

## توپولوژی شبکه تجارت بین‌الملل سوخت و جایگاه ایران

رضا نجارزاده

دانشیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)

najarzar@modares.ac.ir

کاظم بیابانی خامنه

دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس

biabany@outlook.com

تمرکز منابع سوخت‌های فسیلی در مناطق جغرافیایی خاص و ماهیت استراتژیک سوخت به‌عنوان یک کالای قابل‌مبادله، شبکه‌ای درهم‌تنیده و پیچیده از روابط تجاری میان کشورهای واردکننده و صادرکننده سوخت را پدید آورده است. در این تحقیق با بهره‌گیری از نظریه گراف، توپولوژی شبکه تجارت سوخت در سال ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ و تجزیه و تحلیل و خوشه‌های تجاری در تجارت سوخت و کشورهای عضو آنها شناسایی شده‌اند. سپس جایگاه و اهمیت بازیگران اصلی تجارت سوخت مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که شبکه تجارت سوخت یک شبکه تماماً هم‌بند است که به‌طور محسوس تحولاتی از قبیل رشد تعداد ارتباطات تجاری و افزایش شکل‌گیری روابط در قالب خوشه‌های تجاری و منطقه‌ای شدن را شاهد بوده است. همچنین لزوماً کشورهای با سهم صادراتی بالا تأثیرگذاری بیشتری در تجارت سوخت ندارند و درعین حال با افزایش سهم در تجارت سوخت، کشورها به تجارت فراتر از خوشه‌های تجاری متمایل تر می‌شوند. نهایتاً نتایج حاکی از کم شدن اهمیت ایران در تجارت سوخت است.

**واژگان کلیدی:** نظریه گراف، سوخت‌های فسیلی، شبکه‌های پیچیده، خوشه‌های تجاری

## ۱. مقدمه

در عصر جهانی شدن که تمام کشورها برای تأمین پایدار نیازهای خود به تجارت بین‌الملل متکی هستند، سوخت یکی از کالاهای ضروری و استراتژیک است که از یک سو کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه برای فعالیت‌های اقتصادی شدیداً به این نهاد وابسته هستند و از سوی دیگر به دلیل عدم توزیع یکسان منابع سوخت‌های فسیلی جریانی از تجارت سوخت بین کشورها وجود دارد (نیکویی اسکویی و همکاران، ۱۳۹۷) که عمده‌تأمین مهم درآمدی کشورهای صادرکننده نیز تلقی می‌شود. ویژگی‌هایی که این کالا دارد (امکان ذخیره‌سازی و درجه همگنی بالا) باعث می‌شود کشورهای عرضه‌کننده سوخت با درجه بالایی از رقابت در سطح جهانی مواجه باشند و کشورهای مصرف‌کننده نیز بتوانند از کشورهای مختلفی این کالا را تأمین کنند. در نتیجه شبکه درهم‌تنیده‌ای از روابط در تجارت سوخت شکل می‌گیرد که کشورهای عرضه‌کننده و واردکننده در مجموعه‌ای از رفتارهای استراتژیک، هر دو تمایل خواهند داشت در جهت ثبات تجاری و متنوع‌سازی ریسک (یکی به جهت افزایش امنیت انرژی و دیگری برای کاهش ریسک درآمد صادراتی) بیشترین تعداد روابط تجاری پایدار و اقتصادی را برقرار کنند. از سوی دیگر هر دو نوع کشور خواهان این هستند که اهمیت خود را در شبکه تجارت سوخت افزایش دهند تا به بازیگری مهم در این صحنه تبدیل شوند و از این طریق بتوانند به قدرت چانه‌زنی دست‌یافته، منافع خود را حداکثر نموده و حتی قواعد بازی را تعیین کنند.

بنابراین فهم نقش کشورها در تجارت بین‌الملل سوخت و پویایی‌های روابط بین کشورها برای سیاست‌گذاری در حوزه تجارت و امنیت انرژی بسیار کلیدی خواهد بود. با این حال شبکه تجارت بین‌الملل -مانند هر شبکه دیگری از روابط- به گونه‌ای نیست که عملکرد یک عضو آن

به صورت ایزوله ارزیابی شود بلکه ساختار روابط دیگر اعضای شبکه و تغییر و تحولات توپولوژیک<sup>۱</sup> روابط شبکه بر چگونگی عملکرد یک عضو تأثیر غیرقابل انکاری خواهد داشت. تجزیه و تحلیل مبتنی بر شبکه این امکان را مهیا می‌کند که الگوهای در حال ظهور و محدودیت‌ها و توانایی‌های بازیگران را در شبکه‌ای از روابط متقابل شناسایی و ارزیابی کنیم. در این چهارچوب نظریه گراف<sup>۲</sup> ابزار کمی مهمی است که در تجزیه و تحلیل شبکه‌ها معیارهای محاسباتی قدرتمندی در اختیار محققین می‌گذارد. از این رو هدف از تحقیق حاضر تجزیه و تحلیل شبکه تجارت بین‌المللی سوخت و ارزیابی نقش کشورهای اصلی به ویژه ایران در تجارت سوخت با به کار بردن نظریه گراف در ریاضیات است. با استفاده از معیارهای مبتنی بر نظریه گراف علاوه بر اینکه امکان ارزیابی کشورها از نظر معیارهای سنتی تجارت نظیر تعداد روابط تجاری و سهم از تجارت بین‌الملل وجود دارد، قادر خواهیم بود که کشورها را از نظر اهمیت ارتباطات تجاری آنها، تأثیرگذاری بر جریان تجارت، تجارت در خوشه‌های تجاری و معیارهایی از این دست شناسایی و رتبه‌بندی کنیم.

به این ترتیب در ادامه ابتدا مفاهیم اصلی نظریه گراف به صورت اجمالی ارائه می‌گردد. آنگاه پیشینه‌ای از تحقیقات انجام‌شده در این حوزه مرور شده و در نهایت داده‌های شبکه تجارت سوخت تجزیه و تحلیل و نتایج به دست آمده ارائه می‌شود.

## ۲. نظریه گراف<sup>۳</sup>

**مفاهیم پایه:** یک گراف ساده را با  $G = (V, E)$  نشان می‌دهیم که در آن  $V$  رأس‌ها<sup>۴</sup> یا گره‌ها<sup>۱</sup> و  $E$  مجموعه‌ای از یال‌ها<sup>۲</sup> است. یک گراف از یال‌هایی شکل گرفته که گره‌ها را به هم

1. Topologic
2. Graph Theory

۳. این بخش عمدتاً برگرفته از دوبندیکتیس و همکاران (۲۰۱۴) و شنتون (۲۰۱۷) است.

4. Vertex

متصل کرده است. می‌گوییم که دو گره متصل<sup>۳</sup> هستند اگر یک یال مشترک داشته باشند. ویژگی‌های اتصال‌های یک گراف را با استفاده از ماتریس مجاورت<sup>۴</sup>  $A$  توصیف می‌کنیم. ماتریس مجاورت ماتریسی  $\Pi \times \Pi$  است که  $\Pi$  در آن تعداد گره‌ها در گراف است. اگر یک جفت از گره‌ها با یک یال متصل باشند به آنها مجاور می‌گوییم و درایه سطر  $i$  و ستون  $j$  ماتریس مجاورت گراف که با  $a_{ij}$  نشان می‌دهیم به ازای آن مقدار ۱ می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر. اگر ماتریس مجاورت متقارن باشد یعنی  $a_{ij} = a_{ji}$ ، آنگاه نشان‌دهنده یک گراف غیرجهت‌دار<sup>۵</sup> است. در مقابل گراف جهت‌دار<sup>۶</sup> گرافی است که یال‌ها از یک گره به سمت گره دیگری برقرار هستند و ماتریس مجاورت لزوماً متقارن نیست. به عبارت دیگر اگر یالی گره  $i$  را به گره  $j$  متصل کرده باشد لزوماً عکس آن برقرار نیست. اگرچه این امکان نیز وجود دارد که در گراف جهت‌دار از گره  $j$  به گره  $i$  نیز یالی برقرار باشد. در گراف جهت‌دار باید درجه-ورود<sup>۷</sup>  $k_i^{in}$  و درجه-خروج<sup>۸</sup>  $k_i^{out}$  را مشخص کنیم که نشان‌دهنده تعداد یال‌های ورودی و خروجی به گره  $i$  هستند. جمع این دو درجه کل گره خواهد بود. درجه یک گره اطلاعات مهمی درباره گره ارائه می‌دهد مثلاً می‌توان اهمیت گره را نسبت به دیگر گره‌ها مشخص کرد.

