

# تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت:

## رویکرد شبکه پیچیده<sup>۱</sup>

روح‌اله شهنازی (نویسنده مسئول)

دانشیار اقتصاد، بخش اقتصاد، دانشگاه شیراز

[rshahnazi@shirazu.ac.ir](mailto:rshahnazi@shirazu.ac.ir)

## نجمه ساجدیان فرد

پژوهشگر پسادکتری، بخش اقتصاد، دانشگاه شیراز

[s.sajedian@rose.shirazu.ac.ir](mailto:s.sajedian@rose.shirazu.ac.ir)

نوع مقاله: علمی - پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱

### چکیده

پیچیدگی فزاینده الگوی تجارت جهانی نفت یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر راهبرد انرژی و توسعه اقتصادی هر کشور، به خصوص کشورهای صادرکننده نفت مانند ایران، است. در این مقاله، ویژگی‌های کلی، ویژگی‌های منطقه‌ای و استحکام تجارت نفت با استفاده از نظریه شبکه برای ۱۷۸ کشور در سال ۲۰۱۸ تجزیه و تحلیل شده است. نتایج حاکی از آن است که شبکه صادرات نفت توزیع مقیاس آزاد دارد بدین معنا که موقعیت تجاری کشورها ناهمگونی آشکاری را نشان می‌دهد. به علاوه، شبکه تجارت جهانی نفت ویژگی «مستحکم اما در عین حال شکننده» دارد. همچنین شبکه تجارت جهانی نفت به سه بلوک تجاری شامل بلوک مرکزی و شرقی تجاری، بلوک میانی تجاری و بلوک غربی تجاری قابل تقسیم است. در بین این سه بلوک تجاری، بلوک مرکزی و شرقی توانسته است بیشترین میزان تأمین تقاضای کشورهای حاضر در این بلوک را تأمین کند و بنابراین این کشورها از کمترین تکانه‌های عرضه نفت برخوردار می‌شوند.

طبقه‌بندی *JEL*: D85, F10, Q35

**کلیدواژه‌ها:** تجارت جهانی نفت، نظریه شبکه، پایداری، استحکام

<sup>۱</sup>. این مقاله مستخرج از خروجی‌های تفاهم‌نامه طرح پسادکتر با شماره ۹۹۰۲۶۱۶۳ تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (*Iran National Science Foundation*) می‌باشد.

## ۱. مقدمه

نفت به عنوان کالایی با اهمیت استراتژیک، همچنان سوخت پیشرو در جهان است و یک سوم مصرف جهانی انرژی را به خود اختصاص می‌دهد (دادلی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). محصولات مستقیم یا غیرمستقیم نفت خام اعم از بنزین، نفت و گاز تا پلاستیک و حتی دارو به طور گسترده در جوامع مدرن در حال استفاده هستند (دونگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

مسئله مهم در خصوص نفت، عدم توازن بین مناطق دارنده منابع و تولیدکننده نفت با مناطق مصرف‌کننده نفت در جهان و همچنین عدم توازن تولید و ذخایر نفتی بوده و از آن مهمتر رشد این عدم توازن است. دو نوع عدم توازن مکانی در حوزه نفت وجود دارد؛ نوع اول عدم توازن بین ذخایر نفت و تولید آن است. برای مثال در حالی که آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۴,۱ درصد ذخایر نفت جهان را دارد اما میزان تولید آنها ۲۵,۹ درصد است. از طرفی آمریکای مرکزی و جنوبی، با دارا بودن ۱۸,۸ ذخایر صرفاً ۶,۵ درصد تولید داشته است. خاورمیانه با ۴۸,۱ درصد ذخایر ۳۱,۹ درصد تولید جهان را در اختیار داشته و کل کشورهای اوپک در حالی که ۷۰,۱ درصد ذخایر جهان را در اختیار دارند، ۳۷,۴ درصد تولید نفت را به خود اختصاص داده‌اند و این یعنی کمی بیش از نصف ظرفیت ذخایر خود تولید کرده‌اند (بریتیش پترولیوم<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰). نوع دوم عدم توازن میان تولید و مصرف نفت است. برای مثال با وجودی که تولید نفت اروپا ۳,۶ درصد کل جهان است اما مصرف آن ۱۵,۲ است و در مقابل کشورهای مستقل مشترک-المنافع در حالی که ۱۵,۴ تولید نفت را به خود اختصاص داده‌اند اما میزان مصرفشان حدود ۴,۳ درصد بوده است. همچنین در حالی که خاورمیانه ۳۱,۹ درصد تولیدات را دارد ولی صرفاً ۹,۶ درصد مصرف را به خود اختصاص داده است. در مقابل آسیا-اقیانوسیه با تولید ۸ درصدی ۳۶,۸ درصد نفت جهان را مصرف می‌کند (بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۰). این عدم توازن‌ها نشان‌دهنده اهمیت تجارت نفت بوده و بنابراین، درک ویژگی‌های تجارت جهانی نفت اهمیت زیادی دارد.

به منظور شناسایی و درک الگوهای تجارت در سطح جهانی و همچنین ارزیابی پایداری و استحکام تجارت جهانی نیاز است که ساختار شبکه تجارت بین‌الملل مطالعه شود.

<sup>۱</sup>. Dudley

<sup>۲</sup>. Dong

<sup>۳</sup>. British Petroleum (BP)

بنابراین، شناسایی ویژگی‌های ساختاری شبکه تجارت جهانی و یا به عبارتی مشخصه‌های کلی این شبکه سهم بسزایی در شناسایی موقعیت‌های الگوی تجارت نفت دارد. علاوه بر ویژگی‌های کلی، نیاز است که ویژگی‌های منطقه‌ای نیز بررسی شود؛ زیرا محدودیت‌های توزیع منابع نفتی اشاره شده در بالا، مبین مشخصه‌های منطقه‌ای آشکارای تجارت جهانی نفت است. همچنین، همانطور که اشاره شد، از آنجایی که عرضه و تقاضای نفت خام به شدت به مواهب طبیعی وابسته است، ایجاد روابط تجاری پایدار و شرکای تجاری متنوع اهمیت پیدا می‌کند. از این رو، بررسی استحکام در سطح منطقه‌ای از نظر ایجاد روابط تجاری باثبات و شرکای تجاری متنوع اهمیت پیدا می‌کند.

در این مقاله هدف شناسایی ویژگی‌های کلی شبکه تجارت نفت خام، ویژگی‌های منطقه‌ای و استحکام آن است. از این رو، در ابتدا ساختار شبکه تجارت نفت بر اساس حجم نفت مبادله شده بین ۱۷۸ کشور مشخص شده است. بر اساس توزیع درجه و ضرب خوشه‌ای شدن، ویژگی‌های کلی شبکه تجارت نفت خام و استحکام آن بررسی می‌شود. در مرحله دوم، سطح تحلیل به سطح منطقه‌ای تغییر یافته و شبکه تجارت نفت خام به ۱۲ منطقه تقسیم می‌شود. سپس، مشخصه‌های منطقه‌ای در شبکه تجارت بررسی شده و استحکام مناطق مورد بررسی در شبکه تجارت نفت خام ارزیابی می‌شود. دستاوردهای اصلی این مقاله عبارتند از: اول، ارزیابی استحکام و ویژگی‌های کلی شبکه تجارت نفت خام، و دوم تقسیم‌بندی شبکه تجاری به چند منطقه و ارزیابی پایداری شبکه بر این اساس. لازم به ذکر است که دستاورد اول وجه تمایز مطالعه با مطالعات داخلی بوده و دستاورد دوم هم وجه تمایز داخلی و هم وجه تمایز خارجی (از نظر منطقه‌بندی شبکه و ارائه ارزیابی‌ها) این پژوهش است.

مقاله در ادامه شامل پنج بخش دیگر است. در بخش دوم، مبانی نظری مرتبط با پایداری و استحکام ارائه می‌شود. در بخش سوم، پیشینه تحقیق بررسی، در بخش چهارم روش تحلیل و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق ارائه شده است. بخش پنجم، به بیان نتایج پرداخته و در بخش آخر، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه می‌شود.

## ۲. مبانی نظری

پیچیدگی فزاینده الگوهای تجارت جهانی نفت امنیت و راهبردهای انرژی یک کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ژانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). با وقوع شوک اول نفتی در ۱۹۷۳

<sup>۱</sup>. Zhang

توجه به نفت در سیاست انرژی کشورهای صنعتی اهمیت اساسی یافت (آژانس بین-المللی انرژی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱). لاکاسه و پلورده<sup>۲</sup> (۱۹۹۵)، امنیت انرژی را دسترسی بدون وقفه منابع انرژی با قیمت مقرون به صرفه تعریف می‌کنند. به علاوه، در مطالعاتی همچون هولینگ و گاندerson<sup>۳</sup> (۲۰۰۲)، مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه<sup>۴</sup> (۲۰۰۷)، فولک<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، فون هیپل و همکاران (۲۰۱۱)<sup>۶</sup>، هاگز<sup>۷</sup> (۲۰۱۲) و فتح<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۵) ابعاد دیگری از جمله در دسترس بودن<sup>۹</sup>، مقرون به صرفه بودن<sup>۱۰</sup>، مقبولیت<sup>۱۱</sup>، امکان نزدیک بودن<sup>۱۲</sup> و سازگاری<sup>۱۳</sup> به شاخص امنیت انرژی اضافه شد.

در توصیف در دسترس بودن، هاگز بیان می‌کند که منظور از در دسترس بودن، در دسترس بودن یک جریان انرژی بین فرآیندها یا در دسترس بودن یک جریان انرژی بین فرآیندها و پایانه‌ها است. مقادیر فعلی در دسترس بودن یک جریان انرژی بر حسب انرژی موجود برای یک دوره زمانی معین، مانند بشکه در روز، تن در ساعت و مگاوات ساعت در سال بیان می‌شود (هاگز، ۲۰۱۲: ۲۲۵-۲۲۴). براساس تعریف شورای انرژی جهانی از شاخص‌های پایداری، منظور از در دسترس بودن، تداوم عرضه و کیفیت و قابلیت اطمینان خدمات است. براساس تعریف مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه، منظور از در دسترس بودن، در دسترس بودن نفت (و سایر سوخت‌های فسیلی) و انرژی هسته‌ای است (هاگز، ۲۰۱۲: ۲۲۸). در خصوص شاخص مقرون به صرفه بودن، اگر هزینه‌های انرژی بالاتر به ازای هر واحد نسبت به هزینه‌های کمتر به ازای هر واحد، کمتر ایمن تلقی شود؛ افزایش هزینه انرژی باعث بدتر شدن امنیت و کاهش هزینه انرژی باعث بهبود امنیت خواهد شد (هاگز، ۲۰۱۲: ۲۲۵). آژانس بین‌المللی انرژی در تعریف امنیت انرژی بیان می‌کند مقبولیت به نیاز به انرژی که به مسائل زیست‌محیطی (مانند انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای) می‌پردازد، اشاره دارد (هاگز، ۲۰۱۲: ۲۲۵).

<sup>1</sup>. International Energy Agency (IEA)

<sup>2</sup>. LaCasse and Plourde

<sup>3</sup>. Holling and Gunderson

<sup>4</sup>. Asia Pacific Energy Research Centre (APEREC)

<sup>5</sup>. Folke

<sup>6</sup>. Von Hippel

<sup>7</sup>. Hughes

<sup>8</sup>. Fath

<sup>9</sup>. Availability

<sup>10</sup>. Affordability

<sup>11</sup>. Acceptability

<sup>12</sup>. Accessibility

<sup>13</sup>. Adaptability

براساس تعریف شورای انرژی جهانی از شاخص‌های پایداری، منظور از مقبولیت در نظر گرفتن مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی است (هاگز، ۲۰۱۲: ۲۲۸). همچنین، براساس تعریف مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه، شاخص قابلیت دسترسی (امکان نزدیک بودن)، موانع دسترسی به منابع انرژی را در نظر می‌گیرد (هاگز، ۲۰۱۲: ۲۲۸). شاخص سازگاری تا حدودی مفهوم استحکام را بیان می‌کند. به عبارت دیگر، سازگاری نشان‌دهنده ظرفیت پاسخ (واکنش)ها به تغییر محرک‌های خارجی و فرآیندهای داخلی و در نتیجه امکان توسعه در طول مسیر فعلی (و یا به عبارتی در زمینه پایداری) است (فولک و همکاران، ۲۰۱۰). در کنار اهمیت بخش امنیت تأمین انرژی که مهمترین شاخص آن تنوع است، توجه به پایداری و استحکام شبکه تجارت نفت اهمیت دارد.

استحکام مفهومی چند بعدی است که حوزه‌های مختلف فیزیکی، اجتماعی، فرهنگی، فناوری یا اقتصادی را در بر می‌گیرد. ثوما<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) بیان می‌کند ارتباطات کارا و اثربخش می‌تواند یک عامل تعیین‌کننده برای رفتار مستحکم و منعطف (یا حتی «غیر مستحکم») زیرساختی باشد که در معرض تکانه باشد. در اینصورت، با در نظر گرفتن سنجه‌هایی برای عملکرد یک نظام و منحنی وابسته به زمان، می‌توان چگونگی پاسخ این سنجه‌ها به تکانه یا رویداد نامطلوب را ارزیابی کرد. از این رو، میزان استحکام یک نظام<sup>۲</sup> را می‌توان بر اساس شکل (۱) که در آن محور افقی مبین زمان و محور عمودی مبین عملکرد است، تحلیل کرد. در این شکل، دوره (الف)، دوره عملکرد طبق برنامه بوده، دوره (ب)، دوره جذب تکانه، دوره (ج) دوره بازسازی نظام پس از تکانه و دوره (د)، دوره سازگاری نظام پس از تکانه است. بر اساس شکل (۱) اگر در ابتدای دوره B یک تکانه به نظام وارد شود بسته به میزان پایداری<sup>۴</sup> نوع نظام قابل تصور است که عبارتند از: (۱) مستحکم<sup>۳</sup> (جذب بدون فروپاشی - نمودار آبی)، (۲) شکل‌پذیر<sup>۴</sup> (بهبود ناقص - نمودار زرد)، (۳) در حال فروپاشی<sup>۵</sup> (نمودار قرمز) یا (۴) رفتار سازگار<sup>۶</sup> (تغییر شکل توسط تغییر ساختارها، توابع و حلقه‌های بازخورد - نمودار سبز). کلیمک<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۹) بیان می‌کنند که انتظار می‌رود یک نظام با استحکام و انعطاف بالا (مانند

1. Thoma (2014)

2. System

3. Robust Behavior

4. Ductile Behavior

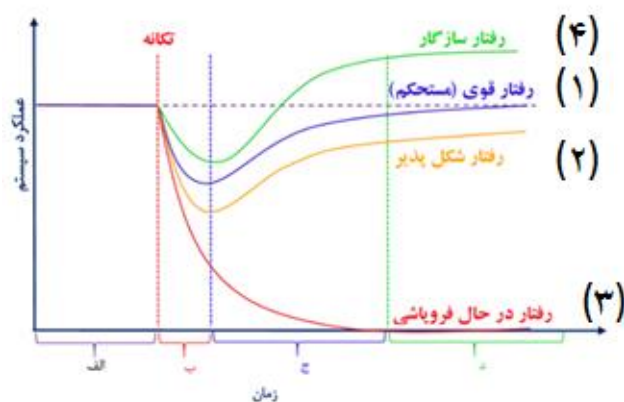
5. Collapsing Behavior

6. Adaptive Behavior

7. Klimek

رفتارهای قوی و سازگار در شکل (۱) در مقایسه با نظامی با انعطاف‌پذیری پایین‌تر (مثلاً رفتار شکل‌پذیر یا حتی در حال فروپاشی در شکل (۱)) افت کمتر و بازیابی سریع‌تری را در عملکرد نظام نشان دهد.

