه‌ها و کارایی بانک‌های ایران را مورد تحلیل قرار داده است. این مطالعه نشان می‌دهد که شدت تحریم‌ها موجب افزایش هزینه‌ها و کاهش کارایی بانک‌های ایرانی شده است. بانک‌های تجاری و خصوصی به‌طور قابل‌توجهی هزینه کمتری نسبت به بانک‌های دولتی و توسعه‌ای دارند. همچنین، توافق هسته‌ای (برجام) منجر به کاهش ناکارآمدی هزینه‌ای در بانک‌ها گردید؛ اما این اثرها تنها پیش از خروج ایالات متحده از توافق هسته‌ای مشاهده شد و پس از

1. Pooled

2. Dizaji

آن، تأثیرات مثبت بر کارایی هزینه‌ای از بین رفت.

قاسمی‌نژاد و جهان‌پرور^۱ (۲۰۲۱)، با بهره‌گیری از مدل بازده تعدیل‌شده نسبت به بازار^۲، تأثیر تحریم‌های مالی بر شرکت‌های بورسی ایران را در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج آن‌ها حاکی از این است که تحریم‌های مالی تأثیر منفی قابل توجهی بر شرکت‌های بورسی ایران، به‌ویژه شرکت‌های وابسته به نهادهای سیاسی مانند سپاه پاسداران و دفتر رهبری، داشته است. پس از تحریم‌ها، ارزش سهام، سودآوری و ساختار سرمایه این شرکت‌ها کاهش یافته و برای مدیریت ریسک، بدهی‌ها کاهش و نقدینگی افزایش یافته است. لغو تحریم‌ها باعث بهبود نسبی بازار شد؛ اما شرکت‌های سیاسی کمتر از سایر شرکت‌ها از این بهبود بهره‌مند شدند. لاوداتی و هاشم‌پسران^۳ (۲۰۲۲)، به بررسی و برآورد کمی تأثیر تحریم‌ها بر اقتصاد ایران با استفاده از روش بردار خودرگرسیون^۴ (VAR) پرداخته‌اند. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده تحریم‌ها به‌طور قابل توجهی درآمدهای ناشی از صادرات نفت را کاهش داده‌اند که منجر به کاهش ارزش ریال و افزایش تورم و کاهش رشد تولید شده است.

قمی^۵ (۲۰۲۲)، با استفاده از یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی^۶ به تحلیل اثرات تحریم‌های اقتصادی بین‌المللی بر متغیرهای کلان مانند تولید ناخالص داخلی^۷ (GDP)، تورم، اشتغال و همچنین بررسی نحوه توزیع این آثار میان اقشار مختلف جامعه (مثلاً فقرا در مقابل ثروتمندان) می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که تحریم‌ها باعث رکود اقتصادی، افزایش تورم و کاهش مصرف در ایران شده‌اند. بیشترین فشار بر اقشار کم‌درآمد وارد شده، چون منابع مالی محدود دارند و بیشتر تحت تأثیر گرانی‌ها قرار می‌گیرند. همچنین، سیاست‌های داخلی توان کافی برای جبران آثار تحریم را نداشته‌اند و نابرابری اقتصادی افزایش یافته است.

فرزانگان و باتمانقلیچ^۸ (۲۰۲۴)، به بررسی ادبیات مربوط به اثرهای اقتصادی تحریم‌ها بر ایران با استفاده از روش کنترل مصنوعی^۹ برای تفکیک عوامل برون‌زا و

1. Ghasseminejad & Jahan-Parvar

2. Market-adjusted returns model

3. Laudati & Hashem pesaran

4. Vector Autoregressive

5. Ghomi

6. Dynamic Stochastic General Equilibrium model (DSGE)

7. Gross Domestic Product (GDP)

8. Farzanegan & Batmanghelidj

9. Synthetic control method

درون‌زا مسئول عملکرد ضعیف اقتصادی در ایران می‌پردازند. نتایج نشان می‌دهد که تحریم‌ها همچنان تأثیر زیادی بر اقتصاد ایران دارند و حتی اگر برداشته شوند، آثار آن‌ها ادامه خواهد داشت. تجربه ایران نشان می‌دهد که تحریم‌ها همیشه نتوانسته‌اند به اهداف تعیین‌شده خود برسند و گاهی حتی اثرهای معکوس داشته‌اند. تحریم‌ها در ایران باعث اختلال در زنجیره تأمین، کاهش اشتغال (خصوصاً برای زنان)، افت سودآوری شرکت‌ها و آسیب به صنایع کلیدی شده‌اند، باین‌حال برخی بخش‌ها با خودکفایی و پیدا کردن بازارهای جدید به مقابله با آن‌ها پرداخته‌اند.

جباری^۱ و همکاران (۲۰۲۴)، تأثیر تحریم‌ها بر بازده انرژی ایران در زیر بخش‌های مختلف صنعتی را با به‌کارگیری رگرسیون اثرهای ثابت مورد ارزیابی قرار دادند. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، تحریم‌ها تأثیر منفی و معناداری بر بهره‌وری انرژی در زیربخش‌های صنعتی ایران داشته‌اند، به‌ویژه در بخش‌هایی با وابستگی بالاتر به واردات. در مقابل، عواملی مانند مقیاس بنگاه، باز بودن تجاری، نسبت سرمایه به نیروی کار و تمرکز صنعتی تأثیر مثبت و معناداری بر بهره‌وری انرژی داشته‌اند. به‌طور کلی، افزایش شدت تحریم‌ها منجر به کاهش بهره‌وری انرژی شده است، به‌خصوص در صنایعی که به واردات تجهیزات و فناوری وابسته هستند.

کبیر و محمدیانی^۲ (۲۰۲۴)، تأثیر تحریم‌های بین‌المللی بر صنعت نفت ایران و موقعیت آن در شبکه‌های تولید جهانی^۳ (GPNs) با استفاده از روش رئالیسم انتقادی^۴ را بررسی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که تحریم‌ها جایگاه ایران را در شبکه‌های تولید جهانی (GPNs) تضعیف کرده‌اند و باعث شدند ایران بخشی از پیوندهای خود را با بازارهای جهانی از دست بدهد. باین‌حال، ایران با اتکا به کشورهایی مانند روسیه و چین توانست در قالب یک شبکه موازی و محدودتر در شبکه‌های تولید جهانی (GPNs) باقی بماند؛ اما نقش آن از یک بازیگر جهانی به یک بازیگر منطقه‌ای و وابسته به شرکای شرقی تغییر یافت.

مستافویف^۵ و همکاران (۲۰۲۵)، با بهره‌گیری از یک مدل رگرسیون خطی ساده^۶، به‌طور کلی تأثیر نوسانات اقتصادی ناشی از عواملی همچون تحریم‌های بین‌المللی، نوسانات قیمت جهانی نفت و سیاست‌های داخلی را بر عملکرد صادرات و

1. Jabari

2. Kabir & Mohammadyani

3. Global Production Networks (GPNs)

4. Critical realism approach

5. Mustafeyev

6. Simple Linear Regression

روند رشد بخش‌های مختلف اقتصاد ایران، به‌ویژه بخش کشاورزی، مورد بررسی قرار داده‌اند. مطابق با نتایج مطالعه آن‌ها، تحریم‌های بین‌المللی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد اقتصادی ایران داشته‌اند. این تحریم‌ها باعث کاهش شدید شاخص ارزش صادرات و بی‌ثباتی در درآمدهای ارزی کشور شده‌اند. همچنین، اثرهای غیرمستقیم آن‌ها باعث نوسانات رشد در بخش کشاورزی شده است. در مجموع، تحریم‌ها وابستگی بالای اقتصاد ایران به نفت را آشکار کرده و ضرورت تنوع‌بخشی به اقتصاد و کاهش آسیب‌پذیری در برابر شوک‌های خارجی را برجسته کرده‌اند.

در بخش پیشینه پژوهش، مطالعاتی که به کاربرد نظریه شبکه‌های پیچیده در علم اقتصاد پرداخته‌اند، معرفی می‌شوند. در بخش مطالعات داخلی، جهانی (۱۳۹۸) با استفاده از نظریه شبکه‌های پیچیده به بررسی و مقایسه تغییرات دو شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۰ و شناسایی بخش‌های کلیدی پرداخته است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در هر دو شبکه بخش تولید فلزات اساسی، بخش تولید مواد و محصولات شیمیایی، بخش حمل‌ونقل جاده‌ای و بخش تولید فرآورده‌های نفتی از مرکزیت بالایی برخوردار هستند. همچنین نتایج نشان می‌دهد چگالی شبکه که بیانگر اتصالات داخلی شبکه است در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۳ افزایش یافته است و هر دو شبکه به شبکه‌های تصادفی شباهت بیشتری دارند. باقری و انصاری سامانی (۱۴۰۰)، با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌های پیچیده به بررسی اثر بحران‌های مالی بر بازار نفت ایران پرداخته‌اند. در این مطالعه شبکه بازارهای نفتی قبل از بحران مالی، زمان بحران مالی و بعد از بحران مالی مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده بحران‌های مالی سبب می‌شوند بازار نفت ایران در شبکه تأثیرپذیرتر شود، اما همچنان بر شبکه بازارهای نفت تأثیرگذار است.

در بخش مطالعات خارجی، سان^۱ و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی شبکه جریان انرژی غیرمستقیم و مسیرهای جریان کلیدی در بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۷ پرداخته‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این دوره ضریب خوشه‌بندی از ۰/۹۵۵ به ۰/۹۷ افزایش یافته و میانگین طول مسیر از ۱/۰۴۵ به ۱/۰۳ کاهش یافته که نشان می‌دهد روابط اقتصادی بین بخش‌ها نزدیک‌تر شده و سرایت آسان‌تر شده است. به‌طور کلی بیان می‌شود شبکه جریان انرژی غیرمستقیم نسبت به اختلال حساس‌تر

شده است و به‌ویژه تغییرات بخش‌های کلیدی ممکن است منجر به تأثیر نظام‌مند بر شبکه جریان انرژی غیرمستقیم شود.

چن، لی، ویو، هان، ذنجی، لی و چن^۱ (۲۰۱۸)، با استفاده از ابزارهای تحلیل شبکه‌های پیچیده به بررسی ساختار شبکه جریان انرژی تجسم‌یافته^۲ (EEFN) در سطوح جهانی، منطقه‌ای و ملی پرداخته‌اند. شواهد موجود در این مطالعه نشان می‌دهد که ساختار شبکه جریان انرژی تجسم‌یافته در سطح جهانی شباهت بسیار زیادی به شبکه جهان کوچک و بدون مقیاس^۳ دارد. در مقیاس منطقه‌ای شبکه جریان انرژی تجسم‌یافته را در ۴ انجمن (جوامع)^۴ طبقه‌بندی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد اقتصادها نه تنها به‌طور فعال خود را درگیر انتقال شدید انرژی در همان جامعه می‌کنند بلکه به جریان‌های بین جوامعی نیز کمک زیادی می‌کنند. در سطح ملی مطابق با نتایج به‌دست‌آمده بر اساس شاخص‌های مرکزیت ایالات متحده آمریکا، چین و آلمان به‌عنوان اقتصادهای کلیدی شناسایی شدند.

ژانگ^۵ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهش خود به بررسی تأثیر ریسک کشوری^۶ بر الگوهای تجارت جهانی انرژی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ پرداختند. آن‌ها با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه‌های پیچیده، نقش و جایگاه کشورهای واردکننده و صادرکننده انرژی را در ساختار تجارت جهانی انرژی تحلیل کردند. نتایج نشان داد که کشورها در این شبکه از جایگاه‌ها و نقش‌های متفاوتی برخوردارند و در این میان، چین و روسیه در مرکز شبکه قرار داشته و به‌عنوان دو کشور کلیدی و تأثیرگذار در بازار جهانی انرژی شناخته می‌شوند.