مسیر بین دو گره دنباله‌ای از گره‌های مجاور است که هر جفت گره متوالی با یک یال به هم متصل هستند. علاوه بر این نمی‌توان از یک گره بیش از یک بار عبور کرد. به این ترتیب طول یک مسیر با محاسبه تعداد یال‌هایی که برای رسیدن به گره  $j$  از گره  $i$  باید طی نمود به دست

1. Node
2. Edge
3. Connected
4. Adjacency matrix
5. Undirected graph
6. Directed graph
7. In-degree
8. Out-degree

می‌آید. کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره، مسیر ژئودسیک<sup>۱</sup> و طول آن مسیر، فاصله ژئودسیک<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. تعداد کوتاه‌ترین مسیرها،  $N_{ij}$ ، بین یک جفت گره از ماتریس مجاورت مشخص می‌شود. اگر مسیری مستقیم بین دو گره باشد یعنی  $d_{ij} = 1$ ، آنگاه  $a_{ij} = 1$ . تعداد مسیرهای با طول  $d$  به صورت ذیل مشخص می‌شود:

$$N_{ij}^{(d)} = [A^d]_{ij} \quad (1)$$

که در آن  $[...]_{ij}$  نشان‌دهنده درایه  $ij$  ماتریس  $A$  است. این رابطه برای هر دو گراف جهت‌دار و بی‌جهت برقرار است. فاصله بین گره  $i$  و  $j$  مسیر با کوتاه‌ترین  $d$  است که  $N_{ij}^{(d)} > 0$ . ماتریس درجه یک  $n \times n$  است که درایه‌های قطری آن متناظر با درجه گره  $i$  ام و درایه‌های غیر قطری آن برابر صفر است. در یک گراف جهت‌دار تعداد کل یال‌ها به صورت ذیل است:

$$|E| = \sum_{i=1}^N k_i^{in} = \sum_{i=1}^N k_i^{out} \quad (2)$$

و میانگین درجه یک گراف برابر  $k = \frac{|E|}{N}$  بوده و چگالی<sup>۳</sup> یا تراکم گراف از تقسیم میانگین

درجه به حداکثر تعداد یال‌های ممکن به دست می‌آید:  $\delta = \frac{k}{N-1}$ . در گراف‌هایی که تماماً

هم‌بند<sup>۴</sup> هستند، یعنی همه گره‌ها از یک گره دیگر قابل دستیابی است، قطر گراف را می‌توان

به صورت طولانی‌ترین - کوتاه‌ترین مسیر بر روی تمام جفت گره‌ها  $(n_i, n_j)$  اندازه گرفت.

قطر گراف در واقع طولانی‌ترین مسیر بین دو گره‌ای است که بیشترین فاصله را از یکدیگر

- 
1. Geodesic path
  2. Geodesic distance
  3. Density
  4. Fully connected

دارند. متوسط طول مسیر  $d$ ، میانگین فاصله بین تمام جفت گره‌ها در یک گراف است. برای یک گراف جهت‌دار با  $N$  گره داریم<sup>۱</sup>:

$$d = \frac{1}{N \cdot (N-1)} \sum_{i \neq j}^N d(n_i, n_j) \quad (۳)$$

گراف وزن‌دار<sup>۲</sup> گرافی است که به یال‌های آن مقادیری نسبت داده شده که اهمیت یا وزن آن یال را نشان می‌دهد. ماتریس مجاورت چنین گرافی ماتریس مجاورت وزن‌دهی شده نامیده می‌شود و درایه‌های آن مانند قبل شامل درایه‌های صفر و یک نیست بلکه هر مقداری می‌تواند داشته باشد. مؤلفه‌های<sup>۳</sup> یک گراف زیرمجموعه‌های گراف با خصیصه‌هایی هستند که هر گره‌ای و هر گره دیگری در این زیرمجموعه متصل هستند یعنی دوجه‌دو قابل دستیابی‌اند. اگر کل گراف تشکیل یک مؤلفه بدهد می‌گوییم که گراف تماماً هم‌بند است. گراف غیرهم‌بند نیز شامل دو یا چند مؤلفه است.

**معیارهای سنجش گراف:** اغلب مایلیم ببینیم که چه تعداد گره در یک گراف درجه‌های یکسانی دارند. رسم نمودار پراکنندگی تمام درجات گره‌ها توزیع درجه را نشان می‌دهد. اگر  $N$  گره در گراف وجود داشته باشند و  $N_k$  تا از آنها درجه  $k$  داشته باشند توزیع درجه به صورت  $P(k) = \frac{N_k}{N}$  است. توزیع درجه را می‌توان به عنوان احتمال اینکه به صورت تصادفی گره‌ای انتخاب شود که درجه  $k$  داشته باشد در نظر گرفت. میانگین درجه یک گراف را نیز می‌توان به صورت  $k = \sum_{k=0}^{\infty} kP(k)$  حساب کرد. دسته‌های مترکم و با پیوستگی بالای گره‌ها تشکیل

۱. برای گراف بی‌جهت سمت راست را در ۲ ضرب می‌کنیم.

2. Weighted graph  
3. Components

خوشه می دهند. ضریب خوشه بندی<sup>۱</sup> به تعداد مثلث ها<sup>۲</sup> در گراف مرتبط است. ضریب خوشه بندی محلی<sup>۳</sup> گره  $i$  از تقسیم تعداد مثلث های بسته متصل به گره  $i$  به تعداد مثلث های متمرکز به گره  $i$  به دست می آید. منظور از مثلث نیز گره واحدی است که با یال هایی به دو گره دیگر متصل است. ضریب خوشه بندی محلی را می توان به عنوان معیاری از چگالی محلی گراف در نظر گرفت. هرچه تراکم اتصالات متقابل همسایگی های یک گره بیشتر باشد، ضریب خوشه بندی بزرگ تر است. ضریب خوشه بندی گراف جهت دار به صورت

$$Cl_d(i) = \frac{E_i}{k_i(k_i - 1)}$$

که در آن  $E_i$  تعداد یال های میان  $k_i$  همسایه گره  $i$  است. ضریب خوشه بندی محلی در بازه  $0 \leq Cl(i) \leq 1$  قرار دارد که  $Cl(i) = 0$  به معنی نبود هیچ گونه یالی بین همسایه های  $i$  است و  $Cl(i) = 1$  دلالت دارد بر اینکه هر همسایه به دیگری متصل است. برای گره های با درجه صفر و یک ضریب خوشه بندی را صفر قرار می دهیم. ضریب خوشه بندی فراگیر نیز میانگین ضرایب خوشه بندی محلی در گراف است. این معیار را می توان به این احتمال در نظر گرفت که اگر دو گره همسایه به طور تصادفی انتخاب شوند به یکدیگر متصل اند. در گراف های تصادفی ضریب خوشه بندی فراگیر عموماً کم بوده و با افزایش اندازه گراف به صفر میل می کند.

برخی گره ها به خاطر موقعیت توپولوژیکی که در گراف دارند حائز اهمیت هستند. این ویژگی گراف را مرکزیت<sup>۴</sup> می نامیم. با این حال معیارهای مختلفی برای مرکزیت وجود دارد.