شکل (۱): چهار الگوی اساسی تغییر در عملکرد نظام زمانیکه یک زیرساخت در معرض تکانه باشد. استحکام را می‌توان از نظر کمی با پاسخ وابسته به زمان یک سنج برای عملکرد نظام مشخص کرد: (۱) مستحکم، (۲) شکل‌پذیر، (۳) در حال فروپاشی یا (۴) سازگار.



منبع: کلیمک و همکاران (۲۰۱۹)

علاوه بر نوع ارتباطات، میزان ارتباطات و یا به عبارتی میزان متصل‌بودن<sup>۱</sup> یک شبکه می‌تواند بر استحکام شبکه تأثیر بگذارد. اوندرو و ییلمازکودی<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) با ارزیابی موقعیت کلی یک کشور در شبکه تجارت جهانی، متصل بودن یک کشور را می‌سنجند. این امر نه تنها مستلزم توجه به شرکای تجاری یک کشور است، بلکه نیاز به توجه به شرکای آن کشور دارد زیرا میزان متصل بودن یک کشور بستگی به کمیت و همچنین کیفیت شرکای تجاری دارد. به عبارت دیگر، نکته‌ای که در زمینه شاخص‌های بازبودن تجاری وجود دارد این است که این شاخص‌ها تفاوتی بین شرکای تجاری قائل نمی‌شوند و بنابراین، دو کشور که حجم تجاری یکسان داشته ولی مجموعه شرکای تجاری متفاوتی دارند، از دید این شاخص‌ها، یکسان در نظر گرفته می‌شوند. از این رو، برای در نظر گرفتن شرکای یک کشور و ویژگی‌های آن‌ها و در نتیجه برای نشان دادن متصل بودن کشورها، می‌توان از شاخص‌های مرکزیت شبکه استفاده کرد که ییلمازکودی

<sup>۱</sup>. Connectedness

<sup>۲</sup>. Önder and Yilmazkuday

و اوند (۲۰۱۶)، این شاخص‌ها را شاخص تنوع شریک تجاری<sup>۱</sup> می‌خوانند. به بیان دیگر، وجود تنوع نیز می‌تواند عامل افزایش استحکام نظام باشد و نوع نظام را می‌تواند از سطح (۳) به سطوح بالاتر (۲)، (۱) یا (۴) در شکل (۱) ارتقا دهد و بطور خاص در شبکه تجارت نفت، استحکام شبکه تجارت جهانی نفت بر امنیت انرژی آن اثرگذار خواهد بود. از طرف دیگر، ایجاد تنوع به عنوان مهمترین عامل ایجاد امنیت در تأمین نفت معرفی می‌شود. به عبارتی، تنوع در کشورهای واردکننده خطر اختلال در تقاضای نفت را برای کشورهای صادرکننده کاهش داده و تنوع در کشورهای صادرکننده نفت خطر اختلال در عرضه را برای کشورهای واردکننده کاهش می‌دهد (کیتامورا و ماناگی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷). تنوع به عنوان سنج‌ای از استحکام نظام‌های انرژی نیز مطرح می‌شود. تنوع، درجه تغییر در نظام است که می‌تواند شامل درجه تغییر در اجزا اصلی باشد که عملکردهای مشابه دارند. به این نوع از تنوع، تنوع عملکردی<sup>۳</sup> گفته می‌شود. تنوع عملکردی همچنین می‌تواند در شبکه‌های تجاری نقش داشته باشد، به‌ویژه در زمینه زنجیره‌های ارزش جهانی که بازیگران و مراحل متعدد تولید را درگیر می‌کند. در شبکه‌های تجاری، تنوع عملکردی می‌تواند به تنوع بازیگران، محصولات و خدمات درگیر در مبادله کالاها و خدمات اشاره داشته باشد. یک شبکه تجاری متنوع می‌تواند چندین مزیت از جمله موارد زیر را داشته باشد:

تاب آوری<sup>۴</sup>: یک شبکه تجاری متنوع می‌تواند در برابر شوک‌های اقتصادی و سیاسی مقاوم‌تر باشد، زیرا می‌تواند منابع جایگزین عرضه و تقاضا را فراهم کند. پایداری<sup>۵</sup>: یک شبکه تجاری متنوع می‌تواند با تقویت همکاری و به اشتراک گذاری دانش پیرامون مسائل مختلف مرتبط، پایداری را ارتقا دهد.

فراگیری<sup>۶</sup>: یک شبکه تجاری متنوع می‌تواند با فراهم کردن فرصت‌هایی برای تولیدکنندگان کوچک مقیاس و جوامع به حاشیه رانده شده برای مشارکت در تجارت و بهره‌مندی از فرصت‌های آن، فراگیری را ارتقا دهد.

همچنین، تنوع به عنوان درجه تغییر در اجزای اصلی نظام که پاسخ‌های مختلف در برابر اختلالات دارند نیز تعریف می‌شود که به آن تنوع پاسخ<sup>۱</sup> گویند (فولک<sup>۲</sup> و همکاران،

1. Trade Partner Diversification (TPD)

2. Kitamura and Managi

3. Functional Diversity

4. Resilience

5. Sustainability

6. inclusivity

۲۰۰۴). تنوع باعث می‌شود که یک نظام در صورت بروز اختلال در گزینه‌های خود انعطاف‌پذیرتر باشد. بنابراین تنوع می‌تواند انعطاف‌پذیری و استحکام نظام انرژی چه در تولید و چه مصرف را افزایش دهد (خرازی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

### ۳. پیشینه تحقیق

ناپایداری بازار جهانی نفت خام در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۱۳<sup>۴</sup> و به خصوص افزایش مخاطرات نفت از فوریه سال ۲۰۱۳، (وانگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۶) سبب شد از سال ۲۰۱۴ به بررسی شبکه تجارت جهانی نفت خام توجه ویژه‌ای شود. نتایج مطالعات در زمینه شبکه تجارت نفت خام به سه دسته قابل تقسیم است. دسته اول، مطالعاتی است که ساختار و ویژگی‌های شبکه تجارت نفت خام را بررسی می‌کنند. عمده این مطالعات در سال ۲۰۱۴ انجام شده‌اند. بطور خاص، این مطالعات بیان می‌کنند که شبکه تجارت نفت خام ویژگی شبکه‌های جهان کوچک<sup>۶</sup> و مقیاس آزاد<sup>۷</sup> را توأمان دارند (آن<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ یانگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، روند تکاملی ساختار شبکه تجارت نفت خام حاکی از روندی پایدار،

<sup>1</sup>. Response Diversity

<sup>2</sup>. Folke

<sup>3</sup>. Kharrazi

<sup>۴</sup>. برای مطالعه بیشتر رجوع شود به:

<https://www.refinitiv.com/perspectives/market-insights/the-oil-crash-explained-5-causes-that-led-to-oils-decline/>

<sup>5</sup>. Wang

<sup>6</sup>. Small World Networks

شبکه‌های جهان کوچک ساختاری بینابین شبکه‌های باقاعده (شبکه‌هایی با رئوس دارای درجه یکسان (جکسون، ۲۰۱۰)) و شبکه‌های تصادفی (شبکه‌هایی با ناهمگونی زیاد در درجات رئوس و توزیع درجه پواسن (جکسون، ۲۰۱۰)) دارند که از هر کدام خصوصیتی را برگرفته‌اند. شبکه‌های جهان کوچک ویژگی ضریب خوشه‌ای شدن بالا را از شبکه‌های با قاعده و ویژگی طول متوسط مسیر کوتاه را از شبکه‌های تصادفی دارند (واتس و استروگتس، ۱۹۹۸). یک مثال معروف این نوع شبکه‌ها در شبکه ارتباطات است و گفته می‌شود که بطور میانگین فاصله بین افراد در دنیا به اندازه شش نفر است (نیومن، ۲۰۱۰).

<sup>7</sup>. Free Scale Networks

شبکه‌های مقیاس آزاد توزیع درجه‌نمایی دارند بدین معنا که در این شبکه‌ها تعداد زیادی رئوس با درجه خیلی کم و تعداد کمی رئوس با درجه خیلی بالا وجود دارند. لازم به ذکر است که منظور از توزیع درجه یک شبکه، شرح فراوانی نسبی رئوسی است که درجات مختلف دارند (نیومن، ۲۰۰۳؛ جکسون، ۲۰۱۰).

<sup>8</sup>. An

<sup>9</sup>. Yang



یکپارچه و سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> است (آن و همکاران، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۶) که در طول زمان تغییر نکرده است (ژانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

برخی از این مطالعات، ویژگی‌های کشورهای عمده صادرکننده و واردکننده نفت را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاکی از آن است که عمده تجارت نفت خام بین ده کشور اصلی شبکه تجاری (آلمان، اسپانیا، ژاپن، استرالیا، کره جنوبی، عربستان سعودی، کانادا، امارات متحده عربی، مالزی و سنگاپور) خلاصه می‌شود که بیش از ۴۰٪ روابط تجاری را به خود اختصاص داده‌اند. در این میان، کشورهای عمده واردکننده شامل آلمان، اسپانیا، پرتغال، ژاپن، استرالیا، کره جنوبی، برزیل، سنگاپور و کانادا بوده که بیش از نیمی از روابط تجاری را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، شش کشور خاورمیانه که عبارتند از عربستان سعودی، عمان، امارات متحده عربی، ایران، عراق، کویت به عنوان کشورهای عمده صادرکننده شناسایی شده که ۳۲٪ از کل روابط تجاری را به خود اختصاص داده‌اند. نکته‌ای که وجود دارد این است که شش کشور عمده صادرکننده نفت یک بلوک تجاری با ساختار جهان-کوچک را شکل داده‌اند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

دونگ و همکاران (۲۰۲۰) با بهینه‌سازی شبکه تجارت نفت خام و مقایسه نحوه انتخاب شرکای تجاری کشورهای عمده صادرکننده نفت؛ اشاره می‌کنند که در شبکه بهینه تجارت نفت، کشورهای عمده صادرکننده نفت شرکای خود را نسبت به شبکه تجاری غیر بهینه، هوشمندانه‌تر انتخاب می‌کنند و روابط تجاری با ثبات‌تری دارند. دو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی مطالعات انجام شده در خصوص شبکه تجارت نفت خام

<sup>۱</sup>. Stable, Integrated and Ordered

آن و همکاران (۲۰۱۴) این مفاهیم را بخوبی بیان و تفسیر کرده‌اند. منظور از «پایداری» ساختار شبکه تجارت نفت در طول زمان این است که در طول زمان ممکن است کشورهایی به شبکه ملحق شوند و در عین حال کشورهایی نیز از شبکه جدا شوند که در نهایت پایداری کل ساختار شبکه را خواهیم داشت. همچنین، منظور از «یکپارچه بودن» ساختار شبکه تجارت نفت این است که با جهانی شدن تجارت نفت خام و شکسته شدن موانع تجاری، هم کشورهای واردکننده و هم کشورهای صادرکننده یکپارچه‌تر می‌شوند. به علاوه، منظور از «سلسله مراتبی» بودن ساختار شبکه، چگونگی تعامل بین اهمیت نقش (درجه رؤس) و اثرگذاری (ضریب خوشه‌ای شدن) کشورها است. هرچقدر همبستگی بین نقش و اثرگذاری کشورها بیشتر باشد، مبین آن است که ساختار شبکه سلسله مراتبی است. در خصوص شبکه تجارت نفت، مشاهده شده است که در طول زمان همبستگی بین نقش و اثرگذاری کشورها بیشتر شده و در نتیجه ساختار شبکه یک ساختار سلسله مراتبی است.

<sup>۲</sup>. Zhang

<sup>۳</sup>. Du

مشاهده می‌کنند که عمده مطالعات بر کشورهای عمده صادرکننده نفت معطوف هستند. این در حالی است که کشورهای عمده واردکننده نفت خام بر کشورهای عمده صادرکننده اثر می‌گذارند و بایستی توجه مطالعات به سمت کشورهای واردکننده نیز معطوف شود (دو و همکاران، ۲۰۱۷). در این خصوص، مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که در صحنه رقابت تجاری، منطقه آسیا-اقیانوسیه نقش اصلی و پیشرو داشته است. همچنین، در طول زمان شدت رقابت افزایشی بوده و واردکنندگان نفت خام غیر از کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی<sup>۱</sup> نیروی اصلی در رشد شدت رقابت جهانی بوده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، با توجه به ظهور انرژی‌های جدید، عرضه انرژی کشورهای وابسته به واردات نفت خام متنوع شده است. به علاوه، روابط بین کشورهای وابسته به واردات نفت خام در طول زمان تضعیف شده است. در این میان، ۱۰ کشور هلند، ایالات متحده آمریکا، ایتالیا، اسپانیا، بریتانیا، چین، بلژیک، استرالیا، لهستان و آلمان به طور مکرر با سایر کشورها تعامل دارند و نقش مهمی در حفظ پایداری واردات نفت خام ایفا می‌کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶).