ژنگ^۷ و همکاران (۲۰۲۲)، تأثیر تحریم‌های ناشی از جنگ روسیه و اوکراین بر تجارت جهانی انرژی فسیلی را بررسی نموده‌اند. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های تجارت انرژی فسیلی در سال ۲۰۲۰ و مدل‌های نظریه شبکه‌های پیچیده و مدل شکست آبشاری، اثرهای تحریم‌ها بر تجارت انرژی ملی و جهانی شبیه‌سازی

1. Chen, Li, Wu, Han, Zeng, Li & Chen

2. Embodied energy flow network (EEFN)

مفهوم انرژی تجسم‌یافته که منشأ گرفته از اکولوژی سیستم است به‌عنوان انرژی کل (مستقیم و غیرمستقیم) مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات اقتصادی یا زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود، گویی این مقدار انرژی ترکیب شده است یا در خود محصول تجسم‌یافته است.

3. Scale-free

4. Communities

5. Zhang

6. Country Risk

7. Zheng

شده است. نتایج نشان می‌دهد که تحریم‌ها موجب تغییرات قابل‌توجهی در الگوی تجارت جهانی انرژی فسیلی شده‌اند؛ به گونه‌ای که نفت خام بیشترین تأثیر منفی را پذیرفته، گاز طبیعی بیشترین زیان مستقیم را وارد کرده و زغال‌سنگ کمترین آسیب را دیده است. روسیه احتمالاً صادرات انرژی خود را به سمت آسیا تغییر می‌دهد و ایالات متحده از این تحولات بیشترین بهره را می‌برد. علاوه بر این، وابستگی اروپا به روسیه کاهش یافته و مرکز ثقل بازار انرژی جهانی به‌طور فزاینده‌ای به آسیا منتقل می‌شود.

تلاریکو^۱ (۲۰۲۳)، با استفاده از نظریه شبکه پیچیده به بررسی این موضوع می‌پردازند که تحریم‌های اقتصادی چگونه بر جایگاه کشورها در ساختار اقتصاد جهانی تأثیر می‌گذارند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که تحریم‌های اقتصادی علیه روسیه نه تنها جایگاه این کشور را در شبکه تجارت جهانی تضعیف نکرده‌اند بلکه موجب بازآرایی روابط تجاری آن با کشورهای غیر از بلوک تحریم‌کننده شده‌اند. تحلیل‌های مبتنی بر مدل‌سازی بلوکی تصادفی^۲ نشان می‌دهد که روسیه توانسته با گسترش پیوندهای تجاری با کشورهای بی‌طرف یا دوست، از جمله چین، هند و ترکیه، موقعیت خود را در ساختار جهانی حفظ کرده و حتی به تقویت یک «هسته جایگزین» کمک کند. این نتایج حاکی از آن است که تحریم‌ها به جای انزوا، موجب تغییر در الگوهای تعامل اقتصادی جهانی و شتاب در فرایند جدایی از هژمونی غرب شده‌اند.

اردوهای کیس^۳ و همکاران (۲۰۲۳)، با استفاده از نظریه شبکه‌های پیچیده تأثیر تحریم واردات روسیه بر تجارت بین‌المللی سیب که در واکنش به تحریم‌های غرب اعمال شد را در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ ارزیابی نموده‌اند. نتایج حاکی از این است که تحریم واردات سیب توسط روسیه باعث بازآرایی ساختار شبکه تجارت جهانی سیب شده است. شاخص‌های شبکه‌ای مانند تراکم و خوشه‌بندی افزایش یافته‌اند که نشان‌دهنده تقویت روابط درون گروهی کشورهاست. روسیه نقش مرکزی خود را در شبکه از دست داده و به جای آن کشورهایی مانند صربستان و آذربایجان با تنوع‌بخشی به صادرات خود، موقعیت بهتری کسب کرده‌اند. به‌طور کلی، تحریم‌ها موجب قطبی‌تر شدن و بازساخت خوشه‌های تجاری در شبکه جهانی شده‌اند.

سانگ^۴ و همکاران (۲۰۲۴)، با بهره‌گیری از نظریه شبکه پیچیده تاب‌آوری^۱

1. Telarico

2. Stochastic Blockmodeling

3. Erdőhát-Kiss

4. Song

زنجیره صنعت جهانی مس را در برابر ریسک‌های اختلال در عرضه در سال ۲۰۲۲ بررسی کرده‌اند. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، محصولات نیمه‌فرآوری‌شده مس و ضایعات مس در برابر اختلالات شبکه مقاوم‌تر از مس استخراجی و مس تصفیه‌شده هستند؛ زیرا در بخش‌های پایین‌دستی زنجیره قرار دارند و کمتر تحت تأثیر اختلالات خارجی قرار می‌گیرند. تحریم‌ها و منازعات تجاری تأثیر بیشتری بر اتصال و کارایی شبکه دارند نسبت به بلایای طبیعی و اختلالات حمل‌ونقل. کشورهای پیشرفته مانند ایالات متحده و بریتانیا بیشترین نفوذ را در اتصال و کنترل شبکه زنجیره صنعت مس دارند، درحالی‌که چین و هند نقش مهمی در شبکه ایفا می‌کنند. بررسی مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد نظریه شبکه در علم اقتصاد نشان می‌دهد تابه‌حال در هیچ مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تحریم‌ها و برجام بر ارتباطات میان بخش‌های مختلف اقتصادی پرداخته نشده است؛ بنابراین در پژوهش حاضر سه شبکه بر اساس ارتباط میان بخش‌های مختلف اقتصادی در سال‌های ۱۳۸۰ (قبل از اعمال تحریم‌های نفتی)، ۱۳۹۰ (پس از اعمال تحریم‌های نفتی) و ۱۳۹۵ (پس از برجام) در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از شاخص‌های نظریه شبکه و ساختار کلی شبکه و اهمیت هر یک از بخش‌های کلیدی مقایسه می‌گردد.

۳-۱. چهارچوب مفهومی پژوهش

پژوهش حاضر بر پایه نظریه شبکه‌های پیچیده و رویکرد تحلیل بین‌بخشی^۱، به تحلیل ساختار اقتصاد ایران با استفاده از جدول داده – ستانده می‌پردازد. در این چهارچوب، بخش‌های اقتصادی به‌عنوان گره‌های شبکه و روابط داده – ستانده به‌عنوان یال‌های آن تعریف می‌شوند. از طریق مدل‌سازی شبکه اقتصادی و شبیه‌سازی فرآیندهای (سناریوهای) مختلف (تحریم و برجام)، تلاش می‌شود تا تأثیر این اختلالات بر ساختار و پویایی شبکه، شناسایی گره‌های کلیدی و بررسی تغییرات در تاب‌آوری سیستم اقتصادی تحلیل گردد.

۳-۲. روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر روش تحلیلی و توصیفی و از نظر هدف کاربردی است. در پژوهش حاضر سه شبکه شامل ۴۹ رشته فعالیت اقتصادی بر اساس جداول داده –

1. Resilience

2. Intersectoral Analysis

ستانده ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در نظر گرفته می‌شود. این شبکه‌ها وزن دار و جهت دار هستند. در گراف جهت دار، گره‌های مجاور با فلش‌هایی که جهت ارتباطات را نشان می‌دهند به هم متصل می‌شوند (Boccaletti & et al., 2006).



شکل (۱): مثالی از یک گراف جهت دار با ۷ گره و ۱۴ پیوند

منبع: (رستمزاده و یادگار، ۱۴۰۱)

در این شبکه‌ها، گره‌ها نشان‌دهنده بخش‌های مختلف اقتصادی و وزن یال‌ها بر اساس میزان نهاده و ستانده‌ای است که بین بخش‌های مختلف اقتصادی جریان دارد، تعیین شده است؛ به عنوان مثال وزن یالی که جهت پیکان آن از گره A به B می‌باشد، نشان‌دهنده میزان ستانده‌ای از بخش A است که به عنوان نهاده مورد استفاده بخش B قرار می‌گیرد (رستمزاده و یادگار، ۱۴۰۱، ص. ۱۰۱). در این پژوهش، برای تشکیل شبکه‌ها، از ماتریس مبادلات بین بخشی جداول داده - ستانده استفاده شده است که نحوه توزیع محصولات به تقاضای واسطه‌ای را نمایش می‌دهد؛ به عبارتی، مشخص می‌کند چه میزان از کالای تولیدی بخش i به عنوان کالای واسطه‌ای در بخش j مورد استفاده قرار می‌گیرد (دهقان شبانی و عظیم، ۱۳۹۹). جدول داده - ستانده، وابستگی متقابل بین بخش‌های اقتصادی و روابط بین تولید و توزیع در بخش‌های مختلف را نشان می‌دهد (Chen & et al., 2018).

در پژوهش حاضر، برای تحلیل ساختار شبکه اقتصاد ایران از جداول داده - ستانده سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ منتشرشده توسط مرکز آمار ایران استفاده می‌گردد. به منظور ایجاد قابلیت مقایسه بین سال‌های مختلف و حفظ انسجام در ساختار شبکه، رشته‌های اقتصادی موجود در جداول مذکور بر اساس شباهت‌های کارکردی و ساختاری و با رعایت چهارچوب طبقه‌بندی استاندارد بین‌المللی

فعالیت‌های اقتصادی^۱ (ISIC)، مورد تجمیع قرار گرفتند. این فرایند منجر به شکل‌گیری یک ساختار استاندارد شامل ۴۹ بخش فعالیت اقتصادی گردید که به‌عنوان گره‌های شبکه در نظر گرفته شده‌اند.

انتخاب این سطح از تجمیع، مبتنی بر ملاحظات روش‌شناختی و تجربی بوده است؛ به‌گونه‌ای که ضمن حفظ سطح مناسبی از تفکیک‌بخشی، از پیچیدگی بیش‌ازحد شبکه نیز جلوگیری شود. این رویکرد امکان تحلیل دقیق‌تر شاخص‌های ساختاری شبکه‌ای نظیر مرکزیت، اتصال‌پذیری و خوشه‌بندی را فراهم کرده و اعتبار مقایسه‌های بین‌دوره‌ای را افزایش می‌دهد.

با استفاده از نرم‌افزارهای گفی^۲، مینی‌تب^۳ و متلب^۴ شاخص‌های چگالی، ضریب خوشگی، توزیع درجه و مرکزیت برآورد می‌شود. شاخص چگالی شبکه معیاری برای اندازه‌گیری درجه اتصالات درونی در یک شبکه است که انسجام شبکه را به‌صورت کمی بیان می‌کند (Sun & et al., 2020). ضریب خوشه‌بندی بیان می‌کند همسایه‌های یک رأس در یک گراف چقدر به‌هم متصل هستند (Soffer & Vazquez, 2005). توزیع درجه به‌عنوان ابزاری کلیدی برای توصیف فراوانی نسبی گره‌هایی که دارای درجه‌های مختلف هستند، استفاده می‌شود (Boccaletti & et al., 2016). همچنین به‌وسیله محاسبه توزیع درجه شبکه می‌توان بینشی از ساختار یک شبکه ارائه داد (Zou & et al., 2019). مرکزیت بیانگر میزان اهمیت هریک از رئوس در شبکه می‌باشد که نیاز شبکه را به یک رأس به‌خصوص نشان می‌دهد (یادگار، ۱۴۰۰، ص. ۳۷).

۳. یافته‌های پژوهش و تحلیل نتایج

۳-۱. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر شبکه ارتباطات اقتصادی

در این قسمت سه شبکه ۴۹ بخشی بر اساس روابط بخش‌های مختلف اقتصادی مطابق با جداول داده - ستانده سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ تشکیل می‌شود. نخست چگالی این شبکه‌ها برآورد و با یکدیگر مقایسه می‌گردد. شاخص چگالی مقداری بین صفر و یک دارد و هرچه اتصالات در شبکه بیشتر باشد مقدار این شاخص به یک نزدیک‌تر است.

