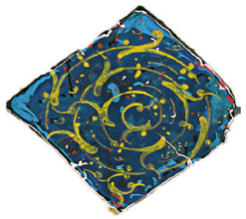
****

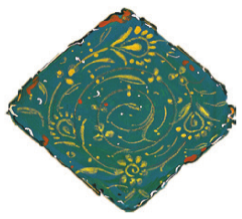
تحلیل شبکه تجارت نفت: پایداری، بهینه‌سازی و تأثیرات جهانی



تألیف

دکتر روح­اله شهنازی

دکتر نجمه ساجدیان فرد



**1403**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | http://opac.nlai.ir/nli.gif | | ‏سرشناسه | : | شهنازی، روح­اله، ‏ | | ‏عنوان و نام پديدآور | : | تحلیل شبکه تجارت نفت: پایداری، بهینه‌سازی و تأثیرات جهانی/ تألیف روح اله شهنازی و نجمه ساجدیان فرد | | ‏مشخصات نشر | : | تهران: 1403 ‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬ | | ‏مشخصات ظاهری | : | ‏ | | ‏شابک | : |  | | ‏وضعیت فهرست نویسی | : | فیپا | | ‏یادداشت | : | کتابنامه: ص.[۴۶۸]-۴۷۳. | | ‏موضوع | : |  | | ‏موضوع | : | Strategic planning -- Iran -- History | | ‏موضوع | : |  | | ‏موضوع | : | Planning | | ‏موضوع | : |  | | ‏موضوع | : | Sustainable development -- Iran -- Planning | | ‏شناسه افزوده | : |  | | ‏شناسه افزوده | : |  | | ‏رده بندی کنگره | : | ‏ | | ‏رده بندی دیویی | : | ‏ | | ‏شماره کتابشناسی ملی | : | ‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬ | | ‏وضعيت ركورد | : | فیپا | |  |  |



**نام كتاب:** تحلیل شبکه تجارت نفت: پایداری، بهینه‌سازی و تأثیرات جهانی

**تألیف:** دکتر روح­اله شهنازی و دکتر نجمه ساجدیان فرد

**بازخوانی و ویرایش:**

**طراح جلد:**

**ناشر:**

**نوبت چاپ:** اول-تهران: 1403

**تيراژ:** 1000 نسخه

**قيمت:**

**چاپ و صحافی:**

**شابک:**

ISBN:

**آدرس:**

# فهرست

**عنوان صفحه**

**پیشگفتار..........................................................................................................................9**

[1- کلیات نفت و اثرات استفاده از آن 15](#_Toc178070413)

[1-1- نفت خام چیست؟ 15](#_Toc178070414)

[1-2- استفاده از نفت خام 15](#_Toc178070415)

[1-3- اثرات اقتصادی استفاده از نفت 17](#_Toc178070416)

[1-4- اهمیت نفت برای کشورهای صادرکننده نفت 19](#_Toc178070417)

[1-5- اثرات منفی استفاده از نفت خام 21](#_Toc178070418)

[1-6- اثرات منفی نفت خام برای کشورهای صادرکننده 22](#_Toc178070419)

[2- پویایی‌های تولید و مصرف جهانی نفت 27](#_Toc178070422)

[2-1- اهمیت درک روند تولید، مصرف و قیمت نفت 28](#_Toc178070423)

[2-1-1- تکامل صنعت نفت مدرن از قرن 19 تاکنون 29](#_Toc178070424)

[2-2- تحلیل روندهای فعلی تولید نفت 31](#_Toc178070425)

[2-3- عوامل سمت تقاضا مؤثر بر الگوهای مصرف نفت 32](#_Toc178070426)

[2-4- کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت و تعادل در بازار جهانی 33](#_Toc178070427)

[2-5- پیش‌بینی روندهای آینده در تولید و مصرف نفت 34](#_Toc178070428)

[2-5-1- عوامل محرک تغییرات آتی در عرضه و تقاضای نفت 35](#_Toc178070429)

[2-5-2- عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های مرتبط با پیش‌بینی‌های بلندمدت در بازار نفت 36](#_Toc178070430)

[2-6- عوامل مؤثر بر قیمت نفت 37](#_Toc178070431)

[2-6-1- نقش بازارهای مالی، سفته‌بازی و تمایل سرمایه‌گذاران در نوسانات قیمت نفت 39](#_Toc178070432)

[2-7- تعامل بین شاخص‌های کلان اقتصادی، نوسانات ارز و قیمت نفت 40](#_Toc178070433)

[2-8- ارزیابی پیامدهای روند تولید و مصرف نفت برای امنیت جهانی انرژی 41](#_Toc178070434)

[2-8-1- تحلیل مخاطرات و تعارضات ژئوپلیتیکی مرتبط با مناطق نفت‌خیز 41](#_Toc178070435)

[2-9- انتقال به سمت منابع انرژی پاک‌تر و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی 44](#_Toc178070436)

[2-10- ادغام ملاحظات پایداری در سیاست‌های انرژی و تصمیمات سرمایه‌گذاری 45](#_Toc178070437)

[3- امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری 51](#_Toc178070439)

[3-1- ظهور آژانس بین‌المللی انرژی و اهمیت آن در تأمین امنیت انرژی 51](#_Toc178070440)

[3-2- امنیت انرژی چیست و چه اهمیتی دارد؟ 57](#_Toc178070441)

[3-3- سنجش امنیت عرضه انرژی 63](#_Toc178070442)

[3-4- شاخص‌های سنجش امنیت عرضه انرژی 69](#_Toc178070443)

[3-5- پایداری، تنوع و تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت 73](#_Toc178070444)

[3-5-1- شاخص پایداری کشورها در شبکه تجارت نفت خام 76](#_Toc178070446)

[3-5-2- تحلیل تابآوری شبکه تجارت در طرح 80](#_Toc178070447)

[4- تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری 89](#_Toc178070448)

[4-1- بخش اول: تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت خام 93](#_Toc178070449)

[4-1-1- ساختار شبکه 93](#_Toc178070450)

[4-1-2- ویژگی‌های شبکه تجارت نفت خام 95](#_Toc178070451)

[4-2- تعیین پایداری در شبکه تجارت نفت 99](#_Toc178070452)

[4-3- تعیین سهم مؤثر 102](#_Toc178070453)

[4-4- بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در واردات، صادرات و کل تجارت 107](#_Toc178070454)

[4-5- نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی تحلیل تاب‌آوری 112](#_Toc178070455)

[4-6- بخش دوم: تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت 114](#_Toc178070456)

[4-7- نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی‌ نفت 122](#_Toc178070458)

[پیوست 1: روابط ریاضی مربوط به تحلیل تاب‌آوری 125](#_Toc178070459)

[5- الگوهای بهینه‌یابی شبکه تجارت نفت 129](#_Toc178070461)

[5-1- الگوی پایه: الگوریتم درخت پوشای کمینه 129](#_Toc178070462)

[5-2- روش تبرید شبیه‌سازی‌‌شده 134](#_Toc178070463)

[5-2-1- بهینه‌سازی ترکیبی 135](#_Toc178070464)

[5-2-2- مکانیک آماری 138](#_Toc178070465)

[5-3- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده 140](#_Toc178070466)

[6- شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود بر حسب هزینه‌های انرژی و زیست‌محیطی 179](#_Toc178070467)

[6-1- ویژگی‌های زیست‌محیطی و مصرف انرژی شبکه منطقه‌ای صادرات نفت خام 183](#_Toc178070468)

[6-1-1- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شبکه موجود 183](#_Toc178070469)

[6-1-2- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شبکه بهینه 189](#_Toc178070471)

[6-1-3- همبستگی بین شبکه موجود و شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام 195](#_Toc178070472)

[6-1-4- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شکاف بین شبکه موجود و بهینه 200](#_Toc178070473)

[6-2- نتیجه‌گیری و پیشنهاد‌های تحلیل هزینه‌های زیست‌محیطی و مالی شبکه تجارت نفت 202](#_Toc178070474)

[7-عوامل شکل‌دهنده ساختار، اتصال و پایداری شبکه تجارت نفت 206](#_Toc178070475)

[7-1- عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت 207](#_Toc178070476)

[7-1-1- ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای 207](#_Toc178070477)

[7-2- در دسترس بودن منابع و ذخایر 208](#_Toc178070478)

[7-3- توسعه زیرساخت و اتصال 209](#_Toc178070479)

[7-4- تقاضای جهانی و الگوهای مصرف 211](#_Toc178070480)

[7-5- پویایی بازار و نوسان قیمت 213](#_Toc178070481)

[7-6- قراردادها و سیاست‌های تجاری 214](#_Toc178070482)

[7-7- تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن 216](#_Toc178070483)

[7-8- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش‌دهنده اثرات مخرب محیط‌زیست 218](#_Toc178070484)

[7-9- گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر 219](#_Toc178070485)

[7-10- فناوری‌های استخراج و پالایش 221](#_Toc178070486)

[7-11- راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک 224](#_Toc178070487)

[7-12- دیجیتالی‌سازی و کاربردهای بلاک‌چین 225](#_Toc178070488)

[7-13- درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی 228](#_Toc178070489)

[7-14- جنبش‌های اجتماعی و کنشگری 230](#_Toc178070490)

[7-15- توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی 231](#_Toc178070491)

[8-تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت جهانی نفت 239](#_Toc178070492)

[8-1- تعریف تحریم‌ها و انواع آن 240](#_Toc178070494)

[8-1-1- تحریم‌های اقتصادی 240](#_Toc178070495)

[8-2- تحریم‌های دیپلماتیک 241](#_Toc178070496)

[8-3- تحریم‌های نظامی 241](#_Toc178070497)

[8-4- تحریم‌های حقوق بشری 241](#_Toc178070498)

[8-5- تأثیر تحریم‌ها بر تولید و صادرات نفت 244](#_Toc178070499)

[8-6- تأثیر تحریم‌ها بر تغییر در مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت 247](#_Toc178070500)

[8-7-تأثیر تحریم‌ها بر عوامل مؤثر بر شبکه تجارت جهانی نفت 249](#_Toc178070501)

[8-8- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت 249](#_Toc178070503)

[8-9- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت 250](#_Toc178070505)

[8-10- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت 252](#_Toc178070506)

[8-11- تأثیر تحریم‌ها بر پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک در شبکه تجارت نفت 253](#_Toc178070507)

[8-12- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل اجتماعی- فرهنگی شکل‌دهنده شبکه تجارت نفت 254](#_Toc178070509)

[9- جمع‌بندی 261](#_Toc178070510)

**منابع.**.......................................................................................................................................**273**

پیشگفتار

نفت به عنوان یکی از اصلی‌ترین و حیاتی‌ترین منابع انرژی در جهان، نقشی بی‌بدیل در توسعه اقتصادی کشورها ایفا کرده است. این ماده ارزشمند به عنوان سوخت اصلی برای صنایع، حمل‌ونقل، و تولید انرژی، زیرساخت اقتصادی کشورها را تقویت کرده و به رشد و رفاه اجتماعی کمک شایانی کرده است. در عین حال، نفت به دلیل جایگاه استراتژیک خود، تأثیرات عمیق و گسترده‌ای بر سیاست‌های بین‌المللی و روابط اقتصادی جهانی گذاشته است. کشورهایی که دارای ذخایر غنی نفتی هستند، اغلب از این منبع به عنوان ابزاری برای تقویت موقعیت سیاسی و اقتصادی خود در عرصه جهانی بهره می‌برند. از سوی دیگر، وابستگی کشورهای واردکننده به این منبع انرژی، مناسبات سیاسی و اقتصادی بین‌المللی را به شدت تحت تأثیر قرار داده و گاه به ایجاد تنش‌ها و رقابت‌های منطقه‌ای و جهانی منجر شده است.

با توجه به اهمیت و پیچیدگی‌های مرتبط با نفت، تحلیل دقیق و جامع شبکه تجارت جهانی نفت و بررسی ابعاد مختلف آن، امری ضروری به نظر می‌رسد. شبکه تجارت جهانی نفت یکی از پیچیده‌ترین و مهم‌ترین ابعاد اقتصاد بین‌المللی است که بررسی دقیق و جامع آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این شبکه نه تنها تعیین‌کننده جریان‌های اقتصادی و تجاری میان کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت است، بلکه تأثیرات گسترده‌ای بر سیاست‌های انرژی، امنیت ملی، و توسعه اقتصادی کشورها دارد. بررسی شبکه تجارت جهانی نفت به ما کمک می‌کند تا الگوهای توزیع و جابه‌جایی نفت در سطح جهانی را درک کنیم و به عواملی مانند قیمت‌گذاری، میزان عرضه و تقاضا، و تأثیرات جغرافیایی-سیاسی بر این تجارت پی ببریم. علاوه بر این، مطالعه این شبکه به کشورها این امکان را می‌دهد که نقاط ضعف و قوت خود در زنجیره تأمین نفت را شناسایی کرده و در مواجهه با بحران‌های احتمالی، تصمیمات استراتژیکی اتخاذ کنند. این موضوع به‌ویژه برای کشورهایی که به‌شدت به واردات یا صادرات نفت وابسته هستند، از اهمیت حیاتی برخوردار است.

درک شبکه تجارت جهانی نفت همچنین برای پیش‌بینی و مدیریت نوسانات بازار نفت ضروری است. این شبکه تحت تأثیر عوامل متعددی همچون تحولات سیاسی، تغییرات اقلیمی، فناوری‌های جدید استخراج و توزیع، و تحریم‌های اقتصادی قرار دارد که هر یک می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر قیمت‌ها و دسترسی به نفت تأثیر بگذارند. از سوی دیگر، شناخت دقیق این شبکه به سیاست‌گذاران و فعالان بازار انرژی کمک می‌کند تا راهبردهایی برای تضمین امنیت انرژی و پایداری اقتصادی کشورها تدوین کنند. همچنین، بررسی روندها و تغییرات در شبکه تجارت نفت می‌تواند به کشورهای مصرف‌کننده کمک کند تا منابع جایگزین انرژی را شناسایی کرده و در راستای کاهش وابستگی به نفت گام بردارند. به‌این‌ترتیب، مطالعه شبکه تجارت جهانی نفت نه‌تنها برای اقتصاد جهانی اهمیت دارد، بلکه نقشی کلیدی در شکل‌گیری آینده سیاست‌های انرژی و محیط زیست ایفا می‌کند.

لازم به ذکر است که شبکه تجارت جهانی نفت به دلیل وجود موانع متعددی مانند تحریم‌های نفتی، از وضعیت بهینه خود که می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های انتقال، مصرف انرژی، و انتشار کربن شود، فاصله گرفته است. تحریم‌های نفتی نه تنها مسیرهای تجاری را پیچیده‌تر و طولانی‌تر کرده‌اند، بلکه موجب افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل و مصرف انرژی شده‌اند. این تحریم‌ها کشورها را مجبور می‌کنند تا به جای انتخاب مسیرهای کوتاه‌تر و کارآمدتر، از مسیرهای جایگزین و غالباً غیرمستقیم استفاده کنند. چنین شرایطی نه تنها به افزایش هزینه‌های اقتصادی منجر می‌شود، بلکه به انتشار بیشتر کربن و آسیب‌های زیست‌محیطی نیز دامن می‌زند. از این رو، وضعیت فعلی شبکه تجارت جهانی نفت، به‌طور مستقیم بر اقتصاد جهانی و محیط زیست تأثیر منفی دارد.

با توجه به این چالش‌ها، شناسایی و تحلیل شکاف میان شبکه موجود و شبکه بهینه تجارت جهانی نفت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چنین تحلیلی به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا استراتژی‌هایی را برای بهبود کارایی شبکه موجود تدوین کنند و از طریق کاهش هزینه‌ها و مصرف انرژی، به کاهش انتشار کربن نیز دست یابند. در واقع، نزدیک کردن شبکه تجارت جهانی نفت به حالت بهینه خود، می‌تواند به ایجاد یک سیستم تجاری پایدارتر و کم‌هزینه‌تر منجر شود که همزمان با حفظ منافع اقتصادی، اثرات زیست‌محیطی کمتری نیز داشته باشد. به‌این‌ترتیب، حرکت به سوی یک شبکه بهینه نه تنها به سود اقتصاد جهانی است، بلکه گامی مؤثر در جهت مقابله با تغییرات اقلیمی و حفاظت از محیط زیست محسوب می‌شود.

در این راستا کتاب در هشت فصل به بررسی و تحلیل ابعاد مختلف شبکه تجارت می­پردازد. فصل اول این کتاب به کلیات نفت و اهمیت آن پرداخته و به بررسی تاریخچه و روندهای جهانی تولید و مصرف نفت می‌پردازد. در فصل دوم، پویایی‌های تولید و مصرف جهانی نفت مورد تحلیل قرار می‌گیرد و نقش کشورهای مختلف در این حوزه بررسی می‌شود. همچنین، فصل سوم به بررسی تعاریف و اهمیت امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری شبکه تجارت نفت اختصاص یافته است. یکی از محورهای اصلی این کتاب، تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام با سنجش تاب‌آوری و پایداری در شبکه تجارت نفت است که در فصل چهارم مورد توجه قرار می‌گیرد. در ادامه، فصل پنجم الگوهای بهینه‌یابی شبکه تجارت نفت به لحاظ تئوریک بررسی می­شوند. در فصل ششم، شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود بر حسب هزینه­های انرژی و زیست­محیطی استخراج می­شود. این موضوع به ویژه در شرایط کنونی که بحران‌های زیست‌محیطی و تغییرات اقلیمی به چالش‌های جدی تبدیل شده‌اند، اهمیت ویژه‌ای دارد. علاوه بر این، عوامل مؤثر بر شبکه تجارت نفت در فصل هفتم تحلیل می‌شود و نحوه تأثیر این عوامل بر تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها بررسی می‌شود. فصل هشتم به بررسی تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت نفت می‌پردازد، موضوعی که در سال‌های اخیر به دلیل تنش‌های سیاسی و اقتصادی مختلف به شدت مورد توجه قرار گرفته است.

در انتها بر خود لازم می دانیم از همه کسانی که در تدوین این کتاب نقش داشته‌اند، به ویژه، از بنیاد علم ایران به خاطر تأمین مالی پروژه پسا‌دکتری (کد طرح 99026163) که این کتاب محصول آن است، قدردانی می‌کنیم. حمایت‌های مالی و معنوی بنیاد علم نه تنها امکان تحقیق و نگارش این کتاب را فراهم کرد، بلکه انگیزه‌ای برای ادامه تلاش‌ نویسندگان کتاب در عرصه پژوهش‌های علمی مرتبط بود. همچنین از تمامی همکاران، دوستان و اعضای خانواده که در این مسیر همراهی کردند، سپاسگزاریم. امیدوارم این اثر بتواند به ارتقای دانش و فهم ما از شبکه تجارت نفت کمک کرده و به عنوان یک منبع، بتواند به پژوهشگران، دانشجویان و فعالان حوزه نفت و انرژی در درک بهتر شبکه تجارت نفت و چالش‌های آن کمک کند و زمینه‌ساز تحقیقات و مطالعات بیشتر در این حوزه شود.

فصل اول

کلیات نفت و اثرات استفاده از آن

1. کلیات نفت و اثرات استفاده از آن
   1. نفت خام چیست؟

نفت خام یک مایع تصفیه نشده طبیعی از هیدروکربن‌ها (ترکیبات متشکل از هیدروژن و کربن) است که از مخازن زیر سطح زمین استخراج می‌شود. ترکیب نفت خام بسته به منبع آن می‌تواند متفاوت باشد؛ اما به طور کلی حاوی ترکیبی از هیدروکربن‌های مختلف و همچنین مقادیر کمی گوگرد، نیتروژن و سایر عناصر است. نفت خام طی میلیون‌ها سال از طریق فرایند پیچیده‌ای که شامل دفن، گرم کردن و تبدیل مواد آلی است، تشکیل می‌شود. این ماده آلی معمولاً از بقایای موجودات دریایی مانند پلانکتون‌ها، جلبک‌ها و سایر موجودات میکروسکوپی که در دریاها و اقیانوس‌های باستانی زندگی می‌کردند، تشکیل شده است. فرایند تشکیل نفت خام با تجمع مواد آلی آغاز می‌شود. با گذشت زمان، این ماده توسط رسوبات و لایه‌های دیگر مواد آلی مدفون می‌شود که آن را تحت فشار و حرارت بالا قرار می‌دهد. همان‌طور که مواد آلی در عمق بیشتری دفن می‌شوند، تحت فشار و دمای بالاتری قرار می‌گیرند که باعث می‌شود از نظر شیمیایی به هیدروکربن تبدیل گردد.

هیدروکربن‌هایی که نفت خام را تشکیل می‌دهند، می‌توان به عنوان زنجیره‌های بلندی از اتم‌های کربن و هیدروژن در نظر گرفت که در طی فرایند تبدیل ایجاد می‌شوند. ترکیب دقیق هیدروکربن‌های نفت خام به نوع ماده آلی که در ابتدا دفن شده و شرایطی که تحت آن تبدیل شده است، بستگی دارد. هنگامی که نفت خام تشکیل شد، از طریق لایه‌های سنگی اطراف به سمت سطح حرکت می‌کند. این مهاجرت به دلیل فشاری است که در مخازن نفت و گاز در زیر زمین ایجاد می‌شود. درنهایت، اگر نفت به یک لایه سنگ متخلخل برسد که به آن اجازه جاری شدن دهد، می‌توان آن را از طریق چاه حفر شده در سنگ استخراج کرد.

* 1. استفاده از نفت خام

قدمت استفاده از نفت خام به هزاران سال پیش برمی‌گردد و شواهدی مبنی بر استفاده از آن توسط تمدن‌های باستانی مانند سومری‌ها و بابلی‌ها در خاورمیانه وجود دارد. این جوامع اولیه از نفت خام برای اهداف مختلف ازجمله درزگیر ساختمان، عایق قایق‌‌ها و همچنین پماد دارویی استفاده می‌کردند.

تاریخ مدرن نفت خام به اواسط قرن نوزدهم برمی‌گردد، زمانی که نخستین چاه نفت تجاری در آمریکا، ایالت پنسیلوانیا در سال 1859 حفر شد. این کشف منجر به رونق اکتشاف و تولید نفت گردید و در اوایل قرن بیستم، نفت خام به یک کالای بزرگ جهانی تبدیل شد. توسعه صنعت خودرو در اوایل دهه 1900 تقاضای زیادی برای بنزین ایجاد کرد که از نفت خام تولید می‌شود. این امر منجر به تقاضای بیشتر برای نفت خام شد و در اواسط قرن بیستم، نفت به مهم‌ترین منبع انرژی جهان تبدیل گردید. کشف ذخایر بزرگ نفت در خاورمیانه در دهه‌های 1930 و 1940 اهمیت نفت خام را در اقتصاد جهانی بیشتر تثبیت کرد. امروزه نفت خام یکی از کالاهای مهم در جهان است و تولید، پالایش و مصرف آن تأثیر زیادی بر اقتصاد، سیاست و محیط‌زیست جهانی دارد.

در جامعه مدرن، نفت خام یک منبع ضروری است که نقش مهمی در طیف وسیعی از فعالیت‌ها، از حمل و نقل تا تولید و ساخت و ساز دارد. نفت یک منبع حیاتی انرژی برای بسیاری از فرایندهای صنعتی و یک ماده خام برای تولید طیف متنوعی از محصولات است. البته با وجودی که نفت خام نقش مهمی در قدرت بخشیدن به جامعه مدرن ایفا کرده و یک منبع ضروری برای اقتصاد جهانی می‌باشد. بخشی از اهمیت نفت در جامعه مدرن عبارت‌ است از:

از تولید انرژی نفت خام برای استفاده در حمل و نقل، تولید برق و گرمایش استفاده می‌شود. نفت خام به بنزین، گازوئیل و سوخت‌های هوانوردی برای استفاده در خودروها، کامیون‌ها، کشتی‌ها و هواپیماها تصفیه می‌شود. همچنین برخی از نیروگاه‌ها از نفت خام یا مشتقات آن به عنوان سوخت برای تولید برق استفاده می‌کنند. در ضمن در مناطقی که گاز طبیعی کمیاب است، از محصولات مبتنی بر نفت خام مانند نفت سفید برای گرمایش مسکونی و تجاری استفاده می‌شود.

نفت خام کاربردهای صنعتی زیادی مثلاً در مواد اولیه شیمیایی، تولید آسفالت و روان کننده‌ها دارد. نفت خام یک خوراک اولیه برای صنعت پتروشیمی است که به عنوان منبع مواد شیمیایی مختلف عمل می‌کند و از آن برای تولید اتیلن، پروپیلن، بنزن، تولوئن و زایلن استفاده می‌شود که بلوک‌های سازنده پلاستیک، لاستیک مصنوعی، حلال‌ها و الیاف هستند. همچنین نفت خام در تولید آسفالت اهمیت دارد، زیرا قیر بخش سنگین نفت خام در ساخت راه‌ها و مواد عایق رطوبتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ضمن برخی از بخش‌های نفت خام به روغن‌های روان‌کننده برای ماشین‌آلات و موتورهای خودرو تصفیه می‌شود.

استفاده دیگر نفت خام در تولید محصولات مصرفی بر پایه پلاستیک، لوازم آرایشی و مواد شوینده است. نفت خام پیش ماده‌ای برای تولید پلاستیک می‌باشد که در تولید مواد بسته‌بندی، ظروف، اسباب‌بازی‌ها و کالاهای مصرفی مختلف استفاده می‌شود. همچنین برخی از مواد شیمیایی مشتق از نفت خام به عنوان مواد تشکیل‌دهنده لوازم آرایشی و محصولات مراقبت شخصی استفاده می‌شود. در ضمن تولیدات پتروشیمی مشتق از نفت خام اجزای کلیدی در تولید مواد شوینده و پاک‌کننده هستند.

نفت خام در تولید کودهای شیمیایی استفاده می‌گردد. آمونیاک جزء حیاتی کودها از گاز طبیعی، مشتق نفت خام سنتز می‌شود. در ضمن از مشتقات نفت خام در تولید داروها ازجمله آنتی‌بیوتیک‌ها، مسکن‌ها و هورمون‌های مصنوعی استفاده می‌گردد. همچنین تولیدات پتروشیمی‌ حاصل از نفت خام در تولید رنگ‌ها، پوشش‌ها و درزگیرها برای اهداف ساختمانی استفاده می‌شوند.

* 1. اثرات اقتصادی استفاده از نفت

اثرات اقتصادی استفاده از نفت خام چندوجهی است و پیامدهای مهمی هم برای اقتصادهای فردی و هم برای اقتصاد جهانی به عنوان یک کل دارد. به طور خلاصه، اثرات اقتصادی استفاده از نفت خام گسترده و پیچیده است و جنبه‌های مختلف عملکرد اقتصاد کلان، پویایی تجارت، سیاست مالی، تصمیمات سرمایه‌گذاری و پایداری زیست‌محیطی را در برمی‌گیرد. درک این اثرات برای سیاست‌گذاران، مشاغل و افراد ضروری است تا چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با چشم‌انداز انرژی جهانی را بررسی کنند.

نفت خام محرک اصلی فعالیت اقتصادی است، به‌ویژه در کشورهایی که به شدت به تولید و صادرات نفت وابسته هستند. درآمد حاصل از صادرات نفت به میزان قابل توجهی به تولید ناخالص داخلی (GDP) و درآمدهای دولت در کشورهای تولیدکننده نفت کمک می‌کند. برعکس، قیمت بالای نفت می‌تواند با افزایش هزینه‌های تولید و کاهش قدرت خرید و مخارج مصرف‌کننده به دلیل قیمت‌های بالاتر سوخت به عنوان یک مانع بر رشد اقتصادی کشورهای واردکننده نفت عمل کند.

نوسانات قیمت نفت خام مستقیماً بر نرخ تورم تأثیر می‌گذارد، زیرا هزینه‌های انرژی جزء مهمی از شاخص قیمت مصرف‌کننده است. زمانی که قیمت نفت افزایش می‌یابد، کسب‌وکارها با هزینه‌های تولید بیشتری مواجه می‌شوند که منجر به افزایش قیمت کالاها و خدمات می‌گردد و می‌تواند قدرت خرید و مخارج مصرف‌کننده را کاهش دهد. در مقابل، کاهش قیمت نفت می‌تواند تأثیر بر کاهش تورم داشته باشد و درآمد قابل تصرف بیشتری را برای مصرف‌کنندگان فراهم کند و به طور بالقوه باعث افزایش تقاضا در سایر بخش‌های اقتصادی شود.

برای کشورهای صادرکننده نفت، قیمت‌های بالای نفت می‌تواند منجر به مازاد تجاری و تراز حساب جاری مثبت شود، زیرا درآمدهای حاصل از صادرات نفت بیش از هزینه‌های وارداتی است. این مازاد می‌تواند در برابر شوک‌های اقتصادی مقاومت ایجاد کرده و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها را افزایش دهد. برعکس، کشورهای واردکننده نفت ممکن است با کسری تجاری و تراز حساب جاری منفی در زمانی که قیمت نفت بالا است، مواجه شوند؛ زیرا آنها بیش از درآمدی که از صادرات به دست می‌آورند، برای واردات هزینه می‌کنند که منجر به افزایش وابستگی به تأمین مالی خارجی می‌شود.

قیمت نفت بر تصمیم‌های سرمایه‌گذاری در بخش انرژی تأثیر می‌گذارد، زیرا شرکت‌ها ممکن است فعالیت‌های اکتشاف و تولید را در پاسخ به قیمت‌های بالا گسترش داده یا سرمایه‌گذاری را در دوره‌های قیمت پایین کاهش دهند. تغییرات در قیمت نفت همچنین می‌تواند بر جریان سرمایه تأثیر بگذارد، زیرا سرمایه‌گذاران منابع را بر اساس انتظارات از تغییرات قیمت نفت در آینده تخصیص می‌دهند. به عنوان مثال، نوسانات قیمت نفت می‌تواند بر ارزش سهام انرژی و اوراق قرضه تأثیر بگذارد و بر الگوهای سرمایه‌گذاری در بازارهای مالی مؤثر باشد.

کشورهای تولیدکننده نفت برای تأمین مالی مخارج دولت ازجمله پروژه‌های زیربنایی، برنامه‌های اجتماعی و خدمات عمومی به شدت به درآمدهای حاصل از صادرات نفت متکی هستند. درنتیجه، نوسانات قیمت نفت می‌تواند پیامدهای مهمی بر سیاست‌های مالی و تصمیمات بودجه‌ای داشته باشد. دولت‌ها در کشورهای صادرکننده نفت اغلب سیاست‌های مالی برای مدیریت نوسانات درآمد مانند تأسیس صندوق‌های نفت دولتی، تنوع بخشیدن به اقتصاد یا اجرای قوانین مالی برای صرفه‌جویی در درآمدهای بادآورده در دوره‌های قیمت‌های بالای نفت و کاهش کسری‌ها در زمان نزول قیمت، اجرا می‌کنند.

در حالی که استخراج و مصرف نفت خام مزایای اقتصادی ایجاد می‌کند، هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی ازجمله آلودگی هوا و آب، تخریب زیستگاه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای را در پی دارد که منجر به تغییرات اقلیمی می‌شود. تأثیر اقتصادی این هزینه‌ها بسته به عواملی مانند چارچوب‌های نظارتی، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و ترجیحات اجتماعی برای حفاظت از محیط‌زیست و پایداری متفاوت است. دولت‌ها و کسب‌وکارها ممکن است هزینه‌هایی را برای کاهش این اثرات خارجی منفی از طریق اقداماتی مانند فناوری‌های کنترل آلودگی، مکانیسم‌های قیمت‌گذاری کربن و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر متحمل شوند.

* 1. اهمیت نفت برای کشورهای صادرکننده نفت

اهمیت نفت در کشورهای صادرکننده نفت خام قابل توجه است، زیرا اغلب به عنوان ستون فقرات اقتصاد این کشورها عمل می‌کند و جنبه‌های مختلف چشم‌انداز اقتصادی- اجتماعی را شکل می‌دهد. به طور خلاصه، اهمیت نفت در کشورهای صادرکننده نفت خام فراتر از ملاحظات اقتصادی صرف است و ساختارهای حاکمیتی، مسیرهای توسعه اقتصادی- اجتماعی و پویایی‌های ژئوپلیتیکی را متبلور می‌کند. درک اهمیت نفت در این کشورها برای تحلیل سیاست‌های اقتصادی، آسیب‌پذیری‌ها و چشم‌انداز پایداری بلندمدت، ضروری است.

برای بسیاری از کشورهای صادرکننده نفت خام، نفت بخش قابل توجهی از تولید ناخالص داخلی، درآمدهای دولت و صادرات را تشکیل می‌دهد. درآمد حاصل از صادرات نفت اغلب منبع درآمد اصلی دولت است و به میزان قابل توجهی به درآمد ملی کمک می‌کند. بخش نفت معمولاً باعث رشد اقتصادی، سرمایه‌گذاری و فرصت‌های شغلی می‌شود و صنایع مرتبط با نفت از طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های پایین‌دستی ازجمله پالایش، پتروشیمی، حمل‌ونقل و خدمات پشتیبانی می‌کنند.

از طرفی درآمدهای نفتی نقش مهمی در تأمین مالی مخارج دولت ازجمله توسعه زیرساخت‌ها، برنامه‌های اجتماعی، آموزش، مراقبت‌های بهداشتی و خدمات عمومی ایفا می‌کند. در بسیاری از کشورهای صادرکننده نفت، دولت‌ها به شدت به درآمدهای نفتی برای تأمین بودجه خود متکی هستند. نوسانات قیمت نفت می‌تواند به طور قابل توجهی بر امور مالی دولت تأثیر بگذارد و بسته به بالا یا پایین بودن قیمت‌ها منجر به دوره‌هایی از مازاد یا کسری مالی شود. دولت‌ها ممکن است از مکانیسم‌هایی مانند صندوق‌های نفت در قالب صندوق ذخیره ارزی یا صندوق توسعه ملی برای تثبیت جریان‌های درآمدی و کاهش اثرات نوسان قیمت‌ها استفاده کنند.

صادرات نفت اغلب بخش قابل توجهی از کل صادرات کشورهای صادرکننده نفت خام را تشکیل می‌دهد که منجر به مازاد تجاری و تراز حساب جاری مثبت می‌شود. این مازادها می‌تواند به ثبات اقتصادی کمک کند و ذخایر ارزی را برای سرمایه‌گذاری‌ها و واردات آتی فراهم کند. با این حال، اتکا به صادرات نفت همچنین می‌تواند اقتصادها را در برابر شوک‌های خارجی مانند نوسانات قیمت‌های جهانی نفت یا تغییر در الگوهای تقاضا، آسیب‌پذیر کند که می‌تواند بر تراز تجاری و عملکرد کلی اقتصادی تأثیر بگذارد.

در برخی کشورهای صادرکننده نفت، درآمدهای نفتی اغلب به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیربنایی ازجمله شبکه‌های حمل و نقل، بنادر، فرودگاه‌ها و زیرساخت‌های انرژی هدایت می‌شود. این سرمایه‌گذاری‌ها برای توسعه اقتصادی، تنوع‌بخشی و بهبود رقابت‌پذیری سایر بخش‌ها ضروری است. علاوه بر این، کشورهای نفت‌خیز ممکن است از منابع مالی خود برای سرمایه‌گذاری در صنایع استراتژیک چه در داخل و چه در سطح بین‌المللی برای تنوع بخشیدن به اقتصاد خود و کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی استفاده کنند.

همچنین صنعت نفت فرصت‌های شغلی متنوعی در بخش های مختلف ازجمله اکتشاف، تولید، پالایش و خدمات مرتبط فراهم می‌کند. علاوه بر این، درآمد حاصل از صادرات نفت می‌تواند برنامه‌های آموزشی و حرفه‌ای را تأمین مالی کند و به توسعه سرمایه انسانی و ظرفیت بازار کار کمک نماید. با این حال، اتکای شدید به بخش نفت برای اشتغال می‌تواند منجر به چالش‌هایی مانند عدم تطابق مهارت‌ها، انحرافات بازار کار و فرصت‌های محدود برای تنوع اقتصادی در بخش‌های غیرنفتی شود.

کشورهای صادرکننده نفت به دلیل کنترل بر منابع ارزشمند انرژی، اغلب از نفوذ ژئوپلیتیک قابل توجهی برخوردارند. آنها ممکن است از ثروت نفتی خود برای شکل دادن به پویایی‌های منطقه‌ای، ایجاد اتحادهای استراتژیک و پیگیری اهداف سیاست خارجی استفاده کنند. لازم به ذکر است که تنش‌ها و درگیری‌های ژئوپلیتیکی در مناطق نفت‌خیز می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای بر بازارهای جهانی انرژی، امنیت عرضه و روابط بین‌المللی داشته باشد.

* 1. اثرات منفی استفاده از نفت خام

استفاده از نفت خام و مشتقات آن اثرات منفی متنوعی را در حوزه‌های مختلف ازجمله بخش‌های زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی به همراه داشته است.

در ایجاد آلودگی هوا، احتراق فرآورده‌های نفتی خام مانند بنزین و گازوئیل، آلاینده‌هایی مانند دی‌اکسید کربن (CO2)، دی‌اکسید گوگرد (SO2)، اکسیدهای نیتروژن (NOx) و ذرات معلق (PM) را در جو آزاد می‌کند که عامل ایجاد باران‌های اسیدی و بیماری‌های تنفسی است. همچنین نشت نفت در طول فرایندهای استخراج، حمل و نقل و پالایش می‌تواند آب را آلوده کرده و به اکوسیستم‌های آبی، حیات دریایی و زیستگاه‌های ساحلی آسیب برساند. علاوه بر این، رواناب از مناطق شهری و تأسیسات صنعتی می‌تواند آلاینده‌های نفتی را به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها وارد کرده و آلودگی آب را تشدید کند.

سوزاندن سوخت‌های فسیلی ازجمله نفت خام، سهم عمده‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه CO2 دارد که به گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم منجر شده است. احتراق نفت خام باعث آزاد شدن مقادیر زیادی CO2 در اتمسفر شده که باعث تشدید اثر گلخانه‌ای می‌گردد و منجر به افزایش دما، افزایش سطح آب دریاها و رویدادهای شدید آب و هوایی می‌شود.

فعالیت‌های اکتشاف و استخراج نفت اغلب منجر به تخریب و تکه‌تکه شدن زیستگاه، به‌ویژه در اکوسیستم‌های حساس مانند جنگل‌ها، تالاب‌ها و نقاط دارای تنوع زیستی می‌شود. این از دست دادن زیستگاه می‌تواند گونه‌های در حال انقراض را تهدید کرده، تعادل اکولوژیکی را مختل و تنوع زیستی را کاهش دهد.

از طرفی نشت تصادفی نفت ناشی از عملیات حفاری، تصادفات تانکرها یا نشت خط لوله می‌تواند اثرات فاجعه باری بر اکوسیستم‌های دریایی و خشکی داشته باشد و باعث آسیب فوری به حیات وحش، شیلات و زیستگاه‌های ساحلی شود. نشت نفت می‌تواند سال‌ها در محیط‌زیست باقی بماند و خطرات زیست‌محیطی درازمدت را به همراه داشته باشد و انعطاف‌پذیری اکوسیستم را مختل کند.

استفاده زیاد از نفت خام در جهان سبب اثرات منفی بر سلامت افراد نیز شده است. ازجمله اینکه آلاینده‌های هوا که از احتراق فرآورده‌های نفتی خام ساطع می‌شوند، مانند دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق می‌توانند بیماری‌های تنفسی مانند آسم، برونشیت و سرطان ریه را تشدید کنند. همچنین نشت نفت و آلودگی آب ناشی از فعالیت‌های نفت خام می‌تواند منابع آب آشامیدنی را آلوده کند و خطر ابتلا به بیماری‌های منتقله از طریق آب مانند وبا، اسهال خونی و عفونت‌های گوارشی را افزایش دهد، به ویژه در جوامعی که دسترسی به آب سالم و بهداشت ندارند.

نفت خام در کنار همه منافع اقتصادی، هزینه‌های اقتصادی زیادی نیز به جوامع تحمیل کرده است. برای مثال پاکسازی نشت نفت و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی هزینه‌های قابل توجهی برای دولت‌ها، مشاغل و جوامع دارد. بار اقتصادی اصلاح، بازسازی و جبران زیست‌محیطی می‌تواند قابل توجه باشد و ممکن است تا سال‌ها پس از نشت نفت یا حادثه آلودگی باقی بماند. همچنین اثرات بهداشتی مرتبط با آلودگی هوا و آب ناشی از استفاده از نفت خام می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ مراقبت‌های بهداشتی ازجمله هزینه‌های درمانی، هزینه‌های بستری در بیمارستان و از دست دادن بهره‌وری به دلیل بیماری و غیبت شود.

به طور خلاصه، اثرات منفی استفاده از نفت خام گسترده است و شامل تخریب محیط‌زیست، خطرات بهداشت عمومی، بار اقتصادی و اختلالات زیست‌محیطی می‌شود. پرداختن به این اثرات منفی مستلزم تلاش‌های هماهنگ برای انتقال به منابع انرژی پاک‌تر، بهبود چارچوب‌های نظارتی، افزایش اقدامات پیشگیری و واکنش در برابر آلودگی و ترویج شیوه‌های توسعه پایدار است.

* 1. اثرات منفی نفت خام برای کشورهای صادرکننده

اثرات منفی نفت خام برای کشورهای صادرکننده نفت ازجمله نوسانات قیمت و نفرین منابع چشمگیر و چندوجهی است و ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را در برمی‌گیرد.

یکی از اثرات منفی آسیب‌پذیری اقتصادی کشورهای صادرکننده نفت در برابر نوسان قیمت است. کشورهای صادرکننده نفت اغلب به دلیل نوسانات قیمت جهانی نفت، بی‌ثباتی اقتصادی را تجربه می‌کنند. اتکا به درآمدهای نفتی، این اقتصادها را مستعد افت قیمت نفت می‌کند که منجر به شوک‌های درآمدی، کسری بودجه و کاهش هزینه‌های دولت می‌شود. وابستگی به صادرات نفت می‌تواند مانع از تلاش‌های متنوع‌سازی اقتصادی شود، زیرا سایر بخش‌ها ممکن است نادیده گرفته شوند یا توسعه نیافته باشند و تأثیر نوسانات قیمت نفت بر عملکرد کلی اقتصادی را تشدید کند.

دیگر اثر منفی نفت خام در کشورهای صادرکننده نفت خام نفرین منابع است. نفرین منابع به وضعیت متناقضی اشاره دارد که در آن کشورهای دارای منابع طبیعی فراوان مانند نفت خام، اغلب رشد اقتصادی کندتر، سطوح بالاتر فساد و نهادهای ضعیف‌تری را در مقایسه با کشورهای فقیر از منابع تجربه می‌کنند. ثروت نفتی می‌تواند منجر به رفتارهای رانت جویانه، فساد و حمایت سیاسی شود زیرا مقامات دولتی و نخبگان برای کنترل درآمدهای منابع با هم رقابت مخرب می‌کنند، و این حاکمیت، شفافیت و پاسخگویی را تضعیف می‌کند. همچنین ممکن است تمرکز ثروت و قدرت در دست عده‌ای معدود نابرابری درآمد، ناآرامی اجتماعی و بی‌ثباتی سیاسی را تشدید کند.

یک نمونه نفرین منابع، بیماری هلندی و عدم تعادل اقتصاد کلان به نفع بخش‌های غیر قابل مبادله است. ورود درآمدهای نفتی می‌تواند منجر به افزایش ارزش پول ملی و از دست دادن رقابت قدرت خارجی بخش‌های قابل مبادله غیر نفت شود، پدیده‌ای که به عنوان بیماری هلندی شناخته می‌شود. این امر باعث می‌شود صادرات غیرنفتی در بازارهای بین‌المللی کمتر رقابتی شده و مانع تنوع اقتصادی و تلاش‌های صنعتی‌سازی گردد. همچنین عدم تعادل‌های کلان اقتصادیمانند فشارهای تورمی، ارزش بیش از حد ارز و کسری حساب جاری می‌تواند ناشی از هجوم سریع درآمدهای نفتی باشد که ثبات اقتصاد کلان و چشم‌انداز رشد بلندمدت را تضعیف کند.

دیگر اثر منفی بر کشورهای صادرکننده نفت خام بی‌ثباتی و درگیری ژئوپلیتیکی است. مناطق نفت‌خیز اغلب تنش‌های ژئوپلیتیکی، درگیری‌ها و خطرات امنیتی مرتبط با رقابت برای کنترل منابع نفتی، اختلافات ارضی و رقابت‌های ژئوپلیتیکی بین قدرت‌های بزرگ را تجربه می‌کنند. بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی می‌تواند تولید و زنجیره تأمین نفت را مختل کرده و منجر به افزایش قیمت‌ها، عدم اطمینان بازار و پیامدهای اقتصادی نامطلوب برای کشورهای صادرکننده نفت و اقتصاد جهانی شود.

کاهش اثرات منفی نفت خام برای کشورهای صادرکننده نفت مستلزم اصلاحات همه‌جانبه با هدف ارتقای تنوع اقتصادی، تقویت حکمرانی و شفافیت، سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی، توسعه پایدار و تقویت رشد فراگیر است که به نفع همه اقشار جامعه باشد. با کاهش ریسک‌های وابسته به نفت و ترویج استراتژی‌های توسعه پایدار، کشورهای صادرکننده نفت می‌توانند پتانسیل واقعی خود را باز یافته و به رفاه بلندمدت دست یابند.

جمع‌بندی

در این فصل، ما به جنبه‌های چندوجهی نفت خام پرداخته‌ایم و اهمیت، اثرات اقتصادی و تأثیرات مثبت و منفی آن را بررسی کرده‌ایم. نفت خام به عنوان یک منبع انرژی حیاتی و خوراک صنعتی، نقشی اساسی در رشد اقتصادی، درآمدهای دولت و تجارت جهانی ایفا می‌کند. از طرفی اهمیت آن برای کشورهای صادرکننده نفت خام قابل چشم‌پوشی نیست، زیرا اغلب به عنوان ستون فقرات اقتصاد این کشورها عمل می‌کند و سیاست‌های مالی، توسعه زیرساخت‌ها و پویایی‌های ژئوپلیتیکی را شکل می‌دهد.

با وجود مزایای اقتصادی، استفاده از نفت خام با معایب قابل توجهی همراه است. آلودگی‌های زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی، خطرات بهداشتی و آسیب‌پذیری‌های اقتصادی ازجمله اثرات منفی مرتبط با استخراج، پالایش و مصرف نفت خام هستند. علاوه بر این، اقتصادهای وابسته به نفت با چالش‌هایی مانند نوسان قیمت، نفرین منابع و بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی روبه‌رو هستند که برای مقابله با آن نیاز به استراتژی‌های توسعه پایدار و مداخلات سیاستی جهت کاهش ریسک‌ها و دستیابی به پایداری برای رشد فراگیر است.

با بررسی همه‌جانبه اثرات اقتصادی نفت خام، بینش‌هایی را در مورد تعامل پیچیده بین بازارهای انرژی، پایداری زیست‌محیطی و توسعه اجتماعی- اقتصادی به دست می‌آوریم که در فصل‌های آتی کتاب به این موارد پرداخته می‌شود. حرکت رو به جلو، پرداختن به چالش‌های ناشی از نفت خام و در عین حال به حداکثر رساندن مزایای آن، نیازمند تلاش هماهنگ دولت‌ها، کسب‌وکارها و جامعه مدنی برای انتقال به سمت منابع انرژی پاک‌تر، تقویت چارچوب‌های نظارتی و ترویج شیوه‌های پایدار است. بنابراین تنها از طریق اقدام جمعی می‌توان پیچیدگی‌های چشم‌انداز انرژی جهانی را شفاف‌تر کرده و آینده‌ای انعطاف‌پذیرتر و عادلانه‌تر ساخت.

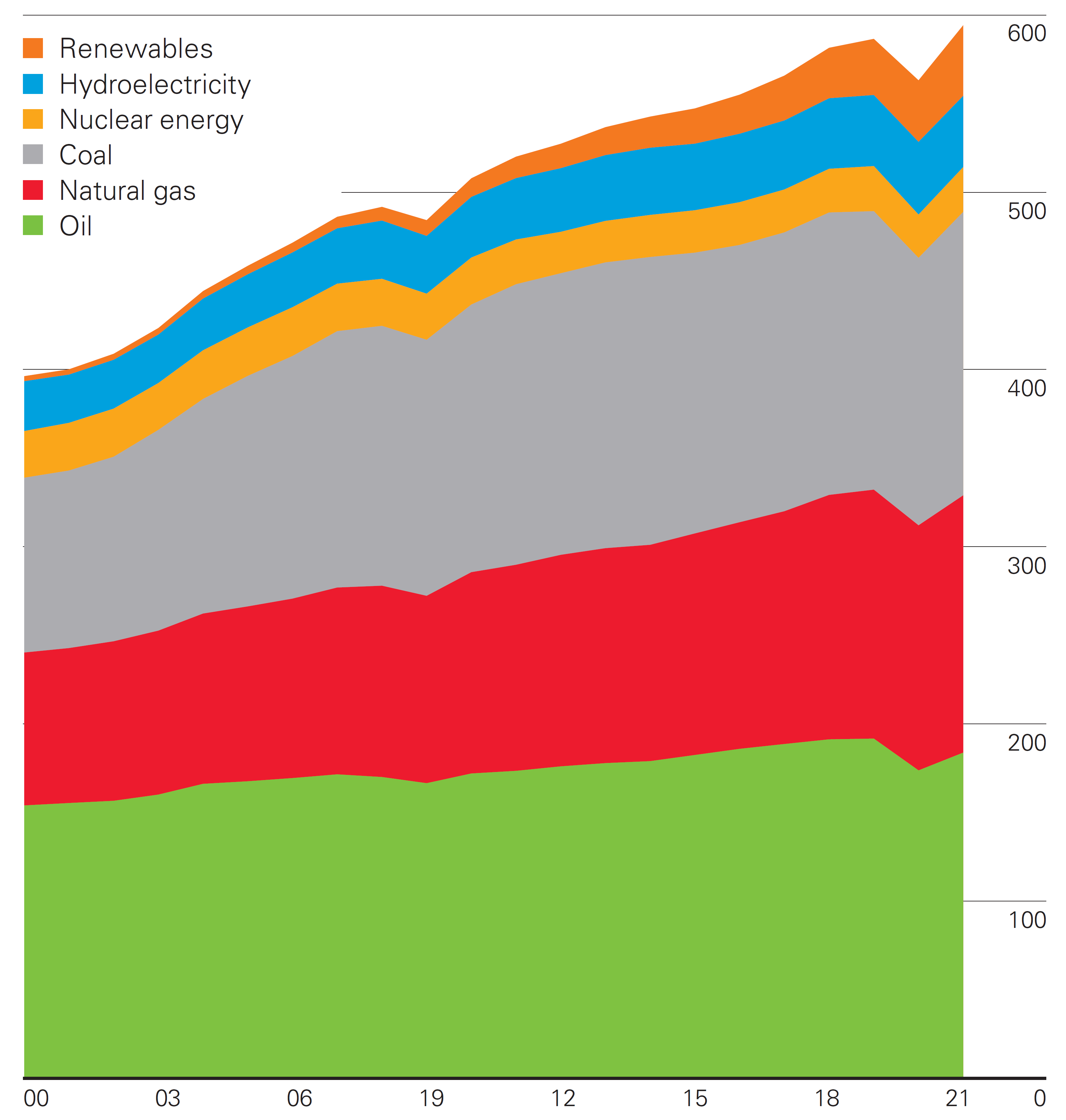
فصل دوم

پویایی‌های تولید و مصرف جهانی نفت

1. پویایی‌های تولید و مصرف جهانی نفت

مقدمه

نفت به عنوان یک منبع اساسی انرژی، نقش محوری در شکل‌دهی اقتصاد جهانی ایفا می‌کند و پیامدهای گسترده‌ای در بخش‌ها و مناطق مختلف دارد. درک پویایی تولید و مصرف نفت برای سیاست‌گذاران، سهامداران صنعت و سرمایه‌گذاران به طور یکسان بسیار مهم است، زیرا بینش‌هایی را در مورد محرک‌های رشد اقتصادی، امنیت انرژی و پایداری زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. نفت پرمصرف‌ترین منبع انرژی در سطح جهان است و سهم قابل توجهی از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد (شکل 1). تطبیق‌پذیری، قابلیت حمل و چگالی انرژی آن را برای کاربردهای مختلف ازجمله حمل و نقل، صنعت، کشاورزی و گرمایش منازل ضروری می‌کند. نفت تقریباً یک سوم کل مصرف انرژی جهان را تشکیل داده که نقش اصلی آن را در تأمین نیازهای جهانی انرژی نشان می‌دهد.



**شکل 1:** روند و سهم مصرف انرژی­های مختلف در جهان

همان‌طور که در فصل قبل به طور مفصل بحث شد، فراتر از استفاده مستقیم نفت به عنوان سوخت، نفت به مثابه یک ماده اولیه برای تولید مواد پتروشیمی، پلاستیک و بسیاری دیگر از محصولات صنعتی ضروری برای زندگی مدرن عمل می‌کند. صنعت پتروشیمی که به شدت به مواد اولیه نفتی متکی است، نقش مهمی در فرایندهای تولید در بخش‌هایی مانند ساخت‌وساز، خودرو، الکترونیک و مراقبت‌های بهداشتی ایفا می‌نماید.

با توجه به اهمیت استراتژیک، نفت به محرک اصلی توسعه اقتصادی و پویایی‌های ژئوپلیتیکی تبدیل شده و کشورهای تولیدکننده نفت دارای نفوذ قابل توجهی در امور جهانی هستند. فراوانی یا کمبود منابع نفتی می‌تواند به شدت بر اقتصاد ملی، تراز تجاری، درآمدهای دولت و ثبات سیاسی تأثیر بگذارد.

هدف اصلی این فصل ارائه یک تحلیل جامع از پویایی تولید و مصرف جهانی نفت شامل روندهای تاریخی، تحولات جاری و پیش‌بینی‌های آینده است. از طریق یک رویکرد بین‌رشته‌ای، هدف ما بررسی ابعاد اقتصادی، ژئوپلیتیکی، زیست‌محیطی و اجتماعی بازار جهانی نفت بوده و بر تعاملات پیچیده بین عرضه، تقاضا، قیمت‌ها و پاسخ‌های سیاستی می‌پردازد.

* 1. اهمیت درک روند تولید، مصرف و قیمت نفت

تجزیه و تحلیل روند تولید، مصرف و قیمت نفت به دلایل مختلفی ضروری است. نخست، این روندها بینش‌های ارزشمندی را در مورد وضعیت بازار جهانی انرژی ازجمله پویایی عرضه- تقاضا، روند سرمایه‌گذاری و فناوری‌های نوظهور ارائه می‌دهند. با درک این روندها، سیاست‌گذاران می‌توانند سیاست‌های آگاهانه انرژی را تدوین کنند، سرمایه‌گذاران می‌توانند تصمیمات سرمایه‌گذاری استراتژیک بگیرند و کسب و کارها می‌توانند استراتژی‌های خود را با شرایط بازار تطبیق دهند.

دوم، نوسانات قیمت نفت می‌تواند پیامدهای کلان اقتصادی قابل توجهی داشته باشد و بر نرخ تورم، نرخ بهره، نرخ ارز و رشد کلی اقتصادی تأثیر بگذارد. درک عوامل محرک حرکات قیمت نفت، سیاستگذاران را قادر می‌سازد تا تأثیر نوسانات قیمت نفت را بر اقتصادهای ملی و بازارهای مالی پیش‌بینی کرده و کاهش دهند.

علاوه بر این، تجزیه و تحلیل الگوهای مصرف و تولید نفت به ذینفعان اجازه می‌دهد تا فرصت‌ها و چالش‌ها را در گذار به آینده انرژی پایدارتر شناسایی کنند. با افزایش نگرانی‌ها در مورد تغییرات اقلیم و تخریب محیط‌زیست، فشار فزاینده‌ای برای کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و تسریع پذیرش منابع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد. ردیابی روند مصرف نفت می‌تواند راهبردهایی را برای تنوع انرژی، کاهش انتشار کربن و توسعه پایدار ارائه دهد.

* + 1. تکامل صنعت نفت مدرن از قرن 19 تاکنون

با بررسی تحولات تاریخی صنعت نفت، نقاط عطف کلیدی و تأثیر رویدادها و تحولات عمده، بینش‌های ارزشمندی در مورد نیروهای شکل‌دهنده بازار جهانی نفت، چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی این صنعت در قرن بیست و یکم به دست می‌آید. صنعت نفت مدرن ریشه در قرن نوزدهم دارد که مشخصه آن کشف و بهره‌برداری از ذخایر نفت در مقیاس تجاری است. نخستین چاه نفت مهم در محلی به نام تیتوس‌ویل[[1]](#footnote-1) پنسیلوانیا در سال 1859 حفر شد که نشان‌دهنده آغاز عصر نفت است. این کشف چشم‌انداز انرژی را متحول کرد و راه را برای استفاده گسترده از نفت به عنوان منبع اولیه سوخت و روان کننده‌ها هموار نمود.

پس از رونق اولیه در پنسیلوانیا، اکتشاف و تولید نفت به سرعت در سراسر جهان گسترش یافت. توسعه فن‌آوری‌های حفاری مانند حفاری چرخشی و شکست هیدرولیکی، استخراج نفت را از مخازن غیر قابل دسترس قبلی امکان‌پذیر کرد و به رشد بیشتر تولید نفت دامن زد. تأسیس شرکت‌های نفتی بزرگ ازجمله استاندارد اویل، رویال داچ شل و بریتیش پترولیوم، صنعت را تثبیت کرد و تکامل آن را در طول دهه‌ها شکل داد.

در طول قرن بیستم، صنعت نفت شاهد تحولات متعددی ازجمله ظهور مناطق نفت‌خیز مانند خاورمیانه، ظهور فناوری‌های حفاری دریایی و ظهور اوپک (سازمان کشورهای صادرکننده نفت) به عنوان یک سازمان رهبر در بازار بود. این تحولات به گسترش چشمگیر ظرفیت تولید نفت و افزایش متناظر در مصرف جهانی نفت کمک کرد.

در دهه‌های اخیر، صنعت نفت با چالش‌ها و فرصت‌های جدیدی مواجه شده که ناشی از پیشرفت‌های تکنولوژیکی، تغییرات نظارتی و تغییر ترجیحات مصرف‌کننده است. توسعه منابع نفتی غیرمتعارف مانند نفت شیل و ماسه‌های قیر، چشم‌انداز انرژی جهانی را تغییر داده است، در حالی که نگرانی‌ها در مورد تغییرات اقلیم و پایداری محیط‌زیست، تلاش‌ها را برای انتقال به سمت انرژی‌های پاک‌تر تحریک کرده است.

به طور خلاصه چندین نقطه عطف کلیدی در فرایند تکامل تولید و مصرف جهانی نفت قابل تشخیص است. ازجمله کشف میدان نفتی اسپیندل تاپ[[2]](#footnote-2) در تگزاس سال 1901، نویددهنده آغاز صنعت نفت مدرن در ایالات متحده بود که منجر به افزایش تولید نفت و ایجاد تگزاس به عنوان یک منطقه بزرگ تولیدکننده نفت شد.

**تشکیل اوپک (1960):** تأسیس اوپک توسط کشورهای تولیدکننده نفت در خاورمیانه و آفریقا تغییر قابل توجهی در موازنه قدرت در بازار جهانی نفت داشت. هدف از تشکیل اوپک، اعمال کنترل بیشتر بر قیمت‌ها و سطوح تولید نفت، به چالش کشیدن سلطه شرکت‌های نفتی غربی و شکل دادن به ژئوپلیتیک نفت در نیمه دوم قرن بیستم بود.

**بحران‌های نفتی (دهه 1970):** بحران‌های نفتی دهه 1970 که توسط تنش‌های ژئوپلیتیکی در خاورمیانه آغاز شد، منجر به یک سری تحریم‌های نفتی و اختلال در عرضه شد و باعث افزایش شدید قیمت نفت و آشفتگی اقتصادی گسترده گردید. این رویدادها آسیب‌پذیری کشورهای واردکننده نفت را در برابر ریسک‌های ژئوپلیتیکی برجسته کرد و بر اهمیت امنیت انرژی تأکید نمود.

**نوآوری‌ در فناوری‌ها:** پیشرفت‌ها در فناوری‌های حفاری، تصویربرداری لرزه‌ای و مدیریت مخازن، استخراج نفت را از محیط‌های پرچالش ازجمله میادین دریایی در آب‌های عمیق، مخازن شیل، و مناطق قطبی امکان‌پذیر کرده است. این نوآوری‌های تکنولوژیکی پایگاه جهانی منابع نفتی را گسترش و ظرفیت تولید را افزایش داده است.

**ظهور تولیدکنندگان غیراوپک**: ظهور تولیدکنندگان نفت غیراوپک مانند ایالات متحده، روسیه و کانادا به عنوان بازیگران اصلی در بازار جهانی نفت، پویایی عرضه و تقاضا را تغییر داده‌اند. رشد تولید نفت شیل، به‌ویژه ایالات متحده را به یک تولیدکننده و صادرکننده نفت پیشرو تبدیل کرده که سلطه سنتی اوپک را به چالش می‌کشد.

**رویدادها و تحولات عمده بر بازارهای نفت**

رویدادها و تحولات مختلف تأثیر قابل توجهی بر بازارهای نفت، شکل دادن به پویایی عرضه و تقاضا، روند قیمت و ساختار بازار داشته است. ازجمله بحران‌های نفتی و تنش‌های ژئوپلیتیکی؛ درگیری‌های ژئوپلیتیکی، جنگ‌ها و انقلاب‌ها در مناطق عمده تولیدکننده نفت مانند خاورمیانه، اغلب باعث اختلال در عرضه نفت و افزایش قیمت‌ها شده است. رویدادهایی مانند درگیری‌های اعراب و اسرائیل، انقلاب ایران و جنگ‌های خلیج‌فارس بر ریسک­های ژئوپلیتیکی نهفته در بازار نفت تأکید نموده و اهمیت ثبات سیاسی برای امنیت انرژی را برجسته کرده‌اند.

پیشرفت‌ها در فناوری‌های اکتشاف، حفاری و تولید نفت، دامنه و مقیاس تولید جهانی نفت را گسترش داده و امکان بهره‌برداری از منابع غیرمتعارف و ذخایر غیر قابل دسترس را فراهم کرده است. نوآوری‌هایی مانند شکستگی هیدرولیکی و حفاری افقی، قفل نفت شیل و مخازن نفتی فشرده را باز کرده، چشم‌انداز انرژی را تغییر و زنجیره‌های تأمین را تغییر شکل داده است.

آزادسازی بازارهای نفت و از بین بردن انحصارات در دهه‌های 1980 و 1990 باعث افزایش رقابت و کارایی بازار شد. اصلاحاتی مانند فروپاشی استاندارد اویل و خصوصی‌سازی برخی شرکت‌های ملی نفت موجب نوآوری، سرمایه‌گذاری و تنوع در صنعت نفت شد که منجر به افزایش ظرفیت تولید و افزایش نقدینگی بازار گردید.

از طرف دیگر افزایش آگاهی از اثرات زیست‌محیطی احتراق سوخت‌های فسیلی ازجمله آلودگی هوا، انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی، درخواست‌هایی را برای کربن‌زدایی و انتقال انرژی برانگیخته است. اقدامات سیاستی مانند قیمت‌گذاری کربن، مشوق انرژی‌های تجدیدپذیر و مقررات انتشار گازهای گلخانه‌ای، بازارهای انرژی را تغییر می‌دهند و سرمایه‌گذاری‌ها را در فناوری‌های پاک‌تر و سوخت‌های جایگزین هدایت می‌کنند.

* 1. ​ تحلیل روندهای فعلی تولید نفت

درک روند فعلی در تولید نفت برای ارزیابی چشم‌انداز انرژی جهانی و پیش‌بینی تحولات آینده ضروری است. تولید نفت تحت تأثیر ترکیبی از عوامل زمین‌شناسی، فناوری، اقتصادی و سیاسی است که منجر به الگوهای متنوع در مناطق و کشورهای مختلف می‌شود.

تولید نفت در چند منطقه کلیدی متمرکز بوده که خاورمیانه، آمریکای شمالی و روسیه/ اوراسیا سهم اصلی را در تولید جهانی دارند. خاورمیانه، به‌ویژه کشورهایی مانند عربستان سعودی، ایران، عراق و امارات متحده عربی، بزرگ‌ترین ذخایر اثبات شده را در اختیار دارند و نقش مرکزی را در بازارهای جهانی نفت ایفا می‌کنند. آمریکای شمالی در سال‌های اخیر افزایش تولید قابل توجهی را تجربه کرده که ناشی از انقلاب شیل در ایالات متحده و کانادا بوده است. اوراسیا ازجمله کشورهایی مانند روسیه، قزاقستان و آذربایجان نیز مناطق عمده تولید نفت هستند که در پویایی عرضه جهانی نقش دارند.

در هر منطقه، کشورهای مختلف روندهای تولید متمایزی را بر اساس عواملی مانند وقف منابع، فضای سرمایه‌گذاری، چارچوب‌های نظارتی و ملاحظات ژئوپلیتیکی دارند. به عنوان مثال، در خاورمیانه، عربستان سعودی همچنان بزرگ‌ترین صادرکننده نفت جهان و تولیدکننده منعطف کلیدی است و توانایی تعدیل تولید در پاسخ به شرایط بازار را دارا می‌باشد. در آمریکای شمالی، ایالات متحده به عنوان یک تولیدکننده نفت پیشرو ظاهر شده که با پیشرفت در تکنیک‌های شکست هیدرولیکی و حفاری افقی پیش می‌رود. روسیه موقعیت مسلط خود را در بازار جهانی نفت حفظ می‌کند و از منابع عظیم خود و شرکت‌های نفتی دولتی برای تأثیرگذاری بر سطح تولید استفاده می‌نماید.

پیشرفت‌های فناوری مانند تکنیک‌های بهبود یافته بازیافت نفت، قابلیت‌های حفاری دریایی و دیجیتالی‌سازی، همچنان به بهبود کارایی و کاهش هزینه در تولید نفت منجر می‌شوند. نوآوری‌ها در فناوری‌های حفاری، مدیریت مخزن و تجزیه و تحلیل داده‌ها، اپراتورها را قادر می‌سازد تا نفت را از منابع غیرمتعارف استخراج کنند.

* 1. عوامل سمت تقاضا مؤثر بر الگوهای مصرف نفت

الگوهای مصرف نفت توسط یک تعامل پیچیده از عوامل اقتصادی، جمعیتی، فناوری و سیاستی شکل می‌گیرد که منعکس‌کننده نیازها و ترجیحات انرژی در مناطق و بخش‌های مختلف است. رشد اقتصادی محرک اصلی تقاضا برای نفت است، زیرا افزایش درآمد و فعالیت‌های صنعتی باعث افزایش مصرف سوخت‌های حمل و نقل، پتروشیمی‌، کالاها و خدمات انرژی‌بر می‌شود. اقتصادهای نوظهور مانند چین، هند و برزیل شاهد شهرنشینی سریع و صنعتی شدن بوده‌اند که منجر به افزایش تقاضا برای نفت و فرآورده‌های نفتی گردیده است.

بخش حمل و نقل سهم قابل توجهی از مصرف جهانی نفت را به خود اختصاص می‌دهد که ناشی از تقاضا برای بنزین، دیزل، سوخت جت و سایر محصولات پالایش شده است. عواملی مانند نرخ مالکیت وسیله نقلیه، استانداردهای بهره‌وری سوخت، تغییر مدها و زیرساخت‌های حمل و نقل بر الگوهای تقاضای نفت تأثیر می‌گذارد. ظهور وسایل نقلیه الکتریکی (EVs)، خدمات حمل‌ونقل مشترک و سوخت‌های جایگزین، عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی‌های بیشتری را برای پیش‌بینی‌های آینده تقاضای نفت ایجاد می‌کند.

از طرفی سیاست‌ها و مقررات انرژی با تأثیرگذاری بر استانداردهای بهره‌وری سوخت، مقررات انتشار گازهای گلخانه‌ای خودرو و الزامات سوخت جایگزین، نقش مهمی در شکل‌دهی الگوهای مصرف نفت دارند. اقداماتی مانند مالیات بر سوخت، یارانه‌ها و مشوق‌ها برای فناوری‌های حمل و نقل پاک می‌تواند بر رفتار مصرف‌کننده، تصمیمات سرمایه‌گذاری و رقابت در بازار تأثیر بگذارد. مداخلات سیاستی با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترویج تحرک پایدار، صنعت خودرو را تغییر می‌دهد و پارادایم‌های سنتی مصرف نفت را به چالش می‌کشد.

* 1. کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت و تعادل در بازار جهانی

کشورهای عمده تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت تأثیر قابل توجهی بر بازارهای جهانی نفت دارند و پویایی عرضه- تقاضا، روند قیمت‌ها و همسویی‌های ژئوپلیتیکی را شکل می‌دهند. خاورمیانه، روسیه/ اوراسیا، آمریکای شمالی و دیگر مناطق تولیدکننده نفت، مرکز بازیگران کلیدی در بازار جهانی نفت هستند. عربستان سعودی، روسیه، ایالات متحده، ایران، عراق و کانادا ازجمله بزرگ‌ترین تولیدکنندگان نفت هستند که هر کدام دارای مشخصات تولید منحصر به فرد، منابع و ملاحظات ژئوپلیتیکی می‌باشد. این کشورها نقش محوری در تعیین سطوح تولید، استراتژی‌های صادرات و ثبات بازار دارند. همچنین کشورهای عمده مصرف‌کننده نفت مانند ایالات متحده، چین، هند، ژاپن و کشورهای عضو اتحادیه اروپا (EU)، محرک‌های مهم تقاضای جهانی نفت هستند. این کشورها برای حمل و نقل، صنعت، پتروشیمی و گرمایش منازل مسکونی به نفت متکی می‌باشند.