دسته دوم مطالعات به بررسی بحران‌ها در شبکه تجارت نفت خام پرداخته‌اند. بطور خاص، ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) به دو نقطه عطف در تکامل شبکه تجارت نفت خام اشاره می‌کنند که شامل جنگ عراق در سال ۲۰۰۵-۲۰۰۴ و بحران مالی در سال ۲۰۰۸-۲۰۰۹ هستند. این نقاط عطف منجر به ایجاد ناپایداری در جوامع شبکه تجارت نفت خام شده است. همچنین، آن و همکاران (۲۰۱۴) اشاره می‌کنند که تغییر ناگهانی در شبکه کشور تولیدکننده نفت منجر به ایجاد نوسان در عرضه نفت می‌شود و ترمیم آن برای کشور تولیدکننده زمان‌بر است. اثر این موضوع بر کشور واردکننده ضعیف‌تر بوده و زمان کوتاه‌تری برای ترمیم نیاز است. زیرا سایر کشورهای تولیدکننده نفت خام، کمبود ایجاد شده را پوشش می‌دهند و بنابراین، تغییر ایجاد شده برای سایر کشورهای تولیدکننده نفت خام به عنوان یک فرصت تلقی می‌شود. اشفاق<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) با اشاره به این موضوع که آسیا به عنوان بزرگترین قاره بیشترین مصرف انرژی را دارد، اهمیت بررسی تأثیر سرریز و بحران انرژی در این منطقه را بیان می‌کند. این محققان با مطالعه رابطه بین سرریز نوسان نفت خام، بورس سهام کشورهای عمده صادرکننده و واردکننده نفت آسیایی بیان می‌کنند که بین کشورهای عمده صادرکننده نفت و

<sup>۱</sup>. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

<sup>۲</sup>. Ashfaq

همچنین قیمت نفت رابطه سرریز قوی وجود دارد. این موضوع برای کشورهای عمده صادرکننده نفت هشدار بوده و نیاز است که وابستگی این کشورها به سایر بخش‌های اقتصادی نیز متنوع شود. به علاوه، سرریز نوسان مثبت و معنادار میان بورس‌های کشورهای عمده تجارت نفت آسیا و همچنین سرریز نوسان مثبت و معنادار با بازده قیمت نفت، پیوند قوی بین بورس، بازده قیمت نفت و سرریز نوسان را تأیید می‌کند و همچنین نشان می‌دهد که هر بحرانی در یک بازار می‌تواند تا حد زیادی بر نوسانات سایر بازارهای سهام تأثیر بگذارد. ارتباط این چنینی بین این بازارها نیز اهمیت قیمت نفت را برای همه سهام‌ها تأیید می‌کند. این در حالی است که روابط بین کشورهای آسیایی عمده واردکننده نفت خام ضعیفتر بوده و بنابراین این کشورها مستقل‌تر از کشورهای عمده صادرکننده نفت عمل می‌کنند و نیاز است که برنامه‌ریزی بلندمدت برای مواجهه با تکانه‌های آتی بحران انرژی داشته باشند.

در ادامه مطالعات مربوط به بحران‌ها در شبکه تجارت نفت خام، سونگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱) این موضوع را از دید کشورهای مرکزی شبکه تجارت نفت خام بررسی می‌کنند و بیان می‌دارند که کشورهای مرکزی شبکه تجاری حساسیت کمتری نسبت به حملات عمدی به شبکه تجاری را دارند. جی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴) همچنین پایداری کل شبکه را در صورت اختلال تصادفی یا هدفمند عرضه صادرات توسط کشورهای صادرکننده نفت بررسی می‌کند. شاخص پایداری این محققین بر اساس کشورهای واردکننده و شاخص پایداری کلی این پژوهشگران بر اساس کشورهای صادرکننده تعریف شده است. علاوه بر این، جی و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی پایداری کشورهای واردکننده، جنبه‌های جغرافیای سیاسی کشورهای صادرکننده را در نظر گرفته‌اند. در کنار این موضوع، به منظور تحلیل منطقه‌ای، جوامع در شبکه تجارت نفت نیز کشف شده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که شبکه تجارت نفت تحت حملات تصادفی مستحکم و تحت حملات هدفمند شکننده است. همچنین، بدلیل ارتباط تنگاتنگ تجارت نفت با امنیت انرژی، بر اساس شناسایی الگوهای تجاری فعلی نفت، این پژوهشگران سیاست‌ها و پیشنهادات مربوطه برای حفظ پایداری تجارت نفت و تضمین امنیت انرژی هر کشور را ارائه می‌کنند.

---

<sup>۱</sup>. Song

<sup>۲</sup>. Ji

دسته سوم مطالعات مربوط به شبکه تجارت نفت خام در منطقه طرح یک کمر بند یک جاده<sup>۱</sup> و بطور خاص نقش کشور چین و ویژگی کشورهای این منطقه از نظر اقتصادی، فرهنگی و ... است. نتایج مطالعات روی شبکه تجارت نفت خام در منطقه طرح یک کمر بند یک جاده مبین آن است که جغرافیای سیاسی، مقیاس اقتصادی و فرهنگ عوامل مؤثر بر تجارت قوی چین در این منطقه هستند. به عبارت دیگر، در این منطقه، چین رابطه تنگاتنگی با سایر کشورها ایجاد کرده و روابط تجاری بیشتر با تعداد کمتری از کشورها برقرار شده که مبین ارتباط تجارت با جغرافیای سیاسی است. همچنین، مقیاس اقتصادی<sup>۲</sup> تأثیر مثبت قابل توجهی بر تجارت در این منطقه دارد بگونه‌ای که کشورهای مجاور تمایل به برقراری روابط تجاری نزدیک دارند. به علاوه، همکاری فرهنگی نیز ویژگی‌های قابل توجهی در تقویت تجارت نشان می‌دهد. همچنین، کشورهایی که منجر به استحکام شبکه تجارت نفت خام در منطقه طرح یک کمر بند یک جاده شده‌اند عبارتند از: اندرونزی، مالزی، سنگاپور، تایلند و شرکای تجاری آن‌ها. جدول (۱)، نتایج این مطالعات را بطور خلاصه نشان می‌دهد.

جدول (۱): مطالعات مربوط به شبکه تجارت نفت خام در منطقه طرح یک کمر بند یک جاده

نویسندگان	کشورها	دوره مورد مطالعه	داده‌ها	نتایج
زانگ و همکاران (۲۰۱۹)	۶۵ کشور منطقه طرح یک کمر بند یک جاده	۲۰۰۴-۲۰۱۶	هماهنگی سیاست، اتصال امکانات و تجارت بدون مانع، ادغام مالی، قرارداد بین مردم، انرژی جایگزین، جریان تجارت دوجانبه نفت	عوامل مؤثر بر تجارت مقاوم چین: جغرافیای سیاسی، مقیاس اقتصادی و فرهنگ.
چی و همکاران (۲۰۱۹)	۶۵ کشور منطقه طرح یک کمر بند یک جاده	۲۰۰۹-۲۰۱۶	جریان تجارت دو جانبه نفت خام	کشورهای سهیم در استحکام تجارت و جوامع تجاری: اندرونزی، مالزی، سنگاپور، تایلند و شرکای تجاری آن‌ها. کشورهای کنترل کننده منابع نفت خام: روسیه و قزاقستان.

<sup>1</sup>. The Belt and Road Initiative

این طرح با پشتوانه قدرت صنعتی چین، راهی برای کمک به رشد اقتصادی و رونق تجارت بین‌الملل کشورها است. در این طرح ۱۴۷ کشور عضو هستند. برای اطلاعات بیشتر به درگاه زیر مراجعه شود.

<https://greenfdc.org/countries-of-the-belt-and-road-initiative-bri>

<sup>2</sup>. Economic Scale

<sup>3</sup>. Xi

کشور مرکز مالی برای بهره‌مندی بیشتر از طرح یک کمربند یک جاده: سنگاپور. کشور توسعه‌دهنده دامنه تجارت: قزاقستان.				
---	--	--	--	--

منبع: یافته‌های تحقیق

وجه تمایز مطالعه حاضر با سایر مطالعات در داخل این است که بحث تحلیل الگوهای شبکه تجارت نفت خام با رویکرد نظریه شبکه انجام نشده است و بنابراین مطالعه حاضر در بین مطالعات داخلی نوآوری دارد. از نظر مطالعات خارجی، اگرچه عمده روش‌شناسی انجام شده در این مطالعه از پژوهش جی و همکاران (۲۰۱۴) برگرفته شده است؛ اما نحوه بررسی و ساخت شبکه تا حدودی متفاوت است. یکی اینکه، تحلیل منطقه‌ای براساس شبکه منطقه‌ای صورت گرفته است تا بتوان بعد فاصله، هزینه تجاری و نزدیکی ساختاری و فرهنگی را در نظر بگیریم. همچنین، در بخش خاصی از تحلیل، نه تنها بر نوع شبکه مد نظر جی و همکاران (۲۰۱۴) که شبکه‌ای جهت‌دار بدون وزن است تمرکز کرده‌ایم، بلکه به منظور تحلیل دقیق‌تر، شبکه جهت‌دار وزن‌دار را نیز بررسی کرده‌ایم تا بزرگی رابطه تجاری (و نه صرفاً وجود یا نبود رابطه تجاری) را بررسی کنیم. بنابراین، مطالعه حاضر در مقایسه با هر دو دسته مطالعات داخلی و خارجی نوآوری دارد.

#### ۴. روش‌شناسی و داده‌ها

در این قسمت ابتدا نحوه ساخت شبکه تجارت جهانی نفت معرفی و سپس شاخص‌های مربوط به تحلیل در سطح کل و سطح منطقه‌ای ارائه می‌شوند. در بخش آخر نیز داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر تشریح می‌شوند.

##### ۴-۱. ساخت شبکه مرکزی تجارت جهانی نفت

برای طراحی شبکه تجاری همانند جی و همکاران (۲۰۱۴) یک شبکه مرکزی تجارت جهانی نفت جهت‌دار بدون وزن<sup>۱</sup> را خواهیم داشت که ماتریس الحاقی<sup>۲</sup> آن براساس شبکه صادرات نفت خام ساخته شده است. شبکه جهت‌دار تجارت نفت با مجموعه  $G = (N, E)$  نشان داده می‌شود که در آن  $Z$  کشور تجاری به عنوان رئوس شبکه  $(N = \{n_1, n_2, \dots, n_Z\})$  و جریان تجاری به عنوان یال‌های شبکه  $(E)$  در نظر گرفته می‌-

<sup>۱</sup>. Unweighted Directed Network

<sup>۲</sup>. Adjacency Matrix

شوند. ساختار شبکه با ماتریس الحاقی با ابعاد  $Z \times Z$  نشان داده می‌شود که در آن  $e_{ij} = 1$  است اگر صادرات نفت از کشور  $n_i$  به کشور  $n_j$  وجود داشته باشد، در غیر این صورت  $e_{ij} = 0$  خواهد بود. در اینجا با در نظر گرفتن تفاوت در روابط تجاری بین کشورها و در نظر گرفتن روابط تجاری مهم، شبکه مرکزی تجارت جهانی نفت با هدف برجسته کردن بهتر کشورها و روابط با موقعیت‌های تجاری قابل توجه ساخته شده است. شدت صادرات<sup>۱</sup> به عنوان شاخصی برای فیلتر کردن روابط تجاری مورد استفاده است که به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$XTI(i, j) = \frac{X_{ij}/X_i}{M_j/M_w} \quad (1)$$

که در آن  $XTI(i, j)$  شدت صادرات بین کشور  $n_i$  و کشور  $n_j$ ،  $X_{ij}$  حجم صادرات از کشور  $n_i$  به کشور  $n_j$ ،  $X_i$  کل حجم صادرات کشور  $n_i$ ،  $M_j$  کل حجم واردات کشور  $n_j$  و  $M_w$  کل حجم واردات جهانی است.

شدت صادرات به عنوان سنج‌ای از رابطه تنگاتنگ بین دو کشور محسوب می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد که آیا یک کشور نسبت به میانگین دنیا (به صورت درصد) بیشتر به یک مقصد معین صادرات دارد یا خیر. مقدار شدت صادرات بیشتر از ۱ به معنای صادرات به طور متوسط بیشتر کشور  $i$  به مقصد  $j$  نسبت به کل جهان است که منعکس کننده یک رابطه تجاری «شدید» است. این در حالی است که مقدار کمتر از ۱، یک رابطه «ضعیف» را نشان می‌دهد. از دیدگاه نظریه، شدت صادرات کشور  $v_i$  برابر است با شدت واردات کشور  $v_j$  برای همان شرکای تجاری. در اینجا، کشور  $v_i$  به کشور  $v_j$  صادرات نفت دارد. بنابراین، ساختار شبکه مرکزی تجارت نفت به صورت زیر بیان می‌شود:

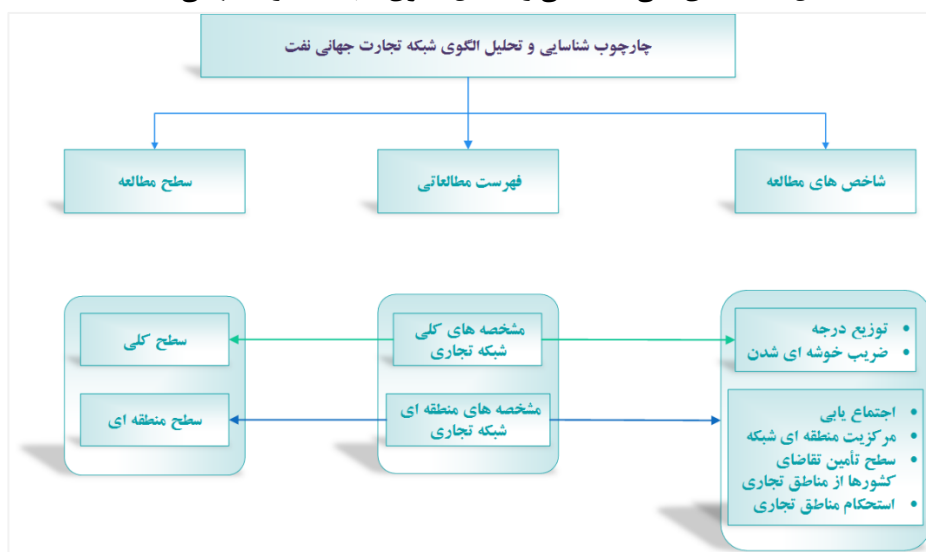
$$a_{ij} = e_{ij} \times \begin{cases} 1 & XTI(i, j) > 1 \\ 0 & XTI(i, j) < 1 \end{cases} \quad (2)$$

<sup>۱</sup>. Export Intensity

#### ۴-۲. شاخص‌های شبکه مرکزی تجارت نفت

در این مقاله الگوهای تجارت نفت در دو زمینه ویژگی‌های کلی و ویژگی‌های منطقه‌ای تجارت نفت مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. چارچوب پژوهشی مطالعه حاضر به شرح شکل (۲) است.