1. Clustering
2. Triangular
3. Local clustering coefficient
4. Centrality

مرکزیت استحکام<sup>۱</sup> یا استحکام گره در گراف‌های وزن‌دار با کل وزن یال‌های گره اندازه‌گرفته می‌شود. برای گره  $i$ ، مرکزیت استحکام به صورت ذیل است:

$$C_s(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} w_{ij} \quad (۴)$$

که در آن  $w_{ij}$  وزن یال بین گره  $i$  و  $j$  است. مرکزیت نزدیکی<sup>۲</sup> تعداد گام‌هایی که طول می‌کشد تا از یک گره خاص به گره دیگری در گراف برسیم را اندازه می‌گیرد. برای گره  $i$ :

$$C_c(i) = \sum_{j \neq i}^N \frac{1}{d_{ij}} \quad (۵)$$

که در آن  $d_{ij}$  کوتاه‌ترین فاصله میان گره  $i$  و  $j$  است. اگر گره  $i$  مستقیماً به تمام گره‌ها متصل باشد معیار فوق برابر ۱ می‌شود. یک گره با مرکزیت نزدیکی بالا می‌تواند سریع‌تر با دیگر گره‌ها ارتباط برقرار کند. این گره‌ای می‌تواند موقعیت بهتری داشته باشد به گونه‌ای با افزایش ارتباطات امکان تأمین نیازهای گره افزایش و وابستگی گره به گره‌های خاص کاهش می‌یابد. همچنین دسترسی گره به منابع موجود در گراف افزایش می‌یابد ضمن اینکه گره می‌تواند نقش بازارساز، واسط و کارگزار<sup>۳</sup> را بازی کند. مرکزیت میانی<sup>۴</sup> دفعاتی که یک گره در مسیر بین دو گره قرار می‌گیرد را اندازه می‌گیرد (به این صورت که مثلاً برای رسیدن به گره  $j$  با شروع از گره  $k$  باید از گره  $i$  گذشت):

$$C_b(i) = \sum_{j,k \neq i} \frac{d_{ijk}(i)}{d_{jk}} \quad (۶)$$

که در آن  $d_{jk}$  تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای  $j$  به  $k$  و  $d_{ijk}(i)$  تعداد آن مسیرهایی است که از  $i$  می‌گذرد. گره‌ای با مرکزیت میانی بالا گره‌ای برجسته و مهم است زیرا در

1. Strengthens centrality
2. Closeness centrality
3. Broker
4. Betweenness centrality

موقعیتی است که جریان اطلاعات جاری شده در گراف را مشاهده یا کنترل می تواند کند. گره با مرکزیت میانی بالا با قرار گرفتن در یک مسیر ژئودیسک دارای قدرت بالایی در گراف است. در گراف های وزن دار، مرکزیت میانی براساس تمام مسیرهای بین گره ها اندازه گرفته می شود، نه فقط مسیرهای ژئودسیک، در نتیجه مرکزیت میانی جریان<sup>۱</sup> نام می گیرد و سهم یک گره را در حداکثر جریان های جاری در گراف اندازه می گیرد. مرکزیت بردار ویژه<sup>۲</sup> اهمیت یک گره را براساس اهمیت گره هایی که به آن متصل است، اندازه می گیرد. به عبارتی مرکزیت گره هایی که به گره  $i$  متصل هستند اهمیت گره  $i$  را در گراف مشخص می کنند. مرکزیت بردار ویژه گره  $i$  براساس مجموع مرکزیت بردار ویژه همسایگان آن به دست می آید، که به فرم ماتریسی  $(1-L)\overline{C}_E = 0$  است و در آن  $L$  ماتریس واحد  $n \times n$  و ماتریس مجاورت و  $\overline{C}_E$  بردار  $n \times 1$  مرکزیت بردار ویژه گره ها است. در واقع گره های با مرکزیت بردار ویژه بالا گره هایی هستند که به گره هایی بسیار متصل اند که خود آن گره ها نیز به بسیاری گره دیگر متصل اند. جزیره ای بودن<sup>۳</sup>، برای اندازه گیری ارتباطات متقابل گره هایی است که به شکل خوشه یا اجتماع<sup>۴</sup> با یکدیگر در ارتباط هستند. جزیره ای بودن تعداد یال هایی است که در داخل گروه ها است منهای تعدادی که انتظار می رود در یک شبکه تصادفی هم ارز وجود داشته باشد که با تابع مقداری  $Q$  اندازه گرفته می شود به طوری که این تابع باید بیشینه شود؛ برای یک گراف جهت دار (ژونگ و همکاران، ۲۰۱۷):

- 
1. Flow Betweenness centrality
  2. Eigenvector centrality
  3. modularity
  4. Community

$$Q = \frac{1}{m} \sum_i \sum_j \left[ a_{ij} - \frac{k_i^{out} k_i^{in}}{m} \right] \delta(c_i, c_j) \quad (7)$$

که در آن  $m = \sum_i k_i^{out} = \sum_i k_i^{in} = \sum_i \sum_j a_{ij}$ ،  $\delta(c_i, c_j) = \begin{cases} 1 & c_i = c_j \\ 0 & c_i \neq c_j \end{cases}$  اجتماع  $c_i$  و  $c_j$

است که گره  $i$  به آن تعلق دارد، آنگاه  $\delta(c_i, c_j) = 1$  اگر گره  $i$  و  $j$  در یک اجتماع باشند، در غیر این صورت  $\delta(c_i, c_j) = 0$ .

### ۳. پیشینه تحقیق

با افزایش قدرت محاسباتی رایانه‌ها، تحلیل‌های شبکه‌ای با تأکید بر مدل‌های ریاضی نظریه گراف در مطالعات انجام شده توسط جامعه شناسان، فیزیک‌دانان و بسیاری حوزه‌های دیگر رشد چشمگیری داشته است. اقتصاددانان تجربی نیز با در نظر گرفتن بازارها، صنایع و سیستم اقتصاد جهانی به شکل ساختار شبکه‌ای به تحلیل‌های مبتنی بر نظریه گراف بهای بیشتری داده‌اند و مطالعات تجربی در حوزه تجارت بین الملل نیز از جمله پیشتازان مطالعات مبتنی بر شبکه در اقتصاد بوده‌اند.

در یکی از نخستین کاربردهای نظریه گراف در تجارت بین‌الملل، سرانو و بوگانا (۲۰۰۳) توپولوژی شبکه تجارت جهانی را بررسی کرده‌اند. به نظر آنها این شبکه ویژگی‌های عادی شبکه‌های پیچیده نظیر توزیع درجه بدون مقیاس را به گونه‌ای دارد که ویژگی‌های جهان کوچک<sup>۱</sup> نظیر ضریب خوشه‌بندی بالا را نیز داراست، فلذا شبیه به شبکه‌های تصادفی نیست. به نظر باتاچاریا و همکاران (۲۰۰۸) شبکه تجارت بین‌الملل به‌عنوان مثالی عالی از شبکه‌های وزن‌دار است که وزن یال‌های شبکه اندازه حجم تجارت بین دو کشور است. آنها داده‌های تجارت بین‌الملل را برای ۵۳ سال بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شبکه تجارت بین‌الملل نظیر بسیاری

---

1. Small world

از شبکه‌های جهان واقعی، ساختاری ثابت مقیاس<sup>۱</sup> دارد. دوبندیکتیس و تاجولی (۲۰۱۱) ویژگی‌های ساختاری جریان‌های تجاری در صنایع مختلف را بررسی کردند. آنها با بررسی معیارهایی نظیر تراکم، توزیع درجه و مرکزیت نتیجه گرفتند که شبکه تجارت در صنایع مختلف تفاوت‌های قابل توجهی دارد و لزوماً رقابت بین‌المللی در صنایعی که کالاهای همگن تولید می‌کنند بیشتر نیست. آنها با توجه به چگالی پایین شبکه تجارت جهانی نتیجه گرفتند که تجارت جهانی یک شبکه ناکامل است. کشورها شرکای خود را انتخاب می‌کنند و از تمام بازارهای صادراتی و وارداتی استفاده نمی‌کنند. دوبندیکتیس و همکاران (۲۰۱۴) برخی از ویژگی‌های کاربردی نظریه گراف‌ها را معرفی نموده و با تأکید بر معیارهای مرکزیت، راهی برای توصیف سطح ناهمگنی کشورها در جریان تجارت دو جانبه نشان می‌دهند. آنها همچنین شبکه تجارت جهانی را برای سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۵ به دو صورت گراف وزن‌دار و بی‌وزن تجزیه تحلیل نموده‌اند. نتایج آنها حاکی از اهمیت آمریکا و کشورهای اروپایی در تجارت بین‌الملل و اهمیت چین به عنوان شریک تجاری اغلب کشورهای پیشرفته است.