تغییر در سیاست‌های انرژی، مسیرهای رشد اقتصادی و پیشرفت‌های تکنولوژیکی بر چشم‌انداز تقاضای نفت و اصول بازار تأثیر می‌گذارد. تعادل بین عرضه و تقاضا عامل تعیین‌کننده حیاتی در ثبات بازار نفت، روند قیمت‌ها و تصمیمات سرمایه‌گذاری است. ارزیابی این تعادل مستلزم تجزیه و تحلیل ظرفیت‌های تولید، روند مصرف، سطح موجودی و اصول بازار است.

بازار جهانی نفت در چارچوبی از ظرفیت‌های تولید عمل می‌کند که منعکس‌کننده حداکثر بازدهی است که تولیدکنندگان می‌توانند به طور پایدار تحت شرایط حاکم بر بازار به دست آورند. ظرفیت‌های تولیدی تحت تأثیر عواملی مانند در دسترس بودن منابع، سطوح سرمایه‌گذاری، قابلیت‌های فناورانه و محیط‌های نظارتی قرار دارند. درک ظرفیت‌های تولیدی در مناطق و کشورهای مختلف برای ارزیابی ریسک‌ها و آسیب‌پذیری‌های طرف عرضه، ضروری است.

روند مصرف نفت تحت تأثیر طیف گسترده‌ای از عوامل ازجمله نرخ رشد اقتصادی، سیاست‌های انرژی، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و رفتار مصرف‌کننده است. ارزیابی محرک‌ها و الگوهای سمت تقاضا برای پیش‌بینی سطح مصرف نفت در آینده و شناسایی ناهماهنگی‌های احتمالی بین عرضه و تقاضا بسیار مهم است. پیش‌بینی‌های تقاضا، تصمیمات سرمایه‌گذاری، استراتژی‌های بازار و مداخلات سیاستی با هدف تضمین امنیت انرژی و ثبات بازار را نشان می‌دهند.

مبانی بازار مانند سطوح موجودی، ظرفیت‌های تولید اضافی، ریسک‌های ژئوپلیتیکی و شاخص‌های کلان اقتصادی، بینش‌هایی را در مورد پویایی‌های اساسی بازار نفت ارائه می‌کنند. عدم تعادل عرضه و تقاضا، تنش‌های ژئوپلیتیکی، اختلالات مربوط به آب و هوا و رویدادهای غیرمنتظره می‌توانند بر انتظارات بازار و نوسانات قیمت تأثیر بگذارند. نظارت و تجزیه و تحلیل منظم مبانی بازار به مشارکت‌کنندگان بازار، سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران کمک می‌کند تا ابهامات را هدایت نمایند و در یک بازار جهانی پویا و به هم پیوسته تصمیم‌گیری آگاهانه بگیرند.

درنتیجه، وضعیت کنونی تولید و مصرف جهانی نفت با تعامل پیچیده عوامل طرف عرضه و تقاضا، پویایی منطقه‌ای و اصول بازار مشخص می‌شود. درک این پویایی‌ها برای سیاست‌گذاران، سهامداران صنعت و سرمایه‌گذاران ضروری است تا پیچیدگی‌های بازار نفت، روندها و تحولات آتی را پیش‌بینی کنند.

* 1. پیش‌بینی روندهای آینده در تولید و مصرف نفت

پیش‌بینی روندهای آتی در تولید و مصرف نفت شامل ترکیب طیفی از پیش‌بینی‌های تحلیلگران صنعت، سازمان‌های دولتی، مؤسسات تحقیقاتی و سازمان‌های بین‌المللی است. این پیش‌بینی‌ها بینش‌هایی در مورد تغییرات پیش‌بینی‌شده در عرضه و تقاضای نفت ارائه می‌کنند و به سهامداران کمک می‌نمایند تا تصمیم‌گیری آگاهانه و برنامه‌ریزی برای آینده داشته باشند.

شرکت‌های بزرگ نفتی مانند اکسون موبیل، بریتیش پترولیوم و شل، به طور منظم چشم‌انداز و پیش‌بینی‌های تولید و مصرف جهانی نفت را منتشر می‌کنند. این پیش‌بینی‌ها بر اساس مدل‌های اختصاصی، تحلیل‌های بازار و فرضیات مربوط به تحولات اقتصادی، فناوری و ژئوپلیتیک آتی است. پیش‌بینی‌های صنعت اغلب روندهای کلیدی، ریسک‌ها و عدم قطعیت‌های شکل‌دهنده چشم‌انداز انرژی را برجسته می‌کنند.

دولت‌های ملی و وزارتخانه‌های انرژی، ارزیابی‌ها و پیش‌بینی‌های خود را از تولید و مصرف نفت انجام می‌دهند. آژانس‌هایی مانند اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده (EIA)، آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) و سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) داده‌ها، تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های جامعی را در مورد بازارهای جهانی انرژی ازجمله پویایی عرضه و تقاضای نفت ارائه می‌کنند.

مؤسسات دانشگاهی، اتاق‌های فکر و سازمان‌های تحقیقاتی به مجموعه دانش در مورد روندهای آینده در تولید و مصرف نفت کمک می‌کنند. مقالات تحقیقاتی، مطالعات و گزارش‌های مؤسساتی مانند مرکز مطالعات استراتژیک و بین‌المللی (CSIS)، مؤسسه بروکینگز و مؤسسه مطالعات انرژی آکسفورد، بینش‌های ارزشمندی را در مورد مسائل نوظهور، پیشرفت‌های فناوری و پیامدهای سیاست ارائه می‌دهند.

نهادهای چندجانبه مانند سازمان ملل متحد، بانک جهانی و صندوق بین‌المللی پول (IMF) نیز پیش‌بینی‌ها و ارزیابی‌هایی از بازارهای جهانی نفت ارائه می‌کنند. این سازمان‌ها روندهای اقتصادی گسترده‌تر، ریسک‌های ژئوپلیتیکی و ملاحظات زیست‌محیطی را که بر تولید، مصرف و قیمت نفت تأثیر می‌گذارند، بررسی می‌کنند.

* + 1. عوامل محرک تغییرات آتی در عرضه و تقاضای نفت

عوامل متعددی موجب تغییرات آتی در عرضه و تقاضای نفت می‌شود و مسیر بازار جهانی نفت را شکل می‌دهد. درک این محرک‌ها برای پیش‌بینی تغییرات در الگوهای تولید و مصرف و ارزیابی پیامدهای آنها برای امنیت انرژی، رشد اقتصادی و پایداری محیط‌زیست ضروری است.

انتظار می‌رود پیشرفت در فناوری‌های اکتشاف، حفاری، استخراج و پالایش نفت، کارایی و بهره‌وری صنعت نفت را افزایش دهد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، نوآوری‌هایی مانند شکستگی هیدرولیکی (شکستگی)، حفاری افقی و تکنیک‌های بهبود یافته بازیافت نفت، بهره‌برداری از منابع غیرمتعارف و توسعه ذخایر غیر قابل دسترس را امکان‌پذیر می‌کند.

سیاست‌ها و مقررات دولت نقش بسزایی در شکل دادن به آینده بازار نفت دارد. مقررات زیست‌محیطی، مکانیسم‌های قیمت‌گذاری کربن و سیاست‌های انتقال انرژی با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترویج منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند بر تقاضای نفت و تصمیم‌های سرمایه‌گذاری در صنعت نفت تأثیر بگذارند. علاوه بر این، تحولات ژئوپلیتیکی و سیاست‌های تجاری می‌تواند بر تولید نفت، حمل و نقل و دسترسی به بازار تأثیر بگذارد.

رشد جمعیت، شهرنشینی و توسعه اقتصادی موجب تغییر در الگوهای تقاضای نفت، به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور می‌شود. افزایش درآمد و سبک زندگی شهری منجر به افزایش تقاضا برای سوخت حمل و نقل، مواد پتروشیمی و کالاهای مصرفی می‌شود و مصرف کلی نفت را افزایش می‌دهد. تغییرات جمعیتی مانند پیری جمعیت و تغییر الگوی مصرف می‌تواند بر تقاضای بلندمدت نفت نیز تأثیر بگذارد.

گذار به سمت منابع انرژی پاک‌تر و پایدارتر مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، وسایل نقلیه الکتریکی و هیدروژن، چالش‌ها و فرصت‌هایی را برای صنعت نفت ایجاد می‌کند. تلاش برای کاهش تغییرات اقلیمی و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی می‌تواند رشد تقاضای نفت در آینده را به‌ویژه در بخش‌های حمل‌ونقل و تولید برق کاهش دهد. با این حال، سرعت و مقیاس انتقال انرژی با توجه به عوامل فنی، اقتصادی و سیاستی که مسیر آن را شکل می‌دهند، مرتبط بوده و به طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست.

* + 1. عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های مرتبط با پیش‌بینی‌های بلندمدت در بازار نفت

با وجود پیشرفت در تکنیک‌های مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها، پیش‌بینی‌های بلندمدت در بازار نفت در معرض عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های متعددی است که می‌تواند دقت و قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌ها را تضعیف کند. برخی از عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های کلیدی عبارت‌اند از:

**بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی:** درگیری‌های سیاسی، جنگ‌ها و تنش‌های ژئوپلیتیکی در مناطق عمده تولیدکننده نفت می‌تواند عرضه نفت را مختل کند و منجر به نوسانات غیرمنتظره در قیمت‌ها و سطح تولید شود. رویدادهایی مانند درگیری‌های نظامی، تغییر رژیم و تحریم‌ها می‌توانند عدم اطمینان و ریسک‌ها را برای پیش‌بینی بلندمدت ایجاد نمایند.

**اختلالات تکنولوژیکی:** پیشرفت‌های سریع فناوری، پیشرفت‌های غیرمنتظره در انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره انرژی و فناوری‌های حمل و نقل می‌تواند سرعت انتقال انرژی را تسریع کند و مسیر آینده تقاضای نفت را تغییر دهد. ظهور منابع انرژی جدید مانند نیروی همجوشی یا سوخت‌های زیستی پیشرفته می‌تواند چشم‌انداز رقابتی را تغییر داده و مفروضات صنعت نفت متعارف را به چالش بکشد.

**تغییرات اقلیمی و مقررات زیست‌محیطی**: نگرانی‌های فزاینده در مورد تغییرات اقلیم، آلودگی هوا و تخریب محیط‌زیست، دولت‌ها را به اتخاذ سیاست‌ها و مقررات جاه‌طلبانه‌تری سوق می‌دهد. استانداردهای انتشار دقیق‌تر، مکانیسم‌های قیمت‌گذاری کربن و اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند تقاضای نفت و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های سوخت فسیلی، به‌ویژه در بخش‌های با شدت کربن بالا مانند حمل و نقل و صنعت را کاهش دهد.

**عدم اطمینان اقتصادی:** عوامل کلان اقتصادی مانند نرخ رشد اقتصادی، تورم، نرخ بهره و نوسانات نرخ ارز می‌توانند بر تقاضا و قیمت نفت تأثیر بگذارند. رکودهای اقتصادی، بحران‌های مالی و شوک‌های ژئوپلیتیکی می‌توانند زنجیره‌های عرضه جهانی را مختل کنند، مخارج مصرف‌کننده و مصرف انرژی را کاهش دهند که منجر به نوسانات کوتاه‌مدت در بازارهای نفت می‌شود.

پیمایش این عدم قطعیت‌ها و ریسک‌ها مستلزم تحلیل سناریوی قوی، تحلیل حساسیت و استراتژی‌های برنامه‌ریزی تطبیقی است. با پذیرش محدودیت پیش‌بینی‌های بلندمدت و گنجاندن عدم قطعیت در فرایندهای تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاران، سهامداران صنعت و سرمایه‌گذاران می‌توانند بهتر برای چالش‌ها و فرصت‌های آینده در بازار نفت آماده شوند.

* 1. عوامل مؤثر بر قیمت نفت

قیمت نفت تحت تأثیر یک فعل و انفعال پیچیده پویایی عرضه و تقاضا است که عوامل مختلفی بر دسترسی و قیمت نفت خام در بازار جهانی تأثیر می‌گذارد. عوامل طرف عرضه، نقش مهمی در شکل دادن به قیمت نفت دارند که منعکس‌کننده تغییرات در سطح تولید، تنش‌های ژئوپلیتیکی و انتظارات بازار است.

سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) به همراه متحدانش (اوپک پلاس) از طریق تصمیمات تولیدی خود، تلاش کرده نقش اصلی را در تأثیرگذاری بر قیمت‌های جهانی نفت ایفا کند. اعلامیه‌های اوپک در مورد سهمیه‌های تولید، کاهش یا افزایش عرضه می‌تواند تأثیر مستقیمی بر انتظارات و قیمت‌ها در بازار داشته باشد. توانایی اوپک برای هماهنگ کردن تولید بین کشورهای عضو و واکنش به تغییرات در شرایط بازار به ثبات یا نوسان قیمت کمک می‌کند.

فراتر از اوپک، کشورهای تولیدکننده نفت غیراوپک مانند ایالات متحده، روسیه، کانادا و برزیل نیز در پویایی عرضه جهانی نفت نقش دارند. تغییرات در سطح تولید، روند سرمایه‌گذاری و پیشرفت‌های فناوری در کشورهای غیراوپک بر سطح عرضه کلی و رقابت در بازار تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، رشد تولید نفت شیل در ایالات متحده، عرضه جهانی نفت را افزایش داده و فشار نزولی بر قیمت‌ها وارد کرده است.

درگیری‌های ژئوپلیتیکی در مناطق عمده تولیدکننده نفت می‌تواند عرضه نفت را مختل کرده و منجر به افزایش قیمت‌ها شود. درگیری‌های خاورمیانه مانند ایران، عراق و عربستان سعودی از نظر تاریخی با تهدید تأسیسات تولید، مسیرهای کشتیرانی و ثبات ژئوپلیتیکی بر بازارهای نفت تأثیر گذاشته است. ریسک‌های ژئوپلیتیکی مرتبط با بی‌ثباتی سیاسی، درگیری‌های نظامی یا تحریم‌ها می‌تواند باعث ایجاد عدم اطمینان و نوسان در بازارهای نفت شود.

عوامل سمت تقاضا نیز نقش مهمی در تعیین قیمت نفت دارند. این عوامل منعکس‌کننده تغییرات در فعالیت اقتصادی جهانی، پویایی بخش حمل و نقل و سیاست‌های انرژی است و بر الگوهای مصرف نفت تأثیر می‌گذارد. شاخص‌های اقتصادی مانند نرخ رشد تولید ناخالص داخلی (GDP)، تولیدات صنعتی و مخارج مصرف‌کننده تأثیر مستقیمی بر تقاضای نفت دارند. رشد اقتصادی قوی تقاضا برای نفت را تحریک می‌کند، به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور که در حال صنعتی شدن هستند و شهرنشینی در آنها به سرعت در حال گسترش است. در مقابل، رکود اقتصادی می‌تواند منجر به کاهش مصرف نفت شود، زیرا کسب و کارها تولید خود را کاهش می‌دهند و مصرف‌کنندگان سفر و مخارج را کاهش می‌دهند.

بخش حمل و نقل محرک اصلی تقاضای نفت است و سهم قابل توجهی از مصرف جهانی را به خود اختصاص می‌دهد. روند مالکیت خودرو، استانداردهای بهره‌وری سوخت و شیوه‌های حمل و نقل (زمینی، هوایی و دریایی) بر الگوهای مصرف نفت تأثیر می‌گذارد. تغییر به سمت وسایل نقلیه الکتریکی، حمل‌ونقل عمومی و سوخت‌های جایگزین می‌تواند رشد تقاضای نفت را کاهش دهد، در حالی که افزایش نرخ مالکیت خودرو و توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌تواند باعث بالا رفتن تقاضا شود.

سیاست‌ها و مقررات دولتی مانند مالیات بر سوخت، استانداردهای انتشار و اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر، الگوهای مصرف نفت و پویایی بازار را شکل می‌دهند. سیاست‌هایی که با هدف ارتقای بهره‌وری انرژی، کاهش انتشار کربن و متنوع‌سازی منابع انرژی انجام می‌شوند، می‌توانند با ایجاد انگیزه یا الزام به استفاده از سوخت‌های جایگزین مانند سوخت‌های زیستی، گاز طبیعی یا برق بر تقاضای نفت تأثیر بگذارند. یارانه‌ها و مشوق‌های انرژی‌های تجدیدپذیر نیز ممکن است بر تصمیمات سرمایه‌گذاری و ترجیحات مصرف‌کننده تأثیر بگذارد و بر روند تقاضای بلندمدت نفت مؤثر باشند.

* + 1. نقش بازارهای مالی، سفته‌بازی و تمایل سرمایه‌گذاران در نوسانات قیمت نفت

بازارهای مالی، سفته‌بازی و انتظارات سرمایه‌گذاران نقش مهمی در نوسانات قیمت نفت دارند که منعکس‌کننده تغییرات در انتظارات بازار، درک ریسک و استراتژی‌های سرمایه‌گذاری است. قیمت نفت تحت تأثیر فعالیت‌های تجاری در بورس کالا قرار می‌گیرد، جایی که سرمایه‌گذاران بر اساس انتظارات از تغییرات قیمت آتی، قراردادهای آتی را خریداری و می‌فروشند. بازارهای مالی ابزارهای نقدینگی، کشف قیمت و مدیریت ریسک را برای شرکت‌کنندگان در بازار نفت فراهم می‌کنند و به تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران اجازه می‌دهند تا در برابر نوسانات قیمت محافظت نمایند. تغییرات در شرایط بازار مالی مانند نرخ‌های بهره، نرخ ارز و انتظارات سرمایه‌گذاران می‌توانند به‌طور غیرمستقیم بر قیمت نفت از طریق تأثیرات خود بر نقدینگی بازار و ریسک‌پذیری تأثیر بگذارند.

معاملات سوداگرانه در معاملات آتی نفت و مشتقات آن می‌تواند حرکت قیمت‌ها را تقویت کرده و نوسانات را در بازارهای نفت ایجاد نماید. سفته‌بازان ازجمله صندوق‌های تأمینی، مشاوران معاملات کالا و شرکت‌های تجاری اختصاصی، قراردادهای نفتی را بر اساس انتظارات از روند قیمت آتی، به جای مبانی عرضه و تقاضای فیزیکی، خرید و فروش می‌کنند. فعالیت‌های سوداگرانه می‌تواند نوسانات قیمت را تشدید کند و قیمت نفت را به‌ویژه در دوره‌های عدم اطمینان بازار یا تنش‌های ژئوپلیتیکی از ارزش واقعی منحرف نماید.

انتظارات بازار و روان‌شناسی سرمایه‌گذار می‌توانند بر حرکت‌های کوتاه‌مدت قیمت در بازارهای نفت تأثیر بگذارند، که منعکس‌کننده ادراکات ریسک و عدم اطمینان هستند. انتظارات مثبت، ناشی از چشم‌اندازهای اقتصادی خوش‌بینانه، ثبات ژئوپلیتیکی یا اختلالات عرضه، می‌تواند منجر به فعالیت‌های تجاری صعودی و حرکت صعودی قیمت شود. برعکس، انتظارات منفی ناشی از شاخص‌های اقتصادی نامطلوب، تنش‌های ژئوپلیتیکی یا شوک‌های تقاضا می‌تواند منجر به انتظارات نزولی و فشار نزولی قیمت شود.

* 1. تعامل بین شاخص‌های کلان اقتصادی، نوسانات ارز و قیمت نفت

تأثیر متقابل بین شاخص‌های اقتصاد کلان، نوسانات ارز و قیمت نفت نشان‌دهنده ارتباط متقابل بازارهای مالی جهانی و اقتصاد گسترده‌تر است. شاخص‌های کلیدی اقتصاد کلان مانند نرخ تورم، نرخ بهره، سطح بیکاری و رشد تولید ناخالص داخلی با تأثیر بر تقاضای کلی برای کالاهای انرژی بر روی قیمت نفت تأثیر می‌گذارند. گسترش اقتصادی به دلیل افزایش تقاضا برای کالاها و خدمات انرژی‌بر، قیمت نفت را افزایش می‌دهد، در حالی که انقباض یا رکود اقتصادی می‌تواند به کاهش قیمت نفت به دلیل کاهش مصرف و سرمایه‌گذاری منجر شود.

قیمت نفت در مبادلات کالاهای جهانی بر حسب دلار آمریکا (USD) بیان می‌شود و این امر آنها را نسبت به نوسانات نرخ ارز حساس می‌کند. تقویت دلار آمریکا نسبت به سایر ارزها می‌تواند با گران شدن نفت برای خریدارانی که ارزهای ضعیف‌تری دارند، قیمت نفت را کاهش دهد. در مقابل، تضعیف دلار آمریکا با مقرون ‌به ‌صرفه‌تر کردن نفت برای خریداران ارزهای دیگر می‌تواند باعث افزایش قیمت نفت شود.

تعامل بین عوامل طرف عرضه و تقاضا، پویایی بازار مالی و شرایط کلان اقتصادی، حرکت قیمت نفت و نتایج بازار را شکل می‌دهد. درک این عوامل و روابط متقابل آنها برای تجزیه و تحلیل نوسانات قیمت نفت، ارزیابی ریسک‌های بازار و اتخاذ تصمیمات آگاهانه سرمایه‌گذاری در بازار نفت ضروری است.

* 1. ارزیابی پیامدهای روند تولید و مصرف نفت برای امنیت جهانی انرژی

امنیت انرژی به مفهوم در دسترس بودن قابل اعتماد و مقرون به صرفه منابع انرژی برای رفع نیازهای جامعه تعریف می‌شود. روند تولید و مصرف نفت پیامدهای عمیقی بر امنیت انرژی جهانی دارد. ارزیابی این پیامدها شامل بررسی انعطاف‌پذیری زنجیره‌های تأمین انرژی، آسیب‌پذیری در برابر اختلالات و تلاش‌ها برای تنوع بخشیدن به منابع انرژی و کاهش وابستگی به نفت است.

نابرابری بین مناطق تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت می‌تواند چالش‌هایی را برای امنیت انرژی ایجاد کند. اتکا به تعداد کمی از کشورهای تولیدکننده نفت، به‌ویژه کشورهایی که مستعد بی‌ثباتی سیاسی یا تنش‌های ژئوپلیتیکی هستند، خطر اختلال در عرضه و نوسان قیمت‌ها را افزایش می‌دهد. تقاضای فزاینده از سوی اقتصادهای نوظهور، بازارهای جهانی انرژی را بیشتر تحت فشار قرار می‌دهد و نگرانی‌ها را در مورد کفایت عرضه نفت در آینده برای پاسخگویی به افزایش مصرف افزایش می‌دهد.

زیرساخت‌های لازم برای تولید، پالایش، حمل و نقل و توزیع نفت در معرض ریسک‌های مختلفی ازجمله تهدیدات فیزیکی، حملات سایبری و بلایای طبیعی است. اختلال در زیرساخت‌های حیاتی مانند خطوط لوله، پالایشگاه‌ها و خطوط کشتیرانی می‌تواند جریان نفت را مختل کرده و منجر به کمبود عرضه، افزایش قیمت و اختلالات اقتصادی شود. اطمینان از انعطاف‌پذیری زیرساخت‌های انرژی برای حفظ امنیت انرژی ضروری است.

نوسانات قیمت نفت و شرایط بازار می‌تواند با تأثیر بر تصمیمات سرمایه‌گذاری، ثبات اقتصادی و دسترسی به انرژی مقرون به صرفه بر امنیت انرژی تأثیر بگذارد. جهش قیمت‌ها یا دوره‌های طولانی قیمت‌های بالای نفت می‌تواند بودجه خانوارها را تحت فشار قرار دهد، هزینه‌های تولید را برای مشاغل افزایش داده و رشد اقتصادی را تضعیف کند، به‌ویژه در کشورهای واردکننده نفت که به شدت به نفت برای حمل و نقل، صنعت و گرمایش متکی هستند. بازارهای ناپایدار نفت همچنین می‌توانند عدم قطعیت‌هایی را برای برنامه‌ریزی انرژی و سرمایه‌گذاری ایجاد کنند.

* + 1. تحلیل مخاطرات و تعارضات ژئوپلیتیکی مرتبط با مناطق نفت‌خیز

ریسک‌ها و درگیری‌های ژئوپلیتیکی در مناطق عمده تولیدکننده نفت، چالش‌های مهمی را برای امنیت انرژی و ثبات ژئوپلیتیک جهانی به وجود می‌آورد. درک این ریسک‌ها مستلزم تجزیه و تحلیل تعامل پیچیده بین پویایی‌های سیاسی، اقتصادی و امنیتی در کشورها و مناطق اصلی تولیدکننده نفت است.

خاورمیانه مرکز برخی از بزرگ‌ترین ذخایر نفتی و تأسیسات تولیدی جهان است که آن را به کانون رقابت و درگیری ژئوپلیتیکی تبدیل کرده است. بی‌ثباتی سیاسی، تنش‌های فرقه‌ای و رقابت‌های منطقه‌ای که توسط عواملی مانند بهار عربی، جنگ‌های داخلی و ظهور بازیگران غیردولتی تشدید شده‌اند، مخاطراتی را برای عرضه نفت و مسیرهای ترانزیتی در منطقه ایجاد می‌کنند. اختلالات در کشورهای عمده تولیدکننده نفت مانند عربستان سعودی، ایران، عراق و لیبی می‌تواند از طریق بازارهای جهانی نفت بازتاب پیدا کند و بر قیمت‌ها و امنیت انرژی تأثیر بگذارد.

روسیه یک تولیدکننده عمده نفت و گاز است که تأثیر قابل توجهی بر بازارهای انرژی در اروپا و اوراسیا دارد. تنش‌های ژئوپلیتیکی و جنگ بین روسیه و کشورهای همسایه مانند اوکراین، گرجستان و کشورهای بالتیک و همچنین اختلافات بر سر مسیرهای ترانزیت انرژی و خطوط لوله می‌تواند باعث اختلال در عرضه نفت و گاز به اروپا شود. نقش روسیه به عنوان یک تأمین‌کننده کلیدی انرژی برای اروپا خصوصاً بعد از جنگ روسیه، اوکراین و تحریم‌های تحمیلی بر روسیه، نگرانی‌های زیادی را در مورد وابستگی اروپا به انرژی و آسیب‌پذیری در برابر روسیه ایجاد کرده است.

چندین کشور آفریقایی ازجمله نیجریه، آنگولا و لیبی، تولیدکنندگان مهم نفت هستند؛ اما با چالش‌های مرتبط با بی‌ثباتی سیاسی، فساد و درگیری نیز مواجه هستند. جنگ‌های داخلی، شورش‌ها و فعالیت‌های تروریستی در مناطق نفت‌خیز می‌تواند تولید را مختل کرده، به زیرساخت‌ها آسیب برساند و سرمایه‌گذاری در بخش نفت را متوقف کند. پرداختن به مسائل حاکمیتی، ارتقای ثبات و تقویت توسعه فراگیر برای افزایش امنیت انرژی و کاهش ریسک‌های ژئوپلیتیکی در آفریقا حیاتی است.

**افزایش انعطاف‌پذیری انرژی و کاهش تنش‌های ژئوپلیتیک**

راهکارهای سیاستی و استراتژی‌ها برای افزایش انعطاف‌پذیری انرژی و کاهش تنش‌های ژئوپلیتیکی حول تنوع منابع انرژی، بهبود بهره‌وری انرژی، تقویت زیرساخت‌های انرژی و ارتقای همکاری میان سهامداران در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی است.

کاهش وابستگی به نفت و تنوع بخشیدن به منابع انرژی مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، گاز طبیعی، انرژی هسته‌ای و فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی، می‌تواند امنیت انرژی را با کاهش ریسک‌های مرتبط با نوسانات قیمت نفت، اختلالات عرضه و درگیری‌های ژئوپلیتیکی افزایش دهد. ترویج ترکیب انرژی متنوع و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های انرژی پاک برای ساختن یک سیستم انرژی انعطاف‌پذیرتر و پایدار ضروری است.

بهبود بهره‌وری انرژی در حمل و نقل، ساختمان‌ها، صنعت و تولید برق می‌تواند مصرف نفت و هزینه‌های انرژی را کاهش داده و امنیت انرژی را افزایش دهد. اقداماتی مانند استانداردهای صرفه‌جویی در مصرف سوخت، وسایل کارآمد انرژی، آیین‌نامه‌های ساختمانی و برنامه‌های بهره‌وری صنعتی می‌توانند به کشورهای واردکننده کمک کنند تا وابستگی خود را به واردات نفت کاهش دهند و مقاومت خود را در برابر شوک‌های نفتی تقویت کنند.

سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی انعطاف‌پذیر، ازجمله خطوط لوله، تأسیسات ذخیره‌سازی، پالایشگاه‌ها و بنادر، برای تضمین تأمین و توزیع مطمئن منابع انرژی بسیار مهم است. افزایش امنیت و افزونگی شبکه‌های انرژی، اتخاذ فناوری‌های پیشرفته برای نظارت و حفاظت، و متنوع‌سازی مسیرهای عرضه می‌تواند آسیب‌پذیری در برابر اختلالات را کاهش داده و انعطاف‌پذیری انرژی را تقویت کند.

همچنین طرح‌های همکاری منطقه‌ای، مانند موافقت‌نامه‌های اشتراک انرژی، پروژه‌های زیرساختی مشترک، و مکانیسم‌های اشتراک‌گذاری اطلاعات، می‌توانند ثبات، افزایش امنیت انرژی و کاهش تنش‌های ژئوپلیتیکی را تقویت کنند. با تقویت گفتگو، همکاری و اعتماد میان کشورهای همسایه، ابتکارات منطقه‌ای می‌تواند به رفع چالش‌های مشترک انرژی و ایجاد انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌های خارجی کمک کند.

اجرای این راهکارهای سیاستی نیازمند رهبری سیاسی، ظرفیت نهادی و همکاری بین‌المللی برای غلبه بر موانع و ارتقای توسعه پایدار انرژی است. با پرداختن به محرک‌های اساسی ناامنی انرژی و تنش‌های ژئوپلیتیکی، سیاست‌گذاران می‌توانند به آینده انرژی باثبات‌تر، ایمن‌تر و پایدار کمک کنند.

* 1. انتقال به سمت منابع انرژی پاک‌تر و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی

با توجه به اثرات منفی مصرف انرژی‌های فسیلی ازجمله نفت، انتقال به سمت منابع انرژی پاک‌تر و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی، ترویج توسعه پایدار و کاهش تغییرات اقلیمی حیاتی است. افزایش استقرار منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد، برق آبی و زمین گرمایی می‌تواند وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر فرصت‌هایی را برای تولید انرژی غیرمتمرکز، نوسازی شبکه و دسترسی به انرژی در مناطق دورافتاده ارائه می‌دهند. مشوق‌های سیاست، چارچوب‌های سرمایه‌گذاری و نوآوری فناوری نقش‌های کلیدی را در پیشبرد پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کنند.

بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، حمل و نقل، صنعت و لوازم خانگی می‌تواند مصرف انرژی و هزینه‌ها را کاهش داده و اثرات زیست‌محیطی را به حداقل برساند. اقدامات بهره‌وری انرژی مانند عایق‌کاری ساختمان، وسایل کارآمد، وسایل نقلیه کم‌مصرف و بهینه‌سازی فرایندهای صنعتی، راه‌حل‌های مقرون به صرفه‌ای را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش امنیت انرژی ارائه می‌دهند. مداخلات سیاستی مانند استانداردهای بهره‌وری انرژی، برنامه‌های برچسب‌گذاری و مشوق‌های مالی می‌توانند صرفه‌جویی و کارایی انرژی را ارتقا دهند.

برقی کردن بخش‌های مصرف نهایی مانند حمل‌ونقل و گرمایش و کربن‌زدایی تولید برق از طریق استفاده از فناوری‌های کم کربن مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی هسته‌ای و جذب و ذخیره‌سازی کربن (CCS) می‌تواند این انتقال را تسریع کند. به اقتصاد کم کربن وسایل نقلیه الکتریکی (EVs)، پمپ‌های حرارتی و سیستم‌های گرمایش الکتریکی جایگزین‌هایی برای فناوری‌های مبتنی بر سوخت فسیلی ارائه می‌دهند، در حالی که فناوری‌های جذب کربن می‌توانند انتشارات ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی را کاهش دهند. حمایت سیاستی، سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی و مشوق‌های بازار برای افزایش تلاش‌های برق‌رسانی و کربن‌زدایی ضروری هستند.

* 1. ادغام ملاحظات پایداری در سیاست‌های انرژی و تصمیمات سرمایه‌گذاری

ادغام ملاحظات پایداری در سیاست‌های انرژی و تصمیم‌های سرمایه‌گذاری برای دستیابی به اهداف زیست‌محیطی، ارتقای برابری اجتماعی و تضمین دوام اقتصادی ضروری است. همسویی سیاست‌های انرژی با اهداف پایداری مانند بهبود کیفیت هوا، حفاظت از تنوع زیستی و برابری اجتماعی می‌تواند چارچوب‌های سیاستی منسجم و مؤثری را تقویت کند. برنامه‌ریزی یکپارچه انرژی، مشارکت ذینفعان و هماهنگی چندبخشی برای ایجاد تعادل بین منافع رقابتی و پرداختن به مبادلات بین اهداف زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ضروری است.

اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها در فناوری‌های انرژی پاک، زیرساخت‌ها و نوآوری می‌تواند انتقال به یک سیستم انرژی پایدار را تسریع کند. هدایت جریان‌های مالی به دور از پروژه‌های سوخت فسیلی به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی و زیرساخت‌های پایدار می‌تواند فرصت‌های اقتصادی و شغل ایجاد کرده و نوآوری را تحریک نماید. مکانیسم‌های مالی پایدار مانند اوراق قرضه سبز، قیمت‌گذاری کربن و سرمایه‌گذاری تأثیرگذار می‌توانند سرمایه خصوصی را به سمت سرمایه‌گذاری‌های انرژی پایدار بسیج کنند.

مدیریت ریسک‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی، کاهش منابع، مقررات زیست‌محیطی و عدم قطعیت‌های بازار برای اطمینان از انعطاف‌پذیری و دوام طولانی‌مدت سیستم‌های انرژی ضروری است. ارزیابی و افشای ریسک‌های زیست‌محیطی، انجام تحلیل سناریو و اتخاذ استراتژی‌های تطبیقی می‌تواند به شرکت‌های انرژی، سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران کمک کند تا ریسک‌های گذار را هدایت نمایند و از فرصت‌ها در چشم‌انداز انرژی به سرعت در حال تغییر استفاده کنند.

با ادغام ملاحظات زیست‌محیطی و پایداری در برنامه‌ریزی انرژی، سیاست‌گذاری و تصمیم‌های سرمایه‌گذاری، ذینفعان می‌توانند انتقال انرژی پایدارتر، انعطاف‌پذیرتر و عادلانه‌تر را ترویج کنند که به نفع نسل‌های حال و آینده باشد.

**جمع‌بندی**

در این فصل، پویایی تولید، مصرف و قیمت جهانی نفت را بررسی و روندهای کلیدی، محرک‌ها و پیامدهای چشم‌انداز انرژی برجسته شد. تجزیه و تحلیل بر نقش مرکزی نفت در اقتصاد جهانی و بر اهمیت آن به عنوان منبع انرژی اولیه، محرک رشد اقتصادی و تعیین‌کننده پویایی‌های ژئوپلیتیکی تأکید کرده است. در ادامه دیدگاه‌های تاریخی، روندهای فعلی و پیش‌بینی‌های آینده را بررسی و یک نمای کلی از پیچیدگی‌ها و چالش‌های پیش روی بازار نفت ارائه گردید. بینش‌های کلیدی عبارت‌اند از:

* تکامل صنعت نفت مدرن از قرن نوزدهم تا به امروز که با پیشرفت‌های تکنولوژیکی، تغییرات ژئوپلیتیکی و تحولات بازار مشخص شده است.
* نقاط عطف عمده در تولید و مصرف جهانی نفت ازجمله دوره‌های رشد عرضه، گسترش تقاضا، و اختلالات بازار بررسی شد.
* تأثیر رویدادها و تحولات عمده بر بازارهای نفت مانند بحران‌های نفتی، نوآوری‌های فناوری و تنش‌های ژئوپلیتیکی، شکل‌دهی به پویایی عرضه و تقاضا و نوسان قیمت تحلیل گردید.
* روند فعلی در تولید نفت بر اساس منطقه و کشور تحت تأثیر عواملی مانند در دسترس بودن منابع، روند سرمایه‌گذاری و چارچوب‌های نظارتی بررسی شد.
* عوامل سمت تقاضا که الگوهای مصرف نفت را هدایت می‌کنند ازجمله رشد اقتصادی، پویایی بخش حمل‌ونقل و سیاست‌های انرژی تحلیل گردید.
* نقش کشورهای عمده تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت در بازار جهانی، شکل دادن به پویایی بازار، همسویی‌های ژئوپلیتیکی و منافع استراتژیک بررسی شد.
* تعادل بین عرضه و تقاضا در بازار نفت، تحت تأثیر عواملی مانند ظرفیت تولید، سطح موجودی و سفته‌بازی بازار است.

با نگاهی به آینده، مسیر بازار نفت با عدم قطعیت مشخص می‌شود که توسط یک تعامل پیچیده از عوامل فنی، اقتصادی و ژئوپلیتیکی هدایت می‌گردد. در حالی که انتظار می‌رود نفت در کوتاه‌مدت به عنوان منبع انرژی غالب باقی بماند، انتقال مداوم به سمت منابع انرژی پاک‌تر، ترجیحات مصرف‌کننده در حال تحول و مداخلات سیاستی با هدف رسیدگی به تغییرات اقلیم چالش‌ها و فرصت‌هایی را برای صنعت نفت ایجاد می‌کند.

ملاحظات کلیدی برای آینده بازار نفت عبارت‌اند از:

* تأثیر بالقوه نوآوری‌های فناوری مانند فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، وسایل نقلیه الکتریکی و راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی بر تقاضای نفت و رقابت در بازار.
* نقش تحولات سیاستی ازجمله مقررات آب و هوا، مکانیسم‌های قیمت‌گذاری کربن و استراتژی‌های انتقال انرژی در شکل‌دهی به پویایی بازار نفت و تصمیم‌های سرمایه‌گذاری.
* ریسک‌ها و درگیری‌های ژئوپلیتیکی مرتبط با مناطق تولیدکننده نفت، تأثیرگذار بر اختلالات عرضه، ثبات بازار و روابط بین‌الملل.
* واکنش‌های بازار به روندهای نوظهور مانند بهبود بهره‌وری انرژی، اقدامات مدیریتی سمت تقاضا و تغییرات رفتار مصرف‌کننده که بر الگوهای مصرف نفت و ساختارهای بازار تأثیر می‌گذارد.
* نیاز به استراتژی‌های انطباقی، اقدامات ایجاد تاب‌آوریو همکاری ذینفعان برای عبور از عدم قطعیت‌ها و بهره‌برداری از فرصت‌ها در چشم‌انداز انرژی که به سرعت در حال تحول است.

فصل سوم

امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری

1. امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری

اصطلاح «امنیت تأمین انرژی» یا به اختصار «امنیت انرژی» با دگرگونی رژیم انرژی در جهان تکامل یافته است. درواقع، امنیت انرژی یا امنیت عرضه یک مفهوم گسترده است که تعریف واحدی ندارد. این مفهوم به طور سنتی با تأمین دسترسی به منابع نفتی و مسئله کاهش سوخت‌های فسیلی مرتبط است. تمرکز بر نفت ناشی از این واقعیت است که گاز و زغال‌سنگ در گذشته عمدتاً سوخت‌های ملی بودند که غالباً توسط شرکت‌های دولتی تحت انحصار عرضه می‌شدند. ممکن بود تهدیدهایی گاه به گاه برای تداوم عرضه وجود داشته باشد، به‌ویژه درنتیجه اعتصابات؛ اما این مسائل از طریق مذاکره بین طرف‌های داخلی که درنهایت به تداوم عرضه علاقه مشترکی داشتند، حل می‌شدند. در حالی که چنین موضوعی در خصوص تأمین نفت صدق نمی‌کند و موضوع را پیچیده کرده است.

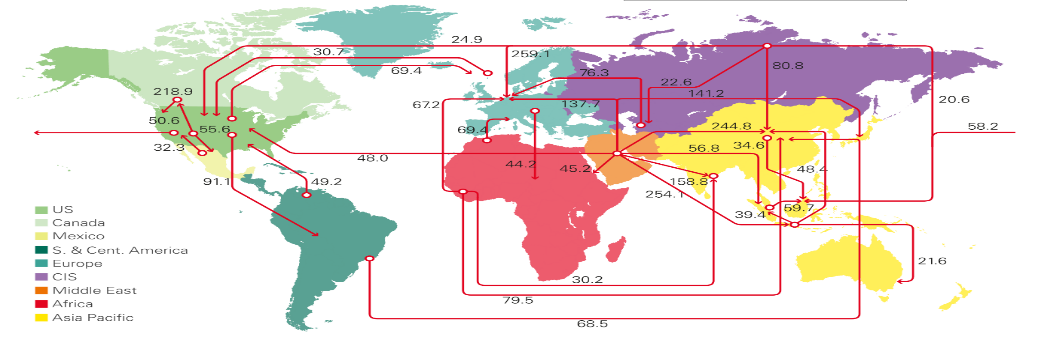
پیچیدگی فزاینده الگوهای تجارت جهانی نفت، امنیت و استراتژی­های انرژی یک کشور را تحت تأثیر قرار می­دهد (ژنگ و همکاران، 2014).[[3]](#footnote-3) مفاهیمی همچون تنوع، پایداری و تاب‌آوری در ذیل مفهوم امنیت انرژی اهمیت و نمود پیدا کرده‌اند. از این رو، هدف این فصل تبیین مفاهیم امنیت انرژی، پایداری، تنوع و تاب‌آوری و استحکام می‌باشد.

* 1. ظهور آژانس بین‌المللی انرژی و اهمیت آن در تأمین امنیت انرژی

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 و همکاران، 2017).[[4]](#footnote-4) محصولات مستقیم یا غیرمستقیم نفت خام اعم از بنزین، نفت و گاز تا پلاستیک و حتی دارو به طور گسترده‌ای در جوامع مدرن در حال استفاده است (دونگ و همکاران، 2020).[[5]](#footnote-5)

موضوع مهم دیگر در خصوص نفت، عدم توازن بین مناطق دارنده منابع و تولیدکننده نفت با مناطق مصرف­کننده نفت در جهان 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 2019 حدود 14.1 درصد ذخایر نفت جهان را دارد؛ اما میزان تولید آنها 25.9 درصد است. از طرفی آمریکای مرکزی و جنوبی با دارا بودن 18.8 درصد ذخایر صرفاً 6.5 درصد تولید داشته است. خاورمیانه با 48.1 درصد ذخایر 31.9 درصد تولید جهان را در اختیار داشته و کل کشورهای اوپک در حالی که 70.1 درصد ذخایر جهان را در اختیار دارند، 37.4 درصد تولید نفت را به خود اختصاص داده­اند و این یعنی کمی بیش از نصف ظرفیت ذخایر خود تولید کرده­اند. نوع دوم، عدم توازن میان تولید و مصرف نفت است. برای مثال، با وجودی که تولید نفت اروپا 3.6 درصد کل جهان است؛ اما مصرف آن 15.2 می‌باشد و در مقابل کشورهای مستقل مشترک­المنافع در حالی که 15.4 درصد تولید نفت را به خود اختصاص داده­اند؛ اما میزان مصرفشان حدود 4.3 درصد است. همچنین با وجود اینکه خاورمیانه 31.9 درصد تولیدات را دارد؛ اما صرفاً 9.6 درصد مصرف را به خود اختصاص داده است. در مقابل آسیا- اقیانوسیه با تولید 8 درصدی، 36.8 درصد نفت جهان را مصرف می­کند (بریتیش پترولیوم، 2020).[[6]](#footnote-6) این عدم توازن نشان­دهنده اهمیت تجارت نفت بوده و بنابراین، درک ویژگی­های تجارت جهانی نفت اهمیت زیادی دارد.

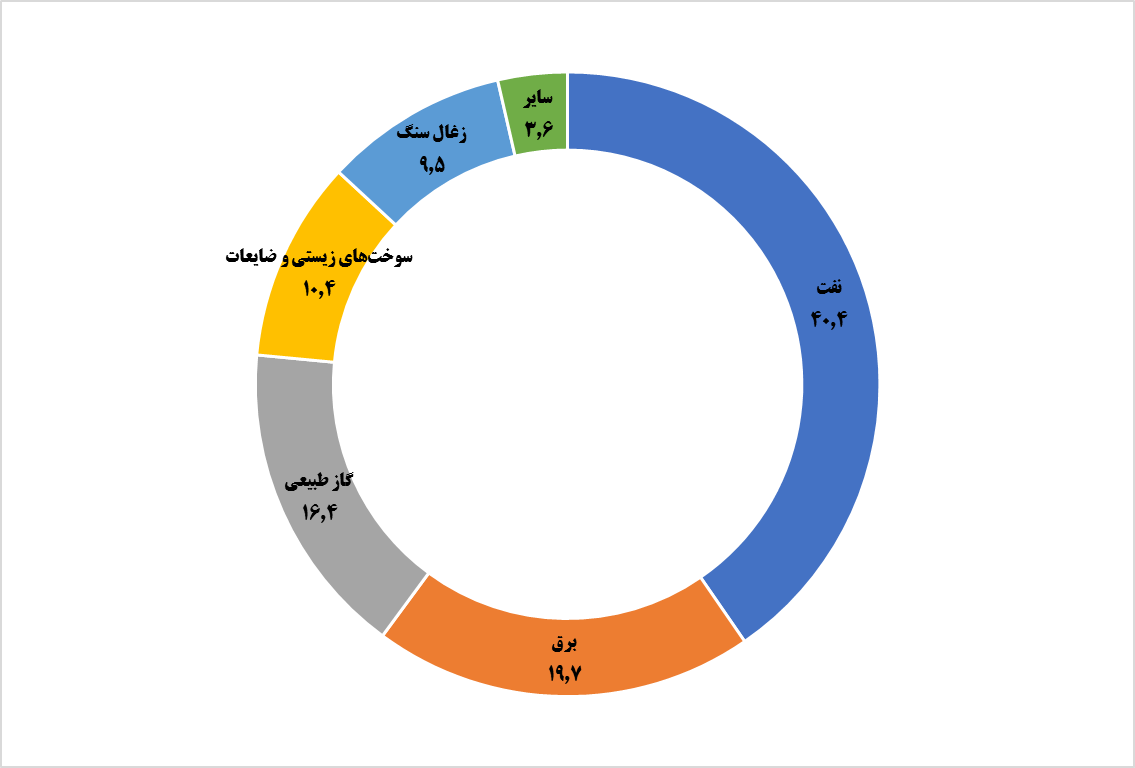
در شکل (1) ساختار تجارت نفت خام در جهان مشخص شده و نشان می‌دهد که ساختار تجارت منطبق با عدم توازن بین تولید و مصرف است. خاورمیانه به عنوان مهم‌ترین مرکز صادرات نفت و آسیا- اقیانوسیه و اروپا به عنوان بزرگ‌ترین واردکننده‌های نفت محسوب می‌شوند. آمریکای شمالی هم همزمان حدود 25 درصد تولید و مصرف نفت دنیا را در اختیار دارد.

****

**شکل 1:** تحرکات عمده تجاری در سال 2019 - جریان تجارت در سراسر جهان (میلیون تن)[[7]](#footnote-7)

تولید و مصرف انرژی اعم از سوخت‌های فسیلی، برق، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، سوخت‌های زیستی[[8]](#footnote-8) و ضایعات، گرمایی، خورشیدی، زمین گرمایی، باد و امواج، هیدروژن و پیل سوختی، زیست توده و فتوولتاییک[[9]](#footnote-9) یک مفهوم مهم در دنیا است. بر اساس داده‌های موجود، تولید سوخت‌های فسیلی در سال 2020 نسبت به سال 2019 به شدت (5 درصد) کاهش یافته است. همه سوخت‌های فسیلی، به ویژه نفت (منفی 7٪) تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، زیرا تقاضای حمل و نقل در طول بحران بهداشت جهانی در اثر انتشار بیماری کووید-19 کاهش یافته است. بر اساس داده‌های اولیه، تولید زغال‌سنگ 4 درصد کاهش یافت. همچنین به دلیل پیامدهای اقتصادی ناشی از کووید-19، با وجود بازگشت اقتصادی قوی در چین - بزرگ‌ترین مصرف‌کننده زغال‌سنگ جهان- در نیمه دوم سال تولید گاز طبیعی کمتر تحت تأثیر قرار گرفت؛ اما تولید این منبع انرژی نیز به میزان 3 درصد کاهش یافت.[[10]](#footnote-10)

در سال 2019، سهم نفت از کل مصرف نهایی انرژی حدود 40 درصد، سهم برق حدود 20 درصد، سهم گاز طبیعی حدود 16 درصد، سهم سوخت‌های زیستی و ضایعات حدود 10 درصد، سهم زغال سنگ حدود 10 درصد و سایر اشکال انرژی (گرما، خورشیدی و زمین گرمایی)[[11]](#footnote-11) حدود 4 درصد از کل مصرف نهایی انرژی بوده است.



**شکل 2:** سهم انواع مختلف انرژی از مصرف انرژی در سال 2019

عرضه بیش از حد فعلی نفت و تأثیر کووید-19 بر تقاضا، دلیلی برای رضایت خاطر در مورد امنیت عرضه نیست. تقاضای جهانی نفت در سال 2021 افزایش یافته است و به طور خاص، آسیا 77 درصد از رشد تقاضای نفت را تا سال 2025 تشکیل می‌دهد. همزمان، تولید نفت در منطقه کاهش یافته و درنتیجه، نیازهای واردات نفت آسیا در سال 2025 از 31 میلیون بشکه در روز فراتر خواهد رفت. همه اقتصادهای بزرگ آسیا به شدت به واردات نفت وابسته هستند (آژانس بین‌المللی انرژی، 2020).

در خصوص آسیا، به واسطه وابستگی به واردات نفت، واردات نفت آسیا از نقاط دورتر انجام خواهد شد و مدت سفر را افزایش می‌دهد و درنتیجه به طور ذاتی انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری شبکه تجارت نفت را در مواجهه با شرایط اضطراری محدود می‌کند؛ بنابراین، کشورهای آسیایی نیاز است به صورت تکی و جمعی برای تقویت امنیت عرضه نفت تلاش کنند.[[12]](#footnote-12) به طور کلی، کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی موظف‌اند ذخایر نفتی معادل حداقل 90 روز واردات خالص نفت داشته و آماده باشند تا به طور جمعی به اختلالات شدید عرضه که بر بازار جهانی نفت تأثیر می‌گذارد مانند حمله روسیه به اوکراین پاسخ دهند. از آنجایی که انتظار می‌رود نفت در دهه‌های آینده، به‌ویژه برای بخش حمل‌ونقل، جزء اصلی تقاضای جهانی انرژی باقی بماند و حفظ قابلیت واکنش اضطراری آژانس بین‌المللی انرژی همچنان ضروری است.[[13]](#footnote-13)

جنگ روسیه و اوکراین که از فوریه 2022 آغاز شد، کاهش تولید اوپک پلاس و سایر حوادث جهانی به‌طور جدی استراتژی‌های امنیت انرژی را در سطح جهانی مورد آزمایش قرار داده است. در پاسخ به این شرایط، کشورهای آمریکای لاتین، آفریقا و آسیا تولید داخلی نفت، گاز و زغال‌سنگ خود را افزایش داده‌اند تا فشارهای ژئوپلیتیکی و بازار را کاهش دهند. در هر حال، این رویکرد که امنیت تأمین را در کوتاه‌مدت بهبود می‌بخشد، از حرکت جهانی به سمت پایداری زیست‌محیطی و تغییر به سمت منابع انرژی پاک‌تر منحرف می‌شود.

پس از حمله به اوکراین، کشورهای اروپایی که به شدت به نفت و گاز روسیه وابسته بودند، با استفاده کمتر از گاز، تأمین اضافی را با قیمت‌های بالاتر، افزایش موقت تولید برق از زغال‌سنگ، معرفی اهداف الزام‌آور در سطح اتحادیه اروپا برای پر کردن ذخایر گاز و به‌کارگیری مقادیر رکوردی از انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین معرفی تدابیر صرفه‌جویی در مصرف انرژی پاسخ دادند. در حالی که افزایش قیمت انرژی منجر به بحران هزینه زندگی در بسیاری از نقاط اروپا و سایر نقاط جهان شد، بازارهای برق متصل اروپا تأمین برق امن را تضمین کردند. ترکیبی از تدابیر سمت تقاضا و اقداماتی برای تأمین سریع تأمین گاز طبیعی مایع منجر به تأمین 95 درصد از ذخایر گاز در اروپا تا پایان سه‌ماهه چهارم 2022 شد (گزارش شورای جهانی انرژی، 2024).

نیاز به تاب‌آوری درازمدت در سیستم‌های انرژی که باید به تهدیدات سایبری و سایر ریسک‌ها سازگار شوند، اهمیت تدابیر امنیتی جامع فراتر از حفاظت فیزیکی زیرساخت‌ها را برجسته می‌کند. همکاری، تبادل اطلاعات و همبستگی میان کشورها، به‌ویژه کشورهای بالتیک و نوردیک برای تقویت امنیت انرژی در پاسخ به حملات سایبری احتمالی و سایر ریسک‌های دیجیتال، ضروری است.

جنگ اوکراین تمرکز بر ذخیره‌سازی گاز را شدت بخشیده است، در حالی که افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیازمند گسترش ظرفیت ذخیره‌سازی است تا تولید و تقاضا را به‌ویژه در کوتاه‌مدت و برای تغییرات فصلی هماهنگ کند. این تعادل پیچیده نیازمند سرمایه‌گذاری در شبکه و دیجیتالی شدن و همچنین معیارها و شاخص‌های جدیدی برای پایداری سیستم است. ادغام منابع انرژی متنوع که نیازمند ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس وسیع و قابل تنظیم است، اهمیت سیاست‌های ترویج زیرساخت‌های پیشرفته شبکه و فناوری‌های هوشمند برای حفظ پایداری سیستم را نشان می‌دهد. اصلاحات بازار برق که عمدتاً به عنوان پاسخ نیاز به عدالت انرژی دیده می‌شود، همچنین تعرفه‌های زمانی را برای پشتیبانی از این تعادل برای اطمینان از قابلیت اطمینان شبکه معرفی می‌کند.

بسیاری از فناوری‌های جدید انرژی ازجمله انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره‌سازی انرژی و خودروهای برقی به مواد معدنی حیاتی نیاز دارند که در تنها چند کشور متمرکز هستند. در حالی که قدرت‌های غربی دسترسی به این فناوری‌ها (مالکیت فکری، تأسیسات تولید، تخصص) را در اختیار دارند، کشورهای جهانی جنوب، به‌ویژه آفریقا دسترسی به مواد معدنی حیاتی را در اختیار دارند و چین کنترل بخش قابل توجهی از بازار و ظرفیت‌های پردازش عناصر نادر خاکی را در دست دارد. کنترل متنوع‌تر می‌تواند در برابر خطرات ژئوپلیتیکی در زمینه رقابت میان ایالات متحده و چین که پیش‌تر به عنوان پیامدهای پاندمی جهانی و بحران اوکراین با تحریم‌های تجاری همراه بوده است، کاهش یابد. در آینده، چنین بحران‌ها و همچنین اختلافات تجاری یا مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی در کشورهای تولیدکننده می‌توانند به امنیت انرژی و احتمالاً به انتقالات انرژی، چالش‌هایی وارد کنند.[[14]](#footnote-14)

بخش انرژی متشکل از هزاران دارایی برق، نفت و گاز طبیعی است که از نظر جغرافیایی پراکنده شده و توسط سیستم‌ها و شبکه‌ها به هم متصل‌اند؛ بنابراین، وابستگی متقابل در سراسر بخش‌های زیرساخت در سطح کشور و ملی، حیاتی است. زیرساخت انرژی، سوخت را برای کشور فراهم می‌کند و به نوبه خود به زیرساخت‌های حمل و نقل، ارتباطات، مالی و دولتی وابسته است. سیستم‌ها و شبکه‌های انرژی از مرزهای کشور عبور می‌کنند و همکاری بین‌المللی را جزء ضروری تلاش‌های بخش انرژی می‌سازند.

حفاظت و بهبود تاب‌آوری بخش انرژی در مواجهه با بلایای انسانی و طبیعی، یک تلاش مستمر است که مستلزم هوشیاری مداوم، برنامه‌ریزی اضطراری و آموزش می‌باشد. بخش انرژی با ارزیابی نیازهای امنیتی، توسعه برنامه‌ها و یافتن راه‌حل‌های بلندمدت ازجمله تحقیق و توسعه، به اجرای اقدامات حفاظتی مؤثر ادامه می‌دهد. به عنوان مثال، دفتر امنیت انرژی سایبری و پاسخ اضطراری وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا[[15]](#footnote-15) برای کمک به اطمینان از امنیت، انعطاف‌پذیری و بقای دارایی‌های انرژی کلیدی و زیرساخت‌های انرژی حیاتی در داخل و خارج از ایالات متحده آمریکا، تخصص فنی ارائه می‌دهد (دفتر انرژی ایالات متحده آمریکا، 2023).

به طور خاص، دفتر امنیت انرژی سایبری و پاسخ اضطراری با همکاری وزارت امنیت داخلی، کمیسیون تنظیم مقررات انرژی فدرال و سایر سازمان‌های تجاری ملی، منطقه‌ای، ایالتی و محلی تلاش می‌کند تا از برنامه ملی حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی حمایت کند؛ آسیب‌پذیری‌های زیرساخت‌ها را تجزیه و تحلیل و اقدامات پیشگیرانه را توصیه نماید؛ به سایر آژانس‌ها کمک کند تا برای شرایط اضطراری انرژی آماده شوند و به آن‌ها پاسخ دهند و عواقب اضطراری را به حداقل برسانند. همچنین، اقدامات انرژی اضطراری در طول یک رویداد اضطراری اعلام شده یا ویژه امنیت ملی مطابق با چارچوب واکنش ملی را انجام دهد و آمادگی امنیت سایبری بخش انرژی و هماهنگی واکنش و بازیابی حوادث سایبری را تقویت نماید.[[16]](#footnote-16)

* 1. امنیت انرژی چیست و چه اهمیتی دارد؟

اصطلاح «امنیت تأمین انرژی» یا به اختصار «امنیت انرژی» با دگرگونی رژیم انرژی در جهان تکامل یافته است. درواقع، امنیت انرژی یا امنیت عرضه یک مفهوم گسترده است که تعریف واحدی ندارد. این مفهوم به طور سنتی با تأمین دسترسی به منابع نفتی و مسئله کاهش سوخت‌های فسیلی مرتبط است. تمرکز بر *نفت* ناشی از این واقعیت می‌باشد که گاز و زغال‌سنگ قبلاً عمدتاً سوخت‌های ملی بودند که غالباً توسط شرکت‌های دولتی تحت انحصار عرضه می‌شدند. ممکن بود تهدیدهایی گاه به گاه برای تداوم عرضه وجود داشته باشد، به‌ویژه درنتیجه اعتصابات؛ اما این مسائل از طریق مذاکره بین طرف‌های داخلی که درنهایت به تداوم عرضه، علاقه مشترکی داشتند، حل می‌شد.

با گذشت زمان، توسعه بازارهای جهانی، تنوع‌بخشی ازجمله استفاده بیشتر از گاز طبیعی و توسعه فناوری‌های تأمین جایگزین باعث شده که این مفهوم مجدداً تعریف شود. معمولاً تمایزی بین امنیت عرضه کوتاه‌مدت و امنیت عرضه در بلندمدت وجود دارد. مسائل امنیت عرضه بلندمدت به جنبه‌های بنیادی و ساختار سیستم انرژی می‌پردازند. ناپایداری‌های سیاسی بلندمدت، دسترسی به منابع و روابط ژئوپلیتیک تنها چند جنبه از مسائلی می‌باشند که معمولاً با امنیت عرضه بلندمدت مرتبط هستند. کمبودهای فیزیکی نفت به همه مصرف‌کنندگان از طریق افزایش قیمت منتقل می‌گردد. این امر منجر به تغییر در مفهوم امنیت عرضه از تعریف صرفاً فیزیکی به تعریفی شده که قیمت انرژی را نیز شامل می‌شود (گروننبرگ و همکاران، 2008).[[17]](#footnote-17)

طبق اعلام آژانس بین‌المللی انرژی (2007)، ناامنی انرژی «از تأثیر رفاهی عدم دسترسی فیزیکی به انرژی یا قیمت‌هایی که رقابتی نیستند یا به‌شدت نوسان دارند»، نشئت می‌گیرد. در بیشتر تعاریف به دسترسی فیزیکی به انرژی، قیمت‌های انرژی و نوسانات آن‌ها اشاره شده است. بوهی و تومن (1996)[[18]](#footnote-18) اشاره می‌کنند که امنیت انرژی به «از دست دادن رفاه اقتصادی که ممکن است درنتیجه تغییر در قیمت یا دسترسی به انرژی رخ دهد» اشاره دارد. این پژوهشگران، پیامدهای خارجی بالقوه امنیت انرژی که باعث از دست دادن رفاه اقتصادی می‌شوند را شناسایی کرده و آن‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنند: آن‌هایی که به (1) حجم واردات انرژی؛ (2) تغییرات قیمت انرژی؛ و (3) امنیت ملی و هزینه‌های نظامی مربوط می‌شوند. به این ترتیب، تمرکز آن‌ها کمتر بر روی خود قیمت انرژی می‌باشد - که نشانگر کمبود یا کمیابی است بلکه بر روی نوسانات قیمت انرژی است (لوشل و همکاران، 2010).[[19]](#footnote-19)

درواقع، قیمت‌ها یا نوسان‌پذیری آن‌ها باعث سردرگمی زیادی می‌شود. در تعریف امنیت انرژی به قیمت‌ها اشاره متفاوتی دارد. «کاغذ سبز کمیسیون اروپا در سال 2001» در حرکت به سوی یک استراتژی اروپایی برای تأمین امنیت انرژی ادعا می‌کند: «استراتژی بلندمدت اتحادیه اروپا برای امنیت عرضه انرژی باید برای اطمینان از رفاه شهروندان و عملکرد مناسب اقتصاد، در دسترس بودن فیزیکی بدون وقفه محصولات انرژی در بازارها، قیمتی که برای همه مصرف‌کنندگان (اعم از مصرف بخش خصوصی یا صنعتی) مقرون به صرفه است». طبق گزارش مرکز سیاست انرژی بین‌المللی[[20]](#footnote-20) با عنوان «مطالعه امنیت تأمین انرژی و ژئوپلیتیک» تعریف امنیت انرژی «در دسترس بودن[[21]](#footnote-21) انرژی در کل زمان در اشکال مختلف، در مقادیر کافی و در قیمت‌های معقول[[22]](#footnote-22) و یا مقرون به صرفه»[[23]](#footnote-23) آمده است.

اصطلاحات «مقرون به صرفه» و «معقول» کمی مبهم هستند. این که آیا قیمت‌های مقرون به صرفه و معقول نیازمند سطح قیمت‌های بدون تغییر است، بسیار جای بحث دارد. از منظر اقتصادی، ادعای «قیمت‌های رقابتی یا نه بیش از حد نوسانی» که توسط آژانس بین‌المللی انرژی مطرح شده است، جذابیت خود را دارد. با این حال، مشخص نیست که «بیش از حد نوسانی»[[24]](#footnote-24) به چه معناست. همچنین، «قیمت‌های معقول» نیز مبهم هستند. اگر این به قیمت‌های رقابتی اشاره دارد، باید توجه داشت که این قیمت‌ها احتمالاً در تمامی زیر بازارهای انرژی وجود نخواهند داشت، زیرا این‌ها بازارهای کامل نیستند. به عنوان مثال در بازار نفت، کارتل OPEC دارای قدرت بازاری است و در بسیاری از کشورها، قیمت گاز به قیمت نفت شاخص می‌شود؛ بنابراین، مفهوم قیمت‌های رقابتی همچنان مبهم باقی می‌ماند. علاوه بر این، یک قیمت رقابتی که شامل یک حق بیمه برای یک کارتل تأمین‌کننده باشد، ممکن است واقعاً امنیت انرژی را تهدید نکند بلکه فقط به افزایش کمی در قیمت انرژی منجر شود. با این حال، قدرت بازاری ممکن است به یک مشکل امنیت انرژی تبدیل شود. به عنوان مثال، اگر برای افزایش قیمت به منظور تحمیل ضرر اقتصادی بر مصرف‌کنندگان استفاده شود، ممکن است به هزینه کاهش درآمد برای صادرکننده باشد؛ بنابراین، لوشل و همکاران (2010) با حمایت از دیدگاه بوهی و تومن (1996) بیان می‌کنند که امنیت انرژی وجود دارد اگر بخش انرژی باعث اصطکاک‌های کاهش‌دهنده رفاه در اقتصاد در سطح ملی و جهانی نشود.

علاوه بر مسائل فوق، دامنه مفهوم امنیت انرژی به سایر انواع سوخت (مانند گاز طبیعی) و تبدیل و حمل و نقل انرژی نیز گسترش یافته است. اختلالات کوتاه‌مدت می‌توانند توسط رویدادهای مختلفی که پیش‌بینی آنها دشوار است مانند اعتصابات، خرابکاری، تروریسم و همچنین رویدادهای آب و هوایی نظیر طوفان‌ها یا خشکسالی شدید یا بارندگی زیاد، ایجاد شوند. این موارد معمولاً با تقاضای محدود، تغییرات موقت سوخت یا تحویل از ذخایر استراتژیک، کاهش می‌یابند.

به طور خاص، پس از توسعه‌های ژئوپلیتیک (مانند جنگ عراق در سال 2003، اختلاف گازی بین روسیه و اوکراین در سال‌های 2005/2006 )، خرابی تجهیزات (مانند قطعی برق در شمال شرق آمریکا در سال 2003)، اعتصابات (مانند ونزوئلا در سال‌های 2002/ 2003) و وقایع شدید آب و هوایی (مانند طوفان کاترینا در سال 2005) که تأمین انرژی را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار داده‌اند؛ بنابراین، تحول اشاره شده در رژیم انرژی در جهان با عواملی همچون رشد استفاده از سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر (به طور خاص نفت)، آزادسازی بازارهای انرژی، توسعه انرژی هسته‌ای، افزایش تقاضای انرژی در کشورهای در حال توسعه، تأثیرات بی‌ثبات سیاسی و رویدادهای طبیعی بزرگ مشخص می‌شود.

درواقع، ایده‌های ساده درباره تأمین کافی انرژی به تمرکز بر **تاب‌آوری** تبدیل شده‌اند. در میان چالش‌های ناشی از حوادث جوی شدید، **تنوع** منابع انرژی و تهدیدات جدید برای زیرساخت‌های فیزیکی و دیجیتال، سازگاری سیستم‌های انرژی برای مقاومت در برابر اختلالات و توانایی مدیریت تقاضا هر دو برای امنیت انرژی حیاتی هستند. علاوه بر این، برای جلوگیری از افزایش فاجعه‌آمیز دمای جهانی به بیش از 5/1 درجه سانتی‌گراد، توجه به حذف کربن، تغییر اقلیم و استراتژی‌های نوآورانه برای ساخت زیرساخت‌های سازگار معطوف شده است. به عنوان مثال، ژاپن به طوفان‌های ویرانگر پاسخ داده و استانداردهای شبکه برق را بازنگری کرده است. آمریکای لاتین نیز به آسیب‌پذیری انرژی هیدروالکتریک خود در برابر باران‌های ناپایدار و خشکسالی‌ها توجه نموده و تلاش‌های هماهنگ برای مقاوم‌سازی زیرساخت‌های انرژی در برابر اختلالات ناشی از تغییرات اقلیمی، نشان‌دهنده درک وسیع‌تری از این موضوع است که تاب‌آوری تنها به پاسخ به تهدیدات فوری محدود نمی‌شود بلکه به پیش‌بینی و کاهش چالش‌های آینده نیز مربوط می‌گردد تا اطمینان حاصل شود که سیستم‌های انرژی به طور پایدار نیازهای اجتماعی را در دورانی که با عدم قطعیت اقلیمی مشخص شده است، تأمین کنند.

مدیریت تقاضای انرژی به عنوان یک جزء اساسی از امنیت انرژی شناخته می‌شود که نشان‌دهنده تغییر به سمت مشارکت فعال‌تر مصرف‌کنندگان در بازارهای انرژی، به‌ویژه از طریق قیمت‌گذاری پویا و مشارکت‌های انعطاف‌پذیر است. در اولین زمستان جنگ اوکراین، شهروندان و کسب‌وکارها در اروپا تقاضای انرژی را کاهش دادند که نشان‌دهنده تاب‌آوری جمعی در برابر چالش‌های انرژی و این پیام است که مدیریت تقاضا می‌تواند بخشی از تدابیر امنیتی باشد. عوامل متعددی احتمالاً الگوهای تقاضای منطقه‌ای را تغییر خواهند داد؛ برای مثال، افزایش فناوری‌های دیجیتال و تقاضای مرتبط برای سرمایش، افزایش تعداد تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی و استراتژی‌های ملی بلندپروازانه در زمینه هیدروژن در کشورهای با درآمد بالا و منابع غنی مانند امارات متحده عربی و عربستان سعودی. مصرف‌کنندگانی که سیستم‌های فتوولتائیک، قابلیت‌های انرژی خورشیدی، خودروهای برقی یا پمپ‌های حرارتی دارند، باید قادر باشند به‌طور فعال در بازارهای آینده انرژی مشارکت کنند که باید امکان قیمت‌گذاری پویا و همچنین فرصت فروش انرژی اضافی به شبکه را فراهم نمایند.