شکل (۲): شمای کلی شناسایی و تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت



منبع: دستاورد تحقیق

#### ۴-۲-۱. مشخصه‌های کلی شبکه تجارت

مشخصه‌های کلی شبکه تجارت، شاخص‌هایی از الگوهای تجارت در سطح جهانی هستند. همچنین، پایداری تجارت تا حد زیادی به ساختار شبکه تجاری بستگی دارد. بنابراین، شناسایی ویژگی‌های ساختاری شبکه تجاری بخش مهمی از شناسایی موقعیت‌های الگوی تجارت نفت است. دو شاخص خاص برای شناسایی مشخصه‌های کلی شبکه استفاده می‌شوند که عبارتند از: توزیع درجه و ضریب خوشه‌ای شدن.

#### ۴-۲-۱-۱. توزیع درجه<sup>۱</sup>

توزیع درجه یک شبکه برای توصیف مشخصه توزیع تعداد اتصالات رئوس و مطالعه ناهمگونی رئوس استفاده می‌شود که به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

$$P(k) = \frac{N_k}{N} \quad (3)$$

<sup>۱</sup>. Degree Distribution

که در آن  $N_k$  تعداد رئوس با درجه  $k^1$  و  $N$  تعداد کل رئوس شبکه است. در شبکه‌های تصادفی، توزیع درجه توزیع پواسونی دارد و نشان می‌دهد رئوس درجه یکسانی دارند و ویژگی همگن بودن را بیان می‌کند. این در حالی است که اگر توزیع درجه، توزیع نمایی بصورت  $P(k) = k^{-\tau}$  داشته باشد بدین معناست که رئوس ناهمگونی آشکاری دارند و اهمیت رئوس از راسی به راس دیگر متفاوت است. به عبارت دیگر، تعداد کمی از رئوس درجه بالا دارند و تعداد کثیری از رئوس دارای درجات پایین هستند که اصطلاحاً به چنین شبکه‌هایی، شبکه‌های مقیاس آزاد گویند (جکسون، ۲۰۱۰).

#### ۲-۱-۲-۴. ضریب خوشه‌ای شدن<sup>۲</sup>

ضریب خوشه‌ای شدن سنجش از نزدیکی همسایگان یک رأس است. ضریب خوشه‌ای شدن یک رأس به شرح زیر تعریف می‌شود که مبین احتمال آن است که هر دو همسایه تجاری رأس انتخاب شده نیز به یکدیگر متصل باشند:

$$C_i = \frac{E_i}{k_i \times (k_i - 1)} \quad (۴)$$

$$C(k) = \frac{1}{N_k} \sum_{j=\{i|k_i=k\}} C_j \quad (۵)$$

که در آن  $C_i$  ضریب خوشه‌ای شدن رأس  $v_i$ ،  $k_i$  تعداد همسایگان رأس  $v_i$ ،  $(k_i - 1)$  تعداد اتصالات ممکن بین همسایگان رأس  $v_i$ ،  $E_i$  تعداد واقعی اتصالات بین  $k_i$  همسایه است. همچنین،  $C(k)$  میانگین ضریب خوشه‌ای شدن رئوس با درجه  $k$  است. ضریب خوشه‌ای شدن بین صفر و یک است و یا به عبارتی،  $C_i \in [0, 1]$ . ضریب خوشه‌ای شدن بالا نشان دهنده روابط تجاری نزدیک بین همسایگان تجاری است و سطح بالایی از خوشه‌ای شدن محلی را نشان می‌دهد (جکسون، ۲۰۱۰).

#### ۱. Degree

منظور از درجه، مجموع تعداد روابط یک رأس است. درجه رأس  $i$  بصورت  $d_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} = \sum_{j=1}^N a_{ji}$  محاسبه می‌شود که در آن  $a_{ij}$  درایه ماتریس الحاقی است و مبین تعداد روابط وارد شده از رأس  $i$  به رأس  $j$  و  $a_{ji}$  مبین تعداد روابط وارد شده از رأس  $j$  به رأس  $i$  است (نیومن، ۲۰۱۰). در شبکه‌های جهت‌دار، مفهوم درجه به دو مفهوم درجه ورودی و درجه خروجی تقسیم می‌شود که به ترتیب مبین تعداد روابط وارد شده به یک رأس و تعداد روابط خارج شده از یک رأس هستند. رابطه (۳-۱) نحوه محاسبه درجه ورودی و رابطه (۳-۲) نحوه محاسبه درجه خروجی را نشان می‌دهد.

$$d_i^{in} = \sum_{j=1}^N a_{ij} \quad (۳-۱)$$

$$d_i^{out} = \sum_{j=1}^N a_{ji} \quad (۳-۲)$$

#### ۲. Clustering Coefficient



#### ۲-۲-۴. ویژگی‌های منطقه‌ای شبکه تجارت نفت

با توجه به محدودیت‌های توزیع منابع نفتی، تجارت نفت مشخصه‌های منطقه‌ای آشکار دارد. هرچقدر روابط بین کشورهای منطقه نزدیک‌تر باشد، شبکه تجارت منطقه‌ای با تأثیرات دو طرفه شکل می‌گیرد بگونه‌ای که کشورهای منطقه به شدت به آن وابسته هستند. شبکه تجارت منطقه‌ای نقش بسیار مهمی در پایداری تجاری کشورهای منطقه ایفا می‌کند. بنابراین، در اینجا با استفاده از سه جنبه ساختار جوامع، مرکزیت منطقه‌ای شبکه و سطح تأمین تقاضای کشور که توسط یک منطقه تجاری برآورده می‌شود، ویژگی‌های منطقه‌ای تحلیل می‌شود.

#### ۴-۲-۱. اجتماع‌یابی<sup>۱</sup>

اجتماع‌یابی، شبکه را به چند اجتماع تقسیم می‌کند بگونه‌ای که روابط درون جامعه‌ای حداکثر و روابط بین جامعه‌ای حداقل می‌شود (رونهود و نوسینوف<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹). به عبارت دیگر، رئوس درون یک جامعه به طور متراکم<sup>۳</sup> و رئوس بین جوامع به طور پراکنده<sup>۴</sup> به هم متصل هستند (بلاندل<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). روش‌های متفاوتی برای اجتماع‌یابی ارائه شده‌است: الگوریتم‌های تقسیم‌کننده<sup>۶</sup>، الگوریتم‌های جمع‌بندی<sup>۷</sup> و روش‌های بهینه‌یابی<sup>۸</sup> که روش بهینه‌یابی، براساس حداکثرکردن تابع هدف است (ریچارد و بورنهلد، ۲۰۰۶<sup>۹</sup>؛ بلاندل و همکاران، ۲۰۰۸). در اجتماع‌یابی به روش لوین<sup>۱۰</sup> که یک روش بهینه‌یابی است، اتصالات درون اجتماعی حداکثر و اتصالات بین جوامع حداقل می‌شود (روبینو و اسپورنز، ۲۰۱۰)<sup>۱۱</sup>. در مقاله حاضر، «اجتماع‌یابی» برای شبکه تجاری منطقه‌ای انجام می‌شود.

#### ۴-۲-۲. مرکزیت منطقه‌ای شبکه

شاخص مرکزیت منطقه‌ای شبکه معیاری برای سنجش مرکزیت آشکار داشتن یا نداشتن شبکه است و اینکه آیا تعداد کمی رئوس روی شبکه کنترل دارند یا خیر.

1. Community Detection  
 2. Ronhovde and Nussinov  
 3. Densely  
 4. Sparsely  
 5. Blondel  
 6. Divisive Algorithms  
 7. Agglomerative Algorithms  
 8. Optimization Methods  
 9. Reichardt and Bornholdt  
 10. Louvain  
 11. Robinov and Sporns

مرکزیت منطقه‌ای شبکه به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^N k_{max} - k_i}{\max(\sum_{i=1}^N k_{max} - k_i)} = \frac{\sum_{i=1}^N k_{max} - k_i}{(N-1) \times (N-1)} \quad (6)$$

که در آن  $C_D$  مرکزیت شبکه،  $N$  تعداد رئوس شبکه،  $k_i$  درجه رأس  $v_i$ ،  $k_{max}$  بیشترین درجه در بین تمام رئوس است. بازه تغییرات این شاخص مرکزیت، بین صفر و یک است؛ به عبارت دیگر  $C_D \in [0,1]$  (جی و همکاران، ۲۰۱۴).

هرچه  $C_D$  بزرگتر باشد نشان دهنده آن است که توانایی کنترل بیش از حد در چند رأس متمرکز شده است و رئوس یک ویژگی ناهمگنی را نشان می‌دهند.

#### ۴-۲-۳-۳. سطح تأمین تقاضای کشور برآورده شده توسط یک منطقه تجاری

توانایی یک منطقه تجاری برای پاسخگویی به نیازهای کشورهای متعلق به این منطقه تجاری تأثیر مهمی بر پایداری تجاری این کشورها دارد. سطح تأمین تقاضای کشور توسط یک منطقه تجاری به عنوان شاخصی از توزیع نسبی درجه تعریف می‌شود، که به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$S(j) = \frac{k_j^{incs}}{k_j^{in}} \quad (7)$$

که در آن  $S(j)$  نشان دهنده سطح تأمین تقاضای واردات یک کشور واردکننده نفت است که توسط منطقه تجاری که به آن تعلق دارد برآورده شده است؛  $k_j^{incs}$  مبین میزان واردات نفت کشور  $v_j$  از منطقه تجاری است که به آن تعلق دارد و  $k_j^{in}$  نشان دهنده کل درجه ورودی کشور واردکننده نفت  $v_j$  است (جی و همکاران، ۲۰۱۴).

#### ۴-۲-۳-۴. استحکام مناطق تجاری

دونگ و همکاران (۲۰۲۰) به منظور مطالعه شبکه تجارت نفت خام، یک شبکه دو-بخشی<sup>۱</sup> را بررسی می‌کنند که در آن  $m$  صادرکننده خالص نفت خام و  $n$  واردکننده نفت خام وجود دارد. وزن رابطه بین کشورهای تجاری،  $x_{ij}$ ، مبین مقدار تجارت نفت خام از طریق یک رابطه مستقیم از کشورهای صادرکننده خالص نفت خام ( $i$ ) به کشورهای واردکننده خالص نفت خام ( $j$ ) است. بنابراین، برای کشورهای صادرکننده خالص نفت خام و کشورهای واردکننده خالص نفت خام معادلات موازنه‌ای زیر برقرار است.

$$Q_i^{out} = \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (8)$$

$$Q_j^{in} = \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad (9)$$

<sup>۱</sup>. Bipartite Network

که در آن  $0 < x_{ij} < \min\{Q_j^{in}, Q_i^{out}\}$  است.

دونگ و همکاران (۲۰۲۰) فرض می‌کنند که در صورتی که سازوکار عرضه و تقاضا بتواند روابط تجاری پایداری را برقرار کند و شرکای تجاری متنوعی را بسازد، سازوکاری مستحکم خواهد بود. به منظور نشان‌دادن عملی بودن سازوکار بهینه توزیع نفت خام، این پژوهشگران شاخص استحکام را برای طرف عرضه نفت خام به شکل زیر تعریف می‌کنند.

$$RI_i = \frac{Q_{i \rightarrow MI}^{out} / Q_i^{out}}{k_{i \rightarrow MI}^{out} / k_i^{out}} \quad (10)$$

که در آن،  $k_i^{out}$  درجه خروجی کشور صادرکننده نفت خام (کشور  $i$ )؛  $k_{i \rightarrow MI}^{out}$  تعداد کشورهای بزرگ واردکننده نفت خام که از کشور  $i$  واردات دارند؛  $Q_i^{out}$  صادرات خالص نفت خام کشور  $i$  و  $Q_{i \rightarrow MI}^{out}$  واردات خالص کشورهای بزرگ واردکننده نفت خام که از کشور  $i$  واردات دارند؛ هستند. از این رو، شاخص استحکام کشور صادرکننده نفت خام  $i$  بطور مستقیم متناسب با صورت کسر و بطور معکوس متناسب با مخرج کسر  $RI_i$  است. صورت کسر  $RI_i$ : سهم حجم صادرات کشور  $i$  به کشورهای عمده واردکننده نفت خام در کل حجم صادرات کشور  $i$ .

هرچه صورت کسر  $RI_i$  بزرگتر باشد، مبین آن است که بیشترین عرضه نفت به بازار از طریق کشور  $i$  انجام می‌شود. از آنجایی که کشورهای عمده واردکننده نفت خام کمک بسزایی به پایداری شبکه تجارت دارند؛ بنابراین، برای کشور صادرکننده نفت  $i$  هوشمندانه‌تر آن خواهد بود که کشورهای عمده واردکننده نفت خام را به عنوان بازارهای اصلی نفت خام خود در نظر بگیرد.

مخرج کسر  $RI_i$ : سهم تعداد واردکنندگان بزرگ نفت خام که با کشور  $i$  تجارت دارند به تعداد کل شرکای تجاری کشور  $i$ .

هرچه مخرج کسر  $RI_i$  کوچکتر باشد، مبین آن است که کشورهایی که با کشور صادرکننده  $i$  رابطه تجاری دارند، نه تنها در زمره کشورهای عمده واردکننده نفت خام هستند بلکه سایر کشورهای واردکننده را نیز در بر می‌گیرد. به عبارت دیگر، کشورهایی که از کشور  $i$  واردات دارند، متنوع هستند.