جی و همکاران (۲۰۱۴) شبکه تجارت نفت را در سال ۲۰۱۰ تجزیه و تحلیل نمودند. نتایج آنها نشان می‌دهد که شبکه تجارت نفت یک شبکه بی‌مقیاس است و سه بلوک تجاری شامل «بلوک آمریکای جنوبی-آفریقای غربی-شمال آمریکا»، «بلوک خاورمیانه-آسیا-منطقه پاسیفیک» و «بلوک اتحادیه جماهیر شوروی سابق-شمال آمریکا-اروپا» است. ژونگ و همکاران (۲۰۱۷) الگوی جهانی تجارت سوخت‌های فسیلی را برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰ بررسی کردند. آنها با استفاده از الگوریتم جزیره‌ای، وجود پنج اجتماع تجاری را شناسایی کرده و عقیده دارند بلوک‌های تجاری و سازمان‌های تجاری نقش مهمی در اجتماعات تجاری شناسایی شده دارند ولیکن اثر آنها محدود است. به نظر آنها عوامل جغرافیایی و آمریکا و روسیه اهمیت بیشتری در تجارت سوخت‌های فسیلی

---

1. Scale invariant structure

پیدا کرده‌اند. کندوگان (۲۰۱۸) با تعدیل برخی معیارهای نظریه گراف نظیر خوشه‌بندی، مرکزیت نزدیکی، میانی و درجه‌ای به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه تجارت بین‌الملل پرداخت. نتایج وی نشان می‌دهد که ضریب خوشه‌بندی برای کشورهای کوچک توسعه یافته بزرگ‌تر است. همچنین کشورهای بزرگ توسعه یافته و برخی کشورهای آسیایی در معیارهای مرکزیت دیگر جزو کشورهای بالایی در رتبه‌بندی براساس معیارها هستند. نتایج تحقیق وی نشان می‌دهد که در طول زمان خوشه‌بندی و متوسط مرکزیت میانی شبکه تجارت بین‌الملل کاهش و متوسط مرکزیت درجه‌ای آن افزایش یافته است.

شیرازی و همکاران (۱۳۹۴) جایگاه ایران در تجارت بین‌المللی را در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ با محاسبه معیارهای مرکزیت در نظریه گراف، تجزیه و تحلیل نمودند. نتایج آنها نشان می‌دهد که در همه سال‌ها شبکه تجارت بین‌المللی دارای توزیع پاور<sup>۱</sup> و ضریب خوشه‌بندی بالا بوده است. همچنین براساس محاسبات انجام شده تراکم شبکه، میانگین ارتباطات تجاری و ضریب خوشه‌بندی روندی افزایشی در طول دوره بررسی داشته‌اند. ایران نیز براساس معیارهای مرکزیت کشوری تأثیرگذار در شبکه تجارت نبوده است.

#### ۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش از تحقیق به تجزیه و تحلیل داده‌ها براساس معیارهای معرفی شده در بخش قبلی خواهیم پرداخت. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مربوط به گروه کالایی سوخت<sup>۲</sup> بوده و از بانک اطلاعاتی UNCTAD<sup>۳</sup>، بخش ماتریس تجارت کالایی و براساس گزارش کشورهای

- 
1. Power distribution
  2. Fuel (SITC 3): Electric current, natural and manufactured Gas, petroleum products, Coal, coke and briquettes.
  3. <http://unctadstat.unctad.org>

صادرکننده<sup>۱</sup> استخراج شده و دو سال ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ (اولین و آخرین سالی که ماتریس تجارت در دسترس است) را در برمی‌گیرد. به این ترتیب برای هر سال جداگانه یک گراف جهت‌دار خواهیم ساخت و برای ارزیابی تحولات شبکه، خصیصه‌های دو گراف را مقایسه می‌کنیم. در این گراف‌ها، گره‌ها کشورها و یال‌ها صادرات از کشور  $i$  به  $j$  است. برای وزن‌دهی به یال‌های گراف‌ها و امکان مقایسه بهتر گراف سال ۱۹۹۵ با سال ۲۰۱۷، ارزش دلاری صادرات هر کشور به کشور دیگر بر ارزش کل تجارت جهانی سوخت در آن سال تقسیم شده است. در نتیجه هر یال (رابطه تجاری) وزنی برابر درصد سهم صادرات کشور  $i$  به  $j$  از کل تجارت سوخت دارد و جمع وزن تمام یال‌های گراف برابر ۱۰۰ می‌شود. در اولین گام از تجزیه و تحلیل داده‌ها، توپولوژی شبکه تجارت سوخت را برای دو سال ذکر شده با استفاده از معیارهای معرفی شده در بخش پیشین ارزیابی می‌کنیم. نتایج محاسبات انجام شده در جدول (۱) گزارش شده‌اند. با بررسی و ارزیابی توپولوژی دو گراف تجارت سوخت در سال ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ چند نکته قابل توجه است:

۱. تعداد کشورهای حاضر در شبکه تجارت سوخت افزایش یافته‌اند (افزایش گره‌ها به ۲۳۱).
۲. تعداد روابط تجاری حدود ۲ برابر شده است (افزایش تعداد یال‌ها به ۱۰۷۰۱).
۳. میانگین ارتباطات تجاری هر کشور حدود ۲ برابر شده و برابر ۴۶ طرف تجاری است (افزایش میانگین درجه به ۴۶).
۴. فاصله کشورهایی که با یکدیگر ارتباط تجاری مستقیم ندارند کاهش یافته است (کاهش قطر گراف از ۵ به ۴).
۵. چگالی شبکه روابط تجاری سوخت دو برابر شده است (افزایش چگالی گراف به ۰/۲).