1. International Standard Industrial Classification (ISIC)

2. Ggghi

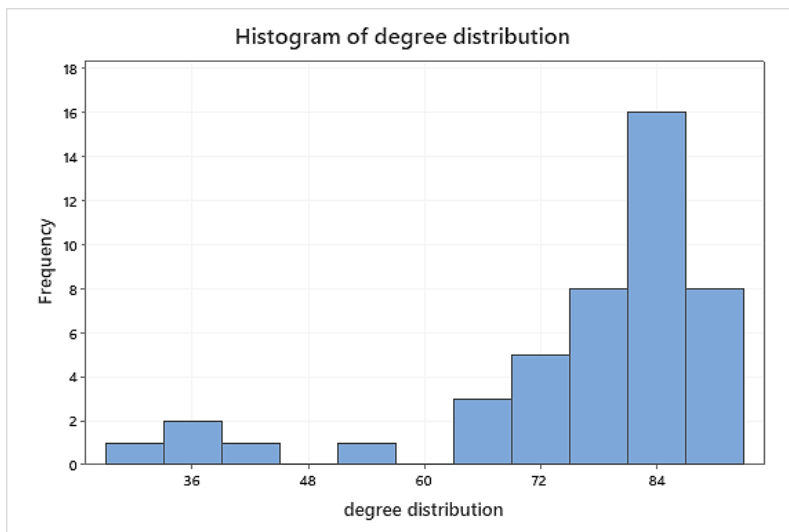
3. Minitab

4. Matlab

چگالی شبکه قبل از اعمال تحریم‌های نفتی برابر با ۰/۷۹۹ می‌باشد که نشان می‌دهد اگر این شبکه با شوکی مواجه شود بیشتر بخش‌ها درگیر می‌شوند. پس از اعمال تحریم‌های نفتی چگالی شبکه افزایش یافته و برابر با ۰/۸۹۴ شده است. این افزایش چگالی را می‌توان به علت افزایش ارتباطات داخلی میان بخش‌های اقتصادی به دلیل کاهش ارتباطات خارجی در پی اعمال تحریم‌ها عنوان کرد؛ بنابراین می‌توان بیان کرد سرعت انتشار شوک‌ها از جمله تحریم‌ها در شبکه افزایش یافته است. پس از امضای برجام چگالی شبکه برابر با ۰/۸۵۵ شده است که نشان می‌دهد سرعت انتقال شوک‌ها در میان بخش‌های اقتصادی کاهش یافته است. براین اساس می‌توان بیان کرد شبکه ارتباطات اقتصادی به ترتیب سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۸۰ حساسیت بیشتری در مواجهه با تحریم‌ها دارند.

سپس ضریب خوشگی شبکه‌ها در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰، ۱۳۸۰، محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شود. ضریب خوشگی شبکه قبل از اعمال تحریم‌های نفتی برابر با ۰/۸۰۷ است که نشان می‌دهد بخش‌ها تمایل زیادی برای ارتباط با یکدیگر دارند. پس از اعمال تحریم‌های نفتی ضریب خوشگی افزایش یافته و برابر با ۰/۸۹۲ شده است. براین اساس می‌توان دریافت تمایل بخش‌ها برای ارتباط با یکدیگر تحت تأثیر تحریم‌ها افزایش یافته است. پس از امضای برجام ضریب خوشگی برابر با ۰/۸۸۷ شده است. این بدین معنی است که امضای برجام سبب شده تمایل بخش‌ها برای ارتباط با یکدیگر کاهش بیابد.

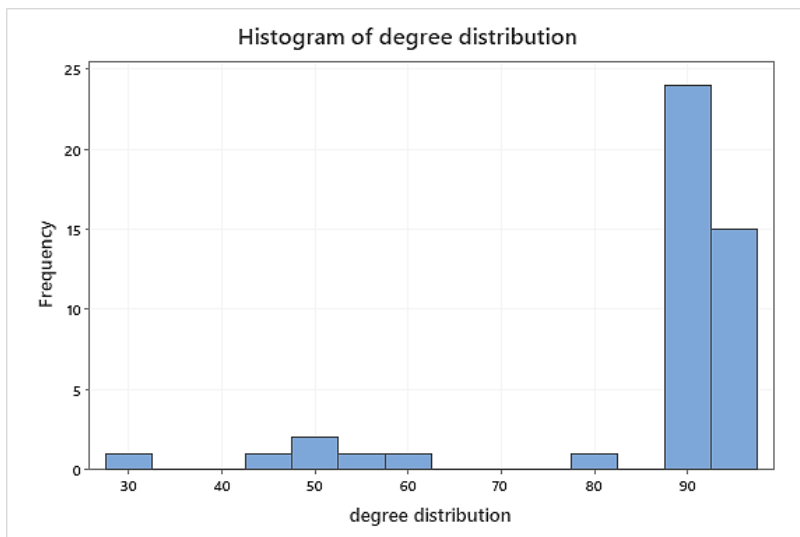
در ادامه توزیع درجه شبکه‌ها در سال‌های مورد نظر بررسی و مقایسه می‌شود. در شکل (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب توزیع درجه شبکه را در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۵ برای ۴۹ رشته فعالیت نشان داده شده است. در شبکه‌های تصادفی همگن بیشتر گره‌ها از درجه یکسانی برخوردار هستند و احتمال اینکه یک گره اتصالات زیادی داشته باشد کم می‌باشد. درحالی‌که در شبکه‌های مقیاس آزاد درجه رؤس با یکدیگر متفاوت (ناهمگن) است. با این تعریف می‌توان بیان کرد شبکه داده - ستانده در سال ۱۳۸۰ از نوع شبکه مقیاس آزاد می‌باشد؛ بنابراین می‌توان بیان کرد در صورت حمله هدفمند از جمله تحریم‌های بین‌المللی به بخشی با درجه بسیار زیاد به دلیل وابستگی این نوع شبکه به این بخش‌ها از انعطاف‌پذیری کمتری برخوردار است و احتمال اینکه این شوک به سرعت باعث فروپاشی ساختار شبکه شود، زیاد می‌باشد.



شکل (۲): توزیع درجه شبکه در سال ۱۳۸۰

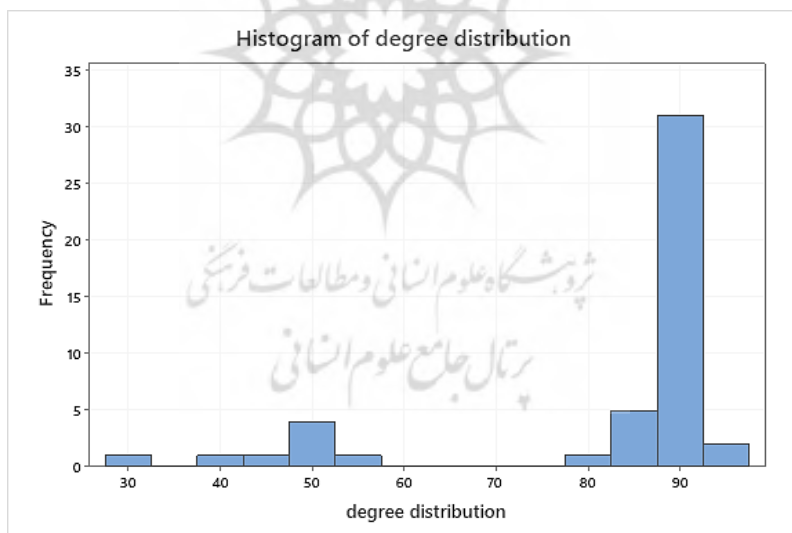
منبع: (یافته‌های پژوهش با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب (Minitab))

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ اکثر رؤس از درجه یکسانی دارند. به عبارت دیگر ساختار این شبکه‌ها از نوع همگن می‌باشد؛ بنابراین شکل توزیع درجه این شبکه‌ها به شبکه‌های تصادفی شباهت بیشتری دارد. با توجه به اینکه در این شبکه‌ها اغلب گره‌ها دارای درجه بسیار زیادی می‌باشند در صورت حمله تحریم‌ها این شبکه نسبت به شبکه سال ۱۳۸۰ مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهد.



شکل (۳): توزیع درجه شبکه در سال ۱۳۹۰

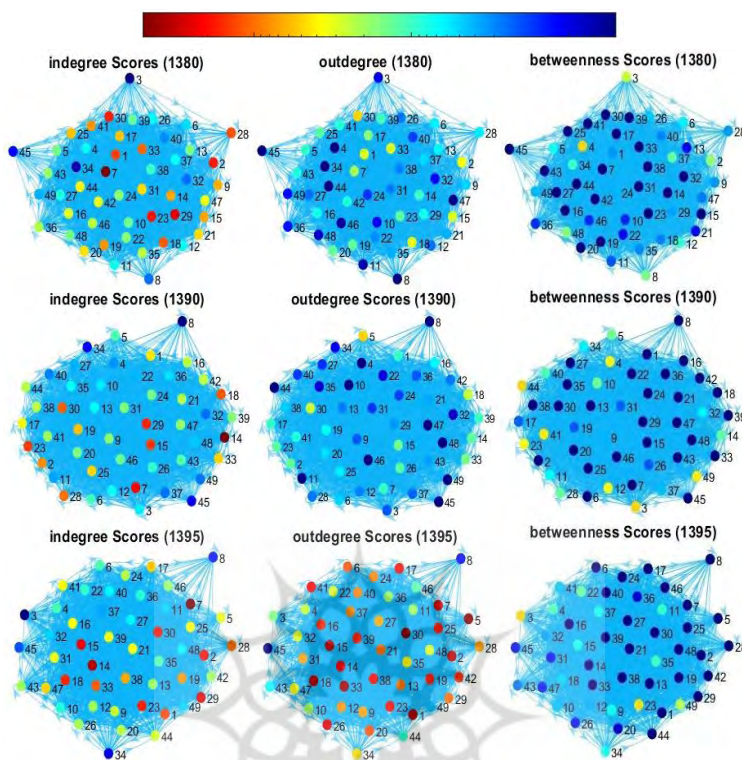
منبع: (یافته‌های پژوهش با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب (Minitab))



شکل (۴): توزیع درجه شبکه در سال ۱۳۹۵

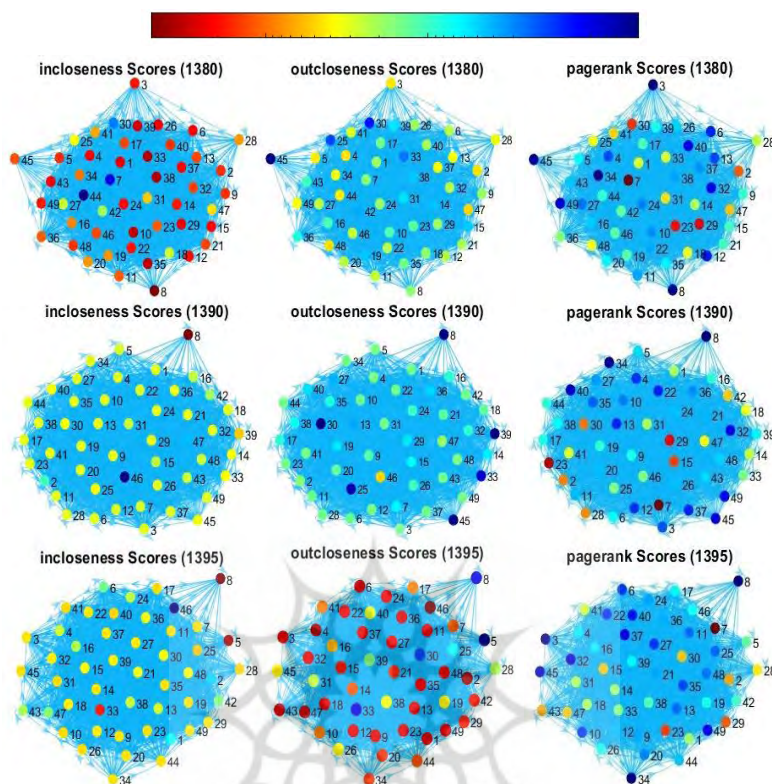
منبع: (یافته‌های پژوهش با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب (Minitab))

در شکل (۵)، (۶) و (۷) رتبه‌بندی شاخص‌های مرکزیت برای ۴۹ بخش اقتصادی مطابق با جداول داده - ستانده ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.