با این اوصاف، هر چه  $RI_i$  بزرگتر باشد، نشان‌دهنده آن است که کشور  $i$  در انتخاب شرکای تجاری هوشمند عمل کرده و روابط تجاری‌اش پایدارتر است. در خصوص نوآوری مطالعه حاضر نسبت به مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰) باید بیان کرد که کشورهای بزرگ واردکننده نفت خام توسط نویسندگان انتخاب شده‌اند این در حالی است که برای محاسبه این شاخص و برای یافتن کشورهای بزرگ واردکننده نفت خام، مطالعه حاضر از روش آنتروپی<sup>۱</sup> استفاده کرده‌است. وجه مثبت این روش این است که متکی بر اطلاعاتی است که از داده‌ها به دست می‌آید و بدون دخالت نظر محققان، کشورهای اصلی واردکننده نفت خام از شبکه صادرات نفت خام احصا می‌شوند. به منظور یافتن کشورهای عمده واردکننده نفت خام، میزان درجه ورودی (واردات) کشورها در شبکه صادرات نفت خام محاسبه شده است. سپس، با استفاده از روش آنتروپی، کشورهای عمده واردکننده استخراج شده‌است. به پیروی از مطالعه ذکری و همکاران (۲۰۱۶) و با ادبیات مربوط به موضوع مورد بررسی در این گزارش، شاخص بر مبنای آنتروپی توضیح داده شده است. در این روش، درجه ورودی هر کشور با درجه ورودی کل شبکه مقایسه می‌شود. به عبارت دیگر، میزان واردات هر کشور در مقایسه با کل واردات شبکه تجاری به شکل رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$f_i = \frac{Q_i^{in^2}}{\sum_{j=1}^n Q_j^{in^2}} \quad (11)$$

که در آن  $Q_i^{in^2}$ ، توان دوم درجه ورودی (واردات) کشور  $i$  در شبکه صادرات نفت خام،  $\sum_{j=1}^k Q_j^{in^2}$  توان دوم مجموع درجه ورودی (واردات) کشورها در شبکه صادرات نفت خام و  $n$  تعداد کشورهای موجود در شبکه صادراتی هستند. با استفاده از رابطه (۱۱)، آنتروپی درجه ورودی (واردات) کشورها به شکل رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$0 < \text{آنتروپی} = \frac{-1}{\log k} \sum_{i=1}^n f_i \log f_i < 1 \quad (12)$$

مقدار آنتروپی بدست آمده مبین پیچیدگی درجات ورودی است. در صورتیکه مقدار آنتروپی نزدیک به صفر باشد، بدین معناست که بیشتر تغییرات داده‌ها (واریانس واردات)، در چند بعد (کشور) ابتدایی خلاصه شده است. اما اگر مقدار آنتروپی به یک نزدیک باشد، بدین معناست که داده‌ها حالت تصادفی داشته و نمی‌توان گفت که بیشتر تغییرات داده‌ها (واریانس واردات) در چند بعد اول جمع شده است (ذکری و همکاران،

<sup>۱</sup>. Entropy

۲۰۱۶). از آنجایی که تمرکز مطالعه حاضر بر تحلیل شبکه تجاری ۱۲ منطقه‌ای است، استحکام مناطق تجاری مطالعه شده است.

#### ۴-۳. داده‌ها

به پیروی از این مطالعات پیشین (دو و همکاران، ۲۰۱۶؛ شیرازی و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹) در این مطالعه از داده‌های واردات و صادرات نفت خام (HS) با کد ۲۷۰۹۰۰ استفاده شده است که از پایگاه داده تجارت کالایی سازمان ملل متحد گردآوری شده‌اند. از آنجایی که ساختار شبکه تجارت بین‌الملل نفت خام تغییر نداشته است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹)، داده‌های مربوط به سال ۲۰۱۸ برای ۱۷۸ کشور و قلمرو اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که در تحلیل تجارت در سطح منطقه‌ای، ۱۲ منطقه تجاری در نظر گرفته شده‌اند که به شرح جدول (۲) هستند.

جدول (۲): منطقه‌های مورد بررسی در شبکه صادرات نفت خام

منبع	منطقه معیار برای سنجش طول و عرض جغرافیایی	تعداد کشورهای منطقه تجاری*	کشور / منطقه تجاری
<a href="https://www.worldatlas.com/articles/top-10-oil-producing-countries-in-africa.html">https://www.worldatlas.com/articles/top-10-oil-producing-countries-in-africa.html</a>	گابن	۵	کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت
<a href="https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-africa/">https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-africa/</a>	جمهوری آفریقای مرکزی	۴۱	سایر کشورهای آفریقا
<a href="https://www.worldatlas.com/articles/the-top-oil-producing-nations-in-europe.html">https://www.worldatlas.com/articles/the-top-oil-producing-nations-in-europe.html</a>	دریای شمالی	۲	کشورهای اروپایی صادرکننده نفت
<a href="https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-europe/">https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-europe/</a>	اروپا	۳۱	کشورهای اروپایی
-	روسیه گواتی <sup>۱</sup> ؛ شهری	۱	روسیه
<a href="https://www.mapsofindia.com/neighbouring-countries-maps/india-china-map.html">https://www.mapsofindia.com/neighbouring-countries-maps/india-china-map.html</a>	در شمال شرقی هند و هم مرز با چین	۲	چین و هند
<a href="https://www.worldometers.info/geography/7-">https://www.worldometers.info/geography/7-</a>	آمریکای شمالی	۲۰	آمریکای شمالی

<sup>۱</sup> . Guwahati

منبع	منطقه معیار برای سنجش طول و عرض جغرافیایی	تعداد کشورهای منطقه تجاری*	کشور / منطقه تجاری
continents/north-america/ https://www.worldometers.info/population/countries- in-south-america-by-population/	آمریکای جنوبی	۱۳	آمریکای جنوبی
-	آمریکا	۱	آمریکا
https://www.worldatlas.com/articles/which-are-the- middle-eastern-countries.html	خاورمیانه	۱۶	خاورمیانه
https://www.worldometers.info/geography/how- many-countries-in-asia/	اندونزی (کشوری در بین دو قاره) اورالسک <sup>۱</sup> ؛	۳۳	سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه
https://worldpopulationreview.com/country- rankings/soviet-union-countries	شهری در قزاقستان	۱۳	کشورهای شوروی سابق بجز روسیه

منبع: یافته‌های تحقیق

\*: بنا به درخواست خواننده، لیست کشورها در هر منطقه در اختیار ایشان قرار خواهد گرفت.

فاصله بین مناطق بر حسب فاصله دایره بزرگ<sup>۲</sup> محاسبه شوند که این کار به کمک طول و عرض جغرافیایی مناطق محاسبه می‌شود. در مطالعه حاضر، محاسبه فاصله بین مناطق بر حسب دایره بزرگ به کمک نرم‌افزار متلب انجام شده است. جدول (۳)، خلاصه داده‌های مورد استفاده و مرجع را بیان می‌کند.

### جدول (۳): اطلاعات مربوط به پایگاه‌های داده‌ای

درگاه	منبع	داده
https://comtrade.un.org/data/	پایگاه داده تجارت کلایی سازمان ملل متحد (HS با کد ۲۷۰۹۰۰)	تجارت دوجانبه (واردات و صادرات) نفت خام و نفت خام پتروشیمی
https://www.latlong.net/	جوینده طول و عرض جغرافیایی	طول و عرض جغرافیایی

منبع: یافته‌های تحقیق

وجه تمایز مطالعه حاضر با مطالعه جی و همکاران (۲۰۱۴) از نظر داده‌های تجاری این است که این پژوهشگران داده‌های واردات و صادرات نفت خام در سال ۲۰۱۰ که شامل

<sup>۱</sup>. Uralsk

<sup>۲</sup>. Great Circle Distance

۷۹ کشور اصلی تجارت نفت است در نظر گرفته‌اند. این ۷۹ کشور به طور گسترده در هفت منطقه توزیع شده‌اند: شمال آفریقا (۴)، آمریکا (۱۲)، اروپا (۲۰)، اتحاد جماهیر شوروی سابق (۸)، غرب آفریقا (۱۳)، آسیا و اقیانوسیه (۱۴) و خاورمیانه (۸).

## ۵. نتایج و یافته‌های تحقیق

در این مقاله شبکه تجارت جهانی نفت بصورت جهت‌دار بدون وزن تشکیل و ماتریس الحاقی براساس شبکه صادرات نفت خام ساخته شده است. شاخص «شدت صادرات» به منظور فیلترکردن روابط تجاری تعریف شد. بر این اساس، بیشترین و کمترین شدت صادرات بین کشورها براساس داده‌های سال ۲۰۱۸ به شرح جدول (۴) است.

جدول (۴): بیشترین و کمترین شدت صادرات بین کشورها براساس داده‌های سال ۲۰۱۸ در تجارت نفت خام

روابط تجاری با شدت پایین			روابط تجاری با شدت بالا		
شدت	کشور	کشور	شدت رابطه	کشور	کشور
رابطه	واردکننده	صادرکننده		واردکننده	صادرکننده
۷/۹E-۱۰	جمهوری کره	برزیل	۴۲۴۷۴۰۶۴۷	توکلائو	ساموآ
۱/۳E-۰۸	تایلند	ایران	۸۰۵۰۹۲۵۴	سیشل	بریتانیا
۱/۳E-۰۸	اسپانیا	امارات متحده عربی	۳۱۵۱۹۳۴۲	موزامبیک	اسواتینی
۱/۴E-۰۸	هلند	کنگو	۳۰۶۸۱۵۵۳	کریباتی	فیجی
۱/۵E-۰۸	صربستان	لیبی	۳۰۶۸۱۵۵۳	جزایر مارشال	فیجی
۱/۶E-۰۸	آلمان	برونئی دارالسلام	۳۰۶۸۱۵۵۳	وانواتو	فیجی
۲/۲E-۰۸	ایالات متحده آمریکا	امارات متحده عربی	۳۰۶۸۱۵۵۳	تونگا	فیجی
۲/۶E-۰۸	اسپانیا	اکوادور	۲۸۸۴۱۱۳۰	اوگاندا	کنیا
۲/۸E-۰۸	سنگاپور	نروژ	۴۱۰۰۸۵۰	ایسلند	سوئد
۴/۸E-۰۸	بلژیک	ایالات متحده آمریکا	۳۸۳۴۹۹۲	مونتنگرو	صربستان

منبع: یافته‌های تحقیق

براساس نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که اغلب روابط شدید تجاری بین کشورهای اقیانوسیه و جنوب و شرق آفریقا بوده است. همچنین، روابط تجاری بین برخی کشورهای اروپایی نیز در زمره روابط تجاری شدید قرار گرفته‌اند. این در حالی است که

از بررسی روابط ضعیف تجاری می‌توان استدلال کرد که روابط بین کشورهای عمده صادرکننده نفت و مقصدهای تجاری که از نظر جغرافیایی فاصله به نسبت زیادی با آن‌ها داشته‌اند، رابطه ضعیف تجاری برقرار بوده است. بنابراین، می‌توان استدلال کرد که عوامل غیر اقتصادی مؤثر بر تجارت از جمله فاصله، منابع و موهبت‌ها و همچنین اقتصاد سیاسی در شکل‌گیری تجارت نقش دارند. به عنوان مثال، کشورهای جنوب و شرق آفریقا اگرچه از نظر شاخص‌های ساختار اقتصادی آنچنان قوی نیستند؛ اما به دلیل داشتن موهبت منابع نفتی و فاصله کمتر با مقاصد صادراتی نسبت به سایر کشورهای صادرکننده نفت و همچنین سایر شاخص‌های غیر اقتصادی به عنوان طرف تجاری سایر کشورها شناخته شده‌اند.

در صورتیکه شبکه تجارت مرکزی نفت خام تشکیل داده شود، تعداد روابط تجاری از ۱۴۳۱ رابطه در شبکه تجارت نفت خام به ۷۳۰ رابطه تجاری در شبکه مرکزی تجارت نفت خام کاهش می‌یابد. بطور دقیق‌تر، روابط تجاری در شبکه مرکزی تجارت نفت خام بین ۱۲۹ کشور و منطقه صادرکننده نفت خام و ۱۶۵ کشور و منطقه واردکننده نفت خام برقرار بوده است.

در تبیین مشخصه‌های کلی شبکه تجارت نفت خام، دو معیار توزیع درجه و درجه خوشه‌ای شدن در نظر گرفته می‌شود. پیش از ورود به نتایج مربوط به توزیع درجه، دو شاخص محلی در شبکه‌های جهت‌دار تفسیر و تبیین می‌شود: شاخص‌های درجه ورودی و درجه خروجی. در ادبیات نظریه شبکه به تفصیل این شاخص‌ها معرفی شده‌اند و در اینجا از توضیح بیشتر در خصوص محاسبه این شاخص‌ها چشم‌پوشی می‌شود. بطور خلاصه درجه ورودی در شبکه بدون وزن مبین تعداد روابط وارد شده به یک کشور بوده و درجه خروجی در این شبکه‌ها بر حسب تعداد روابط خارج شده از یک کشور محاسبه می‌شود. جدول (۵) کشورهای با بیشترین درجه ورودی (و یا به عبارت خیلی ساده، کشورهای با بیشترین روابط وارداتی) و کشورهای با بیشترین درجه خروجی (و یا به عبارتی، کشورهای با بیشترین روابط صادراتی) را معرفی می‌کند.

#### جدول (۵): کشورهای صادرکننده نفت خام با بیشترین درجه ورودی و درجه خروجی

بیشترین درجه ورودی		بیشترین درجه خروجی	
کشور	درجه ورودی	کشور	درجه خروجی
هلند	۲۸	ایالات متحده آمریکا	۳۱
چین	۲۴	روسیه	۲۹
مالزی	۲۴	قزاقستان	۲۵
سنگاپور	۲۲	امارات متحده عربی	۲۱

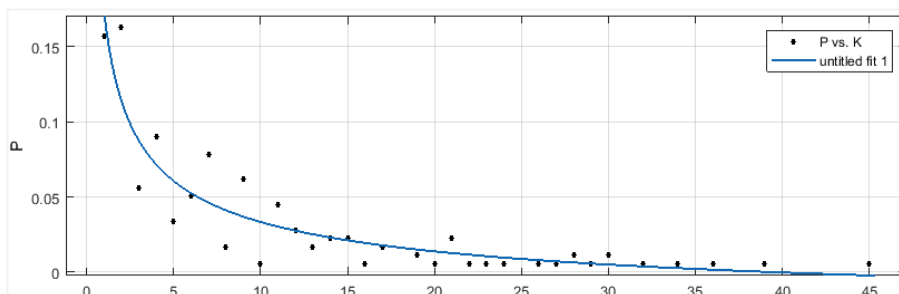


بیشترین درجه خروجی		بیشترین درجه ورودی	
درجه خروجی	کشور	درجه ورودی	کشور
۱۹	آذربایجان	۲۰	ایتالیا
۱۹	نیجریه	۱۸	هند
۱۵	الجزیره	۱۸	اسپانیا
۱۵	چین	۱۶	فرانسه
۱۵	بریتانیا	۱۵	جمهوری کره
۱۴	لیبی	۱۴	استرالیا

منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که مشاهده می‌شود، از نظر تعداد روابط (و نه شدت رابطه تجاری)، کشورهای عمده صادرکننده نفت دارای بیشترین درجه خروجی و کشورهای وابسته به نفت و فرآورده‌های نفتی در زمره کشورهای با درجه ورودی بالا لحاظ شده‌اند. همانطور که اشاره شد، به منظور مطالعه وجود ناهمگونی یا همگونی بین کشورها در شبکه تجارت نفت خام، از توزیع درجه استفاده می‌شود. شکل (۳)، توزیع درجه شبکه صادرات نفت خام را نشان می‌دهد.