بازنگری در امنیت انرژی در حال انجام است، زیرا سیستم انرژی جهانی از وابستگی غالب به سوخت‌های فسیلی به سمت ترکیب انرژی متنوع‌تر و سیستم‌های قدرت جدید با تنوع و تمرکززدایی فزاینده در حال حرکت است. افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی نیازمند سطوح جدیدی از هم‌پیوندی و انعطاف‌پذیری برای مقابله با چالش‌های مربوط به تغییرپذیری باد و خورشید است. برنامه‌ریزی استراتژیک و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال شبکه با قدرت محاسباتی برای مدیریت تغییرپذیری‌های عرضه و تقاضا لازم است. با به اشتراک‌گذاری دارایی‌های منطقه‌ای، کشورهای مختلف می‌توانند از ظرفیت‌های تولید یکدیگر بهره‌مند شوند تا قابلیت اطمینان و تاب‌آوری را بهبود بخشند. به عنوان مثال، روآندا در تلاش است تا اتصال منطقه‌ای را افزایش دهد؛ و در چارچوب پروژه یکپارچگی برق لاوس- تایلند-مالزی- سنگاپور (LTMS-PIP)، سنگاپور از طریق شبکه‌های برق تایلند و مالزی تا ۱۰۰ مگاوات برق آبی از لاوس وارد ‌کند.

در مقابل، بسیاری از کشورهای ثروتمند از نظر منابع معمولاً تنوع کمی در ترکیب تولید برق خود نشان می‌دهند و عمدتاً به هیدروکربن‌ها وابسته هستند. این وابستگی به وضوح در کشورهای شورای همکاری خلیج فارس (GCC) مشاهده می‌شود، جایی که هیدروکربن‌ها به طور تاریخی بر چشم‌انداز انرژی تسلط داشته‌اند. با این حال، کشورهایی مانند امارات متحده عربی به طور فعال در حال کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی با وارد کردن ظرفیت‌های هسته‌ای و خورشیدی هستند که منجر به کاهش قابل توجه از ۹۷ درصد به ۸۹ درصد وابستگی به هیدروکربن‌ها شده است. به‌طور مشابه، عربستان سعودی اهداف بلندی را تعیین کرده و به دنبال دستیابی به ۵۰ درصد انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۰ است. این تحولات نشان‌دهنده پتانسیل اوج در نقش سوخت‌های فسیلی در تولید برق است، به‌ویژه که تولیدکنندگان با هزینه پایین معمولاً آخرین کسانی هستند که تغییر می‌کنند. با این حال، باید توجه داشت که چنین روندهایی می‌تواند تحت تأثیر شرایط جهانی نوسان‌پذیر قرار گیرد که ممکن است پیشرفت‌ها را به چالش بکشد یا حتی معکوس کند.

امنیت انرژی به شدت با عدالت انرژی و پایداری محیط‌زیست در زمینه مجوز اجتماعی برای عملیات مرتبط است. در آفریقا، انتقال از بخش زغال‌سنگ منجر به افزایش مهارت‌های نیروی کار شده است. در آمریکای لاتین، برخی جوامع به خطوط انتقال و همچنین کاوش و استخراج نفت و گاز اعتراض کرده‌اند. در اروپا، هرچند که حمایت بیشتری از اقدام در برابر تغییرات اقلیمی وجود دارد، واکنش «NIMBY» به معنای «در حیاط خانه من نه!») اغلب موانعی برای پیاده‌سازی ایجاد می‌کند.

روش دانمارک در توسعه انرژی باد به عنوان یک مدل موفق برای مقابله با چالش‌های مجوز اجتماعی ذکر می‌شود. چارچوب سیاستی این کشور با ارائه مشوق‌های مالی برای مالکیت محلی، توربین‌های بادی متعلق به جامعه را تشویق می‌کند. این رویکرد منجر به سطوح بالای حمایت عمومی از انرژی باد شده است، زیرا جوامع به‌طور مستقیم از پروژه‌ها از طریق ایجاد شغل، سرمایه‌گذاری محلی و کاهش هزینه‌های انرژی بهره‌مند می‌شوند.

این نمونه‌ها تأکید می‌کنند که اهداف ظرفیت انرژی تجدیدپذیر یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به تنهایی پیشرفت در بعد پایداری معضل سه‌گانه را تضمین نمی‌کنند. درنهایت، بعد انسانی وجود دارد که در چارچوب معضل سه‌گانه جهانی انرژی عمل می‌کند (گزارش شورای جهانی انرژی، 2024).

بنابراین، در ذیل بحث امنیت انرژی، دو مفهوم تنوع و تاب‌آوری قرار می‌گیرند که بحث تنوع نه‌تنها در استفاده از شکل‌های مختلف انرژی بلکه در طرف‌های تجاری را نیز شامل می‌شود. به علاوه با درک مفهوم پایداری و سهم مؤثر کشورها در تجارت، بحث تاب‌آوری آن‌ها در شبکه تجارت مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. درواقع، تاب‌آوری یک سیستم و اجزاء آن در بحث امنیت انرژی اهمیت دارد.

* 1. سنجش امنیت عرضه انرژی

پس از جنگ جهانی دوم، بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، به شدت به نفت خاورمیانه به عنوان منبع انرژی وابسته شدند. این سوخت فسیلی در رشد اقتصادی پس از جنگ جهانی بسیار نقش داشت، به خصوص در بخش حمل‌ونقل و در حال حاضر نیز 4/40 درصد از مصرف انرژی جهانی را تشکیل می‌دهد.

طبق تعریف آژانس بین‌المللی انرژی، امنیت انرژی عبارت است از دسترسی بدون وقفه به منابع انرژی با قیمت مقرون به صرفه (آژانس بین‌المللی انرژی، 2001). وقوع تکانه اول نفتی در سال 1973 نقطه شروعی برای توجه ویژه به نفت در سیاست انرژی کشورهای صنعتی شد (لیو و همکاران، 2020). کمبود عرضه جهانی انرژی منجر به تشکیل آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) گردید که کشورهای عضو را ملزم به نگهداری ذخایر نفتی برای اشتراک در مواقع اضطراری کرد. همچنین، این امر منجر به دیدگاهی شد که امنیت انرژی را معادل نیاز به کاهش وابستگی به مصرف نفت می‌دانست.

این در حالی است که پارادایم امنیت انرژی که در گذشته ارائه شد بسیار محدود بوده و نیاز به بازاندیشی دارد. درواقع، این پارادایم باید به گونه‌ای گسترش یابد که بسیاری از عوامل جدید را شامل شود. علاوه بر این، باید پذیرفت که امنیت انرژی به خودی خود برقرار نیست و در روابط بزرگ‌تر بین کشورها و نحوه تعامل آن‌ها با یکدیگر جای دارد.

با توجه به اینکه ایده امنیت عرضه انرژی به‌طور دقیق تعریف نشده است، به نظر می‌رسد که تلاش برای اندازه‌گیری آن حتی چالش‌برانگیزتر باشد. با این حال، بر اساس تعریفی که ارائه شد (امنیت انرژی وجود دارد اگر بخش انرژی باعث ایجاد اصطکاک‌های کاهش‌دهنده رفاه در اقتصاد در سطوح ملی و جهانی نشود)، این پرسش ایجاد می‌شود که چگونه می‌توان جنبه‌های مختلف امنیت عرضه انرژی را اندازه‌گیری کرد و چگونه اقتصاد می‌تواند به این موضوع کمک نماید.

به‌طور کلی و عمومی، اظهارات هشداردهنده‌تر درباره ناامنی انرژی به نظر می‌رسد که بیشتر از حوزه سیاسی ناشی می‌شوند تا از حوزه اقتصاد. به عنوان مثال، واردات انرژی گران‌قیمت به معنای انتقال ثروت به کشورهای خاصی می‌باشد که ممکن است با اولویت‌های سیاستی واردکننده هم‌خوانی نداشته باشد. جوامع مدرن تمایل دارند به تحرک وابسته باشند که اغلب توسط منابعی تأمین می‌شود که تقریباً 100درصد آن‌ها باید وارد شوند. این به عنوان محدودیتی برای فضای سیاستی و به عنوان یک ریسک درک می‌شود، زیرا رابطه صادرات/ واردات انرژی ممکن است در موارد افراطی به عنوان یک «سلاح سیاسی» مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه این استدلال‌ها در یک زمینه سیاسی به کار می‌روند، همه آنها به‌طور ضمنی بر پایه وضعیتی استوار هستند که در آن یک کشور می‌تواند تهدید اقتصادی برای کشور دیگری باشد، یعنی با تحمیل عمدی آسیب اقتصادی. بنابراین بعد اقتصادی از اهمیت کلیدی برای حل مشکل امنیت انرژی برخوردار است.

از سوی دیگر، اقتصاد به تنهایی نمی‌تواند به‌طور جامع با مشکل مواجه شود، زیرا حداقل اقتصاد استاندارد تغییرات ترجیحات انگیزه‌دار سیاسی یا انحرافات از اصل عقلانیت مانند پذیرش آسیب به خود اگر این باعث آسیب بیشتری به شخص دیگری شود را در نظر نمی‌گیرد. با بیان این مطلب، اکنون به اقتصاد استاندارد بازگشته و امنیت انرژی را به عنوان یک مشکل مورد بررسی قرار می‌دهیم.

بسیاری از کالاها، بازارها و قیمت‌های مربوطه ممکن است در طول زمان تغییر کنند. نقش سنتی سیاستمداران این است که اطمینان حاصل کنند که بازارها عملکرد[[25]](#footnote-25) دارند. از نظر اقتصادی، درخواست از سیاستمداران برای حل مشکل امنیت انرژی تنها با وجود شکست بازار (مثلاً یک اثر خارجی) توجیه می‌شود. به شکل‌های مختلفی شکست بازار با امنیت انرژی می‌توانند مرتبط باشند. یک مثال– مربوط به سطح واردات– می‌تواند اثر مستقیم قدرت بازاری صادرکننده (افزایش واردات باعث افزایش قیمت‌ها می‌شود) باشد. مثال دیگر می‌تواند اثر غیرمستقیم از طریق تأثیر واردات انرژی بر اقتصاد کشور (مثلاً از طریق اثرات تراز پرداخت‌ها) باشد. شکست بازار ممکن است همچنین توسط اطلاعات نامتقارن یا اثر خارجی کلاسیک مربوط به اکثر بازارهای انرژی، یعنی اثرات آب و هوایی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد شود.

درنتیجه، مفهوم امنیت انرژی تا حدی از یک تعریف فیزیکی صرف از وجود سوخت فسیلی (که بیشتر توسط زمین‌شناسان استفاده می‌شود) به تعریفی که قیمت انرژی را نیز در بر می‌گیرد (به ویژه با منافع اقتصادی) تغییر کرده است. به عبارتی، دامنه و تعریف امنیت انرژی (به‌طور خاص در اینجا نفت) در مطالعات در طول زمان با تأکید فزاینده بر جنبه‌های مختلف، به‌ویژه آسیب‌پذیری اقتصاد در برابر اختلالات عرضه نفت، ثبات سیاسی کشورهای عرضه‌کننده و ترانزیت‌کننده در زنجیره‌های تأمین نفت، پایداری محیط‌زیست و بهره‌وری انرژی گسترش یافته است.

بنابراین، همان‌طور که آنگ و همکاران (2015)[[26]](#footnote-26) اشاره کرده‌اند؛ امنیت انرژی درواقع یک مفهوم کاملاً وابسته به زمینه مطالعاتی است. از تعاریف و مطالعات مربوط به مفهوم امینت انرژی می‌توان هفت موضوع و بعد امنیت انرژی عمده را شناسایی کرد: در دسترس بودن انرژی، زیرساخت‌ها،[[27]](#footnote-27) قیمت انرژی، اثرات اجتماعی، محیط‌زیست، حکمرانی و کارایی انرژی نام برد.

امروزه چهار عنصر اصلی برای امنیت انرژی در نظر گرفته می‌شود. درواقع، این عناصر مربوط به ویژگی ذاتی امنیت انرژی و مدیریت ریسک است. اصلی‌ترین ریسک، خطر قطع و در دسترس نبودن منابع انرژی است؛ بنابراین، نخستین و غالب‌ترین عنصر که در همه تعاریف امنیت انرژی گنجانده شده است، در دسترس بودن[[28]](#footnote-28) انرژی برای یک اقتصاد است. این عنصر مبین در دسترس بودن مطلق یا وجود فیزیکی است (منابع فسیلی اساساً محدود هستند). دومین عنصر، قابلیت دسترسی[[29]](#footnote-29) است که به دلیل اختلاف فضایی زیاد بین مصرف و تولید منابع وجود ایجاد می‌شود و مبین خطر ظرفیت ناکافی برای پاسخگویی به تقاضا است. قابلیت دسترسی اغلب پیامدهای ژئوپلیتیکی دارد. سومین عنصر، عنصری از هزینه‌ها بوده که بیانگر خطر قیمت غیر قابل دسترس انرژی است (کرویت[[30]](#footnote-30) و همکاران، 2009 و چستر،[[31]](#footnote-31) 2010). درنهایت، برخی از تعاریف نیز شامل یک عنصر پایداری زیست‌محیطی است؛ بنابراین، چهار عنصر کلی زیر در تعریف امنیت انرژی گنجانده می‌شود:

در دسترس بودن (عناصر مرتبط با ابعاد وجودی زمین‌شناسی)

هاگز در توصیف در دسترس بودن بیان می­کند که منظور از آن، در دسترس بودن یک جریان انرژی بین فرایندها یا در دسترس بودن یک جریان انرژی بین فرایندها 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. بر اساس تعریف شورای انرژی جهانی از شاخص­های پایداری، منظور از در دسترس بودن، تداوم عرضه و کیفیت و قابلیت اطمینان خدمات است. بر اساس 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، 2012).

تنوع‌بخشی و عوامل ژئوپلیتیکی مسائلی کلیدی هستند که در دسترس بودن انرژی را تعیین می‌کنند. از طریق تنوع بخشیدن به منابع تأمین، واردکنندگان انرژی می‌توانند خطرات اختلالات واردات را کاهش داده و بهبود بخشند. کشوری که انرژی را از بسیاری از کشورهای مختلف وارد می‌کند، درواقع تنوع منابع را افزایش می‌دهد. کشوری با مساحت جغرافیایی وسیع، پتانسیل بسیار زیاد برای تنوع فضایی دارد، زیرا می‌تواند امکانات انرژی را در نقاط مختلف توزیع کند و تأثیر حوادث بحرانی را در یک مکان خاص کاهش دهد. یکی دیگر از منابع تنوع فضایی، ارتقای نسل توزیع شده انرژی‌های تجدیدپذیر است. یک کشور می‌تواند تنوع ترکیب انرژی را با تأمین انرژی متعادل از انواع مختلف انرژی افزایش دهد. برای کشورهایی که به منابع انرژی تجدیدپذیر متناوب متکی هستند؛ تنوع فناوری یک نکته مهم است. واردات انرژی حمل و نقل و تحویل را می‌توان برای افزایش تنوع مسیرهای حمل و نقل متنوع کرد. یکی از راه‌های کاهش چنین ریسک‌هایی، کاهش وارداتی است که از گلوگاه‌های[[32]](#footnote-32) شناخته شده یا داشتن خطوط لوله متعدد عرضه می‌شود تا وابستگی به هر خط لوله منفرد، کاهش یابد (آنگ و همکاران، 2015).

به‌طور کلی 7 بعد برای امنیت انرژی شناسایی شده که یکی از آن‌ها زیرساخت است. زیرساخت‌ها برای تأمین پایدار و بی‌وقفه انرژی ضروری می‌باشند. این تسهیلات شامل تأسیسات تبدیل انرژی مانند پالایشگاه‌های نفت، نیروگاه‌ها و تأسیسات توزیع و انتقال خطوط لوله، خطوط انتقال برق، ایستگاه‌های فرعی و تأسیسات ذخیره انرژی کافی و کوتاه مدت است. قابلیت اطمینان این امکانات برای جلوگیری از کمبود یا خاموشی بسیار مهم است. با استفاده از سیستم کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده برای سیستم‌های مدیریت قدرت، زیرساخت‌ها به شدت در معرض ریسک امنیت سایبری قرار می‌گیرند. برای «در دسترس بودن فیزیکی بدون وقفه محصولات انرژی در بازار»، نیاز به زیرساخت کافی و مستحکم با ظرفیت اضافی نیز ضروری است. همانند ذخایر استراتژیک، زیرساخت خوب پیش‌نیاز تأمین انرژی پایدار و جزء مهم «امنیت انرژی اقتصادی» است (آنگ و همکاران، 2015).

قابلیت دسترسی (عناصر ژئوپلیتیکی)

سیاست‌های صحیح دولت به محافظت و کاهش اختلالات کوتاه‌مدت انرژی کمک می‌کند. دولت‌های آینده‌نگر از برنامه‌ریزی مؤثر نیازهای زیرساختی برای تضمین امنیت بلندمدت انرژی حمایت می‌کنند. سیاست‌های مربوط به مالیات و یارانه انرژی بر امنیت انرژی کشور تأثیر می‌گذارد. کشورها به طور فزاینده درگیر دیپلماسی انرژی با سیاست‌های خارجی هستند که در جهت تضمین تأمین انرژی از مناطق صادرکننده است. علاوه بر این، دولت نقش مهمی را به عنوان گردآورنده اطلاعات کلیدی ایفا می‌کند، زیرا داده‌های با کیفیت بالا برنامه‌ریزی مؤثر در مقیاس بزرگ برای امنیت انرژی را تسهیل می‌نماید. نقش دولت در سیاست‌گذاری، فرایند نظارتی، دیپلماسی و جمع‌آوری اطلاعات در این بعد امنیت انرژی برجسته است (آنگ و همکاران، 2015).

مقرون به صرفه بودن[[33]](#footnote-33) (عناصر اقتصادی)

قیمت انرژی تعیین‌کننده مقرون به صرفه بودن منابع انرژی و ابعاد متعددی مانند سطح قیمت مطلق، نوسانات قیمت و درجه رقابت در بازارهای انرژی است. از آنجایی که نفت خام در سطح بین‌المللی بر حسب دلار آمریکا عرضه می‌شود، نرخ مبادله و قدرت خرید ارزهای مختلف نقش مهمی در تعیین میزان واردات انرژی و پرداخت افراد برای واردات انرژی دارد. قیمت‌های نوسانی سوخت‌های فسیلی می‌توانند باعث ایجاد مشکل در تأمین منابع انرژی و تأثیر بر توانایی سیاست‌گذاران برای طرح توسعه ظرفیت و سایر اقدامات کوتاه‌مدت شوند. اکثر مطالعات بر اهمیت قیمت انرژی به عنوان بخشی از معادله امنیت انرژی تأکید دارند (آنگ و همکاران، 2015).

صرف نظر از اینکه شاخص مقرون به صرفه بودن چگونه تفسیر می­شود، 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. بر اساس تعریف آژانس بین‌المللی انرژی از امنیت انرژی، مقبولیت نیاز به انرژی که به مسائل زیست‌محیطی (مانند انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای) می­پردازد، اشاره دارد. بر اساس تعریف شورای انرژی جهانی از شاخص­های پایداری، منظور از مقبولیت در نظر گرفتن مسائل اجتماعی و زیست­محیطی است. بر اساس تعریف مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه، قابلیت دسترسی موانع آن را به منابع انرژی در نظر می­گیرد (هاگز، 2012).

مقبولیت[[34]](#footnote-34) (عناصر محیطی و اجتماعی)

از آنجایی که انرژی یک نیاز اساسی برای زندگی می‌باشد، رفاه اجتماعی در تعریف امنیت انرژی در برخی مطالعات گنجانده شده است. نگرانی‌های اجتماعی شامل فقر انرژی است؛ بدین معنا که بخش خاصی از جمعیت، خدمات پایه‌ای انرژی را دریافت نمی‌کنند. ممکن است مسائل مقبولیتی وجود داشته باشد، به‌خصوص در جوامعی که با استفاده از پروژه‌های انرژی که به محیط‌زیست آن‌ها آسیب می‌زند، مخالفت دارند. لزبیرل (2004)[[35]](#footnote-35) بر این باور است که هدف امنیت انرژی این است که «در برابر خطرات ناشی از اختلالات مضر واردات انرژی به منظور اطمینان از دسترسی کافی به منابع انرژی برای حفظ سطوح قابل قبول رفاه اجتماعی و اقتصادی، بیمه شود». در این راستا، دپارتمان انرژی و تغییرات آب و هوایی بریتانیا نیز بر جنبه عدالت اجتماعی امنیت انرژی تأکید دارد (آنگ و همکاران، 2015).

پایداری و مسائل زیست‌محیطی به دلیل انتشار کربن و سایر انتشارات که منجر به گرم شدن کره زمین و آلودگی هوا می‌شوند، ارتباط نزدیکی با انرژی دارد. سایر خطرات زیست‌محیطی مرتبط با انرژی شامل سیل آب‌گرفتگی جنگل‌ها درنتیجه پروژه‌های برق آبی یا نشت و سرریز نفت در حین اکتشاف یا حمل و نقل نفت خام است. کمیسیون اروپا بر اهمیت نگرانی‌های زیست‌محیطی و پایداری در امنیت انرژی تأکید می‌کند. پاسکوالتی و سواکول (2012)[[36]](#footnote-36) بر اهمیت ابعاد «ارائه خدمات انرژی در دسترس، مقرون ‌به‌ صرفه، قابل اعتماد، کارآمد، سازگار با محیط‌زیست، مدیریت صحیح و اجتماعی قابل قبول» در امنیت انرژی تأکید می‌کنند (آنگ و همکاران، 2015).

پیامدهای امنیت انرژی تمرکز منابع، محرک سیاست انرژی در کشورهای OECD برای بیش از یک قرن بوده است. افزایش سطح امنیت انرژی در هر برهه زمانی معین، اساساً موضوع مورد بحث کارشناسان بوده است. با وجود این، دو نوع رویکرد کمی به طور گسترده توسط سیاستگذاران و محققان جهت ارزیابی امنیت انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از این رویکرد‌ها مبتنی بر مفهوم تنوع است و رویکرد دیگر مبتنی بر وابستگی به واردات است. در ادامه، رویکردهای مربوط به ارزیابی امنیت انرژی تشریح می‌شوند (IEA, 2007).

* 1. شاخص‌های سنجش امنیت عرضه انرژی

در ادبیات علمی تنها چند شاخص برای سنجش امنیت انرژی ذکر شده‌اند. یکی از شاخص‌ها، تنوع است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی تنوع منابع/ سوخت‌ها/ تأمین‌کنندگان انرژی وجود دارد (مثلاً استرلینگ، 1998؛ آوربوخ، 2006؛ فروندل و اشمیت، 2008). در ادبیات موضوع، تنوع به وفور به‌ عنوان کاهش‌دهنده ناامنی انرژی در نظر گرفته می‌شود. گروب و همکاران (2006) در این راستا بیان می‌کنند که «در مواجهه با عدم قطعیت و جهل، یکی از بینش‌های مهمی که از چندین علم به دست آمده این است که تنوع به سیستم‌هایی که با این عدم قطعیت مواجه هستند، مقاومت می‌بخشد» (گروب و همکاران، 2006).

آژانس بین‌المللی انرژی در گزارش خود با عنوان «امنیت انرژی و سیاست اقلیمی»[[37]](#footnote-37) در سال 2007 بیان کرد که در مورد علت ناامنی انرژی که منابع سوخت‌های فسیلی متمرکز هستند؛ بسیار گفته و نوشته شده است؛ اما تلاش‌های کمی برای تعیین کمیت آن صورت گرفته است. یکی از مشکلات، به‌ویژه در ماهیت دوگانه ناامنی انرژی است که با هر دو مؤلفه قیمت و در دسترس بودن فیزیکی مشخص می‌شود. برای بررسی هر دو جنبه، اولین شاخص IEA برای نشان دادن اثرات امنیت انرژی از تمرکز منابع، جزء قیمتی امنیت انرژی را توصیف می‌کند، در حالی که شاخص دوم با جزء در دسترس بودن فیزیکی امنیت انرژی سر و کار دارد.

شاخص قیمت آژانس بین‌المللی انرژی

آژانس بین‌المللی انرژی سه سوخت فسیلی زغال‌سنگ، گاز و نفت را به عنوان محصولات جداگانه در بازارهای مجزا در نظر می‌گیرد، زیرا گزینه‌ جایگزین آن‌ها در کوتاه‌مدت و میان‌مدت به‌شدت محدود هستند. برای طراحی شاخص، دو مرحله طی می‌شود. مرحله اول: توصیف ریسک امنیت انرژی از طریق محاسبه شاخص تعمیم‌یافته تمرکز بازار که در اینجا به عنوان تمرکز بازار امنیت انرژی[[38]](#footnote-38) (ESMC) نامیده می‌شود. مرحله دوم: قرار گرفتن یک کشور معین در معرض ریسک امنیت انرژی. این عنصر از طریق تعریف شاخص امنیت انرژی[[39]](#footnote-39) (ESI) در نظر گرفته می‌شود.

در مرحله اول، ریسک‌های امنیت انرژی با استفاده از شاخص هرفیندال- هیرشمن[[40]](#footnote-40) (HHI) محاسبه می‌شوند. شاخص ESMC برای هر سوخت فسیلی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

که در آن سهم هر کشور تأمین‌کننده i در بازار سوخت فسیلی f است که بر حسب پتانسیل خالص صادرات آن کشور تعریف شده است. هر چه مقدار شاخص ESMC بیشتر باشد، سطح تمرکز بازار بالاتر خواهد بود؛ بنابراین ریسک امنیت انرژی بیشتر است. از آنجایی که بین صفر و 100 درصد است؛ مقادیر ESMC بین صفر که نشان‌دهنده یک بازار کاملاً رقابتی می‌باشد و 10000 برای یک انحصار کامل تغییر می‌کند. بنابراین، یک مقدار ESMC بالاتر، به معنای امنیت انرژی کمتری است.

عامل دیگری که در تنظیم شاخص تعمیم‌یافته تمرکز بازار در نظر گرفته می‌شود؛ موضوع ثبات سیاسی است. درواقع، منابع انرژی علاوه بر اینکه از نظر جغرافیایی متمرکز هستند، اغلب در مناطق حساس سیاسی جهان نیز قرار دارند. این واقعیت نقش مهمی در سنجش پیامدهای امنیت انرژی تمرکز منابع ایفا می‌کند، زیرا بر قابلیت اطمینان کشورها به عنوان شرکای تجاری تأثیر می‌گذارد. عملیات بخش انرژی به طور مشخص ممکن است تحت تأثیر ناآرامی‌های داخلی قرار گیرد. برای مثال، اعتصابات بر تولید تعدادی از کشورهای تولیدکننده نفت ازجمله نیجریه و ونزوئلا تأثیر گذاشته که گاهی اوقات اثرات نامطلوب قابل توجهی بر قیمت نفت داشته است. ثبات سیاسی یک کشور همچنین ممکن است منعکس‌کننده این احتمال باشد که دولت از موقعیت آن کشور در بازار سوءاستفاده کند (سهم بزرگ بازار در ESMC).

به منظور محاسبه ثبات سیاسی در سنجش پیامدهای امنیت انرژی ناشی از تمرکز منابع در یک بازار سوخت فسیلی معین، شاخص ESMC به روش زیر تصحیح می‌شود.

که در آن رتبه ریسک سیاسی کشور i تأمین‌کننده سوخت است.

سنجه ESMC یا مؤلفه قیمتی امنیت انرژی در بازارهای سوخت فسیلی را به دلیل تمرکز منابع مشخص می‌کند. با این حال، قرار گرفتن یک کشور در معرض این خطرات تمرکز منابع به نقش آن سوخت فسیلی در اقتصاد کشور بستگی دارد. یک ارزیابی دقیق نیاز به درک بخشی از نقش هر سوخت در اقتصاد آن کشور دارد. بنابراین، به سادگی با ضرب در سهم سوخت از ترکیب کشور، این موضوع توضیح داده می‌شود. به عبارت دیگر، وابستگی کشور به یک سوخت معین در توصیف ریسک تمرکز منابع ضرب می‌شود. از این رو، مرحله دوم شاخص امنیت انرژی به شرح زیر انجام می‌شود.

در مرحله دوم، شاخص امنیت انرژی ()، از ضرب برای هر سوخت فسیلی در سهم ترکیب سوخت در معرض و تجمیع آن‌ها به شکل رابطه زیر به دست می‌آید.

که در آن ، تأمین انرژی کل تمامی سوخت‌های فسیلی، سهم سوخت فسیلی f در ترکیب سوخت کشور مصرف‌کننده و تمرکز بازار امنیت انرژی در بازار بین‌المللی سوخت f است.

شاخص در دسترس بودن فیزیکی IEA

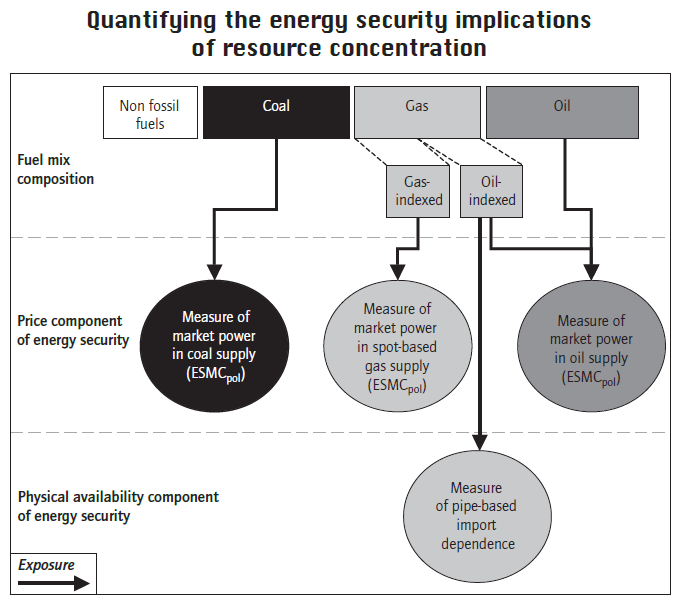
ریسک در دسترس نبودن فیزیکی در جایی که قیمت‌ها منعکس‌کننده اصول بازار نیستند، بیشترین نگرانی را ایجاد می‌کند؛ زیرا در چنین مواردی اثر قیمت قادر به ایجاد تعادل بین تقاضا و عرضه در پاسخ به کمبود عرضه نیست. به عنوان مثال، در بیشتر کشورهای اروپایی OECD و همچنین ژاپن و کره، اکثریت قریب به اتفاق تقاضا از طریق قراردادهای واردات بلندمدت که بر روی نفت خام یا فرآورده‌های نفتی نمایه می‌شوند، تأمین می‌گردد؛ بنابراین، در این موارد تغییرات قیمت گاز منعکس‌کننده عرضه و تقاضای بازار گاز در بازار نیست.

به دلیل انعطاف‌ناپذیری نسبی خطوط لوله، نگرانی‌های عدم دسترسی فیزیکی در گاز عمدتاً به واردات مبتنی بر لوله مرتبط بوده و ارتباط نزدیکی با کمبود عرضه مبتنی بر لوله دارد؛ بنابراین، آژانس بین‌المللی انرژی پیشنهاد می‌کند که سهم واردات گاز مبتنی بر لوله (خریداری شده از طریق قراردادهای شاخص نفت) را در کل تقاضای انرژی یک کشور به عنوان معیاری از مؤلفه در دسترس بودن فیزیکی امنیت انرژی در نظر گرفته شود؛ بنابراین، شاخص امنیت انرژی که بر حسب درصد بیان می‌گردد به شرح زیر خواهد بود.

(1)

که در آن، واردات گاز مبتنی بر لوله (خریداری شده از طریق قراردادهای شاخص نفت) است.

بنابراین، شاخص بین صفر و 100 خواهد بود، در صورتی‌که بخش گاز سیستم بازاری کاملاً آزاد داشته باشد (یعنی قیمت‌گذاری 100 درصد مبتنی بر گاز) یا بخش گاز بدون واردات مبتنی بر لوله (یعنی 100 درصد LNG) باشد یا 100 درصد خودکفایی در گاز (یعنی بدون واردات)؛ مقدار این شاخص برابر صفر است. در صورتی‌که حالت فرضی مصرف گاز 100 درصدی شاخص نفت، 100 درصد وابستگی به واردات مبتنی بر لوله و ترکیب سوخت 100 درصد مبتنی بر گاز داشته باشیم؛ مقدار شاخص به 100 درصد می‌رسد. با گنجاندن این معیار از مؤلفه در دسترس بودن فیزیکی امنیت انرژی، رویکرد کلی آژانس بین‌المللی انرژی برای ارزیابی کمی پیامدهای امنیت انرژی تمرکز منابع را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد.



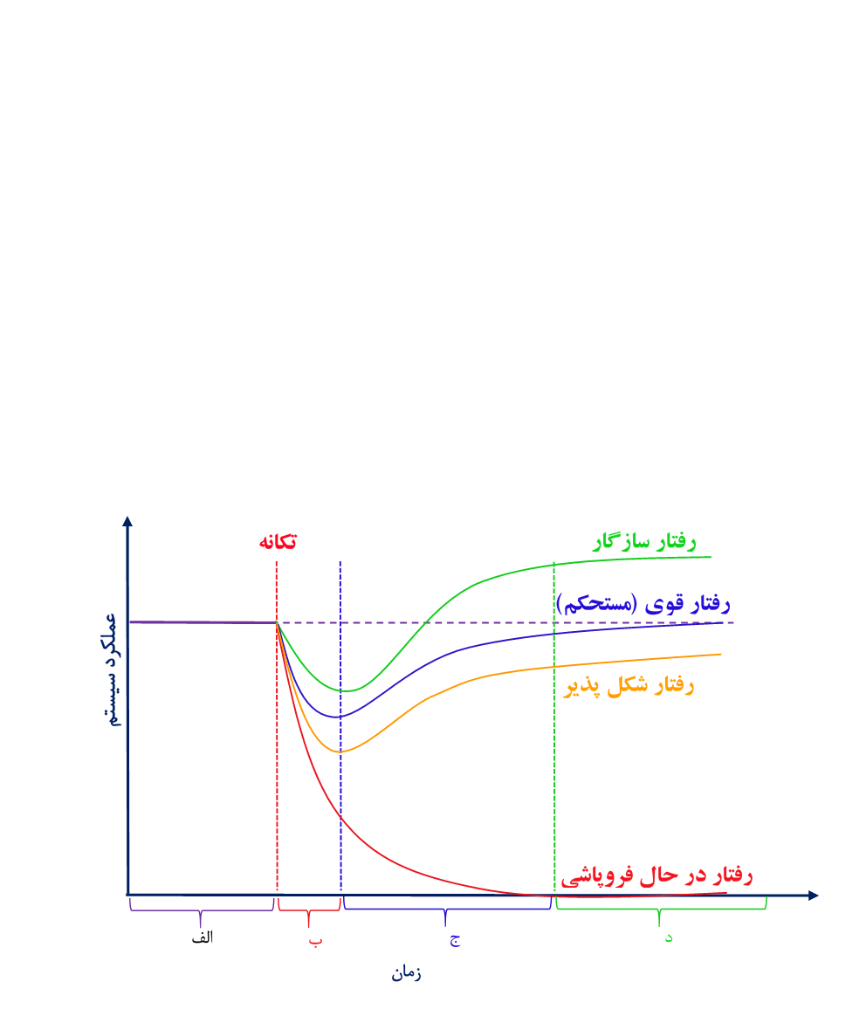
* 1. پایداری، تنوع و تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت

پیچیدگی فزاینده الگوهای تجارت جهانی نفت، امنیت انرژی و استراتژی­های انرژی یک کشور را تحت تأثیر قرار می­دهد (ژنگ و همکاران، 2014[[41]](#footnote-41)). هولینگ (1973)[[42]](#footnote-42) برای اولین بار مفهوم تاب­آوری را برای توصیف ویژگی­های یک سیستم بوم شناختی[[43]](#footnote-43) از نظر توانایی «جذب تغییرات» و «تداوم» معرفی کرد. به عبارت دیگر، «یک سیستم بسیار انعطاف‌پذیر باید با انواع مختلف تغییرات سازگار باشد» (چن و همکاران، 2017[[44]](#footnote-44)). تاب­آوری به سازگاری برای تغییر یا بازگشت به حالت اولیه پس از قرار گرفتن در معرض تکانه­ای که آن حالت را تغییر داده است، اطلاق می­شود (دل­ایزولا، 2020).[[45]](#footnote-45) به عبارتی، یک سیستم تاب­آور به صورت انعطاف­پذیر به تکانه­ها پاسخ می­دهد تا امکان بازگشت به شرایط اولیه را فراهم کند. در این فصل، یک شاخص تاب­آوری بر اساس ترکیب دو شاخص معرفی می­شود: شاخص پایداری[[46]](#footnote-46) و شاخص سهم مؤثر.

شاخص پایداری بر اساس تعداد و تنوع عرضه­کنندگان نفت شبکه (واردکنندگان آن) و متقاضیان (صادرکنندگان آن) است. سهم مؤثر کشورها در شبکه تجارت نفت خام به عنوان شاخص ترکیبی از سهم تجاری و کارایی محلی آن­ها در شبکه تجارت نفت خام تعیین می­شود. کارایی محلی یک کشور در شبکه مبین اخلال­گری آن در شبکه تجاری است. به عبارتی، اگر کشوری از شبکه تجارت نفت خام حذف شود، این موضوع چه اثری در تجارت نفت بین همسایگانش خواهد داشت؟

در آستانه جنگ جهانی اول در سال 1910، وینستون چرچیل تصمیمی تاریخی گرفت. تصمیم وی تغییر منبع انرژی کشتی‌های نیروی دریایی بریتانیا از زغال‌سنگ به نفت بود. این تغییر به معنی اتکای نیروی دریایی بریتانیا به جای تأمین ایمن زغال‌سنگ (از ولز که سرزمین خودش بود) بر تأمین ناایمن نفت از ایران (سرزمین پارس آن زمان) بود. از این رو، امنیت انرژی به یک مسئله راهبردی ملی تبدیل شد. پاسخ چرچیل در خصوص ناایمن بودن تأمین انرژی نفت این بود که «امنیت و اطمینان نفت، تنها ریشه در تنوع دارد» (یرگین، 2006). از آن زمان، تنوع به عنوان عوامل ضروری در تأمین نفت شناخته شده است. تعداد بیشتر تأمین­کنندگان، پایداری دسترسی به نفت را برای خریداران و فروشندگان به طور یکسان افزایش می­دهد. بسیاری از مطالعات ازجمله کانروی (1975)،[[47]](#footnote-47) جکسون (1984)،[[48]](#footnote-48) واگنر و دلر (1998)[[49]](#footnote-49) و دلر و واتسون (2016)[[50]](#footnote-50) رابطه بین تنوع و پایداری اقتصادی را تحلیل می‌کنند. واگنر و دلر (1998) بیان می‌کنند که تنوع با سطوح بالاتری از پایداری همراه است. کافمن (1993)[[51]](#footnote-51) نشان می­دهد که تنوع باعث ایجاد پایداری می­شود که سیستم اقتصادی را در برابر تکانه­ها محافظت می­کند.

شکل (3) چگونگی تحلیل میزان پایداری[[52]](#footnote-52) یک سیستم را نشان می­دهد (ثوما، 2014).[[53]](#footnote-53) بر اساس شکل، اگر در ابتدای دوره B تکانه­ای به سیستم وارد شود، بسته به میزان پایداری چهار نوع سیستم قابل تصور است: (1) قوی (جذب بدون فروپاشی)؛[[54]](#footnote-54) (2) شکل پذیر (بهبود ناقص)؛[[55]](#footnote-55) (3) در حال فروپاشی[[56]](#footnote-56) یا (4) رفتار سازگار (تغییر شکل توسط تغییر ساختارها، توابع و حلقه­های بازخورد).[[57]](#footnote-57)



**شکل 3:** پایداری یک سیستم. در این شکل، قسمت (الف) فاز اولیه سیستم قبل از وقوع تکانه؛ قسمت (ب) فاز جذب تکانه؛ قسمت (ج) فاز ترمیم (بهبودی) و قسمت (د) فاز سازگاری سیستم بعد از وقوع تکانه است.

منبع: کلیمک و همکاران (2019)[[58]](#footnote-58)

وجود تنوع یکی از مواردی است که عامل افزایش پایداری سیستم است و نوع سیستم را می­تواند از سطح D به سطوح بالاتر یعنی به سطوح A، B یا C ارتقا دهد.

* + 1. شاخص پایداری کشورها در شبکه تجارت نفت خام

اوندر و ییلمازکودی (2016) با ارزیابی موقعیت کلی یک کشور در شبکه تجارت جهانی، متصل بودن[[59]](#footnote-59) یک کشور را می­سنجند. این امر نه تنها مستلزم توجه به شرکای تجاری یک کشور است بلکه نیاز به توجه به شرکایِ 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 باز بودن تجاری وجود دارد این است که شاخص­ها تفاوتی بین شرکای تجاری قائل نمی­شوند و بنابراین، دو کشور که حجم تجاری یکسان داشته‌‌اند؛ اما 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 درنتیجه برای نشان دادن متصل بودن کشورها، می­توان از شاخص­های مرکزیت شبکه استفاده کرد که ییلمازکودی و اوندر (2016)، این شاخص‌ها را شاخص تنوع شریک تجاری[[60]](#footnote-60) می­خوانند.

ایجاد تنوع به عنوان مهم‌ترین عامل ایجاد امنیت در تأمین نفت معرفی می­شود. به عبارتی، تنوع در کشورهای واردکننده خطر اختلال در تقاضای نفت برای کشورهای صادرکننده را کاهش داده و تنوع در کشورهای صادرکننده نفت خطر اختلال در عرضه را برای کشورهای واردکننده کاهش می­دهد (کیتامورا و ماناگی، 2017).[[61]](#footnote-61) تنوع به عنوان سنجه­ای از تاب­آوری سیستم­های انرژی نیز مطرح می­شود. تنوع، درجه تغییر در سیستم است که می­تواند شامل درجه تغییر در اجزای اصلی باشد که عملکردهای مشابه دارند. به این نوع از تنوع، تنوع عملکردی گفته می­شود. همچنین، تنوع به عنوان درجه تغییر در اجزای اصلی سیستم که پاسخ­های مختلف در برابر اختلالات دارند نیز تعریف می­شود که به آن تنوع پاسخ گویند (فولک و همکاران، 2004).[[62]](#footnote-62) تنوع باعث می­شود که یک سیستم در صورت بروز اختلال در گزینه­های خود انعطاف­پذیرتر باشد؛ بنابراین تنوع می­تواند تاب­آوری سیستم انرژی چه در تولید و چه مصرف را افزایش دهد (خرازی و همکاران، 2015).[[63]](#footnote-63) با لحاظ تنوع به منظور بررسی تاب­آوری و استحکام کشورهای ایفاکننده نقش در شبکه تجارت نفت خام در این مقاله دو شاخص معرفی شده است.

لازم به ذکر است که دونگ و همکاران (2020) در مطالعه خود با عنوان «رهیافت نظریه شبکه برای بهینه­سازی سیستم تجارت جهانی نفت خام» شاخصی از استحکام معرفی کرده­اند که به شرح زیر است. در مطالعه دونگ و همکاران (2020) فرض می­شود که سازوکار عرضه و تقاضا در صورتی مستحکم است که بتواند روابط تجاری پایداری را برقرار کند و شرکای تجاری متنوعی را بسازد. به منظور نشان­دادن عملی سازوکار بهینه توزیع نفت خام، دونگ و همکاران (2020) شاخص استحکام را برای طرف عرضه نفت خام به شکل زیر تعریف می­کنند.

(2)

که در آن، درجه خروجی کشور صادرکننده نفت خام (کشور i)، تعداد کشورهای بزرگ واردکننده نفت خام که از کشور i واردات دارند، صادرات خالص نفت خام کشور i و واردات خالص کشورهای بزرگ واردکننده نفت خام که از کشور i واردات دارند؛ هستند. از این رو، شاخص استحکام کشور صادرکننده نفت خام i به‌طور مستقیم متناسب با صورت کسر و به‌طور معکوس متناسب با مخرج کسر است.

\* صورت کسر: سهم حجم صادرات کشور i به کشورهای عمده واردکننده نفت خام در کل حجم صادرات کشور i.

هرچه صورت کسر 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؛[[64]](#footnote-64) 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: سهم تعداد واردکنندگان بزرگ نفت خام که با کشور i تجارت دارند به تعداد کل شرکای تجاری کشور i.

هرچه مخرج کسر کوچک‌تر باشد، مبین کشورهایی است 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 بزرگ‌تر باشد، نشان­دهنده آن است که کشور i در انتخاب شرکای تجاری هوشمند بوده و روابط تجاری­اش پایدارتر است.

نقدی که به مطالعه دونگ و همکاران (2020) می­توان داشت این است که شاخص تعریف شده تنها برای سمت عرضه تجارت نفت خام تعریف و تنها برای صادرکنندگان و واردکنندگان عمده نفت خام ارزیابی شده است. در حالی که در مطالعه حاضر شاخص استحکام و پایداری کشورها برای هر دو شبکه صادرات و واردات نفت خام معرفی و برای تمامی کشورهای حاضر در تجارت نفت خام ارزیابی شده است.

جی و همکاران (2014) یک شاخص پایداری برای کشورها در شبکه­های تجارت نفت پیشنهاد کرده­اند. در حالی که شاخص پایداری رأس این محققان بر اساس کشورهای واردکننده و شاخص پایداری کلی این پژوهشگران بر اساس کشورهای صادرکننده تعریف شده است. علاوه بر این، جی و همکاران (2014) برای ارزیابی پایداری کشورهای واردکننده، جنبه­های جغرافیای سیاسی کشورهای صادرکننده را در نظر گرفته­اند. مطالب این فصل از سه جنبه با مطالعه جی و همکاران (2014) متفاوت است. (1) پایداری کشورهای واردکننده و صادرکننده با توجه به بعد تجاری شبکه تجارت نفت پرداخته می­شود. (2) دو شاخص پایداری را برای کشورهای واردکننده و صادرکننده به طور جداگانه تعریف می­شود. (3) شاخص پایداری برای مجموعه بزرگ‌تری از کشورها (178 کشور در مقایسه با 79 کشور) مورد بررسی قرار می­گیرد.

شاخص پایداری صادرکنندگان نفت خام

شاخص پایداری صادرکنندگان نفت خام به صورت رابطه (3-2) محاسبه می­شود.

(3)

که در آن حجم صادرات کشور i، کل صادرات دنیا در شبکه صادرات نفت خام، تعداد شرکای واردکننده از کشور صادرکننده i و تعداد کل واردکنندگان در شبکه صادرات نفت خام هستند.

**صورت کسر شاخص پایداری صادرکنندگان نفت خام:** سهم حجم صادرات کشور i در کل حجم صادرات دنیا در شبکه صادرات نفت خام. هرچه صورت کسر بزرگ‌تر باشد، مبین آن است که این کشور در زمره کشورهای عمده صادرکننده نفت خام قرار دارد.

**مخرج کسر شاخص پایداری صادرکنندگان نفت خام:** سهم شرکا (واردکنندگان) کشور صادرکننده نفت خام (کشور i) در کل واردکنندگان نفت خام. هرچه مخرج کسر بزرگ‌تر باشد، مبین آن است که تعداد روابط تجاری کشور i در کل این شبکه تجاری بالا است. به عبارت دیگر، سهم بیشتری از روابط تجاری در اختیار کشور i قرار دارد.

حال هر چه شاخص پایداری صادرکنندگان نفت خام کمتر باشد مبین آن است که استحکام و پایداری کشور صادرکننده i بیشتر است. به عبارت دیگر فرض کنید که سهم صادرات کشور i از کل صادرات دنیا 5 درصد باشد و این 5 درصد صادرات را 10­ درصد از واردکنندگان نفت خام داشته باشند. همچنین فرض کنید سهم صادرات کشور j از کل صادرات دنیا 10 درصد باشد و این 10 درصد صادرات را تنها 5 درصد از واردکنندگان نفت خام داشته باشند. در این صورت، اگرچه کشور i سهم کمتری در صادرات کل دنیا دارد؛ اما به واسطه اینکه تعداد شرکای بیشتری دارد در برابر قطع شدن رابطه تجاری کمتر از کشور j که تعداد شرکای کمتری دارد، آسیب­پذیر است.

شاخص پایداری واردکنندگان نفت خام

شاخص پایداری واردکنندگان نفت خام به صورت رابطه (4) محاسبه می­شود.

(4)

که در آن حجم واردات کشور i، کل واردات دنیا در شبکه واردات نفت خام، تعداد شرکای صادرکننده به کشور واردکننده i و تعداد کل صادرکنندگان در شبکه واردات نفت خام هستند.

**صورت کسر شاخص پایداری واردکنندگان نفت خام:** سهم حجم واردات کشور i در کل حجم واردات دنیا در شبکه واردات نفت خام. هرچه صورت کسر بزرگ‌تر باشد، مبین آن است که این کشور در زمره کشورهای عمده واردکننده نفت خام قرار دارد.

**مخرج کسر شاخص پایداری واردکنندگان نفت خام:** سهم شرکا (صادرکنندگان) کشور واردکننده نفت خام (کشور i) در کل صادرکنندگان نفت خام. هرچه مخرج کسر بزرگ‌تر باشد، مبین آن است که تعداد روابط تجاری کشور i در کل این شبکه تجاری بالا است.

حال هر چه شاخص پایداری واردکنندگان نفت خام کمتر باشد مبین آن است که استحکام و پایداری کشور واردکننده i بیشتر است؛ به عبارت دیگر، فرض کنید که سهم واردات کشور i از کل واردات دنیا 5 درصد باشد و این 5 درصد واردات را از 1­ درصد صادرکنندگان نفت خام داشته باشند. استحکام کشور i در چنین شرایطی پایین است، زیرا تعداد شرکای کمی دارد؛ اما اگر این 5 درصد واردات از 10 درصد کشورهای صادرکننده نفت خام انجام شود می­تواند استحکام و پایداری بیشتری داشته باشد.

* + 1. تحلیل تاب­آوری شبکه تجارت در طرح

شاخص سهم مؤثر کشورها در تجارت نفت خام

به منظور تعیین سهم مؤثر، ابتدا سهم تجارت هر کشور در شبکه تجاری اعم از صادرات، واردات و تجارت کل (جمع واردات و صادرات) محاسبه و سپس مقدار به دست آمده در کارایی محلی هر کشور در شبکه تجاری ضرب شده است. سهم مؤثر هر کشور بیان‌کننده این موضوع است که چقدر یک کشور می­تواند در یک شبکه نقش مؤثرتری ایفا کند که این شاخص از دو جنبه یک کشور استخراج شده است: (1) یک کشور چه سهمی از کل تجارت انجام شده در شبکه را دارد (قدرت نسبی کشور در شبکه تجاری)؛ و (2) عدم حضور این کشور در شبکه تجاری چقدر می­تواند منجر به ایجاد اختلال در انتقال شبکه تجارت نفت شود (اخلال­­گری کشور در شبکه تجاری)؛ بنابراین، هرچه یک کشور از سهم مؤثر بالاتری برخوردار باشد مبین آن است که از اهمیت بیشتری در شبکه تجاری برخوردار است.

* **تعیین سهم در واردات**

سهم وارداتی هر کشور از تقسیم میزان واردات آن کشور به کل واردات انجام شده در شبکه تجارت به دست می­آید. این شاخص به­گونه­ای مبین قدرت نسبی وارداتی یک کشور است. درواقع، قدرت وارداتی یک کشور را نسبت به سایر کشورها مقایسه می­کند. نحوه محاسبه سهم در واردات به صورت رابطه 5 است.

(5)

که در آن، سهم وارداتی کشور i از کل واردات شبکه تجارت نفت خام، واردات کشور i و کل واردات انجام شده در شبکه تجارت نفت خام است.

* **تعیین سهم در صادرات**

سهم صادراتی هر کشور از تقسیم میزان صادرات آن کشور به کل صادرات انجام شده در شبکه تجارت به دست می­آید. این شاخص مبین قدرت نسبی صادراتی یک کشور است و درواقع، قدرت صادراتی یک کشور را نسبت به دیگر کشورها مقایسه می­کند. نحوه محاسبه سهم صادرات به صورت رابطه شماره (6) است.

(6)

که در آن ، سهم صادراتی کشور i از کل صادرات شبکه تجارت نفت خام، صادرات کشور i و کل صادرات انجام شده در شبکه تجارت نفت خام است.

* **تعیین سهم در کل تجارت**

سهم تجاری هر کشور معادل میزان تجارت کل آن کشور و یا به عبارتی مجموع واردات و صادرات آن کشور نسبت به کل تجارت انجام شده در شبکه تجارت است. این شاخص به­گونه­ای مبین قدرت نسبی یک کشور است. درواقع، قدرت تجاری یک کشور را نسبت به قدرت تجاری سایر کشورها مقایسه می­کند. نحوه محاسبه سهم تجاری به صورت رابطه 3 است.

(7)

که در آن ، سهم تجارت کل کشور i از کل تجارت در شبکه تجارت کل نفت خام، تجارت کل کشور i که معادل جمع واردات و صادرات آن در شبکه تجارت کل بوده و *T* کل تجارت انجام شده در شبکه تجارت نفت خام است.

* **تعیین کارایی**

کارایی محلی شبکه بر اساس فاصله بین رئوس بنا شده است. لاتورا و مارچیوری[[65]](#footnote-65) (2001) بیان می­کنند که کارایی محلی رأس i در زیرگرافی از همسایگان رأس i تعریف می­شود و این شاخص مبین آن است که در صورت حذف رأس i، ارتباطات بین همسایگان مرتبه اول چقدر کارا خواهد بود. بنابراین، در صورتی که در شبکه­ای باشیم که تمامی رئوس به یکدیگر ارتباط داشته باشند، با حذف یک رأس، سایر رئوس به یکدیگر ارتباط خواهند داشت و لذا رأس حذف شده از کارایی بالایی برخوردار است. در غیر این صورت با حذف رأس i، ارتباط سایر رئوس با اختلال مواجه می‌شود و رأس i از کارایی پایینی برخوردار خواهد بود. در این مطالعه، برای محاسبه کارایی محلی کشورها از جعبه ­ابزار اتصالات مغزی[[66]](#footnote-66) در نرم­افزار متلب استفاده شده و نحوه محاسبه به صورت رابطه (8) است.

(8)

که در آن کارایی محلی کشور i، *N* تعداد کشورها در شبکه تجاری، عناصر ماتریس الحاقی، درجه ورودی رأس i، درجه خروجی رأس i، و فاصله بین رأس j و h *است (لاتورا و مارچیوری، 2001).* لازم به ذکر است که فاصله بین کشورها فارغ از بحث نوع تجارت (واردات/صادرات) یکسان می‌باشد، کارایی محلی به‌طور کلی بررسی شده و در بحث واردات و صادرات به‌طور جداگانه مطالعه نشده است.

* **سهم مؤثر واردات/ صادرات و تجارت کل**

در اینجا سهم مؤثر یک کشور به عنوان ضرب سهم واردات/ صادرات/ کل تجارت آن کشور در کارایی محلی آن تعریف می­شود. روابط 5، 6 و 7 به ترتیب سهم مؤثر واردات، صادرات و تجارت کل کشور i را معرفی می­کنند.

(9)

(10)

(11)

سهم مؤثر بالاتر به اهمیت بیشتر یک کشور در شبکه تجاری مربوط می­شود. به عبارت دیگر، سطح پایینی از اختلال ( زیاد) و سطح بالایی از قدرت (واردات/ صادرات/ سهم تجاری بالا) باعث اهمیت بیشتر یک کشور در شبکه تجاری می­شود. در صورتی‌که جنبه اخلالگری و سطوح قدرت بالا باشد و قدرت کشور بر جنبه اخلالگری آن غالب باشد، سهم مؤثر بالا حاکی از اهمیت کشور است. از سوی دیگر، سطوح کم اخلال و قدرت پایین در جایی که کارایی محلی کشور بر قدرت کم آن در شبکه تجاری غالب باشد، سهم مؤثر بالا حاکی از اهمیت کشور است. در غیر این صورت، پایین بودن سهم مؤثر، اهمیت پایینی را برای یک کشور رقم می­زند.

در اینجا سعی بر این است که با بررسی همزمان دو شاخص ساختاری یعنی شاخص پایداری و شاخص سهم مؤثر کشورها، توان و سرسختی کشورها در مواجهه با چالش­ها را به تصویر بکشد. همان‌طور که اشاره شد، فولک و همکاران (2004) نشان می­دهند که اصل تنوع می­تواند منعکس­کننده انعطاف­پذیری سیستم­های انرژی باشد. همچنین خرازی و همکاران (2015) نشان داده­اند که تنوع می­تواند انعطاف­پذیری یک سیستم انرژی را افزایش دهد. بنابراین، شاخص پایداری معرفی شده در بالا بر اساس اصل تنوع ایجاد شده و *تا قسمتی* تاب­آوری یک کشور را نشان می­دهد. برای اینکه بتوانیم تاب­آوری یک کشور را به دست آوریم، نه تنها باید پایداری کشور را در شبکه تجاری ارزیابی کنیم، بلکه باید سهم (مؤثر) آن را در کل شبکه نیز ارزیابی کنیم؛ یعنی ممکن است کشوری در شبکه تجاری ثبات پایینی داشته باشد اما سهم کمی در کل شبکه داشته باشد؛ بنابراین این کشور آسیب قابل توجهی به شبکه تجاری وارد نمی­کند. بر این اساس، در ادامه به بررسی تاب‌آوری کشورها با تحلیل هم‌زمان شاخص‌های سهم مؤثر و پایداری آن­ها پرداخته می­شود.

ارزیابی سهم مؤثر و پایداری توأمان کشورها در شبکه تجارت نفت خام

در این بخش چارچوب تحلیل همزمان سهم مؤثر و پایداری کشورهای مختلف در شبکه تجارت نفت خام مشخص می­شود. کشورها به لحاظ عدم پایداری و سهم مؤثر قابل طیف­بندی هستند. به لحاظ عدم پایداری، طیفی از کم تا زیاد به مانند شکل (1) و به لحاظ سهم مؤثر طیفی همانند شکل (2) برای کشورها قابل تصور است.

عدم پایداری (کم)

عدم پایداری (زیاد)

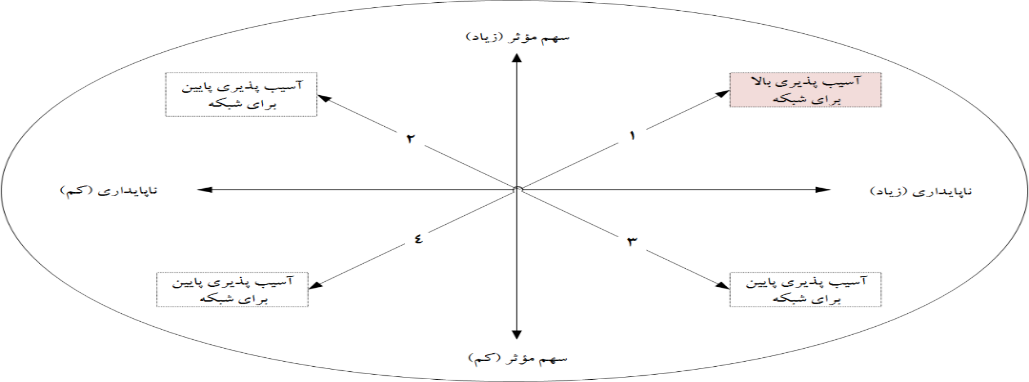
**شکل 1:** طیف عدم پایداری

سهم موثر (کم)

سهم موثر (زیاد)

**شکل 2:** طيف سهم مؤثر

همان طور که در شکل (3) نشان می‌دهد با ترکيب دو دسته عدم پایداری و سهم مؤثر می­توان کشورها را به چهار دسته اصلی تقسیم کرد. دسته اول کشورهایی هستند که همزمان ناپایداری و سهم مؤثر بالایی در شبکه تجارت نفت دارند. این دسته آسیب­پذیری زیادی داشته و در صورت آسیب هر یک از این کشورها، شبکه نیز دچار آسیب می­شود. دسته دوم کشورهایی هستند که اگرچه سهم مؤثر بالایی در شبکه دارند؛ اما ناپایداری آنها کم است. از این رو، آسیب‌پذیری آنها برای خود و کل شبکه تجارت کم خواهد بود. دسته سوم کشورهایی که ناپایداری زیادی دارند؛ اما سهم مؤثر کمی دارا می‌باشند. اگرچه این کشورها خود در معرض آسیب زیادی قرار دارند؛ اما ناپایداری آنها آسیب مهمی برای شبکه ایجاد نمی­کند. دسته چهارم کشورهایی هستند که همزمان ناپایداری و سهم مؤثر کمی در شبکه تجارت نفت خام دارند. این کشورها نه تنها آسیبی برای خود آنها به صورت جدی قابل تصور نیست بلکه نقش و اثر مهمی در شبکه هم نمی­توانند داشته باشند.



**شکل 3:** طيف­بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در تجارت نفت خام

فوتی و همکاران (2013)[[67]](#footnote-67) تاب­آوری شبکه­های تجاری را در طول زمان بررسی کرده­اند و به این نتیجه رسیده­اند که شبکه­های تجاری مستحکم و در عین حال شکننده هستند. جی و همکاران (2014) استحکام شبکه تجارت نفت را بررسی کرده­اند و به نتیجه مشابه رسیده­اند. برخی مطالعات دیگر (ازجمله مطالعه­های پوما و همکاران (2015)[[68]](#footnote-68) و فیر و همکاران (2017)[[69]](#footnote-69)) تاب‌آوری شبکه امنیت غذایی را بررسی کرده­اند. پوما و همکاران (2015) نتایجی مشابه مطالعات فوتی و همکاران (2013) و جی و همکاران (2014) به دست می­دهند. فیر و همکاران (2017) با نشان دادن انتقال به سمت یک شبکه پایدارتر بیان می­کنند که شبکه تجارت گندم در برابر حملات آسیب­پذیر است. در مجموع، ادبیات شبکه‌های تجاری، انعطاف‌پذیری شبکه‌های تجاری را به طور کلی مورد بررسی قرار داده است. در حالی که وجه تمایز اصلی این قسمت، بررسی تاب‌آوری رئوس (کشورها) در یک شبکه تجاری است؛ بنابراین، این فصل سعی دارد با بررسی تاب­آوری کشورهای واردکننده و صادرکننده نفت خام، خلأ موجود در ادبیات تحقیق را پر کند.

**جمع‌بندی**

در این فصل به تبیین مفهوم امنیت انرژی پرداخته شد و اهمیت تنوع، پایداری و تاب‌آوری در ذیل این مفهوم بیان گردید. اصطلاح «امنیت انرژی» که در اصل همان «امنیت تأمین/ عرضه انرژی» است، یک مفهوم گسترده بوده که تعریف واحدی ندارد. این مفهوم به طور سنتی با تأمین دسترسی به منابع نفتی و مسئله کاهش سوخت‌های فسیلی مرتبط بوده است. تمرکز بر نفت ناشی از این واقعیت است که گاز و زغال‌سنگ در گذشته عمدتاً سوخت‌های ملی بودند و در بیشتر موارد توسط شرکت‌های دولتی عرضه می‌شدند؛ بنابراین، حتی در صورت اختلال در زمینه عرضه انرژی به‌ویژه در نتیجه اعتصابات، این موارد از طریق مذاکره بین طرف‌های داخلی که در نهایت به تداوم عرضه علاقه مشترکی داشتند، حل می‌شد؛ اما چنین موضوعی در خصوص تأمین نفت صدق نمی‌کند و مسئله را پیچیده کرده است.

در ذیل بحث امنیت انرژی، دو مفهوم تنوع و تاب‌آوری قرار می‌گیرند که بحث تنوع نه تنها تنوع در استفاده از شکل‌های مختلف انرژی بلکه تنوع در طرف‌های تجاری را نیز شامل می‌شود. به علاوه با درک مفهوم پایداری و سهم مؤثر کشورها در تجارت، بحث تاب‌آوری آن‌ها در شبکه تجارت مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. درواقع، تاب‌آوری یک سیستم و اجزاء آن در بحث امنیت انرژی اهمیت دارد.

به طور خاص، تنوع‌بخشی و عوامل ژئوپلیتیکی مسائل کلیدی هستند که در دسترس بودن انرژی را تعیین می‌کنند. از طریق تنوع بخشیدن به منابع تأمین، واردکنندگان انرژی می‌توانند خطر اختلال واردات را کاهش داده و بهبود بخشند. کشوری که انرژی را از بسیاری از کشورهای مختلف وارد می‌کند، درواقع تنوع منابع را افزایش می‌دهد. وجود تنوع یکی از مواردی است که عامل افزایش پایداری سیستم است. شاخص پایداری معرفی شده در این فصل بر اساس اصل تنوع ایجاد شده و تا قسمتی تاب­آوری یک کشور را نشان می­دهد. در ارزیابی تاب­آوری یک کشور نه تنها نیاز است پایداری کشور در شبکه تجاری سنجیده شود بلکه سهم (مؤثر) آن در کل شبکه نیز نیاز به بررسی دارد، یعنی ممکن است کشوری در شبکه تجاری ثبات پایینی داشته باشد؛ اما سهم کمی در کل شبکه داشته باشد. به این ترتیب، آن کشور آسیب قابل توجهی به شبکه تجاری وارد نمی­کند.

با ترکيب دو دسته عدم پایداری و سهم مؤثر می­توان کشورها را به چهار دسته اصلی تقسیم کرد. دسته اول کشورهایی هستند که همزمان ناپایداری و سهم مؤثر بالایی در شبکه تجارت نفت دارند. این دسته آسیب­پذیری زیادی داشته و در صورت آسیب هر یک از این کشورها، شبکه نیز دچار آسیب می­شود. دسته دوم کشورهایی هستند که اگرچه سهم مؤثر بالایی در شبکه دارند؛ اما ناپایداری آنها کم است. از این رو، آسیب‌پذیری آنها برای خود و کل شبکه تجارت کم خواهد بود. دسته سوم کشورهایی که ناپایداری زیادی دارند؛ اما سهم مؤثر کمی دارا می‌باشند. اگرچه این کشورها خود در معرض آسیب زیادی قرار دارند؛ اما ناپایداری آنها آسیب مهمی برای شبکه ایجاد نمی­کند. دسته چهارم کشورهایی هستند که همزمان ناپایداری و سهم مؤثر کمی در شبکه تجارت نفت خام دارند. این کشورها نه تنها آسیبی برای خود آنها به صورت جدی قابل تصور نیست بلکه نقش و اثر مهمی در شبکه هم نمی­توانند داشته باشند.

فصل چهارم

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام

1. تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری

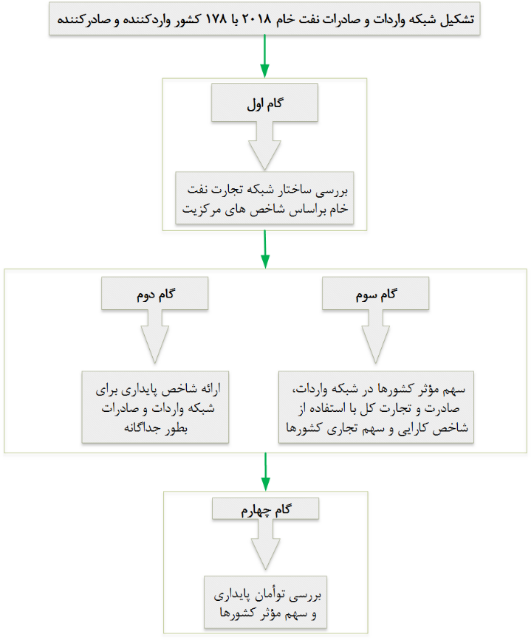
در فصل چهارم به تبیین مفاهیم امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت پرداخته شد. همان‌طور که اشاره شد، تاب‌آوری کشورها در شبکه تجارت بین‌الملل بسیار اهمیت دارد و می‌تواند در تأمین انرژی کل شبکه اثرگذار باشد؛ بنابراین، در فصل حاضر شبکه تجارت نفت خام با تأکید بر مفهوم تاب‌آوری و پایداری تحلیل می‌شود.

این فصل به دو بخش تقسیم می‌گردد. هدف بخش اول شناسایی ساختار شبکه تجارت نفت و پایداری کلی آن و پایداری تک تک کشورهای موجود در شبکه است. از این رو، در ابتدا ساختار شبکه تجارت نفت بر اساس حجم نفت مبادله شده بین 178 کشور مشخص می­شود. بر اساس شاخص­های ساختاری شبکه ازجمله مرکزیت درجه ورودی، رتبه صفحه و شاخص نفوذ وضعیت مرکزیت هر یک از کشورها در شبکه واردات نفت و با استفاده از شاخص­های مرکزیت درجه خروجی، رتبه صفحه و قطب وضعیت مرکزیت هر یک از کشورها در شبکه صادرات نفت مشخص شده است.