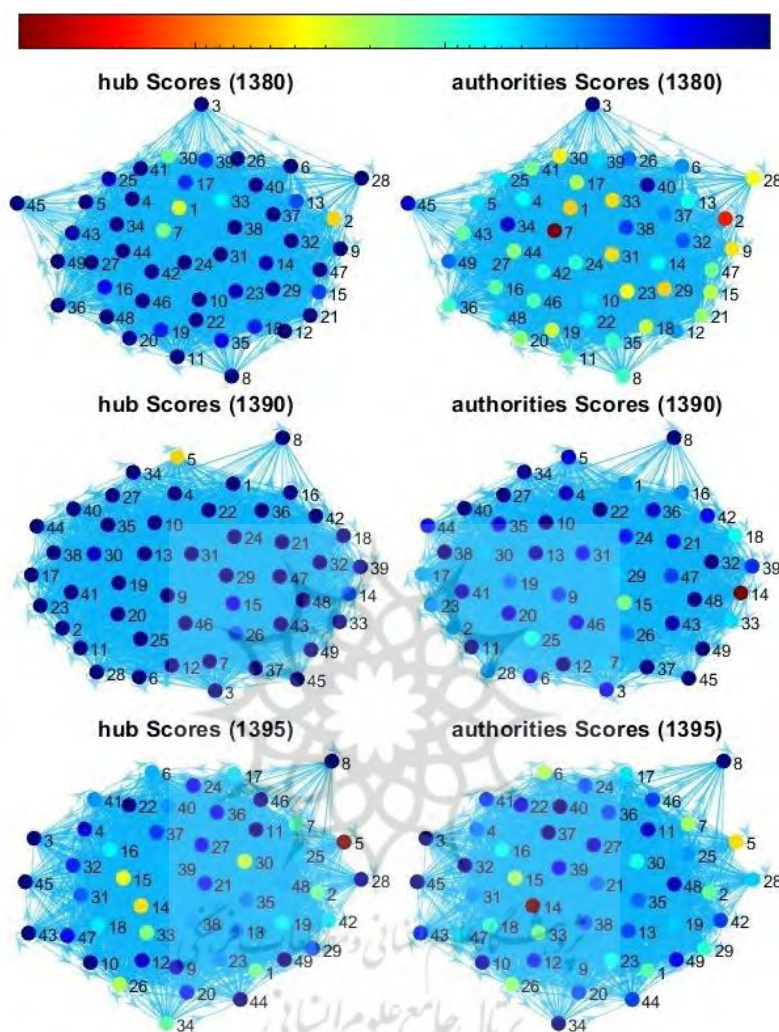
شکل (۵): شبکه ارتباطات ۴۹ بخش اقتصادی مطابق با جداول داده - ستانده ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ بر مبنای اهمیت گره‌ها مطابق با معیارهای مرکزیت درجه ورودی، درجه خروجی و بینایی

شماره هر گره مطابق با ستون اول جداول ۱، ۲ و ۳ تعیین شده است. طیف رنگی گره‌ها از قرمز تیره به آبی تیره از به بیشترین به کمترین است.



شکل (۶): شبکه ارتباطات ۴۹ بخش اقتصادی مطابق با جداول داده - ستانده ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ بر مبنای اهمیت گره‌ها مطابق با معیارهای مرکزیت نزدیکی درونی، نزدیکی بیرونی و رتبه صفحه

شماره هر گره مطابق با ستون اول جداول ۱، ۲ و ۳ تعیین شده است. طیف رنگی گره‌ها از قرمز تیره به آبی تیره از به بیشترین به کمترین است.



شکل (۷): شبکه ارتباطات ۴۹ بخش اقتصادی مطابق با جداول داده - ستانده ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ بر مبنای اهمیت گره‌ها مطابق با معیارهای مرکزیت هاب و نفوذ

شماره هر گره مطابق با ستون اول جداول ۱، ۲ و ۳ تعیین شده است. طیف رنگی گره‌ها از قرمز تیره به آبی تیره از به بیشترین به کمترین است.

۳-۲. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر اساس شاخص مرکزیت درجه ورودی

درجه ورودی هر بخش نشان‌دهنده میزان اتصالاتی که سایر بخش‌ها با این بخش دارند که با در نظر گرفتن اهمیت وزن اتصالات محاسبه شده است. در جدول (۱)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت درجه ورودی، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

جدول (۱): ۱۰ بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت درجه ورودی در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت درجه ورودی	بخش ۱۰ با بیشترین میزان شاخص مرکزیت درجه ورودی در سال ۱۳۹۵	بخش ۱۰ با بیشترین میزان شاخص مرکزیت درجه ورودی در سال ۱۳۹۰	بخش ۱۰ با بیشترین میزان شاخص مرکزیت درجه ورودی در سال ۱۳۸۰
۱	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	تولید فراورده‌های نفتی	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی
۲	تولید فراورده‌های نفتی	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	ساختمان‌های دولتی
۳	ساختمان‌های دولتی	ساختمان‌های دولتی	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل‌ونقل
۴	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی	پرورش حیوانات
۵	پرورش حیوانات	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل‌ونقل	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی
۶	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	تولید فلزات اساسی	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)
۷	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل‌ونقل	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	ساختمان‌های خصوصی
۸	تولید فلزات اساسی	ساختمان‌های خصوصی	تولید فلزات اساسی
۹	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)	پرورش حیوانات	حمل‌ونقل جاده‌ای
۱۰	حمل‌ونقل جاده‌ای	تولید محصولات فلزی فابریکی	تولید محصولات فلزی فابریکی

منبع: (یافته‌های پژوهش)

همان‌طور که از جدول (۱) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت درجه ورودی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ۸ بخش قبل و بعد از اعمال تحریم‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، درعین حال بخش‌های «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)» و «حمل‌ونقل جاده‌ای» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی به‌شمار می‌آمدند پس از اعمال تحریم‌ها اهمیت خود را از دست داده‌اند. به عبارت دیگر اعمال تحریم‌های نفتی موجب شده وزن ارتباطی که سایر بخش‌ها با این دو بخش دارند کاهش پیدا کند.

از طرفی بخش‌های «تولید فراورده‌های نفتی» و «تولید مواد و محصولات شیمیایی» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند، پس از اعمال تحریم‌های نفتی اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت اعمال تحریم‌های نفتی موجب شده وزن ارتباطی که سایر بخش‌ها با این دو بخش دارند افزایش پیدا کند.

همچنین از جدول (۱) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت درجه ورودی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، ۸ بخش بعد از اعمال تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما بخش‌های «ساختمان‌های خصوصی» و «تولید محصولات فلزی فابریکی» که جزء بخش‌هایی می‌باشند که بعد از اعمال تحریم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، پس از برجام جزء بخش‌های مهم و اساسی نمی‌باشند. به عبارت دیگر برجام موجب شده وزن ارتباطی که سایر بخش‌ها با این دو بخش دارند کاهش پیدا کند.

از طرفی بخش‌های «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)» و «حمل‌ونقل جاده‌ای» که بعد از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند، پس از برجام اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت برجام موجب شده وزن ارتباطی که سایر بخش‌ها با این دو بخش دارند افزایش پیدا کند.

۳-۳. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر

اساس شاخص مرکزیت درجه خروجی

درجه خروجی هر بخش به صورت میزان ارتباطی که این بخش با سایر بخش‌ها دارد و با در نظر گرفتن اهمیت وزن یال‌ها محاسبه شده است. در جدول (۲)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت درجه خروجی، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده

شده است.

جدول (۲): ۱۰ بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت درجه خروجی در سال های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت درجه خروجی	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت درجه خروجی در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت درجه خروجی در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت درجه خروجی در سال ۱۳۸۰
۱	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی
۲	پرورش حیوانات	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	پرورش حیوانات
۳	تولید فلزات اساسی	تولید فلزات اساسی	تولید فلزات اساسی
۴	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)
۵	حمل و نقل جاده ای	حمل و نقل جاده ای	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)
۶	تولید فلزات اساسی	تولید مواد و محصولات شیمیایی	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)
۷	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی
۸	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی
۹	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی
۱۰	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید مواد و محصولات شیمیایی

منبع: (یافته های پژوهش)

همان طور که از جدول (۲) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت درجه خروجی بالا در شبکه سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ۵ بخش قبل و بعد از اعمال تحریم های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده اند، در عین حال بخش های «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)»، «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی»، «تولید

سایر محصولات کانی غیرفلزی»، «تولید ماشین آلات و تجهیزات» و «تولید محصولات فلزی فابریکی» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی به‌شمار می‌آمدند پس از اعمال تحریم‌ها اهمیت خود را از دست داده‌اند. به‌عبارت دیگر اعمال تحریم‌های نفتی موجب شده وزن اتصالاتی که سایر بخش‌ها با این پنج بخش دارند کاهش پیدا کند.

از طرفی بخش‌های «استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ»، «تولید فراورده‌های نفتی»، «تصفیه و توزیع گاز»، «تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل‌ونقل» و «فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند پس از اعمال تحریم‌های نفتی اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت اعمال تحریم‌های نفتی موجب شده وزن اتصالاتی که سایر بخش‌ها با این پنج بخش دارند، افزایش پیدا کند.

همچنین از جدول (۲) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت درجه خروجی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، ۸ بخش بعد از اعمال تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما بخش‌های «تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل‌ونقل» و «فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی» که جزء بخش‌هایی می‌باشند که بعد از اعمال تحریم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، پس از برجام جزء بخش‌های مهم و اساسی نمی‌باشند. به‌عبارت دیگر برجام موجب شده وزن اتصالاتی که سایر بخش‌ها با این دو بخش دارند کاهش پیدا کند.

از طرفی بخش‌های «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)» و «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی» که بعد از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند، پس از برجام اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت برجام موجب شده وزن اتصالاتی که سایر بخش‌ها با این دو بخش دارند افزایش پیدا کند.

۴-۳. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر

اساس شاخص مرکزیت نزدیکی درونی

نزدیکی درونی هر بخش عبارت است از مجموع معکوس فواصل از سایر بخش‌ها تا این بخش که نشان‌دهنده سرعت دسترسی سایر بخش‌ها به بخش مورد نظر است. برای برآورد این شاخص علاوه بر تعداد اتصالات اهمیت وزن یال‌ها نیز در نظر گرفته شده است. در جدول (۳)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت نزدیکی درونی، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

جدول (۳): بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت نزدیکی درونی در سال‌های

۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت نزدیکی درونی	بخش ۱۰ با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی درونی در سال ۱۳۹۵	بخش ۱۰ با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی درونی در سال ۱۳۹۰	بخش ۱۰ با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی درونی در سال ۱۳۸۰
۱	تولید محصولات از توتون و تنباکو	تولید محصولات از توتون و تنباکو	تولید محصولات از توتون و تنباکو
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ	فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی	فعالیت‌های پستی و مخابرات
۳	حمل‌ونقل جاده‌ای	حمل‌ونقل جاده‌ای	حمل‌ونقل جاده‌ای
۴	تولید، انتقال و توزیع برق	تولید، انتقال و توزیع برق	تولید پوشاک
۵	تأمین وجوه بیمه و بازنشستگی	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	حمل‌ونقل آبی
۶	ساختمان‌های خصوصی	تأمین وجوه بیمه و بازنشستگی	فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی
۷	خدمات مستغلات	تولید فراورده‌های نفتی	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)
۸	تصفیه و توزیع گاز	تأمین اجتماعی اجباری	ساختمان‌های دولتی
۹	تولید پوشاک	حمل‌ونقل هوایی	خدمات امور عمومی
۱۰	هتل و رستوران	حمل‌ونقل ریلی	ماهگیری

منبع: (یافته‌های پژوهش)

همان‌طور که از جدول (۳) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت نزدیکی درونی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، بخش‌های «تولید محصولات از توتون و تنباکو»، «حمل‌ونقل جاده‌ای» و «فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی» قبل و بعد از اعمال تحریم‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، درعین حال ۷ بخش دیگر که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی به‌شمار می‌آمدند، پس از اعمال تحریم‌ها اهمیت خود را از دست داده‌اند و جای خود را به هفت بخش دیگر که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند، داده‌اند. به عبارت دیگر اعمال تحریم‌های نفتی سبب کاهش سهولت دسترسی سایر بخش‌ها به هفت بخشی که قبل از تحریم‌ها کلیدی بوده‌اند، شده است.