شکل (۳): توزیع درجه در شبکه صادران نفت خام



منبع: دستاورد تحقیق

همانطور که مشاهده می‌شود، توزیع درجه شمایی از توزیع نمایی دارد که بدین معناست رئوس ناهمگونی آشکاری دارند و اهمیت رئوس از رأسی به رأس دیگر متفاوت است. به عبارت دیگر، تعداد کمی از رئوس درجه بالا دارند و تعداد کثیری از رئوس دارای درجات پایین هستند که اصطلاحاً به چنین شبکه‌هایی، شبکه‌های مقیاس آزاد گویند. بنابراین، می‌توان استدلال کرد که شبکه صادرات نفت خام از نوع شبکه مقیاس آزاد است. با بررسی توزیع درجه می‌توان تحلیل مرتبط با استحکام کل شبکه را داشت.

زمانیکه به شبکه‌های مقیاس آزاد تکانه‌ای وارد شود، بسته به اینکه آن تکانه تصادفی یا عمدی باشد، شبکه می‌تواند به ترتیب مستحکم یا شکننده باشد (باراباسی، ۲۰۱۶). بنابراین می‌توان چنین استدلال کرد که شبکه تجارت نفت خام نسبت به تکانه‌های عمدی شکننده و در عین حال نسبت به تکانه‌های تصادفی مستحکم است. به عبارت مختصر، شبکه تجارت نفت خام «مستحکم و در عین حال شکننده» است.

به منظور مطالعه نزدیک بودن روابط بین همسایگان یک کشور، از ضریب خوشه‌ای شدن استفاده می‌شود و ضریب خوشه‌ای شدن بالا نشان دهنده روابط تجاری نزدیک بین همسایگان تجاری و سطح بالایی از خوشه‌ای شدن محلی است. جدول (۶)، کشورها با بیشترین و کمترین ضریب خوشه‌ای شدن (بزرگتر از صفر) در شبکه صادرات نفت خام را نشان می‌دهد.

جدول (۶): کشورهای با بیشترین و کمترین ضریب خوشه‌ای شدن در شبکه تجارت نفت خام

کمترین ضریب خوشه‌ای شدن		بیشترین ضریب خوشه‌ای شدن	
ضریب خوشه‌ای - شدن	کشور	ضریب خوشه‌ای شدن	کشور
۰/۰۸	گینه	۱/۰۰	گیبرالتار
۰/۱۳	ایالات متحده آمریکا	۱/۰۰	گویانا
۰/۱۴	سنگال	۰/۷۹	میانمار
۰/۱۵	صربستان	۰/۷۵	باهاماس
۰/۱۵	چین	۰/۷۵	بلاروس
۰/۱۵	توگو	۰/۷۵	لائوس
۰/۱۵	هلند	۰/۷۵	پاپوآ گینه نو
۰/۱۷	مراکش	۰/۷۴	لوگزامبورگ
۰/۱۷	هند	۰/۶۸	برونئی دارالسلام
۰/۱۷	روسیه	۰/۶۷	بحرین

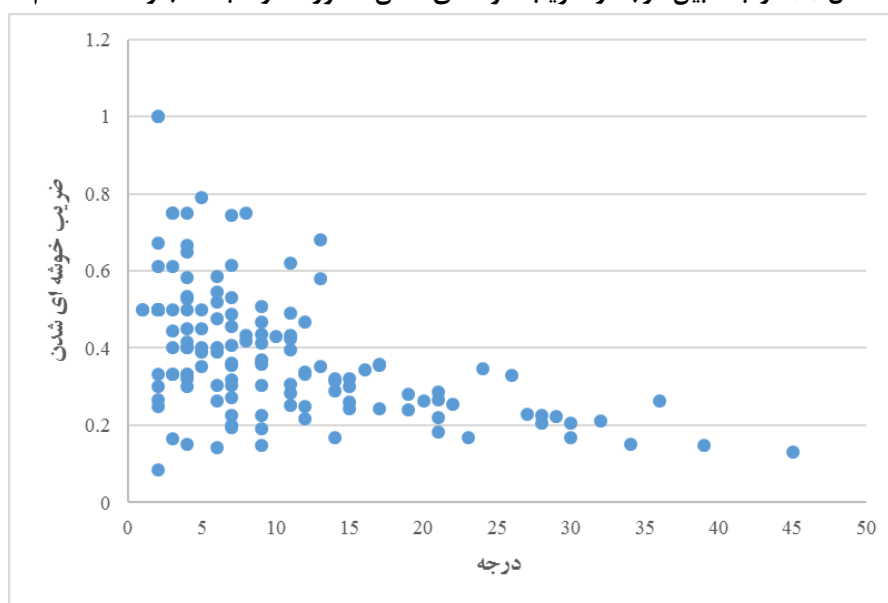
منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، درجه کشورها در شبکه تجاری مبین تأثیر مستقیم آن‌ها در شبکه تجاری است. به عبارت دیگر، از آنجایی که کشورهای با درجه بالا بر تعداد بیشتری از کشورها بطور مستقیم اثر می‌گذارند، نقش مهمی در شبکه تجاری ایفا می‌کنند. از طرف دیگر، بنا به تعریف ضریب خوشه‌ای شدن، این شاخص مبین نزدیک بودن شرکای تجاری یک کشور است. به عبارت دیگر، در صورتیکه ضریب خوشه‌ای شدن یک کشور بالا باشد بدین معناست که شرکای تجاری آن کشور با یکدیگر ارتباط

نزدیکی دارند. به علاوه، کشورهای با ضریب خوشه‌ای شدن بالا، نفوذ بیشتری در شبکه دارند؛ زیرا هرچه ارتباطات بهتری بین کشورها برقرار شود، تأثیرات سریع‌تر گسترش می‌یابد (آن و همکاران، ۲۰۱۴).

بنابراین، به منظور تحلیل نقش کشورها (درجه) و تأثیرگذاری آن‌ها (ضریب خوشه‌ای شدن) در شبکه تجارت نفت خام رابطه بین درجه (جمع درجه ورودی و خروجی) و همچنین ضریب خوشه‌ای شدن (مقادیر بزرگتر از صفر) در شکل (۴) رسم شده است.

شکل (۴): ارتباط بین درجه و ضریب خوشه‌ای شدن کشورها در شبکه تجارت نفت خام



منبع: دستاورد تحقیق

همانطور که مشاهده می‌شود، کشورهای با روابط تجاری بالا در شبکه تجارت نفت از نظر شاخص خوشه‌ای شدن، مقدار پایینی دارند و این بدین معناست که اگرچه این کشورها نقش مهمی در شبکه تجارت نفت خام بطور مستقیم ایفا می‌کنند اما اثرگذاری چندانی در شبکه تجارت نفت خام ندارند و تأثیرات آن‌ها به سهولت در بین کشورها منتشر نمی‌شود. مقدار ضریب خوشه‌ای شدن ایران معادل ۰,۲۲ و درجه آن معادل ۱۲ است. در مقایسه با کشورهای با درجه بالا (از جمله آمریکا و چین) ایران نقش ضعیف‌تری در شبکه تجارت نفت خام ایفا می‌کند. از طرف دیگر، ضریب خوشه‌ای شدن به

نسبت پایین ایران مبین آن است که روابط تجاری نزدیک بین همسایگان تجاری ایران وجود ندارد و در نتیجه تأثیرگذاری ایران در شبکه تجارت نفت خام کم است. این در حالی است که ضریب خوشه‌ای شدن ایران به نسبت آمریکا و چین بالاتر است. بنابراین، در شبکه تجارت نفت خام اگرچه ایران نتوانسته نقش مهمی ایفا کند اما به نسبت کشورهای مهم این شبکه تجاری، تأثیرگذاری بیشتری داشته است.

حال از سطح بررسی کلی، به سطح بررسی منطقه‌ای وارد می‌شویم. همانطور که پیشتر اشاره شد، با توجه به محدودیت‌های توزیع منابع نفتی، تجارت نفت دارای مشخصه‌های منطقه‌ای آشکار است. همچنین، شبکه تجارت منطقه‌ای نقش بسیار مهمی در پایداری تجاری کشورهای منطقه ایفا می‌کند. بنابراین، در اینجا با استفاده از چهار جنبه اجتماعی، مرکزیت منطقه‌ای شبکه، سطح تأمین تقاضای کشور توسط یک منطقه تجاری و همچنین استحکام مناطق تجاری ویژگی‌های منطقه‌ای تحلیل می‌شود. لازم به ذکر است که بر خلاف مطالعه جی و همکاران (۲۰۱۴)، شبکه تجاری به ۱۲ منطقه مهم تفکیک و سپس تحلیل این بخش بر حسب این ۱۲ منطقه انجام شده است.

ساختار جوامع منعکس‌کننده ویژگی‌های ساختار منطقه‌ای آن است. کشورها/مناطق متعلق به یک جامعه، یک شبکه منطقه‌ای با روابط تجاری بسیار نزدیک تشکیل می‌دهند و وابستگی‌های تجاری قوی بین آنها وجود دارد. نتایج حاصل از تحقیق مبین آن است که در بررسی تجارت منطقه‌ای، به طور کلی سه جامعه شبکه تجارت نفت خام شناسایی می‌شود که به شرح جدول (۷) است. همانطور که جدول (۷) گویا است، بعد فاصله، هزینه‌های تجاری و ... نیز در ساختار جوامع بدست آمده قابل مشاهده است.<sup>۱</sup>

#### جدول (۷): ساختار جوامع در تجارت منطقه‌ای

کشور / منطقه تجاری در جامعه (۱)	کشور / منطقه تجاری در جامعه (۲)	کشور / منطقه تجاری در جامعه (۳)
بلوک تجاری مرکز و شرق دنیا	بلوک تجاری میانه دنیا	بلوک تجاری غرب دنیا
چین و هند	کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت	آمریکای شمالی
سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه	سایر کشورهای آفریقا	آمریکای جنوبی
	کشورهای اروپایی صادرکننده نفت	

<sup>۱</sup> . در این مقاله، جوامع برای شبکه غیر منطقه‌ای (شبکه ۱۷۸ کشوری) نیز احصا شده است. بدلیل تمرکز بیشتر مقاله بر تحلیل شبکه منطقه‌بندی شده، از آوردن نتایج مربوط به جوامع در شبکه ۱۷۸ کشوری در متن مقاله چشم‌پوشی و در پیوست شماره (۱) ارائه شده است.

کشورهای اروپایی

آمریکا

روسیه

خاورمیانه

کشورهای شوروی سابق بجز روسیه

منبع: یافته‌های تحقیق

بنابراین می‌توان گفت که کشورها و مناطق تجاری که در یک جامعه قرار گرفته‌اند روابط تجاری بسیار نزدیک با یکدیگر دارند و وابستگی‌های تجاری قوی بین آنها وجود دارد. از این رو می‌توان گفت که روابط تجاری در جهان به سه دسته کلی تقسیم می‌شود و می‌توان یک جهان سه منطقه‌ای به شرح زیر بر حسب تجارت نفت خام متصور شد: مرکز و شرق جهان (کشورهای آسیا و اقیانوسیه، خاورمیانه و چین و هند)؛ میانه جهان (کشورهای اروپایی، آفریقایی و کشورهای شوروی سابق)؛ و غرب جهان (قاره آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی).

پیش‌تر اشاره شد معیار دیگری که به ارزیابی مرکزیت آشکار شبکه می‌پردازد، مرکزیت منطقه‌ای شبکه است. هرچه این شاخص بزرگتر باشد نشان‌دهنده آن است که توانایی کنترل بیش از حد در چند کشور/منطقه متمرکز شده است و کشورها/مناطق ویژگی ناهمگن دارند. در این مطالعه میزان مرکزیت شبکه منطقه‌ای محاسبه شده بطور کلی، ۰,۲۵ بوده و مبین ویژگی‌های ساختاری شبکه تجاری منطقه‌ای است. این در حالی است که میزان مرکزیت شبکه منطقه‌ای در بین سه منطقه فوق به شرح زیر است: مرکز و شرق جهان معادل صفر، میانه جهان معادل ۰,۴۸ و غرب جهان معادل صفر است.

این موضوع مبین آن است که کشورها و مناطق حاضر در بلوک مرکز و شرق جهان با یکدیگر رابطه تجاری دارند و این موضوع برای کشورها و مناطق حاضر در بلوک غرب جهان نیز حاکم است. این در حالی است که شاهد همگونی روابط در میانه جهان نیستیم و تمامی کشورها و مناطق حاضر در این بلوک روابط تجاری همگونی ندارند. از این رو است که مرکزیت شبکه منطقه‌ای کل ما مبین یک ناهمگونی در روابط تجاری است. حال اگر شبکه تجارت منطقه‌ای را بصورت وزنی<sup>۱</sup> در نظر بگیریم، مرکزیت شبکه منطقه‌ای در بین سه جامعه یافته‌شده تغییرات محسوسی خواهد داشت: جامعه (بلوک

<sup>۱</sup> . شایان ذکر است که صرفاً در این قسمت شبکه تجاری منطقه‌ای وزنی را در نظر گرفته‌ایم تا تأثیر شدت روابط تجاری بر مرکزیت آشکار شبکه بررسی شود. این در حالی است که تحلیل نتایج صرفاً براساس وجود یا نبود رابطه تجاری مرکزیت آشکار شبکه را روشن می‌کند. بنابراین، در نظر گرفتن شبکه وزن‌دار مزیتی بر شبکه بی‌وزن در مطالعه حاضر ندارد.

تجاری) مرکز و شرق جهان معادل ۰,۲۴، میانه جهان معادل ۰,۱۳، غرب جهان معادل ۰,۲۱ و کل شبکه منطقه‌ای معادل ۰,۰۲۵ خواهد بود. این بدین معناست که اگر به بزرگی تجارت صورت گرفته (و نه صرفاً وجود یا نبود رابطه تجاری) توجه شود، روابط تجاری به سمت همگونی بیشتر سوق پیدا می‌کند. این در حالی است که بر خلاف حالت قبل، بزرگی روابط تجاری در بلوک مرکز و شرق جهان بیشترین ناهمگونی را نشان می‌دهد و کمترین ناهمگونی شدت روابط مربوط به بلوک تجاری میانه جهان است.

معیار دیگری که می‌توان به کمک آن توانایی یک منطقه تجاری برای پاسخگویی به نیازهای کشورهای متعلق به آن منطقه و در نتیجه تأثیر آن بر پایداری تجاری این کشورها ارزیابی کرد؛ شاخصی از توزیع نسبی درجه است. از آنجایی که یک بلوک تجاری تضمینی قوی برای ثبات کشورهای در بلوک تجاری است؛ اگر توانایی بلوک تجاری برای پاسخگویی به تقاضای کشورها بالا باشد، بلوک تجاری توانایی قوی برای تثبیت تجارت کشورهای واردکننده نفت در بلوک تجاری دارد و باعث می‌شود که کشورهای واردکننده نفت تحت تأثیر تکانه‌های عرضه نفت توسط سایر بلوک‌های تجاری قرار گیرند. نتایج حاصل از تحلیل این موضوع به شرح جدول (۸) است.