در مرحله دوم، با طراحی دو شاخص برای محاسبه پایداری بر اساس اصل تنوع، میزان پایداری همه کشورها به لحاظ صادرات و واردات نفت خام محاسبه می­شود. در مرحله سوم، شاخصی برای محاسبه سهم مؤثر هر یک از کشورها در تجارت نفت خام طراحی و محاسبه می­گردد. شاخص طراحی شده برای تعیین سهم مؤثر، شاخصی ضربی از ترکیب کارایی کشور در تجارت و سهم کشور در تجارت است.

در مرحله چهارم و نهایی وضعیت کشورها به لحاظ دو شاخص پایداری و سهم مؤثر به صورت هم‌زمان بررسی می­شود. به لحاظ بررسی هم‌زمان دو شاخص پایداری و سهم مؤثر، چهار دسته کشور قابل تصور است: (1) کشورهای با پایداری بالا و سهم مؤثر بالا؛ (2) کشورهای با پایداری بالا و سهم مؤثر پایین؛ (3) کشورهای با پایداری پایین و سهم مؤثر پایین؛ و (4) کشورهای با پایداری پایین و سهم مؤثر بالا. از بین چهار دسته، دسته چهارم آسیب­پذیرترین کشورهای شبکه تجارت نفت برای کل شبکه هستند.

شکل 1 روش تحلیل پایداری کشورها در شبکه واردات و صادرات نفت خام را نشان می­دهند.



**شکل 1:** شمای ساده­شده تحلیل تاب­آوری کشورها در شبکه تجارت جهانی نفت

همچنین هدف دیگر این فصل، شناسایی ویژگی‌های کلی، ویژگی‌های منطقه‌ای و استحکام تجارت است. از این رو، در ابتدا ساختار شبکه تجارت نفت بر اساس حجم نفت مبادله شده بین 178 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 12 منطقه تقسیم می­شود. با تحلیل شبکه تجارت منطقه­ای می­توان پایداری کشورها در شبکه تجارت نفت خام را ارزیابی کرد.

به پیروی از مطالعات پیشین (دو و همکاران، 2016؛ شیرازی و همکاران، 2020؛ ژانگ و همکاران، 2019؛ شهنازی و همکاران، 2023) داده­های واردات و صادرات نفت خام (HS با کد 270900) مورد استفاده قرار گرفته است که از پایگاه داده تجارت کالایی سازمان ملل متحد گردآوری شده­اند. از آنجایی‌که ساختار شبکه تجارت بین­الملل نفت خام تغییر نداشته است (ژانگ و همکاران، 2019)، داده­های مربوط به سال 2018 مورد بررسی قرار گرفته­اند.

از آنجایی که کارایی محلی بر اساس فاصله بین رئوس بنا شده است، فاصله بین بنادر انتقال نفت خام در تجارت بین کشورها استخراج گردیده و در صورت در دسترس نبودن داده مربوط به انتقال نفت خام بین کشورهای بدون مرز آبی، از فاصله جغرافیایی بین آن­ها استفاده شده است. جدول (4)، خلاصه داده­های مورد استفاده و مرجع را بیان می­کند.

**جدول 1:** اطلاعات مربوط به پایگاه­های داده­ای

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| داده | منبع | درگاه |
| تجارت دوجانبه (واردات و صادرات) نفت خام و نفت خام پتروشیمی | پایگاه داده تجارت کالایی سازمان ملل متحد  (HS با کد 270900) | https://comtrade.un.org/data/ |
| بنادر نفتی | رصدخانه جهانی انرژی | http://globalenergyobservatory.org/list.php?db=Transmission&type=Oil\_Ports |
| فاصله بین بنادر نفتی | فاصله دریایی | https://sea-distances.org/ |
| فاصله بین کشورها\* | محاسبه­گر فاصله | https://www.distance.to/ |

مأخذ: یافته­های تحقیق

\* کشورهایی که مرز آبی ندارند، فاصله جغرافیایی بین آن­ها در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است که شبکه بهینه تجارت در سطح منطقه­ای، 12 منطقه تجاری در نظر گرفته شده­اند که به شرح جدول 2 هستند. همچنین فاصله بین مناطق بر حسب فاصله دایره بزرگ[[70]](#footnote-70) 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 2:** منطقه­های مورد بررسی در شبکه صادرات نفت خام

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **کشور/ منطقه تجاری** | **تعداد کشورهای منطقه تجاری\*** | **منطقه معیار برای سنجش طول و عرض جغرافیایی** | **منبع** |
| کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت | 5 | گابن | https://www.worldatlas.com/articles/top-10-oil-producing-countries-in-africa.html |
| سایر کشورهای آفریقا | 41 | جمهوری آفریقای مرکزی | https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-africa/ |
| کشورهای اروپایی صادرکننده عمده نفت | 2 | دریای شمالی | https://www.worldatlas.com/articles/the-top-oil-producing-nations-in-europe.html |
| کشورهای اروپایی | 31 | اروپا | https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-europe/ |
| روسیه | 1 | روسیه | - |
| چین و هند | 2 | گواتی[[71]](#footnote-71)؛ شهری در شمال شرقی هند و هم‌مرز با چین | https://www.mapsofindia.com/neighbouring-countries-maps/india-china-map.html |
| آمریکای شمالی | 20 | آمریکای شمالی | https://www.worldometers.info/geography/7-continents/north-america/ |
| آمریکای جنوبی | 13 | آمریکای جنوبی | https://www.worldometers.info/population/countries-in-south-america-by-population/ |
| آمریکا | 1 | آمریکا | - |
| خاورمیانه | 16 | خاورمیانه | https://www.worldatlas.com/articles/which-are-the-middle-eastern-countries.html |
| سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه | 33 | اندونزی (کشوری در بین دو قاره) | https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-asia/ |
| کشورهای شوروی سابق به جز روسیه | 13 | اورالسک[[72]](#footnote-72) شهری در قزاقستان | https://worldpopulationreview.com/country-rankings/soviet-union-countries |

مأخذ: یافته­های تحقیق

* 1. بخش اول: تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت خام
     1. ساختار شبکه

شاخص­های مرکزیت[[73]](#footnote-73) به عنوان یکی از پایه­ای­ترین مشخصه­های شبکه معرفی می­شوند که ساختار شبکه را به صورت محلی بررسی و قابلیت مقایسه رئوس را امکان­پذیر می­کنند. شاخص‌های مرکزیت در چهار دسته کلی تقسیم می­شوند: مرکزیت درجه،[[74]](#footnote-74) مرکزیت بر اساس مشخصه همسایگان (مرکزیت بردار ویژه،[[75]](#footnote-75) مرکزیت کتز،[[76]](#footnote-76) مرکزیت رتبه صفحه[[77]](#footnote-77) و مرکزیت قطب و نفوذ[[78]](#footnote-78))، مرکزیت نزدیکی[[79]](#footnote-79) و مرکزیت میانگی[[80]](#footnote-80) هستند (نیومن[[81]](#footnote-81)، 2010).

بسته به نوع شبکه از نظر جهت­دار یا وزن­دار بودن، برخی از این شاخص­ها قابلیت محاسبه نخواهند داشت. به طور خاص، مرکزیت بردار ویژه در شبکه­های جهت­دار محدودیت­های زیادی دارد (نیومن، 2010) و شبکه واردات و صادرات نفت خام، شبکه­ای وزن­دار و جهت­دار است؛ بنابراین، شاخص بردار ویژه در بررسی ویژگی­های ساختاری شبکه واردات و صادرات نفت خام از نظر کشورها استفاده نمی­شود. در حالی که مرکزیت کتز محدودیت مرکزیت بردار ویژه را پوشش می­دهد و مرکزیت رتبه­صفحه نسخه کامل­تری از مرکزیت کتز را ارائه می­کند (نیومن، 2010)؛ بنابراین می­توان از شاخص رتبه­صفحه در بررسی ویژگی­های ساختاری شبکه واردات و صادرات نفت خام از نظر کشورها استفاده کرد.

دو دسته دیگر شاخص­های مرکزیت، یعنی مرکزیت نزدیکی و میانگی بر اساس کوتاه­ترین فاصله بین دو رأس[[82]](#footnote-82) بنا شده­اند و برای محاسبه آن­ها در شبکه وزنی، وزن رئوس باید شاخصی از هزینه رسیدن از یک رأس به دیگری باشد. از آنجایی که اطلاعات آماری دقیقی برای هزینه تجارت نفت بین کشورها در دسترس نیست، بررسی این دو شاخص در شبکه واردات و صادرات نفت خام با مشکل مواجه خواهد شد و بنابراین این شاخص­ها در تحلیل ساختار شبکه از دید کشورها وارد نمی­شوند. در ادامه، تفسیر شاخص­های مرکزیت درجه، مرکزیت رتبه­صفحه و مرکزیت قطب و نفوذ آورده می­شود.

**مرکزیت درجه:** مرکزیت درجه نشان­دهنده اتصال رئوس یک شبکه است که ساده­ترین مرکزیت در بین تمامی شاخص­های مرکزیت است. در شبکه­های جهت­دار، مرکزیت درجه را می­توان به سنجه­های مرکزیت درجه ورودی و درجه خروجی تفکیک کرد. مرکزیت درجه جنبه‌های کلی رئوس را در شبکه نادیده می‌گیرد. به عبارتی، یعنی تأثیر یک رأس را بر عملکرد کلی شبکه و ویژگی‌های رئوس همسایه بر یک رأس را در نظر نمی‌گیرد (نیومن، 2010). روابط ریاضی مرتبط با مرکزیت درجه، مرکزیت درجه ورودی و مرکزیت درجه خروجی در پیوست 1 آمده است.

مرکزیت رتبه­صفحه: با توجه به شاخص مرکزیت، مرکزیت یک رأس متناسب با مرکزیت رئوس مجاور آن است که بر درجه خروجی آن­ها تقسیم می­شود. همان‌طور که اشاره شد برخلاف شاخص مرکزیت بردار ویژه، مرکزیت رتبه­صفحه را می­توان در شبکه­های جهت­دار اندازه­گیری کرد. هنگامی‌که یک رأس مرکزی به رأسی با مرکزیت پایین وارد می­شود، این امر باعث افزایش چشمگیر مرکزیت رأس دوم می­گردد. با این حال، هنگامی‌که یک رأس مرکزی به رأس مرکزی دیگری وارد می­شود، این امر تنها منجر به افزایش جزئی در شاخص مرکزیت آنها می­شود (نیومن، 2010). پیوست 1 فرمول ریاضی مرکزیت رتبه­صفحه را نشان می­دهد.

مرکزیت قطب و نفوذ: در دنیای واقعی، یک کشور ممکن است نقش مرکزی در یک شبکه تجاری نداشته باشد؛ اما به دلیل ارتباطاتی که دارد، می‌تواند یک کشور کلیدی در شبکه باشد. شاخص­های مرکزیت قطب و نفوذ این جنبه از رئوس (کشورها) را در یک شبکه به تصویر می‌کشند. در ادبیات تحقیق، شاخص­های نفوذ و قطب به ترتیب در شبکه­های واردات و صادرات در نظر گرفته می­شوند.

* + 1. ویژگی­های شبکه تجارت نفت خام

شبکه­های مورد مطالعه در این پژوهش، شبکه واردات و صادرات برحسب حجم تجاری هستند. همگی این شبکه­ها، شبکه­های وزنی و جهت­دار بوده که در آن وزن یال­ها، حجم تجارت نفت خام (کیلوگرم) است. در ادامه، ویژگی­های کلی این شبکه­ها در جدول (3) آورده می­شود.

**جدول 3:** ویژگی­های کلی شبکه تجارت نفت خام در سال 2018

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **شبکه حجم واردات** | | **شبکه حجم صادرات** | |
| تعداد رئوس | 178 | تعداد رئوس | 178 |
| تعداد یال­ها | 1431 | تعداد یال­ها | 1431 |
| قوی­ترین رابطه تجاری بین ... | به میزان ... | قوی­ترین رابطه تجاری بین ... | به میزان ... |
| کانادا و ایالات متحده آمریکا | 1.9992\*1011 | کانادا و ایالات متحده آمریکا | 1.3171\*1011 |
| روسیه و چین | 7.1494\*1010 | ایران و تایوان | 7.0506\*1010 |
| عربستان سعودی و چین | 5.6734\*1010 | روسیه و چین | 6.6958\*1010 |
| عربستان سعودی و ایالات متحده آمریکا | 4.9352\*1010 | عربستان سعودی و چین | 5.6734\*1010 |
| عراق و هند | 4.7838\*1010 | عربستان سعودی و ایالات متحده آمریکا | 4.9352\*1010 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

\* کشور اول، کشور مبدأ و کشور دوم، کشور مقصد تجاری هستند.

در سال 2018، قوی­ترین رابطه تجاری در شبکه واردات بر حسب حجم تجارت بین کانادا و ایالات متحده آمریکا انجام شده است. به این ترتیب، در شبکه صادرات قوی­ترین ارتباطات تجاری بین کشورهای کانادا و ایالات متحده آمریکا، ایران و تایوان، روسیه و چین و عربستان و چین بوده است.

قدرت کشورها در شبکه واردات نفت خام بر اساس شاخص مرکزیت

بنا به مبانی نظری مرتبط با شاخص مرکزیت، در اینجا به منظور بررسی قدرت رئوس در شبکه وارداتی، از شاخص مرکزیت درجه ورودی، رتبه­صفحه و نفوذ استفاده شده است. جدول 4 کشورهای برتر بر حسب شاخص­های مرکزیت درجه ورودی، رتبه­صفحه و نفوذ را در شبکه حجم واردات نفت خام نشان می­دهد.

**جدول 4:** شاخص­های مرکزیت برای 10 کشور برتر از نظر شاخص مرکزیت مربوطه در شبکه واردات نفت خام بر حسب حجم تجارت انجام شده

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **حجم واردات (میلیون تن)** | | **شبکه حجم واردات** | | **شبکه حجم واردات** | |
| **کشور** | **شاخص درجه ورودی** | **کشور** | **شاخص رتبه­صفحه** | **کشور** | **شاخص نفوذ** |
| چین | 462 | هلند | 0.099 | آمریکا | 0.499 |
| آمریکا | 429 | بلژیک | 0.067 | چین | 0.129 |
| هند | 226 | چین | 0.062 | هند | 0.080 |
| کره | 149 | آمریکا | 0.058 | کره | 0.057 |
| آلمان | 86 | ژاپن | 0.053 | اسپانیا | 0.019 |
| هلند | 69 | سنگاپور | 0.050 | تایوان | 0.017 |
| اسپانیا | 68 | هند | 0.045 | ایتالیا | 0.017 |
| ایتالیا | 64 | تایلند | 0.034 | هلند | 0.014 |
| تایلند | 57 | آلمان | 0.033 | آلمان | 0.014 |
| فرانسه | 54 | فیلیپین | 0.024 | تایلند | 0.013 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

همان‌طور که مشاهده می­شود، بر اساس شاخص مرکزیت درجه ورودی، چین، آمریکا و هند بیشترین حجم وارداتی را داشته­اند. این شاخص می­تواند نشان­دهنده میزان وابستگی این کشورها به واردات نفت خام باشد. همچنین، مشاهده می­شود که هلند، بلژیک و چین بیشترین میزان شاخص رتبه­صفحه را دارند، یعنی این کشورها بیشترین مراوده تجاری را دارند و یا اینکه به کشورهای با تعداد بالای مراودات تجاری متصل هستند. به عبارتی، شاخص رتبه­صفحه، جهت جریان تجاری را مشخص نمی­کند. این در حالی است که شاخص نفوذ همچون شاخص درجه ورودی، جهت جریان تجاری را نشان می­دهد. بر اساس شاخص نفوذ مشاهده می­شود همانند شاخص درجه ورودی، چین، آمریکا و هند از بازیگران اصلی شبکه تجاری هستند.

در این شبکه تجاری، کشورهایی که بیش از ده میلیون تن واردات نفت خام داشته­اند به ترتیب عبارت‌اند از: چین، ایالات متحده آمریکا، هند، جمهوری کره، آلمان، هلند، اسپانیا، ایتالیا، تایلند، فرانسه، سنگاپور، تایوان، بریتانیا، بلژیک، کانادا، ژاپن، لهستان، یونان، استرالیا، سوئد، آفریقای جنوبی، بلاروس، اندونزی، پرتقال، فیلیپین، فنلاند، مالزی و بحرین.

قدرت کشورها در شبکه صادرات نفت خام بر اساس شاخص مرکزیت

بنا به مبانی نظری مرتبط با شاخص مرکزیت، در این قسمت به منظور بررسی قدرت رئوس در شبکه صادراتی، از شاخص مرکزیت درجه خروجی، رتبه­صفحه و قطب استفاده شده است. جدول 5 کشورهای برتر بر حسب نفت خام نشان می­دهد.

**جدول 5:** شاخص­های مرکزیت برای 10 کشور برتر از نظر شاخص مرکزیت مربوطه در شبکه صادرات نفت خام بر حسب حجم تجارت انجام شده

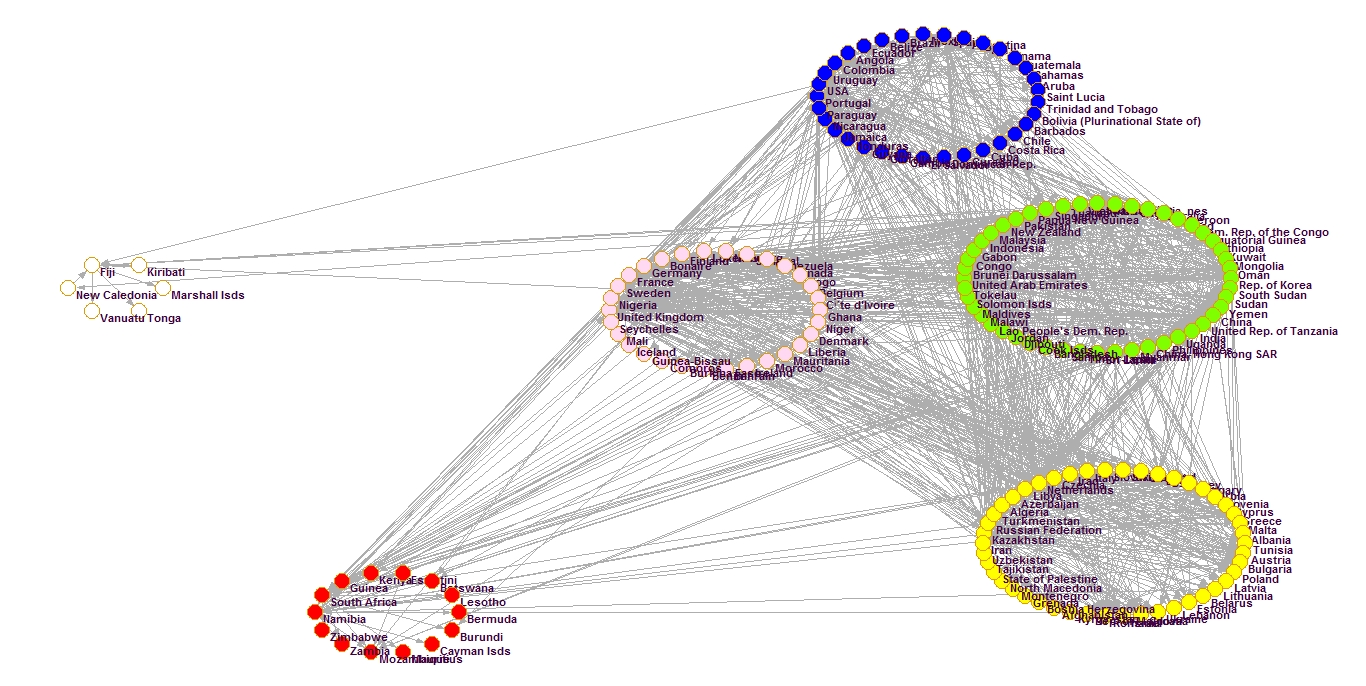
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **حجم صادرات (**میلیون تن) | | **شبکه حجم صادرات** | | **شبکه حجم صادرات** | |
| **کشور** | **شاخص درجه خروجی** | **کشور** | **شاخص رتبه­صفحه** | **کشور** | **شاخص قطب** |
| عربستان | 300 | چین | 0.105 | کانادا | 0.166 |
| روسیه | 265 | سنگاپور | 0.070 | عربستان | 0.157 |
| عراق | 190 | ژاپن | 0.057 | عراق | 0.112 |
| کانادا | 138 | آمریکا | 0.053 | روسیه | 0.081 |
| ایران | 126 | هلند | 0.043 | ویتنام | 0.056 |
| آمریکا | 119 | هند | 0.037 | مکزیک | 0.050 |
| کویت | 95 | تایلند | 0.037 | کویت | 0.043 |
| نیجریه | 89 | کره | 0.036 | برزیل | 0.038 |
| قزاقستان | 75 | اسپانیا | 0.035 | ایران | 0.031 |
| امارات | 65 | مالزی | 0.024 | عمان | 0.030 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

همان‌طور که مشاهده می­شود، بر اساس شاخص مرکزیت درجه خروجی، عربستان سعودی، روسیه و عراق بیشترین حجم صادراتی را داشته­اند. این شاخص می­تواند نشان­دهنده قدرت این کشورها در صادرات نفت خام باشد. همچنین، مشاهده می­شود که چین، سنگاپور و ژاپن بیشترین میزان شاخص رتبه­صفحه را دارند. این بدین معناست که این کشورها یکی از کشورهای با بیشترین مراوده تجاری هستند و یا اینکه به کشورهای با تعداد بالای مراودات تجاری متصل هستند. از آنجایی که میزان شاخص درجه خروجی این کشورها بالا نیست، می­توان چنین نتیجه گرفت که این کشورها به کشورهای اصلی شبکه متصل هستند. بر اساس شاخص قطب مشاهده می­شود که به‌طور کلی عربستان سعودی، کانادا و عراق از بازیگران اصلی شبکه تجاری هستند.

قوی­ترین رابطه­های تجاری در این شبکه بین کشورهای کانادا و ایالات متحده آمریکا، ایران و تایوان، روسیه و چین و عربستان سعودی و چین انجام شده است. کشورهایی که ده میلیون تن صادرات داشته­اند به ترتیب عبارت‌اند از: عربستان سعودی، روسیه، عراق، کانادا، ایران، ایالات متحده آمریکا، کویت، نیجریه، قزاقستان، مکزیک، امارات متحده عربی، ونزوئلا، نروژ، لیبی، برزیل، بریتانیا، عمان، کلمبیا، الجزیره، آذربایجان، قطر، اکوادور، مالزی، کنگو، استرالیا و اندونزی.

همچنین در شکل (7) اجتماعات در شبکه صادرات نفت خام مشخص شده است. اجتماع­یابی،[[83]](#footnote-83) شبکه را به چند اجتماع تقسیم می­کند، به‌گونه­ای که روابط درون جامعه­ای حداکثر و روابط بین جامعه­ای حداقل می­شود (رونهود و نوسینوف،[[84]](#footnote-84) 2009)؛ به عبارت دیگر، رئوس درون یک جامعه به طور متراکم[[85]](#footnote-85) و رئوس بین جوامع به طور پراکنده[[86]](#footnote-86) به هم متصل هستند (بلاندل[[87]](#footnote-87) و همکاران، 2008). روش­های متفاوتی برای اجتماع­یابی ارائه شده­ است: الگوریتم­های تقسیم­کننده،[[88]](#footnote-88) الگوریتم­های جمع­بندی[[89]](#footnote-89) و روش­های بهینه­یابی[[90]](#footnote-90) که روش بهینه­یابی، بر اساس حداکثر کردن تابع هدف است (ریچارد و بورنهولد،[[91]](#footnote-91) 2006؛ بلاندل و همکاران، 2008). در اجتماع­یابی به روش لوین[[92]](#footnote-92) که یک روش بهینه­یابی است، اتصالات درون اجتماعی حداکثر و اتصالات بین جوامع حداقل می­شود (روبینو و اسپورنز، 2010). در شکل (7)، اجتماعات به این روش پیدا شده­اند.

****

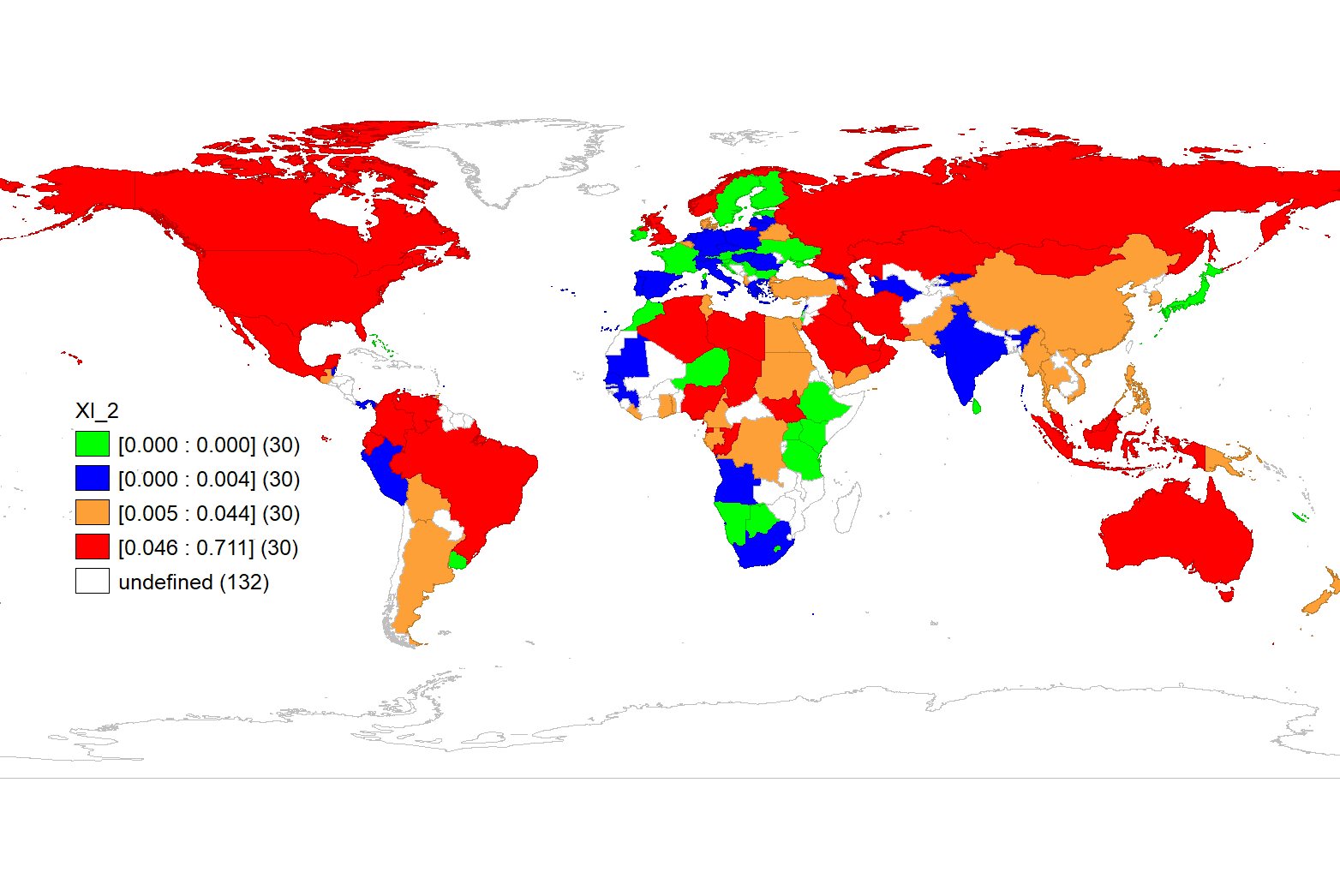
**شکل 7**: اجتماعات در شبکه تجارت صادرات نفت خام

* 1. تعیین پایداری در شبکه تجارت نفت

برای بررسی پایداری شبکه­ها در شبکه تجارت نفت خام، دو شاخص معرفی شده­ است. بر اساس این شاخص­ها پایداری شبکه تجارت نفت در دو بخش صادراتی و وارداتی مشخص شده است. جدول 6 ده کشور با کمترین و بیشترین میزان شاخص پایداری در صادرات نفت خام () را نشان می­دهد. همچنین در شکل (8) وضعیت شاخص در کشورهای مختلف جهان مشخص شده است.

**جدول 6:** کشورهای با بیشترین و کمترین پایداری در شبکه صادرات نفت خام

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **کشور با بیشترین پایداری** | **مقدار شاخص** | **کشور با کمترین پایداری** | **مقدار شاخص** |
| لسوتو و سریلانکا | 1.54181E-10 | عربستان | 0.70 |
| باهاماس | 1.54181E-10 | ونزوئلا | 0.49 |
| اروگوئه | 3.08362E-10 | عراق | 0.49 |
| اتیوپی | 6.93813E-10 | کویت | 0.46 |
| نیجر | 2.25104E-08 | کانادا | 0.44 |
| کالدونیای جدید | 2.79838E-08 | روسیه | 0.40 |
| لوکزامبورگ | 9.77506E-08 | ایران | 0.39 |
| سوازیلند | 1.34343E-07 | عمان | 0.28 |
| اتریش | 1.63432E-07 | مکزیک | 0.26 |
| ژاپن | 1.75419E-07 | برزیل | 0.20 |



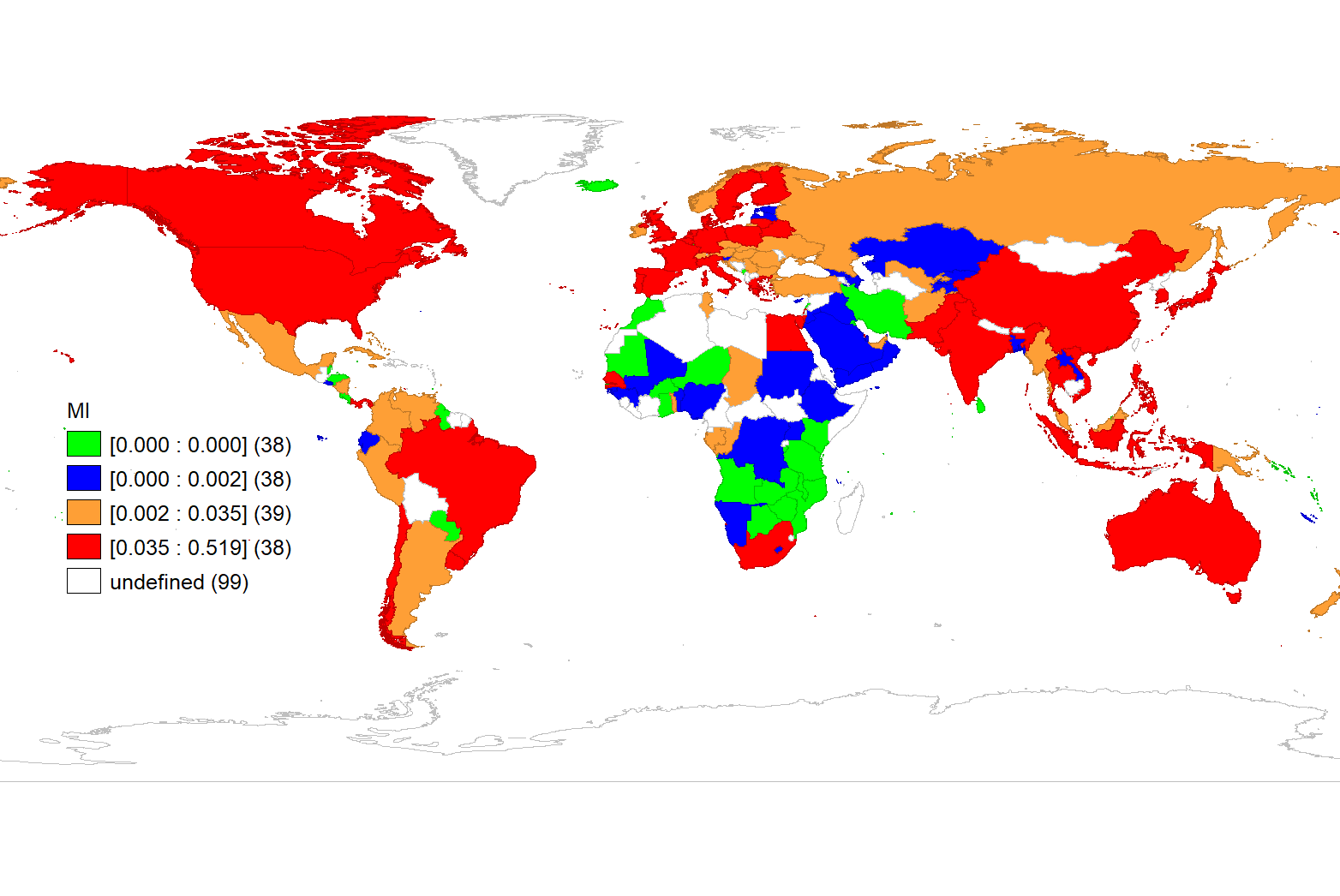
**شکل 8:** پایداری کشورها در شبکه صادرات نفت خام

همان‌طور که مشاهده می­شود، در شبکه صادرات نفت خام، کشورهای عمده صادرکننده نفت ازجمله عربستان سعودی، ونزوئلا، عراق، کویت، ایران، عمان و روسیه در زمره کشورهای با کمترین پایداری در شبکه تجارت نفت قرار گرفته­اند. این کشورها ازجمله کشورهای عمده صادرکننده نفت هستند. از آنجایی که سهم صادرات آنها بر سهم پیوندهای تجاری غالب است، هرگونه اختلال در عرضه نفت آنها آسیب بزرگی به شبکه وارد می­کند. بر این اساس، این کشورها دارای سطوح بالایی از ناپایداری هستند. از طرف دیگر، کشورهای اتیوپی، لسوتو، نیجر، سوازیلند، ژاپن، سریلانکا و کالدونیای جدید در زمره کشورهای با بیشترین پایداری در شبکه صادرات نفت خام قرار دارند.

در جدول 7، کشورهایی با کمترین و بیشترین میزان پایداری در شبکه وارداتی بر حسب شاخص را نشان می­دهد.همچنین در شکل (9) وضعیت شاخص پایداری واردکننده‌ها در بین کشورهای جهان مشخص شده است.

**جدول 7**: کشورهای با بیشترین و کمترین پایداری در شبکه واردات نفت خام

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **کشور با بیشترین پایداری** | **مقدار شاخص** | **کشور با کمترین پایداری** | **مقدار شاخص** |
| غنا | 2.24974E-10 | چین | 0.520 |
| سریلانکا | 5.62435E-10 | بلاروس | 0.513 |
| مراکش | 8.43652E-10 | آمریکا | 0.447 |
| گرنادا، ایران، موریس | 2.13725E-09 | هند | 0.270 |
| سیشل | 2.41847E-09 | تایوان | 0.170 |
| بروندی | 5.28689E-09 | کره | 0.167 |
| ایسلند | 5.91963E-09 | آلمان | 0.125 |
| گامبیا | 9.56139E-09 | کانادا | 0.111 |
| مالدیو | 9.56139E-09 | اسپانیا | 0.103 |
| کنیا | 1.06863E-08 | ایتالیا | 0.103 |

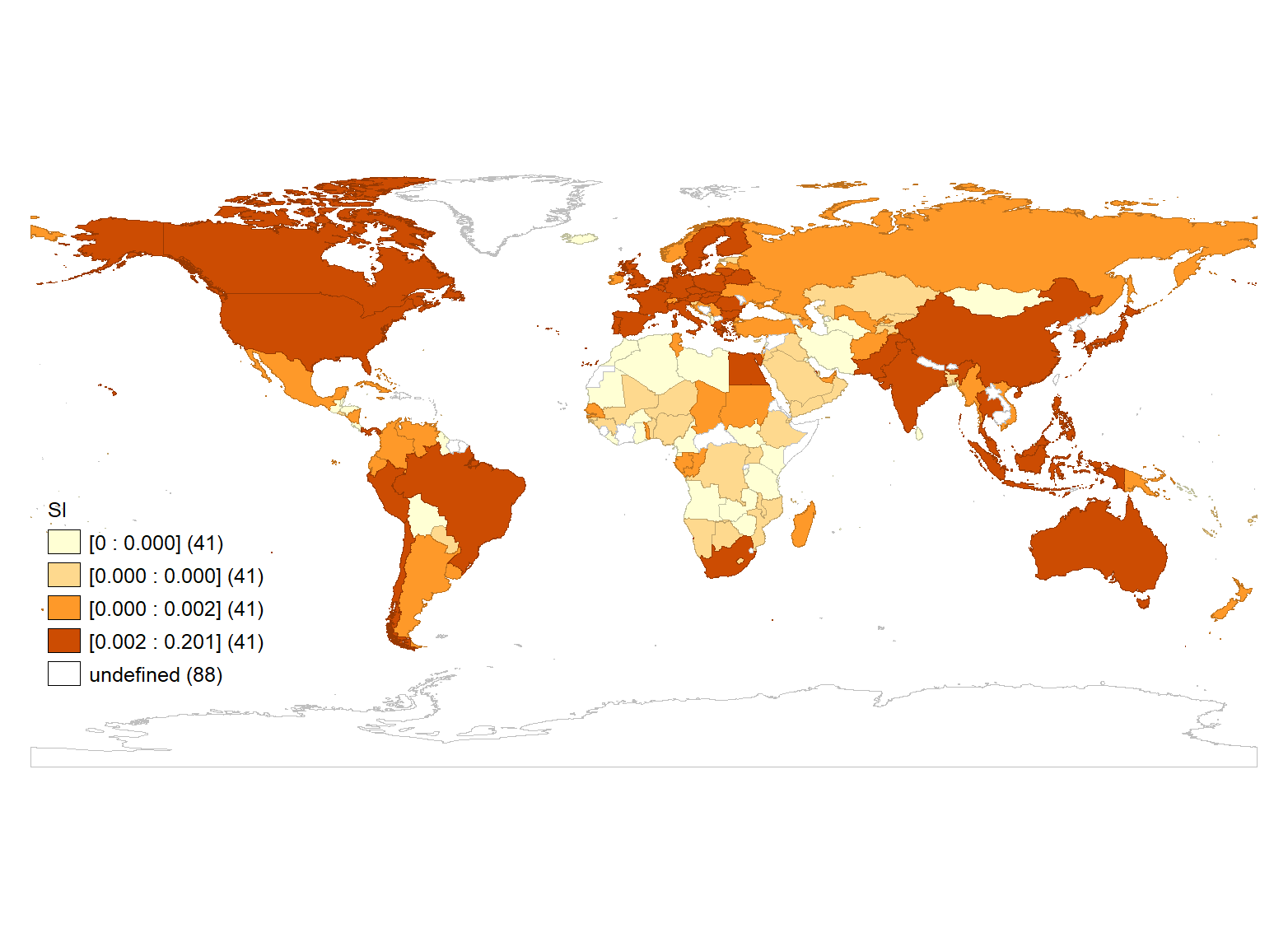


**شکل 9**: پایداری کشورها در شبکه واردات نفت خام

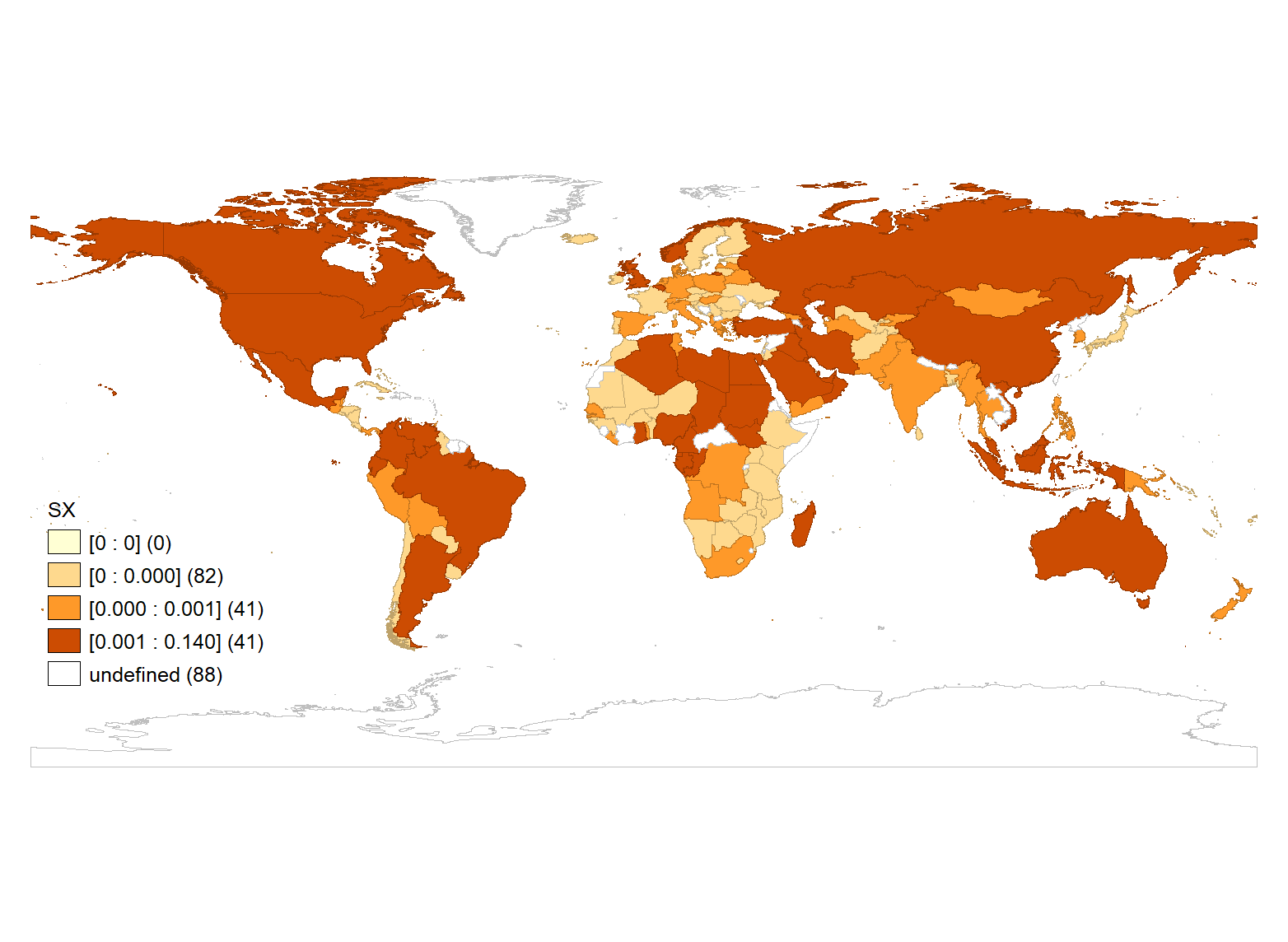
همان‌طور که مشاهده می­شود، عمده کشورهای آفریقایی در زمره کشورهای با پایداری بالا قرار دارند. همچنین برخی کشورهای صادرکننده نفت که در شبکه صادراتی، ناپایداری دارند، در شبکه وارداتی، از پایداری بالایی برخوردارند که می­توان به کشورهای ایران، عربستان و عمان اشاره کرد. در مورد کشورهای اروپایی مشاهده می­شود که در شبکه صادراتی در وضعیت پایدار و نیمه پایدار قرار دارند؛ اما در شبکه وارداتی، در وضعیت نیمه ناپایدار و ناپایدار قرار گرفته­اند. این در حالی است که برخی کشورها ازجمله کشورهای آمریکا، کانادا و برزیل در هر دو شبکه در وضعیت ناپایداری قرار دارند. این کشورها در زمره کشورهای عمده واردکننده نفت قرار دارند. سهم واردات این کشورها از کل واردات در جهان بر سهم پیوندهای تجاری آنها غالب است؛ بنابراین هرگونه اختلال در تقاضای نفت آنها آسیب بزرگی به شبکه وارد می­کند. بر این اساس، این کشورها دارای سطوح بالایی از ناپایداری در شبکه واردات نفت خام هستند.

* 1. تعیین سهم مؤثر

در شکل (10) سهم واردات کشورها از واردات نفت خام در جهان مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می­شود، کشورهای حوزه اقیانوسیه، آسیای شرقی، اروپای غربی و آمریکای شمالی بیشترین سهم وارداتی را در شبکه تجارت جهانی نفت خام به خود اختصاص داده­اند.

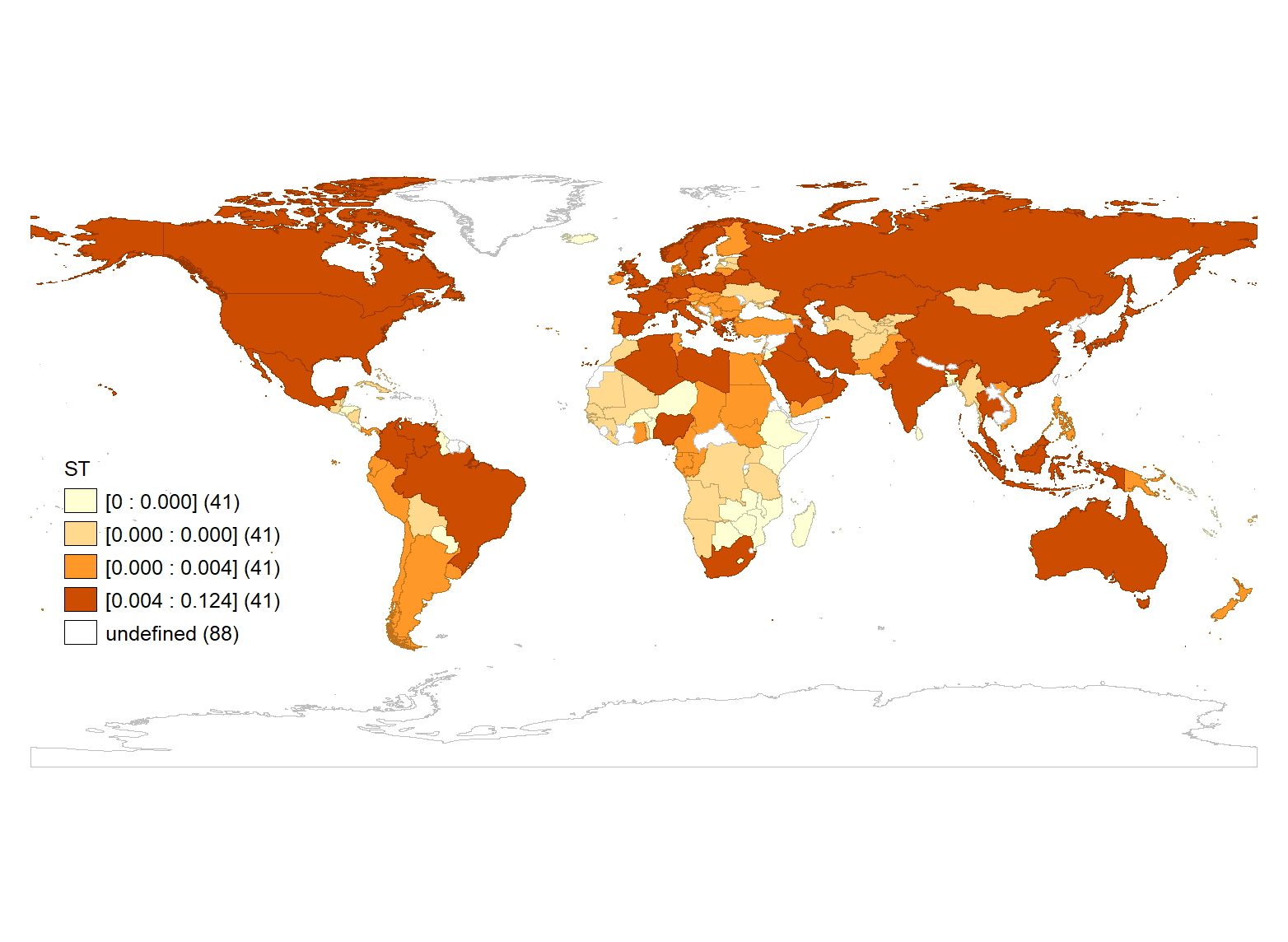


**شکل 10:** سهم وارداتی کشورها از واردات نفت خام کل دنیا



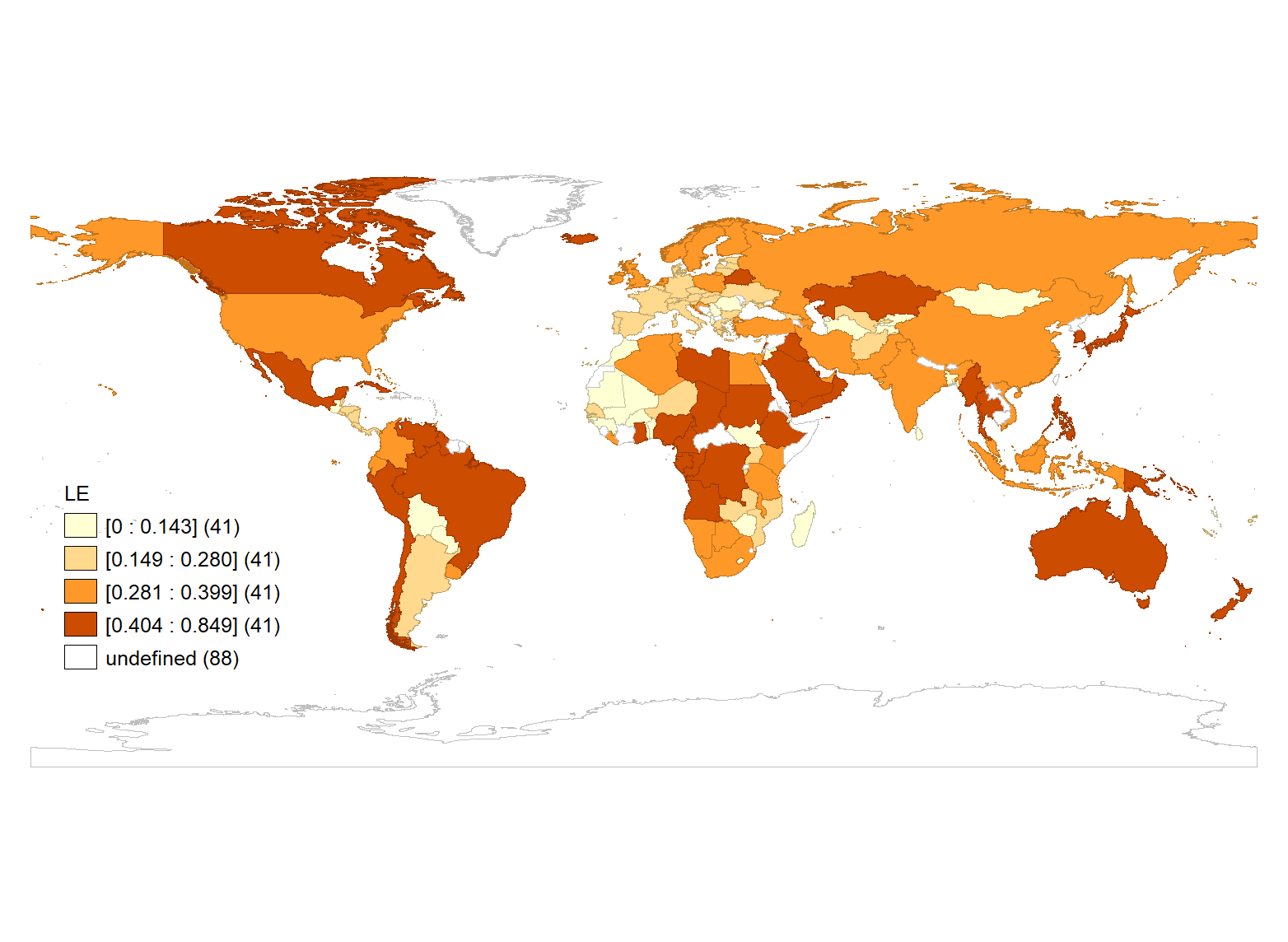
**شکل 11:** سهم صادراتی کشورها از صادرات نفت خام انجام شده در جهان

در شکل (11) سهم صادراتی کشورها در شبکه تجارت نفت مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می­شود، کشورهای حوزه مناطق اصلی ترانزیت نفتی،[[93]](#footnote-93) عمده مناطق با سهم صادراتی بالا هستند. به عبارتی، کشورهای حوزه تنگه هرمز ازجمله ایران، عراق، قطر، کویت، عمان، امارات متحده عربی، عربستان سعودی، کشورهای حوزه تنگه باب المندب مانند مصر و سودان و کشورهای حوزه تنگه مالاکا ازجمله کشورهای آسیای شرقی و اقیانوسیه بیشترین سهم صادراتی را در شبکه تجارت جهانی نفت خام به خود اختصاص داده­اند. همچنین کشورهای روسیه، ونزوئلا، الجزایر، کامرون، آذربایجان و مانند این‌ها که نفت و فرآورده­های نفتی سهم بسزایی در پروفایل صادراتی آن­ها دارند (گزارش سازمان ملل متحد، 2020)، در زمره کشورهای با سهم صادراتی بالا قرار گرفته­اند.



**شکل 12:** سهم تجارت کل کشورها از مجموع صادرات و واردات نفت خام جهان

در شکل (12) سهم کل تجارت نفت شامل مجموع صادرات و واردات کشورها در شبکه جهانی مشخص شده است. کشورهایی همچون استرالیا، چین، بریتانیا، آمریکا، کانادا، برزیل و کشورهای حوزه تنگه مالاکا که هم در واردات و هم در صادرات سهم بالایی داشته­اند، مبین آن است که این کشورها و مناطق، هم مصرف­کننده عمده و هم تولید و توزیع­کننده عمده نفت خام و فرآورده‌های نفتی هستند.

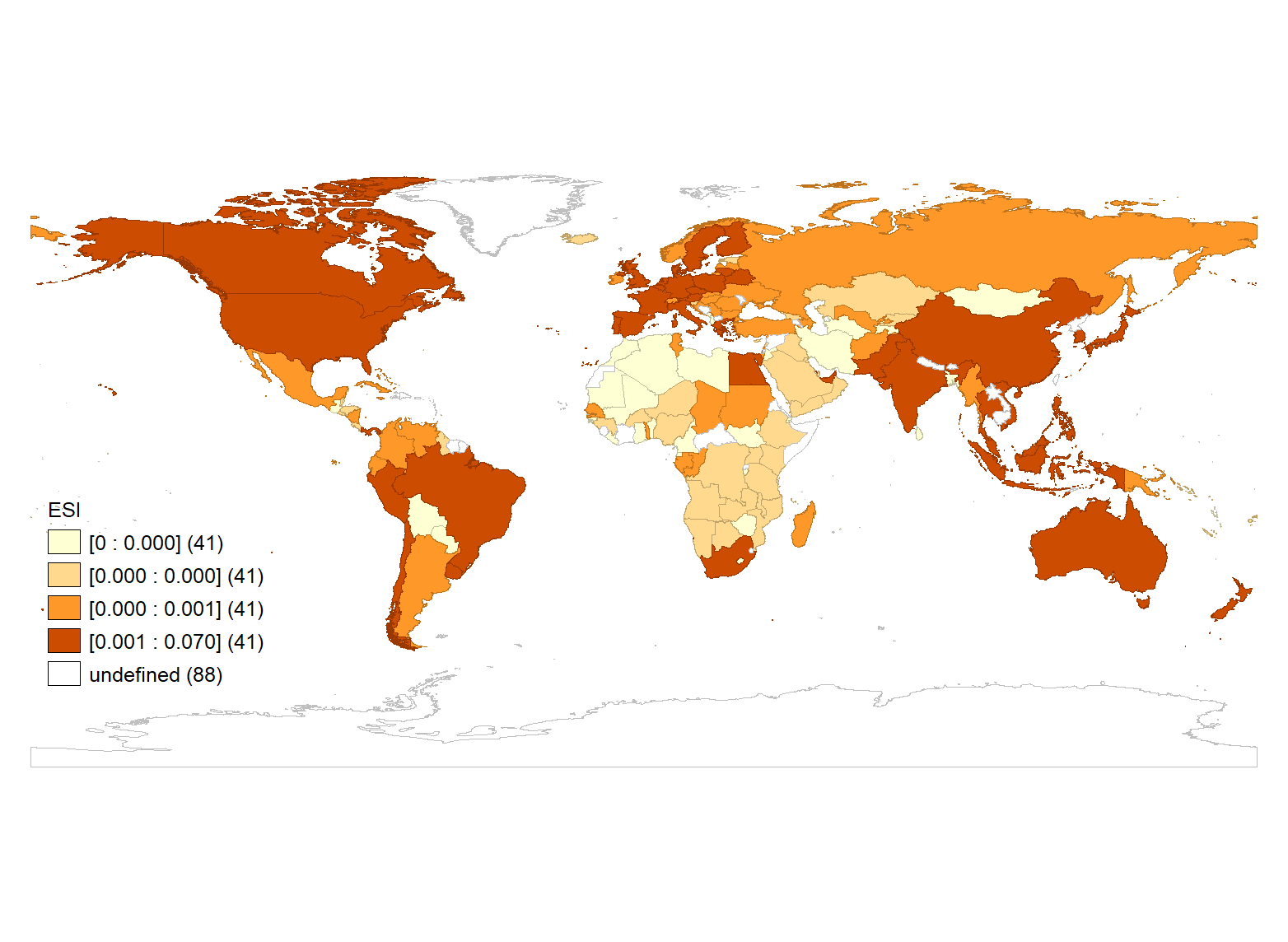
****

**شکل 13:** کارایی محلی کشورها در شبکه تجارت نفت خام

همان‌طور که مشاهده می­شود، اکثر کشورهای دنیا کارایی نسبتاً پایینی در شبکه تجاری دارند و این بدین معناست که در زیر شبکه­ای که تشکیل می­دهند، در صورتی‌که از شبکه تجاری حذف شوند، در انتقال نفت خام ایجاد اختلال می­کنند. این در حالی است که کشورهایی همچون استرالیا، نیوزیلند، ژاپن، بروندی، تایلند، فیلیپین، قزاقستان، بلاروس، عراق، عربستان سعودی، عمان، یمن، سودان، اتیوپی، لیبی و چند کشور دیگر آفریقایی، ایسلند، کانادا، مکزیک، ونزوئلا، برزیل و شیلی از کارایی به نسبت بالایی برخوردارند. اگر این کشورها از زیرشبکه­ای که می­سازند حذف شوند، انتقال نفت خام با اختلال کمی انجام می­شود. البته باید توجه داشت که این به معنی عدم ایجاد اختلال در شبکه تجاری نیست، زیرا بالاترین میزان کارایی محلی در این شبکه تجاری حدود 85 درصد و کارایی محلی کشور عربستان حدود 40 درصد است که کارایی محلی بالایی تلقی نمی­شود.

در ادامه، سهم مؤثر در واردات، صادرات و تجارت کل بررسی می­شود.

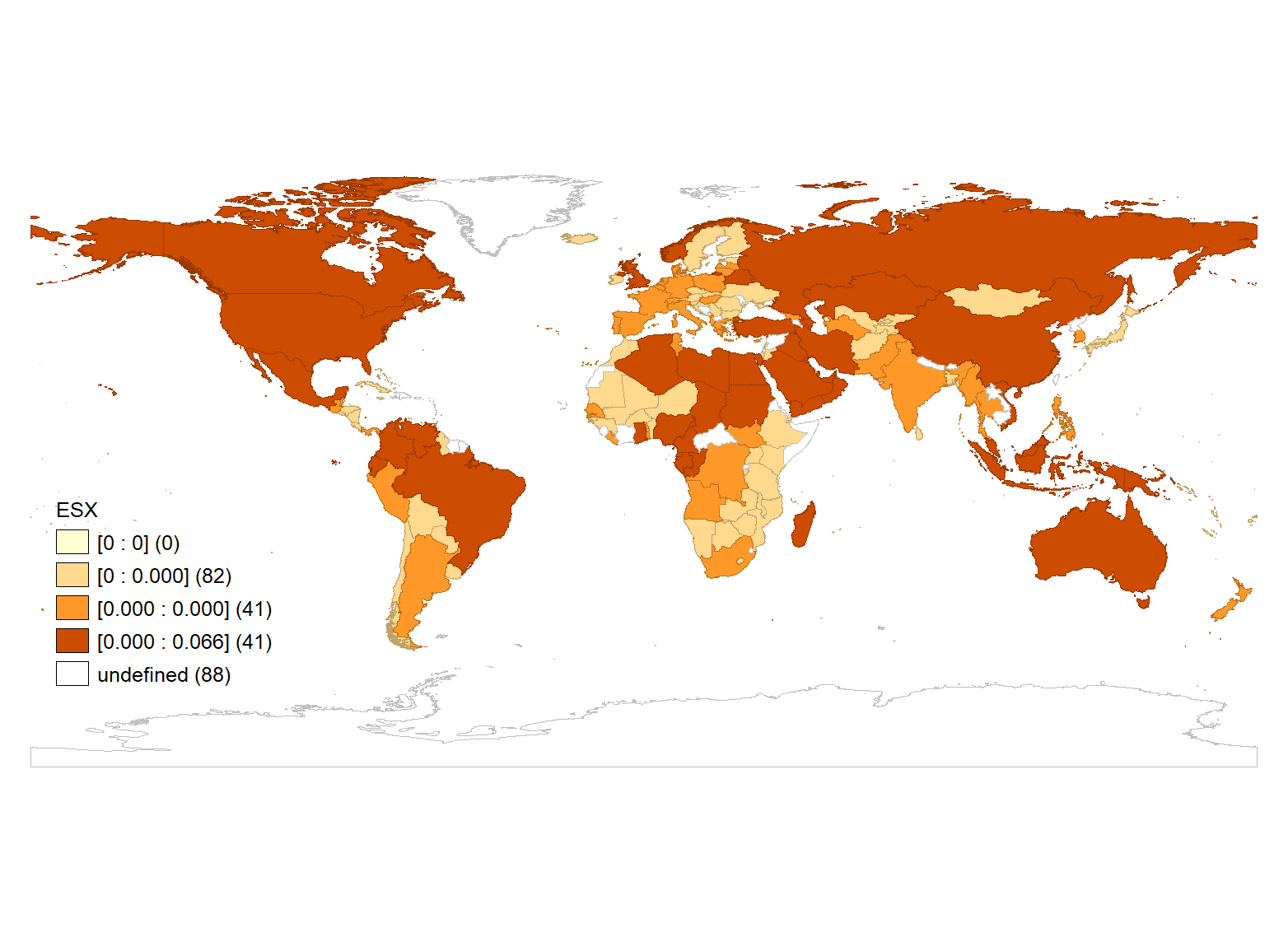
**تعیین سهم مؤثر در واردات نفت خام:** سهم مؤثر کشورها در شبکه واردات از کارایی محلی کشورها و سهم وارداتی آن­ها به دست می­آید که در جدول پیوست نحوه محاسبه آن ذکر شده است. شکل 14، سهم مؤثر کشورها در شبکه وارداتی را بر نقشه جهان نشان می­دهد.

****

**شکل 14:** سهم مؤثر کشورها در شبکه واردات نفت خام

همان‌طور که مشاهده می­شود، کشورهای حوزه آسیا- اقیانوسیه، آسیای شرقی، اروپای غربی، آمریکای شمالی و برخی کشورهای آمریکای جنوبی ازجمله برزیل و شیلی در زمره کشورهای با سهم مؤثر بالا در شبکه واردات نفت خام هستند؛ به عبارت دیگر، این کشورها ممکن است کارایی پایینی (اخلال­گری زیاد در زیر شبکه آن کشور در صورت حذف از شبکه تجاری) داشته باشند؛ اما به واسطه سهمی که از واردات کل انجام شده در شبکه تجاری دارند، اهمیت بسزایی پیدا می­کنند. به عنوان مثال، چین و آمریکا از کارایی محلی پایینی در شبکه تجاری برخوردار هستند؛ اما به واسطه سهم مصرفی نفت خامی که در شبکه تجاری دارند، مشاهده می­شود که سهم مؤثر بالایی را به خود اختصاص داده­اند.

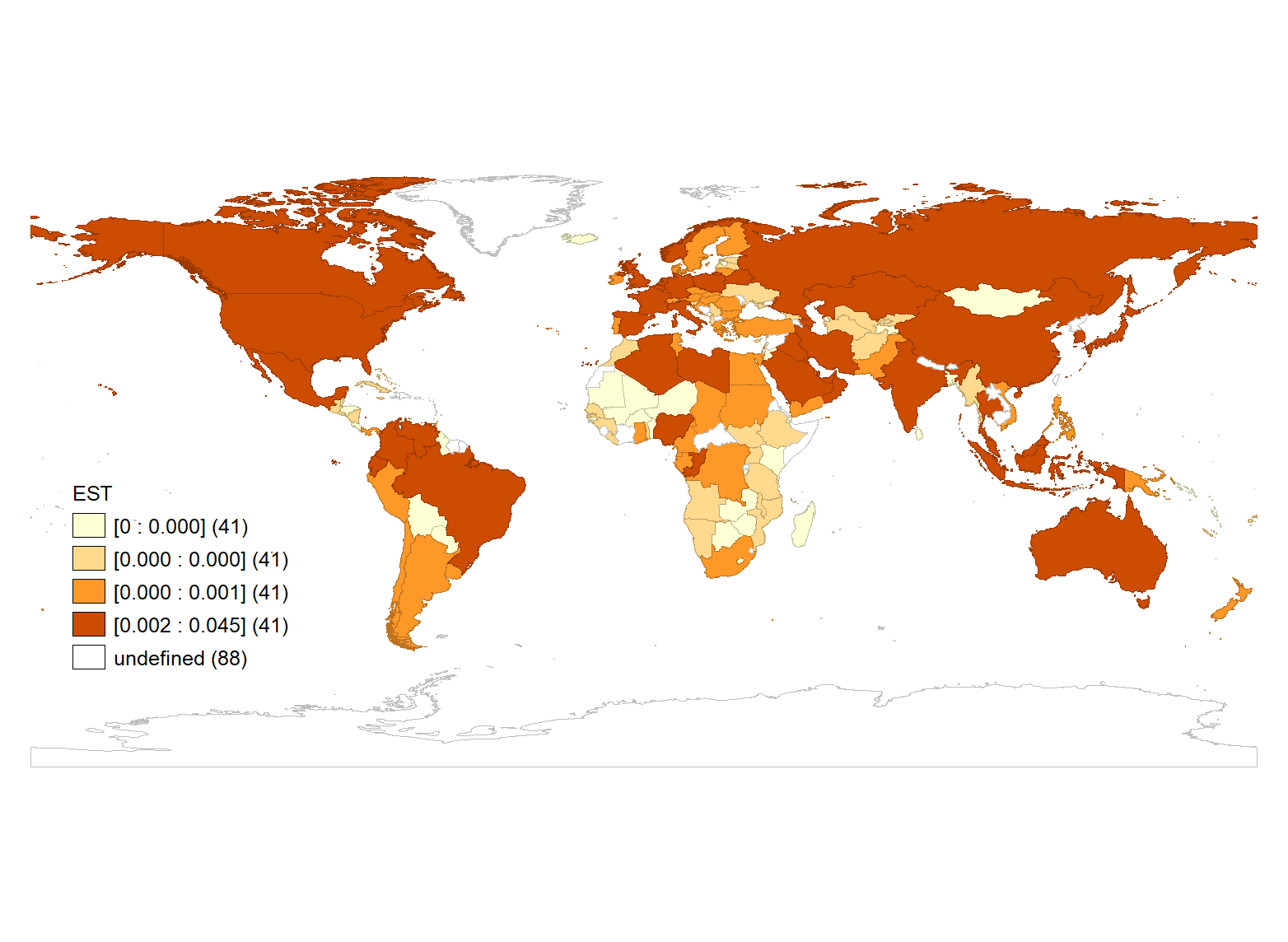
**تعیین سهم مؤثر در صادرات نفت خام:** سهم مؤثر کشورها در شبکه صادرات از کارایی محلی کشورها و سهم صادراتی آن­ها در شبکه تجارت نفت خام به دست می­آید که در جدول پیوست نحوه محاسبه آن ذکر شده است. شکل 15، سهم مؤثر کشورها در شبکه صادراتی را بر نقشه جهان نشان می­دهد.

****

**شکل 15:** سهم مؤثر کشورها در شبکه صادرات نفت خام

همان‌طور که مشاهده می­شود، کشورهای پیرامون نقاط ترانزیت اصلی تجارت نفت خام سهم مؤثر بالایی در شبکه صادرات نفت خام دارند. همچنین کشورهای چین، روسیه، قزاقستان، آذربایجان و یونان نیز به واسطه موقعیت استراتژیکی که در شبکه تجاری دارند، سهم مؤثر بالایی را به خود اختصاص داده­اند. اهمیت این کشورها از این بابت است که امکان دارد به واسطه کارایی بالا و یا منابع عرضه نفتی، سهم مؤثر بالاتری را به خود اختصاص دهند.

**تعیین سهم مؤثر در کل تجارت نفت خام:** سهم مؤثر کشورها در شبکه تجارت کل از کارایی محلی کشورها و سهم تجاری آن­ها در واردات و صادرات نفت خام به دست می­آید که در جدول پیوست نحوه محاسبه آن ذکر شده است. شکل 16، سهم مؤثر کشورها در شبکه تجارت کل را بر نقشه جهان نشان می­دهد.

****

**شکل 16:** سهم مؤثر کشورها در شبکه تجارت کل (مجموع صادرات و واردات) نفت خام

در این حالت، وضعیت مشابهی از سهم مؤثر کشورها در شبکه صادراتی را شاهد هستیم. کشورهای پیرامون نقاط ترانزیت اصلی تجارت نفت خام سهم مؤثر بالایی در شبکه تجارت کل نفت خام دارند. همچنین کشورهای چین، روسیه، هند، پاکستان، کشورهای شمال آفریقا، آمریکای شمالی و شمال آمریکای جنوبی سهم مؤثر بالایی را در شبکه تجارت کل به خود اختصاص داده­اند.