همچنین از جدول (۳) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت نزدیکی

درونی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، بخش‌های «تولید محصولات از توتون و تنباکو»، «حمل‌ونقل جاده‌ای»، «تولید، انتقال و توزیع برق» و «تأمین وجوه بیمه و بازنشستگی» بعد از اعمال تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما شش بخش دیگر که جزء بخش‌هایی می‌باشند که بعد از اعمال تحریم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، پس از برجام جزء بخش‌های مهم و اساسی نمی‌باشند. به عبارت دیگر برجام موجب شده سهولت دسترسی سایر بخش‌ها به این شش بخش کاهش پیدا کند. از طرفی شش بخشی که بعد از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند، پس از برجام اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت برجام موجب شده وزن ارتباطاتی که سایر بخش‌ها با این شش بخش دارند افزایش پیدا کند.

۳-۵. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر اساس شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی

نزدیکی بیرونی هر بخش عبارت است از مجموع معکوس فواصل این بخش تا سایر بخش‌ها که نشان‌دهنده سهولت دسترسی بخش مورد نظر به سایر بخش‌ها است. برای برآورد این شاخص اهمیت وزن یال‌ها نیز در نظر گرفته شده است. در جدول (۴)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت نزدیکی بیرونی، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

جدول (۴): بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی در سال‌های

۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت نزدیکی بیرونی	بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی در سال ۱۳۹۵	بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی در سال ۱۳۹۰	بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی در سال ۱۳۸۰
۱	آموزش	آموزش	بهداشت و مددکاری اجتماعی
۲	پرورش حیوانات	بهداشت و مددکاری اجتماعی	فعالیت‌های تفریحی، فرهنگی و ورزشی
۳	ماهیگیری	پرورش حیوانات	پرورش حیوانات
۴	بهداشت و مددکاری اجتماعی	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ	ماهیگیری

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت نزدیکی بیرونی	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نزدیکی بیرونی در سال ۱۳۸۰
۵	خدمات امور عمومی	تولید چوب و محصولات چوبی	جنگل‌داری و قطع اشجار
۶	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)	فعالیت‌های تفریحی، فرهنگی و ورزشی	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ
۷	استخراج سایر معادن	ماهیگیری	خدمات دفاعی، انتظامی و امنیت عمومی
۸	حمل و نقل هوایی	سایر فعالیت‌های خدماتی	فعالیت‌های پشتیبانی حمل و نقل
۹	فعالیت‌های تفریحی، فرهنگی و ورزشی	هتل و رستوران	سایر فعالیت‌های خدماتی
۱۰	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل	جنگل‌داری و قطع اشجار	ساختمان‌های خصوصی

منبع: (یافته‌های پژوهش)

همان‌طور که از جدول (۴) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت نزدیکی بیرونی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ۷ بخش قبل و بعد از اعمال تحریم‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، درعین حال بخش‌های «خدمات دفاعی، انتظامی و امنیت عمومی»، «فعالیت‌های پشتیبانی حمل و نقل» و «ساختمان‌های خصوصی» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی به‌شمار می‌آمدند، پس از اعمال تحریم‌ها اهمیت خود را از دست داده‌اند. به عبارت دیگر اعمال تحریم‌های نفتی موجب کاهش سهولت دسترسی این سه بخش به سایر بخش‌ها شده است.

از طرفی بخش‌های «آموزش»، «تولید چوب و محصولات چوبی» و «هتل و رستوران» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند، پس از اعمال تحریم‌های نفتی اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت اعمال تحریم‌های نفتی موجب افزایش سهولت دسترسی این سه بخش به سایر بخش‌ها شده است.

همچنین از جدول (۴) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت نزدیکی بیرونی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، ۵ بخش بعد از اعمال تحریم‌های

نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما بخش‌های «استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ» و «تولید چوب و محصولات چوبی»، «سایر فعالیت‌های خدماتی»، «هتل و رستوران» و «جنگل‌داری و قطع اشجار» که جزء بخش‌هایی می‌باشند که بعد از اعمال تحریم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، پس از برجام جزء بخش‌های مهم و اساسی نمی‌باشند. به عبارت دیگر برجام موجب کاهش سهولت دسترسی این پنج بخش به سایر بخش‌ها شده است.

از طرفی بخش‌های «خدمات امور عمومی» و «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)»، «استخراج سایر معادن، حمل و نقل هوایی» و «تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل» که بعد از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند پس از برجام اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت برجام موجب افزایش سهولت دسترسی این پنج بخش به سایر بخش‌ها شده است.

۳-۶. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر اساس شاخص مرکزیت بینابینی

مرکزیت بینابینی هر بخش توانایی آن بخش را برای مرتبط ساختن سایر بخش‌ها با یکدیگر در شبکه بیان می‌کند. به عبارتی در صورت حذف بخش مورد نظر سایر بخش‌ها قادر نخواهند بود به یکدیگر متصل شوند. با توجه به اینکه در این شبکه تمامی بخش‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند؛ بنابراین برای محاسبه این معیار ارزش وزن یاال‌ها در نظر گرفته شده است. در جدول (۵)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت بینابینی، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

جدول (۵): ۱۰ بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت بینابینی در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت بینابینی	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت بینابینی در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت بینابینی در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت بینابینی در سال ۱۳۸۰
۱	جنگل‌داری و قطع اشجار	جنگل‌داری و قطع اشجار	ماهگیری
۲	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل	خدمات دفاعی، انتظامی و امنیت عمومی	جنگل‌داری و قطع اشجار

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت بینابینی	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت بینابینی در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت بینابینی در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت بینابینی در سال ۱۳۸۰
۳	سایر فعالیت‌های خدماتی	خدمات مستغلات	پرورش حیوانات
۴	تولید رادیو، تلویزیون و ابزار پزشکی	سایر فعالیت‌های خدماتی	فعالیت‌های تفریحی، فرهنگی و ورزشی
۵	ماهگیری	ماهگیری	تولید محصولات از توتون و تنباکو
۶	حمل و نقل آبی	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل	فعالیت‌های پشتیبانی حمل و نقل
۷	تولید چرم و محصولات چرمی	تولید چوب و محصولات چوبی	حمل و نقل از طریق خط لوله
۸	تولید منسوجات	تولید پوشاک	تولید چوب و محصولات چوبی
۹	تولید مواد و محصولات شیمیایی	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ
۱۰	حمل و نقل از طریق لوله	ساختمان‌های خصوصی	استخراج سایر معادن

منبع: (یافته‌های پژوهش)

همان‌طور که از جدول (۵) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت بینابینی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ۴ بخش قبل و بعد از اعمال تحریم‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، درعین‌حال بخش‌های «پرورش حیوانات»، «فعالیت‌های تفریحی، فرهنگی و ورزشی»، «تولید محصولات از توتون و تنباکو»، «فعالیت‌های پشتیبانی حمل و نقل»، «حمل و نقل از طریق خط لوله» و «استخراج سایر معادن» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی به‌شمار می‌آمدند پس از اعمال تحریم‌ها اهمیت خود را از دست داده‌اند. به عبارت دیگر اعمال تحریم‌های نفتی موجب شده توانایی این شش بخش در مرتبط ساختن سایر بخش‌ها با یکدیگر کاهش پیدا کند.

از طرفی بخش‌های «خدمات دفاعی، انتظامی و امنیت عمومی»، «خدمات مستغلات»، «سایر فعالیت‌های خدماتی»، «تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل»، «تولید پوشاک» و «ساختمان‌های خصوصی» که قبل از اعمال

تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند؛ اما پس از اعمال تحریم‌های نفتی اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت اعمال تحریم‌های نفتی موجب شده توانایی این پنج بخش برای مرتبط ساختن سایر بخش‌ها افزایش پیدا کند.

همچنین از جدول (۵) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت بینابینی بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، ۴ بخش بعد از اعمال تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما بخش‌های «خدمات دفاعی، انتظامی و امنیت عمومی» و «خدمات مستغلات»، «تولید چوب و محصولات چوبی»، «تولید پوشاک»، «استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال‌سنگ» و «ساختمان‌های خصوصی» که جزء بخش‌هایی می‌باشند که بعد از اعمال تحریم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، پس از برجام جزء بخش‌های مهم و اساسی نمی‌باشند. به عبارت دیگر برجام موجب شده توانایی این شش بخش در مرتبط ساختن سایر بخش‌ها با یکدیگر کاهش پیدا کند.

از طرفی بخش‌های «تولید رادیو، تلویزیون و ابزار پزشکی» و «حمل و نقل آبی»، «تولید چرم و محصولات چرمی»، «تولید منسوجات تولید مواد و محصولات شیمیایی» و «حمل و نقل از طریق لوله» که بعد از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند؛ اما پس از برجام اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت برجام موجب شده توانایی این شش بخش برای مرتبط ساختن سایر بخش‌ها افزایش پیدا کند.

۳-۷. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر اساس شاخص مرکزیت رتبه صفحه

مرکزیت رتبه صفحه نشان‌دهنده اهمیت هر بخش بر اساس ارزش بخش‌هایی است که به این بخش متصل شده‌اند. هرچه بخش‌هایی که به این بخش متصل شده‌اند با ارزش‌تر باشند این بخش از اهمیت بالاتری برخوردار می‌شود. اهمیت سایر بخش‌ها نیز به همین صورت محاسبه می‌شود. برای برآورد این شاخص اهمیت وزن یال‌ها نیز در نظر گرفته شده است. در جدول (۶)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت رتبه صفحه، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

جدول (۶): ۱۰ بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت رتبه صفحه در سال های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت رتبه صفحه	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت رتبه صفحه در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت رتبه صفحه در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت رتبه صفحه در سال ۱۳۸۰
۱	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی
۲	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل	ساختمان های دولتی
۳	ساختمان های دولتی	ساختمان های دولتی	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل
۴	پرورش حیوانات	تولید مواد و محصولات شیمیایی	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی
۵	خدمات امور عمومی	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	پرورش حیوانات
۶	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	پرورش حیوانات	بهداشت و مـددکاری اجتماعی
۷	بهداشت و مـددکاری اجتماعی	ساختمان های خصوصی	خدمات مستغلات
۸	تولید مواد و محصولات شیمیایی	سایر فعالیت های کسب و کار	هتل و رستوران
۹	ساختمان های خصوصی	بهداشت و مـددکاری اجتماعی	فعالیت های تفریحی، فرهنگی و ورزشی
۱۰	خدمات مستغلات	تولید فلزات اساسی	تولید و انتقال و توزیع برق

منبع: (بافته های پژوهش)

همان طور که از جدول (۶) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت رتبه صفحه بالا در شبکه سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ۶ بخش قبل و بعد از اعمال تحریم های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده اند، درعین حال بخش های «خدمات مستغلات»، «هتل و رستوران»، «فعالیت های تفریحی، فرهنگی و ورزشی» و «تولید و انتقال و توزیع برق» که قبل از اعمال تحریم ها جزء بخش های مهم و اساسی به شمار می آمدند؛ اما پس از اعمال تحریم ها اهمیت خود را از دست داده اند. به عبارت دیگر پس از اعمال تحریم های نفتی بخش هایی که به این چهار بخش متصل

شده‌اند دارای ارزش کمتری بوده‌اند.