---

1. Merchandise trade matrix - product groups, exports in thousands of United States dollars, annual

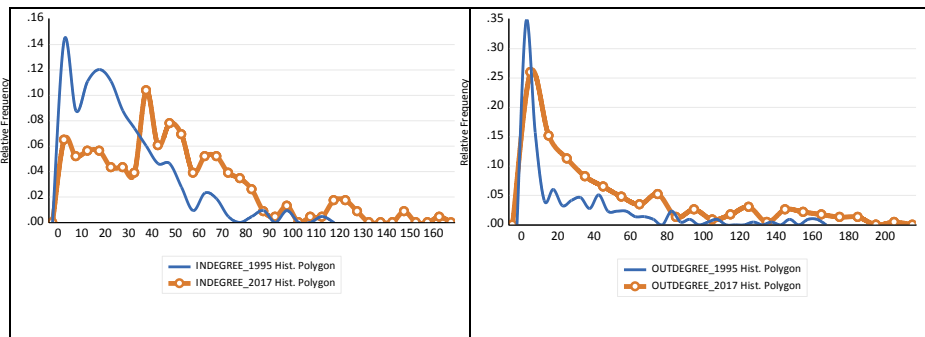
۶. متوسط فاصله بین دو کشور که رابطه تجاری مستقیم با یکدیگر ندارند کاهش یافته است (کاهش متوسط طول مسیر به ۱/۸۵).
۷. شبکه تجارت سوخت در هر دو سال نمونه تماماً هم‌بند بوده و در نتیجه تمام کشورها تحت تأثیر کل روابط شبکه هستند (تعداد مؤلفه‌ها برابر ۱).
۸. رشد شکل‌گیری ارتباطات تجاری در قالب خوشه‌های تجاری (افزایش متوسط ضریب خوشه‌بندی به ۰/۶۲۵).
۹. به‌طور متوسط توانایی هر کشور در تأثیر بر جریان تجارت سوخت کاهش یافته است (کاهش متوسط مرکزیت میانی به ۰/۰۳۴).
۱۰. درهم‌تنیدگی روابط تجاری کشورها و تعداد شرکای تجاری مشترک میان کشورها افزایش یافته است (افزایش متوسط مرکزیت نزدیکی به ۰/۵۱۴).
۱۱. کشورها ارتباطات تجاری با شرکایی که نقش بیشتری در شبکه تجارت دارند را افزایش داده‌اند (افزایش متوسط مرکزیت بردار ویژه به ۰/۳۶۹).
- به‌طور کلی آن‌طور که از شواهد به‌دست آمده حاکی است، افزایش روابط تجاری هم برای کشورهای صادرکننده و هم کشورهای واردکننده در راستای متنوع‌سازی طرف‌های تجاری و عدم وابستگی شدید به چند کشور خاص انجام شده است. ضمن اینکه اهمیت کشورهای خاص در طول زمان در شبکه تجارت کاهش یافته و کاملاً همسو با استراتژی‌های بهبود امنیت انرژی است که تقریباً همه کشورها به دنبال آن هستند. افزایش ضریب خوشه‌بندی نشان می‌دهد روابط تجاری به شکل مثلی افزایش یافته است. همچنین افزایش خوشه‌بندی حکایت از افزایش یکپارچگی در بلوک‌های تجاری و رشد موانع تجاری خارج از بلوک‌ها است. مضمون دیگری که این ویژگی دارد افزایش احتمال سرایت بحران‌های اقتصادی بین کشورهای داخل خوشه‌های تجاری است، البته در این صورت بحران‌های بروز یافته با احتمال کمتری به‌صورت فراگیر در کل شبکه تجارت گسترده می‌شوند، با این حال کشورهای داخل خوشه تجاری بیشتر از یکدیگر متأثر می‌شوند (کندوگان، ۲۰۱۸). علاوه بر این از آنجا که شبکه تجارت سوخت تماماً هم‌بند

است تمام روابط تجاری بین کشورها بر تک تک کشورهای حاضر در تجارت سوخت تأثیر می‌گذارد و هیچ کشوری مستقل از تجارت بین‌الملل نیست. در نمودارهای (۱) و (۲) نیز فراوانی نسبی درجه شبکه تجارت برحسب تعداد درجه-ورود و درجه-خروج ترسیم شده است. در فاصله سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۹۵ به‌وضوح هر دو دسته کشورهای صادرکننده و واردکننده اقدام به گسترش و متنوع سازی تعداد ارتباطات تجاری نموده‌اند.

جدول ۱. توپولوژی شبکه تجارت سوخت در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷

سال		معیار
۱۹۹۵	۲۰۱۷	
۲۲۰	۲۳۱	تعداد گره‌ها (کشورها)
۵۶۵۳	۱۰۷۰۱	تعداد یال‌ها (روابط تجاری)
۲۵/۶۹	۴۶/۳	میانگین درجه
۵	۴	قطر گراف
۰/۱۱	۰/۲۰	چگالی گراف
۲/۱۰۶	۱/۸۵۴	متوسط طول مسیر
۱	۱	تعداد مؤلفه‌ها
۰/۵۳	۰/۶۲۵	متوسط ضریب خوشه‌بندی
۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۳۴	متوسط مرکزیت میانی
۰/۴۱۹	۰/۵۱۴	متوسط مرکزیت نزدیکی
۰/۲۸۵	۰/۳۶۹	متوسط مرکزیت بردار ویژه

مأخذ: نتایج تحقیق



نمودار ۲. فراوانی نسبی درجه- ورود

نمودار ۱. فراوانی نسبی درجه- خروج

(تعداد روابط صادراتی) در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ (تعداد روابط وارداتی) در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷

در ادامه، با استفاده از الگوریتم جزیره‌ای بودن که پیش‌تر معرفی شد کشورهای شبکه تجارت سوخت در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ به اجتماع‌های تجاری تقسیم شدند که ۱۰ کشور نخست هر اجتماع تجاری براساس سهم آن از تجارت در جدول (۲) گزارش شده است. از کشورهای عضو هر اجتماع گرایش به منطقه‌ای بودن تجارت سوخت قابل برداشت است و این پدیده در فاصله این سال‌ها افزایش نیز یافته است (که همسو با نتیجه افزایش متوسط ضریب خوشه‌بندی است). به‌طور مثال، در سال ۱۹۹۵ ایران در اجتماعی قرار دارد که کشورهای فرانسه، ایتالیا و اسپانیا در آن هستند در حالی که در سال ۲۰۱۷ ایران در اجتماعی حضور دارد که چین، ژاپن، سنگاپور و اندونزی حضور دارند. در مقابل فرانسه، ایتالیا و اسپانیا در سال ۲۰۱۷ در اجتماعی هستند که هلند، روسیه و آلمان قرار دارند. نمونه دیگر نیجریه است که در سال ۱۹۹۵ در اجتماع کشورهای امریکای شمالی و لاتین قرار دارد اما در سال ۲۰۱۷ در اجتماع کشورهای هند، عربستان، استرالیا و کشورهای آفریقایی قرار گرفته است.

جدول ۲. کشورهای عضو اجتماع‌های تجاری در سال ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷

رتبه (سهم از تجارت)	اجتماع تجاری سال ۱۹۹۵					اجتماع تجاری سال ۲۰۱۷					
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	
۱	ساحل‌عاج	عربستان	هلند	امریکا	چین	امریکا	امریکا	فرانسه	ژاپن	اردن	روسیه
۲	سنگال	هند	روسیه	کانادا	ژاپن	کانادا	ایتالیا	عربستان سعودی	عراق	انگلستان	
۳	مالی	کره جنوبی	انگلستان	مکزیک	سنگاپور	ونزوئلا	ایران	سنگاپور	-	آلمان	
۴	بورکینافاسو	امارات	آلمان	برزیل	اندونزی	نیجریه	اسپانیا	امارات	-	هلند	
۵	بنین	استرالیا	بلژیک	ونزوئلا	مالزی	مکزیک	لیبی	کره جنوبی	-	نروژ	
۶	نیجر	عراق	ایتالیا	کلمبیا	تایوان	برزیل	الجزایر	اندونزی	-	اکراین	
۷	سیرالئون	نیجریه	فرانسه	اکوادور	قطر	آنگولا	ترکیه	چین	-	سوئیس	
۸	سنت وینسنت و گرنادین‌ها	کویت	نروژ	پاناما	ایران	کلمبیا	افریقای جنوبی	کویت	-	سوئد	
۹	جزایر تورکس و کایکوس	افریقای جنوبی	اسپانیا	شیلی	تایلند	آرژانتین	پرتغال	استرالیا	-	لهستان	
۱۰	-	مصر	الجزایر	پرو	آنگولا	آنتیل هلند	سوریه	مالزی	-	ایرلند	

مأخذ: نتایج تحقیق

در گام بعدی برای ارزیابی و شناسایی اهمیت بازیگران اصلی شبکه تجارت سوخت، کشورها را برحسب معیارهایی که در بخش پیشین معرفی شد رتبه‌بندی می‌کنیم. در جدول (۳) ده کشور نخست برحسب بیشترین روابط تجاری صادراتی (میزان درجه-ورود) و وارداتی (میزان درجه-خروج) و بیشترین سهم در صادرات (درجه-ورود با لحاظ وزن) و بیشترین سهم در واردات (درجه-خروج با لحاظ وزن) سوخت گزارش شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود از نظر تعداد روابط صادراتی و وارداتی هلند رتبه نخست را دارد در حالی که بزرگ‌ترین