* 1. بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در واردات، صادرات و کل تجارت

**بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در واردات:** همان‌طور که شکل‌های (17) و (18) و جدول 7 نشان می­دهد که کشورهای چین، بلاروس، آمریکا، هند، تایوان، کره، آلمان، کانادا، اسپانیا، ایتالیا، یونان، تایلند، فرانسه، بلژیک، بریتانیا، لهستان، ژاپن، استرالیا، سنگاپور، آفریقای جنوبی، هلند، فیلیپین، سوئد و اندونزی همزمان وضعیت ناپایداری و نقش مؤثر زیادی دارند. این دسته از کشورها آسیب­پذیری زیادی دارند و در صورت آسیب هر یک از این کشورها، کل شبکه تجارت را نیز دچار آسیب می­کنند.

**شکل 17:** طيف­بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در واردات نفت خام (الف)

**شکل 18:** طيف­بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در واردات نفت خام (ب)

بر اساس نتایج به دست آمده کشورهایی همچون مصر، پاکستان، برزیل، پاناما، فنلاند، سنگال، لیتوانی، سنت لوسیا، شیلی، اسرائیل، ویتنام، کوراسائو، پرتغال، اروگوئه، دانمارک و مجارستان کشورهایی هستند که ناپایداری زیاد؛ اما سهم مؤثر کمی دارند. اگرچه این کشورها خود در معرض آسیب زیادی قرار دارند ولی ناپایداری آنها آسیب مؤثر و معناداری برای شبکه ایجاد نمی­کند.

گروه بعدی کشورها که فهرست آنها به طور کامل در جدول 7 ارائه شده است، کشورهایی هستند که ناپایداری و سهم مؤثر کمی در شبکه تجارت دارند. از این رو نه تنها آسیبی برای خود آنها به صورت جدی قابل تصور نیست بلکه نقش و اثر مهمی در شبکه هم نمی­توانند داشته باشند.

**جدول 7:** طیف واردات

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **عدم پایداری** | |
| **زیاد** | **کم** |
| **سهم مؤثر** | **زیاد** | چین، بلاروس، آمریکا، هند، تایوان، جمهوری کره، آلمان، کانادا، اسپانیا، ایتالیا، یونان، تایلند، فرانسه، بلژیک، بریتانیا، لهستان، ژاپن، استرالیا، سنگاپور، آفریقای جنوبی، هلند، فیلیپین، سوئد، اندونزی | - |
| **کم** | مصر، پاکستان، برزیل، پاناما، فنلاند، سنگال، لیتوانی، سنت لوسیا، شیلی، اسرائیل، ویتنام، کوراسائو، پرتغال، اوروگوئه، دانمارک، مجارستان | جمهوری دومینیکن، بلغارستان، اسلواکی، ترکیه، اتریش، رومانی، جمهوری چک، ساحل عاج، ترینیداد و توباگو، پرو، سوئیس، اروپا، نیوزلند، مالزی، باهاما، ایرلند، نروژ، صربستان، کرواسی، نیکاراگوئه، پاپوآ گینه نو، امارات متحده عربی، جاماییکا، بوسنی هرزگوین، بونیر، توگو، میانمار، آرژانتین، تونس، ازبکستان، مکزیک، ونزوئلا، روسیه، گابن، چاد، اوکراین، جبل‌الطارق، کنگو، کوبا، هنگ­کنگ، باربادوس، کلمبیا، افغانستان، مالتا، آذربایجان، گینه، تاجیکستان، اکوادور، سودان، لتونی، اسلوونی، استونی، قبرس، قزاقستان، مالی، گرجستان، عراق، لائوس، قرقیزستان، نیجریه، جمهوری خلق کنگو، کشور فلسطین، عربستان سعودی، گینه بیسائو، بنین، کالدونیای جدید، نامیبیا، عمان، جیبوتی، یمن، قطر، فیجی، لسوتو، اردن، جمهوری مولداوی، برمودا، ساموآ، جزایر مارشال، اتیوپی، السالوادور، بنگلادش، مقدونیه شمالی، تونگا، کومور، اوگاندا، پاراگوئه، کیریباتی، مونته نگرو، وانواتو، موزامبیک، مالاوی، نیجر، بوتسوانا، توکلائو، زیمبابوه، اسواتینی، بورکینافاسو، جزایر کیمن، جزایر کوک، زامبیا، کاستاریکا، تانزانیا، برونئی دارالسلام، لوکزامبورگ، آنگولا، بلیز، موریتانی، کویت، هندوراس، لبنان، جزایر سلیمان، گویان، کنیا، مالدیو، گامبیا، ایسلند، بوروندی، سیشل، ایران، گرانادا، موریس، مراکش سریلانکا، غنا |

**بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در صادرات:** همان‌طور که در شکل‌های 19 و 20 و جدول 11 مشخص شده و نتایج حاکی از آن است که کشورهای عربستان سعودی، روسیه، عراق، کانادا، نیجریه، کویت، ونزوئلا، ایران، ایالات متحده آمریکا، مکزیک، قزاقستان، لیبی، برزیل، نروژ، امارات متحده عربی، عمان، بریتانیا، الجزیره، قطر، آذربایجان، کنگو، کلمبیا، اکوادور، مالزی همزمان وضعیت ناپایداری و نقش مؤثر زیادی دارند. این دسته از کشورها آسیب­پذیری زیادی دارند و در صورت آسیب هر یک از این کشورها، کل صادرات و به دنبال آن شبکه تجارت نفت خام دچار آسیب می­شود.

**شکل 19:** طيف­بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در صادرات نفت (الف)

**شکل 20:** طيف­بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در صادرات نفت (ب)

دسته دوم شامل کشورهای ماداگاسکار، گینه استوایی، استرالیا و گابن است که اگرچه سهم مؤثر بالایی در شبکه دارند؛ اما ناپایداری آنها کم است. از این رو، آسیب­پذیری آنها برای خود و کل شبکه تجارت کم خواهد بود.

گروه دیگر صرفاً شامل کشور سودان جنوبی است. این کشور ناپایداری زیادی دارد؛ اما سهم مؤثر آن کم است. اگرچه این کشور خود در معرض آسیب زیادی قرار دارد؛ اما ناپایداری آن آسیب مؤثر و معناداری برای شبکه ایجاد نمی­کند.

گروه بعدی کشورها که فهرست آنها به طور کامل در جدول (11) ارائه شده است ناپایداری و سهم مؤثر کمی در شبکه صادرات نفت خام دارند. از این رو نه تنها آسیبی برای خود آنها به صورت جدی قابل تصور نیست بلکه نقش و اثر مهمی در شبکه هم نمی­توانند داشته باشند.

**جدول 11:** طیف صادرات

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **عدم پایداری** | |
| **زیاد** | **کم** |
| سهم مؤثر | زیاد | عربستان سعودی، روسیه، عراق، کانادا، نیجریه، کویت، ونزوئلا، ایران، آمریکا، مکزیک، قزاقستان، لیبی، برزیل، نروژ، امارات متحده عربی، عمان، بریتانیا، الجزایر، قطر، آذربایجان، کنگو، کلمبیا، اکوادور و مالزی | ماداگاسکار، گینه استوایی، استرالیا و گابن |
| کم | سودان جنوبی | غنا، اندونزی، مصر، کامرون، برونئی دارالسلام، چاد، ویتنام، یمن، چین، پاپوآ گینه نو، سودان، ساحل عاج، ترکیه، بلاروس، تایلند، آرژانتین، جمهوری خلق کنگو، آنگولا، ترینیداد و توباگو، تونس، بلژیک، نیوزیلند، جمهوری کره، دانمارک، فیلیپین، اسپانیا، پاکستان، هند، پرو، ایتالیا، هلند، آفریقای جنوبی، لیبریا، مالتا، میانمار، لهستان، آلبانی، قبرس، آلمان، یونان، سنگاپور، مجارستان، گواتمالا، سوئیس، هنگ­کنگ، ترکمنستان، گرجستان، توگو، پاناما، فرانسه، سنگال، لتونی، لیتوانی، پرتغال، بلیز، قرقیزستان، لبنان، اروپا، باربادوس، سنت لوسیا، جمهوری چک، بحرین، رومانی، اسلواکی، تانزانیا، نامیبیا، گینه، اسرائیل، مراکش، استونی، اوگاندا، بلغارستان، ایرلند، فنلاند، اوکراین، صربستان، اسلوونی، تایوان، کرواسی، فیجی، سوئد، ژاپن، کنیا، بوتسوانا، لوکزامبورگ، اتریش، اسواتینی، کالدونیای جدید، اتیوپی، نیجر، اروگوئه و باهاماس |

* 1. نتیجه­گیری و پیشنهادهای سیاستی تحلیل تاب‌آوری

نفت را به عنوان یک منبع استراتژیک می­توان خون در رگ­های جوامع مدرن دانست (لیو و همکاران، 2020). این در حالی است که کشورهای صادرکننده نفت عموماً دارای بی­ثباتی سیاسی هستند (کیتامورا و ماناگی، 2017)؛ بنابراین، تاب­آوری عرضه انرژی به دغدغه کشورهای واردکننده نفت تبدیل شده است. از آنجایی‌که درآمد نفتی یکی از مهم­ترین منابع درآمدی کشورهای صادرکننده نفت است؛ بنابراین تاب­آوری فروش نفت برای این کشورها نیز حیاتی خواهد بود.

به منظور بررسی ساختار شبکه تجارت نفت، تاب­آوری کلی آن و تاب­آوری هر کشور در شبکه تجارت نفت خام، ابتدا ساختار شبکه تجارت نفت بر اساس حجم مبادله نفت بین 178 کشور تعیین شد و بر اساس شاخص­های ساختاری شبکه ازجمله مرکزیت درجه ورودی، مرکزیت درجه خروجی، رتبه­صفحه، قطب و نفوذ، موقعیت هر کشور در شبکه تجارت نفت سنجیده شد. نتایج نشان می­دهد که قوی­ترین روابط تجاری بین کانادا و آمریکا، روسیه و چین، عربستان سعودی و چین، عربستان سعودی و آمریکا، عراق و هند و درنهایت ایران و تایوان است.

در گام دوم، با طراحی دو شاخص برای محاسبه ناپایداری بر اساس اصل تنوع، درجه پایداری همه کشورها در شبکه‌های صادرات و واردات نفت خام محاسبه ‌شد. نتایج حاکی از آن است که عربستان سعودی، ونزوئلا، عراق، کویت، کانادا، روسیه، ایران، عمان، مکزیک و برزیل ناپایدارترین کشورهای صادرکننده نفت هستند. همچنین چین، بلاروس، آمریکا، هند، تایوان، جمهوری کره، آلمان، کانادا، اسپانیا و ایتالیا بیشترین ناپایداری را در شبکه واردات نفت خام دارند.

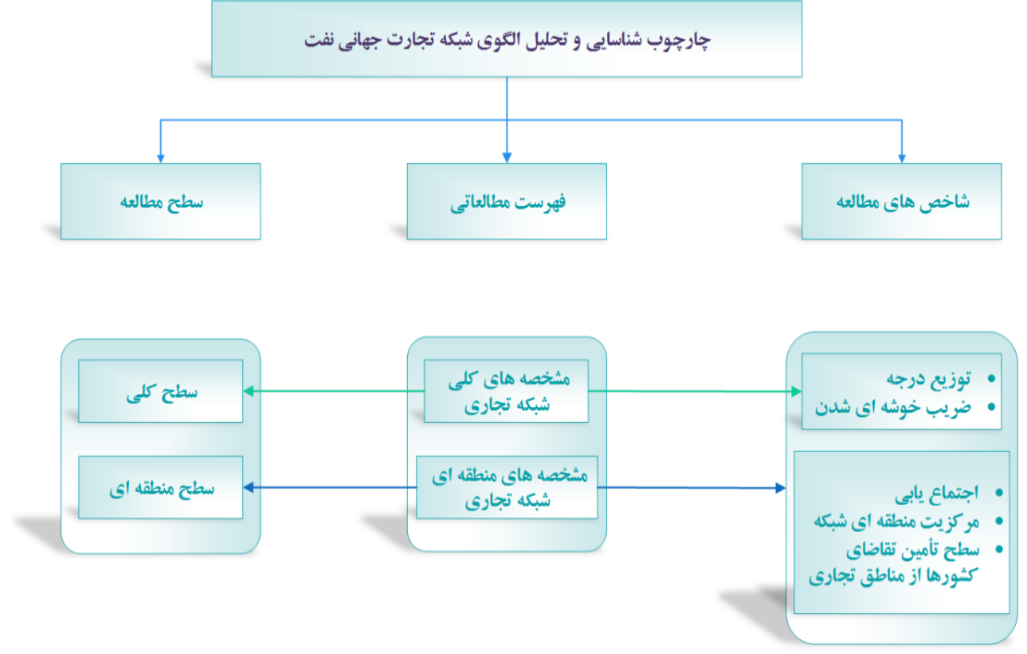
در گام سوم، شاخصی برای محاسبه سهم مؤثر هر کشور در شبکه تجارت نفت خام ارائه شد. نتایج این قسمت حاکی از آن بود که چین، آمریکا، جمهوری کره، هند، تایلند، آلمان، تایوان، هلند، سنگاپور و اسپانیا بیشترین سهم مؤثر واردات را دارند. همچنین عربستان سعودی، روسیه، عراق، کانادا، نیجریه، کویت، ونزوئلا، ایران، آمریکا و مکزیک بیشترین سهم مؤثر را در شبکه صادرات دارند. درنهایت مشاهده شد که آمریکا، چین، عربستان سعودی، روسیه، عراق، جمهوری کره، کانادا، هند، نیجریه و کویت بیشترین سهم مؤثر را در کل تجارت نفت خام دارند.

در گام پایانی، تاب‌آوری کشورها با تحلیل همزمان شاخص­های پایداری و سهم مؤثر کشورها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، کشورهایی با پایداری پایین و سهم مؤثر بالا در شبکه‌های واردات نفت خام عبارت‌اند از: چین، بلاروس، آمریکا، هند، تایوان، جمهوری کره، آلمان، کانادا، اسپانیا، ایتالیا، یونان، تایلند، فرانسه، بلژیک، بریتانیا، لهستان، ژاپن، استرالیا، سنگاپور، آفریقای جنوبی، هلند، فیلیپین، سوئد و اندونزی. این کشورها می­توانند اثرات بی­ثبات­کننده زیادی هم برای خود کشور و هم برای شبکه تجارت جهانی نفت داشته باشند. همچنین در طرف صادرات، عربستان سعودی، روسیه، عراق، کانادا، نیجریه، کویت، ونزوئلا، ایران، آمریکا، مکزیک، قزاقستان، لیبی، برزیل، نروژ، امارات متحده عربی، عمان، بریتانیا، الجزایر، قطر، آذربایجان، جمهوری کنگو، کلمبیا، اکوادور و مالزی نه تنها پایداری پایینی دارند بلکه سهم مؤثر بالایی در شبکه صادرات نفت خام دارا هستند.

با توجه به نتایج، پیشنهاد‌های سیاستی زیر را می­توان برای کشورهای واردکننده و صادرکننده نفت ارائه کرد:

* برای کشورهای واردکننده نفت، افزایش تنوع در شرکای تجاری صادرکننده نفت آنها بسیار مهم است، زیرا تنوع مهم‌ترین عامل در امنیت انرژی است.
* برای کشورهای صادرکننده نفت، تنوع بخشیدن به شرکای تجاری مصرف­کننده نفت ضروری است، زیرا تنوع به عنوان معیاری برای تاب­آوری سیستم، منجر به انعطاف­پذیری بیشتر کشورهای صادرکننده می­شود؛ بنابراین، کشورهای صادرکننده نفت در صورت بروز هرگونه اختلال از سوی شرکای تجاری خود می­توانند جایگزین­هایی برای فروش محصولات خود داشته باشند.
* کاهش وابستگی کشورهای واردکننده نفت به فرآورده­های نفتی با توسعه انرژی­های تجدیدپذیر یا سایر انرژی­های جایگزین مانند نفت شیل ضروری است. باید توجه داشت که این سیاست یک بازی مجموع صفر به نفع واردکنندگان نفت و به ضرر صادرکنندگان نفت است.
* کاهش ناپایداری برای کشورهای صادرکننده نفت، افزایش تولید و صادرات مشتقات نفتی امر مهمی است؛ بنابراین، پیشنهاد می­شود که کشورهای صادرکننده نفت وابستگی خود را به صادرات نفت خام کاهش دهند.
  1. بخش دوم: تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت

در این بخش، الگوهای تجارت نفت در سه زمینه ویژگی‌های کلی، ویژگی‌های منطقه‌ای و پایداری تجارت نفت (ویژگی محلی) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. چارچوب پژوهشی این قسمت به شرح شکل 21 است.



**شکل 21:** شمای کلی شناسایی و تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت

در این قسمت به پیروی از مطالعه جی و همکاران (2014)، شبکه تجارت جهانی نفت به صورت جهت­دار بدون وزن تشکیل و ماتریس الحاقی بر اساس شبکه صادرات نفت خام ساخته شده است. در مقاله جی و همکاران (2014) شاخص «شدت صادرات» به منظور فیلتر کردن روابط تجاری تعریف شده است. بر اساس این، بیشترین و کمترین شدت صادرات بین کشورها مبتنی بر داده­های سال 2018 به شرح جدول (5-8) است.

**جدول 11:** بیشترین و کمترین شدت صادرات بین کشورها بر اساس داده­های سال 2018 در تجارت نفت خام

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| روابط تجاری با شدت بالا | | | روابط تجاری با شدت پایین | | |
| کشور صادرکننده | کشور واردکننده | شدت رابطه | کشور صادرکننده | کشور واردکننده | شدت رابطه |
| ساموآ | توکلائو | 424740647.6 | برزیل | جمهوری کره | 7.92E10- |
| بریتانیا | سیشل | 80509254.75 | ایران | تایلند | 1.29E08- |
| اسواتینی | موزامبیک | 31519342.26 | امارات متحده عربی | اسپانیا | 1.34E08- |
| فیجی | کریباتی | 30681553.04 | کنگو | هلند | 1.39E08- |
| فیجی | جزایر مارشال | 30681553.04 | لیبی | صربستان | 1.45E08- |
| فیجی | وانواتو | 30681553.04 | برونئی دارالسلام | آلمان | 1.60E08- |
| فیجی | تونگا | 30681553.04 | امارات متحده عربی | ایالات متحده آمریکا | 2.24E08- |
| کنیا | اوگاندا | 28841130.73 | اکوادور | اسپانیا | 2.59E08- |
| سوئد | ایسلند | 4100850.435 | نروژ | سنگاپور | 2.84E08- |
| صربستان | مونته نگرو | 3834992.124 | ایالات متحده آمریکا | بلژیک | 4.81E08- |

منبع: یافته­های تحقیق

بر اساس نتایج به دست 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 بین کشورهای عمده صادرکننده نفت و مقصدهای تجاری که از نظر جغرافیایی به نسبت زیادی با آن­ها فاصله داشته­اند، رابطه ضعیف تجاری برقرار بوده است.

در صورتی‌که شبکه تجارت مرکزی نفت خام تشکیل داده شود، تعداد روابط تجاری از 1431 رابطه در شبکه تجارت نفت خام به 730 رابطه تجاری در شبکه مرکزی تجارت نفت خام کاهش می­یابد. به‌طور دقیق­تر، روابط تجاری در شبکه مرکزی تجارت نفت خام بین 129 کشور و منطقه صادرکننده نفت خام و 165 کشور و منطقه واردکننده نفت خام برقرار بوده است.

در تبیین مشخصه­های کلی شبکه تجارت نفت خام به پیروی از مطالعه جی و همکاران (2014)، 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 تحقیق به تفصیل این شاخص­ها معرفی شده­اند. به‌طور خلاصهدرجه ورودی در شبکه بدون وزن مبین تعداد روابط واردشده به یک کشور بوده و درجه خروجی در این شبکه­ها بر حسب تعداد روابط خارج­شده از یک کشور محاسبه می­شود. جدول (5-9) 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.

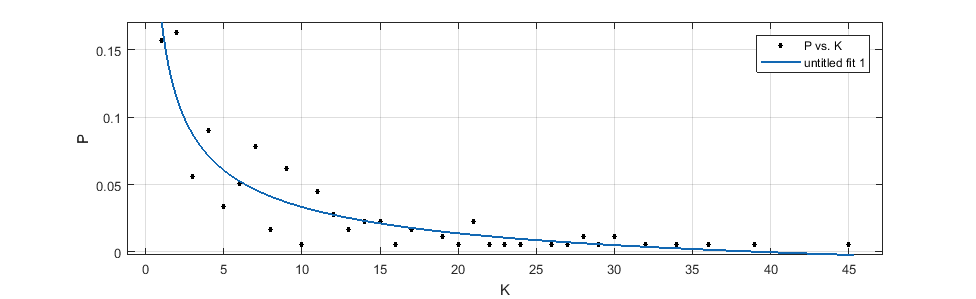
**جدول 12:** کشورهای صادرکننده نفت خام با بیشترین درجه ورودی و درجه خروجی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| بیشترین درجه ورودی | | بیشترین درجه خروجی | |
| کشور | درجه ورودی | کشور | درجه خروجی |
| هلند | 28 | ایالات متحده آمریکا | 31 |
| چین | 24 | روسیه | 29 |
| مالزی | 24 | قزاقستان | 25 |
| سنگاپور | 22 | امارات متحده عربی | 21 |
| ایتالیا | 20 | آذربایجان | 19 |
| هند | 18 | نیجریه | 19 |
| اسپانیا | 18 | الجزیره | 15 |
| فرانسه | 16 | چین | 15 |
| جمهوری کره | 15 | بریتانیا | 15 |
| استرالیا | 14 | لیبی | 14 |

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.

به منظور مطالعه وجود ناهمگونی یا همگونی بین کشورها در شبکه تجارت نفت خام، از توزیع درجه استفاده می­شود. شکل 22، توزیع درجه شبکه صادرات نفت خام را نشان می­دهد.



**شکل 22 :** توزیع درجه در شبکه صادرات نفت خام

منبع: یافته­های تحقیق

شکل 22 نشان می‌دهد که توزیع درجه، شمایی از توزیع نمایی دارد و به این معناست که 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.

به منظور مطالعه نزدیک بودن روابط بین همسایگان یک کشور، از ضریب خوشه­ای شدن استفاده می­شود و ضریب خوشه­ای شدن بالا نشان‌دهنده روابط تجاری نزدیک ‌بین همسایگان تجاری و سطح بالایی از خوشه­ای ­شدن محلی است. جدول 13، کشورها با بیشترین و کمترین ضریب خوشه­ای­ شدن (بزرگ‌تر از صفر) در شبکه صادرات نفت خام را نشان می­دهد.

**جدول 13:** کشورهای صادرکننده نفت خام با بیشترین و کمترین ضریب خوشه­ای ­شدن

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| بیشترین ضریب خوشه­ای ­شدن | | کمترین ضریب خوشه­ای ­شدن | |
| کشور | **ضریب خوشه­ای ­شدن** | **کشور** | **ضریب خوشه­ای­ شدن** |
| گیبرالتار | 1.00 | گینه | 0.08 |
| گویانا | 1.00 | ایالات متحده آمریکا | 0.13 |
| میانمار | 0.79 | سنگال | 0.14 |
| باهاماس | 0.75 | صربستان | 0.15 |
| بلاروس | 0.75 | چین | 0.15 |
| لائوس | 0.75 | توگو | 0.15 |
| پاپوآ گینه نو | 0.75 | هلند | 0.15 |
| لوکزامبورگ | 0.74 | مراکش | 0.17 |
| برونئی دارالسلام | 0.68 | هند | 0.17 |
| بحرین | 0.67 | روسیه | 0.17 |

منبع: یافته­های تحقیق

همان‌طور که مشاهده می­شود، کشورهایی که با روابط تجاری بالا در شبکه تجارت نفت شناسایی شده­اند، از نظر شاخص خوشه­ای ­شدن، مقدار پایینی به خود گرفته­اند که به این معناست که این کشورها روابط تجاری نزدیک ‌بین همسایگان تجاری خود ندارند. مقدار ضریب خوشه­ای شدن ایران 0.22 است که باز هم به این معنی است که ایران نیز روابط تجاری نزدیک با همسایگان تجاری خود ندارد.

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 سه جنبه ساختار جوامع، مرکزیت منطقه‌ای شبکه و سطح تأمین تقاضای کشور که توسط یک منطقه تجاری برآورده می‌شود، ویژگی‌های منطقه‌ای تحلیل می­شود. لازم به ذکر است که برخلاف مطالعه جی و همکاران (2014)، شبکه تجاری به 12 منطقه مهم تفکیک و سپس تحلیل این بخش بر حسب این 12 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 14 است. همان‌طور که جدول 14 نشان می‌دهد بعد فاصله، هزینه‌های تجاری و ... نیز در ساختار جوامع به دست آمده قابل مشاهده است.

**جدول 14:** ساختار جوامع در تجارت منطقه­ای

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **کشور/ منطقه تجاری در جامعه (1)** | **کشور/ منطقه تجاری در جامعه (2)** | **کشور/ منطقه تجاری در جامعه (3)** |
| **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 آفریقا |
| سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه | کشورهای اروپایی صادرکننده عمده نفت | آمریکای جنوبی |
| کشورهای اروپایی |
| خاورمیانه | روسیه | آمریکا |
| کشورهای شوروی سابق به جز 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 0.25 بوده و مبین ویژگی‌های ساختاری شبکه تجاری منطقه‌ای است. در حالی ‌که میزان مرکزیت شبکه منطقه‌ای در بین سه منطقه فوق به شرح زیر است: مرکز و شرق جهان معادل صفر، میانه جهان معادل 0.48 و غرب جهان معادل صفر است.

این موضوع مبین آن است که کشورها و مناطق حاضر در بلوک مرکز و شرق جهان با یکدیگر روابط 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 به صورت وزنی در نظر بگیریم، مرکزیت شبکه منطقه‌ای در بین سه جامعه یافته شده تغییرات محسوسی خواهد داشت: جامعه (بلوک تجاری) مرکز و شرق جهان معادل 0.24، میانه جهان معادل 0.13، غرب جهان معادل 0.21 و کل شبکه منطقه‌ای معادل 0.025 خواهد بود. درواقع، اگر به بزرگی تجارت صورت گرفته (و نه صرفاً وجود یا عدم وجود رابطه تجاری) توجه شود، روابط تجاری به سمت همگونی بیشتر سوق پیدا می­کند. در صورتی که برخلاف 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 درنتیجه 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 کمتر تحت تأثیر تکانه­های عرضه نفت توسط سایر بلوک­های تجاری قرار گیرند. نتایج حاصل از تحلیل این موضوع به شرح جدول (5-12) است.

**جدول 15:** 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** | **بلوک تجاری مربوطه** | **کشور** | **شاخص** | **منطقه تجاری مربوطه** |
| 70 کشور | 100­% | بلوک میانی (37)  بلوک مرکزی و شرقی (22)  بلوک غربی (11) | گینه | 8.74E-07 | بلوک میانی |
| فیجی | 99.99­% | بلوک مرکزی و شرقی | اتیوپی | 0.04­% | بلوک میانی |
| روسیه | 99.99­% | بلوک میانی | هندوراس | 2.44­% | بلوک غربی |
| پاناما | 99.98­% | بلوک مرکزی و شرقی | بلیز | 3.29­% | بلوک غربی |
| لائوس | 99.96­% | بلوک غربی | استونی | 11.56­% | بلوک میانی |
| پاراگوئه | 99.47­% | بلوک غربی | اوگاندا | 11.99­% | بلوک میانی |
| عمان | 99.42­% | بلوک مرکزی و شرقی | برزیل | 13.33­% | بلوک غربی |
| اسلواکی | 98.96­% | بلوک میانی | گیبرالتار | 13.85­% | بلوک میانی |
| چک | 98.68­% | بلوک میانی | کنیا | 19.56­% | بلوک میانی |
| بلژیک | 98.14­% | بلوک میانی | آرژانتین | 25.87­% | بلوک غربی |

منبع: یافته­های تحقیق

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

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،[[94]](#footnote-94) عمده کشورهای واردکننده نفت خام به ترتیب کشورهای چین، آمریکا، هند، کره جنوبی و ژاپن هستند. بر اساس شاخص محاسبه شده، 47.1­ درصد از تقاضای چین توسط بلوک تجاری مرکزی و شرق دنیا تأمین می­شود؛ این میزان برای آمریکا معادل 69.8­ درصد بوده که توسط بلوک غربی تأمین می­شود؛ همچنین بلوک مرکزی و شرق دنیا تقاضای هند، کره جنوبی و ژاپن را به ترتیب به میزان 68.7­ درصد، 76.5­ درصد و 51.6­ درصد 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 کره­جنوبی است که حدود 24­ درصد از نیازش توسط بلوک تجاری مرکزی و شرق دنیا تأمین نمی­شود.

* 1. نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت

به منظور بررسی استحکام کلی شبکه تجارت نفت خام می­توان به ویژگی­های ساختاری آن، به‌ویژه 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 12 منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که به طور 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. در حالی ‌که اگر توجه صرفاً بر وجود یا نبود رابطه تجاری باشد، بلوک تجاری مرکزی و شرقی و همچنین بلوک غربی کاملاً روابطی همگون دارند؛ یعنی 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 که چین و ژاپن بیش از سایر کشورها در معرض تکانه­های عرضه نفت خام هستند و تنها کره جنوبی است که بیش از 75­­ درصد نیازش توسط بلوک تجاری مربوطه تأمین می­شود.

در این راستا چند پیشنهاد می­توان ارائه داد:

* کشورهای واردکننده نفت، 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.
* کاهش وابستگی کشورهای واردکننده نفت به فرآورده­های نفتی با توسعه انرژی­های تجدیدپذیر یا سایر انرژی­های جایگزین ضروری است. لازم به ذکر است که این سیاست یک بازی مجموع صفر به نفع واردکنندگان نفت و به ضرر صادرکنندگان نفت است.
* از دید کشورهای صادرکننده نفت، پیشنهاد می­شود که در صورت بروز شرایطی (همچون جنگ روسیه- اوکراین) که منجر به افزایش قیمت نفت می­شود، بر تحقیق و توسعه استخراج نفت سرمایه­گذاری بیشتری کنند.
* همچنین در بخش­هایی که هزینه استخراج نفت آن­ها بالاست (همچون آلاسکا)، با افزایش قیمت نفت صرفه پیدا کرده و روی آن مناطق متمرکز شوند؛ بنابراین، برای کشوری همچون آمریکا این موضوع اهمیت پیدا می­کند که هزینه‌های تجاری را کاهش داده و از این مناطق استخراج نفت داشته باشد و نیاز خود را تأمین کند.
* در چنین شرایطی، اگرچه افزایش قیمت نفت به نفع کشورهای نفتی بوده و به ضرر کشورهای واردکننده نفت است؛ با توجه به اقتصاد سیاسی بین­الملل، کشورهای عمده صادرکننده نفت به زودی وارد عرصه نشده تا به کشمکش­ها خاتمه دهند. دلیل آن است که شرایط حاکم به منفعت بیشتر آن­ها منجر می­شود.
* همچنین با عطف به اقتصاد سیاسی بین­الملل، کشورهای واردکننده خالص نفت خام در چنین شرایطی بهتر است که ارتباط تجاری خود را با کشور صادرکننده نفت در شرایط خاص (مانند روسیه) حفظ کنند. کما اینکه چین و هند همچنان رابطه تجاری خود را در تجارت نفت خام با روسیه ادامه داده­اند. این امر منجر به افزایش پایداری کشورهای واردکننده در شبکه تجارت نفت خام می­شود.

پیوست 1: روابط ریاضی مربوط به تحلیل تاب­آوری

**جدول پیوست 1**: روابط ریاضی به کار رفته در تحلیل تاب­آوری

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **سنجه** | **رابطه ریاضی** | **تفسیر متغیرها** | **منبع** |
| مرکزیت درجه ورودی |  | : درجه ورودی رأس i  : درایه ماتریس الحاقی | نیومن (2010) |
| مرکزیت درجه خروجی |  | : درجه خروجی رأس i  : درایه ماتریس الحاقی | نیومن (2010) |
| مرکزیت رتبه­صفحه |  | xi: شاخص مرکزیت رتبه­صفحه رأس i  α: پارامتر ثابت در مؤلفه درون­زای شاخص رتبه­صفحه که مبین ویژگی‌های توپولوژیکی است  : درایه ماتریس الحاقی  : درجه خروجی رأس j  β: پارامتر ثابت، مؤلفه برون­زای شاخص رتبه­صفحه | نیومن (2010) |
| شاخص پایداری سمت صادرات |  | : شاخص پایداری سمت صادرات کشور i  : حجم صادرات کشور i  : کل صادرات در جهان  : تعداد شرکای تجاری کشور i  : کل کشورهای واردکننده در شبکه صادرات نفت خام | وجه تمایز مطالعه حاضر |
| شاخص پایداری سمت واردات |  | : شاخص پایداری سمت واردات کشور i  : حجم واردات کشور i  : کل واردات در جهان  : تعداد شرکای تجاری کشور i  : کل کشورهای صادرکننده در شبکه واردات نفت خام | وجه تمایز مطالعه حاضر |
| سهم واردات |  | : سهم وارداتی کشور i  : حجم واردات کشور i  : کل واردات در جهان | رابطه بدیهی |
| سهم صادرات |  | : سهم صادراتی کشور i  : حجم صادرات کشور i  : کل صادرات در جهان | رابطه بدیهی |
| سهم تجارت کل |  | : سهم تجاری کشور i  : حجم تجارت کشور i  : کل تجارت نفت خام در جهان | رابطه بدیهی |
| کارایی محلی |  | : کارایی محلی کشور i  N: تعداد رئوس (کشورها) در شبکه  : درایه ماتریس الحاقی  Ni: تعداد همسایگان رأس (کشور) i  : درجه ورودی رأس i  : درجه خروجی رأس i  : فاصله بین رئوس j و h | لاتورا و مارچیوری (2001) |
| سهم مؤثر سمت واردات |  | : کارایی محلی کشور i  : واردات کشور i  : کل واردات نفت خام | وجه تمایز مطالعه حاضر |
| سهم مؤثر سمت صادرات |  | : کارایی محلی کشور i  : صادرات کشور i  : کل صادرات نفت خام | وجه تمایز مطالعه حاضر |
| سهم مؤثر در شبکه تجارت کل |  | : کارایی محلی کشور i  : تجارت کل کشور i  : کل تجارت نفت خام | وجه تمایز مطالعه حاضر |

منبع: یافته­های تحقیق

فصل پنجم

الگوهای بهینه‌یابی شبکه تجارت نفت

1. الگوهای بهینه‌یابی شبکه تجارت نفت

روش­های یافتن شبکه بهینه، حول محور مفهوم درخت­های پوشای کمینه[[95]](#footnote-95) در نظریه شبکه است. در ادبیات تحقیق شبکه بهینه تجارت، دو الگوریتم بر اساس الگوی بهینه­یابی و روش تبرید شبیه­سازی­شده[[96]](#footnote-96) و همچنین الگوی برنامه­نویسی پویای اصلاح­شده[[97]](#footnote-97) و الگوریتم تکراری[[98]](#footnote-98) نیز پیشنهاد و ارائه گردیده است. در این فصل، علاوه بر تشریح مفاهیم و الگوریتم‌های فوق، بر اساس مفهوم درخت­های پوشای کمینه نیز الگویی برای یافتن شبکه بهینه تجارت نفت ارائه می­شود که آن را یک الگوی ابتدایی پیشنهادی نام‌گذاری می‌کنیم. به علاوه، با تعمیم و بسط الگوی برنامه­نویسی پویای اصلاح­شده و الگوریتم تکراری، شبکه تجارت بهینه نفت را استخراج می­کنیم. در ادامه هر کدام از این روش­ها به تفصیل توضیح داده می­شوند.

* 1. الگوی پایه: الگوریتم درخت پوشای کمینه

طیف وسیعی از ساختارهای شبکه و روابط متقابل بین اجزای آن­ها به کمک شبکه­های تصادفی مقیاس آزاد[[99]](#footnote-99) توصیف می‌شوند. درواقع، بسیاری از شبکه‌ها ویژگی­های مشترک زیادی دارند، به این معنا که به کمک گراف­های تصادفی الگوسازی شده و به دلیل عدم وجود مقیاس ظاهری، مقیاس آزاد نامیده می‌شوند. مقیاس آزاد بودن این شبکه­ها از توزیع درجه رئوس مشخص می­شود که در یک بازه گسترده توزیع نمایی دارند.

خرازی و همکاران (2020) در توصیف مفهوم افزونگی[[100]](#footnote-100) بیان می­کنند که افزونگی به معنی تنوع (تعدد) مسیرها در یک شبکه یا سیستم پیچیده است و برای تعیین ظرفیت یک سیستم جهت انطباق با شرایط محیطی متغیر ناشی از تکانه­ها و اختلالات نقش مهمی ایفا می­کند (خرازی و همکاران، 2016). به عنوان مثال، با انتخاب از بین رئوس مختلف و در نتیجه حرکت به سمت تأمین­کنندگان قوی­تر می­توان انعطاف­پذیری در برابر تکانه­ها، یک شبکه تجاری پیچیده را کسب کرد. مفهوم دیگر در زمینه انعطاف­پذیری شبکه­ها، مفهوم ماژولاریتی[[101]](#footnote-101) است که میزان تقسیم­شدن رئوس به جوامع یا خوشه­های جداگانه را اندازه­گیری می­کند. بلوک‌های تجاری اقتصادی می‌توانند ماژولاریتی بالایی داشته باشند؛ در حالی که این کشورها در بلوک تجاری خاص با یکدیگر بیش از سایر کشورها در جوامع دیگر تعامل دارند. در سیستم‌هایی با ماژولاریتی پایین، اختلال در یک جزء ممکن است به سرعت به اجزای دیگر سرریز کند و منجر به فروپاشی کل یا بخش بزرگی از سیستم شود؛ بنابراین، سیستم‌های بسیار ماژولار برای «محدود کردن» یک تکانه و عدم انتشار آن به شبکه جهانی، توانایی بالایی دارند که از ویژگی­های مفید این‌گونه شبکه­ها است (خرازی و همکاران، 2020).

همان‌طور که اشاره شد، افزونگی به تکرار مسیرها، عملکردها یا اجزایی اشاره دارد که توانایی تحمل خطای دستگاه را افزایش می­دهد. هنگامی­که سیستم با یک تکانه یا اختلال مواجه می­شود، افزونگی اضافی به سیستم اجازه می­دهد تا عملکرد خود را بدون مشکل ادامه دهد. با این حال، افزونگی لزوماً به نفع یک اختلال تکرارشونده یا یک اختلال جدید نیست و ممکن است سیستم شکست بخورد؛ بنابراین، علاوه بر افزونگی یک سیستم ممکن است از تنوع[[102]](#footnote-102) نیز بهره­مند شود. سیستم‌هایی که تنوع بالایی دارند، هنگام مواجهه با اختلال یا تکانه می‌توانند انعطاف‌پذیرتر باشند. در علوم طبیعی، تنوع به عنوان یک مؤلفه ضروری برای تضمین انعطاف‌پذیری در نظر گرفته می­شود و همچنین به عنوان یک استراتژی، بقای طولانی مدت برای اکوسیستم­های طبیعی دیده می­شود. تنوع همچنین برای پایداری و تداوم سیستم­های اجتماعی و اقتصادی حیاتی است (خرازی و همکاران، 2020).

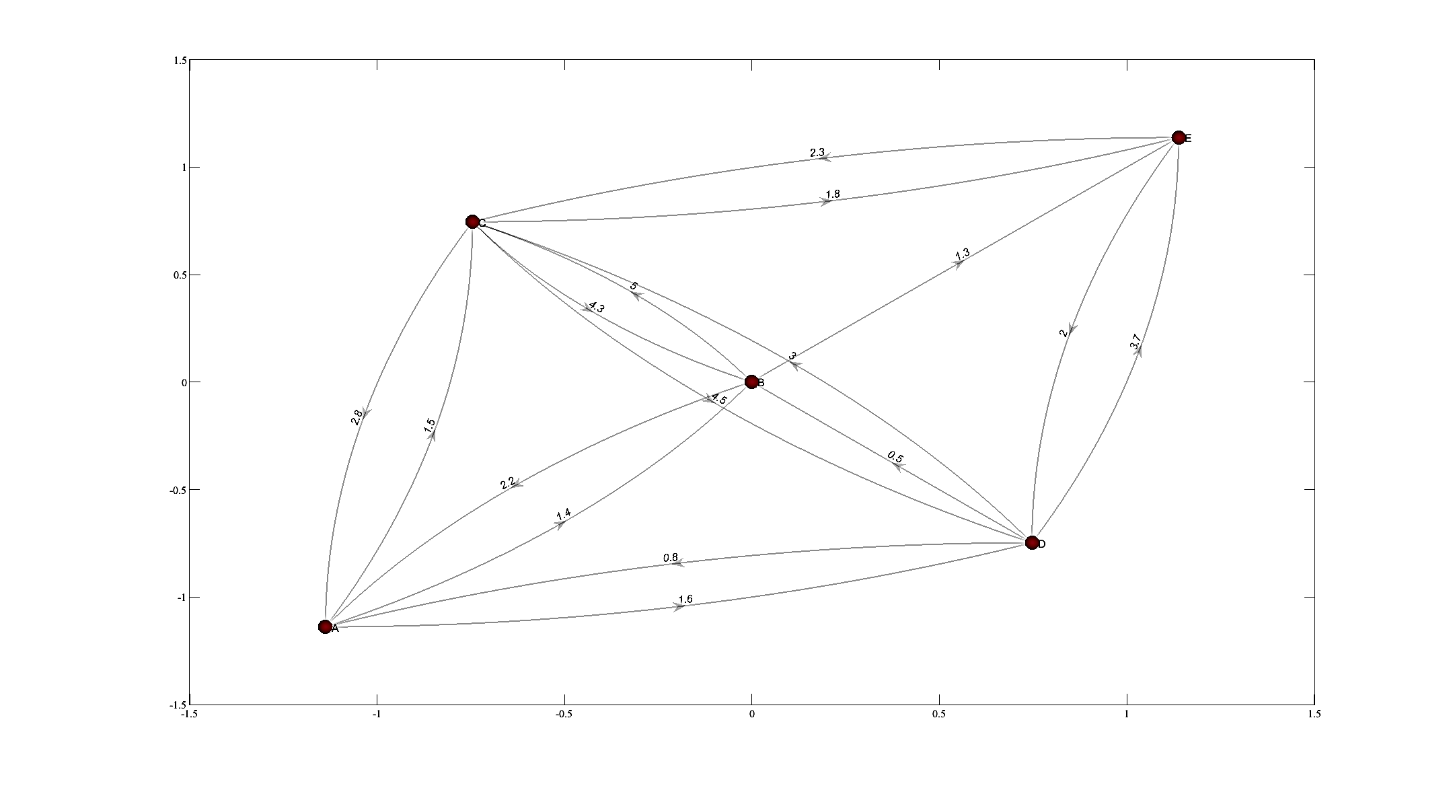
از این رو، علاوه بر مفهوم ماژولاریتی، افزونگی شبکه­های اقتصادی پیامدهای مهمی برای انعطاف‌پذیری آن­ها در برابر تکانه­ها دارد. جهانی­شدن، موافقت­نامه­های تجارت آزاد، منطقه­ای شدن، تعرفه­ها و تحریم­ها برای تغییر افزونگی شبکه­های تجاری با افزایش و کاهش ترجیح تجارت بین شرکا مورد استفاده قرار گرفته­اند. شواهد قوی در ادبیات اکولوژیکی وجود دارد که همبستگی قوی بین افزونگی (درجه آزادی شبکه) و ظرفیت یک سیستم برای انعطاف­پذیری وجود دارد. در همین راستا، خرازی و همکاران (2017) نشان داده­اند که بخش‌های اقتصادی با افزونگی بالاتر بهتر می‌توانند در برابر تکانه‌های اقتصادی مقاومت کنند و از پس آن­ها برآیند (خرازی و همکاران، 2020)؛ بنابراین تحلیل سطح افزونگی در زمینه شبکه­های تصادفی حول انعطاف­پذیری و قابلیت اطمینان شبکه­ها در برابر حذف عمدی یا تصادفی برخی از رئوس متمرکز است. نخستین بار این موضوع برای شبکه اینترنت مطرح شد که ساختار آن به خوبی با الگوهای مقیاس آزاد بیان می­شود و این شبکه مستعد اختلالاتی از این دست است (سبو و همکاران، 2003).[[103]](#footnote-103)

یک رویکرد متفاوت در زمینه انعطاف­پذیری شبکه­ها این است که بررسی شود چگونه می­توان یک مؤلفه متصل[[104]](#footnote-104) از شبکه­ای را به گرافی با همان تعداد رئوس؛ اما با کمترین تعداد یال ممکن تبدیل کرد و در عین حال متصل بودن ساختار شبکه حفظ شود. به چنین شبکه­ای که شامل تمام رئوس یک گراف بوده و تنها یک زیرمجموعه حداقلی از یال­های گراف اصلی را دارد تا متصل بودن ساختار گراف اصلی را حفظ کند، درخت پوشا گویند (سبو و همکاران، 2003). درواقع، درخت پوشای یک گراف متصل و بدون جهت، یک زیرگراف بوده که یک درخت است و همه رئوس را به هم متصل می­کند. یک گراف می‌تواند چندین درخت پوشای متفاوت داشته باشد (جن و همکاران،[[105]](#footnote-105) 2008).

همچنین، می‌توان به هر یال وزنی اختصاص داد که نشان‌دهنده میزان نامطلوب بودن آن یال است. در صورتی که وزن یا طول به یال­های گراف اختصاص داده شود، یک مسئله بهینه­سازی (یافتن درخت پوشای کمینه) خواهیم داشت که در آن مجموع وزن یال­ها در بین تمامی درختان پوشای شبکه کمینه است (سبو و همکاران، 2003)؛ به عبارت دیگر، درخت پوشای کمینه، یک درخت پوشا با وزن کمتر یا مساوی وزن هر درخت پوشای دیگری است (جن و همکاران، 2008). در این صورت، مفهوم درخت پوشای کمینه، مفهومی مشابه مسئله تاب­آوری ارائه می­دهد که اغلب از نظر نفوذپذیری به آن نگاه می­شود. درواقع، درخت پوشای کمینه نمونه­ای از نفوذ تهاجمی[[106]](#footnote-106) هستند (سبو و همکاران، 2003).

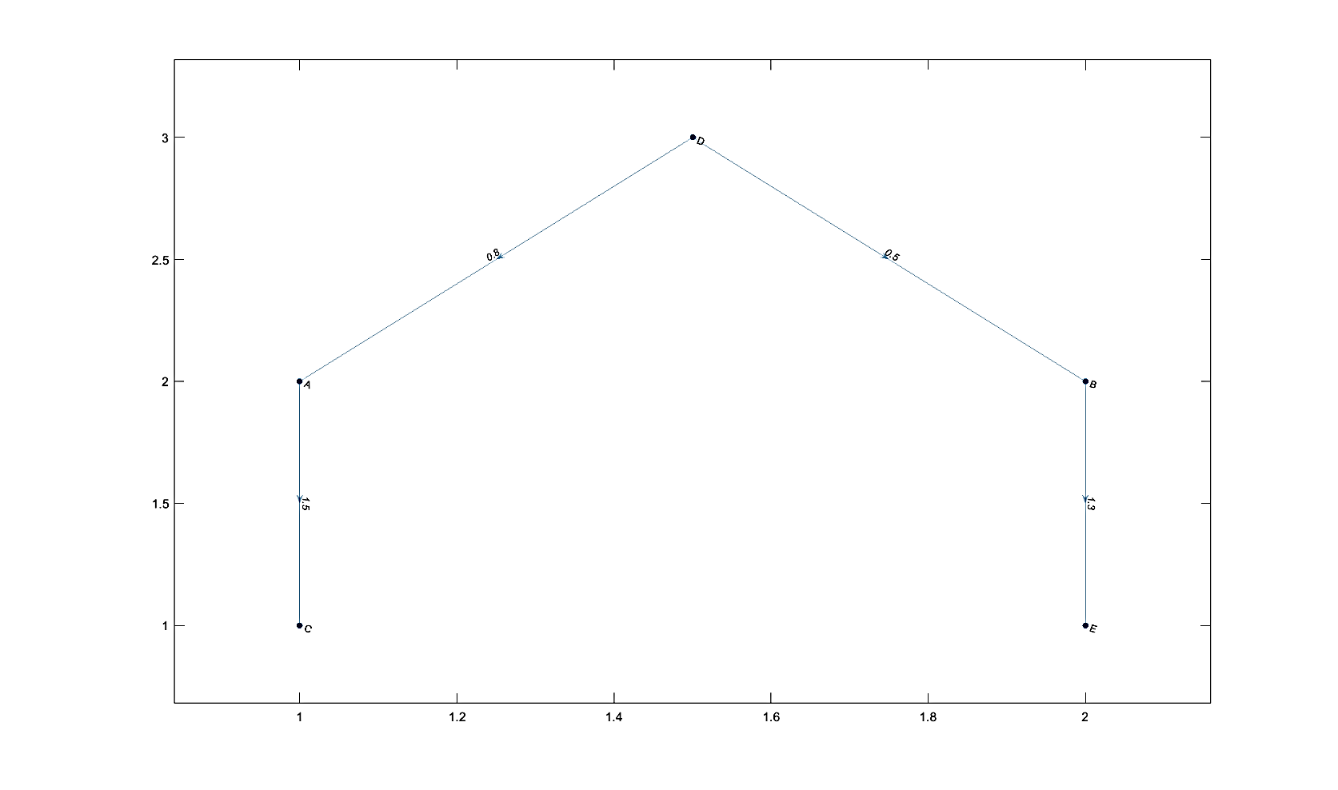
روش­های متعارف یافتن درخت پوشای کمینه عبارت‌اند از: الگوریتم کروسکال،[[107]](#footnote-107) الگوریتم پریم[[108]](#footnote-108) و الگوریتم سولین.[[109]](#footnote-109) در الگوریتم کروسکال، یال­ها به صورت غیرکاهنده بر حسب طول‌شان بررسی می­شوند و در صورتی که یال اضافه شده با یال­های انتخاب شده قبلی ایجاد چرخه[[110]](#footnote-110) نکند، یال جدید را در درخت پوشای کمینه قرار می­دهد. الگوریتم پریم درخت پوشای زیرمجموعه S از رئوس را حفظ می­کند و یال­های با حداقل هزینه را در برش[[111]](#footnote-111) [S,S] اضافه می­نماید. همچنین، در الگوریتم سولین، مجموعه‌ای از درخت‌های رأس- مجزا[[112]](#footnote-112) حفظ می‌شود، به این صورت که در هر تکرار، یال با حداقل هزینه ناشی از هر درخت را اضافه می‌کند.

ساده‌ترین مسئله بهینه‌سازی غیر بدیهی،[[113]](#footnote-113) درخت پوشای کمینه است و از تمامی قسمت­های یک گراف می­گذرد، به­گونه­ای که مجموع هزینه یال­های درخت حداقل باشد (دوبرین و دوکسبری،[[114]](#footnote-114) 2001)؛ به عبارت دیگر، در الگوریتم درخت پوشای کمینه به دنبال حداقل کردن هزینه‌های یک شبکه هستیم، به‌طوری که تعداد روابط در شبکه به حداقل ممکن برسد. فرض کنید شبکه وزن­دار و جهت­داری به صورت شکل (1) داشته باشیم.



**شکل 1:** شبکه نمونه برای یافتن شبکه بهینه

با اعمال الگوریتم درخت پوشای کمینه بر شبکه متصور در شکل (2)، شبکه­ای 5 رأسی با 4 رابطه به شکل (2) خواهیم داشت. شبکه بهینه به دست آمده در شکل (3) با استفاده از جعبه­ابزار نظریه گراف[[115]](#footnote-115) رسم شده است (ایگلین، 2009).[[116]](#footnote-116) همچنین، می­توان از الگوریتم کروسکال[[117]](#footnote-117) نیز درخت پوشای کمینه یک شبکه را به دست آورد (پاپاکریستودیس، 2014).[[118]](#footnote-118) خاطرنشان می­شود که در روش درخت پوشای کمینه، *لینک جدیدی ساخته نمی­شود* بلکه بر اساس لینک­های موجود، به حداقل کردن هزینه پرداخته می­شود.

****

**شکل 2:** شبکه بهینه با حداقل هزینه

فرض کنید که وزن روابط در شکل 2، معادل گاز CO2 منتشر شده به ازاء هر تن در مایل طی شده برای تجارت نفت باشد. به عبارتی، در صورتی­که در 10 مایل، 5 تن نفت جابه‌جا شده باشد، وزن رابطه تجاری 0.5 خواهد بود (به عنوان مثال رابطه بین رأس D و B). در این صورت، بر اساس شبکه نشان داده شده در شکل 2 می­توان این‌طور استدلال کرد که رئوس E و C تنها نقش وارد­کننده را ایفا کنند، رأس D تنها نقش صادرکننده و رئوس B و A می­توانند هر دو نقش را ایفا کنند.

* 1. روش تبرید شبیه‌سازی‌‌شده

با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده[[119]](#footnote-119) می­توان بهینه کلی[[120]](#footnote-120) (و نه بهینه محلی) یک تابع را پیدا کرد. وجه تمایز این الگوریتم با الگوریتم­های مشابه همچون الگوریتم ژنتیک، این است که (1) به راحتی کدنویسی می­شود؛ (2) برای مسائل دنیای واقعی به خوبی می­تواند استفاده گردد؛ (3) زمانی­که تعداد متغیرها زیاد است به خوبی می­تواند استفاده شود؛ (4) فارغ از محدودیت­های بهینه محلی، به راحتی می­تواند بهینه کلی را پیدا کند؛ و (5) سرعت همگرایی این الگوریتم سریع­تر از الگوریتم­های مشابه است.

رویکرد تبرید شبیه‌سازی‌ شده در سال 1983 توسط کرک­پاتریک و همکارانش[[121]](#footnote-121) پیشنهاد شده است. کرک­پاتریک و همکارانش (1983) در مقاله خود با عنوان «بهینه‌یابی به کمک تبرید شبیه‌سازی‌ شده» بیان می­کنند که ارتباط عمیق و مفیدی بین مکانیک آماری (رفتار سیستم‌هایی با درجات آزادی زیاد در تعادل حرارتی در دمای متناهی) و بهینه‌سازی چند متغیره یا ترکیبی (یافتن مینیمم یک تابع معین بسته به پارامترهای زیادی) وجود دارد. از این رو، این پژوهشگران ساختار بهینه‌سازی ترکیبی[[122]](#footnote-122) و مکانیک آماری[[123]](#footnote-123) را به‌طور خلاصه بررسی و سپس شباهت‌های بین این دو شاخه را بیان می­کنند. درنهایت، نشان می‌دهند که چگونه الگوریتم متروپلیس[[124]](#footnote-124) برای شبیه‌سازی‌ عددی تقریبی رفتار یک سیستم چند نفره در دمای محدود، ابزاری مناسب برای اعمال روش­های مکانیک آماری برای بهینه‌سازی فراهم می‌کند. در ادامه، به پیروی از کرک­پاتریک و همکاران (1983) ابتدا توضیحی در خصوص شاخه­های بهینه‌سازی ترکیبی و مکانیک آماری آورده شده و سپس، الگوریتم متروپلیس و رویکرد تبرید شبیه‌سازی‌ شده معرفی می­گردد.

* + 1. بهینه­سازی ترکیبی

موضوع بهینه‌سازی ترکیبی شامل مجموعه‌ای از مسائل است که برای رشته‌های علوم کامپیوتر و مهندسی اهمیت دارد. هدف تحقیق در این زمینه، توسعه روش‌های کارا برای یافتن مقادیر حداقل یا حداکثر یک تابع از متغیرهای مستقل بسیار زیاد است. این تابع که معمولاً *تابع هزینه* یا *تابع هدف* نامیده می‌شود، معیار کمّی «خوبی» یک سیستم پیچیده است. تابع هزینه به جزئیات پیکربندی بسیاری از بخش‌های یک سیستم پیچیده بستگی دارد.

یک مثال کلاسیک از مسئله بهینه­سازی ترکیبی، مسئله فروشنده دوره­گرد[[125]](#footnote-125) است. باندی و مورتی (1976) در کتاب خود این مسئله را به این صورت شرح می­دهند که یک فروشنده دوره­گرد می­خواهد از شهرهای متعددی دیدن کند و سپس به شهر شروع برگردد. حال در صورتی­که زمان­های مسافرت بین شهرها داده شده باشد، فروشنده دوره­گرد چطور می­تواند مسیر خود را برنامه­ریزی کند که از هر شهر دقیقاً یک‌بار بگذرد و کوتاه­ترین زمان ممکن را برای کل مسافرت صرف کند؟ بر اساس نظریه گراف، در این مسئله به دنبال این هستیم که یک دور همیلتونی[[126]](#footnote-126) با حداقل وزن در یک گراف کامل وزن­دار را بیابیم که به چنین دوری، دور اپتیمال گویند. این در حالی است که الگوریتم مؤثری برای حل مسئله فروشنده دوره­گرد شناخته نشده است؛ بنابراین، مطلوب است که روشی برای یافتن *جواب خوب معقولانه* (و نه لزوماً اپتیمال) اتخاذ شود (باندی و مورتی، 1976).

درواقع، دو موضوع قابل توجه در مسئله فروشنده دوره­گرد این است که هزینه مورد انتظار از مسیر بهینه فروشنده پیش‌بینی شود و بازه­ای برای تلاش محاسباتی لازم جهت تعیین این مسیر بهینه تخمین زده شود. تمامی روش‌هایی که برای تعیین مسیر بهینه شناخته شده‌اند، نیاز به تلاش محاسباتی دارند که به صورت نمایی با N افزایش می‌یابد، به طوری که در عمل می‌توان راه‌حل‌های دقیق را تنها در مورد مسائلی که شامل چند صد شهر یا کمتر است، امتحان کرد. این در حالی است که مسئله فروشنده دوره­گرد به کلاس بزرگ مسائل ان­پی-کامل[[127]](#footnote-127) تعلق دارد و روشی برای حل دقیق با تلاش محاسباتی محدود به توان N برای هیچ‌یک از این مسائل پیدا نشده است؛ اما اگر چنین راه‌حلی پیدا شود، می­توان آن را به رویه­ای برای حل همه اعضای کلاس نگاشت کرد.

دو استراتژی اساسی برای حل اکتشافی چنین مسائلی وجود دارد: «تقسیم و حل»[[128]](#footnote-128) و اصلاح تکراری.[[129]](#footnote-129) در الگوریتم تقسیم و حل، مسئله به زیرمسئله­هایی ساده­تر تقسیم شده و سپس زیرمسائل حل می­شوند. در مرحله نهایی، راه‌حل‌های زیرمسائل باید با هم ترکیب شوند. برای اینکه این روش بتواند راه‌حل‌های بسیار خوبی ایجاد کند، زیرمسائل باید به طور طبیعی از هم گسسته باشند و تقسیم‌بندی انجام شده باید مناسب باشد، به طوری که خطاهای ایجاد شده در جور کردن، دستاوردهای به‌دست‌آمده در اعمال روش‌های قوی‌تر برای زیرمسائل را جبران نکند.

در اصلاح تکراری، فرایند با سیستم در یک پیکربندی شناخته­شده شروع می­شود. یک عملیات بازآرایی[[130]](#footnote-130) استاندارد در تمام بخش­های سیستم اعمال می­شود تا زمانی که یک پیکربندی بازآرایی شده که تابع هزینه را اصلاح می­کند، کشف شود. سپس پیکربندی بازآرایی شده به پیکربندی جدید سیستم تبدیل می‌شود و این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که هیچ اصلاح دیگری پیدا نشود. از آنجایی که جستجو در این فضای مختصاتی معمولاً در یک بهینه محلی[[131]](#footnote-131) (و نه کلی[[132]](#footnote-132)) باقی می­ماند، مرسوم است که فرآیند چندین بار انجام شود و از پیکربندی‌های مختلف به‌طور تصادفی ایجادشده، شروع و بهترین نتیجه ذخیره شود.

در ادبیات موضوع اشاره می­شود که نتایج مورد انتظار و الزامات محاسباتی روش‌های اکتشافی رایج هنگامی که برای رایج‌ترین مسائل اعمال می‌شوند، چگونه است. بدین منظور، معمولاً بر روی بدترین حالت ممکن نسبت بین هزینه به‌دست‌آمده از روش اکتشافی و حداقل هزینه دقیق برای هر عضوی از خانواده مسائل ساختاری مشابه، تمرکز می­شود. کرک­پاتریک و همکاران (1983) استدلال می­کنند که با افزایش اندازه مسائل بهینه­سازی، تحلیل بدترین حالت یک مسئله به طور فزاینده نامرتبط خواهد بود و میانگین عملکرد الگوریتم­ها بر تجزیه و تحلیل کاربردهای عملی غلبه خواهد داشت. این محدودیت اعداد بزرگ در حوزه مکانیک آماری رفع می­شود.

* + 1. مکانیک آماری

مکانیک آماری شاخه اصلی دانش فیزیک ماده چگال[[133]](#footnote-133) می‌باشد و مجموعه­ای از روش­هاست که برای تجزیه و تحلیل ویژگی­های کلی تعداد زیادی اتم که در نمونه­های ماده مایع یا جامد یافت می­شوند، به کار می­رود. از آنجایی که تعداد اتم­ها از مرتبه 1023 بر سانتی­متر مکعب است، محتمل­ترین رفتار سیستم در تعادل حرارتی در دمای معین تنها در آزمایش­ها مشاهده می­شود. این موضوع را می­توان با نوسانات متوسط و کوچک در مورد رفتار متوسط سیستم مشخص کرد، زمانی­که میانگین­گیری از مجموعه سیستم­های یکسان[[134]](#footnote-134) معرفی شده توسط گیبس[[135]](#footnote-135) انجام می‌شود. در این مجموعه، هر پیکربندی سیستم که توسط مجموعه موقعیت‌های اتمی، تعریف می‌شود؛ توسط ضریب احتمال بولتسمان[[136]](#footnote-136) ()، وزن­دهی می­گردد که در آن انرژی پیکربندی، ثابت بولتسمان و T دما است.

یک پرسش اساسی در مکانیک آماری این است که در محدوده دمای پایین چه اتفاقی برای سیستم می‌افتد. به عنوان مثال آیا اتم‌ها، سیال می‌مانند یا جامد می‌شوند؛ و اگر جامد می‌شوند، آیا یک جامد کریستالی تشکیل می‌دهند یا یک شیشه. حالت‌های پایه­ای و پیکربندی‌های نزدیک به آن­ها از نظر انرژی در بین تمام پیکربندی‌های یک جسم ماکروسکوپی بسیار نادر است. این در حالی است که حالت­های پایه­ای بر ویژگی‌های سیستم در دماهای پایین غالب هستند، زیرا با کاهش T، توزیع بولتسمان به پایین‌ترین حالت یا حالت‌های انرژی تنزل می­یابد.

به عنوان مثال، خواص مغناطیسی زنجیره­ای از اتم­ها را در نظر بگیرید که گشتاورهای مغناطیسی آن، ، مجاز است فقط به حالت­های «بالا» یا «پایین» اشاره کند که با نشان داده می­شود. انرژی برهمکنش بین چنین اسپین­های مجاوری را می­توان به صورت بازنویسی کرد. تعامل بین هر جفت اسپین مجاور، به اندازه به انرژی کل زنجیره اضافه می­کند. برای یک زنجیره N-اسپینی، اگر همه پیکربندی‌ها به یک اندازه محتمل باشند، انرژی برهمکنش دارای توزیع دوجمله‌ای خواهد بود که در آن حداکثر و حداقل انرژی معادل بوده و انرژی محتمل‌ترین حالت صفر است. در این صورت، پیکربندی‌های حالت پایه، وزن آماریرا دارند که کوچک‌تر از پیکربندی‌های انرژی صفر است. اگر کوچک‌تر از J باشد، عامل بولتسمان ، می‌تواند این موضوع را جبران کند. اگر روی مشکل یافتن حالت پایه سیستم به طور تجربی متمرکز شویم، به نظر می­رسد که عامل بولتسمان، کارایی چنین جستجویی را به شدت افزایش می­دهد.

در عمل، دمای پایین شرط کافی برای یافتن حالت پایه ماده نیست. آزمایش‌هایی که وضعیت دمای پایین یک ماده را تعیین می‌کنند، با تبرید دقیق انجام می­شوند. بدین منظور، ابتدا ماده ذوب می­شود، سپس دما آهسته کاهش می­یابد و زمان طولانی در دمای نزدیک به نقطه انجماد سپری می­شود. در غیر اینصورت و در صورتیکه اجازه داده شود ماده از حالت تعادل خارج شود، کریستال به دست آمده عیوب بسیار زیادی خواهد داشت. همچنین ممکن است ماده به شکل شیشه­ای، بدون نظم کریستالی و فقط دارای ساختارهای بهینه محلی و غیر پایدار باشد. یافتن وضعیت دمای پایین یک سیستم، زمانی که روشی برای محاسبه انرژی آن معین شده است، یک مسئله بهینه‌یابی خواهد بود و مشابه مسائلی است که در بهینه­سازی ترکیبی با آن مواجه هستیم. با این حال، دمای یک سیستم فیزیکی، مفهوم معادلی در سیستم­های بهینه­سازی شده ندارد. به این منظور، با تعریف یک دمای مؤثر برای بهینه‌سازی می‌توان نشان داد که یک فرایند تبرید شبیه‌سازی‌ شده برای دستیابی به راه‌حل‌های اکتشافی بهتر برای مسائل بهینه‌سازی ترکیبی وجود دارد.

روش اصلاح تکراری، معمولاً برای حل چنین مسائلی اعمال می‌شود. این روش بسیار شبیه فرایندهای بازآرایی میکروسکوپی است که توسط مکانیک آماری مدل‌سازی شده‌اند و در آن تابع هزینه نقش انرژی را بازی می‌کند. با این حال، پذیرش تنها بازآرایی‌هایی که تابع هزینه سیستم را کاهش می‌دهند، راه‌حل­هایی را ارائه می­کند که معمولاً ناپایدار هستند. از این رو، با به کار گیری روش متروپلیس و همکاران (1953) می­توان این محدودیت را پوشانده و درنتیجه با استفاده از این روش راه‌حل­های مناسب­تری ارائه کرد.

* 1. الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده

رویکرد تبرید شبیه‌سازی‌ شده در سال 1983 توسط کرک­پاتریک و همکارانش پیشنهاد شد که از فرایند تبرید مورد استفاده در متالورژی[[137]](#footnote-137) برای بهبود کیفیت جامدات با جستجوی حداقل انرژی، الهام گرفته شده است. در این روش، ابتدا فلز تا دمای بالا گرم شده که در آن دما به مایع تبدیل و سپس به تدریج سرد می­شود تا حالت جامد خود را به دست آورد. تا زمانی­که مواد به تعادل هیدرولیکی حرارتی[[138]](#footnote-138) برسد، هر دما حفظ می­شود. روش تبرید شبیه‌سازی‌ شده که برای مسائل بهینه‌سازی اعمال می‌شود، راه‌حل اولیه را در نظر می‌گیرد و جستجوی همسایگی،[[139]](#footnote-139) راه‌حل تصادفی بعدی است. در ابتدای الگوریتم، پارامتر T مربوط به دما تعیین می­شود و در طول الگوریتم، کاهش یافته و به صفر نزدیک می‌گردد. مقدار این پارامتر، احتمال پذیرش راه­حل­های نامناسب را تعیین می­کند (زین و همکاران، 2016).[[140]](#footnote-140)

متروپلیس و همکاران (1953)، الگوریتم ساده­ای را معرفی کرد که می­تواند برای ارائه یک شبیه‌سازی‌ کارا از مجموعه­ای از اتم­ها در تعادل در دمای معین استفاده شود. در هر مرحله از این الگوریتم، به یک اتم یک جابجایی تصادفی کوچک داده می­شود و تغییر حاصل شده در انرژی سیستم، ، محاسبه می­گردد. اگر باشد، جابه‌جایی پذیرفته و پیکربندی با اتم جابجا شده به عنوان نقطه شروع مرحله بعدی استفاده می‌گردد. در صورتی‌که باشد، به صورت احتمالی رفتار می­شود، بدین معنا که احتمال پذیرفته شدن پیکربندی معادل خواهد بود که در آن ثابت بولتسمان است. اعداد تصادفی که به طور یکنواخت در بازه توزیع شده­اند، وسیله­ای مناسب برای اجرای بخش تصادفی الگوریتم متروپلیس هستند. یکی از این اعداد انتخاب شده و با مقایسه می­شود. اگر عدد انتخاب شده کمتر از باشد، پیکربندی جدید حفظ می­گردد؛ در غیر این صورت، از پیکربندی اصلی برای شروع مرحله بعدی استفاده می­شود. با تکرار چندین بار مرحله اصلی، حرکت حرارتی اتم­ها در تماس حرارتی با یک حمام حرارتی در دمای T شبیه‌سازی‌ می­شود. نتیجه انتخاب این است که سیستم به یک توزیع بولتسمان تکامل می­یابد.