از طرفی بخش‌های «تولید مواد و محصولات شیمیایی»، «ساختمان‌های خصوصی»، «سایر فعالیت‌های کسب‌وکار» و «تولید فلزات اساسی» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند؛ اما پس از اعمال تحریم‌های نفتی اهمیت زیادی یافته‌اند. براین اساس می‌توان دریافت پس از اعمال تحریم‌های نفتی بخش‌هایی که به این چهار بخش متصل شده‌اند که از ارزش بالاتری برخوردار بوده‌اند. همچنین از جدول (۶) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت رتبه صفحه بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، ۸ بخش بعد از اعمال تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما بخش‌های «سایر فعالیت‌های کسب‌وکار» و «تولید فلزات اساسی» که جزء بخش‌هایی می‌باشند که بعد از اعمال تحریم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، پس از برجام جزء بخش‌های مهم و اساسی نمی‌باشند. به عبارت دیگر پس از برجام بخش‌هایی که به این دو بخش متصل شده‌اند دارای ارزش کمتری بوده‌اند.

از طرفی بخش‌های «خدمات امور عمومی» و «خدمات مستغلات» که بعد از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی نبوده‌اند، پس از برجام اهمیت زیادی یافته‌اند. بر این اساس می‌توان دریافت پس از برجام بخش‌هایی که به این دو بخش متصل شده‌اند که از ارزش بالاتری برخوردار بوده‌اند.

۳-۸. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر

اساس شاخص مرکزیت نفوذ

گره‌های نفوذی گره‌های اصلی در شبکه محسوب می‌شوند. در جدول (۷)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت نفوذ، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

جدول (۷): ۱۰ بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت نفوذ در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت نفوذ	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نفوذ در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نفوذ در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت نفوذ در سال ۱۳۸۰
۱	تولید فراورده‌های نفتی	تولید فراورده‌های نفتی	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ	تولید مواد و محصولات شیمیایی	پرورش حیوانات
۳	استخراج سایر معادن	تولید، انتقال و توزیع برق	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)
۴	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	تولید فلزات اساسی	ساختمان‌های دولتی
۵	تولید مواد و محصولات شیمیایی	حمل و نقل جاده‌ای	هتل و رستوران
۶	تصفیه و توزیع گاز	ساختمان‌های دولتی	حمل و نقل جاده‌ای
۷	حمل و نقل جاده‌ای	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	تولید منسوجات
۸	پرورش حیوانات	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی
۹	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)	پرورش حیوانات	تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل
۱۰	ساختمان‌های دولتی	تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی	ساختمان‌های خصوصی

منبع: (یافته‌های پژوهش)

همان‌طور که از جدول (۷) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت نفوذ بالا در شبکه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ۵ بخش قبل و بعد از اعمال تحریم‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، درحالی‌که بخش‌های «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)»، «هتل و رستوران»، «تولید منسوجات»، «تولید وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل» و «ساختمان‌های خصوصی» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی به‌شمار می‌آمدند؛ اما پس از اعمال تحریم‌ها اهمیت خود را از دست داده‌اند و جای خود را به بخش‌های «تولید فراورده‌های نفتی»،

«تولید مواد و محصولات شیمیایی»، «تولید، انتقال و توزیع برق»، «تولید فلزات اساسی» و «تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی» داده‌اند.

همچنین از جدول (۷) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت نفوذ بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، ۶ بخش بعد از اعمال تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما بخش‌های «تولید، انتقال و توزیع برق»، «تولید فلزات اساسی»، «بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی» و «تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی» که پس از اعمال تحریم‌های نفتی جزء بخش‌های مهم و اساسی بودند؛ اما پس از برجام اهمیت خود را از دست داده‌اند و جای خود را به بخش‌های «استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال‌سنگ»، «استخراج سایر معادن»، «تصفیه و توزیع گاز» و «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)» داده‌اند.

۳-۹. بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بر اساس شاخص مرکزیت قطب

گره‌های قطبی گره‌های اصلی در شبکه به حساب نمی‌آیند؛ اما به دلیل ارتباط با گره‌های نفوذی، سایر گره‌ها برای ارتباط با گره‌های نفوذی می‌توانند از طریق گره‌های قطبی با گره‌های نفوذی ارتباط برقرار کنند. در جدول (۸)، ۱۰ بخش برتر از لحاظ مرکزیت قطب، در سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

جدول (۸): ۱۰ بخش برتر بر اساس شاخص مرکزیت قطب در سال‌های ۱۳۸۰،

۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت قطب	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت قطب در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت قطب در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت قطب در سال ۱۳۸۰
۱	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال‌سنگ	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال‌سنگ	پرورش حیوانات
۲	تولید فراورده‌های نفتی	تصفیه و توزیع گاز	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)
۳	تولید مواد و محصولات شیمیایی	تولید فراورده‌های نفتی	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی
۴	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	تولید مواد و محصولات شیمیایی	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی
۵	تصفیه و توزیع گاز	بازرگانی و انواع خدمات	حمل و نقل جاده‌ای

رتبه در شبکه بر اساس مرکزیت قطب	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت قطب در سال ۱۳۹۵	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت قطب در سال ۱۳۹۰	۱۰ بخش با بیشترین میزان شاخص مرکزیت قطب در سال ۱۳۸۰
		تعمیراتی	
۶	حمل و نقل جاده‌ای	فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی	تولید کاغذ و محصولات کاغذی، انتشار چاپ و تکثیر
۷	کاشت محصولات (زراعت و باغداری)	حمل و نقل جاده‌ای	تولید مواد و محصولات شیمیایی
۸	پرورش حیوانات	تولید فلزات اساسی	فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی
۹	حمل و نقل از طریق لوله	حمل و نقل از طریق لوله	تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی
۱۰	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	تولید محصولات فلزی فابریکی	تولید فلزات اساسی

منبع: (یافته‌های پژوهش)

همان‌طور که از جدول (۸) مشخص است، از بین ۱۰ بخش با مرکزیت قطب بالا در شبکه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ۵ بخش قبل و بعد از اعمال تحریم‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند، درحالی‌که بخش‌های «پرورش حیوانات»، «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)»، «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی»، «تولید کاغذ و محصولات کاغذی، انتشار چاپ و تکثیر» و «تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی» که قبل از اعمال تحریم‌ها جزء بخش‌های مهم و اساسی به‌شمار می‌آمدند؛ اما پس از اعمال تحریم‌ها اهمیت خود را از دست داده‌اند و جای خود را به بخش‌های «استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ»، «تصفیه و توزیع گاز»، «تولید فراورده‌های نفتی»، «حمل و نقل از طریق لوله» و «تولید محصولات فلزی فابریکی» داده‌اند.

همچنین از جدول (۸) ملاحظه می‌شود، از میان ۱۰ بخش با مرکزیت قطب بالا در شبکه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، ۷ بخش بعد از اعمال تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌اند؛ اما بخش‌های «فعالیت‌های مربوط به واسطه‌گری مالی»، «تولید فلزات اساسی» و «تولید محصولات فلزی فابریکی» که پس از اعمال تحریم‌های نفتی جزء بخش‌های مهم و اساسی بودند؛ اما پس از برجام اهمیت خود را از دست داده‌اند و جای خود را به بخش‌های «کاشت محصولات (زراعت و باغداری)»، «پرورش حیوانات» و «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی» داده‌اند.

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین آموزه‌های تحریم‌های بین‌المللی، نیاز به درک بهتر از اثرهای آن بر بخش‌های مختلف اقتصادی می‌باشد. شناخت وابستگی‌های درونی و ارتباطات متقابل میان بخش‌های مختلف اقتصادی و برآورد میزان تأثیرپذیری آن از تحریم‌های نفتی و برجام از اهمیت زیادی برخوردار است. نظریه شبکه‌های پیچیده بر روی کل سیستم اقتصادی تمرکز می‌کند و تمامی بخش‌ها را در کنار هم و در تعامل با یکدیگر بررسی می‌نماید. تا به حال مطالعات زیادی در زمینه بررسی تأثیر تحریم‌ها بر اقتصاد صورت گرفته است؛ اما تا به حال در هیچ مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر شبکه ارتباطات میان بخش‌های مختلف اقتصادی، با استفاده از نظریه شبکه‌های پیچیده پرداخته نشده است؛ بنابراین، ۴۹ رشته فعالیت اقتصادی در نظر گرفته شد و سه شبکه مرتبط با جداول داده – ستانده سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ تشکیل شد.

شبکه ۴۹ بخشی مربوط به قبل از اعمال تحریم‌های نفتی (سال ۱۳۸۰) از نوع مقیاس آزاد بوده و همچنین چگالی این شبکه $0/799$ بود که نشان می‌دهد در این شبکه با توجه به اینکه تمامی گره‌ها به هم متصل نیستند؛ اما به دلیل بالا بودن این شاخص در صورت حمله به این شبکه احتمال متلاشی شدن آن بسیار زیاد می‌باشد. ضریب خوشگی در این شبکه برابر با $0/807$ می‌باشد که نشان می‌دهد بخش‌ها تمایل زیادی برای ارتباط با همسایگان خود دارند. مطابق با نتایج به دست آمده از نظر درجه ورودی «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی»، از نظر درجه خروجی «بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی»، از نظر نزدیکی درونی «تولید محصولات از توتون و تنباکو»، از نظر نزدیکی بیرونی «بهداشت و مددکاری اجتماعی»، از نظر مرکزیت بینابینی «ماهگیری» و از نظر رتبه صفحه «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی» دارای بیشترین میزان اهمیت هستند.

شبکه ۴۹ بخشی مربوط به پس از اعمال تحریم‌های نفتی (سال ۱۳۹۰) از نوع تصادفی بود و چگالی این شبکه $0/894$ بود که در مقایسه با قبل از اعمال تحریم‌های نفتی چگالی شبکه افزایش یافته است. براین اساس چنانچه این شبکه با شوکی مواجه شود این شوک با سرعت بیشتری نسبت به قبل از اعمال تحریم‌های نفتی به سایر بخش‌ها منتقل می‌شود. ضریب خوشگی در این شبکه برابر با $0/892$ می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش تمایل بخش‌ها برای ارتباط با همسایگان خود پس از اعمال تحریم‌های نفتی می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از لحاظ درجه ورودی

«تولید فراورده‌های نفتی»، از لحاظ درجه خروجی «استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ»، از لحاظ نزدیکی درونی «تولید محصولات از توتون و تنباکو»، از لحاظ نزدیکی بیرونی «آموزش»، از لحاظ مرکزیت بینابینی «جنگل‌داری و قطع اشجار» و از لحاظ رتبه صفحه «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی» دارای بیشترین میزان اهمیت هستند.