#### جدول (۸): کشورها با بیشترین و کمترین سطح تأمین تقاضا توسط یک منطقه تجاری

کشور با بیشترین تقاضای تأمین شده توسط یک منطقه تجاری		کشور با کمترین تقاضای تأمین شده توسط یک منطقه تجاری*	
کشور	شاخص	کشور	شاخص
۷۰ کشور <sup>۱</sup>	۱۰۰٪	گینه	۰/۸E-۰۷
فiji	۹۹٪	اتیوپی	۰/۰۴٪
روسیه	۹۹٪	هندوراس	۲٪
پاناما	۹۹٪	بلیز	۳٪
لاتوس	۹۹٪	استونی	۱۱٪
پاراگوئه	۹۹٪	اوگاندا	۱۲٪
عمان	۹۹٪	برزیل	۱۳٪
اسلواکی	۹۸٪	گیبرالتار	۱۴٪
چک	۹۸٪	کنیا	۲۰٪
بلژیک	۹۸٪	آرژانتین	۲۶٪

منبع: یافته‌های تحقیق

\*: کمترین میزان منظور کمترین میزان بیشتر از صفر است.

<sup>۱</sup> . در صورت درخواست خواننده لیست کشورها در اختیار ایشان قرار خواهد گرفت.

با بررسی ده کشور با بیشترین و کمترین میزان تقاضای تأمین شده، مشاهده می‌شود که مناطق مربوط به بلوک مرکزی و شرقی به نسبت سایر بلوک‌های تجاری توانسته‌اند نیاز کشورهای متعلق به این مناطق تجاری را به خوبی پاسخ دهند. بنابراین، کشورهای حاضر در این مناطق، نسبت به تکانه‌های عرضه نفت پایدارتر هستند. این در حالی است که بلوک غربی به نسبت سایر بلوک‌ها ضعیف‌تر عمل کرده است و بنابراین کشورها و مناطقی که در آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی قرار دارند بیشتر در معرض تکانه‌های عرضه نفت هستند. به منظور تدقیق موضوع، میزان تقاضای تأمین شده کشورهای عمده واردکننده نفت توسط بلوک‌های تجاری مربوطه بررسی می‌شوند. بنا به پایگاه رصدخانه پیچیدگی اقتصادی<sup>۱</sup>، عمده کشورهای واردکننده نفت خام به ترتیب کشورهای چین، آمریکا، هند، کره جنوبی و ژاپن هستند. براساس شاخص محاسبه شده، ۴۷٫۱٪ از تقاضای چین توسط بلوک تجاری مرکزی و شرق دنیا تأمین می‌شود؛ این میزان برای آمریکا معادل ۶۹٫۸٪ بوده که توسط بلوک غربی تأمین می‌شود؛ همچنین بلوک مرکزی و شرق دنیا تقاضای هند، کره جنوبی و ژاپن را به ترتیب به میزان ۶۸٫۷٪، ۷۶٫۵٪ و ۵۱٫۶٪ تأمین می‌کند. بنابراین، از بین کشورهای عمده واردکننده نفت می‌توان گفت که چین و ژاپن بیش از سایر کشورها در معرض تکانه‌های عرضه نفت خام هستند و تنها کره جنوبی است که حدود ۲۴٪ نیازش توسط بلوک تجاری مرکزی و شرق دنیا تأمین نمی‌شود.

همانطور که اشاره شد، عرضه و تقاضای نفت خام به شدت به مواهب طبیعی وابسته هستند. بنابراین، ایجاد روابط تجاری پایدار و شرکای تجاری متنوع در مناطق مختلف اهمیت پیدا می‌کند. به همین سبب در آخرین مرحله تحلیل منطقه‌ای، استحکام در سطح منطقه‌ای از نظر ایجاد روابط تجاری باثبات و شرکای تجاری متنوع مطالعه می‌شود<sup>۲</sup>. در مقاله حاضر، به منظور یافتن مناطق عمده واردکننده نفت، از روش آنتروپی استفاده شده است. مقدار آنتروپی معادل ۰٫۵۴ است و بیشتر تغییرات داده‌ها در ۷ منطقه اول خلاصه می‌شود. به عبارت دیگر مناطق عمده واردکننده نفت به ترتیب عبارتند از: چین و هند، سایر کشورهای اروپایی، سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه،

<sup>۱</sup>. The Observatory of Economic Complexity (OEC)

نشانی این پایگاه [www.oec.world](http://www.oec.world) است.

<sup>۲</sup>. شایان ذکر است که تحلیل استحکام در شبکه ۱۷۸ کشوری نیز انجام شده که در پیوست شماره (۲) مقاله ارایه شده است.

آمریکا، آمریکای شمالی، کشورهای اروپایی صادرکننده نفت و کشورهای شوروی سابق بجز روسیه. جدول (۹)، شاخص استحکام مناطق تجاری در شبکه ۱۲-منطقه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول (۹): شاخص استحکام ۱۲ منطقه تجاری در شبکه صادرات نفت خام

منطقه	شاخص	بلوک تجاری مربوطه	منطقه	شاخص	بلوک تجاری مربوطه
چین و هند	۱/۷۵	بلوک مرکزی و شرقی	سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه	۱/۵۳	بلوک مرکزی و شرقی
کشورهای اروپایی صادرکننده نفت	۱/۶۶	بلوک میانی	آمریکا	۱/۴۲	بلوک غربی
آمریکای شمالی	۱/۵۹	بلوک غربی	روسیه	۱/۴۱	بلوک میانی
کشورهای شوروی سابق بجز روسیه	۱/۵۹	بلوک میانی	کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت	۱/۳۳	بلوک میانی
خاورمیانه	۱/۵۴	بلوک مرکزی و شرقی	سایر کشورهای اروپایی	۱/۱۹	بلوک میانی
سایر کشورهای آفریقا	۱/۵۳	بلوک میانی	آمریکای جنوبی	۱/۱۴	بلوک غربی

منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که مشاهده می‌شود، عمده کشورهای صادرکننده نفت خام که در مناطق چین و هند، آمریکای شمالی، خاورمیانه نیز قرار دارند، شرکای تجاری خود را هوشمندانه انتخاب کرده‌اند و بنابراین روابط پایدارتر داشته و در نتیجه مناطق صادراتی مستحکم شبکه تجارت نفت خام تلقی می‌شوند. به عبارت دیگر، این مناطق علاوه بر تنوع بالا در شرکای تجاری، روابط تجاری پایدار و مستحکم ایجاد کرده و امنیت انرژی بیشتری ایجاد می‌کنند. شایان ذکر است که این نتیجه در تضاد با نتیجه تقاضای تأمین شده توسط بلوک‌های تجاری نبوده بلکه آن را تقویت می‌کند. به عبارت دیگر، بلوک مرکزی و شرقی نه تنها توانسته نیاز کشورهای عضو این منطقه را بخوبی تأمین کند، بلکه با تنوع بالا، پایداری و استحکام بیشتر نسبت به سایر بلوک‌های تجاری پیدا کرده و در نتیجه امنیت انرژی در این بلوک تجاری بالا است.



## ۶. جمع‌بندی و پیشنهادها

نفت به عنوان یک منبع راهبردی، به مثابه خون در رگ‌های جوامع مدرن است (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، پایداری تجارت نفت هم برای کشورهای صادرکننده و هم برای کشورهای واردکننده نفت اهمیت دارد. برای کشورهای صادرکننده نفت مانند ایران، به لحاظ اهمیت درآمدهای نفتی در بودجه دولت و ارزآوری کشور، و برای کشورهای واردکننده نفت، از جهت اهمیت زیاد نفت در تامین انرژی و تولید این کشورها، استحکام شبکه تجارت نفت اهمیت دارد. به منظور بررسی استحکام کلی شبکه تجارت نفت خام می‌توان به ویژگی‌های ساختاری آن به ویژه چگونگی توزیع روابط تجاری در شبکه تجارت نفت خام رجوع کرد. در این مطالعه با توجه به اینکه توزیع درجه شبکه تجارت نفت خام مبین شبکه مقیاس آزاد و ناهمگونی زیاد در بین کشورهای ایفاکننده نقش در شبکه تجاری است؛ و همچنین با عنایت به ویژگی شبکه‌های مقیاس آزاد در خصوص تکانه‌های وارده به آن‌ها نتیجه‌گیری می‌شود که شبکه تجارت نفت خام نسبت به تکانه‌های عمدی شکننده است. این در حالی است که نسبت به تکانه‌های تصادفی مستحکم می‌باشد. به عبارت مختصر، شبکه تجارت نفت خام «مستحکم و در عین حال شکننده» است.

به منظور ارزیابی پایداری کشورها در شبکه تجارت نفت خام، شبکه تجارت ۱۲ منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که بطور کلی سه بلوک تجاری (مرکزی و شرقی، میانی، غربی) برای شبکه منطقه‌ای قابل تصور است. در میان این سه بلوک تجاری، در بلوک تجاری مرکزی و شرقی کنترل بیش از حد در چند کشور/منطقه متمرکز شده است و ناهمگونی در این بلوک نسبت به دو بلوک دیگر بیشتر است. این در حالی است که اگر توجه صرفاً بر وجود یا عدم وجود رابطه تجاری باشد، بلوک تجاری مرکزی و شرقی و همچنین بلوک غربی کاملاً روابطی همگون دارند بدین معنا که تمامی مناطق حاضر در این بلوک‌های تجاری با یکدیگر رابطه تجاری دارند. همچنین، با توجه به اینکه میزان پاسخ‌دهی به تقاضای کشورها از بلوک‌های تجاری مرتبط شاخصی از پایداری شبکه است، مشاهده می‌شود که مناطق مربوط به بلوک مرکزی و شرقی به نسبت سایر بلوک‌های تجاری توانسته‌اند نیاز کشورهای متعلق به این مناطق تجاری را به خوبی پاسخ دهند. بنابراین، کمترین میزان اثرپذیری از تکانه عرضه نفت مربوط به کشورهای این بلوک تجاری است. این در حالی است که با بررسی

کشورهای عمده واردکننده نفت خام مشاهده شد چین و ژاپن بیش از سایر کشورها در معرض تکانه‌های عرضه نفت خام هستند و تنها کره جنوبی است که بیش از ۷۵٪ نیازش توسط بلوک تجاری مربوطه تأمین می‌شود.

بر اساس نتایج بدست آمده دو پیشنهاد سیاستی می‌توان ارائه داد: کشورهای صادرکننده نفت از جمله ایران باید تنوع در شرکای تجاری نفت خود را افزایش دهند زیرا تنوع در خریداران مهمترین عامل در استحکام و ثبات درآمدهای صادراتی انرژی است. همچنین کشورهای واردکننده نفت باید تنوع در شرکای تجاری نفت خود را افزایش دهند و نیاز خود را از بلوک تجاری مربوطه تأمین کنند. زیرا تنوع مهمترین عامل در امنیت انرژی است.

با توجه به نتایج بررسی اهمیت نفت برای کشورهای صادرکننده و واردکننده و تأثیر توزیع درجه شبکه تجارت نفت بر پایداری کشورها در این شبکه، چند پیشنهاد سیاستی می‌توان ارائه داد:

تنوع بخشیدن در شرکای تجاری: برای افزایش پایداری کشورهای صادرکننده نفت در شبکه تجارت نفت، باید تلاش کرد که اقتصاد این کشورها تنوع بخشیده شود و به سمت توسعه بخش‌های دیگری از اقتصاد مانند صنعت، کشاورزی و توریسم گسترش یابد. این کار به کاهش وابستگی کشورهای صادرکننده به درآمد نفتی و بهبود پایداری آن‌ها در شبکه تجارت نفت کمک خواهد کرد. به عبارتی برای کشورهای صادرکننده نفت نظیر ایران، ایجاد تنوع در شرکای تجاری نفت باعث افزایش استحکام و ثبات درآمدهای صادراتی انرژی و کاهش وابستگی به چند کشور خواهد شد. بنابراین کشورهای صادرکننده نفت باید روابط تجاری خود را با کشورهای مختلف توسعه داده و به شرکای تجاری جدیدی نظیر کشورهای آسیای شرقی و جنوب شرقی، اروپایی و آمریکایی نیز توجه کنند. این عمل باعث کاهش وابستگی به چند کشور و افزایش تنوع در شرکای تجاری خواهد شد. همچنین کشورهای واردکننده نفت نیز باید تنوع در شرکای تجاری نفت خود را افزایش داده و نیاز خود را از بلوک‌های تجاری مختلف تأمین کنند.

تنظیم توزیع درجه در شبکه تجارت نفت: برای افزایش پایداری در شبکه تجارت نفت، باید به تنظیم توزیع درجه در این شبکه توجه بیشتری کرد. به عنوان مثال، باید تلاش کرد که بلوک تجاری مرکزی و شرقی، که در آن کنترل بیش از حد در چند کشور/منطقه متمرکز شده است، به سمت توزیع مناسب‌تری حرکت کند. این کار نه

تنها به کاهش ناهمگونی در شبکه تجارت نفت بلکه به بهبود پایداری کشورها در این شبکه کمک خواهد کرد. همچنین برای بهبود پایداری در شبکه تجارت نفت، باید به تنظیم و کنترل این شبکه توجه بیشتری کرد. این کار می‌تواند شامل تعیین سیاست‌های مناسب برای توزیع نفت و تنظیم روابط تجاری با کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت باشد. تنظیم و کنترل شبکه تجارت نفت به کاهش ناهمگونی در این شبکه و بهبود پایداری کشورها نیز کمک خواهد کرد.

توسعه فناوری‌های جدید: از طرفی کشورهای واردکننده نفت برای کاهش وابستگی به نفت و انرژی‌های فسیلی، باید در توسعه فناوری‌های جدید با بهره‌وری انرژی بالاتر و انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کنند. همچنین کشورهای صادرکننده نفت نیز می‌توانند به جای فروش نفت خام، به فروش محصولات پالایشی با ارزش افزوده بیشتر، تمرکز کنند.