با استفاده از تابع هزینه به جای انرژی و تعریف پیکربندی با مجموعه‌ای از پارامترها مانند ، می­توان مجموعه­ای از پیکربندی‌های مربوط به یک مسئله بهینه‌سازی معین در دمای مؤثر را به کمک رویکرد متروپلیس به سادگی به دست آورد. دمای مؤثر، یک پارامتر کنترل در واحدهای مشابه تابع هزینه است. فرایند تبرید شبیه‌سازی‌ شده شامل چند مرحله است. اولین مرحله، «ذوب» سیستم بهینه‌یابی شده در دمای مؤثر بالا است. سپس، دما به آهستگی کاهش می­یابد تا زمانی­که سیستم «منجمد» شود و تغییر دیگری رخ ندهد. در هر دما، شبیه‌سازی‌ باید به اندازه کافی ادامه یابد تا سیستم به حالت پایدار برسد. درواقع، برنامه تبرید همان توالی دماها و تعداد بازآرایی‌هایی است که برای رسیدن به تعادل در هر دما انجام می­شود.

الگوریتم تبرید که توسط روش متروپلیس اجرا می‌شود، با رویکرد اصلاح تکراری متفاوت است. بر خلاف روش اصلاح تکراری، الگوریتم تبرید در بهینه محلی باقی نمی­ماند؛ زیرا انتقال به خارج از یک بهینه محلی همیشه در دمای غیر صفر امکان‌پذیر است. ویژگی دوم و مهم‌تر این است که در الگوریتم تبرید نوعی استراتژی «تقسیم و حل» تطبیقی[[141]](#footnote-141) رخ می­دهد. نکته­ای که وجود دارد این است که مشخصه­های بزرگ[[142]](#footnote-142) وضعیت نهایی سیستم در دماهای بالاتر ظاهر می­گردد، در حالی­که خصوصیات ظریف[[143]](#footnote-143) در دماهای پایین­تر ایجاد می­شوند.

همان‌طور که اشاره شد، مکانیک آماری روش­های بسیار مفیدی برای استخراج خواص یک سیستم ماکروسکوپی از میانگین­های میکروسکوپی آن دارد. میانگین­های مجموعه را می­توان از یک تابع ایجادکننده، یعنی تابع افراز[[144]](#footnote-144) (Z) که به شرح زیر است، به دست آورد.

(4)

که در آن نماد اثر ماتریس،[[145]](#footnote-145) Tr نشان‌دهنده مجموع تمام پیکربندی­های ممکن اتم‌ها در سیستم نمونه است. لگاریتم Z که انرژی آزاد[[146]](#footnote-146) () نامیده می­شود، اطلاعاتی در خصوص متوسط انرژی () و همچنین آنتروپی () ارائه می­کند که لگاریتم تعداد پیکربندی­های مربوط به نمونه در دمای T است:

(5)

میانگین‌های وزنی بولتسمان نمونه را می­توان بر حسب مشتق F بیان کرد. بنابراین، میانگین انرژی به صورت محاسبه می­شود. به علاوه، نرخ تغییر انرژی با توجه به پارامتر کنترل، T مربوط به اندازه تغییرات در انرژی به صورت  *محاسبه می­شود که معادل است. در دینامیک آماری، به ظرفیت گرمایی ویژه[[147]](#footnote-147) گویند. هرچقدر C بزرگ‌تر باشد مبین تغییر در وضعیت نظم یک دستگاه است و* *می­تواند در زمینه بهینه­سازی برای نشان دادن شروع انجماد و بنابراین خنک­شدن بسیار آهسته مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می­توان از آن برای تعیین آنتروپی به کمک رابطه ترمودینامیکی استفاده کرد:*

*و*  (6)

*که در آن دمایی می‌باشد که آنتروپی شناخته شده است.*

زین و همکاران (2016) بیان می­کنند که اصل تبرید شبیه‌سازی‌ شده دو مرحله زیر را تکرار می­کند:

ارزیابی کردن تغییر انرژی مرتبط با انتقال عنصر تصادفی وضعیت فعلی i (انرژی )، به وضعیت جدید j (انرژی ): .

پذیرش انتقال به وضعیت جدید با احتمال ، یا

(7)

در عمل، زوال هندسی[[148]](#footnote-148) اغلب استفاده می­شود بدین معنا که بوده و α در بازه قرار دارد. برای تغییر دما، عدد پردازشی که در آن دما کاهش می­یابد را می­توان به سادگی مشخص کرد (زین و همکاران، 2016). همچنین دونگ و همکاران (2020)، گام­های پیاده­سازی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده را به شرح زیر تبیین می­کنند:

* گام اول: یک راه­حل اولیه ایجاد کنید و دمای T به مقدار کافی بالا را در نظر بگیرید. حداکثر تعداد تکرار را برای هر دما انتخاب کنید. همچنین، t = 0 قرار دهید و استراتژی خنک­کننده c را تنظیم کنید.
* گام دوم: یک حل جدید ایجاد کنید.
* گام سوم: تفاوت تابع هدف C مربوط به حل جدید و حل فعلی، ، را محاسبه کنید. در صورتی‌که باشد، حل جدید پذیرفته می­شود. در غیر این صورت، یک عدد تصادفی مانند α در بازه در نظر بگیرید. در حالی‌که ، حل جدید پذیرفته می­شود، در غیر این صورت به گام دوم بازگردید.
* گام چهارم: گام دوم و سوم را تا رسیدن به حداکثر تعداد تکرار () تکرار کنید.
* گام پنجم: مقدار T را معادل cT قرار دهید. اگر دما به اندازه کافی کم بود، از برنامه خارج شوید؛ در غیر این صورت به گام دوم بازگردید.

نمونه مطالعه بهینه‌یابی با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده

دونگ و همکارانش (2020) در مقاله خود با عنوان «رهیافت نظریه شبکه برای بهینه­سازی نظام تجارت جهانی نفت خام» با بیان این موضوع که ساختار عرضه و تقاضای کنونی نفت خام به خوبی عمل نمی­کند؛ یک شبکه دوبخشی[[149]](#footnote-149) را برای مدل‌سازی تجارت نفت خام ارائه می­کنند. سپس با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده، ساختار شبکه بهینه که در آن هزینه تجارت کل حداقل شده است را به دست می­آورند. این محققان بیان می­کنند که در مقایسه با شبکه تجارت نفت خام کنونی، شبکه بهینه به دست آمده می­تواند هزینه تجارت را به‌طور مؤثر کاهش دهد. همچنین با استفاده از شاخص استحکام،[[150]](#footnote-150) نشان می­دهند که کشورهای بزرگ صادرکننده نفت شرکای خود را هوشمندانه انتخاب می­کنند و روابط تجاری آن­ها پایدارتر است. این پژوهشگران اشاره می­نمایند که در شبکه بهینه تجارت، کشورهای بزرگ صادرکننده و واردکننده نفت خام، نقش مهمی در توزیع نفت خام بین کشورهای تجاری ایفا می­کنند.

در بررسی مطالعات انجام شده، این محققان به وجه تمایز کار خود اشاره می­کنند. در نقد و بررسی مطالعات موجود اشاره می­نمایند که مطالعات انجام شده بر اساس روابط اصلی تجارت نفت خام بنا شده­اند. همچنین، مطالعات کمی وجود دارد که به عقلایی و عملی بودن[[151]](#footnote-151) ساختار عرضه و تقاضای نفت خام اشاره کند. این در حالی است که به واسطه مسائل سیاسی و جغرافیایی، ساختار کنونی عرضه و تقاضای نفت خام به خوبی عمل نمی­کند. به عبارت دیگر، معمولاً یک کشور تجاری وابستگی شدیدی به کشور خاص دیگر یا مسیر تجاری خاصی دارد. این وابستگی شدید باعث قیمت نفت بالاتر، افزایش هزینه در تمامی ابعاد فرایند تولید و درنهایت، افزایش مخارج زندگی افراد می­شود. از این رو، دونگ و همکارانش (2020) در مطالعه خود به پوشش این شکاف پرداخته و ساختار عرضه و تقاضای مناسبی برای نفت خام ارائه می­کنند.

این محققان اشاره می­کنند که کشورها بازیگران اصلی شبکه تجاری هستند. بنابراین، برای کشورها مهم است که شرکای تجاری و میزان حجم تجارت خود را تعیین و انتخاب کنند. بنابراین، حجم تجارت و فاصله جغرافیایی دو فاکتور مهم تأثیرگذار بر سازوکار بهینه ساختار عرضه و تقاضای نفت خام خواهند بود که این موضوع در الگوی جاذبه اشاره شده است. دونگ و همکارانش (2020) با تعریف تابع همبستگی مثبت بین دو عامل حجم تجارت و فاصله جغرافیایی، هزینه تجارت را استخراج می­کنند. از این رو، یافتن شبکه سازوکار بهینه عرضه و تقاضای نفت خام معادل حداقل کردن هزینه تجارت خواهد بود.

الگوی پیشنهادی دونگ و همکاران (2020)، سه نکته را تأمین می­کند. یکی اینکه روابط تجاری پیچیده بین صادرکنندگان و واردکنندگان نفت خام را توصیف می­کند. دوم، تقاضای هر کشور برای نفت خام را تأمین می­نماید. سومین موضوع پوشش داده شده توسط مطالعه دونگ و همکاران (2020) این است که نفت خام را بر اساس حداقل هزینه تجاری توزیع می­کند. در ادامه، به بررسی نکات کلیدی این مطالعه پرداخته می­شود.

* **شبکه مورد مطالعه دونگ و همکاران (2020)**

دونگ و همکاران (2020) برای تمایز قائل شدن بین کشورهای تجاری، شاخص مقدار خالص واردات را تعریف می­کنند که به صورت زیر است.

(8)

که در آن، مقدار خالص واردات کشور j بر حسب کیلوگرم، حجم واردات کشور j و حجم صادرات کشور j است. به‌طور واضح، اگر منفی باشد، به معنی آن است که کشور j صادرکننده خالص نفت خام بوده و باید را به کشورهای واردکننده توزیع کند و اگر مثبت باشد مبین آن است که کشور j واردکننده خالص نفت خام بوده و به میزان از کشورهای صادرکننده نفت خام نیاز دارد تا تقاضایش را تأمین کند. همچنین، اگر باشد، مبین آن است که کشور j نه مازاد عرضه نفت خام برای توزیع و نه مازاد تقاضای نفت خام برای تأمین شدن دارد.

در این مقاله، رابطه تجاری بین کشورهای صادرکننده و واردکننده در قالب شبکه دوبخشی توصیف شده است. گراف دوبخشی، گرافی است که مجموعه رئوس آن را بتوان به دو زیرمجموعه X و Y به طوری افراز کرد که هر یال دارای یک انتها در X و یک انتها در Y باشد. چنین افراز (X,Y) را دوبخشی کردن گراف می­نامند. اگر تعداد رئوس زیرمجموعه Y و X به ترتیب، n و m باشد، چنین گرافی را به صورت Km,n نشان می­دهند. نکته­ای که در مورد گراف دوبخشی وجود دارد این است که بین رئوس در زیرمجموعه X و همچنین بین رئوس در زیرمجموعه Y رابطه­ای وجود ندارد و تنها رابطه بین رئوس در زیرمجموعه X با Y است (باندی و مورتی،[[152]](#footnote-152) 1976).

در شبکه دوبخشی دونگ و همکاران (2020)، m صادرکننده خالص نفت خام و n واردکننده نفت خام وجود دارد. وزن رابطه بین کشورهای تجاری، 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. از این رو، می‌باشد. بنابراین، برای کشورهای صادرکننده خالص نفت خام و کشورهای واردکننده خالص نفت خام معادلات موازنه­ای زیر برقرار است.

(9)

10))

که در آن است.

این پژوهشگران، چند شاخص توپولوژیکی شبکه را تعریف می­کنند که عبارت از درجه ورودی کشور واردکننده خالص j، درجه خروجی کشور صادرکننده خالص i، قدرت ورودی کشور واردکننده خالص j و قدرت خروجی کشور صادرکننده خالص i است. در ادبیات شبکه، درجه ورودی و خروجی برای شبکه جهت­دار دوتایی[[153]](#footnote-153) و قدرت ورودی و خروجی برای شبکه جهت­دار وزنی[[154]](#footnote-154) تعریف و محاسبه می­شود.

درجه ورودی کشور واردکننده خالص j مبین تعداد کشورهایی است که به کشور j صادرات نفت خام دارند. درجه خروجی کشور صادرکننده خالص i مبین تعداد کشورهایی است که از کشور i واردات نفت خام دارند. قدرت ورودی کشور واردکننده خالص j نشان­دهنده واردات کل این کشور و قدرت خروجی کشور صادرکننده خالص i نشان­دهنده صادرات کل نفت خام کشور i است.

شاخص توپولوژیکی دیگری که در مطالعه دونگ و همکاران تعریف می­شود، متوسط درجه نزدیک‌ترین همسایگان[[155]](#footnote-155) است. از این رو، متوسط درجه نزدیک‌ترین همسایگان یک کشور صادرکننده نفت خام (کشور i) به صورت رابطه شماره (11) تعریف می­شود.

(11)

که در آن مبین مجموعه همسایگان رأس i است. حال اگر مقدار حاصل از رابطه شماره (11) برای تمامی رئوس محاسبه شده و برای یک درجه خروجی مانند میانگین­گیری شود، می­توان متوسط درجه ورودی نزدیک‌ترین همسایگان را محاسبه کرد که به صورت نشان داده می­شود.

به همین ترتیب، متوسط درجه نزدیک‌ترین همسایگان یک کشور واردکننده نفت خام (کشور j) به صورت رابطه شماره (12) تعریف می­شود.

(12)

که در آن مبین مجموعه همسایگان رأس i است. حال اگر مقدار حاصل از رابطه (12) برای تمامی رئوس محاسبه شده و برای یک درجه خروجی مانند میانگین­گیری شود، می­توان متوسط درجه ورودی نزدیک‌ترین همسایگان را محاسبه کرد که به صورت نشان داده می­شود.

در صورتی‌که با افزایش بیشتر شود و یا با افزایش افزایش یابد، شبکه­ای همبسته/ مشابه[[156]](#footnote-156) خواهیم داشت. به همین ترتیب، در صورتی که با افزایش و یا با افزایش کاهش یابد، شبکه­ای ناهمبسته/ نامشابه[[157]](#footnote-157) خواهیم داشت.

باراباسی (2016)[[158]](#footnote-158) در تعریف شبکه همبسته و ناهمبسته بیان می­کند که رئوس مرجع با توجه به اینکه روابط زیادی دارند، تمایل دارند که به یکدیگر متصل شوند. این موضوع در برخی شبکه­ها برقرار بوده و در برخی دیگر برقرار نیست. این امر باعث می­شود که اگرچه دنباله درجه در شبکه­ها یکسان باشد؛ اما با سه نوع توپولوژی در شبکه ازجمله شبکه خنثی،[[159]](#footnote-159) شبکه همبسته[[160]](#footnote-160) و شبکه ناهمبسته[[161]](#footnote-161) مواجه شویم.[[162]](#footnote-162) در شبکه خنثی، تعداد روابط بین رئوس مرجع برابر با تعداد مورد انتظار روابط بین رئوس مرجع در شبکه­های تصادفی است. در شبکه­های همبسته، رئوس مرجع تمایل دارند با یکدیگر ارتباط داشته باشند و از ارتباط با رئوس با درجه پایین اجتناب می­کنند. در این حال، رئوس با درجه پایین نیز تمایل دارند که با رئوس درجه پایین ارتباط داشته باشند. به چنین شبکه­هایی، شبکه­های همبسته گویند. در حالت حدی، شبکه­های کاملاً همبسته[[163]](#footnote-163) را خواهیم داشت که در آن رئوس k- درجه­ای با رئوس k- درجه­ای دیگر ارتباط برقرار می­کنند. در شبکه­های ناهمبسته، رئوس مرجع تمایل دارند تا با رئوس درجه پایین ارتباط برقرار کنند؛ بنابراین، چنین شبکه­هایی ویژگی قطب و اقماری[[164]](#footnote-164) داشته و باعث ناهمبستگی آن می­شود.

* **جامعه آماری و داده­های مطالعه دونگ و همکاران (2020)**

در این مطالعه، کشورهای بزرگ صادرکننده نفت خام در دو فرایند انتخاب شده است. یکی اینکه دوره 2010 تا 2016 در نظر گرفته شده و کشورهای صادرکننده نفت خام بر حسب صادرات خالص سالانه­شان رتبه­بندی شده­اند. دوم اینکه، کشورهایی که همواره در زمره 15 کشور برتر طی این دوره زمانی قرار گرفته­اند، انتخاب شده­اند. از این رو، 9 کشور به عنوان صادرکنندگان بزرگ نفت خام انتخاب شده و با فرایندی مشابه، 11 کشور به عنوان واردکنندگان بزرگ نفت خام انتخاب شده­اند. در این مطالعه، داده­های تجارت نفت خام از سال 2010 تا 2016 از پایگاه اطلاعات آماری تجارت کالایی ملل متحد جمع­آوری گردیده­اند. گروه کالایی مورد نظر بر اساس کد سامانه هماهنگ شده[[165]](#footnote-165) شماره‌گذاری کالا HS:270900 است. فاصله جغرافیایی بین کشورها (به کیلومتر) از پایگاه مرکز مطالعات آینده‌نگر و اطلاعات بین‌المللی[[166]](#footnote-166) گرفته شده است.

* **الگوی بهینه­سازی مطالعه دونگ و همکاران (2020)-ساختار و فرضیات الگو**

هدف الگوی بهینه­سازی مطالعه دونگ و همکاران (2020)، یافتن شبکه توزیع بهینه است. در این مطالعه، مسئله بهینه­سازی بر حسب هزینه کل شبکه تعریف می­شود. فرض کنید، هزینه تولید یک کیلوگرم نفت خام در کشور صادرکننده i، v ارزش یک کیلوگرم نفت خام و قیمت یک کیلوگرم نفت خام واردشده توسط کشور واردکننده j باشد. در این صورت، به صورت رابطه (13) تعریف می­شود.

(13)

که در آن هزینه لجستیک[[167]](#footnote-167) به ازای هر واحد فاصله و فاصله جغرافیایی بین دو رأس i و j است.

فرض کنید ارزش یک کیلوگرم نفت خام فراوری شده در کشور j به افزایش یابد؛ بنابراین، تابع منفعت (درآمد) R به صورت زیر خواهد شد.

(14)

که در آن نفت خام صادرشده از رأس i به رأس j است. با جایگذاری رابطه (13) در (14) خواهیم داشت.

(15)

دونگ و همکاران (2020)، یک سری فروض در نظر می­گیرند که عبارت‌اند از: (1) ثابت بوده و (2) ثابت است. بنابراین، هزینه تجارت بین دو کشور i و j به صورت زیر خواهد بود.

(16)

رابطه (16) نشان می­دهد که هرچقدر حجم تجارت و فاصله جغرافیایی بین دو رأس بیشتر باشد، هزینه تجارت بیشتر خواهد بود؛ (3) سومین فرض این مطالعه این است که است. بنابراین، هزینه کل تجارت به شکل زیر خواهد شد.

(17)

برای به دست آوردن عملکرد بهینه شبکه تجارت نفت خام، دونگ و همکاران (2020) مسئله را به صورت یک الگوی بهینه­سازی درمی­آورند که در آن تابع هدف به صورت زیر خواهد بود.

(18)

قیدهای این مسئله روابط (9) و (10) و یا به عبارتی معادلات موازنه­ای برای کشورهای صادرکننده خالص نفت خام و کشورهای واردکننده خالص نفت خام است.

از حل این مسئله می­توان روابط مورد نیاز برای رسیدن به شبکه بهینه تجارت را پیدا کرد. همچنین، بر اساس رابطه (18) می­توان حداقل هزینه تجارت نفت خام بر اساس سازوکار شبکه بهینه را یافت. این پژوهشگران برای حل مسئله بهینه­یابی از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده استفاده می­کنند.

نمونه مطالعه بهینه‌یابی تلفیق دو الگوریتم درخت پوشای کمینه و تبرید شبیه‌سازی‌‌شده

تا به اینجا دو الگوریتم بهینه‌یابی شبکه­ها ارائه شد که عبارت‌اند از: درخت پوشای کمینه؛ و تبرید شبیه‌سازی‌ شده. در زیر بخش قبل، مطالعه کاربردی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده به‌طور خاص در شبکه تجارت نفت معرفی گردید. در این قسمت، مطالعه دیگری در ادبیات شبکه تجارت نفت ارائه می­شود که از دو الگوریتم بهینه‌یابی درخت پوشای کمینه و تبرید شبیه‌سازی‌ شده استفاده کرده است. پیش از ورود به مطلب، خاطرنشان می­شود هر دوی این الگوریتم­ها در زمینه­های مختلف و علوم مختلف به کار می­روند و در اینجا به فراخور موضوع، صرفاً بر مطالعه مرتبط با شبکه تجارت نفت خام تمرکز شده است.

دونگ و همکارانش (2021) در مقاله خود با عنوان «بهینه­سازی ساختار تجارت نفت خام: تحلیل شبکه پیچیده» با بهره­گیری از الگوی پیشین خود، یک شبکه دوبخشی را برای مدل‌سازی تجارت نفت خام ارائه می­کنند. این پژوهشگران بیان می­کنند که در مقایسه با شبکه نابهینه، الگوی پیشنهادی می­تواند به طور مؤثر هزینه تجارت را کاهش دهد. با تجزیه و تحلیل توپولوژیکی شبکه تجاری و پیکربندی بهینه آن، این محققان دریافته­اند که هر دو شبکه تجارت نفت خام پیش بهینه­شده و بهینه شده از توزیع نمایی پیروی می­کنند. نتایج حاصل از تحلیل با استفاده از الگوریتم درخت پوشای کمینه مبین آن است که کشورهای عمده صادرکننده خالص نفت خام بیشترین تأثیر را داشته و در هسته اصلی ساختار تجاری بهینه قرار گرفته‌اند.

در مطالعه دونگ و همکاران (2021)، هر کشور k، خالص واردات به صورت تعریف می­شود که در آن مبین حجم واردات و مبین حجم صادرات است. به‌طور خاص، در صورتی‌که باشد بدین معناست که کشور k صادرکننده خالص است و اگر باشد، این کشور واردکننده خالص خواهد بود. همچنین، در صورتی‌که باشد، کشور k نه واردکننده خالص و نه صادرکننده خالص خواهد بود. در شبکه دوبخشی مورد نظر این مطالعه، رئوس به دو دسته تقسیم می­شوند: رئوس صادرکننده خالص و رئوس واردکننده خالص. روابط بین این دو مجموعه رئوس نیز مبین جریان نفت خام بین دو دسته کشور است که وزن این روابط () حجم نفت خام تجارت شده از کشورهای صادرکننده خالص (i) نفت خام به کشورهای واردکننده خالص (j) نفت خام است. بنابراین برای کشورهای i و j روابط ترازکننده زیر را خواهیم داشت:

(19)

(20)

که در آن  *است*.

تعداد کشورهایی که با کشور i تجارت دارند، درجه این کشور () را تعیین می­کند. در شبکه مورد مطالعه، کشورها دو درجه متفاوت دارند؛ درجه ورودی () و درجه خروجی (). درجه ورودی مبین تعداد روابط وارد شده به یک کشور و درجه خروجی مبین تعداد روابط خارج شده از یک کشور است. در این صورت، توزیع درجه به صورت زیر تعریف می­شود.

(21)

که در آن مبین تعداد رئوس (کشورهای) با درجه k است.

* **الگوی بهینه­سازی**

دونگ و همکاران (2021) بیان می­کنند که برای داشتن یک بازار نفت خام باثبات باید بتوان الگویی از ساختار شبکه تجاری بهینه را بر اساس تقاضای تجاری و روابط تجاری کشورهای واردکننده خالص و کشورهای صادرکننده خالص برای کاهش هزینه‌های تجاری طراحی کرد. از این رو، مسئله کاهش هزینه‌های تجاری در تجارت نفت خام به یک مسئله بهینه­سازی توپولوژی شبکه دوبخشی ترجمه می­شود؛ به عبارت دیگر، هدف از الگوی بهینه‌سازی، یافتن پیکربندی بهینه برای شبکه دوجانبه تجارت نفت خام است.

با تلفیق مباحث پایه­ای اقتصاد و نظریه جاذبه در تجارت بین‌الملل و با توجه به ویژگی‌های تجارت واقعی نفت خام، می­توان چنین استنباط کرد که هزینه‌های تجارت نفت خام متناسب با حجم تجارت و فاصله جغرافیایی است. بنابراین، دونگ و همکاران (2021) همان‌طور که در مقاله پیشین خود (دونگ و همکاران ، 2020) اظهار کردند، معادله هزینه تجارت را به شرح زیر تشکیل می­دهند.

(22)

که در آن فاصله جغرافیایی بین کشور صادرکننده خالص i و کشور واردکننده خالص j است. در عبارت فوق، متغیر مبین مقدار نفت خام تجارت شده از کشور i به کشور j است. به منظور تعیین پیکربندی بهینه شبکه تجارت نفت خام، رابطه فوق به صورت یک مسئله بهینه­سازی تعریف می­شود که تابع هدف آن به شرح زیر است.

(23)

همانند مطالعه پیشین این پژوهشگران، قیدهای مسئله بهینه­سازی روابط ترازکننده (19) و (20) خواهند بود. به منظور حل این مسئله بهینه­یابی، از الگوریتم درخت پوشای کمینه و همچنین روش تبرید شبیه‌سازی‌‌شده استفاده کرده­اند که این روش­ها در بخش­های پیشین به تفصیل معرفی شده­اند.

* **روش برنامه­ریزی پویا**[[168]](#footnote-168)

در سال 1957، ریچارد بلمن[[169]](#footnote-169) با انتشار کتابی با عنوان برنامه­ریزی پویا، تحقیقات خود را با این رویکرد آغاز کرد. از آن زمان برنامه­ریزی پویا به یک رشته اصلی در ریاضیات کاربردی، تحقیق در عملیات و علوم کامپیوتر تبدیل شده است و یک روش حل استاندارد مورد استفاده در زمینه­های مختلف مهندسی، اقتصاد،[[170]](#footnote-170) بازرگانی، مدیریت و غیره تلقی می­شود (اسنیدوویچ، 2010).[[171]](#footnote-171)

روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری[[172]](#footnote-172) شامل روش­های مبتنی بر شبکه­های عصبی مصنوعی،[[173]](#footnote-173) الگوریتم ژنتیک،[[174]](#footnote-174) الگوریتم مورچگان،[[175]](#footnote-175) الگوریتم جستجوی ممنوعه،[[176]](#footnote-176) الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌ شده و روش بهینه­سازی ازدحام ذرات[[177]](#footnote-177) هستند. در میان روش­های بهینه­سازی، روش برنامه‌ریزی پویا یک الگوریتم بهینه‌سازی است که برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای استفاده می‌شود و به‌ویژه برای حل مسائل بهینه‌سازی جهانی قابلیت اعتماد و اطمینان[[178]](#footnote-178) شبکه‌های به هم متصل[[179]](#footnote-179) بر اساس کل هزینه شبکه است. وجه تمایز رویکرد برنامه­ریزی پویا با سایر روش­های ابتکاری بهینه‌یابی این است که رویکرد برنامه­ریزی پویا، همواره یک راه‌حل قطعی برای مسائل بهینه­سازی در مقایسه با راه‌حل نزدیک به بهینه در رویکردهای ابتکاری ارائه می­دهد (تریپاثی و همکاران،[[180]](#footnote-180)2015). وانگ (1986)[[181]](#footnote-181) نشان می­دهد که رویکرد برنامه­ریزی پویا نه‌تنها برای مسائل بهینه­سازی دنباله­دار و بازگشتی[[182]](#footnote-182) به عنوان مناسب‌ترین روش در نظر گرفته می‌شود بلکه برای حل مسائل بهینه­سازی غیر متوالی و/ یا غیر بازگشتی نیز مناسب و قابل استفاده هستند.

برنامه­ریزی پویا از نظر مفهومی ساده بوده و اساس آن اصل بهینه بودن[[183]](#footnote-183) است. بر اساس اصل بهینه بودن، یک سیاست بهینه این ویژگی را دارد که وضعیت اولیه و تصمیم اولیه هر چه باشد، تصمیمات باقی­مانده باید یک سیاست بهینه را با توجه به وضعیت حاصل از تصمیم اول تشکیل دهند. عبارت کلیدی اصل بهینه بودن، «وضعیت ناشی از اولین تصمیم» است؛ به عبارت دیگر، اولین تصمیم هر چه باشد (برای مثال انتخاب یک یا چند محدودیت، انطباق ضریب لاگرانژ، تغییر تابع هدف)؛ وضعیت ناشی از این تصمیم باید متفاوت بوده تا اطمینان حاصل شود که تصمیمات باقی­مانده یک سیاست بهینه را تشکیل می­دهند (وانگ، 1986).

اصل بهینه بودن، انواع شکل­های تابعی قابل اجرا را برای الگوسازی مسائل در بسیاری از زمینه­ها ایجاد می­کند. شکل اصلی تابع برنامه­ریزی پویا به شرح زیر است.

(24)

یا؛

(25)

که در آن p و q به ترتیب بردارهای وضعیت و تصمیم؛ T مبین تابع تبدیل فرایند و f(p) تابع بهینه حاصله با وضعیت اولیه p هستند. عبارت (25)، نسخه تعمیم­یافته شکل تابعی برنامه­ریزی پویا است که در آن g می­تواند متفاوت از f باشد. ­دقت شود که opt در هر دو معادله می­تواند بیشینه (max) یا کمینه (min) باشد (وانگ، 1986 و 1988).

همچنین، مسائل برنامه­ریزی پویا مانند سایر مسائل برنامه­ریزی ریاضی ممکن است دارای محدودیت (قید) باشند یا نباشند. به علاوه، در برخی موارد ممکن است یک یا چند محدودیت انتقال[[184]](#footnote-184) به منظور سهولت در حل مسئله معرفی شود. منظور از محدودیت انتقال یک مسئله برنامه­ریزی ریاضی، یک محدودیت اضافه­شده سازگار با محدودیت (محدودیت) اصلی است که برای تسهیل فرایند حل مسئله طراحی شده است (وانگ، 1986).

وانگ (1986) به منظور نشان دادن کاربرد برنامه­ریزی پویا در الگوهای گسسته متناهی و نامتناهی، از دو نامساوی استفاده می­کند: نامساوی میانگین حسابی و میانگین هندسی؛[[185]](#footnote-185) و نامساوی ینسن.[[186]](#footnote-186) کاربرد این نامساوی­ها در حل مسائل بهینه‌یابی است و با استفاده از این نامساوی­ها می­توان مسائل برنامه­ریزی پویا را به‌طور مستقیم پیاده­سازی کرد. در ادامه به توضیح مختصر این دو نامساوی پرداخته می­شود.

* **نامساوی میانگین حسابی و میانگین هندسی**

در جبر به عنوان یکی از وسیع­ترین شاخه­های علم ریاضیات، نامساوی میانگین حسابی و میانگین هندسی یک نامساوی است که بیان می­کند میانگین حسابی هر دو عدد (لیستی از اعداد) حقیقی نامنفی بزرگ‌تر یا مساوی میانگین هندسی آن­ها است؛ به عبارت دیگر، برای هر فهرست اعداد حقیقی نامنفی () رابطه زیر برقرار است:

(26)

و تساوی زمانی برقرار است که باشد.

این نامساوی، ابزار مفیدی در بررسی برخی مسائل بهینه­سازی می­تواند باشد. از تعمیم نامساوی میانگین حسابی- هندسی، نامساوی­های دیگری همچون نامساوی مینکوسکی[[187]](#footnote-187) (و درنتیجه نامساوی هولدر[[188]](#footnote-188)) حاصل می­شود که در حل مسائل برنامه­ریزی پویا نیز کاربرد دارند.

* **نامساوی ینسن**

نامساوی ینسن یک نابرابری احتمالاتی[[189]](#footnote-189) در خصوص مقدار مورد انتظار تبدیل­های محدب و مقعر یک متغیر تصادفی است؛ به عبارت دیگر، نامساوی ینسن بر توابع مقعر و محدب اعمال می­شود. ویژگی توابع محدب و مقعر که در نامساوی ینسن مهم می‌باشند، این است که خط مماس بر نمودار یک تابع محدب (به عبارتی تانژانت یک تابع محدب) در زیر نمودار این تابع قرار می­گیرد. این در حالی است که خط مماس بر نمودار یک تابع مقعر (به عبارتی تانژانت یک تابع مقعر) در بالای نمودار این تابع قرار می­گیرد. همچنین به یاد آورید که یک تابع مشتق­پذیر (اکیداً) محدب است اگر مشتق مرتبه دوم آن (اکیداً) مثبت باشد. به این ترتیب، یک تابع مشتق­پذیر (اکیداً) مقعر است اگر مشتق مرتبه دوم آن (اکیداً) منفی باشد. با این تفاسیر، نامساوی ینسن به شرح قضیه زیر خواهد بود:[[190]](#footnote-190)

**قضیه**: فرض کنید X یک متغیر تصادفی انتگرال­پذیر باشد. همچنین فرض کنید یک تابع محدب است، به‌گونه‌ای که نیز انتگرال­پذیر باشد. با این فروض، نامساوی زیر، نامساوی ینسن خوانده می­شود.

(27)

همچنین اگر g یک تابع اکیداً محدب باشد و X تقریباً ثابت نباشد؛ یک نامساوی اکید به شکل زیر خواهیم داشت.

(28)

به علاوه، اگر g یک تابع مقعر باشد، آنگاه؛

(29)

درنهایت، اگر g یک تابع اکیداً مقعر باشد و X تقریباً ثابت نباشد؛ نابرابری زیر را خواهیم داشت.

(30)

به عبارت دیگر، تابع حقیقی f روي بازه I از اعداد حقیقی محدب خوانده می­شود اگر به ازاي هر و به طوري که باشد داشته باشیم:

(31)

وانگ (1986) در ارائه کاربرد برنامه­ریزی پویا در حل مسائل مختلف، دو نامساوی میانگین حسابی (A)-هندسی (G) و نامساوی ینسن را با یکدیگر تلفیق می­کند و بیان می­دارد که نابرابری میانگین حسابی (A)-هندسی (G) به صورت و نامساوی ینسن به شکل (با f محدب) است.

نمونه مطالعه بهینه‌یابی با رویکرد برنامه­ریزی پویا

در این قسمت نیز به پیروی از بخش پیشین، مطالعه مرتبط با شبکه تجارت با رویکرد برنامه­ریزی پویا آورده می­شود. دونگ و همکاران (2021) در مقاله خود با عنوان «بهینه­سازی شبکه تجارت بین­الملل سنگ معدنی نیکل» با تعمیم الگوریتم برنامه­ریزی پویا، شبکه تجارت بین­الملل سنگ نیکل را بهینه می­کنند. این پژوهشگران اشاره می‌نمایند که بر اساس الگوریتم برنامه‌نویسی پویا، فرایند حل مسئله بهینه­سازی به چند مرحله تقسیم می­شود که هر مرحله مربوط به یک زیر مسئله است و تصمیم­گیری در مورد هر زیر مسئله یک انتقال حالت[[191]](#footnote-191) را به همراه دارد که به عنوان حالت اولیه مرحله بعدی در نظر گرفته می­شود (اسنیدوویچ، 1978).

دونگ و همکاران (2021) در جهت توضیح اینکه چرا الگوریتم برنامه­ریزی پویا را بازبینی کرده­اند بیان می­نمایند که اگرچه الگوریتم برنامه­ریزی پویا به طور گسترده در تخصیص منابع مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما تنها برای تخصیص یک منبع یا چند منبع نامرتبط استفاده‌ شده است. در حالی که کشورهای زیادی در تجارت جهانی نیکل وجود دارند و با توجه به تأثیر تقاضا برای منابع نیکل هر کشور واردکننده و حجم صادرات منابع نیکل هر کشور صادرکننده، تصمیم بهینه برای هر کشور بر تخصیص منابع سایر کشورها تأثیر خواهد داشت؛ بنابراین، این پژوهشگران روش برنامه‌ریزی پویا را برای رتبه‌بندی همه کشورهای واردکننده (کشورهای صادرکننده) بهبود داده و حل تکراری برنامه پویا را پیشنهاد می‌کنند.

دونگ و همکاران (2021) در مطالعه خود ابتدا صادرکنندگان عمده و واردکنندگان خالص سنگ معدن نیکل را تعیین می­کنند. بر اساس روابط تجاری واقعی این کشورها، شبکه تجارت بین­الملل سنگ معدن نیکل را ایجاد می­نمایند. سپس هزینه‌های تجاری (عمدتاً هزینه‌های حمل‌ونقل) را در شبکه تجاری محاسبه و در مرحله بعد، الگوی برنامه­ریزی پویای اصلاح­شده را ساخته و از الگوریتم تکراری برای حل الگو استفاده می­کنند.

* **غربال­گری صادرکنندگان و واردکنندگان خالص عمده سنگ معدن نیکل**

برای تمرکز بیشتر هدف بهینه‌سازی و روان‌تر شدن فرایند بهینه‌سازی، همان‌طور که اشاره شد این پژوهشگران ابتدا صادرکنندگان خالص سنگ معدن نیکل و واردکنندگان خالص را انتخاب می‌کنند. اگر صادرات سنگ نیکل یک کشور بیشتر از واردات آن باشد، آن کشور صادرکننده خالص سنگ نیکل قلمداد می­شود. در غیر این صورت، واردکننده خالص سنگ معدن نیکل است.

برای شناسایی کشورهایی که حجم صادرات نسبتاً پایدار سنگ نیکل در دوره 2009 تا 2018 دارند، ده کشور برتر از نظر حجم صادرات که در بیش از شش سال صادرکننده خالص بودند، از بین صادرکنندگان خالص سنگ نیکل انتخاب می‌شوند. درنهایت، 13 کشور به عنوان صادرکننده خالص سنگ نیکل دست آمده است: نروژ، فیلیپین، ترکیه، زیمباوه، اسپانیا، اندونزی، تایلند، کالدونیای جدید، برزیل، فنلاند، آلمان، گواتمالا و ایالات متحده آمریکا.

این پژوهشگران بیان می­کنند که از طریق مرحله غربالگری بالا، می­توان افزایش ناگهانی صادرات (واردات) سنگ نیکل ناشی از عوامل تصادفی را تا جای ممکن حذف کرد. این در حالی است که باید کشورهایی را که از نظر نسبت کمیت تأثیر زیادی بر تجارت جهانی سنگ نیکل دارند، نیز تعیین شوند تا کشورهای اصلی صادرکننده (واردکننده) نیکل واقعی شناسایی شوند. برای بررسی بیشتر 10 کشور برتر با بالاترین صادرات کل سنگ معدن نیکل در طول سال­های مورد مطالعه، هشت صادرکننده خالص سنگ معدن نیکل در نظر گرفته شده­اند: فیلیپین، ترکیه، زیمبابوه، اسپانیا، اندونزی، کالدونیای جدید، فنلاند و گواتمالا. از نظر صادرات، این هشت کشور 91.63 درصد از کل عرضه سنگ نیکل را طی ده سال گذشته تأمین کرده­اند که آن­ها را به مراکز اصلی عرضه نیکل تبدیل نموده است.

در بیش از نیمی از ده سال گذشته (بیش از شش سال)، 9 کشور واردکننده از نظر واردات سنگ نیکل در میان ده کشور برتر قرار دارند که عبارت‌اند از: چین، یونان، ژاپن، اوکراین، کانادا، استرالیا، جمهوری کره، هنگ­کنگ و آفریقای جنوبی. سپس، کشورهایی انتخاب می­شوند که بیشترین حجم کل واردات را در طول ده سال داشته باشند. علاوه بر این، با در نظر گرفتن 10 کشور و منطقه برتر از نظر کل واردات طی سال‌ها چین، یونان، ژاپن، اوکراین، استرالیا، جمهوری کره، هنگ‌کنگ و آفریقای جنوبی به عنوان هشت واردکننده اصلی خالص سنگ معدن نیکل محسوب می‌شوند. از نظر تقاضا، این هشت کشور 98.32 درصد از کل تقاضای سنگ نیکل را طی ده سال به خود اختصاص داده­اند و به مراکز تقاضا تبدیل گردیده­اند.

* **ساخت شبکه تجارت بین­الملل سنگ معدن نیکل**

دو نوع بازیگر در شبکه تجارت مطالعه دونگ و همکاران (2021) وجود دارد: کشورهای صادرکننده و کشورهای واردکننده. کشورهای صادرکننده با و کشورهای واردکننده با نشان داده می‌شوند.

با در نظر گرفتن هشت صادرکننده اصلی خالص سنگ معدن نیکل و همه کشورها و مناطقی که سنگ نیکل را از این کشورها به عنوان رأس وارد می­کنند، روابط واردات و صادرات بین کشورها به عنوان یال­های جهت­دار و حجم تجارت به عنوان وزن، یک شبکه تجارت سنگ نیکل از دیدگاه عرضه ساخته می­شود. در سال t، زمانی که کشور صادرکننده i سنگ معدن نیکل به میزان (واحد: کیلوگرم) را به کشور واردکننده صادر می­کند، یک یال در شبکه تجاری سال t ایجاد می­شود و ماتریس الحاقی مربوطه یک درایه غیر صفر خواهد داشت (). درایه مربوط به رئوس بدون روابط تجاری، صفر خواهد بود. در این صورت، ماتریس الحاقی به صورت زیر به دست می­آید:

(32)

با در نظر گرفتن هشت واردکننده اصلی خالص سنگ معدن نیکل و همه کشورها یا مناطقی که سنگ نیکل را به این کشورها صادر می­کنند، روابط واردات و صادرات بین کشورها به عنوان یال­های جهت­دار و حجم تجارت به عنوان وزن یک شبکه تجارت سنگ نیکل از دیدگاه تقاضا ساخته می­شود. هنگامی‌که کشور واردکننده ، سنگ نیکل را به میزان (واحد: کیلوگرم) از کشور صادرکننده در سال t وارد می­کند، یک یال در شبکه تجاری سال t ایجاد می­شود و ماتریس الحاقی متناظر دارای یک درایه غیر صفر () خواهد بود. درایه مربوط به رئوس بدون روابط تجاری، صفر خواهد بود. در این صورت، ماتریس الحاقی به صورت زیر به دست می­آید:

(33)

* **محاسبه هزینه‌های تجاری عمده شبکه تجاری**

در صورتی که هزینه‌های تجارت در کل شبکه را با C نشان دهیم، هزینه‌های تجارت از کشور صادرکننده به کشور واردکننده است. هزینه‌های تجارت شامل هزینه‌های تولید، هزینه‌های مانع سیاستی، هزینه‌های لجستیک، هزینه‌های قانونی و نظارتی و هزینه‌های نرخ ارز است. از آنجایی که هزینه‌های حمل و نقل از اجزاء ناپایدار هزینه‌های لجستیک است و سهم بیشتری نسبت به سایر اجزا دارد، به عنوان هدف اصلی بهینه‌سازی در نظر گرفته می­شود. فرض کنید L واحد هزینه حمل‌ونقل در تجارت بین‌الملل، فاصله از کشور صادرکننده تا کشور واردکننده ، و وزن کل سنگ معدن نیکل صادراتی به باشد. در این صورت، هزینه‌های تجارت بین و به شرح زیر محاسبه می­شود:

(34)

در فرمول فوق، α نشان‌دهنده سایر هزینه­ها به استثنای هزینه‌های حمل‌ونقل است. از آنجایی که α در بهینه­سازی در نظر گرفته نمی­شود، به عنوان یک مقدار ثابت تلقی خواهد شد. همچنین، فرض می­شود که هزینه‌های حمل و نقل واحد در تجارت کشورهای مختلف سازگار و ثابت است. هنگامی‌که هزینه­ها حداقل می­شوند، به حداقل مقدار خود می­رسد. بنابراین، تابع هزینه را می­توان به صورت زیر ساده کرد:

(35)

* **ساخت الگوی برنامه­ریزی پویای بهبود یافته**

این مقاله الگوریتم برنامه­ریزی پویا را بهبود می­بخشد و آن را در فرایند بهینه­سازی شبکه تجاری اعمال می­کند. از طریق بهبود الگوریتم برنامه‌نویسی پویا در یک مسئله بهینه­سازی پیوسته، می­توان شمای تصمیم­گیری بهینه را به دست آورد. ساختار تجاری یک کشور صادرکننده یا واردکننده سنگ نیکل، هزینه‌های تجاری کشور را تعیین می­کند. بنابراین با بهینه­سازی ساختار تجاری کشور می­توان به حداقل هزینه‌های تجاری دست یافت. مسئله بهینه سازی ساختار تجارت را می­توان با توجه به کشورهای همکاری­کننده مختلف به چندین زیرمسئله تقسیم کرد تا حجم تجارت بین کشور و یک کشور خاص تعیین شود. الگوریتم برنامه نویسی پویا برای این فراآیند بهینه­سازی مناسب است. همچنین لازم است از یک الگوریتم تکراری برای حل ساختار تجاری چندین کشور صادرکننده یا واردکننده سنگ نیکل برای به دست آوردن ماتریس تصمیم­گیری ساختار تجارت جهانی بهینه استفاده شود.

هر کشور صادرکننده را انتخاب کنید. از منظر کشورهای صادرکننده، روند ساخت مدل برنامه‌ریزی پویا بهبودیافته به شرح زیر است:

* گام اول: متغیر مرحله[[192]](#footnote-192) j را تنظیم کنید. با توجه به تعداد کشورهای واردکننده که سنگ نیکل را از وارد می­کنند، متغیر مرحله j به دست می­آید و .
* گام دوم: متغیر وضعیت[[193]](#footnote-193) را تنظیم کنید. در این مقاله، حجم کل تجارت کشورهای صادرکننده خالص در شبکه تجاری به عنوان متغیر وضعیت در نظر گرفته شده است.
* گام سوم: متغیر تصمیم[[194]](#footnote-194) را تنظیم کنید. حجم صادرات سنگ نیکل از به هر کشور واردکننده به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته می­شود، که در آن است. مجموع حجم صادرات است. بنابراین:

(36)

* گام چهارم: معادله انتقال وضعیت[[195]](#footnote-195) را به صورت زیر بسازید:

(37)

بدین معنا که متغیر وضعیت مرحله بعد، تفاوت بین متغیر وضعیت مرحله قبل و حجم تجارت سنگ نیکلی که به صادر کرده است، می­باشد.

* گام پنجم: تابع هزینه را محاسبه کنید.

گام ششم: تابع هدف را تعیین کنید. معادله برنامه‌نویسی پویا را می­توان به صورت زیر به دست آورد:

(38)

قیدهای مسئله عبارت‌اند از:

(39)

متغیر مبین مجموع حجم صادرات همه کشورهای صادرکننده است. متغیر مبین مجموع حجم واردات همه کشورهای واردکننده می‌باشد. فرمول مجموع حجم صادرات سنگ معدن نیکل از به هر کشور واردکننده است. فرمول مجموع حجم واردات سنگ معدن نیکل از هر کشور صادرکننده به است. حجم تجارت موجود به عنوان شرط محدودیت بهینه­سازی در نظر گرفته می­شود. به عبارت دیگر، حجم صادرات فعلی هر کشور صادرکننده، حجم صادرات قابل توزیع در بهینه­سازی هزینه تجارت کشور است. به این ترتیب، حجم واردات فعلی هر کشور واردکننده، حجم واردات قابل توزیع در بهینه‌سازی هزینه تجارت کشور است.

الگوی برنامه­ریزی پویای بهبودیافته یک صادرکننده را می‌توان با دنبال کردن مرحله 1 تا مرحله 6 ساخت. الگوی برنامه­ریزی پویای بهبودیافته از منظر تقاضا، باید کشور واردکننده را انتخاب کند. سپس مراحل 1 تا 6 از منظر کشور واردکننده برای تکمیل الگوی برنامه­ریزی پویای بهبود یافته تکرار می­شود.

* راه‌حل تکرارشونده الگوی برنامه­ریزی پویای بهبودیافته

فرایند تکراری به صورت زیر است:

* گام اول: یک کشور صادرکننده را به صورت تصادفی انتخاب کنید. فاصله بین و همه کشورهای واردکننده را برای به دست آوردن یک دنباله محاسبه نمایید. داده­های فاصله در دنباله، از کوچک به بزرگ و کشورهای واردکننده مربوطه نیز به این ترتیب مرتب شده­اند و حجم تجارت به همین ترتیب توزیع می­گردد. با توجه به معادله انتقال وضعیت، توزیع تا زمانی ادامه می­یابد که متغیر وضعیت صفر باشد و سپس توزیع متوقف می­شود.
* گام دوم: حجم کل واردات هر کشور واردکننده را محاسبه کنید. اگر مجموع حجم واردات برابر با درجه ورودی وزنی شبکه تجاری باشد، کشور واردکننده دیگر در فرایند حل شرکت نخواهد کرد. در این زمان، دنباله تصمیم­گیری بهینه یعنی به دست می­آید.
* گام سوم: هر کشور دیگری را انتخاب کنید. مرحله 1 را تکرار و سپس مرحله 2 را برای حذف کشورهای واردکننده توزیع شده تکرار نمایید. سپس روند فوق را تا تخصیص حجم تجارت تمامی کشورهای صادرکننده تکرار کنید. در این مورد، دنباله تصمیم­گیری بهینه همه کشورهای صادرکننده برای به دست آوردن یک ماتریس تصمیم­گیری ترکیب می­شوند:

(40)

در این صورت، هزینه تجارت کل در شبکه تجاری به صورت زیر خواهد بود:

(41)

(42)

* گام چهارم: حتی اگر ماتریس تصمیم­گیری فوق از منظر یک کشور صادرکننده بهینه باشد، هزینه‌های کل تحت تأثیر ترتیب انتخاب کشورهای صادرکننده خواهد بود. درواقع، ماتریس تصمیم به دست آمده لزوماً ماتریس تصمیم بهینه جهانی نیست. ما باید ترتیب همه کشورهای انتخاب شده را بررسی کنیم. با توجه به ترتیب کشورهای منتخب اولیه، به هر کشور صادرکننده به نوبه خود یک شماره سریال تخصیص داده می­شود. رقم اول 1 خواهد بود و به همین ترتیب ادامه می­یابد. m کشور صادرکننده، m شماره سریال دارند. با در نظر گرفتن این شماره­های سریال به عنوان درایه­های ماتریس، ماتریس جایگشت کامل M به دست می­آید. به این ترتیب، ترتیب انتخاب تمامی کشورهای صادرکننده به حساب می­آید. شماره ترتیب­های مختلف، شماره ردیف δ ماتریس M است. بنابراین:

(43)

* گام پنجم: مدل را با توجه به دنباله شماره سریال کشور صادرکننده خاص در هر ردیف از ماتریس حل کنید، فرhیند تکرار را انجام دهید و کل هزینه‌های C مربوط به ماتریس تصمیم را محاسبه نمایدد. ماتریس تصمیم مربوط به حداقل هزینه کل minC ممکن است منحصر به فرد نباشد. نخستین ماتریس تصمیم­گیری با حداقل هزینه­ها به عنوان ماتریس تصمیم بهینه جهانی در نظر گرفته می­شود.
* گام ششم: تفاوت بین ماتریس تصمیم بهینه جهانی و ماتریس اصلی A را محاسبه کنید و جهت بهینه‌سازی را با توجه به ماتریس تفاوت یعنی () تعیین نمایدد.

در فرایند حل الگو از دیدگاه تقاضا، باید مواضع کشور صادرکننده و کشور واردکننده جا به جا و به صورت تکراری حل شود.

الگوی ابتدایی پیشنهادی: الگوریتم درخت پوشای کمینه و باز توزیع تجارت نفت خام

الگوی ابتدایی پیشنهادی بر اساس الگوریتم درخت پوشای کمینه است. از آنجایی که این الگوی پیشنهادی، بسط داده شده الگوی مطالعه دونگ و همکاران (2020) است، در این بخش، وجه تمایز الگوی پیشنهادی پروژه حاضر با این مطالعه بیان می­شود.

**وجه تمایز الگوی پیشنهادی پروژه با مطالعه دونگ و همکاران (2020)- بعد نظری:** در مطالعه دونگ و همکاران (2020)، شبکه بهینه تجارت نفت خام بر حسب تقاضا و عرضه نفت خام و حداقل هزینه تجارت بین کشورها با استفاده از نظریه جاذبه استخراج شده است. به عبارت دیگر، شبکه بهینه تجاری، شبکه­ای با حداقل هزینه تجارت بر حسب فاصله جغرافیایی و حجم تجارت است. در حالی که در الگوی ساده پیشنهادی، شبکه بهینه نه تنها از نظر تقاضا و عرضه نفت خام بررسی می­شود بلکه شبکه­ای است که اثراث مخرب زیست‌محیطی در آن به حداقل می­رسد. به عبارت دیگر، هزینه تجارت در الگوی ساده پیشنهادی بر حسب حجم تجاری، فاصله جغرافیایی و میزان CO2 منتشر شده در تجارت نفت خام بررسی و حداقل می­شود.

وجه تمایز دیگر الگوی ساده پیشنهادی با مطالعه دونگ و همکاران (2020)، نوع شبکه­ای می‌باشد که در نظر گرفته شده است. شبکه مورد نظر ما ساده است؛ اگرچه شبکه دونگ و همکاران (2020) شبکه دوبخشی می‌باشد. همچنین، ما شبکه واردات و صادرات را به‌طور جداگانه در نظر گرفته­ایم، این در حالی است که دونگ و همکاران (2020) تنها یک شبکه که دوبخشی است در نظر گرفته­اند. در شبکه ساده ما، کشورها هم می­توانند واردکننده و هم صادرکننده باشند و این نقش دوگانه از کشورها باز گرفته نشده است.

نکته­ای که وجود دارد این است که داده­ها محدودیت دارند. پایگاه اطلاعات آماری تجارت کالایی ملل متحد یک سری محدودیت­ها برای داده­ها اعلام کرده است که باید پیش از تحلیل داده­ها، این محدودیت­ها در نظر گرفته شود. یکی از این محدودیت­ها آن است که واردات اظهار شده توسط یک کشور معادل صادرات اظهارشده توسط شریک تجاری آن نیست. این تفاوت در مقدار اظهار شده چند منشأ می­تواند داشته باشد.

یکی از این عوامل آن است که ارزش­گذاری صادرات بر اساس قیمت­گذاری فوب[[196]](#footnote-196) می‌باشد، در حالی­که ارزش­گذاری واردات بر اساس قیمت­گذاری سیف[[197]](#footnote-197) است که هر دوی آن­ها اصطلاح بازرگانی بین­المللی[[198]](#footnote-198) برای حمل و نقل دریایی و آبراه داخلی[[199]](#footnote-199) هستند. از دیگر عوامل ایجاد تفاوت بین مقدار صادرات و واردات اظهارشده ناشی از شامل شدن یا نشدن برخی کالاها در محاسبه صادرات و واردات و همچنین، زمان اظهار این داده­های تجاری هستند.[[200]](#footnote-200)

از این رو، بهتر است که شبکه تجاری در یک سال برای کالاهای خاص در دو بخش واردات و صادرات به طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. به این ترتیب به نظر می­رسد بررسی شبکه واردات و صادرات نفت خام به‌طور جداگانه در سال 2018 در قالب شبکه ساده و نه شبکه دوتایی مناسب­تر باشد.

وجه تمایز الگوی پیشنهادی این مطالعه با مطالعه دونگ و همکاران (2020)-بعد جامعه آماری و داده­ها: همان‌طور که پیش­تر اشاره شد، در الگوی مورد نظر ما، کشورها تنها نقش صادرکننده و واردکننده ندارند و هر دو نقش را می­توانند داشته باشند. وجه تمایز دیگر مطالعه حاضر این است که نفت کالایی ضروری برای تمامی کشورهای دنیا است، تمامی کشورهای ایفاکننده نقش به عنوان تجارت­کننده نفت خام در نظر گرفته شده­اند. از این رو در الگوی ساده پیشنهادی، 178 کشور و قلمرو اقتصادی در نظر گرفته شده است.

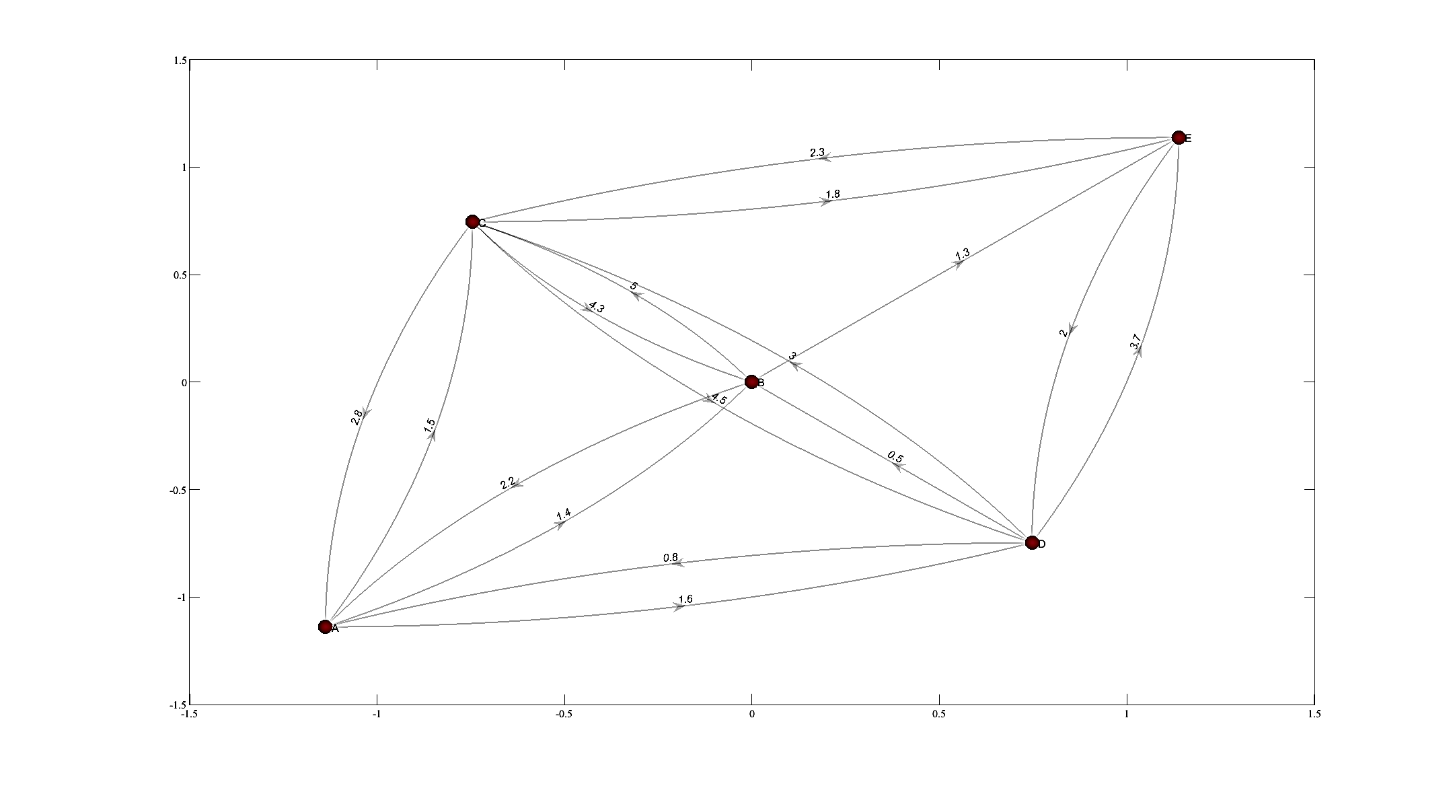
وجه تشابه داده­های مورد بررسی الگوی ساده پیشنهادی و مطالعه دونگ و همکاران (2020) در آن است که هر دو از پایگاه اطلاعات آماری تجارت کالایی ملل متحد و کد گروه کالایی HS:270900 جمع­آوری شده­اند. الگوی ساده پیشنهادی تمامی کشورهای مشارکت­کننده در تجارت بین­الملل نفت خام را در سال 2018 در نظر می­گیرید، در حالی‌که مطالعه دونگ و همکاران، سال­های 2010 تا 2016 را در نظر گرفته و تنها چند کشور را انتخاب می­کند. در مورد اطلاعات فاصله جغرافیایی، از آنجایی که کشورها روی کره زمین هستند، بهتر آن است که فاصله بین کشورها بر حسب فاصله دایره بزرگ[[201]](#footnote-201) محاسبه شوند که این کار به کمک طول و عرض جغرافیایی کشورها محاسبه می­شود. در مطالعه حاضر، محاسبه فاصله بین کشورها بر حسب دایره بزرگ به کمک نرم­افزار متلب انجام شده است.

**وجه تمایز الگوی پیشنهادی با مطالعه دونگ و همکاران (2020)- فروض الگو**: در الگوی دونگ و همکاران (2020)، هزینه لجستیک و فاصله جغرافیایی به همراه حجم تجارت بین دو کشور در نظر گرفته شده است. این در حالی است که در الگوی مورد نظر ما، نه تنها فاصله جغرافیایی و حجم تجارت در نظر گرفته می­شود بلکه هزینه‌های زیست­محیطی نیز لحاظ می‌گردد. نکته دیگر این است که قید­های مورد نظر برای حل الگو در مطالعه دونگ و همکاران (2020) بر اساس وضع موجود می‌باشد، در حالی‌ که در الگوی ساده پیشنهادی، محدودیت­ها بر اساس ظرفیت عرضه و تقاضای هر کشور در نظر گرفته می­شود.

پایه الگوی ابتدایی پیشنهادی پروژه حاضر، روش درخت پوشای کمینه است که در ادامه، این روش و الگوی پیشنهادی با بیان یک مثال توضیح داده می­شود.

همان‌طور که اشاره شد، ساده‌ترین مسئله بهینه‌سازی غیر بدیهی،[[202]](#footnote-202) درخت پوشای کمینه است. در این روش، از تمامی قسمت­های یک گراف گذر می‌کند، به­گونه­ای که مجموع هزینه یال­های درخت حداقل باشد (دوبرین و دوکسبری، 2001: 5076). به عبارت دیگر، در الگوریتم درخت پوشای کمینه به دنبال حداقل کردن هزینه‌های یک شبکه هستیم، به‌طوری‌که تعداد روابط در شبکه به حداقل ممکن برسد. فرض کنید شبکه وزن­دار و جهت­داری به صورت شکل 3 باشد که ماتریس الحاقی آن به شرح زیر است:

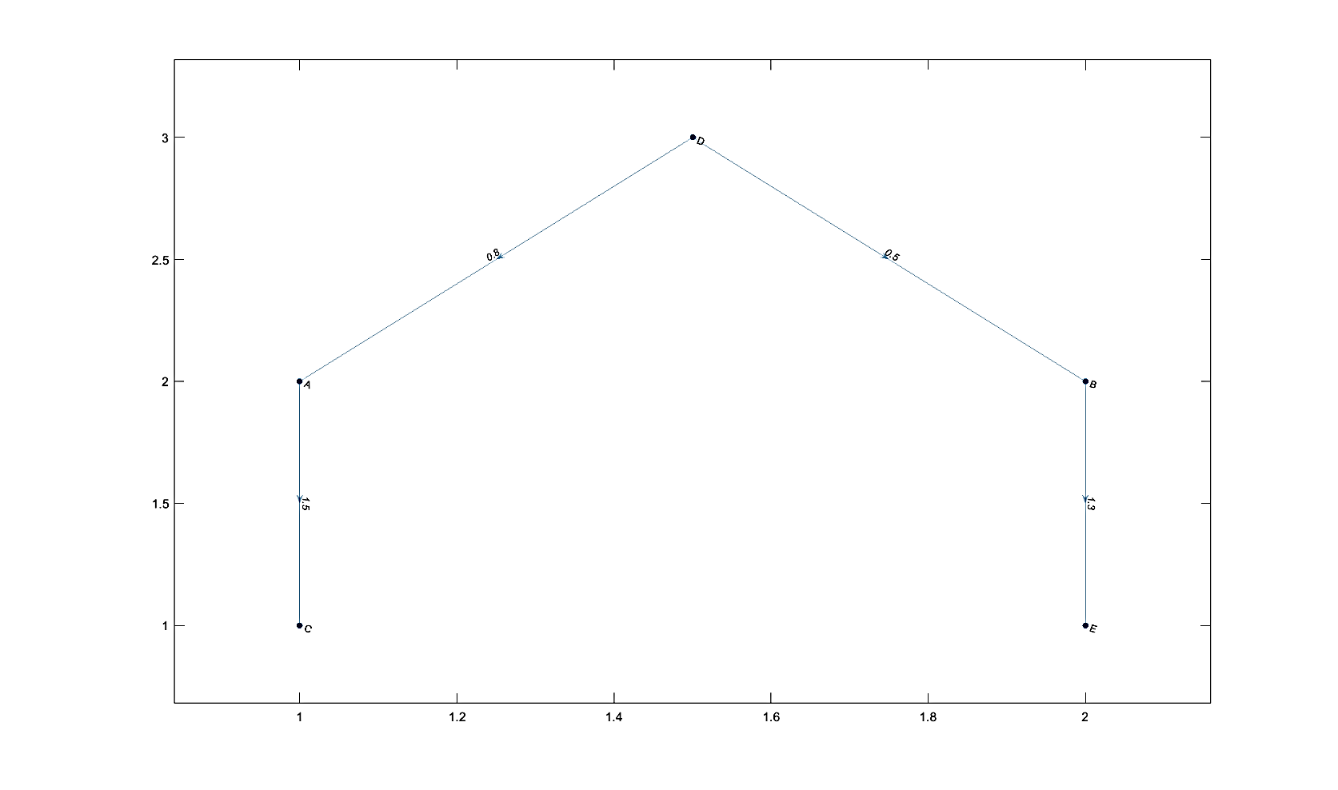
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A | B | C | D | E |
| A | 0 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 0 |
| B | 2.2 | 0 | 5 | 0 | 1.3 |
| C | 2.8 | 4.3 | 0 | 4.5 | 1.8 |
| D | 0.8 | 0.5 | 3 | 0 | 3.7 |
| E | 0 | 0 | 2.3 | 2 | 0 |



**شکل 3:** شبکه نمونه برای یافتن شبکه بهینه

با اعمال الگوریتم درخت پوشای کمینه بر شبکه متصور در شکل 3، شبکه­ای 5 رأسی با 4 رابطه به شکل 4 خواهیم داشت. شبکه بهینه به دست آمده در شکل 4 با استفاده از جعبه­ابزار نظریه گراف[[203]](#footnote-203) رسم شده است (ایگلین، 2009). همچنین، می­توان از الگوریتم کروسکال[[204]](#footnote-204) نیز درخت پوشای کمینه یک شبکه را به دست آورد (پاپاکریستودیس، 2014). خاطرنشان می­شود که در روش درخت پوشای کمینه، *لینک جدیدی ساخته نمی­شود* بلکه بر اساس لینک­های موجود، به حداقل کردن هزینه پرداخته می­شود. ماتریس الحاقی این شبکه به شکل زیر است:.

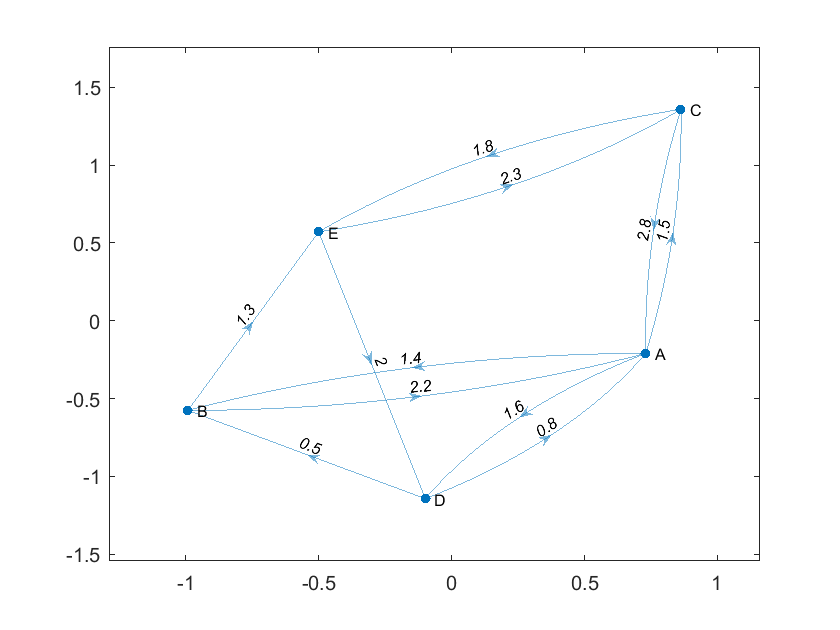
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A | B | C | D | E |
| A | 0 | 0 | **1.5** | 0 | 0 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | **1.3** |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | **0.8** | **0.5** | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

****

**شکل 4:** شبکه بهینه با حداقل هزینه

فرض کنید که وزن روابط در شکل 4، معادل گاز CO2 منتشر شده به ازاء هر تن در مایل طی شده برای تجارت نفت باشد. به عبارتی، در صورتی­که در 10 مایل، 5 تن نفت جابه‌جا شده باشد، وزن رابطه تجاری 0.5 خواهد بود (به عنوان مثال، رابطه بین رأس D و B). در این صورت، بر اساس شبکه نشان داده شده در شکل 3 می­توان این‌طور استدلال کرد که رئوس E و C تنها نقش وارد­کننده را ایفا کنند، رأس D تنها نقش صادرکننده و رئوس B و A می­توانند هر دو نقش را ایفا نمایند.