شبکه ۴۹ بخشی مربوط به پس از امضای برجام (سال ۱۳۹۵) از نوع تصادفی بوده و چگالی این شبکه ۰/۸۵۵ بوده که در مقایسه با پس از اعمال تحریم‌های نفتی چگالی شبکه کاهش یافته است. براین اساس چنانچه این شبکه با شوکی روبه‌رو شود این شوک با سرعت کمتری نسبت به زمان اعمال تحریم‌ها به سایر قسمت‌ها منتقل می‌شود. ضریب خوشگی در این شبکه برابر با ۰/۸۸۷ می‌باشد که نشان می‌دهد تمایل بخش‌ها برای ارتباط با همسایگان خود پس از امضای برجام کاهش یافته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد از منظر درجه ورودی «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی»، از منظر درجه خروجی «بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی»، از منظر نزدیکی درونی «تولید محصولات از توتون و تنباکو»، از منظر نزدیکی بیرونی «آموزش»، از منظر مرکزیت بینابینی «جنگل‌داری و قطع اشجار» و از منظر رتبه صفحه «تولید محصولات غذایی و آشامیدنی» دارای بیشترین میزان اهمیت هستند. مشابهت نتایج در هر سه شبکه نشان می‌دهد، هر سه شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران از چگالی بالایی برخوردار هستند و چنانچه این شبکه‌ها با شوکی مانند تحریم‌های بین‌المللی مواجه شود، این شوک می‌تواند به‌سرعت به سایر بخش‌ها منتقل شود و تمامی بخش‌های اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهد.

در ادامه، با استفاده از شاخص‌های مرکزیت تأثیر تحریم‌های نفتی و برجام بر بخش‌های کلیدی بررسی شده است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده اهمیت موقعیت ساختاری برخی از بخش‌هایی که هدف مستقیم تحریم‌های نفتی بودند؛ به‌عنوان مثال «استخراج نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ»، پس از اعمال تحریم‌ها در اقتصاد ایران افزایش یافته است و پیوندهای مستحکمی را با سایر بخش‌های داخلی برقرار کرده‌اند که این می‌تواند به‌دلیل تغییر رویکرد ایران از فروش نفت خام به تولید و فروش فراورده‌های نفتی با ارزش افزوده بالاتر در نتیجه تحریم‌های نفتی باشد.

همچنین می‌توان بیان کرد برخی از بخش‌هایی که هدف مستقیم تحریم‌ها نبودند؛ ازجمله بخش تولید فراورده‌های نفتی به‌دنبال کاهش ارزش پول ملی مزیت رقابتی پیدا کردند و صادرات خود را افزایش دادند که با توجه به محدودیت‌های

وارداتی در نتیجه تحریم‌های نفتی ارتباطات این بخش‌ها با بخش‌های داخلی برای تأمین نهاده‌های مورد نیازشان افزایش یافته است.

نتایج حاصل مبین آن است که میزان تأثیرپذیری بخش‌های کلیدی از تحریم‌های نفتی و نیز برجام یکسان نمی‌باشد. مقایسه نتایج سه شبکه نشان می‌دهد پس از اعمال تحریم‌های نفتی از بین ۴۹ رشته فعالیت اقتصادی رتبه ۲۷ بخش به لحاظ شاخص درجه ورودی، رتبه ۲۴ بخش به لحاظ شاخص درجه خروجی، رتبه ۲۳ بخش به لحاظ شاخص نزدیکی درونی، رتبه ۲۴ بخش به لحاظ شاخص نزدیکی بیرونی، رتبه ۲۳ به لحاظ شاخص رتبه صفحه، رتبه ۱۸ بخش به لحاظ شاخص مرکزیت بینابینی، رتبه ۲۸ بخش به لحاظ شاخص نفوذ و رتبه ۲۵ بخش به لحاظ شاخص قطب تنزیل یافته است. همچنین پس از امضای برجام رتبه ۲۲ بخش به لحاظ شاخص درجه ورودی، رتبه ۲۴ بخش به لحاظ شاخص درجه خروجی، رتبه ۲۶ بخش به لحاظ شاخص نزدیکی درونی، رتبه ۲۳ بخش به لحاظ شاخص نزدیکی بیرونی، رتبه ۲۰ بخش به لحاظ شاخص رتبه صفحه، رتبه ۱۷ بخش به لحاظ شاخص مرکزیت بینابینی، رتبه ۲۲ بخش به لحاظ مرکزیت نفوذ و رتبه ۲۱ بخش به لحاظ مرکزیت قطب ارتقا یافته است.

براین اساس می‌توان بیان کرد بر مبنای شاخص‌های مرکزیت از بین ۴۹ بخش در نظر گرفته شده، تقریباً ۴۹ درصد بخش‌ها تحت تأثیر منفی تحریم‌ها قرار گرفته‌اند و نیز به‌طور تقریبی ۴۵ درصد بخش‌های تأثیر مثبت از برجام پذیرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد مرکزیت همه بخش‌های اقتصادی از تحریم‌ها تأثیر منفی و از برجام تأثیر مثبت پذیرفته است، باین حال نباید از تأثیر تحریم‌ها و برجام در شبکه چشم‌پوشی کرد.

درواقع تاکنون هیچ‌یک از مطالعات، تأثیر تحریم‌های نفتی و توافق برجام را بر ارتباط میان بخش‌های مختلف اقتصادی با استفاده از نظریه شبکه‌های پیچیده بررسی نکرده‌اند. باین حال، برخی پژوهش‌ها به تحلیل روابط میان بخش‌های اقتصادی پرداخته و برخی دیگر اثرهای تحریم‌ها بر اقتصاد ایران را مورد مطالعه قرار داده‌اند که نتایج آن‌ها با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه جهانی (۱۳۹۸) همخوانی دارد؛ به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۰، بخش‌های «استخراج نفت خام و گاز طبیعی» و «تولید فرآورده‌های نفتی» پیوندهای قوی‌تری با سایر بخش‌های اقتصادی برقرار کرده‌اند. همچنین، نتایج این پژوهش با مطالعه پورعبداللّه‌ان کوپچ و همکاران (۱۳۹۹) نیز تطابق دارد؛ بر اساس نتایج آن مطالعه، تحریم‌ها تأثیر منفی یکسانی بر همه بخش‌های اقتصادی نداشته‌اند بلکه

برخی از بخش‌ها توانسته‌اند مزیت رقابتی کسب کنند.

شایان توجه است که تغییرات مشاهده شده بین سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ صرفاً ناشی از تحریم‌ها نبوده و سایر عوامل ساختاری، نهادی و اقتصادی نیز در این میان نقش داشته‌اند. با این حال، انتخاب این سال‌ها بر پایه چهارچوبی صورت گرفته که امکان بررسی مسیر کلی تحول اقتصاد ایران از دوره پیش از تحریم تا پس از برجام را فراهم سازد.

پیشنهادهای سیاستی مبتنی بر تحلیل شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران

هدف این بخش، استخراج و تدوین سیاست‌های اجرایی مبتنی بر نتایج کمی حاصل از تحلیل شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران است؛ سیاست‌هایی که بتوان از آن‌ها در جهت تقویت تاب‌آوری اقتصاد ایران در برابر تحریم‌ها و بحران‌های مشابه بهره گرفت. بر مبنای نتایج حاصل از تحلیل ساختار شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ و با تمرکز بر شاخص‌های مرکزیت (شامل مرکزیت درجه ورودی، مرکزیت درجه خروجی، مرکزیت نزدیکی درونی، مرکزیت نزدیکی بیرونی، مرکزیت بینابینی، مرکزیت رتبه صفحه و مرکزیت هاب)، چندین بخش کلیدی در اقتصاد ایران شناسایی شدند که در دوره‌های اعمال تحریم و پس از برجام دچار تغییرات معناداری در موقعیت شبکه‌ای خود شده‌اند. این تغییرات نشان‌دهنده آسیب‌پذیری یا بازبایی نقش این بخش‌ها در شبکه اقتصادی کشور است. بر این اساس، پیشنهادهای سیاستی زیر ارائه می‌گردد:

نخست، بخش تولید فرآورده‌های نفتی که پس از تحریم‌ها کاهش معناداری در شاخص‌های مرکزیت (درجه ورودی، درجه خروجی و نزدیکی و بینابینی) داشته است، نیازمند بازنگری در راهبرد صادرات است. برای افزایش تاب‌آوری این بخش، پیشنهاد می‌شود دولت با بهره‌گیری از دیپلماسی انرژی و تنوع‌بخشی به بازارهای هدف به‌ویژه در کشورهای آسیای میانه، شرق آسیا و آمریکای لاتین وابستگی به بازارهای تحت نفوذ تحریم کاهش داده و جایگاه این صنعت را در شبکه اقتصاد ملی و تجارت خارجی تقویت کند.

تحلیل شبکه داده - ستانده اقتصاد ایران نشان می‌دهد که بخش حمل‌ونقل جاده‌ای پس از اعمال تحریم‌ها، به دلیل کاهش در شاخص‌هایی نظیر مرکزیت بینابینی و نزدیکی بیرونی، به تدریج نقش خود را به عنوان یک گره کلیدی در اتصال میان بخش‌های اقتصادی از دست داده است. هم‌زمان، ساختار کلی شبکه نیز

به سمت انسجام بیشتر درون گروهی حرکت کرده است که این تغییر با رشد شاخص‌هایی نظیر چگالی و ضریب خوشه‌بندی قابل مشاهده است. در چنین شرایطی، تعاملات میان‌بخشی جای خود را به پیوندهای محدود درون خوشه‌ای داده. در نتیجه، پیوندهای این بخش عمدتاً به ارتباطات درون گروهی محدود شده و توان آن برای ایفای نقش میان‌بخشی کاهش یافته است؛ مسئله‌ای که آسیب‌پذیری آن را در برابر اختلالات خارجی و وقفه در جریان بین‌بخشی کالا و خدمات افزایش داده است. برای بازسازی نقش شبکه‌ای این بخش و ارتقای پایداری و کارکرد پیوندی آن در اقتصاد ملی، مجموعه‌ای از سیاست‌ها باید در دستور کار قرار گیرد، از جمله: نوسازی ناوگان و به‌روزرسانی فناوری‌های لجستیکی با هدف افزایش کارایی زنجیره تأمین و تداوم جریان کالا بین بخش‌ها؛ بومی‌سازی تولید قطعات حساس مانند موتور، واحد کنترل موتور^۱ (ECU) و لاستیک برای کاهش وابستگی به واردات و تقویت تاب‌آوری صنعتی؛ تنوع‌بخشی به تأمین‌کنندگان خدمات حمل‌ونقل از طریق گسترش پیمان‌کاران داخلی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مکمل از جمله شبکه جاده‌ای، گمرکی و مراکز لجستیکی. اجرای این اقدامات می‌تواند به تقویت مجدد پیوندهای عملکردی بخش حمل‌ونقل جاده‌ای با سایر بخش‌های اقتصادی، ارتقای موقعیت آن در شبکه و کاهش آسیب‌پذیری آن در شرایط بحران کمک کند.

در دوران تحریم‌ها، بخش تولید مواد و محصولات شیمیایی با کاهش شاخص‌هایی مانند مرکزیت بینابینی و نزدیکی بیرونی، نقش واسطه‌ای و دسترسی خود به سایر اجزای شبکه اقتصادی را تا حد زیادی از دست داده و پیوندهای آن با دیگر بخش‌های تولیدی تضعیف شده است. تنزل موقعیت این بخش در ساختار شبکه اقتصادی، نشان‌دهنده محدود شدن توان این بخش در ایفای نقش مؤثر در زنجیره تأمین و افزایش وابستگی به کانال‌های خاص و آسیب‌پذیر است. برای بازسازی این جایگاه و ارتقای کارایی بخش شیمیایی در اقتصاد ملی، اقدامات پیشنهادی در این زمینه عبارت‌اند از: اعمال معافیت‌های وارداتی هدفمند برای نهاده‌های حیاتی، به‌منظور تسهیل تأمین مواد اولیه در کوتاه‌مدت. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داخلی و توسعه فناوری‌های بومی برای تولید نهاده‌های پایه مانند خوراک پتروشیمی، با حمایت از فعالیت‌های تحقیق و توسعه، به‌منظور کاهش وابستگی خارجی در بلندمدت. ایجاد شهرک‌های صنعتی تخصصی و توسعه صنایع

1. Engine Control Unit (ECU)

پایین دستی شیمیایی برای افزایش تنوع محصولات، گسترش پیوندهای افقی و عمودی، و تقویت جایگاه این بخش در شبکه اقتصادی. مقاوم سازی زنجیره تأمین از طریق راه اندازی مراکز ذخیره سازی نهاده های راهبردی و انعقاد قراردادهای بلندمدت با تأمین کنندگان مختلف برای کاهش ریسک اختلال در عرضه. تنوع بخشی به بازارها و منابع تأمین از طریق انعقاد توافقات تجاری با کشورهای متنوع و توسعه صادرات محصولات پایین دستی، به منظور کاهش انحصار بازارهای هدف و افزایش انعطاف پذیری صادراتی. اجرای این راهکارها می تواند به بازسازی نقش کلیدی بخش شیمیایی در زنجیره تولید، ارتقای تاب آوری اقتصادی، و تقویت پیوندهای بین بخشی در شرایط تحریمی و فراتر از آن منجر شود.