#### منابع

- An, H., Zhong, W., Chen, Y., Li, H. & Gao, X. (2014), Features and evolution of international crude oil trade relationships: A trading-based network analysis. *Energy*, 74, 254-259.
- Ashfaq, S., Tang, Y. & Maqbool, R. (2020), Dynamics of spillover network among oil and leading Asian oil trading countries' stock markets, *Energy*, 207: 118077.
- Asia Pacific Energy Research Centre. A quest for energy security in the 21st century. Tokyo: Institute of Energy Economics, Asia Pacific Energy Research Centre; 2007
- Barabási, A. L. (2016), *Network science*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge university press.
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R. & Lefebvre, E. (2008), Fast unfolding of communities in large networks, *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10): P10008.
- British Petroleum (2017), *BP statistical review of world energy*. In Tech rep British Petroleum, London, UK.
- British Petroleum, *BP Statistical review of the world energy 2020*. London: BP; 2020.
- Dong, G., Qing, T., Du, R., Wang, C., Li, R., Wang, M., Tian, L., Chen, L., Vilela, A. L. M. & Stanley, H. E. (2020), *Complex network approach for the*

structural optimization of global crude oil trade system, *Journal of Cleaner Production*, 251: 119366.

Du, R., Dong, G., Tian, L., Wang, Y., Liu, Y., Wang, M. & Fang, G. (2016), A complex network perspective on features and evolution of world crude oil trade, *Energy Procedia*, 104: 221-226.

Du, R., Wang, Y., Dong, G., Tian, L., Liu, Y., Wang, M. & Fang, G. (2017), A complex network perspective on interrelations and evolution features of international oil trade, 2002–2013, *Applied Energy*, 196: 142-151.

Fath, B. D., Dean, C. A. & Katzmair, H. (2015), Navigating the adaptive cycle: an approach to managing the resilience of social systems, *Ecology and Society*, 20(2).

Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. & Rockström, J. (2010), Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability, *Ecology and society*, 15(4).

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. & Holling, C. S. (2004), Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management, *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35: 557-581.

Holling, C. S. & Gunderson, L. H. (2002), Resilience and adaptive cycles, In: *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, 25-62.

Hughes, L. (2012), A generic framework for the description and analysis of energy security in an energy system, *Energy Policy*, 42: 221-231.

International Energy Agency. *Toward a sustainable energy future*. Paris: International Energy Agency; 2001.

Jackson, M. O. (2010), *Social and economic networks*, Princeton and Oxford, United States of America and United Kingdom: Princeton university press.

Ji, Q., Zhang, H. Y. & Fan, Y. (2014), Identification of global oil trade patterns: An empirical research based on complex network theory, *Energy Conversion and Management*, 85: 856-865.

Kharrazi, A., Sato, M., Yarime, M., Nakayama, H., Yu, Y. & Kraines, S. (2015), Examining the resilience of national energy systems: Measurements of diversity in production-based and consumption-based electricity in the globalization of trade networks, *Energy Policy*, 87: 455-464.

Kitamura, T. & Managi, S. (2017), Driving force and resistance: Network feature in oil trade, *Applied Energy*, 208: 361-375.

Klimek, P., Varga, J., Jovanovic, A. S. & Székely, Z. (2019), Quantitative resilience assessment in emergency response reveals how organizations trade efficiency for redundancy, *Safety science*, 113: 404-414.

LaCasse, C. & Plourde, A. (1995), On the renewal of concern for the security of oil supply, *The Energy Journal*, 16(2).

Liu, L., Cao, Z., Liu, X., Shi, L., Cheng, S. & Liu, G. (2020), Oil security revisited: An assessment based on complex network analysis, *Energy*, 194: 116793.

Newman, M. E. (2003), The structure and function of complex networks, *SIAM review*, 45(2): 167-256.

Newman, M. E. (2010), *Networks: An introduction*, Oxford, United Kingdom: Oxford university press.

Önder, A. S. & Yilmazkuday, H. (2016), Trade partner diversification and growth: How trade links matter, *Journal of Macroeconomics*, 50: 241-258.

Reichardt, J. & Bornholdt, S. (2006), Statistical mechanics of community detection, *Physical review E*, 74(1): 016110.

Ronhovde, P. & Nussinov, Z. (2009), Multiresolution community detection for megascale networks by information-based replica correlations, *Physical Review E*, 80(1): 016109.

Shirazi, M., Ghasemi, A., Mohammadi, T., Šimurina, J., Faridzad, A. & Taklif, A. (2020), A Dynamic Network Comparison Analysis of Crude Oil Trade: Evidence from Eastern Europe and Eurasia, *Zagreb International Review of Economics & Business*, 23(1): 95-119.

Song, Z., Zhu, Q. & Han, M. (2021), Tele-connection of global crude oil network: Comparisons between direct trade and embodied flows, *Energy*, 217: 119359.

Thoma, K. (2014), *Resilience-by-Design*: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen, *Acadech Studie*, München.

Von Hippel, D., Suzuki, T., Williams, J. H., Savage, T. & Hayes, P. (2011), Energy security and sustainability in Northeast Asia, *Energy policy*, 39(11): 6719-6730.

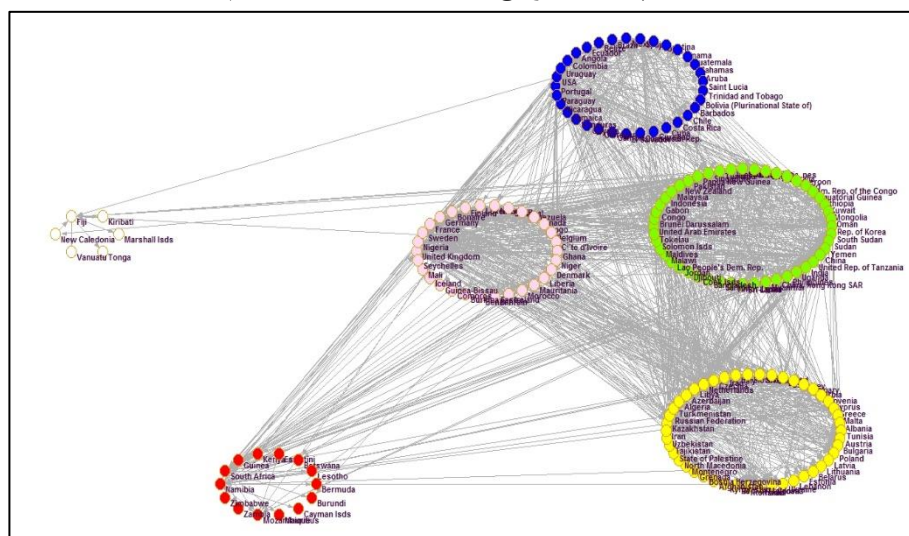
Wang, M., Tian, L. & Du, R. (2016), Research on the interaction patterns among the global crude oil import dependency countries: A complex network approach, *Applied Energy*, 180: 779-791.

Watts, D. J. & Strogatz, S. H. (1998), Collective dynamics of 'small-world' networks, *Nature*, 393(6684): 440.

- Xi, X., Zhou, J., Gao, X., Liu, D., Zheng, H. & Sun, Q. (2019), Impact of changes in crude oil trade network patterns on national economy, *Energy Economics*, 84: 104490.
- Yang, Y., Poon, J. P., Liu, Y. & Bagchi-Sen, S. (2015), Small and flat worlds: A complex network analysis of international trade in crude oil, *Energy*, 93: 534-543.
- Zekri, H., Mokhtari, A. R. & Cohen, D. R. (2016), Application of singular value decomposition (SVD) and semi-discrete decomposition (SDD) techniques in clustering of geochemical data: an environmental study in central Iran, *Stochastic environmental research and risk assessment*, 30: 1947-1960.
- Zhang, C., Fu, J. & Pu, Z. (2019), A study of the petroleum trade network of countries along "The Belt and Road Initiative", *Journal of Cleaner Production*, 222: 593-605.
- Zhang, H. Y., Ji, Q. & Fan, Y. (2014), Competition, transmission and pattern evolution: A network analysis of global oil trade, *Energy Policy*, 73: 312-322.

## پیوست (۱): جوامع در شبکه ۱۷۸ کشوری

شکل (پ-۱-۱): جوامع در شبکه صادرات نفت خام



منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (پ-۱-۱): اسامی کشورها در هر جامعه

جامعه ۱	جامعه ۲	جامعه ۳	جامعه ۴	جامعه ۵	جامعه ۶
افغانستان	استرالیا	برمودا	آنگولا	بحرین	فیجی
آلبانی	بنگلادش	بوتسوانا	آرژانتین	بلژیک	کیریباتی
الجزایر	برونئی دارالسلام	بوروندی	آروبا	بنین	جزایر مارشال
اتریش	کامرون	جزایر کیمن	باهاما	بونیر	کالدونیای جدید
آذربایجان	چاد	اسواتینی	باربادوس	بورکینافاسو	تونگا
بلاروس	چین	گینه	بلیز	کانادا	وانواتو
بوسنی	هنگ کنگ	کنیا	بولیوی	کومور	
هرزگووین	کنگو	لسوتو	برزیل	ساحل عاج	
بلغارستان	جزایر کوک	موریس	شیلی	دانمارک	
کرواسی	جمهوری دموکراتیک کنگو	موزامبیک	کلمبیا	فنلاند	
قبرس	جیبوتی	نامیبیا	کاستاریکا	فرانسه	
چک	گینه استوایی	آفریقای جنوبی	کوبا	آلمان	
مصر	اتیوپی	زامبیا	کوراسائو	غنا	
استونی	گابن	زیمبابوه	جمهوری دومینیکن	گینه بیسائو	

جامعه ۱	جامعه ۲	جامعه ۳	جامعه ۴	جامعه ۵	جامعه ۶
یونان	هندوستان		اکوادور	ایسلند	
گرانادا	اندونزی		السالوادور	ایرلند	
مجارستان	ژاپن		گامبیا	لیبریا	
ایران	اردن		جبل الطارق	لوکزامبورگ	
عراق	کویت		گواتمالا	مالی	
اسرائیل	لاتویس		گویان	موریتانی	
ایتالیا	مالاوی		هندوراس	مراکش	
قزاقستان	مالزی		جامائیکا	نیجر	
قرقیزستان	مالدیو		مکزیک	نیجریه	
لتونی	مغولستان		نیکاراگوئه	نروژ	
لبنان	میانمار		پاناما	سنگال	
لیبی	نیوزلند		پاراگوئه	سیشل	
لیتوانی	عمان		پرو	سوئد	
مالت	تایوان		پرتغال	توگو	
مونته نگرو	پاکستان		سنت لوسیا	انگلستان	
هلند	پاپوآ گینه نو		اسپانیا	ونزوئلا	
مقدونیه شمالی	فیلیپین		ترینیداد و توباگو		
لهستان	قطر		اروگوئه		
مولداوی	کره		آمریکا		
رومانی	ساموآ				
روسیه	عربستان سعودی				
صربستان	سنگاپور				
اسلواکی	جزایر سلیمان				
اسلوانی	سودان جنوبی				
فلسطین	سری لانکا				
سوئیس	سودان				
تاجیکستان	تایلند				
تونس	تیمور شرقی				
بوقلمون	توکلائو				
ترکمنستان	اوگاندا				
اکراین	امارات متحده عربی				
ازبکستان	تانزانیا				
	ویتنام				
	یمن				

منبع: یافته‌های تحقیق



## پیوست (۲) - شاخص استحکام در شبکه ۱۷۸ کشوری

همانطور که در متن اشاره شد، به منظور یافتن کشورهای عمده واردکننده نفت، از روش آنتروپی استفاده شده است. مقدار آنتروپی درجه ورودی در مطالعه حاضر معادل ۰,۳۵ است و بیشتر تغییرات داده‌ها در ۶۳ کشور اول جمع شده‌اند. اسامی این کشورها در جدول (پ-۲-۱) آمده است.

جدول (پ-۲-۱): کشورهای عمده واردکننده نفت خام در شبکه صادراتی

کشور	ردیف	کشور	ردیف	کشور	ردیف	کشور	ردیف
باهاماس	۶۱	اسلواکی	۴۱	مالزی	۲۱	چین	۱
میانمار	۶۲	سایر مناطق آمیکای شمالی و مرکزی	۴۲	اندونزی	۲۲	آمریکا	۲
بوسنی و هرزگوین	۶۳	بلغارستان	۴۳	سوئد	۲۳	هند	۳
		کرواسی	۴۴	فیلیپین	۲۴	کره	۴
		ویتنام	۴۵	فنلاند	۲۵	تایوان	۵
		پرو	۴۶	بحرین	۲۶	هلند	۶
		نیوزیلند	۴۷	پرغال	۲۷	ایتالیا	۷
		پاکستان	۴۸	برزیل	۲۸	اسپانیا	۸
		اروگوئه	۴۹	شیلی	۲۹	آلمان	۹
		ترکیه	۵۰	پاناما	۳۰	سنگاپور	۱۰
		نروژ	۵۱	سوئیس	۳۱	بریتانیا	۱۱
		ایرلند	۵۲	رومانی	۳۲	تایلند	۱۲
		اسرائیل	۵۳	مصر	۳۳	فرانسه	۱۳
		سنت لوشیا	۵۴	چک	۳۴	کانادا	۱۴
		صربستان	۵۵	لیتوانی	۳۵	ژاپن	۱۵
		ساحل عاج	۵۶	اتریش	۳۶	لهستان	۱۶
		ترینیداد و توباگو	۵۷	مجارستان	۳۷	یونان	۱۷
		کلمبیا	۵۸	امارات متحده عربی	۳۸	آفریقای جنوبی	۱۸
		کوراسائو	۵۹	بلژیک	۳۹	بلاروس	۱۹
		سنگال	۶۰	دانمارک	۴۰	استرالیا	۲۰

منبع: یافته‌های تحقیق

به همین ترتیب، جدول (پ-۲-۲)، ده کشور با کمترین و بیشترین میزان شاخص  $RI_i$  را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که به تبعیت از مطالعه دونگ و همکاران، این شاخص در شبکه صادرات نفت خام محاسبه شده است.

جدول (پ-۲-۲): کشورهای با بیشترین و کمترین استحکام در شبکه صادرات نفت خام

کشور با بیشترین استحکام	مقدار شاخص $RI_i$	کشور با کمترین استحکام	مقدار شاخص $RI_i$
صربستان	۳/۴۲	ترکمنستان	۸/۶E-۰۶
بلاروس	۲/۹۹	بتسوانا	۰/۰۰۰۴
آفریقای جنوبی	۲/۸۷	کنیا	۰/۰۰۱۶
لیتوانی	۲/۳۳	فنلاند	۰/۰۶۴۶
سنگال	۲/۲۴	نامیبیا	۰/۰۷۴۶
مراکش	۲/۰۰	فرانسه	۰/۱۱۸۹
گواتمالا	۲/۰۰	استونی	۰/۴۱۴۸
هند	۲/۰۰	اسرائیل	۰/۴۴۶۵
چین	۱/۸۱	بلیز	۰/۶۶۰۹
پرتغال	۱/۸۰	۴۶ کشور	۱

منبع: یافته‌های تحقیق