این در حالی است که الگوریتم درخت پوشای کمینه نمی­تواند بیان کند که میزان تقاضا و عرضه تأمین نشده توسط چه رأسی و از طریق چه رابطه تجاری انجام می‌گردد تا بهترین نتیجه حاصل شود. از طرفی، می­توان با پیدا کردن کوتاه­ترین مسیر بین رئوس، روابط بیشتری نسبت به شکل 3 داشت، به­گونه­ای که بتوان از *هر رأس به رأس دیگر* – بر اساس روابط موجود- رسید که هزینه کمتر باشد. درواقع، به دلیل یافتن کوتاه­ترین مسیر بین دو رأس می­توان گفت که هزینه کمتر است. در این صورت، شکل 5 را خواهیم داشت.



**شکل 5:** شبکه بهینه بر اساس کوتاه­ترین مسیر بین رئوس

درواقع، روش درخت پوشای کمینه، یک گام بعد از رویکرد کوتاه­ترین مسیر بین رئوس است و در این روش، شبکه بهینه از مشترکات مینیمم کوتاه‌ترین مسیر بین رئوس به دست می­آید. به عبارتی، ماتریس کوتاه­ترین فاصله بین رئوس گراف شکل 5 به شرح ماتریس زیر است.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A | B | C | D | E |
| A | 2.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 2.7 |
| B | 2.2 | 3.6 | 3.6 | 3.3 | 1.3 |
| C | 2.8 | 4.2 | 4.1 | 3.8 | 1.8 |
| D | 0.8 | 0.5 | 2.3 | 2.4 | 1.8 |
| E | 2.8 | 2.5 | 2.3 | 2 | 3.8 |

به عبارت دیگر، کوتاه‌ترین فاصله رسیدن از رأس A به رأس B معادل 1.4 است که همان فاصله مستقیم بین دو رأس می‌باشد. اینکه کوتاه­ترین فاصله بین هر رأس با خودش در نظر گرفته شده را لحاظ نمی‌کنیم، می­توان فاصله را صفر گذاشت؛ بنابراین ماتریس زیر را خواهیم داشت. در این ماتریس، اعدادی که با رنگ سبز مشخص شده­اند، مبین روابطی هستند که کوتاه­ترین مسیر بین آن­ها از طریق رابطه مستقیم‌شان بوده است.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A | B | C | D | E |
| A | 0 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 2.7 |
| B | 2.2 | 0 | 3.6 | 3.3 | 1.3 |
| C | 2.8 | 4.2 | 0 | 3.8 | 1.8 |
| D | 0.8 | 0.5 | 2.3 | 0 | 1.8 |
| E | 2.8 | 2.5 | 2.3 | 2 | 0 |

بنابراین، ماتریس الحاقی بر اساس کوتاه­ترین فاصله بین رئوس، ماتریس زیر خواهد شد.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A | B | C | D | E |
| A | 0 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 0 |
| B | 2.2 | 0 | 0 | 0 | 1.3 |
| C | 2.8 | 0 | 0 | 0 | 1.8 |
| D | 0.8 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 2.3 | 2 | 0 |

حال برای اینکه شبکه بهینه تجارت نفت را استخراج نماییم، فرض کنید ماتریس الحاقی اولیه ما به صورت ماتریس زیر باشد.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 8 | 7 | 5 | 10 |
| 9 | 12 | 15 | 3 |

همچنین فرض کنید که ماتریس بهینه با استفاده از روش فوق و از نظر فاصله به شکل زیر باشد.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 0 | 7 | 5 | 10 |
| 9 | 0 | 15 | 0 |

برای پیدا کردن وزن­های جدید به‌گونه‌ای که جمع مقادیر سطری با جمع مقادیر گذشته یکی باشد، به شرح زیر عمل می­کنیم.

* ابتدا نسبت وزن‌ها را بر حسب آخرین درایه غیر صفر در نظر می­­گیریم.
* سپس، معادله زیر را حل می­کنیم، در صورتی‌که ضریب آخرین درایه غیر صفر را z در نظر بگیریم، سطر اول را به صورت زیر خواهیم داشت.

به همین ترتیب می­توان اوزان جدید را پیدا کرد.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 0 | 9.5455 | 6.8182 | 13.6364 |
| 14.6250 | 0 | 24.3750 | 0 |

الگوی برنامه­ریزی پویای اصلاح­شده و الگوریتم تکراری به همراه باز توزیع تجارت نفت خام

در الگوریتم برنامه­ریزی پویای مطالعه دونگ و همکاران (2021)، روابط بین کشورهای عمده صادرکننده و واردکننده نفت در نظر گرفته شده است. در حالی که در الگوی برنامه­ریزی پویای پیشنهادی طرح حاضر، روابط بین تمامی کشورها (مناطق تجاری) لحاظ شده است. همچنین، در الگوی پیشنهادی مطالعه دونگ و همکاران (2021)، فاصله بین کشورهایی که روابط تجاری دارند، مد نظر است؛ اما در الگوی پیشنهادی طرح حاضر، روابط بین تمامی کشورها (مناطق تجاری) در نظر گرفته شده است تا بتوان روابط بالقوه را نیز استخراج کرد. وجه تمایز دیگر طرح حاضر با الگوی تجاری به کار رفته در مطالعه دونگ و همکاران (2021) این است که در الگوی پیشنهادی طرح پیش ­رو، روابط تجاری بالقوه بین تمامی 178 کشور و 12 منطقه بررسی می­شود و شبکه بهینه بر اساس این روابط شکل می­گیرند. به علاوه، شبکه­ای که به شبکه موجود نزدیک­تر باشد نیز از بین شبکه­های بهینه یافت شده انتخاب می­شود. بنابراین، این شبکه به دست آمده از نظر شرایط اقتصاد سیاسی و مسائلی مانند آن، شدنی­تر خواهد بود.

فرض کنید ماتریس صادرات نفت خام به صورت ماتریس B و ماتریس فاصله به صورت ماتریس D باشد.

که در آن، Ci مبین کشور/ منطقه i و در ماتریس B، صادرات نفت خام کشور i به j است که می­تواند صفر یا مثبت باشد. در اینجا برای سادگی، روابط درون منطقه­ای/ کشوری در نظر گرفته نشده است. از آنجایی که فاصله هر کشور/ منطقه از خودش صفر است، در ماتریس D عناصر قطر اصلی صفر در نظر گرفته شده است.

برای الگوسازی و حل مدل، ابتدا میزان صادرات و واردات کشورها محاسبه می­شود. در شبکه صادرات، میزان صادرات کشورها معادل جمع سطری و میزان واردات کشورها معادل جمع ستونی است؛ بنابراین، میزان صادرات و واردات کشورها به صورت جدول زیر خواهد شد.

**جدول 1:** واردات و صادرات کشورها در الگوی نمونه

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **منطقه** | **صادرات** | **واردات** |
| C1 |  |  |
| C2 |  |  |
| C3 |  |  |
| C4 |  |  |

مأخذ: یافته­های پژوهش

در گام بعد، هدف «باز توزیع صادرات کشورهای صادرکننده بر اساس فاصله تا مقاصد صادراتی» تعریف می­شود. در قدم بعد، به صورت **تصادفی** یکی از سطرها (کشورها/مناطق) انتخاب می­شود. فرض کنید سطر 1 یعنی C1 انتخاب شود. حال با توجه به فاصله C1 تا مقصدهای صادراتی آن یعنی C1، C2، C3 و C4، این کشورها/ مناطق مرتب و صادرات C1 بین این سه کشور/ منطقه توزیع می­شود. دقت نمایید که در اینجا فرض می­شود که هر کشور/ منطقه نیاز وارداتی خود را نیز تأمین می­کند.

حال فرض کنید که ترتیب توزیع صادرات C1 به سه کشور/ منطقه دیگر به صورت C1، C4، C3 و C2 باشد. لازم به ذکر است که فاصله هر منطقه با خودش صفر است؛ بنابراین منطقی این خواهد بود که ابتدا نیاز وارداتی خود را تأمین کرده و سپس نیاز وارداتی سایر مناطق را طبق فاصله­ای که با منطقه صادراتی انتخاب شده (در اینجا C1) دارند؛ تأمین کند.

طبق جدول 1 صادرات C1 معادل است. حال اگر (واردات همین کشور/منطقه) کمتر یا مساوی باشد؛ کشور/ منطقه C1 می­تواند تمام نیاز وارداتی خود را تأمین کند. در غیر این صورت، تنها به میزان از نیاز وارداتی خود را می­تواند تأمین نماید. به منظور توضیح فرایند بازتوزیع صادرات، فرض کنید که باشد؛ در این صورت، C1 می­تواند نیاز وارداتی خود را به‌طور کامل تأمین کند بنابراین، واحد باقی­مانده می­تواند بین سایر مناطق تخصیص داده شود.

حال در صورتی که باشد، کل نیاز وارداتی C4 تأمین می­شود؛ در غیر این صورت تنها بخشی از نیاز آن (به میزان ) تأمین شده و C1 دیگر نمی­تواند نیاز C3 و C4 را تأمین کند. بنابراین، نیاز وارداتی این دو کشور/ منطقه توسط سایر کشورها تأمین می­شود.

حال فرض کنید که باشد. در این صورت؛ C1 می­تواند به میزان از نیاز وارداتی C3 را تأمین کند. در صورتی که باشد، کل نیاز وارداتی C3 تأمین می­شود؛ در غیر این صورت تنها بخشی از نیاز آن (به میزان ) تأمین شده و C1 دیگر نمی­تواند نیاز C2 را تأمین نماید. بنابراین، نیاز وارداتی C2 توسط سایر کشورها تأمین می­شود.

حال فرض کنید که باشد. در این صورت کل نیاز وارداتی C3 توسط C1 تأمین می­شود و C1 می­تواند به میزان نیاز C2 را تأمین کند. حال اگر باشد، کل نیاز C2 توسط C1 تأمین می­شود؛ در غیر این صورت تنها به میزان نیاز وارداتی C2 توسط C1 تأمین شده و مابقی توسط سایر مناطق/ کشورها تأمین می­شود.

با این اوصاف، سطر اول ماتریس تصمیم (Q) به شکل زیر خواهد بود. از آنجایی که در این مرحله به‌طور تصادفی C1 انتخاب شده است؛ سطر اول ماتریس Q غیر صفر و مابقی درایه­ها صفر است، زیرا هنوز باز توزیع صادرات سایر مناطق انجام نشده است.

حال از بین سه سطر دیگر، یکی از سطرها به‌طور تصادفی انتخاب می‌گردد و بازتوزیع صادرات به شرح بالا انجام می­شود.

در اینجا توجه به چند نکته ضروری است:

در مطالعه دونگ و همکاران (2021)، صادرات کشورها تنها به شرکای تجاری فعلی­شان انجام می­شود و نه شرکای تجاری بالقوه. به این ترتیب در فرایند فوق، تمامی کشورها به عنوان شریک در نظر گرفته می­شوند.

در مطالعه دونگ و همکاران (2021)، صادرات درون کشوری انجام نمی­شود؛ به عبارتی هیچ کشوری ابتدا نیاز خود را تأمین نمی­کند. این در حالی است که در الگوی حاضر، ابتدا کشور/ منطقه مورد بررسی نیاز واردات خود را تأمین و سپس به تخصیص صادرات باقی­مانده با دیگر کشورها به ترتیب فاصله­ای که با آن دارد، می­پردازد.

دونگ و همکاران (2021) اظهار می­کنند که فرایند فوق برای بازتوزیع صادرات تمامی کشورهای صادرکننده انجام می­شود؛ اما با توجه به این شرط که کشورها به شرکای تجاری فعلی صادرات انجام می­دهند، در شبکه ممکن است یک مازاد ایجاد گردد. در حالی که این موضوع در الگوی بهینه‌یابی مقاله حاضر رفع شده است.

بنا بر نکته فوق، خالص واردات و صادرات کشور/ مناطق در الگوی بهینه‌یابی با مقادیر خالص واردات و صادرات کشور/ مناطق وضعیت موجود برابر در نظر گرفته می­شود.

نکته دیگر این است که دونگ و همکاران (2021) اشاره می­کنند که این نحوه توزیع ممکن است از دید یک کشور بهینه باشد؛ اما از نظر کل شبکه بهینه نباشد. در این خصوص اشاره می­کند که ترتیب انتخاب کشورها اثرگذار است.

در نمونه حل شده بالا مشاهده می­گردد که تنها برای کشوری که اول انتخاب می­شود، باز توزیع بهینه است، بهینه از این نظر که هزینه مینیمم می­شود. از آنجایی که ممکن است این بهینه­سازی از دید یک کشور بهینه باشد؛ اما از دید کل شبکه بهینه نباشد، باید سراغ تمامی حالات ممکن از نظر جایگاه کشورها در ترتیب انتخاب رفت. بنابراین در حالت 4 منطقه/ کشوری فوق 4 فاکتوریل حالت، یعنی 24 حالت ترتیب انتخاب کشور/ منطقه وجود خواهد داشت که از بین این حالت­ها، مینیمم کل شبکه انتخاب می­شود*.*

***جمع‌بندی***

بهینه‌یابی در نظریه شبکه، رویکردهای مختلفی دارد که عموماً بر اساس مفهوم درخت­های پوشای کمینه هستند. به طور خاص در زمینه شبکه تجارت بین‌الملل، دو الگوریتم بهینه­یابی روش تبرید شبیه­سازی­شده و همچنین الگوی برنامه­نویسی پویای اصلاح­شده و الگوریتم تکراری پیشنهاد گردیده است. در این فصل، علاوه بر تشریح مفاهیم و الگوریتم‌های فوق، بر اساس مفهوم درخت‌های پوشای کمینه نیز الگویی برای یافتن شبکه بهینه تجارت نفت ارائه شد. همچنین، الگوریتم بسط‌یافته الگوی برنامه­نویسی پویای اصلاح­شده و الگوریتم تکراری جهت استخراج شبکه بهینه تجارت نفت پیشنهاد و تبیین گردید. الگوهای پیشنهادی این فصل به دنبال پوشش کاستی‌های الگوی بهینه‌یابی درخت­های پوشای کمینه و همچنین الگوی برنامه­نویسی پویای اصلاح­شده و الگوریتم تکراری بوده است.

فصل ششم

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود

1. شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود بر حسب هزینه‌های انرژی و زیست­محیطی

به پیروی از دو و همکاران (2016)، شیرازی و همکاران (2020)، ژانگ و همکاران (2019)، شهنازی و همکاران (2023) در این مطالعه از داده­های واردات و صادرات نفت خام (HS با کد 270900) استفاده شده 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، 2019)، داده­های مربوط به سال 2018 مورد بررسی قرار گرفته­اند.

همچنین از آنجایی که کارایی محلی بر اساس فاصله بین رئوس بنا شده است، فاصله بین بنادر انتقال نفت خام در تجارت بین کشورها استخراج شده و در صورت در دسترس نبودن داده مربوط به انتقال نفت خام بین کشورهای بدون مرز آبی، از فاصله جغرافیایی بین آن­ها استفاده شده است. جدول 1، خلاصه داده­های مورد استفاده و مرجع را بیان می­کند.

جدول 1: اطلاعات مربوط به پایگاه­های داده­ای

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **داده** | **منبع** | **کمینه، بیشینه،\*\*  میانگین و میانه** |
| تجارت دوجانبه (واردات و صادرات) نفت خام و نفت خام پتروشیمی | پایگاه داده تجارت کالایی سازمان ملل متحد[[205]](#footnote-205)  (HS با کد 270900) | **واردات**  **کمینه**: صفر؛ **بیشینه**: 15/469 واردات چین؛ **میانگین:** 89/12؛ **میانه**: 05/0 |
| **صادرات**  **کمینه**: صفر؛ **بیشینه**:56/299 صادرات عربستان سعودی؛ **میانگین**: 02/12؛ **میانه:** 05/0 |
| بنادر نفتی | رصدخانه جهانی انرژی[[206]](#footnote-206) | موضوعیت ندارد |
| فاصله بین بنادر نفتی | فاصله دریایی[[207]](#footnote-207) | **کمینه**: 77/28 (بین ایران و عراق)  **بیشینه**: 69/15704 (بین عربستان سعودی و پرو)  **میانگین**: 37/4575؛ **میانه**: 86/4295 |
| فاصله بین کشورها\* | محاسبه­گر فاصله[[208]](#footnote-208) | **کمینه**: 86/55 (بین اسرائیل و فلسطین)  **بیشینه**: 03/11276 (بین قزاقستان و فیلیپین)  **میانگین**: 26/2235؛ **میانه**: 03/1878 |
| فاصله جغرافیایی بین مناطق | محاسبه دایره بزرگ[[209]](#footnote-209) (محاسبات تحقیق) | موضوعیت ندارد |
| انتشار CO2 | آژانس محیط‌زیست اروپا[[210]](#footnote-210) |  |
| ارجحیت تجارت دریایی نفت خام | انرژی­های سیاره[[211]](#footnote-211) | موضوعیت ندارد |
| انتشار گاز متان از خطوط انتقال نفت و گاز | آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده[[212]](#footnote-212) | موضوعیت ندارد |
| قیمت جهانی سوخت در سال 2018 | آژانس بین­المللی انرژی[[213]](#footnote-213) | مقدار ثابت معادل 05/1 دلار آمریکا به ازاء هر لیتر دیزل |

مأخذ: یافته­های پژوهش

\*: کشورهایی که مرز آبی ندارند، فاصله جغرافیایی بین آن­ها در نظر گرفته شده است.

*\*\*: واحد ارقام برای تجارت، مگا تن معادل میلیون تن است. همچنین، واحد ارقام فاصله بین بنادر و کشورها، مایل است.*

جدول (2) انتشار گاز CO2 بر اساس نوع جابجایی را نشان می­دهد. همچنین بیشترین میزان، کمترین میزان و میانگین CO2 منتشر شده بر حسب تجارت بین کشوری را شرح می­دهد.

**جدول 2:** اطلاعات مرتبط با انتشار CO2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **نوع جابجایی** | **انتشار\*** | **بیشترین هزینه انتشار** | **کمترین هزینه انتشار** | **میانگین هزینه انتشار** | **میانه هزینه انتشار** |
| دریایی | 24/143 | 46/147918815  مگاتن-کیلومتر  (بین روسیه و چین) نوع جابجایی: دریایی | 60/12  تن-کیلومتر  (بین لوکزامبورگ و بلژیک)  نوع جابجایی: خط لوله | 21/1707716  مگاتن-کیلومتر | 14/26012  مگاتن-کیلومتر |
| خط لوله | 43/67 |
| راه‌آهن | 03/19 |
| زمینی | 80/145 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

\* ارقام اشاره شده، میانگین انتشار گاز کربن دی‌اکسید طی دوره 2014-2000 است. ارقام انتشار گاز کربن دی‌اکسید به ازاء هر تن-کیلومتر است.

لازم به ذکر است که شبکه بهینه تجارت در سطح منطقه­ای، 12 منطقه تجاری در نظر گرفته شده­اند که به شرح جدول 3 هستند. همچنین فاصله بین مناطق بر حسب فاصله دایره بزرگ[[214]](#footnote-214) محاسبه گردیده که این کار به کمک طول و عرض جغرافیایی مناطق محاسبه می­شود. در مطالعه حاضر، محاسبه فاصله بین مناطق برحسب دایره بزرگ به کمک نرم­افزار متلب انجام شده است.

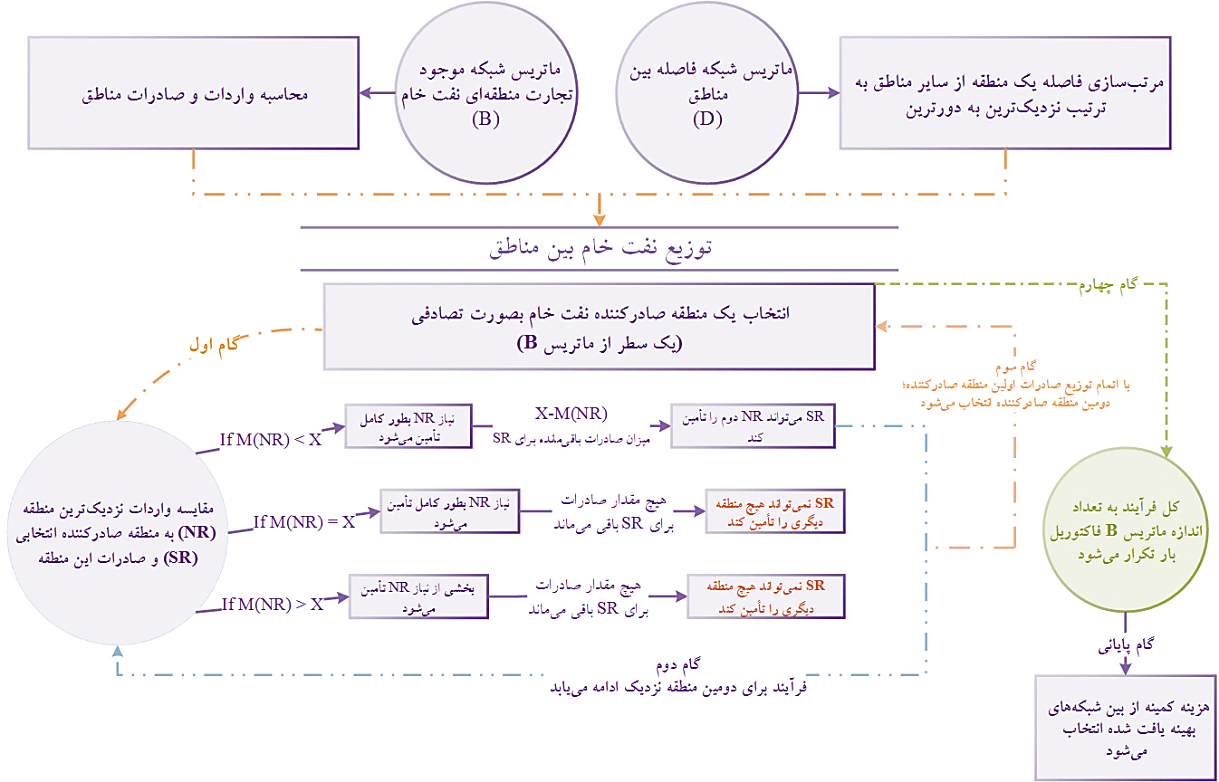
**جدول 3:** منطقه­های مورد بررسی در شبکه صادرات نفت خام

| **کشور/ منطقه تجاری** | **تعداد کشورهای منطقه تجاری\*** | **منطقه معیار برای سنجش طول و عرض جغرافیایی** | **منبع** |
| --- | --- | --- | --- |
| کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت | 5 | گابن | https://www.worldatlas.com/articles/top-10-oil-producing-countries-in-africa.html |
| سایر کشورهای آفریقا | 41 | جمهوری آفریقای مرکزی | https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-africa/ |
| کشورهای اروپایی صادرکننده عمده نفت | 2 | دریای شمالی | https://www.worldatlas.com/articles/the-top-oil-producing-nations-in-europe.html |
| کشورهای اروپایی | 31 | اروپا | https://www.worldometers.info/geography/how-many-  countries-in-europe/ |
| روسیه | 1 | روسیه | - |
| چین و هند | 2 | گواتی،[[215]](#footnote-215) شهری در شمال شرقی هند و هم مرز با چین | https://www.mapsofindia.com/neighbouring-countries-maps/india-china-map.html |
| آمریکای شمالی | 20 | آمریکای شمالی | https://www.worldometers.info/geography/7-continents/north-america/ |
| آمریکای جنوبی | 13 | آمریکای جنوبی | https://www.worldometers.info/population/countries-in-south-america-by-population/ |
| آمریکا | 1 | آمریکا | - |
| خاورمیانه | 16 | خاورمیانه | https://www.worldatlas.com/articles/which-are-the-middle-eastern-countries.html |
| سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه | 33 | اندونزی (کشوری در بین دو قاره) | https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-asia/ |
| کشورهای شوروی سابق بجز روسیه | 13 | اورالسک،[[216]](#footnote-216) شهری در قزاقستان | https://worldpopulationreview.com/country-rankings/soviet-union-countries |

مأخذ: یافته­های تحقیق

\* بنا به در خواست خواننده، فهرست کشورها در هر منطقه در اختیارشان قرار خواهد گرفت.

شکل 1 شمای کلی نحوه استخراج شبکه بهینه را نشان می­دهد.



**شکل 1:** شمای کلی استخراج شبکه بهینه تجارت نفت خام

مأخذ: یافته­های پژوهش

* 1. ویژگی­های زیست­محیطی و مصرف انرژی شبکه منطقه‌ای صادرات نفت خام
     1. شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شبکه موجود

مشخصات کلی شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

شبکه تجارت نفت خام منطقه‌ای بر اساس مجموع تجارت بین کشورها در درون و بین مناطق مطابق با شبکه تجارت نفت 178 کشوری طراحی شده است. درنتیجه، شبکه تجارت نفت منطقه‌ای موجود از 12 رأس (منطقه) و 120 رابطه تجاری تشکیل شده که 120 رابطه شامل 111 روابط تجاری بین منطقه‌ای و 9 رابطه تجاری درون منطقه‌ای است. شکل­های (2) و (3) به ترتیب ماتریس الحاقی با ابعاد 12 در 12 و نمودار شبکه مربوطه را نشان می­دهد.

****

**شکل 2:** ماتریس الحاقی شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

مأخذ: یافته­های تحقیق

در ماتریس بالا، رنگ­های روشن­تر به معنای روابط تجاری سنگین­تر بین مناطق است. به عنوان مثال، در سال 2018 بیشترین حجم نفت خام از خاورمیانه به سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه صادر شده است. صادرات نفت خام خاورمیانه به چین و هند دومین رابطه تجاری سنگین در این شبکه است. تجارت نفت خام بین آمریکای شمالی و آمریکا و تجارت بین روسیه و سایر کشورهای اروپایی به ترتیب در جایگاه سوم و چهارم قرار دارند. خاطرنشان می­شود که مقادیر غیر صفر قطر اصلی در ماتریس بالا، تجارت نفت خام درون منطقه‌ای را نشان می­دهد.

****

**شکل 3:** گراف شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

مأخذ: یافته­های تحقیق

شکل 3 تجارت درون منطقه‌ای را به شکل روابط خود- حلقه و به رنگ سبز نشان می­دهد. همچنین، پیوندهای تجاری ضخیم­تر، نفت خام تجارت شده بیشتر را تبیین می­کند که در داخل و بین مناطق داد و ستد می­شود. در این راستا، سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه رتبه اول و کشورهای صادرکننده نفت اروپایی و خاورمیانه به ترتیب رتبه­های دوم و سوم را در حجم تجارت نفت خام درون منطقه‌ای به خود اختصاص داده­اند.

شکل 3 اطلاعات مهم دیگری نیز در مورد شبکه تجارت نفت خام منطقه‌ای ارائه می­دهد. یکی اینکه رئوس سمت چپ، مناطق صادرکننده خالص نفت خام و رئوس سمت راست، مناطق واردکننده خالص نفت خام را نشان می‌دهند. دوم اینکه، اندازه رئوس متناسب با صادرات خالص و واردات خالص مناطق تنظیم شده است؛ بنابراین، خاورمیانه بزرگ­ترین منطقه خالص صادرات نفت خام و چین و هند بزرگ‌ترین منطقه واردکننده خالص نفت خام در این شبکه هستند.

سوم اینکه، روابط به رنگ قهوه­ای روابط تجاری بین منطقه‌ای نفت خام انجام شده از طریق خط لوله را نشان می­دهند. به علاوه، روابط به رنگ آبی روشن مبین روابط تجاری نفت خام بین منطقه‌ای انجام شده از طریق دریا است. چهارم اینکه، ضخامت پیوندهای تجاری به نسبت حجم تجارت نفت خام بین منطقه‌ای است.

پنجمین نکته برگرفته از شکل (3) این است که چهار رابطه تجاری در شبکه تجارت نفت خام کنونی با بیشترین حجم تجارت که پیش­تر اشاره شد از طریق دریا صورت گرفته است. آخرین نکته نیز این است که صادرات اتحاد جماهیر شوروی به جز منطقه روسیه به سایر کشورهای اروپایی، سنگین‌ترین رابطه تجاری نفت خام انجام شده از طریق خط لوله است. به همین ترتیب، صادرات روسیه به منطقه اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه و همچنین صادرات کشورهای صادرکننده نفت آفریقا به سایر کشورهای آفریقایی به ترتیب در جایگاه دوم و سوم روابط تجاری انجام شده از طریق خط لوله قرار دارند.

انتشار گاز کربن در شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

حجم تجارت نفت خام بین مناطق و فاصله بین آن­ها برای اندازه­گیری انتشار گاز کربن حاصل از توزیع انرژی فسیلی در کل جهان اهمیت دارد. جدول 4 اطلاعات مربوط به انتشار گاز کربن در شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام را خلاصه می­کند.

**جدول 4:** گاز کربن منتشر شده در شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **منطقه** | **نفت خام صادرشده منطقه** (تن-کیلومتر) | **کل کربن منتشرشده توسط منطقه** (گرم) | **کل کربن منتشر شده** (گرم) | **سهم هر منطقه از انتشار کربن (**درصد) | **میانگین کربن منتشر شده** (گرم) |
| کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام | 34/9E+11 | 33/1E+14 | 67/1E+15 | 96/7 | 39/1E+14 |
| سایر کشورهای آفریقایی | 55/7E+11 | 08/1E+14 | 48/6 |
| کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام | 92/2E+11 | 18/4E+13 | 50/2 |
| سایر کشورهای اروپایی | 14/3E+09 | 41/4E+11 | 03/0 |
| روسیه | 30/1E+12 | 80/1E+14 | 80/10 |
| چین و هند | 74/1E+10 | 49/2E+12 | 15/0 |
| آمریکای شمالی | 81/5E+11 | 32/8E+13 | 98/4 |
| آمریکای جنوبی | 65/1E+12 | 36/2E+14 | 16/14 |
| ایالات متحده | 09/1E+12 | 57/1E+14 | 39/9 |
| خاورمیانه | 77/4E+12 | 84/6E+14 | 98/40 |
| سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه | 73/6E+10 | 64/9E+12 | 58/0 |
| اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه | 19/3E+11 | 31/3E+13 | 98/1 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

همان‌طور که در جدول 4 مشاهده می­شود؛ روسیه، آمریکای جنوبی، ایالات متحده آمریکا و خاورمیانه بیشتر از میانگین انتشار کربن در شبکه تجارت نفت خام کنونی، گاز دی اکسید کرین منتشر می­کنند. دقت شود که بیشترین میزان انتشار گاز کربن مربوط به خاورمیانه است که حدود 41 درصد از کل انتشار کربن در شبکه تجارت را تشکیل می­دهد.

مصرف انرژی در شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

مصرف انرژی معمولاً بر حسب واحدهای لیتر دیزل یا مگا ژول گزارش می­شود. هر لیتر گازوئیل 68/2 کیلوگرم یا معادل آن 2680 گرم دی‌اکسید کربن تولید می­کند. بنابراین هر گرم دی‌اکسید کربن برابر با لیتر گازوئیل است. بر این اساس، مصرف انرژی هر منطقه در صادرات نفت خام برابر با خواهد بود. توجه شود که مخرج کسر بسته به نوع حمل‌ونقل متفاوت است. به عبارتی، در صورتی که نوع حمل‌ونقل دریایی باشد؛ گاز کربن دی‌اکسید منتشر شده و بنابراین مخرج کسر با 2680 برابر است. در صورتیکه نوع حمل‌ونقل به صورت خط لوله باشد؛ گاز متان منتشر می­شود و هر گرم متان معادل 25000 گرم گاز دی‌اکسید کرین است. درنتیجه، مخرج کسر فوق معادل 25000 می­شود؛ یعنی . جدول 5 اطلاعات مربوط به مصرف کل انرژی در هر منطقه بر حسب واحدهای لیتر دیزل و مگا ژول را ارائه می­دهد.

**جدول 5:** مصرف انرژی در شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **منطقه** | **انرژی مصرفی منطقه**  **(**لیتر-دیزل**)** | **انرژی مصرفی منطقه** (مگاژول) | **کل انرژی مصرفی** (مگاژول) | **سهم هر منطقه از کل انرژی مصرفی** (درصد) | **میانگین انرژی مصرفی** (مگاژول) |
| کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام | 92/4E+10 | 87/1E+12 | 34/2E+13 | 98/7 | 95/1E+12 |
| سایر کشورهای آفریقایی | 04/4E+10 | 53/1E+12 | 53/6 |
| کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام | 56/1E+10 | 92/5E+11 | 53/2 |
| سایر کشورهای اروپایی | 62/1E+08 | 16/6E+09 | 03/0 |
| روسیه | 55/6E+10 | 49/2E+12 | 62/10 |
| چین و هند | 30/9E+08 | 53/3E+10 | 15/0 |
| آمریکای شمالی | 10/3E+10 | 18/1E+12 | 03/5 |
| آمریکای جنوبی | 82/8E+10 | 35/3E+12 | 29/14 |
| ایالات متحده | 84/5E+10 | 22/2E+12 | 47/9 |
| خاورمیانه | 55/2E+11 | 70/9E+12 | 39/41 |
| سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه | 60/3E+09 | 37/1E+11 | 58/0 |
| اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه | 62/8E+09 | 27/3E+11 | 40/1 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

همانند توزیع انتشار کربن در بین مناطق، مصرف انرژی روسیه، آمریکای جنوبی، ایالات متحده آمریکا و خاورمیانه بالاتر از میانگین مصرف انرژی در شبکه کنونی تجارت نفت خام است. همچنین، خاورمیانه بیش از 41 درصد از کل مصرف انرژی در شبکه تجارت نفت خام را به خود اختصاص داده است. در مجموع، ویژگی­های اصلی شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه‌ای به شرح جدول 6 است.

**جدول 6:** ویژگی­های شبکه منطقه‌ای صادرات نفت خام

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| تعداد کشور/ منطقه تجاری | | | | | | | 12 | | | | | |
| تعداد روابط تجاری | | | | | | | 120 | | | | | |
| کل کربن منتشر شده (گرم) | | | | | | | 67/1E+15 | | | | | |
| کل انرژی مصرفی (مگا ژول) | | | | | | | 34/2E+13 | | | | | |
| **کربن منتشر شده توسط هر منطقه** (گرم)\* | | | | | | | | | | | | |
| م. 1 | م. 2 | م. 3 | م. 4 | م. 5 | م. 6 | م. 7 | | م. 8 | م. 9 | م. 10 | م. 11 | م. 12 |
| 33/1E+14 | 08/1E+14 | 18/4E+13 | 41/4E+11 | 80/1E+14 | 49/2E+12 | 32/8E+13 | | 36/2E+14 | 57/1E+14 | 84/6E+14 | 64/9E+12 | 31/3E+13 |
| **انرژی مصرفی هر منطقه** (مگاژول)\* | | | | | | | | | | | | |
| م. 1 | م. 2 | م. 3 | م. 4 | م. 5 | م. 6 | م. 7 | | م. 8 | م. 9 | م. 10 | م. 11 | م. 12 |
| 87/1E+12 | 53/1E+12 | 92/5E+11 | 16/6E+09 | 49/2E+12 | 53/3E+10 | 18/1E+12 | | 35/3E+12 | 22/2E+12 | 70/9E+12 | 37/1E+11 | 27/3E+11 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

\* منظور از م. منطقه است. به این ترتیب، مناطق عبارت‌اند از: منطقه 1: کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه 2: سایر کشورهای آفریقایی؛ منطقه 3: کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه 4: سایر کشورهای اروپایی؛ منطقه 5: روسیه؛ منطقه 6: چین و هند؛ منطقه 7: آمریکای شمالی؛ منطقه 8: آمریکای جنوبی؛ منطقه 9: ایالات متحده آمریکا؛ منطقه 10: خاورمیانه؛ منطقه 11: سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه؛ منطقه 12: اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه.

* + 1. شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام-شبکه بهینه

مشخصات کلی شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای بر اساس روش توضیح داده شده در فصل ششم به دست آمده است. شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای شامل 12 رأس (منطقه) و 23 پیوند تجاری است. 23 رابطه تجاری از 14 رابطه تجاری بین منطقه‌ای و 9 پیوند تجاری درون منطقه‌ای تشکیل شده است. توزیع روابط تجاری درون منطقه‌ای تا حدودی با شبکه اصلی تجارت منطقه‌ای نفت خام که در بخش قبل توضیح داده شد، متفاوت است.

به عنوان مثال، برخلاف شبکه اصلی تجارت منطقه‌ای نفت خام، کشورهای صادرکننده نفت در حوزه خاورمیانه و آفریقا، تقاضای نفت خام خود را تأمین نمی­کنند. از سوی دیگر، آمریکا و چین و هند تقاضای نفت خام خود را پوشش می­دهند. از سوی دیگر، اگرچه ایالات متحده آمریکا، چین و هند واردکنندگان خالص در شبکه تجارت نفت خام منطقه‌ای هستند؛ اما نیاز خود را (در کنار تأمین از طریق دو منطقه دیگر) تأمین می­کنند. به طور خاص ایالات متحده، نفت خام را از آمریکای شمالی و جنوبی وارد می­کند و خاورمیانه مقدار قابل توجهی از تقاضای انرژی چین و هند را تأمین می­نماید.

شکل­های 4 و5 به ترتیب ماتریس الحاقی با ابعاد 12 در 12 شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای و گراف مربوطه را نشان می­دهند.



**شکل 4:** ماتریس الحاقی شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

مأخذ: یافته­های تحقیق

در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای، بیشترین حجم نفت خام از خاورمیانه به چین و هند صادر می‌شود که در میان پیوندهای تجاری سنگین در شبکه اصلی جایگاه دوم را به خود اختصاص داده است. صادرات نفت خام روسیه به سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه دومین رابطه تجاری سنگین نفت خام در شبکه بهینه است. تجارت نفت خام بین خاورمیانه و سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه و صادرات آمریکای شمالی به ایالات متحده به ترتیب جایگاه سوم و چهارم را در میان پیوندهای تجاری سنگین در شبکه بهینه دارند.

****

**شکل 5:** گراف شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

مأخذ: یافته­های تحقیق

همانند گراف شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه­ای، پیوندهای تجاری ضخیم­تر در شکل 5 مبین حجم بیشتر نفت خام معامله شده در داخل و بین مناطق است. در این راستا، آمریکا رتبه اول و سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه و کشورهای صادرکننده نفت اروپایی به ترتیب رتبه­های دوم و سوم را در حجم تجارت نفت خام درون منطقه‌ای به خود اختصاص داده­اند.

برخلاف شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه­ای، فراوانی پیوندهای تجاری در شبکه بهینه به شدت کاهش یافته است. ماتریس الحاقی پراکنده[[217]](#footnote-217) در شکل 4 و نمودار شبکه به نسبت خلوت در شکل 5 شاهدی بر این امر هستند.

اندازه رئوس در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای همانند شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه‌ای است. این موضوع مبین آن است که خالص واردات و صادرات در شبکه بهینه معادل خالص واردات و صادرات در شبکه کنونی فرض می‌شود. به این ترتیب، خاورمیانه بزرگ‌ترین منطقه از نظر خالص صادرات نفت خام و چین و هند اصلی­ترین منطقه واردکننده خالص نفت خام در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای هستند.

از آنجایی که ضخامت پیوندهای رسم شده متناسب با حجم تجارت نفت خام بین مناطق است، شکل 5 نشان می‌دهد که نفت خام صادر شده از خاورمیانه به چین و هند به مراتب قوی­ترین پیوند تجاری در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای است. این موضوع در شکل (4) با روشن­ترین رنگ درایه ماتریس الحاقی نشان داده شده است.

از نظر نوع جابه‌جایی نفت خام توجه شود که مطابق شکل 5، تجارت نفت خام عمدتاً از طریق دریا صورت می­گیرد. همچنین، تنها دو پیوند تجاری از طریق مسیرهای خط لوله در شبکه بهینه تجارت نفت خام انجام می­شود. به طور خاص، صادرات اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه به سایر کشورهای اروپایی و دیگر کشورهای آفریقایی به کشورهای صادرکننده نفت آفریقا تنها دو مسیر تجاری از طریق خط لوله در این شبکه هستند.

انتشار گاز کربن در شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

همانند شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه­ای، نفت خام صادر شده و کل کربن منتشر شده توسط هر منطقه و سهم انتشار کربن هر منطقه در شبکه بهینه تجارت نفت خام در جدول 7 آورده شده است.

**جدول 7:** گاز کربن منتشر شده در شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

| منطقه | **نفت خام صادرشده منطقه** (تن-کیلومتر) | **کل کربن منتشرشده توسط منطقه** (گرم) | **کل کربن منتشرشده** (گرم) | **سهم هر منطقه از انتشار کربن** (درصد) | **میانگین کربن منتشرشده** (گرم) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام | 80/6E+11 | 74/9E+13 | 12/1E+15 | 70/8 | 33/9E+13 |
| سایر کشورهای آفریقایی | 22/4E+11 | 04/6E+13 | 39/5 |
| کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام | 39/9E+10 | 35/1E+13 | 21/1 |
| سایر کشورهای اروپایی | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| روسیه | 85/1E+12 | 65/2E+14 | 66/23 |
| چین و هند | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| آمریکای شمالی | 01/2E+11 | 88/2E+13 | 57/2 |
| آمریکای جنوبی | 99/9E+11 | 43/1E+14 | 77/12 |
| ایالات متحده | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| خاورمیانه | 49/3E+12 | 00/5E+14 | 64/44 |
| سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه | 62/1E+11 | 09/1E+13 | 97/0 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

میزان کربن منتشرشده توسط خاورمیانه، روسیه، آمریکای جنوبی و کشورهای صادرکننده نفت آفریقایی، بالاتر از میانگین انتشار کربن در شبکه بهینه تجارت نفت خام است. برخلاف شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه‌ای، انتشار کربن ایالات متحده در شبکه بهینه نه تنها کمتر از مقدار متوسط است بلکه کربن در تجارت منطقه‌ای منتشر نمی‌کند،[[218]](#footnote-218) زیرا در شبکه تجارت بهینه نفت خام، ایالات متحده تأمین­کننده نفت خام مناطق دیگر نیست.

مصرف انرژی در شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

جدول 8 مصرف انرژی در هر منطقه را بر حسب واحد لیتر- دیزل و مگاژول در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای نشان می­دهد.

**جدول 8:** مصرف انرژی در شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

| **منطقه** | **انرژی مصرفی منطقه** (لیتر-دیزل) | **انرژی مصرفی منطقه** (مگاژول) | **کل انرژی مصرفی** (مگاژول) | **سهم هر منطقه از کل انرژی مصرفی** (درصد) | **میانگین انرژی مصرفی** (مگاژول) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام | 63/3E+10 | 38/1E+12 | 57/1E+13 | 79/8 | 31/1E+12 |
| سایر کشورهای آفریقایی | 25/2E+10 | 57/8E+11 | 46/5 |
| کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام | 02/5E+09 | 91/1E+11 | 22/1 |
| سایر کشورهای اروپایی | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| روسیه | 88/9E+10 | 75/3E+12 | 89/23 |
| چین و هند | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| آمریکای شمالی | 07/1E+10 | 08/4E+11 | 60/2 |
| آمریکای جنوبی | 34/5E+10 | 03/2E+12 | 93/12 |
| ایالات متحده | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| خاورمیانه | 87/1E+11 | 09/7E+12 | 16/45 |
| سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه | 00/0 | 00/0 | 00/0 |
| اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه | 37/4E+08 | 66/1E+10 | 11/0 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

مصرف انرژی کشورهای صادرکننده نفت آفریقایی، روسیه، آمریکای جنوبی و خاورمیانه مانند توزیع انتشار کربن در بین مناطق مختلف، بالاتر از میانگین در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای است. همچنین، خاورمیانه بیش از 45 درصد از کل مصرف انرژی در شبکه تجارت نفت خام را به خود اختصاص داده است.

* + 1. همبستگی بین شبکه موجود و شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

پس از به دست آوردن شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه­ای، تغییرات در الگوی تجارت موضوعی با اهمیت است. بر این اساس، در این بخش همبستگی بین شبکه‌های تجارت کنونی و بهینه نفت خام منطقه‌ای بررسی می­شود. شکل 6 شباهت بین دو شبکه را بر اساس حجم معاملات بین مناطق نشان می­دهد.

****

**شکل 6:** همبستگی بین شبکه‌های وزنی تجارت کنونی و بهینه منطقه‌ای نفت خام

مأخذ: یافته­های تحقیق

در صورتی که حجم تجارت (وزن روابط تجاری) اهمیت داشته باشد، الگوی تجارت در هر دو شبکه تقریباً مشابه خواهد بود. به عبارت دقیق­تر، همبستگی شبکه تجارت بهینه با شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه‌ای حدود 73 درصد است. به طور خاص، توزیع عمده تجارت نفت خام بین مناطق در شبکه تجارت بهینه مشابه شبکه تجاری کنونی است.

از طرفی، همان‌طور که اشاره شد تعداد روابط تجاری در شبکه بهینه نسبت به شبکه کنونی نفت خام به شدت کاهش می­یابد. برای برجسته کردن این موضوع، الگوی تجارت فارغ از حجم نفت خام تجارت شده (و به عبارتی، شبکه تجاری بدون وزن) در نظر گرفته می­شود. درنتیجه، همبستگی بین شبکه‌های تجارت نفت خام منطقه‌ای بهینه و کنونی دوتایی (بدون وزن) محاسبه می‌شود. شکل 7 الگوی رابطه تجاری در شبکه­های مذکور را نشان می­دهد.

****

**شکل 7:** همبستگی بین شبکه­های بدون وزن تجارت کنونی و بهینه منطقه‌ای نفتخام

مأخذ: یافته­های تحقیق

شکل 7 نشان می­دهد شباهت بین روابط تجاری در شبکه­های بهینه و کنونی نفت خام بسیار متفاوت است. به طور دقیق­تر، همبستگی بین دو شبکه بر حسب وجود یا عدم وجود پیوند تجاری تنها معادل 9­ درصد است؛ بنابراین، شبکه بهینه پراکنده خواهد بود و تعداد صفرهای زیاد در ماتریس الحاقی شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام با ناحیه سیاه در نمودار پایینی شکل 4 مبین این موضوع است.

علاوه بر تغییرات در الگوی تجارت نفت خام، تفاوت بین دو شبکه در خصوص انتشار کربن و مصرف انرژی نیز اهمیت دارد. در جدول 9 این اطلاعات با جزئیات خلاصه شده است.

**جدول 9:** مقایسه ویژگی­های شبکه کنونی و بهینه صادرات نفت خام منطقه­ای

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **تعداد کشور/ منطقه تجاری** | | | | | **12** | | | | | | | | | |
| **تعداد روابط تجاری** | | | | | شبکه موجود: 120 | | | شبکه بهینه: 23 | | | تغییرات\*: 83/80­% کاهش | | | |
| **کل کربن منتشر شده (گرم)** | | | | | شبکه موجود 67/1E+15 | | | شبکه بهینه 12/1E+15 | | | تغییرات: 93/32% کاهش | | | |
| **کل انرژی مصرفی (مگا ژول)** | | | | | شبکه موجود  34/2E+13 | | | شبکه بهینه 57/1E+13 | | | تغییرات: 91/32% کاهش | | | |
| مقایسه کربن منتشر شده توسط هر منطقه (درصد کاهش)\*\* | | | | | | | | | | | | | | |
| م. 1 | م. 2 | م. 3 | م. 4 | م. 5 | | م. 6 | م. 7 | | م. 8 | م. 9 | | م. 10 | م. 11 | م. 12 |
| **27** | 44 | 68 | 100 | 47 | | 100 | 65 | | 39 | 100 | | 27 | 100 | 67 |
| مقایسه انرژی مصرفی هر منطقه (درصد کاهش)\*\* | | | | | | | | | | | | | | |
| م. 1 | م. 2 | م. 3 | م. 4 | م. 5 | | م. 6 | م. 7 | | م. 8 | م. 9 | | م. 10 | م. 11 | م. 12 |
| **26** | 44 | 68 | 100 | 51 | | 100 | 65 | | 39 | 100 | | 27 | 100 | 95 |

مأخذ: یافته­های تحقیق

\*: منظور تغییرات در شبکه بهینه نسبت به شبکه موجود تجارت نفت خام منطقه‌ای است.

\*\*: منظور از م. منطقه است. به این ترتیب، مناطق عبارت‌اند از: منطقه 1: کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه 2: سایر کشورهای آفریقایی؛ منطقه 3: کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه 4: سایر کشورهای اروپایی؛ منطقه 5: روسیه؛ منطقه 6: چین و هند؛ منطقه 7: آمریکای شمالی؛ منطقه 8: آمریکای جنوبی؛ منطقه 9: ایالات متحده آمریکا؛ منطقه 10: خاورمیانه؛ منطقه 11: سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه؛ منطقه 12: اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه.

در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه­ای، تعداد روابط تجاری دوجانبه به شدت کاهش یافته است (حدود 81 درصد). این موضوع منجر به کاهش عمده (حدود 33 درصد) در انتشار کربن و همچنین مصرف انرژی در شبکه تجارت بهینه نفت خام منطقه‌ای می­شود و می­تواند تأثیر دوسویه داشته باشد.

از نظر مسائل زیست‌محیطی و اقتصاد سبز، انتشار کربن کمتر و مصرف انرژی منجر به سبز شدن بخش انرژی می‌شود. طبق برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل[[219]](#footnote-219) (2011) در اقتصاد سبز، انرژی پاک و فناوری­های سازگار با محیط‌زیست جایگزین برای سوخت­های فسیلی در دسترس است که منجر به رشد کشورها (از طریق ایجاد شغل) و بهبود بخش خارجی (از طریق کاهش وابستگی به واردات) می­شود.

از سوی دیگر به لحاظ امنیت انرژی، انتشار کربن کمتر ناشی از تنوع کمتر عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان نفت خام است؛ بنابراین، در صورتی که کشورها/ مناطق به نفت خام و سوخت‌های فسیلی وابسته باشند، هرگونه اختلال در عرضه نفت خام باعث آسیب به کشور/ منطقه مورد بررسی می‌شود (شهنازی و همکاران، 2023).

بنابراین، در مجموع تأثیر سیاست انتشار کربن کمتر دوسویه خواهد بود و برای حداقل آسیب ساختاری، جایگزینی انرژی پاک و فناوری‌های انتشار کربن پایین جهت کاهش وابستگی به سوخت فسیلی نیاز است.

مقایسه منطقه‌ای بین شبکه کنونی و شبکه بهینه تجارت نفت خام نشان می­دهد که به‌جز روسیه، تمامی مناطق انتشار کربن و کاهش مصرف انرژی را در شبکه بهینه تجارت نفت خام تجربه می­کنند. صادرات نفت خام روسیه (بر حسب تن- کیلومتر) در شبکه بهینه نسبت به شبکه کنونی 42 درصد افزایش داشته است. همچنین برخلاف شبکه فعلی، در شبکه تجارت بهینه نفت خام شرکای روسیه متنوع نیستند و تنها تقاضای نفت خام یک منطقه (منطقه سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه) را تأمین می­کنند.

از دیگر مسائل مورد توجه شبکه بهینه تجارت نفت خام، این که نقش برخی از مناطق به طور کامل تغییر کرده است؛ به عبارت دیگر، منطقه سایر کشورهای اروپایی در شبکه اصلی تجارت، همزمان نقش تقاضاکننده و توزیع­کننده تجارت نفت خام را ایفا می­کند؛ اما در شبکه بهینه، این منطقه تنها بخشی از تقاضای نفت خام خود را تأمین و نقش واردکننده را در شبکه بهینه تجارت نفت خام ایفا می‌نماید. بنابراین، انتشار کربن و مصرف انرژی منطقه سایر کشورهای اروپایی در صادرات نفت خام برابر با صفر بوده و درنتیجه انتشار کربن و مصرف انرژی آن در شبکه تجارت بهینه 100 درصد کاهش می­یابد.

منطقه چین و هند مورد خاص دیگر در این زمینه است. در شبکه اصلی، چین و هند هر دو نقش واردکننده و صادرکننده را با مشارکت بسیار متنوع در هر دو طرف تجاری دارند. این در حالی است که در شبکه بهینه، چین و هند تنها نقش واردکننده را ایفا می­کند و خاورمیانه تنها تأمین­کننده نفت خام این منطقه است. این موضوع یک سیاست دشوار برای منطقه چین و هند در زمینه امنیت انرژی و انعطاف­پذیری خواهد بود (شهنازی و همکاران، 2023). از سوی دیگر، از مسائل مربوط به تغییرات اقلیمی در شبکه تجارت بهینه، انتشار کربن و مصرف انرژی چین و هند صفر است که نشان­دهنده کاهش 100 درصدی انتشار کربن در شبکه بهینه می­باشد.

ایالات متحده آمریکا سومین منطقه با کاهش 100 درصدی انتشار کربن در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای است. در شبکه اصلی، ایالات متحده آمریکا یک واردکننده خالص بود، اگرچه تأمین­کننده نفت خام بسیاری از مناطق دیگر به جز خودش نیز بوده است. در مقابل، در بین تمام مناطق در شبکه بهینه، ایالات متحده آمریکا تنها منطقه‌ای است که عمده تقاضای خود را تأمین می­کند. همانند دو منطقه دیگر بررسی­شده در بالا، ایالات متحده نقش واردکننده خالص را ایفا می­کند و درنتیجه، انتشار کربن و مصرف انرژی آن در شبکه بهینه برابر با صفر است.

سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه آخرین منطقه با انتشار کربن صفر در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای است. این منطقه تأمین‌کننده قابل توجهی برای سایر مناطق در شبکه اصلی نبوده و تنها نقش واردکننده را در شبکه بهینه ایفا می­کند. این به معنی کاهش 100 درصد انتشار کربن آن در شبکه بهینه است.

درنهایت، مقایسه تغییرات در انتشار کربن و مصرف انرژی مورد توجه است. طبق جدول 9، تغییرات انتشار کربن و مصرف انرژی برای همه مناطق به جز اتحاد جماهیر شوروی به غیر از روسیه تقریباً یکسان است. این موضوع به دلیل این واقعیت است که نوع جابجایی نفت خام (دریایی یا خط لوله) در شبکه اصلی و بهینه تقریباً برای همه مناطق بدون تغییر باقی می­ماند. این در حالی است که تجارت نفت خام اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه تنها از طریق نوع حمل‌ونقل خط لوله (داخلی) انجام می‌شود که گاز دی‌اکسید کرین کمتری تولید می­کند؛ بنابراین صادرات نفت خام این منطقه در شبکه تجارت بهینه ۴۹ درصد کاهش می­یابد که همراه با کاهش ۶۷ درصدی انتشار کربن و ۹۵ درصدی کاهش مصرف انرژی است.

* + 1. شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شکاف بین شبکه موجود و بهینه

بخش‌های پیشین، شبکه‌های اصلی و بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای را مطالعه و تفاوت‌های آن­ها را از نظر تعداد روابط، انتشار گاز کربن و مصرف انرژی ارزیابی کردند. این بخش روابط تجاری حذف شده از شبکه موجود و نادیده گرفته شده در شبکه بهینه را بررسی می­کند. شکل (8) شکاف بین دو شبکه را نشان می­دهد.

****

**شکل 8:** شکاف بین شبکه بهینه و شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه­ای

مأخذ: یافته­های تحقیق

در بین تمامی 9 رابطه تجاری درون منطقه‌ای شبکه اصلی، شبکه بهینه دو مورد از آن­ها، یعنی تجارت درون منطقه‌ای آمریکای جنوبی و کشورهای صادرکننده نفت آفریقا را نادیده می­گیرد. همچنین دو مورد از 14 رابطه تجاری از طریق خط لوله در شبکه تجارت بهینه باقی می­مانند که باعث کاهش 86 درصدی در نوع تجارت خط لوله شبکه بهینه شده است. علاوه بر این، 85 درصد از پیوندهای آبی در شبکه تجاری بهینه حذف می­شوند که این نوع حمل و نقل نفت خام (حمل و نقل دریایی)، بیشترین میزان مصرف انرژی را دارد.

از نظر جنبه هزینه مالی، شکاف بین دو شبکه برابر با 58/212 میلیارد دلار است. به عبارتی، بیش از 32 درصد کاهش هزینه مالی در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای رخ می­دهد. لازم به ذکر است که هزینه مالی از ضرب متوسط قیمت جهانی سوخت در سال 2018 (دلار به ازاء هر لیتر دیزل) در انرژی مصرفی جهت جابجایی نفت خام بین مناطق (بر حسب لیتر-دیزل) به دست می­آید. جدول (10) تجزیه و تحلیل هزینه‌های مالی را به طور دقیق­تر ارائه می­کند.

**جدول 10:** هزینه مالی در شبکه تجارت نفت خام منطقه‌ای کنونی و بهینه (میلیارد دلار)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **منطقه** | **شبکه بهینه** | | | **شبکه کنونی** | | | مقایسه منطقه‌ای هزینه مالی در شبکه بهینه و شبکه موجود  (درصد) |
| مصرف انرژی  (لیتر-دیزل) | هزینه مالی  (میلیارد دلار) | کل هزینه مالی (میلیارد دلار) | مصرف انرژی (لیتر-دیزل) | هزینه مالی (میلیارد دلار) | کل هزینه مالی (میلیارد دلار) |
| کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام | 63/3E+10 | 12/38 | 86/434 | 92/4E+10 | 66/51 | 44/647 | 22/26- |
| سایر کشورهای آفریقایی | 25/2E+10 | 63/23 | 04/4E+10 | 42/42 | 31/44- |
| کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام | 02/5E+09 | 27/5 | 56/1E+10 | 38/16 | 82/67- |
| سایر کشورهای اروپایی | 00/0 | 00/0 | 62/1E+08 | 17/0 | 100- |
| روسیه | 88/9E+10 | 74/103 | 55/6E+10 | 78/68 | 81/50 |
| چین و هند | 00/0 | 00/0 | 30/9E+08 | 98/0 | 100- |
| آمریکای شمالی | 07/1E+10 | 24/11 | 10/3E+10 | 55/32 | 48/65- |
| آمریکای جنوبی | 34/5E+10 | 07/56 | 82/8E+10 | 61/92 | 46/39- |
| ایالات متحده | 00/0 | 00/0 | 84/5E+10 | 32/61 | 100- |
| خاورمیانه | 87/1E+11 | 35/196 | 55/2E+11 | 75/267 | 67/26- |
| سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه | 00/0 | 00/0 | 60/3E+09 | 78/3 | 100- |
| اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه | 37/4E+08 | 46/0 | 62/8E+09 | 05/9 | 93/94- |
| مقایسه کل هزینه مالی در شبکه بهینه و شبکه موجود (درصد) | | | | 83/32- | | |  |

مأخذ: یافته­های تحقیق

هزینه مالی حمل‌ونقل نفت خام در شبکه تجاری بهینه 83/32 درصد کمتر از شبکه موجود است. همه مناطق به‌جز روسیه از نظر هزینه مالی حمل‌ونقل نفت خام در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه­ای، صرفه‌جویی قابل توجهی (بازه تغییرات ) دارند. کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت و خاورمیانه کمترین میزان صرفه­جویی را تجربه می­کنند، در حالی که سایر کشورهای اروپایی، چین و هند ایالات متحده و دیگر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه می­توانند هزینه‌های مالی خود را به طور کامل کاهش دهند. در مجموع، نتایج مطابق جدول 10 مبین آن است که مصرف انرژی، هزینه مالی مرتبط با مصرف انرژی و انتشار کربن ناشی از حمل و نقل نفت خام در شبکه بهینه تجارت نفت خام کمتر از شبکه موجود خواهد بود.

* 1. نتیجه‌گیری و پیشنهاد‌های تحلیل هزینه‌های زیست­محیطی و مالی شبکه تجارت نفت

در اینجا یک تحلیل جامع از تفاوت‌های بین شبکه تجارت نفت موجود و شبکه بهینه از نظر مصرف انرژی، انتشار کربن و هزینه مالی ارائه شد. نتایج نشان می­دهد که شبکه بهینه پتانسیل کاهش قابل توجه (حدود 33­%) مصرف انرژی جهانی، هزینه مالی تجارت نفت خام و انتشار کربن را دارد. با وجود این پتانسیل، شبکه تجارت فعلی نفت تحت تأثیر عوامل غیر زیست‌محیطی مانند تحریم­های تجاری بین­المللی است که مانع پیشرفت به سمت شبکه بهینه می­شوند.

تجزیه و تحلیل انجام شده حاکی از تضاد قابل توجه بین شبکه موجود و بهینه تجارت نفت خام است. شبکه کنونی به دلیل مسیریابی ناکارآمد و محدودیت­های تجاری بین کشورها، مصرف انرژی و ردپای انتشار کربن بالاتری دارد. در مقابل، شبکه بهینه این عوامل را به حداقل رسانده و درنتیجه ردپای زیست‌محیطی به میزان قابل توجهی در آن کاهش می­یابد.

با این حال، توجه به این نکته ضروری است که الگوی شبکه بهینه تنها بر اساس به حداقل رساندن مصرف انرژی و انتشار کربن ساخته شده است و پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های دنیای واقعی را در نظر نمی‌گیرد. روابط سیاسی، توافق‌های اقتصادی، محدودیت‌های لجستیکی و در دسترس بودن زیرساخت­ها عوامل مهمی هستند که شبکه موجود را شکل می‌دهند و می‌توانند موانعی را برای دستیابی به شبکه بهینه ایجاد کنند.

تحریم­های تجارت بین­الملل نمونه بارز چنین موانعی است، زیرا می­تواند شبکه تجارت نفت را به طور قابل توجهی مختل و کشورها را مجبور به تهیه نفت از منابع کمتر کارآمد یا دورتر کند؛ و درنهایت منجر به افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن شود. تجزیه و تحلیل نتایج همچنین تنش بین ملاحظات سیاسی و کارایی زیست‌محیطی را برجسته می­کند، زیرا تحریم­ها می­توانند باعث انحراف قابل توجه از شبکه بهینه شوند.

نتایج الگوی پیشنهادی می­تواند برای توسعه سیاست­های خارجی در حوزه انرژی قابل توجه باشد. یافته‌های تحقیق بر نیاز به یک رویکرد جامع که عوامل محیطی و همچنین عوامل اقتصادی و سیاسی را در هنگام توسعه سیاست‌های تجارت بین‌المللی در نظر می‌گیرد، تأکید می‌کند. برای پیشبرد به سمت شبکه بهینه، تغییرات سیاستی در سطح بین­المللی و ملی نیز مورد نیاز است.

در سطح بین‌المللی، نیاز به توافق‌های چندجانبه وجود دارد که کارایی زیست‌محیطی در تجارت نفت را در اولویت قرار دهد. هدف توافقنامه­های بین­المللی، کاهش موانع تجاری به‌ویژه موانعی است که منجر به مسیریابی ناکارآمد تجارت نفت می­شود؛ بنابراین، سازمان­های بین­المللی مانند سازمان تجارت جهانی می­توانند نقش حیاتی در تسهیل این توافقات ایفا کنند.

موضوع تحریم­های تجاری بین­المللی نیازمند توجه ویژه است. اگرچه تحریم­ها ابزارهای مفیدی برای اجرای هنجارهای بین­المللی هستند، نتایج این تحقیق نشان می­دهد که تحریم­ها با بر هم زدن قاعده تجارت بر اساس فاصله و منابع نفتی می­توانند هزینه‌های زیست­محیطی و همچنین هزینه‌های قابل توجهی داشته باشند. از این رو، سیاستگذاران هنگام تصمیم­گیری در مورد تحریم­ها باید به دقت این هزینه­ها را در نظر بگیرند و جایگزین­هایی که بدون ایجاد اختلال در شبکه تجارت نفت به اهداف سیاسی مشابهی دست می­یابند را مورد بررسی قرار دهند.

روش بهینه‌سازی که در اینجا بیان شده است نه تنها درک ما را از پویایی پیچیده بازار جهانی نفت افزایش می‌دهد بلکه بینش‌های عملی را برای سیاست‌گذاران، فعالان حوزه صنعت و محققان با هدف بهبود کارایی، انعطاف‌پذیری و پایداری شبکه‌های تجارت نفت خام ارائه می‌دهد.

در نتیجه، شکاف بین شبکه تجارت نفت خام موجود و بهینه فرصتی برای پیشرفت است. با تغییر سیاست­های متفکرانه و همکاری بین­المللی می­توان به سمت شبکه تجارت نفت کارآمدتر و دوست­دار محیط‌زیست پیش رفت. اگرچه عزیمت به سمت شبکه بهینه ممکن است چالش‌برانگیز باشد؛ اما مزایای بالقوه کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن، آن را به یک موضوع مطالعه با ارزش تبدیل می­کند.

فصل هفتم

عوامل شکل‌دهنده ساختار، اتصال و پایداری شبکه تجارت نفت

1. عوامل شکل‌دهنده ساختار، اتصال و پایداری شبکه تجارت نفت

مقدمه

شبکه تجارت جهانی نفت نقش حیاتی در تسهیل انتقال نفت خام و فرآورده‌های نفتی در سراسر مناطق ایفا می‌کند و کشورهای تولیدکننده نفت را با کشورهای مصرف‌کننده نفت مرتبط می‌نماید. این شبکه یک سیستم پیچیده است که با شبکه‌ای از بازیگران به هم پیوسته ازجمله تولیدکنندگان نفت، بازرگانان، پالایشگاه‌ها و مصرف‌کنندگان مشخص می‌شود. ساختار آن تحت تأثیر عوامل متعددی از ملاحظات ژئوپلیتیکی و نیروهای اقتصادی گرفته تا پیشرفت‌های تکنولوژیکی و چارچوب‌های نظارتی است. با بررسی همه‌جانبه این عوامل، می‌توان بینشی در مورد چگونگی شکل‌دهی آنها به ساختار شبکه تجارت نفت و تأثیرگذاری بر پویایی عملیاتی آن به دست آورد.

علاوه بر این، ارتباط در شبکه تجارت نفت شامل انواع مختلفی از حمل‌ونقل مانند خطوط لوله، تانکرها، راه‌آهن و کشتی‌های نفت‌کش است که مناطق تولیدکننده نفت را با مراکز مصرف در سطح جهانی مرتبط می‌کند. کارایی، قابلیت اطمینان و ظرفیت این مسیرهای حمل‌ونقل در تضمین جریان روان نفت و حفظ پایداری شبکه بسیار مهم بوده و درک عوامل تعیین‌کننده اتصال در شبکه تجارت نفت برای ارزیابی آسیب‌پذیری‌ها، شناسایی تنگناهای بالقوه و ابداع استراتژی‌هایی برای افزایش کارایی آن ضروری است.

ثبات یک جنبه کلیدی از شبکه تجارت نفت است، زیرا اختلال در عرضه یا مسیرهای تجاری می‌تواند پیامدهای مهمی برای بازارهای جهانی انرژی داشته باشد. عوامل متعددی بر ثبات شبکه تأثیر می‌گذارد، ازجمله ثبات سیاسی در مناطق نفت‌خیز، درگیری‌ها و خطرات امنیتی، نوسانات اقتصادی و نگرانی‌های زیست‌محیطی. تجزیه و تحلیل این عوامل بینش‌های ارزشمندی را در مورد آسیب‌پذیری‌ها و انعطاف‌پذیری شبکه تجارت نفت ارائه می‌کند و ذینفعان را قادر می‌سازد تا استراتژی‌هایی برای کاهش خطرات و اطمینان از جریان بی‌وقفه نفت طراحی کنند. برای دستیابی به درک جامعی از عوامل شکل‌دهنده ساختار، اتصال و پایداری شبکه تجارت نفت، این فصل از یک تحلیل چندبعدی شامل ابعاد ژئوپلیتیکی، اقتصادی، فناوری، نظارتی و زیست‌محیطی با هدف ارائه دیدگاهی جامع از پویایی‌های پیچیده تأثیرگذار بر شبکه تجارت نفت استفاده می‌کند.

* 1. عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت

عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت شامل ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادیه همکاری منطقه‌ای، در دسترس بودن منابع و ذخایر و توسعه زیرساخت و اتصال می‌باشد که در ادامه به بررسی هر یک می‌پردازیم.

* + 1. ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای

ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای نقش مهمی در شکل دادن به پویایی شبکه تجارت نفت دارند. این عوامل بر روابط تجاری و اتحادهای استراتژیک بین کشورها تأثیر می‌گذارد. ملاحظات ژئوپلیتیکی اغلب با کنترل نقاط اتصال استراتژیک مانند تنگه هرمز، باب المندب و تنگه مالاکا مرتبط می‌شود. این نقاط استراتژیک برای حمل‌ونقل نفت حیاتی هستند و کشورهایی که بر آنها کنترل یا نفوذ دارند می‌توانند اهرم قابل توجهی بر شبکه تجارت جهانی نفت اعمال کنند. اختلافات یا درگیری‌ها در این مناطق می‌تواند حمل‌ونقل نفت را مختل کرده، مسیرهای تجاری و امنیت انرژی جهانی را تحت تأثیر قرار دهد.

ملاحظات ژئوپلیتیک همچنین زمانی مطرح می‌شود که مسیرهای تجارت نفت شامل کشورهای ترانزیتی شوند. این کشورها ممکن است نفوذ قابل توجهی بر حمل و نقل نفت از طریق سرزمین‌های خود داشته باشند و به آنها اهرمی در مذاکرات بدهد تا به طور بالقوه بر جریان‌های تجاری تأثیر بگذارند. به عبارتی سیاست­های مرتبط با خط لوله، توافقات و اختلافات می‌تواند بر جریان تجارت نفت و درنتیجه شبکه تجارت نفت مؤثر باشد. ملاحظات ژئوپلیتیکی بر ارزیابی ریسک انجام شده توسط شرکت‌های نفتی و سرمایه‌گذاران نیز تأثیر می‌گذارد. ثبات سیاسی، درگیری‌ها و تنش‌های منطقه‌ای عوامل کلیدی هستند که بر تصمیمات سرمایه‌گذاری در مناطق نفت‌خیز مؤثرند. ریسک‌های ژئوپلیتیکی می‌توانند بر در دسترس بودن سرمایه‌گذاری، توسعه میادین نفتی و ثبات کلی شبکه تجارت نفت تأثیرگذار باشند.