صادرکننده سوخت عربستان سعودی و بزرگ‌ترین واردکننده سوخت چین هستند و هلند در رتبه‌بندی سهم صادراتی و سهم وارداتی ششم است. ایران نیز از نظر سهم در ارزش صادرات سوخت رتبه ۹ را دارد اما در شاخص‌های دیگر جزء ۱۰ کشور نخست نیست. تعداد روابط تجاری (درجه هر گره در گراف) دو مضمون مهم دارد. هرچه تعداد روابط تجاری یک کشور بیشتر باشد احتمال اینکه کشور از جریان وقایع حادث شده در شبکه متأثر شود بیشتر می‌شود. این می‌تواند یک بحران اقتصادی و یا پیشرفت تکنولوژی باشد. ضمن اینکه افزایش ارتباطات هر کشور (درجه هر گره) بازارهای صادراتی را برای کشورهای صادرکننده افزایش می‌دهد و برای کشورهای واردکننده منابع متنوعی برای واردات مهیا می‌کند (کندوگان، ۲۰۱۸).

با این حال برای ارزیابی دقیق اهمیت هر کشور در شبکه تجارت سوخت باید از معیارهای مرکزیت استفاده نمود. چه بسا کشوری با سهمی کمتر از تجارت اهمیت بیشتری در تجارت جهانی داشته باشد. ملاحظه می‌شود که از نظر هر چهار معیار گزارش شده کشور هلند رتبه نخست را در میان کشورها دارد. در نتیجه بازیگر اصلی شبکه تجارت سوخت کشور هلند است. این کشور با وجود اینکه از نظر سهم صادرات و واردات از کشورهایی نظیر عربستان، روسیه و امریکا رتبه پایین‌تری دارد اما به گونه‌ای روابط تجاری با کشورهای مختلف به‌ویژه کشورهای اصلی صادرکننده و واردکننده برقرار نموده که کمترین ضریب خوشه‌بندی، بیشترین مرکزیت بردار ویژه، مرکزیت نزدیکی و میانی را دارد و در نتیجه بیش از دیگر کشورها قادر به کنترل جریان تجارت و تأثیرگذاری بر شبکه تجارت سوخت است. پس از این کشور امریکا و فرانسه هستند که نقش بیشتری در شبکه تجارت سوخت بازی می‌کنند. نکته قابل توجه در این جدول عدم حضور کشورهای بزرگ صادرکننده سوخت نظیر روسیه و عربستان است. در بین کشورهای حوزه خلیج فارس کشور امارات به نظر می‌رسد موفق‌ترین کشور در شبکه تجارت سوخت در سال ۲۰۱۷ است که توانسته با گسترش ارتباطات تجاری خود نقش بیشتری داشته باشد. البته همچنان از نظر مرکزیت میانی جزء ۱۰ کشور نخست نیست.

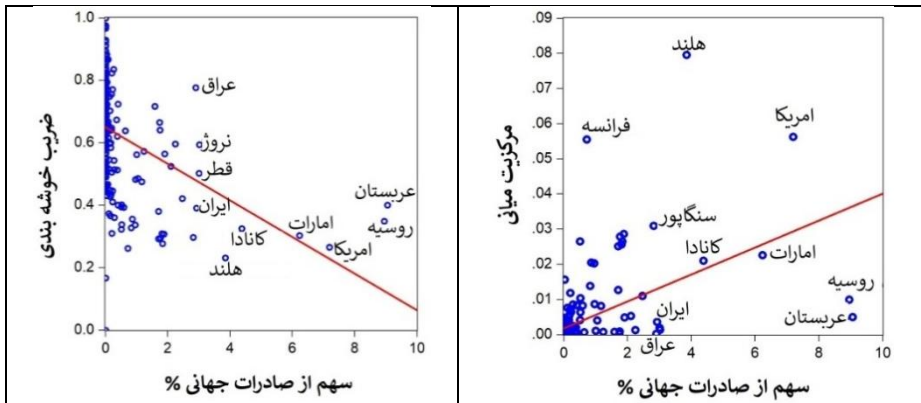
جدول ۳. ده کشور نخست شبکه تجارت سوخت در در معیارهای درجه‌ای و مرکزیت در سال ۲۰۱۷

ردیف	مرکزیت بردار ویژه	معکوس ضریب خوشه‌بندی	مرکزیت نزدیکی	تعداد روابط تجاری صادراتی	تعداد روابط تجاری وارداتی	سهم در صادرات جهانی	سهم در واردات جهانی	مرکزیت میانی
۱	هلند	هلند	هلند	هلند	هلند	عربستان	چین	هلند
۲	امریکا	فرانسه	فرانسه	امارات	فرانسه	روسیه	امریکا	امریکا
۳	فرانسه	امریکا	امریکا	فرانسه	فرانسه	امریکا	ژاپن	فرانسه
۴	انگلستان	چین	چین	چین	انگلستان	امارات	هند	سنگاپور
۵	چین	بلژیک	بلژیک	بلژیک	سنگاپور	کانادا	کره جنوبی	کره جنوبی
۶	بلژیک	هند	امارات	امارات	چین	هلند	هلند	هند
۷	آلمان	سنگاپور	ترکیه	ترکیه	بلژیک	نروژ	سنگاپور	افریقای جنوبی
۸	سنگاپور	امارات	ایتالیا	ایتالیا	آلمان	قطر	آلمان	چین
۹	هند	کره جنوبی	انگلستان	انگلستان	هند	ایران	انگلستان	انگلستان
۱۰	امارات	انگلستان	هند	هند	کره جنوبی	عراق	ایتالیا	بلژیک

مأخذ: نتایج تحقیق

در نمودار (۳) پراکندگی معیار مرکزیت میانی در مقابل سهم صادراتی کشورها ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود که لزوماً کشورهای با سهم صادراتی بالا مرکزیت میانی بالاتری ندارند. کشورهای نظیر عربستان و روسیه با آن که بزرگ‌ترین صادرکننده سوخت هستند، اما مرکزیت میانی کمتری از کشورهای امارات، فرانسه، هلند یا حتی سنگاپور دارند. بنابراین تنوع ارتباطات تجاری و اهمیت طرف‌های تجاری در نقش کشورها در شبکه صادرات سوخت نیز تعیین‌کننده است و تنها سهم از جریان تجاری تعیین‌کننده نیست. در نمودار (۴) نیز پراکندگی سهم صادراتی در مقابل ضریب خوشه‌بندی ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود که کشورهای با سهم صادرات بالا ضریب خوشه‌بندی پایین‌تری دارند که نشان می‌دهد کمتر تمایل به تجارت در قالب خوشه‌ها و بلوک‌های تجاری داشته‌اند (همین وضعیت برای کشورهای با سهم واردات بزرگ‌تر نیز صادق

است). نکته دیگر حضور کشورهای بزرگ مصرف‌کننده انرژی نظیر چین، هند، فرانسه، سنگاپور و کره جنوبی در بین ۱۰ کشور نخست از نظر معیار مرکزیت میانی و مرکزیت نزدیکی است. این نکته از این نظر حائز اهمیت است که اختلال در تقاضای سوخت این کشورها می‌تواند کل شبکه تجارت جهانی سوخت را متأثر نموده و به‌ویژه کشورهای صادرکننده به این کشورها را دچار چالش اساسی کند. این مسأله برای چین، سنگاپور، کره جنوبی، هند و فرانسه که مرکزیت نزدیکی بالایی نیز دارند بیشتر حائز اهمیت است. به‌طور مثال تغییر تقاضای سوخت این کشورها می‌تواند ضمن تغییر در آمد اکثر کشورهای صادرکننده، باعث تغییر قیمت سوخت و حتی تأثیر بر جریان صادرات (عرضه) سوخت به کشورهای دیگر شود.