در بخش کشاورزی و باغداری، کاهش مرکزیت شبکه های پس از تحریم نشان دهنده افت تعاملات این بخش با بخش های صنعتی و خدماتی است. پیشنهاد می شود از طریق اعطای تسهیلات برای فرآوری، بسته بندی و صادرات محصولات کشاورزی، پیوندهای زنجیره ای این بخش با سایر اجزای اقتصاد تقویت گردد.

بخش تولید فلزات اساسی که به دلیل نوسانات ارزی و محدودیت های تجاری، جایگاه شبکه ای ناپایداری را تجربه کرده است، نیازمند تسهیل در دسترسی به مواد اولیه، تثبیت نرخ ارز برای صنایع بزرگ، و گسترش توافقات تجاری منطقه ای می باشد. بخش تولید فلزات اساسی که نوسان های شدیدی را در مرکزیت ورودی و خروجی تجربه کرده است، به دلیل وابستگی بالا به شرایط تجارت بین المللی، نیازمند ثبات در سیاست های ارزی، تسهیل در تأمین مواد اولیه، و تقویت توافقات تجاری منطقه ای می باشد. این اقدامات می توانند از کاهش نقش این بخش در شبکه اقتصادی کشور جلوگیری کرده و پایداری آن را تضمین کنند.

بخش بازرگانی و خدمات تعمیراتی، به دلیل نقش کلیدی در توزیع کالا و پشتیبانی از سایر بخش ها، همواره از مرکزیت درجه خروجی بالایی برخوردار بوده و نقشی مؤثر در انتقال و گسترش شوک های اقتصادی ایفا می کند. از این رو، می توان آن را یکی از محورهای اصلی مقاوم سازی زنجیره تأمین به شمار آورد. اجرای سیاست هایی نظیر ارتقای مهارت نیروی انسانی، دیجیتالی سازی فرایندهای خدماتی، و اتصال این بخش به سکوها لجستیکی، می تواند به افزایش کارایی و اثربخشی آن منجر شود.

در نهایت، فعالیت های واسطه گری مالی که به ویژه پس از برجام نقش کلیدی خود را در شبکه باز یافته اند، به عنوان زیرساخت مهم تسهیل تعاملات اقتصادی، باید با

طراحی ابزارهای مالی جدید، ایجاد سازوکارهای مقابله با تحریم‌های ثانویه، و تقویت نظام تسویه داخلی توسعه یابند.

فهرست منابع

- پورعبادالهیان کویچ، محسن؛ پناهی، حسین و جوادزاده، لیلا (۱۳۹۸). تأثیر تحریم‌های بین‌المللی بر صادرات زیربخش‌های صنعتی ایران. *نشریه علمی (فصلنامه) پژوهش‌های اقتصاد صنعتی*، ۳(۹)، ۵۵-۶۷.
- جهانی، زهرا (۱۳۹۸). *تحلیل مقیاس‌های شبکه‌ی اقتصاد ایران و شناسایی بخش‌های حساس نسبت به تحریم‌ها*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز. حسنوند، علی‌اکبر؛ حسنوند، داریوش و نادمی، یونس (۱۳۹۷). تأثیر تحریم‌ها بر صادرات غیرنفتی، *سیاست‌های راهبردی و کلان*، ۴(۶)، ۶۶۶-۶۸۴.
- دشتبان فاروجی، سحر و درگاهی، حسن (۱۴۰۰). جایگاه ایران در شبکه تجارت بین‌المللی گاز طبیعی: کاربرد نظریه گراف. *فصلنامه علمی انرژی ایران*، ۲۴(۱)، ۲۴-۷.
- رستم‌زاده، پرویز و یادگار، زینب (۱۴۰۱). آسیب‌پذیری شبکه سرایت بازار سهام ایران: رویکرد نظریه شبکه‌های پیچیده. *فصلنامه اقتصاد و الگو سازی*، ۱۳(۱)، ۹۳-۱۱۸.
- شیشه‌گری، طه؛ معمارنژاد، عباس؛ غفاری، فرهاد و حسینی، سید شمس‌الدین (۱۴۰۱). شدت تحریم‌های بخش انرژی و تأثیر آن بر تجارت ایران، *کاربردی از معادله جاذبه. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۱(۴۴)، ۷۳-۱۰۳.
- صیادی، محمد و برکشلی، فریدون (۱۳۹۱). اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت تحریم‌های بین‌المللی نفتی بر بخش انرژی ایران. *گزارش راهبردی مرکز تحقیقات /ستر/تژیک*، ۱۵۵(۴)، ۴۸-۴.
- کیومرثی، مسعود؛ احمدی شادمهری، محمدطاهر؛ سلیمی‌فر، مصطفی و ابریشمی، حمید (۱۳۹۸). بررسی اثر تحریم‌های مالی و انرژی بر شکاف تولید در اقتصاد ایران. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۴(۷۹)، ۳۳-۶۶.
- منظور، داوود و رجبی، سجاد (۱۳۹۸). ارزیابی جایگاه بخش انرژی در اقتصاد ایران با به کارگیری روش حذف فرضی تعمیم یافته. *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی دانشگاه خوارزمی*، ۱۰(۳۵)، ۶۹-۱۱۰.

- Baek, E. C.; Hyon, R.; López, K.; Finn, E. S.; Porter, M. A. & Parkinson, C. (2022). In-degree centrality in a social network is linked to coordinated neural activity. *Nature communications*, 13(1), 1118.
- Berner, R.; Cecchetti, S. & Schoenholtz, K. (2022). Russian sanctions: Some questions and answers. VoxEU. org, 21.
- Boito, P. & Grena, R. (2021). Quantum hub and authority centrality measures for directed networks based on continuous-time quantum walks. *Journal of Complex Networks*, 9(6), cnab038.
- Bon, R. & Minami, K. (2024). The role of construction in the national economy: a comparison of the fundamental structure of the US and Japanese input-output tables since World War II. In *Economic Structure and Maturity: Collected Papers in Input-output Modelling and Applications* (pp. 175-183). Routledge.
- Brown, P. (2020). *Oil market effects from US economic sanctions: Iran, Russia, Venezuela* (Vol. 3, 154-196). Washington, DC, USA: Congressional Research Service.
- Cai, H.; Huang, S. & Wu, Z. (2023). The impact of COVID-19 on the international energy trade network centrality and community structures. *Applied Economics Letters*, 30(8), 1042-1046.
- Chen, Y. E.; Fu, Q.; Zhao, X.; Yuan, X. & Chang, C. P. (2019). International sanctions' impact on energy efficiency in target states. *Economic Modelling*, (82), 21-34.
- Crozet, M. & Hinz, J. (2020). Friendly fire: The trade impact of the Russia sanctions and counter-sanctions. *Economic Policy*, 35(101), 97-146.
- Dizaji, S. F. (2021). The impact of sanctions on the banking system: new evidence from Iran. In *Research Handbook on Economic Sanctions* (330-350). Edward Elgar Publishing.
- Doostmohammadian, M.; Kharazmi, S. & Rabiee, H. R. (2024). How clustering affects the convergence of decentralized optimization over networks: a Monte-Carlo-based approach. *Social Network Analysis and Mining*, 14(1), 135.
- Erdőháti-Kiss, A.; Janik, H.; Tóth, A.; Tóth-Naár, Z. & Erdei-Gally, S. (2023). The effectiveness of Russian import sanction on the international apple trade: Network theory approach. *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 10(5), 712-726.
- Farzanegan, M. R. & Batmanghelidj, E. (2024). Understanding economic sanctions on Iran: A survey. *The Economists' Voice*, 20(2), 197-226.
- Ghasseminejad, S. & Jahan-Parvar, M. R. (2021). The impact of financial sanctions: The case of Iran. *Journal of Policy Modeling*, 43(3), 601-621.
- Ghomi, M. (2022). Who is afraid of sanctions? The macroeconomic and distributional effects of the sanctions against Iran. *Economics & Politics*, 34(3), 395-428.
- Jabari, L.; Salem, A. A.; Zamani, O. & Farzanegan, M. R. (2024). Economic sanctions and energy efficiency: Evidence from Iranian industrial sub-sectors. *Energy Economics*, (139), 107920.
- Kabir, M. H. & Mohammadyani, D. (2024). *The Mechanism & Impact of*

- Sanctions on Global Production Networks (GPNs), Case Study: Iran's Oil Industry.*
- Kreibich, H.; Van Loon, A. F.; Schröter, K.; Ward, P. J.; Mazzoleni, M.; Sairam, N. ... & Di Baldassarre, G. (2022). The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management. *Nature*, 608(7921), 80-86.
- Laudati, D. & Pesaran, M. H. (2023). Identifying the effects of sanctions on the Iranian economy using newspaper coverage. *Journal of Applied Econometrics*, 38(3), 271-294.
- Lee, J.; Lee, Y.; Oh, S. M. & Kahng, B. (2021). Betweenness centrality of teams in social networks. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 31(6).
- Li, Y.; Tang, Z.; Chen, Z.; Sun, M.; Zhao, B.; Li, H. ... & Xu, Y. (2024). Neural-network density functional theory based on variational energy minimization. *Physical Review Letters*, 133(7), 076401.
- Meyer, K. E.; Fang, T.; Panibratov, A. Y.; Peng, M. W. & Gaur, A. (2023). International business under sanctions. *Journal of World Business*, 58(2), 101426.
- Morgan, T. C.; Syropoulos, C. & Yotov, Y. V. (2023). Economic sanctions: Evolution, consequences, and challenges. *Journal of Economic Perspectives*, 37(1), 3-29.
- Mustafoev, G. S.; Maxmudov, S. & Ulugmurodov, F. F. (2025). Economic fluctuations and sectoral growth in Iran: A decade of challenges and opportunities (2010–2021). *International Journal on Economics, Finance and Sustainable Development*, 7(1), 43-46.
- Shahnazi, R.; Sajedianfard, N. & Melatos, M. (2023). Import and export resilience of the global oil trade network. *Energy Reports*, (10), 2017-2035.
- Song, Y.; Bai, W. & Zhang, Y. (2024). Resilience assessment of trade network in copper industry chain and the risk resistance capacity of core countries: Based on complex network. *Resources Policy*, (92), 105034.
- Telarico, F. A. (2023). Are sanctions for losers? A network study of trade sanctions. *arXiv preprint arXiv:2310.08193*.
- Ustiazhvili, S. (2023). Examining the Impact of Sanctions and the Aftermath of the JCPOA on Iran's Economy. *Journal of Research in Social Science and Humanities*, 2(8), 19-31.
- Zhang, H.; Wang, Y.; Yang, C. & Guo, Y. (2021). The impact of country risk on energy trade patterns based on complex network and panel regression analyses. *Energy*, (222), 119979.
- Zhang, P.; Wang, T. & Yan, J. (2022). PageRank centrality and algorithms for weighted, directed networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, (586), 126438.
- Zheng, S.; Zhou, X.; Tan, Z.; Zhang, H.; Liu, C.; Hao, H. ... & Luo, W. (2022). Preliminary study on the global impact of sanctions on fossil energy trade: Based on complex network theory. *Energy for Sustainable Development*, (71), 517-531.