نمودار ۴. پراکنش درصد سهم صادراتی و ضریب خوشه‌بندی در سال ۲۰۱۷

نمودار ۳. پراکنش درصد سهم صادراتی و امتیاز مرکزیت میانی در سال ۲۰۱۷

جدول ۴. رتبه ایران، عربستان و روسیه در شبکه تجارت سوخت سال ۲۰۱۷

مرکزیت میانی	مرکزیت نزدیکی	معکوس ضریب خوشه‌بندی	مرکزیت بردار ویژه	تعداد روابط تجاری وارداتی	تعداد روابط تجاری صادراتی	
۲۷	۲۵	۲۵	۲۷	۵۸	۲۳	ایران
۲۵	۲۷	۲۷	۱۷	۲۸	۲۴	عربستان
۱۷	۱۷	۱۷	۲۵	۲۶	۱۶	روسیه

مأخذ: نتایج تحقیق

در جدول (۴) نیز رتبه کشورهای ایران، عربستان و روسیه از نظر معیارهای سنجش گراف برای سال ۲۰۱۷ گزارش شده است. ملاحظه می‌شود که روسیه نسبت به دو کشور دیگر جایگاه بالاتری دارد که علت آن می‌تواند دسترسی بیشتر روسیه به بازارهای امریکا و اروپا باشد. اگرچه رتبه ایران از نظر تعداد روابط صادراتی از کشور عربستان بالاتر است، اما به دلیل اینکه عربستان با کشورهای مهم‌تری در شبکه تجارت (نظیر امریکا) در ارتباط است (هم از نظر تعداد روابط و هم حجم تجارت) از نظر مرکزیت بردار ویژه و معیار مرکزیت میانی جایگاهی بهتر از ایران دارد. با این حال تفاوت رتبه ایران و عربستان چندان چشمگیر نیست.

جدول ۵. مقایسه عملکرد ایران با ۶ کشور منتخب در شبکه تجارت سوخت بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷

سال	تعداد روابط تجاری صادراتی	تعداد روابط تجاری وارداتی	سهم از ارزش صادرات جهانی	سهم از ارزش واردات جهانی	مرکزیت بردار ویژه	ضریب خوشه بندی	مرکزیت نزدیکی	مرکزیت میانی
ایران	۱۹۹۵ ۸۳	۲۰۱۷ ۱۳۷	۳۹	۶۳	۰/۰۸	۳/۹۷	۰/۴۶	۰/۰۸
امریکا	۱۹۹۵ ۱۵۶	۲۰۱۷ ۱۸۷	۱۱۳	۱۴۸	۱۷/۷۸	۲/۸۳	۱	۹/۸۰
روسیه	۱۹۹۵ ۸۳	۲۰۱۷ ۱۵۳	۶۳	۸۰	۰/۳۵	۸/۹۰	۰/۶۹	۰/۱۳
عربستان	۱۹۹۵ ۷۲	۲۰۱۷ ۱۲۸	۵۰	۷۹	۰/۰۲	۱۱/۳۰	۰/۵۵	۰/۱۸
امارات	۱۹۹۵ ۶۹	۲۰۱۷ ۱۷۳	۴۵	۱۱۵	۰/۰۱	۵/۶۳	۰/۵۳	۰/۷۳
قطر	۱۹۹۵ ۲۹	۲۰۱۷ ۹۵	۲۲	۶۵	۰/۰۰۴	۰/۸۰	۰/۲۸	۰/۰۲۹
عراق	۱۹۹۵ ۵	۲۰۱۷ ۴۷	۳	۵۳	۰/۰۰۰۱	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۰۰۱

مأخذ: نتایج تحقیق

برای بررسی دقیق‌تر جایگاه ایران در شبکه تجارت سوخت به‌طور جزئی‌تر به مقایسه شاخص‌های محاسبه‌شده برای ایران و چند کشور منتخب می‌پردازیم. در جدول (۵) ملاحظه می‌شود که ایران در فاصله سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۹۵ توانسته است تعداد ارتباطات تجاری صادراتی و وارداتی خود را به مقداری قابل توجه افزایش دهد که این مسأله به افزایش مرکزیت بردار ویژه و مرکزیت نزدیکی ایران در شبکه تجارت سوخت منجر شده است. با این حال ایران حدود ۱ درصد از سهم تجارت جهانی سوخت را از دست داده و این مسأله امتیاز مرکزیت میانی ایران را هم کاهش داده است. البته مشکلات ناشی از تحریم‌ها و محدود شدن حجم صادرات و عدم امکان برقراری رابطه تجاری با بازیگران اصلی شبکه تجارت سوخت نقش مهمی در این مسأله دارد. به نظر می‌رسد این مسأله نیز باعث افزایش ضریب خوشه‌بندی ایران در فاصله سال ۲۰۱۷-۱۹۹۵ شده است.

برای کشور امریکا ملاحظه می‌شود که این کشور توانسته ضمن افزایش ارتباطات تجاری، سهم خود از صادرات را بیش از ۲ برابر کند و سهم از واردات را نیز کاهش دهد. با این حال به دلیل متمایل شدن این کشور به افزایش تجارت با کشورهای خاص در غالب خوشه تجاری، ضریب خوشه‌بندی افزایش و مرکزیت بردار ویژه آن کاهش یافته، ضمن اینکه امتیاز مرکزیت میانی نیز کاهش یافته که حاکی از کاهش توانایی این کشور در کنترل جریان تجارت سوخت در فاصله این سال‌ها است. چنین وضعیتی برای روسیه نیز مشاهده می‌شود با این تفاوت که روسیه نتوانسته سهم صادرات خود را چندان افزایش دهد. امارات با وجود اینکه سهم از صادرات کمتری نسبت به عربستان و روسیه دارد اما توانسته است با گسترش ارتباطات تجاری با کشورهای مهم در شبکه تجارت سوخت عملکردی خوب داشته باشد و نقش خود را در تجارت سوخت اهمیت بخشد به گونه‌ای که در مرکزیت میانی، نزدیکی و بردار ویژه از تمام کشورهای حوزه خلیج فارس و حتی روسیه امتیاز بالاتری در سال ۲۰۱۷ داشته باشد. نکته آخر ظهور کشورهای قطر و امارات در تجارت سوخت است. این دو کشور با افزایش بیش از ۲ برابری سهم خود از صادرات جهانی و افزایش ارتباطات تجاری در فاصله ۲۰۱۷-۱۹۹۵ توانسته‌اند امتیاز

خود را از نظر تمامی معیارهای سنجش گراف بهبود دهند و به‌عنوان یک کشور مهم در شبکه تجارت سوخت ظاهر شوند. در این میان قطر توانسته تقریباً به جایگاه ایران در تجارت سوخت برسد. همچنین ملاحظه می‌کنیم که ضریب خوشه‌بندی این دو کشور برخلاف دیگر کشورهای گزارش شده کاهش یافته است که نشان می‌دهد امارات و قطر در این فاصله زمانی به تجارت در داخل خوشه‌های تجاری تمایل کمتری دارند.

یکی از استراتژی‌های افزایش اهمیت یک کشور در شبکه تجارت جهانی برقراری رابطه تجاری با کشورهایی است که اهمیت نسبی بیشتری در شبکه تجارت دارند. در جدول (۶) پانزده کشوری که با ایران در سال ۲۰۱۷ رابطه تجاری در سوخت نداشته‌اند براساس معیارهای مرکزیت میانی و مرکزیت بردار ویژه رتبه‌بندی و گزارش شده‌اند. برقراری ارتباط تجاری ایران با این کشورها به افزایش اهمیت ایران در شبکه تجارت سوخت کمک خواهد نمود. در نتیجه، برای افزایش نفوذ ایران، ورود به بازارهای این کشورها به سیاستگذاران ایران توصیه می‌شود.

جدول ۶. پانزده کشوری که در سال ۲۰۱۷ تجارت سوخت با ایران نداشته‌اند

رتبه	مرکزیت میانی	مرکزیت بردار ویژه	رتبه	مرکزیت میانی	مرکزیت بردار ویژه	رتبه	مرکزیت میانی	مرکزیت بردار ویژه
۱	پالائو	سورینام	۶	مالت	مجارستان	۱۱	لوکزامبورگ	لیبی
۲	سورینام	نروژ	۷	مجارستان	ایسلند	۱۲	پاپوآ گینه نو	باهاما
۳	باهاما	قبرس	۸	ساموآ	لوکزامبورگ	۱۳	ایرلند	نامیبیا
۴	نامیبیا	مالت	۹	نروژ	اسلواکی	۱۴	کابو وود	سیشل
۵	ایسلند	ایرلند	۱۰	آنتیگوا و باربودا	پاراگوئه	۱۵	سنت کیس و نویس	پاپوآ گینه نو

مأخذ: نتایج تحقیق

## ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با در نظر گرفتن شبکه تجارت بین‌الملل سوخت به‌عنوان یک گراف وزن‌دار و جهت‌دار، توپولوژی شبکه تجارت و جایگاه کشورها در دو سال ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. اهمیت بررسی روابط تجاری کشورها در قالب شبکه از آنجاست که اهمیت یک کشور در یک شبکه، مستقل از نقش دیگر کشورها نیست و استفاده از معیارهای سنتی نظیر سهم از صادرات و واردات، درجه باز بودن تجاری، تعداد شرکای تجاری و غیره در رتبه‌بندی اهمیت کشورها و ارزیابی ساختار شبکه می‌تواند نتایج تورش‌دار ایجاد کند. به این منظور در ابتدا با استفاده از معیارهای کمی نظریه گراف توپولوژی شبکه تجارت سوخت در سال ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ تجزیه و تحلیل شد. ملاحظه گردید به دلیل اینکه شبکه تجارت سوخت تک مؤلفه‌ای است، هیچ کشوری و هیچ ارتباط تجاری مستقل از شبکه نیست. همچنین متوسط ارتباطات تجاری (هم صادرات و هم واردات) و تراکم شبکه تجارت افزایش یافته و به‌طور متوسط نقش کشورها در تأثیرگذاری بر جریان تجارت سوخت کاهش یافته است. به‌طور کلی شبکه تجارت سوخت متراکم‌تر و درهم‌تنیده‌تر و فاصله میان کشورها کاسته شده، اما تجارت به شکل خوشه‌های تجاری و منطقه‌ای افزایش یافته است. این نتایج همسو با نتایج تحقیقات قبلی در تجارت سوخت نظیر ژونگ و همکاران (۲۰۱۷) و تجارت دیگر کالاها نظیر شیرازی و همکاران (۱۳۹۴) است. نهایتاً، محاسبه معیارهای مرکزیت ارزیابی جایگاه و اهمیت کشورها را در شبکه تجارت مقذور می‌کند. برخی کشورها اگرچه از تجارت سهمی بیشتری دارند (مثل روسیه و عربستان) اما لزوماً اهمیت بیشتری در شبکه تجارت ندارند، درحالی‌که کشورهایی مثل هلند یا امارات متحده عربی با شکل‌دهی روابط تجاری بهینه اهمیت خود در تجارت سوخت را افزایش داده‌اند. همچنین جایگاه ایران در تجارت سوخت تنزل داشته که شیرازی و همکاران (۱۳۹۴) نیز چنین نتیجه‌ای را در تجارت دیگر کالاها به‌دست آوردند. در واقع اگرچه تعداد ارتباطات تجاری ایران افزایش یافته، اما این ارتباطات تجاری با کشورهایی بوده که اهمیت کمتری در شبکه جهانی داشته‌اند.

بنابراین برای بهبود توان رقابتی و نقش استراتژیک ایران در تجارت جهانی سوخت که از اهداف سند چشم انداز ۲۰ ساله است (امرای و همکاران، ۱۳۹۲)، ارتباط تجاری با کشورهای نافذ در شبکه تجارت (براساس معیارها و نتایج تحقیق) به سیاستگذاران کشور توصیه می‌شود. تسهیل برقراری ارتباط تجاری با کشورهایی که مطابق معیارهای معرفی شده در تحقیق اهمیت بیشتری در شبکه تجارت سوخت دارند، اهمیت استراتژیک ایران در تجارت بین‌الملل را ارتقا می‌بخشد. ضمن اینکه متنوع‌سازی ارتباطات تجاری گامی مؤثر در جهت افزایش نفوذ و انعطاف‌پذیری اقتصادی-سیاسی در عرصه بین‌المللی بوده و در راستای اهداف اقتصاد مقاومتی است.

در تحقیق حاضر کاربرد نظریه گراف در تجزیه و تحلیل و شناخت توپولوژی شبکه تجارت سوخت مورد توجه بوده است. در تحقیقات آتی بررسی علل شکل‌گیری تجارت در قالب پدیده‌های مذکور می‌تواند مورد توجه محققین قرار گیرد. همچنین مطالعه و ارزیابی تجارت بین‌المللی انواع حامل‌های انرژی با تفکیک بیشتر نظیر گاز طبیعی، فرآورده‌های نفتی و غیره برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود.

## منابع

- امرای، فرید؛ کلانتر، اسداله و امین امرایی (۱۳۹۲). "نگاهی به برنامه‌های چهارم و پنجم توسعه در چشم‌انداز صنعت نفت"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی. (۲۱)، صص ۷۷-۹۲
- شیرازی، همایون؛ آذربایجانی، کریم و مرتضی سامتی (۱۳۹۴)، "بررسی جایگاه ایران در تجارت بین‌المللی: یک رهیافت شبکه"، تحقیقات اقتصادی، دوره ۵۰، شماره ۴، صص ۹۰۲-۸۸۱
- نیکی اسکویی، کامران؛ بهبودی، داود و حسین اصغرپور (۱۳۹۷). "طراحی مدل عامل بنیان برای تعیین استراتژی ایران در تجارت بین‌المللی گاز"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی. (۱۰) ۴، صص ۹۷-۶۷.

- Bhattacharya K., Mukherjee G., Saramäki J., Kaski K. and S.S. Manna** (2008). "The International Trade Network: Weighted Network Analysis and Modelling". *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, No. 02.
- De Benedictis L., Nenci S., Santoni G., Tajoli L. and C. Vicarelli** (2014). "Network Analysis of World Trade Using the BACI-CEPII Dataset", *Global Economy Journal*, 14(3-4), pp. 287-343.
- Ji Q., Zhang H.Y. and Y. Fan** (2014). "Identification of Global Oil Trade Patterns: An Empirical Research Based on Complex Network Theory", *Energy Conversion and Management*, No. 85, pp. 856-865.
- Kandogan Y.** (2018). "Topological Properties of the International Trade Network Using Modified Measures". *The International Trade Journal*, 32(3), pp. 268-292.
- Serrano M.A. and M. Boguná** (2003). "Topology of the World Trade Web". *Physical Review E*, 68(1), pp. 15-101.
- Shenton C.R.** (2017). A Network Theory Approach to the Study of International Commodity Markets (Doctoral Dissertation, University of Surrey).
- Tajoli L. and L. De Benedictis** (2010). "Comparing Sectoral International Trade Networks". *AUSSENWIRTSCHAFT*, 65(II), pp. 53-73.
- Zhong W., An H., Shen L., Dai T., Fang W., Gao X. and D. Dong** (2017). "Global Pattern of the International Fossil Fuel Trade: The Evolution of Communities". *Energy*, No. 123, pp. 260-270.