قابل ذکر است که ملاحظات ژئوپلیتیکی با رقابت برای منابع نفتی در هم تنیده شده است. کشورهای با ذخایر قابل توجه نفت، دارای نفوذ ژئوپلیتیک قابل توجهی هستند. دسترسی و کنترل بر این منابع می‌تواند پویایی قدرت منطقه‌ای را شکل داده و شبکه تجارت نفت را تحت تأثیر قرار دهد. رقابت برای منابع نفتی می‌تواند منجر به تنش و درگیری و یا اتحاد بین کشورهایی شود که به دنبال تأمین منافع انرژی خود هستند. اتحادهای منطقه‌ای و موافقت‌نامه‌های همکاری انرژی برای تقویت امنیت انرژی و ارتقای منافع اقتصادی شکل می‌گیرند. این اتحادها اغلب کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت در یک منطقه خاص را شامل می‌شود. آنها می‌توانند توسعه زیرساخت‌ها، پروژه‌های مشترک اکتشاف و تولید و دستیابی به موافقت‌نامه‌های تجاری نفت را تسهیل کنند. اتحادهای منطقه‌ای می‌توانند ثبات و دسترسی به بازار را افزایش داده و همکاری در شبکه تجارت نفت را تقویت نمایند.

از طرفی درگیری‌های ژئوپلیتیکی و اعمال تحریم‌ها می‌تواند تأثیر عمیقی بر شبکه تجارت نفت داشته باشد. درگیری در مناطق تولیدکننده نفت یا بین کشورهای عمده تولیدکننده نفت می‌تواند زنجیره تولید و عرضه را مختل کرده و منجر به نوسان قیمت و اختلال در عرضه شود. همچنین تحریم‌های اعمال شده بر کشورهای تولیدکننده نفت می‌تواند توانایی آنها را برای صادرات نفت محدود کرده و بر بازارهای جهانی نفت تأثیر بگذارد.

توجه به این نکته ضروری است که ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای پیچیده و چندوجهی هستند. آنها در مناطق مختلف متفاوت بوده و در طول زمان با تغییر پویایی‌های ژئوپلیتیکی تکامل می‌یابند. درک این عوامل برای تحلیل شبکه تجارت نفت و پیش‌بینی تأثیرات احتمالی رویدادهای ژئوپلیتیکی بر بازارهای جهانی انرژی و روابط تجاری بسیار مهم است.

* 1. در دسترس بودن منابع و ذخایر

در دسترس بودن منابع و ذخایر، عامل ساختاری حیاتی است که به طور قابل توجهی بر شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد. فراوانی یا کمبود ذخایر نفت در مناطق مختلف روابط تجاری را شکل داده، بر پویایی بازار اثربخش بوده و امنیت انرژی کشورها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در دسترس بودن ذخایر نفت به طور مستقیم بر عرضه و تقاضای جهانی نفت مؤثر است. کشورهایی که ذخایر نفتی قابل توجهی دارند، بالقوه صادرکنندگان عمده نفت بوده و کشورهایی که ذخایر محدودی دارند عموماً به واردات نفت متکی هستند. توزیع ذخایر نفت در سراسر مناطق، اهمیت نسبی کشورهای مختلف را در شبکه تجارت جهانی نفت تعیین می‌کند.

کشورهایی که دارای ذخایر نفت فراوان هستند، از امنیت انرژی بیشتری برخوردارند زیرا دارای منبع تأمین قابل اعتمادی هستند. آنها کمتر به واردات نفت وابسته بوده و موقعیت بهتری برای مقاومت در برابر اختلالات عرضه جهانی یا نوسانات قیمت دارند. برعکس، کشورهای دارای ذخایر محدود، شدیداً به واردات نفت متکی­اند که آنها را در برابر خطرات ژئوپلیتیکی، نوسانات بازار و اختلالات احتمالی عرضه آسیب‌پذیرتر می‌کند؛ بنابراین در دسترس بودن منابع بر روابط تجاری و اتحاد بین کشورها تأثیرگذار است. کشورهای واردکننده نفت به دنبال تأمین‌کنندگان باثبات و قابل اعتماد بوده و اغلب قراردادهای بلندمدت منعقد می‌کنند یا با کشورهای صادرکننده نفت ائتلاف‌های استراتژیک تشکیل می‌دهند. همچنین کشورهای دارای ذخایر قابل توجه نفت می‌توانند از منابع خود برای ایجاد روابط اقتصادی و سیاسی، شکل دادن به شبکه‌های تجاری منطقه‌ای و تقویت همکاری در بخش تجارت نفت استفاده کنند. لازم به ذکر است که در دسترس بودن ذخایر نفت بر رقابت بازار و تعیین قیمت در شبکه تجارت جهانی نفت مؤثر است. کشورهای دارای ذخایر فراوان مانند عربستان سعودی یا روسیه، توانایی تأثیرگذاری بر قیمت نفت را از طریق سطح تولید و سهم بازار دارند. اقدامات آنها می‌تواند بر سودآوری تولیدکنندگان نفت، مقرون به صرفه بودن نفت برای مصرف‌کنندگان و ثبات کلی بازار نفت اثربخش باشد.

در دسترس بودن منابع، سرمایه‌گذاری و فعالیت‌های اکتشافی در صنعت نفت را هدایت می‌کند. کشورهایی که ذخایر قابل توجهی دارند عموماً سرمایه‌گذاری‌های حوزه­های اکتشاف، تولید و توسعه زیرساخت‌ها را جذب می‌نمایند؛ زیرا شرکت‌های نفتی و سرمایه‌گذاران به دنبال فرصت‌هایی در مناطقی با ذخایر بکر هستند. در مقابل، کشورهایی با ذخایر محدود نفت ممکن است به دنبال کشف انرژی­های جایگزین بوده یا در فناوری­هایی سرمایه‌گذاری کنند تا برداشت نفت از میادین موجود را افزایش دهند. در این میان پیشرفت‌های تکنولوژیک نقش مهمی در ارزیابی و بهره‌برداری از ذخایر نفت ایفا می‌کنند. تکنیک‌های بهبود یافته اکتشاف، روش‌های بهبود یافته بازیابی و پیشرفت‌ها در فن‌آوری‌های استخراج می‌تواند قفل ذخایر غیر قابل دسترس قبلی را باز کرده، ظرفیت استخراج بالفعل منابع را گسترش داده و پویایی شبکه تجارت نفت را تغییر دهد. پیشرفت فن‌آوری همچنین بر مقرون به‌صرفه بودن تولید و حمل‌ونقل تأثیر گذاشته و بر الگوهای تجارت و رقابت در بازار مؤثر است.

* 1. توسعه زیرساخت و اتصال

توسعه زیرساخت ارتباطات، عامل ساختاری بسیار مهمی است که به طور قابل توجهی بر شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد. وجود زیرساخت‌های توسعه یافته و شبکه‌های حمل‌ونقل کارآمد برای تولید، ذخیره‌سازی و توزیع نفت ضروری است. زیرساخت‌های توسعه ‌یافته ازجمله دکل‌های حفاری، خطوط لوله و تأسیسات تولید، استخراج و فرآوری کارآمد منابع نفتی را ممکن می‌سازد. وجود زیرساخت‌ها در مناطق نفت‌خیز، تولید و انتقال نفت به بازارهای جهانی را تسهیل کرده و بر جریان‌های تجاری و پویایی بازار مؤثر است.

همچنین امکانات ذخیره‌سازی و تأسیسات پایانه‌ای کافی برای عملکرد روان شبکه تجارت نفت ضرورت دارد. تأسیسات ذخیره‌سازی مانند مخازن و پایانه‌ها، ذخیره موقت نفت را قبل از انتقال به پالایشگاه‌ها یا صادرات امکان‌پذیر می‌کند. تأسیسات پایانه‌ای با اتصال خوب، بارگیری، تخلیه و توزیع نفت را تضمین نموده و به قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری شبکه تجارت نفت کمک می‌کند. از طرف دیگر، شبکه‌های حمل‌ونقل کارآمد برای انتقال نفت از سایت‌های تولید به پالایشگاه‌ها، بنادر و درنهایت به بازارهای مصرف حیاتی هستند. از آنجاکه خطوط لوله، راه‌آهن، مسیرهای کشتیرانی دریایی و شبکه‌های جاده‌ای روش‌های متعدد حمل‌ونقل نفت می­باشند، زیرساخت‌های حمل‌ونقل به خوبی توسعه یافته و به هم پیوسته، توانایی حمل و نقل ایمن، قابل اعتماد و مقرون به‌ صرفه نفت را افزایش داده و الگوهای تجاری و دسترسی به بازار را شکل می‌دهد.

کشورهای درگیر در تجارت نفت به زیرساخت‌های صادرات و واردات قوی نیاز دارند. زیرساخت‌های صادراتی شامل پایانه‌های بارگیری، بنادر و تأسیسات مرتبط برای نفت‌کش‌ها است. زیرساخت‌های واردات شامل پایانه‌های تخلیه، تأسیسات ذخیره‌سازی و شبکه‌های توزیع کارا می‌باشد. کشورهایی که زیرساخت‌های صادرات و واردات تثبیت شده دارند، به عنوان شرکای تجاری جذاب‌تر محسوب شده و می‌توانند حجم تجارت نفت را به نحو احسن مدیریت کنند.

لازم به ذکر است که اتصال بین مناطق تولیدکننده نفت و بازارهای مصرف‌کننده برای شبکه تجارت نفت بسیار مهم است. اتصال کارآمد مانند خطوط لوله یا مسیرهای حمل‌ونقل، حرکت یکپارچه نفت را در مناطق مختلف امکان‌پذیر کرده و تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان را به هم متصل می‌نماید. همچنین اتصال بین شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل مانند خطوط لوله که به بنادر یا راه‌آهن متصل می‌شوند، کارایی و انعطاف‌پذیری شبکه تجارت نفت را افزایش می‌دهد. از این رو توسعه زیرساخت‌ها تحت تأثیر پروژه‌های استراتژیک با هدف گسترش اتصال و تسهیل تجارت می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به ساخت خطوط لوله فراملی، توسعه بندر و توسعه مناطق ویژه اقتصادی اشاره کرد. چنین پروژه‌هایی تجارت فرامرزی، ادغام منطقه‌ای و تنوع مسیرهای حمل‌ونقل را افزایش می‌دهند.

درنهایت با توجه به اهمیت زیرساخت‌های شبکه تجارت نفت، انعطاف‌پذیری و امنیت زیرساخت یک جنبه حیاتی برای شبکه تجارت نفت است. حفاظت از زیرساخت‌ها در برابر بلایای طبیعی، حوادث، تهدیدات سایبری یا خطرات ژئوپلیتیکی برای اطمینان از جریان بی‌وقفه تجارت نفت ضروری است؛ زیرا آسیب‌پذیری در شبکه زیرساخت می‌تواند تجارت را مختل کرده، ثبات بازار را تحت تأثیر قرار دهد و خطرات اقتصادی و امنیتی قابل توجهی ایجاد کند.

عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت

عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت شامل تقاضای جهانی و الگوهای مصرف، پویایی بازار و نوسان قیمت و قراردادها و سیاست‌های تجاری است که در ادامه هر یک به طور مفصل بررسی می‌شود.

* 1. تقاضای جهانی و الگوهای مصرف

درک تقاضای جهانی و الگوهای مصرف برای تولیدکنندگان، تجار و سیاست‌گذاران نفت در ارزیابی روند بازار، برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری و مدیریت ریسک در شبکه تجارت نفت بسیار مهم است. شناسایی بازارهای نوظهور، ارزیابی عدم تعادل‌های عرضه و تقاضا و توسعه استراتژی‌هایی برای انطباق با الگوهای مصرف در حال تحول را امکان‌پذیر می‌کند. از آنجا که تقاضای جهانی و الگوهای مصرف عوامل اقتصادی کلیدی بوده و بر شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارند. درک پویایی تقاضا و مصرف نفت برای تجزیه و تحلیل جریان‌های تجاری، روند بازار و ثبات کلی شبکه تجارت نفت بسیار مهم است. رشد اقتصادی جهانی و صنعتی شدن کشورها باعث افزایش تقاضا برای نفت شده است. کشورهای در حال توسعه که رشد سریع اقتصادی و صنعتی شدن را تجربه می‌کنند، مصرف انرژی خود ازجمله نفت را برای حمل‌ونقل، تولیدات صنعتی و تولید برق افزایش داده‌اند. تغییر به سمت اقتصادهای صنعتی‌تر منجر به تقاضای بالاتر نفت شده و بر الگوهای تجاری و پویایی بازار در شبکه تجارت نفت تأثیر گذاشته است.

به عنوان نمونه، حمل‌ونقل بخش قابل توجهی از تقاضای جهانی نفت را به خود اختصاص می‌دهد. رشد مالکیت خودرو، افزایش سفرهای هوایی و کشتیرانی دریایی باعث افزایش تقاضا برای سوخت می‌شود. تغییرات زیرساخت‌های حمل‌ونقل، تراکم جمعیت و ترجیحات مصرف‌کننده در مناطق مختلف بر تقاضا و الگوهای مصرف شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد. از طرفی، ترکیب انرژی و پتانسیل جایگزینی سوخت بر تقاضای نفت مؤثر است و از سوی دیگر در دسترس بودن و رقابت‌پذیری منابع انرژی جایگزین مانند گاز طبیعی، انرژی‌های تجدیدپذیر یا انرژی هسته‌ای می‌تواند بر تقاضای نفت در بخش‌های مختلف مؤثر باشد. همچنین سیاست‌های ترویج تنوع انرژی یا نگرانی‌های زیست‌محیطی ممکن است منجر به تغییر در الگوهای مصرف و تغییر شبکه تجارت نفت شود.

یکی از عوامل مؤثر دیگر بر تقاضای نفت، بهره‌وری انرژی است. بهبود در بهره‌وری انرژی و شیوه‌های صرفه‌جویی می‌تواند مصرف نفت را کاهش دهد. از این رو پیشرفت‌های تکنولوژیکی، وسایل نقلیه کارآمدتر در مصرف انرژی و سیاست‌های حفاظتی می‌توانند رشد تقاضای نفت را تعدیل کنند. همچنین تلاش برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار کربن می‌تواند الگوهای مصرف را تغییر داده و شبکه تجارت نفت را با کاهش تقاضای کلی یا تغییر الگوی تقاضای بخشی تحت تأثیر قرار دهد.

لازم به ذکر است که میزان تقاضای نفت تحت تأثیر کشش قیمت و مقرون به‌صرفه بودن است. تغییرات در قیمت نفت می‌تواند بر الگوهای مصرف تأثیر بگذارد و قیمت‌های بالاتر منجر به کاهش تقاضا یا تغییر به سمت منابع انرژی جایگزین شود. مقرون به‌صرفه بودن نفت، تحت تأثیر عواملی مانند سطح درآمد، تورم و ثبات اقتصادی بر رفتار مصرف‌کننده و الگوهای تجاری در شبکه تجارت نفت مؤثر است.

تغییرات تقاضا در مناطق مختلف بر شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد. مناطق مختلف بر اساس عواملی مانند اندازه جمعیت، توسعه اقتصادی، زیرساخت‌های حمل‌ونقل و ترجیحات فرهنگی، الگوهای مصرف متمایز دارند. درک تغییرات تقاضای منطقه‌ای برای برنامه‌ریزی تجارت، بهینه‌سازی زنجیره تأمین و استراتژی‌های ورود به بازار در شبکه تجارت نفت ضروری است.

درنهایت عوامل ژئوپلیتیکی ازجمله درگیری‌های منطقه‌ای، سیاست‌های تجاری و تحریم‌ها می‌توانند بر تقاضا و الگوهای مصرف نفت تأثیر بگذارند. بی‌ثباتی یا اختلالات سیاسی در مناطق مصرف‌کننده عمده بر پویایی بازار و جریان‌های تجاری مؤثر است. همچنین عوامل ژئوپلیتیکی روابط بین کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت را شکل می‌دهند و بر ساختار و پویایی شبکه تجارت نفت اثربخش است.

* 1. پویایی بازار و نوسان قیمت

پویایی بازار و نوسانات قیمت، عوامل اقتصادی مهمی هستند که به طور قابل توجهی بر شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارند. درک پویایی بازارهای نفت و عوامل محرک نوسان قیمت برای تجزیه و تحلیل جریان‌های تجاری، رفتار شرکت‌کنندگان در بازار و ثبات کلی شبکه تجارت نفت ضروری است. درک پویایی بازار و نوسانات قیمت برای تولیدکنندگان، معامله‌گران و سیاست‌گذاران نفت در مدیریت ریسک‌ها، تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری و تدوین استراتژی‌های تجاری در شبکه تجارت نفت بسیار مهم بوده و فعالان بازار را قادر می‌سازد تا تغییرات در پویایی عرضه و تقاضا، روند قیمت‌ها و تحولات نظارتی را پیش‌بینی کرده و به آن پاسخ دهند.

پویایی بازار در شبکه تجارت نفت تحت تأثیر عدم تعادل عرضه و تقاضا است. نوسانات عرضه جهانی نفت به دلیل رویدادهای ژئوپلیتیکی، بلایای طبیعی یا تصمیمات تولید کشورهای عمده تولیدکننده نفت می‌تواند بر پویایی بازار اثرگذار باشد. به طور مشابه، تغییرات در تقاضای جهانی نفت ناشی از رشد اقتصادی، روندهای حمل‌ونقل یا اقدامات سیاستی می‌تواند عدم تعادلی ایجاد کند که بر الگوهای تجاری و ثبات بازار تأثیر بگذارد.

تصمیمات تولیدی سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) و کشورهای غیراوپک به طور قابل توجهی بر پویایی بازار و نوسان قیمت‌ها مؤثر هستند. سهمیه‌های تولید، تصمیمات استراتژیک و تلاش‌های هماهنگ اوپک بر سطح عرضه جهانی نفت اثربخش است. روند تولید کشورهای غیراوپک مانند رونق نفت شیل در ایالات متحده نیز می‌تواند بر پویایی بازار و جریان‌های تجاری در شبکه تجارت نفت نتیجه‌بخش باشد.

عامل مؤثر دیگر بر پویایی بازار نفت، سفته‌بازی و بازارهای مالی موجود در حوزه نفت است. سفته‌بازی و فعالیت‌های بازار مالی به نوسانات قیمت در شبکه تجارت نفت کمک می‌کند. معامله‌گران، سرمایه‌گذاران و سفته‌بازان در خرید و فروش قراردادهای آتی نفت، اختیار معامله و سایر مشتقات شرکت می‌کنند که می‌تواند نوسانات قیمت را تقویت نماید. عواملی مانند احساسات بازار، شاخص‌های کلان اقتصادی و تحولات ژئوپلیتیکی می‌توانند بر فعالیت‌های سفته‌بازی مؤثر باشند و به نوسان قیمت‌ها کمک کنند.

همچنین ذخایر نفت و ذخایر استراتژیک، نقش مهمی در پویایی بازار و نوسانات قیمت بازی می‌کنند. تغییرات در سطح موجودی، هم در سطح جهانی و هم در سطح منطقه‌ای می‌تواند بر احساسات بازار و انتظارات عرضه سودبخش باشد. ذخایر استراتژیک که توسط کشورها یا سازمان‌های بین‌المللی مدیریت می‌شوند، می‌توانند در هنگام اختلالات عرضه مورد استفاده قرار گیرند که بر الگوهای تجاری و ثبات بازار در شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد.

رقابت بازار و جنگ قیمتی در میان کشورهای تولیدکننده نفت می‌تواند منجر به نوسان قیمت و اختلال در تجارت شود. جنگ قیمت زمانی رخ می‌دهد که کشورها یا شرکت‌های نفتی برای به دست آوردن سهم بازار درگیر استراتژی‌های قیمت‌گذاری تهاجمی می‌شوند که اغلب منجر به کاهش قیمت‌ها و افزایش نوسان می‌شود. این پویایی‌ها می‌تواند بر سودآوری شرکت‌کنندگان در بازار تأثیر بگذارد، الگوهای تجارت را تغییر دهد و بر ساختار شبکه تجارت نفت مؤثر باشد.

عامل کارای دیگر بر پویایی بازار و نوسان قیمت در شبکه تجارت نفت تلاش‌های گذار انرژی و کربن‌زدایی جهانی است. سیاست‌های ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر، وسایل نقلیه الکتریکی و اقدامات بهره‌وری انرژی می‌توانند بر تقاضای نفت و انتظارات بلندمدت قیمت تأثیر بگذارند. تغییر در ترجیحات مصرف‌کننده و مقررات دولتی می‌تواند الگوهای مصرف و جریان تجارت در شبکه تجارت نفت را تغییر دهد.

درنهایت عوامل کلان اقتصادی ازجمله رشد اقتصادی، نرخ تورم و نرخ ارز بر تقاضای نفت، سطح قیمت‌ها و نوسانات قیمت اثربخش است. رکود اقتصادی یا رکود می‌تواند منجر به کاهش تقاضای نفت، کاهش قیمت‌ها و افزایش نوسان قیمت شود. نوسانات نرخ ارز همچنین می‌تواند بر مقرون به‌صرفه بودن و رقابت‌پذیری نفت و بر الگوهای تجاری در شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارد.

* 1. قراردادها و سیاست‌های تجاری

قراردادها و سیاست‌های تجاری نقش مهمی در تأثیرگذاری بر شبکه تجارت نفت دارند. این سیاست‌ها دسترسی به بازار، جریان‌های تجاری و محیط نظارتی را شکل می‌دهند و بر پویایی تجارت نفت تأثیر می‌گذارند. برای مثال، تعرفه‌ها و موانع تجاری اعمال شده بر واردات یا صادرات نفت می‌تواند به طور قابل توجهی بر شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارد. تعرفه‌ها هزینه نفت معامله شده را افزایش می‌دهد و بر رقابت‌پذیری قیمت و حجم تجارت اثربخش است. موانع غیرتعرفه‌ای، مانند سهمیه‌های واردات، الزامات مجوز و مقررات فنی می‌توانند دسترسی به بازار را محدود کرده و بر الگوهای تجاری در شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارند.

همچنین قراردادهای آزاد تجاری بین کشورها یا مناطق، تجارت را با کاهش یا حذف تعرفه‌ها و سایر موانع تجاری تسهیل می‌کند. قراردادهای آزاد تجاری می‌توانند یکپارچگی بیشتر بازار را ترویج کنند، تنوع تجاری را تشویق نمایند و ثبات شبکه تجارت نفت را افزایش دهند. با کاهش هزینه‌های تجاری، قراردادهای آزاد تجاری می‌تواند منجر به افزایش تجارت دوجانبه یا منطقه‌ای نفت شود و بر توزیع جریان نفت تأثیر بگذارد. از طرفی ملاحظات امنیت انرژی می‌تواند منجر به شکل‌گیری موافقت‌نامه‌های دو یا چندجانبه شود. هدف این توافقنامه‌ها تضمین عرضه نفت، تضمین ثبات قیمت‌ها و کاهش خطرات مرتبط با تنش‌ها یا اختلالات ژئوپلیتیکی است. قراردادهای امنیت انرژی می‌توانند با ایجاد روابط بلندمدت عرضه و شکل دادن به الگوهای تجاری بین کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده بر شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارند.

سیاست‌های تجاری تحت تأثیر ملاحظات ژئوپلیتیکی عامل مؤثر دیگری بر شبکه تجارت نفت هستند. تحریم‌ها یا محدودیت‌های تجاری اعمال‌شده بر کشورهای تولیدکننده یا مصرف‌کننده نفت می‌تواند جریان‌های تجاری را مختل کند، پویایی بازار را تغییر دهد و به تغییراتی در ساختار شبکه تجارت نفت منجر شوند. به این بحث به طور مفصل در فصل بعد پرداخته خواهد شد. تنش‌ها و درگیری‌های ژئوپلیتیکی نیز می‌توانند بر سیاست‌های تجاری تأثیر بگذارند و بر دسترسی به بازار و روابط تجاری اثربخش باشد.

همچنین مقررات زیست‌محیطی و سیاست‌های آب و هوایی می‌توانند تقاضا برای نفت را شکل دهند و شبکه تجارت نفت را تحت تأثیر قرار دهند. سیاست‌هایی که با هدف کاهش انتشار کربن، ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر یا تشویق کارایی انرژی انجام می‌شوند، می‌توانند بر الگوهای مصرف نفت و جریان‌های تجاری مؤثر باشند. مقررات زیست‌محیطی همچنین به انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش حمل‌ونقل می‌پردازد که بر تقاضا برای انواع مختلف محصولات نفتی و بر تجارت در شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد.

از دیگر عوامل مؤثر بر شبکه تجارت نفت، حمایت از حقوق مالکیت معنوی و سیاست‌های انتقال فناوری به‌ویژه در زمینه فناوری‌ها و نوآوری‌های مرتبط با نفت است. حفاظت قوی از حقوق مالکیت می‌تواند عامل اصلی انگیزه تحقیق و توسعه بوده و منجر به پیشرفت‌های تکنولوژیکی در صنعت نفت شود. همچنین سیاست‌های انتقال فناوری می‌توانند با تسهیل یا محدود کردن انتقال فناوری‌های مرتبط با نفت بر دسترسی به بازار و روابط تجاری تأثیر بگذارند.

درنهایت سازمان‌ها و استانداردهای بین‌المللی می‌توانند در شکل‌گیری شبکه تجارت نفت نقش داشته باشند. سازمان‌هایی مانند آژانس بین‌المللی انرژی و سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) بسترهایی را برای هماهنگی و گفتگو میان کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت فراهم می‌کنند. همچنین استانداردها و دستورالعمل‌های این سازمان­ها برای ایمنی، شیوه‌های زیست‌محیطی و تضمین کیفیت می‌توانند بر جریان‌های تجاری و ترجیحات بازار در شبکه تجارت نفت مؤثر باشند.

عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت

عوامل محیطی و پایداری اثر شبکه تجارت نفت شامل فن‌آوری‌های استخراج و پالایش، راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک و دیجیتالی‌سازی و کاربردهای بلاک‌چین است که در ادامه به طور مفصل بررسی خواهند شد.

* 1. تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن

تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن تأثیر عمیقی بر شبکه تجارت نفت دارند. این عوامل، تقاضا برای نفت را شکل می‌دهند، الگوهای تجاری را تحت تأثیر قرار داده و انتقال به سمت یک سیستم انرژی پایدارتر را هدایت می‌کنند. به عنوان نمونه، نگرانی‌های تغییرات آب و هوایی و نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به فشار جهانی برای گذار به اقتصاد کم کربن شده است. این انتقال شامل کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی ازجمله نفت و افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر است. از آنجایی که کشورها سیاست‌هایی را برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اجرا می‌کنند، تقاضا برای نفت ممکن است در بخش‌هایی مانند حمل‌ونقل کاهش یابد، جایی که سوخت‌های جایگزین و وسایل نقلیه الکتریکی به طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تغییر تقاضا بر الگوهای تجارت در شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد.

از طرفی، قیمت‌گذاری کربن از طریق مکانیسم‌هایی مانند مالیات کربن یا طرح‌های تجارت انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند بر رقابت‌پذیری نفت تأثیر گذاشته و مشوق اتخاذ منابع انرژی پاک‌تر باشد. قیمت‌گذاری کربن همچنین یک انگیزه اقتصادی برای کسب‌وکارها و مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند تا ردپای کربن را با کاهش مصرف نفت یا سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک‌تر کاهش دهند. اجرای سیاست‌های قیمت‌گذاری کربن می‌تواند بر سودآوری تولیدکنندگان و بازرگانان نفت و همچنین بر جریان‌های تجاری در شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارد.

سیاست‌های ترویج منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی عامل مؤثر دیگری بر شبکه تجارت نفت هستند. این سیاست­ها می‌توانند با کاهش تقاضای نفت برای تولید برق بر شبکه تجارت نفت مؤثر باشند. افزایش استقرار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر می‌تواند نیاز به تولید برق مبتنی بر نفت را کاهش و ترکیب انرژی را تغییر داده و به طور بالقوه واردات یا صادرات نفت را در مناطق خاصی کاهش دهد. سیاست‌ها و مشوق‌های انرژی‌های تجدیدپذیر نیز می‌توانند بر روابط و الگوهای تجاری در شبکه تجارت نفت نتیجه‌بخش باشند.

مقررات زیست‌محیطی ازجمله استانداردهای انتشار، الزامات کیفیت سوخت و اقدامات کنترل آلودگی بر تقاضا برای محصولات نفتی تأثیر می‌گذارد. مقررات سختگیرانه با هدف کاهش آلودگی هوا و بهبود کیفیت زیست‌محیطی می‌تواند منجر به تغییر در ترکیب و کیفیت فرآورده‌های نفتی مورد معامله شود. مطابقت با مقررات زیست‌محیطی می‌تواند تولیدکنندگان و بازرگانان نفت را ملزم به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک‌تر کند و بر رقابت‌پذیری و روابط تجاری آنها در شبکه تجارت نفت مؤثر باشد که یکی از موارد مقررات مرتبط با سوخت‌های تجدیدپذیر و انرژی زیستی است. ترویج سوخت‌های تجدیدپذیر و انرژی زیستی می‌تواند بر شبکه تجارت نفت اثرگذار باشد. سیاست‌ها و مشوق‌های حمایت از تولید و استفاده از سوخت‌های زیستی مانند اتانول و بیودیزل می‌تواند بر تقاضا برای سوخت‌های حمل‌ونقل مبتنی بر نفت تأثیر بگذارد. جایگزینی سوخت‌های مبتنی بر نفت با سوخت‌های زیستی می‌تواند بر الگوهای تجارت و ساختار شبکه تجارت نفت مژثر باشد، به ویژه در مناطقی که تولید و مصرف سوخت زیستی قابل توجهی دارند.

درنهایت سیاست‌های مرتبط با بهره‌وری انرژی می‌تواند مصرف کلی انرژی و تقاضا برای نفت را کاهش دهد. بهبود بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف ازجمله حمل‌ونقل، صنعت و ساختمان‌ها می‌تواند نیاز به منابع انرژی مبتنی بر نفت را کاهش دهد. اقدامات بهره‌وری انرژی می‌تواند با تغییر الگوهای تقاضا و مصرف نفت، بر الگوهای تجاری در شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارد.

* 1. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش‌دهنده اثرات مخرب محیط‌زیست

ارزیابی‌های اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش‌دهنده این اثرات، اجزای حیاتی تضمین عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت بوده و به ارزیابی اثرات بالقوه زیست‌محیطی فعالیت‌های مرتبط با نفت، شناسایی اقدامات کاهشی برای تقلیل اثرات منفی و ترویج شیوه‌های پایدار کمک می‌کنند. ارزیابی‌های اثرات زیست‌محیطی، ارزیابی‌های جامعی هستند که قبل از شروع پروژه‌های مرتبط با نفت مانند اکتشاف، تولید، پالایش یا حمل‌ونقل انجام می‌شوند. در این ارزیابی اثرات بالقوه زیست‌محیطی این فعالیت‌ها ازجمله آلودگی آب و هوا، تخریب زیستگاه، از دست دادن تنوع زیستی و تغییرات آب و هوا ارزیابی می‌شود. درنتیجه اطلاعات ارزشمندی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان، تنظیم‌کنندگان قراردادهای مرتبط و ذینفعان قرار می‌دهند تا خطرات و مزایای بالقوه مرتبط با پروژه‌های نفتی را درک کنند.

در ارزیابی زیست‌محیطی، ریسک‌های بالقوه زیست‌محیطی مرتبط با فعالیت‌های در ارتباط با نفت شناسایی و ارزیابی می‌شود. این مورد شامل ارزیابی تأثیر بر اکوسیستم‌ها، منابع آب، کیفیت هوا و جمعیت‌های آسیب‌پذیر است. با شناسایی و کمی کردن این ریسک‌ها، نتایج ارزیابی زیست‌محیطی مبنایی برای توسعه اقدامات کاهشی مناسب و به حداقل رساندن اثرات نامطلوب زیست‌محیطی فراهم می‌کند. از آنجاکه اقدامات کاهشی با هدف به حداقل رساندن یا خنثی کردن اثرات منفی زیست‌محیطی فعالیت‌های مرتبط با نفت انجام می‌شود. بر اساس یافته‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، اقدامات کاهشی برای پرداختن به خطرات و اثرات خاص ایجادشده است. این اقدامات می‌تواند شامل پیشرفت‌های تکنولوژیکی، فناوری‌های کنترل آلودگی، استراتژی‌های مدیریت زباله، احیای زیستگاه و تلاش‌های حفاظت از اکوسیستم باشد. اقدامات کاهشی برای کاهش ردپای کلی زیست محیطی عملیات نفت و ارتقای پایداری طراحی شده است. همچنین از آنجا که برنامه‌های پایش محیطی اغلب به عنوان بخشی از اقدامات کاهش برای ردیابی و ارزیابی اثربخشی تلاش‌های مدیریت زیست محیطی ایجاد می‌شود؛ نظارت منظم به اطمینان از انطباق با اقدامات کاهشی کمک می‌نماید، مسائل زیست‌محیطی نوظهور را شناسایی کرده و اجازه می‌دهد تا تنظیمات به‌موقع برای به حداقل رساندن تأثیرات انجام شود. گزارش شفاف نتایج پایش، مسئولیت‌پذیری را ارتقا می‌دهد و از بهبود مستمر عملکرد زیست‌محیطی در شبکه تجارت نفت حمایت می‌کند.

لازم به ذکر است که ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهشی به اطمینان از انطباق با استانداردها و مقررات زیست‌محیطی نیز کمک می‌کند. نتایج این ارزیابی‌ها چارچوبی را برای شرکت‌های نفتی فراهم می‌نمایند تا الزامات قانونی را برآورده کنند و به سیاست‌های زیست‌محیطی پایبند باشند. با گنجاندن اقدامات کاهش در برنامه‌های پروژه، شرکت‌ها می‌توانند تعهد خود را برای به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی و دستیابی به اهداف پایداری نشان دهند.

اتخاذ بهترین شیوه‌ها و فناوری‌های نوآورانه نیز ازجمله اثرات ارزیابی‌های زیست‌محیطی است. درنتیجه ارزیابی دقیق افراد برای اجرای فرایندهای تولید پاک‌تر، اقدامات بهره‌وری انرژی و استفاده از فناوری‌های پیشرفته کنترل آلودگی فشار می‌آورند. این امر توسعه و استقرار فن‌آوری‌ها و شیوه‌های پایدار در صنعت نفت را ترویج می‌کند و به عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت کمک می‌نماید؛ بنابراین می‌تواند منجر به افزایش مشارکت ذینفعان شود. به عبارتی به جوامع متأثر، سازمان‌های زیست‌محیطی و سایر ذینفعان اجازه می‌دهد تا در فرایند تصمیم‌گیری شرکت کنند، نگرانی‌های خود را ابراز نمایند و در مورد اقدامات کاهشی، اطلاعات ارائه دهند. درنهایت مشارکت ذینفعان باعث تقویت گفتگو، ایجاد اعتماد و ارتقای تصمیم‌گیری پایدار در شبکه تجارت نفت خواهد شد.

* 1. گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر

گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر یک عامل زیست‌محیطی مهم است که پایداری در شبکه تجارت نفت را هدایت می‌کند. این انتقال که ناشی از نگرانی‌های تغییرات آب و هوایی و نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است، پیامدهای عمیقی بر صنعت نفت و پویایی تجارت آن دارد. منابع انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی مزایای زیست‌محیطی قابل توجهی ازجمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود کیفیت هوا و به حداقل رساندن تخریب محیط‌زیست ارائه می‌نمایند. انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش تغییرات آب و هوایی، حفاظت از اکوسیستم‌ها و ترویج محیط‌زیست پاک‌تر و سالم‌تر به پایداری کمک می‌کند. این مزایای زیست‌محیطی باعث حمایت اجتماعی و سیاسی از انرژی‌های تجدیدپذیر، تأثیرگذاری بر سیاست‌ها و پویایی بازار در شبکه تجارت نفت می‌شود.

پذیرش فزاینده منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد، برق آبی و زمین گرمایی، تقاضای کلی برای نفت را کاهش می‌دهد. فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه در بخش تولید برق با سرعتی شتابان در حال گسترش هستند. این تغییر در ترکیب انرژی و کاهش اتکا به نفت برای تولید برق مستقیماً بر تقاضای نفت در شبکه تجاری تأثیر می‌گذارد. لازم به ذکر است که سیاست‌ها و مقررات دولتی نقش مهمی در انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر دارند. دولت‌ها با اجرای سیاست‌های حمایتی، محیطی مناسب برای استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر ایجاد می‌کنند که به نوبه خود بر تقاضا و تجارت نفت اثرگذار است. سیاست‌های گذار انرژی تصمیمات سرمایه‌گذاری و پویایی تجارت را در شبکه تجارت نفت شکل می‌دهد.

گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند به تغییر الگوهای تجاری در شبکه تجارت نفت منجر شود. مناطقی با منابع انرژی تجدیدپذیر فراوان ممکن است واردات نفت را کاهش دهند یا بر صادرات فناوری‌ها و خدمات انرژی تجدیدپذیر تمرکز کنند. در مقابل، مناطقی که شدیداً به واردات نفت وابسته هستند ممکن است با چالش‌هایی مواجه شوند و نیاز به تنوع بخشیدن به منابع انرژی خود داشته باشند. این انتقال مستلزم تعدیل در زیرساخت، لجستیک و روابط تجاری در شبکه تجارت نفت است. همچنین رشد منابع انرژی تجدیدپذیر فرصت‌های سرمایه‌گذاری جدیدی را در شبکه تجارت نفت ارائه می‌دهد که این شامل سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر، توسعه زیرساخت‌ها و تولید فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر است. شرکت‌های نفتی و بازرگانان می‌توانند پرتفوی خود را متنوع کنند و بازارهای نوظهور را در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر به دست آورند. این انتقال امکان تخصیص بیشتر سرمایه به سمت سرمایه‌گذاری‌های پایدار و کم کربن را فراهم می‌کند.

از طرفی گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر، نوآوری فناورانه و تلاش‌های تحقیق و توسعه را هدایت می‌کند. این نوآوری منجر به توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر کارآمدتر و مقرون ‌به‌صرفه‌تر، راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی و سیستم‌های شبکه هوشمند می‌شود. پیشرفت‌های فناوری در انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند روند انتقال را تسریع کند و انرژی‌های تجدیدپذیر را رقابتی‌تر و قابل دسترس‌تر نماید. شرکت‌های نفتی می‌توانند از تخصص و منابع خود برای مشارکت در توسعه و استقرار فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کنند.

لازم به توجه است که انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر مستلزم همکاری و مشارکت بین شرکت‌های نفتی، توسعه‌دهندگان انرژی‌های تجدیدپذیر و دولت‌ها می‌باشد. شرکت‌های نفتی می‌توانند زیرساخت‌ها، تخصص و منابع مالی خود را برای مشارکت در پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر یا ایجاد مشارکت با شرکت‌های انرژی تجدیدپذیر به کار گیرند. چنین همکاری‌هایی انتقال دانش، اشتراک فناوری و توسعه سیستم‌های انرژی یکپارچه را تسهیل می‌کند و به عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت کمک می‌نماید. این همکاری از آن جهت مهم است که درک و انطباق با گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر برای ذینفعان در شبکه تجارت نفت بسیار مهم می‌باشد و امکان شناسایی فرصت‌های تجاری جدید، تنوع استراتژیک و همسویی با اهداف پایداری را فراهم می‌کند. استقبال از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند به تضمین دوام و پایداری طولانی‌مدت صنعت نفت در چشم‌انداز انرژی که به سرعت در حال تغییر است، کمک کند.

پیشرفت‌ها و نوآوری‌های فناوری در شبکه تجارت نفت

فن‌آوری‌های استخراج و پالایش، راه‌حل‌های حمل‌ونقلو لجستیک، دیجیتالی‌سازی و کاربردهای بلاک چین سه دلیل مرتبط با اثر پیشرفت‌های فناوری در شبکه تجارت نفت است که به تفصیل در ادامه بررسی می‌شوند.

* 1. فناوری‌های استخراج و پالایش

فن‌آوری‌های استخراج و پالایش نقش مهمی در شبکه تجارت نفت، افزایش کارایی، ایمنی و پایداری دارند. پیشرفت‌های تکنولوژیکی و نوآوری‌ها در این زمینه‌ها، صنعت نفت را به‌طور قابل‌ توجهی متحول کرده و امکان استخراج هیدروکربن‌ها از محیط‌های چالش‌برانگیز و بهبود فرایند پالایش را فراهم کرده است. برای مثال بازیابی پیشرفته نفت، استخراج نفت اضافی از مخازن را فراتر از روش‌های بازیافت اولیه و ثانویه امکان‌پذیر می‌کند. تکنیک‌هایی مانند تزریق دی‌اکسید کربن و تزریق بخار به افزایش نرخ تولید نفت و به حداکثر رساندن فاکتورهای بازیابی کمک می‌نماید. فن‌آوری‌های پیشرفته استخراج کارایی استخراج نفت را افزایش می‌دهد، طول عمر میادین موجود را افزایش و تولید را در میادین نفتی بالغ بهینه می‌کند.

بهبود فناوری دیگر، حفاری جهت‌دار است. تکنیک‌های حفاری جهت‌دار امکان استخراج نفت از مخازن مستقر در زوایای چالش‌برانگیز یا فراساحل را فراهم می‌نماید. با حفاری چاه‌هایی که می‌توانند جهت را تغییر دهند و به اهداف افقی یا عمودی برسند، حفاری جهت‌دار اختلالات سطحی را به حداقل می‌رساند، تعداد سایت‌های حفاری را کاهش می‌دهد و ارتباط با مخزن را به حداکثر می‌رساند. این فناوری دسترسی به ذخایر غیر قابل دسترس قبلی را امکان‌پذیر و بازیافت نفت را بهینه می‌کند.

راهکار بهبود فناوری دیگری که در استخراج استفاده شده است، شکستگی هیدرولیک می‌باشد. شکستگی هیدرولیک شامل تزریق مایعاتی معمولاً شامل مخلوطی از آب، ماسه و مواد شیمیایی به سازندهای سنگی محکم برای آزاد کردن نفت یا گاز به دام افتاده است. این فناوری انقلابی در استخراج منابع غیرمتعارف مانند نفت و گاز شیل ایجاد کرده است. فراکینگ یا شکستگی هیدرولیک تولید نفت را در مناطقی با ذخایر فراوان شیل گسترش داده و به افزایش عرضه نفت و تغییر پویایی تجارت کمک کرده است. این فناوری به دلیل تغییر میزان عرضه در مناطقی که قبلاً به شدت وابسته به واردات نفت بوده‌اند، مانند امریکا، بر شبکه تجارت نفت به‌شدت مؤثر بوده است.

لازم به ذکر است که در سال‌های اخیر فناوری‌های استخراج فرا ساحلی نیز پیشرفت قابل‌ توجهی داشته‌اند که امکان اکتشاف و تولید نفت را در محیط‌ آب‌های عمیق و فوق عمیق فراهم می‌کنند. نوآوری‌هایی مانند سیستم‌های تولید زیردریا و سکوهای تولید شناور باعث بهبود کارایی، ایمنی و عملکرد زیست‌محیطی در عملیات دریایی شده است. فن‌آوری‌های استخراج فراساحلی ذخایر بالقوه موجود برای تجارت در بازار نفت را گسترش داده است.

بخش دیگری از بهبودهای فناوری، مربوط به ارتقای فناوری‌های حوزه پالایش است. فناوری‌های پالایش شامل فرایندهای تبدیل مختلفی است که نفت خام را به محصولات با ارزش ارتقا می‌دهد. فرایندهای کراکینگ کاتالیستی، هیدروکراکینگ و کک‌سازی، هیدروکربن‌های سنگین را به محصولات سبک‌تر و با ارزش‌تر مانند بنزین، گازوئیل و سوخت جت تجزیه می‌کنند. این فناوری‌ها کارایی فرایند پالایش را افزایش می‌دهند، بازده محصول را به حداکثر می‌رسانند و کیفیت محصول را نیز بهبود می‌دهند.

برای مثال فرآوری هیدرولیکی شامل فناوری‌های فرآوری با آب مانند تصفیه آب و سولفورزدایی با آب، ناخالصی‌ها را از نفت خام حذف و سوخت‌های پاک‌تر و کم گوگرد تولید می‌کنند. این فناوری‌ها نقش مهمی در رعایت مقررات زیست‌محیطی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوخت‌های حمل‌ونقل ایفا می‌نمایند. فناوری‌های هیدروفرآوری با بهبود کیفیت هوا و کاهش اثرات زیست‌محیطی محصولات تصفیه شده به پایداری کمک می‌کند.

سیستم‌های مانیتورینگ و کنترل پیشرفته ازجمله فناوری‌های دیگر حوزه پالایش است. پالایشگاه‌ها سیستم‌های نظارت و کنترل پیشرفته‌ای ازجمله تجزیه و تحلیل آنی داده‌ها، بهینه‌سازی فرایند و اتوماسیون را اتخاذ کرده‌اند. این فناوری‌ها کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهند، مصرف انرژی را کاهش داده و اثرات زیست‌محیطی را به حداقل می‌رسانند. همچنین سیستم‌های نظارت و کنترل پیشرفته فرایند پالایش را بهینه می‌سازد، زمان توقف را کاهش می‌دهد و عملکرد کلی را در شبکه تجارت نفت بهبود می‌بخشد.

فناوری‌هایی که منجر به ادغام مواد اولیه تجدیدپذیر می‌شوند نیز در حال حاضر اهمیت زیادی یافته‌اند. پالایشگاه‌ها به طور فزاینده‌ای در حال بررسی ادغام مواد اولیه تجدیدپذیر مانند سوخت‌های زیستی و هیدروژن تجدیدپذیر در فرایند پالایش هستند. این فناوری‌ها تولید سوخت‌های کم کربن را امکان‌پذیر نموده و انتقال به آینده انرژی پاک‌تر را تسهیل می‌کنند. ادغام مواد اولیه تجدیدپذیر در پالایشگاه‌ها به اهداف پایداری کمک می‌کند و نگرانی‌های زیست‌محیطی مرتبط با محصولات متعارف مشتق شده از نفت را برطرف می‌نماید.

در کل، پیشرفت‌های تکنولوژیکی در فن‌آوری‌های استخراج و پالایش، شبکه تجارت نفت را متحول کرده و کارایی، بهره‌وری و پایداری را افزایش داده است. این پیشرفت‌ها استخراج نفت از ذخایر چالش‌برانگیز را امکان‌پذیر می‌سازد و فرایند پالایش را برای پاسخگویی به تقاضاهای در حال تحول بازار و مقررات زیست‌محیطی بهبود می‌بخشد. تداوم نوآوری در فن‌آوری‌های استخراج و پالایش برای صنعت نفت برای انطباق با پویایی‌های متغیر بازار و کمک به گذار انرژی پایدار بسیار مهم است.

* 1. راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک

روش‌های حمل‌ونقل و لجستیک، اجزای حیاتی شبکه تجارت نفت هستند که حرکت کارآمد و ایمن نفت خام و فرآورده‌های نفتی را از سایت‌های تولید به پالایشگاه‌ها، تأسیسات ذخیره‌سازی و مصرف‌کنندگان نهایی تضمین می‌کنند. پیشرفت‌های فناوری و نوآوری‌ها در حمل‌ونقل و لجستیک صنعت نفت را به طور قابل توجهی متحول کرده، کارایی عملیاتی را بهبود بخشیده، هزینه‌ها را کاهش و پایداری را افزایش داده است. برای مثال در حوزه فناوری خط لوله، اپراتورهای خط لوله سیستم‌های نظارتی پیشرفته‌ای را پیاده‌سازی کرده‌اند که از حسگرها، فناوری‌های سنجش از راه دور و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای نظارت بر یکپارچگی خط لوله، تشخیص نشت و اطمینان از عملیات ایمن استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها نظارت در زمان واقعی، تشخیص زودهنگام ناهنجاری‌ها و واکنش سریع برای کاهش خطرات احتمالی را امکان‌پذیر می‌کنند. همچنین فن‌آوری‌های اتوماسیون برای عملیات خط لوله ازجمله شیرهای خودکار، سیستم‌های کنترل از راه دور و نظارت بر زمان واقعی اعمال می‌شود. اتوماسیون کارایی عملیاتی را بهبود می‌بخشد، خطای انسانی را کاهش می‌دهد و پاسخ سریع‌تر به حوادث عملیاتی را امکان‌پذیر می‌کند. همچنین ایمنی و قابلیت اطمینان کلی حمل‌ونقل نفت از طریق خطوط لوله را افزایش می‌دهد.

در حوزه فناوری‌های دریایی، طراحی کشتی‌ها بهبود یافته است، به‌گونه‌ای که کشتی‌های جدید ویژگی‌هایی را برای افزایش ایمنی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی راندمان سوخت در خود دارند. نوآوری‌ها شامل ساخت دو بدنه، سیستم‌های ضدآلودگی و سیستم‌های پیشرانه پیشرفته است. این پیشرفت‌ها خطر نشت نفت را کاهش داده و اثرات زیست‌محیطی را در طول حمل‌ونقل دریایی به حداقل می‌رساند. همچنین سیستم‌های برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی سفر پیشرفته از داده‌های آنی، پیش‌بینی آب و هوا و الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر برای بهینه‌سازی حرکات کشتی استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها به کاهش مصرف سوخت، به حداقل رساندن زمان حمل‌ونقل و افزایش کارایی عملیاتی کمک می‌کنند. فن‌آوری‌های برنامه‌ریزی سفر و بهینه‌سازی به کاهش هزینه و پایداری زیست‌محیطی در حمل‌ونقل نفت نیز کمک می‌نماید.

به واسطه بهبود فناوری، استفاده از گاز طبیعی مایع (LNG) به عنوان سوخت دریایی در صنعت کشتیرانی مورد توجه قرار گرفته است. مصرف LNG در مقایسه با سوخت‌های سنتی دریایی سطوح کمتری از اکسیدهای گوگرد (Sox)، اکسیدهای نیتروژن (NOx) و ذرات معلق منتشر می‌کنند. استفاده از LNG به عنوان سوخت دریایی، آلودگی هوا را کاهش می‌دهد و به پایداری در حمل‌ونقل نفت کمک کرده و بر شبکه تجارت نفت مؤثر است.

در حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای نیز بهبود فناوری اثرات مهمی بر جای گذاشته است. برای نمونه دستگاه‌های تله ماتیک و فناوری‌های مدیریت ناوگان، نظارت بر زمان واقعی وسایل نقلیه، ردیابی مصرف سوخت، بهینه‌سازی مسیر و تجزیه و تحلیل عملکرد راننده را امکان‌پذیر می‌سازند. این فناوری‌ها راندمان عملیاتی، کاهش مصرف سوخت و بهبود ایمنی در حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی نفت و فرآورده‌های نفتی را افزایش می‌دهند.

همچنین نوآوری‌ها در طراحی واگن ریلی و تانکر مانند بهبود ویژگی‌های ایمنی و بهبود سیستم‌های بارگیری/ تخلیه، کارایی و ایمنی حمل‌ونقل نفت از طریق راه‌آهن و جاده را افزایش داده‌اند. این پیشرفت‌ها خطر تصادفات، نشت و آلودگی محصول را در طول حمل‌ونقل به حداقل می‌رساند. درنهایت وسایل نقلیه الکتریکی و هیبریدی به عنوان جایگزینی برای حمل‌ونقل نفت در مسافت کوتاه، به‌ویژه در مناطق شهری در حال بررسی هستند. استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی و هیبریدی باعث کاهش انتشار کربن، آلودگی صوتی و وابستگی به سوخت‌های فسیلی برای حمل‌ونقل در شبکه تجارت نفت می‌شود.

درنهایت باید توجه کرد که پیشرفت‌های فناوری در راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک، شبکه تجارت نفت را متحول کرده و کارایی عملیاتی، ایمنی و پایداری محیط‌زیست را افزایش داده است. این پیشرفت‌ها صنعت را قادر می‌سازد تا حمل‌ونقل نفت را بهینه کند، انتشار گازهای گلخانه‌ای و خطرات را کاهش دهد و با پویایی بازار در حال تحول سازگار شود.

* 1. دیجیتالی سازی و کاربردهای بلاک چین

کاربردهای دیجیتالی شدن و بلاک چین به عنوان پیشرفت‌های تکنولوژیکی متحول‌کننده در شبکه تجارت نفت ظهور کرده‌اند و جنبه‌های مختلف صنعت ازجمله مدیریت زنجیره تأمین، امنیت داده‌ها، شفافیت و کارایی را متحول کرده‌اند. این پیشرفت‌ها عملیات ساده‌سازی، تصمیم‌گیری بهبودیافته و افزایش همکاری بین ذینفعان را ممکن می‌سازد. در ادامه برخی از کاربردهای دیجیتالی شدن و بلاک چین به عنوان پیشرفت‌های فناوری در شبکه تجارت نفت ارائه می‌شود.

سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین دیجیتال فرایندهای مختلفی ازجمله تدارکات، مدیریت موجودی، تدارکات و پیش‌بینی تقاضا را یکپارچه می‌کنند. این سیستم‌ها دید آنی را در زنجیره تأمین فراهم نموده، سطوح موجودی را بهینه ، فرایندها را ساده کرده و هماهنگی بین تأمین‌کنندگان، پالایشگاه‌ها، توزیع‌کنندگان و مشتریان نهایی را بهبود می‌بخشند.

مورد دیگر در دیجیتالی‌سازی، به‌کارگیری اینترنت اشیا است. دستگاه‌های اینترنت اشیا مانند حسگرها و دستگاه‌های متصل در سراسر شبکه تجارت نفت مستقر هستند تا داده‌های آنی را ضبط و انتقال دهند. فناوری اینترنت اشیا نظارت از راه دور تجهیزات، تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌شده و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را امکان‌پذیر می‌سازد. با جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها از منابع مختلف، اینترنت اشیا بازده عملیاتی را افزایش می‌دهد، زمان خرابی را کاهش داده و ایمنی را بهبود می‌بخشد. همچنین الگوریتم‌سازی بر اساس هوش مصنوعی برای پردازش حجم زیادی از داده‌های تولید شده از اینترنت اشیا و سایر منابع در سراسر شبکه تجارت نفت استفاده می‌شود. این فناوری‌ها با تحلیل داده‌ها الگوها را شناسایی کرده و مدل‌سازی پیش‌بینی‌شده را برای تصمیم‌گیری بهینه ممکن می‌سازند. تجزیه و تحلیل داده‌ها و هوش مصنوعی کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهند، تعمیر و نگهداری پیش‌بینی را تسهیل می‌کنند و از بهینه‌سازی زنجیره تأمین پشتیبانی می‌نمایند.

همچنین فناوری بلاک چین شفافیت، امنیت و قابلیت ردیابی را در معاملات زنجیره تأمین ارائه می‌دهد. می‌توان از آن برای ساده کردن اسناد، ردیابی منشأ محصول و اطمینان از انطباق در شبکه تجارت نفت استفاده کرد. راه‌حل‌های مبتنی بر بلاک چین کارایی را بهبود می‌بخشد، تقلب را کاهش می‌دهد و امکان ردیابی بهتر محموله‌های نفتی را فراهم می‌کند. ازجمله کاربردهای بلاک چین در شبکه تجارت نفت می‌توان به شفافیت زنجیره تأمین اشاره نمود. فناوری بلاک چین با ارائه یک دفتر کل غیر قابل تغییر و شفاف، شفافیت سرتاسری در شبکه تجارت نفت را امکان‌پذیر می‌کند. این به ذینفعان اجازه می‌دهد تا منشأ حرکت، مالکیت نفت و فرآورده‌های نفتی را در سراسر زنجیره تأمین ردیابی کنند. این شفافیت خطر تقلب را کاهش می‌دهد، انطباق با مقررات را تضمین می‌کند و اعتماد را در میان شرکت‌کنندگان افزایش می‌دهد.

دیگر استفاده بلاک‌چین در حوزه قراردادهای هوشمند نفتی است. قراردادهای هوشمند قراردادهایی هستند که به صورت خودکار اجرا می‌شوند و به طور خودکار شرایط و ضوابط کدگذاری شده در کد رایانه را اجرا می‌کنند. در شبکه تجارت نفت، قراردادهای هوشمند، معاملات ایمن و خودکار را تسهیل می‌نماید و نیاز به واسطه‌ها را از بین برده و همچنین هزینه‌های اداری را کاهش می‌دهند. لازم به ذکر است که پلتفرم‌های مبتنی بر بلاک چین، فراآیندهای مالی تجارت و تسویه حساب کارآمدتر را در شبکه تجارت نفت امکان‌پذیر می‌کنند. با دیجیتالی کردن و خودکارسازی اسناد مانند اعتبار اسنادی و بارنامه، بلاک چین کار اداری را کاهش داده، امنیت را افزایش می‌دهد و تراکنش‌ها را تسریع می‌بخشد. همچنین این فناوری، تقلب و هزینه‌های تراکنش را کاهش می‌دهد.

کاربردی دیگر بلاک چین توکن‌سازی دارایی است. توکن‌سازی دارایی شامل نمایش دارایی‌های فیزیکی مانند ذخایر نفتی یا زیرساخت به عنوان توکن‌های دیجیتال در یک بلاک چین است. توکن‌سازی مالکیت جزئی، افزایش نقدینگی و قابلیت انتقال آسان‌تر دارایی‌ها را ممکن می‌سازد. در شبکه تجارت نفت، توکن‌سازی دارایی‌ها می‌تواند فرصت‌های سرمایه‌گذاری را تسهیل کرده و تشکیل سرمایه را افزایش دهد. درنهایت پلتفرم‌های تجارت انرژی مبتنی بر بلاک چین، تجارت همتا به همتای انرژی ازجمله نفت و فرآورده‌های نفتی را امکان‌پذیر می‌کنند. این پلتفرم‌ها امکان تعامل مستقیم بین خریداران و فروشندگان، ساده‌سازی تراکنش‌ها و حذف واسطه‌ها را فراهم می‌کند. پلتفرم‌های معاملاتی مبتنی بر بلاک چین، کارایی بازار را ارتقا می‌دهند، هزینه‌ها را کاهش داده و از یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر حمایت می‌کنند.

در مجموع کاربردهای دیجیتالی شدن و بلاک چین پتانسیل تغییر شبکه تجارت نفت را با بهبود کارایی، شفافیت و امنیت دارند. این پیشرفت‌ها به اشتراک‌گذاری اطلاعات در زمان واقعی، تصمیم‌گیری بهینه و فرایندهای ساده در سراسر زنجیره تأمین را امکان‌پذیر می‌کند. تداوم نوآوری در فناوری‌های دیجیتالی و بلاک چین نقشی حیاتی در شکل دادن به آینده صنعت نفت ایفا خواهد کرد.

عوامل اجتماعی-فرهنگی مؤثر بر شبکه تجارت نفت

عوامل اجتماعی- فرهنگی مؤثر بر شبکه تجارت نفت شامل سه دسته عوامل درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی، جنبش‌های اجتماعی و کنشگری و توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی است که به تفصیل در ادامه بررسی می‌شوند.

* 1. درک و نگرش عمومی نسبت به سوخته‌ای فسیلی

درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی نقش مهمی در شکل‌گیری شبکه تجارت نفت دارند. عوامل اجتماعی- فرهنگی مانند افکار عمومی، آگاهی از محیط‌زیست و ارزش‌های اجتماعی در حال تحول، بر سیاست‌های دولت، شیوه‌های صنعتی و رفتار مصرف‌کنندگان مرتبط با سوخت‌های فسیلی تأثیر می‌گذارند. برای مثال در حوزه تغییرات آب و هوا و نگرانی‌های زیست‌محیطی، افزایش آگاهی زیست‌محیطی و آگاهی روزافزون از تغییرات آب و هوا و تخریب محیط‌زیست منجر به افزایش نگرانی‌ها در مورد تأثیر سوخت‌های فسیلی بر محیط‌زیست شده است. تصور عموم از سوخت‌های فسیلی به عنوان عاملی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا، تقاضا برای منابع انرژی پاک‌تر و پایدارتر را افزایش داده است؛ بنابراین حمایت عمومی از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی باد، خورشیدی و برق آبی در پاسخ به نگرانی‌ها در مورد تغییرات آب و هوایی افزایش یافته است. این تغییر در ترجیحات عمومی بر سیاست‌های دولت و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر تأثیر گذاشته است و به طور بالقوه اتکا به سوخت‌های فسیلی را در درازمدت کاهش می‌دهد. این تغییر نگرش در برخی کشورها منجر به مخالفت عمومی با ساخت زیرساخت‌های جدید سوخت فسیلی، مانند خطوط لوله و پالایشگاه‌ها برجسته‌تر شده است. همچنین نگرانی در مورد خطرات زیست‌محیطی، استفاده از زمین و حقوق بومیان نیز بر اعتراضات و چالش‌های قانونی دامن زده که بر توسعه و گسترش شبکه‌های تجارت نفت تأثیر گذاشته است.

در خصوص گذار انرژی و کربن‌زدایی از جنبه چارچوب‌های سیاست و مقررات، فشار عمومی و تغییر نگرش‌های اجتماعی نسبت به سوخت‌های فسیلی، دولت‌ها را تحت تأثیر قرار داده تا سیاست‌ها و مقرراتی را با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترویج گذار به منابع انرژی پاک‌تر اتخاذ کنند. این سیاست‌ها مثلاً شامل قیمت‌گذاری کربن، اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر و استانداردهای زیست‌محیطی سخت‌گیرانه‌تر می‌باشد که با شکل‌دهی به تصمیمات سرمایه‌گذاری و پویایی بازار، بر شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارد. همچنین انتظارات عمومی برای مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها بر شرکت‌های نفتی تأثیر گذاشته تا اهداف پایداری را اتخاذ کنند، در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری نموده و ردپای کربن خود را کاهش دهند. تصور عموم از شرکت‌های نفتی به عنوان بازیگران مسئول در رسیدگی به تغییرات اقلیمی و مسائل زیست‌محیطی منجر به تغییر در استراتژی‌های تجاری و سرمایه‌گذاری شده است؛ بنابراین احساسات عمومی در مورد سوخت‌های فسیلی بر تصمیمات سرمایه‌گذاری و فعالیت سهامداران تأثیر گذاشته است. سرمایه‌گذاران و ذینفعان نهادی به طور فزاینده‌ای عوامل محیطی، اجتماعی و حاکمیتی را هنگام انتخاب سرمایه‌گذاری در نظر می‌گیرند. این امر شرکت‌های نفتی را بر آن داشته تا خطرات مرتبط با آب و هوا و انتقال به سمت شیوه‌های پایدارتر را افشا نموده و به آن رسیدگی کنند.

لازم به ذکر است که نگرانی‌های عمومی در مورد امنیت انرژی و کاهش وابستگی به نفت خارجی نیز بر سیاست‌ها و ابتکارات برای ارتقای تولید انرژی کشورهای واردکننده نفت مؤثر بوده است. حمایت عمومی از توسعه منابع نفتی داخلی ممکن است شبکه تجارت نفت را با تأثیرگذاری بر تصمیمات دولت در مورد اکتشاف، تولید و مقررات واردات/ صادرات تغییر دهد.

همچنین تصور عمومی از مزایا و معایب اقتصادی مرتبط با سوخت‌های فسیلی می‌تواند بر توسعه شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارد. جوامعی که به‌شدت به صنایع مرتبط با نفت متکی هستند ممکن است ثبات اقتصادی و ایجاد شغل را در اولویت قرار دهند که منجر به حمایت از توسعه زیرساخت‌های تجارت نفت شود، در حالی که سایرین ممکن است تنوع و انتقال به صنایع جایگزین را در اولویت قرار دهند. درنهایت نگرش عمومی نسبت به یک گذار عادلانه، تضمین رفتار منصفانه با کارگران و جوامع متأثر از دور شدن از سوخت‌های فسیلی، می‌تواند بر تصمیم‌گیری‌های سیاستی مرتبط با شبکه تجارت نفت تأثیر بگذارد. حمایت عمومی از اقداماتی مانند برنامه‌های بازآموزی، ایجاد شغل در بخش‌های انرژی پاک و توسعه جامعه می‌تواند روند گذار را شکل دهد.

در مجموع درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی تأثیر قابل‌توجهی بر شبکه تجارت نفت دارد و بر سیاست‌های دولت، شیوه‌های صنعت و رفتار مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد. ارزش‌های اجتماعی در حال تحول، نگرانی‌های زیست‌محیطی و فشار برای گذار به منابع انرژی پاک‌تر، تحول صنعت نفت و شکل‌دهی مسیر آینده آن را به پیش می‌برد.

* 1. جنبش‌های اجتماعی و کنشگری

جنبش‌های اجتماعی و کنشگری به عنوان عوامل اجتماعی- فرهنگی قدرتمندی که شبکه تجارت نفت را شکل داده‌اند، ظهور کرده‌اند. این جنبش‌ها که ناشی از نگرانی‌ها در مورد پایداری زیست‌محیطی، حقوق بومی و عدالت اجتماعی است بر گفتمان عمومی، تصمیم‌گیری‌های سیاست‌گذاری و شیوه‌های صنعتی مرتبط با استخراج، حمل‌ونقل و مصرف نفت تأثیر گذاشته است.

از جنبه جنبش‌های زیست‌محیطی و فعالیت‌های اقلیمی عاملی مانند عدالت اقلیمی اهمیت زیادی دارد. جنبش‌های عدالت اقلیمی از راه‌حل‌های عادلانه برای تغییرات آب‌وهوایی دفاع می‌کنند و تأثیرات نامتناسب استخراج و مصرف سوخت‌های فسیلی را بر جوامع حاشیه‌نشین برجسته می‌نمایند. این جنبش‌ها آگاهی را در مورد پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی تولید نفت افزایش می‌دهد و از دولت‌ها و شرکت‌ها می‌خواهند به منابع انرژی پاک‌تر روی آورند و به نیازهای جوامع آسیب‌دیده رسیدگی کنند. از طرفی جنبش کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی از مؤسسات مختلف ازجمله دانشگاه‌ها، صندوق‌های بازنشستگی و سازمان‌های مذهبی می‌خواهند که از مصرف سوخت‌های فسیلی صرف‌نظر کنند. این کمپین‌ها به دنبال انگ زدن به صنعت سوخت‌های فسیلی، کاهش حمایت‌های مالی آن و ترویج گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. اقدامات واگذاری می‌تواند بر درک عمومی و قابلیت تأمین مالی شبکه‌های تجارت نفت تأثیر بگذارد. همچنین فعالان محیط‌زیست از تاکتیک‌های اقدام مستقیم ازجمله اعتراض، محاصره و نافرمانی مدنی برای افزایش آگاهی در مورد اثرات تولید نفت و توسعه زیرساخت‌ها استفاده می‌کنند. هدف از این اقدامات، ایجاد اختلال در فعالیت‌های تجاری معمول، تأثیرگذاری بر افکار عمومی و فشار بر دولت‌ها و شرکت‌ها برای اتخاذ شیوه‌های پایدارتر است.

از جنبه حقوق بومی و جنبش‌های زیست‌محیطی در خصوص حقوق زمین و منابع، جوامع بومی اغلب بیشترین تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از استخراج و حمل‌ونقل نفت را متحمل می‌شوند. جنبش‌های حقوق بومی از حق حاکمیت زمین، اخذ رضایت آزاد، پیشینی و آگاهانه و حفاظت از میراث فرهنگی دفاع می‌کنند. این جنبش‌ها گسترش شبکه‌های تجارت نفت را از طریق مبارزات قانونی، مبارزات عمومی و حمایت بین‌المللی به چالش می‌کشند. همچنین جنبش‌های عدالت زیست‌محیطی، توجه خود را معطوف به کاهش توزیع نابرابر منافع و مزایای زیست‌محیطی می‌کنند و بر جوامع به حاشیه رانده‌شده متأثر از آلودگی، خطرات بهداشتی و نابرابری‌های اجتماعی مرتبط با شبکه‌های تجارت نفت تمرکز دارند. این جنبش‌ها از رفتار منصفانه، مشارکت جامعه و فرایندهای تصمیم‌گیری فراگیر، تأثیرگذاری بر سیاست‌ها و شیوه‌های مرتبط با صنعت نفت حمایت می‌کنند.

در کنار موارد قبلی جنبش‌های گذار و گذار عادلانه برای انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. این جنبش‌های انتقالی تغییر از سوخت‌های فسیلی به منابع انرژی تجدیدپذیر را ترویج کرده و همچنین از سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌هایی حمایت می‌نمایند که استقرار فناوری‌های تجدیدپذیر را تسریع می‌کنند، کارایی انرژی را ارتقا می‌دهند و گذار انرژی پایدار را پیش می‌برند. آنها بر افکار عمومی، برنامه‌های سیاسی و رویه‌های صنعتی مرتبط با شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارند. هدف برخی از این جنبش‌ها عموماً گذار عادلانه انرژی است، به این معنی که با توجه به نیازهای کارگران و جوامعی که تحت تأثیر این گذار قرار دارند، دور شدن از سوخت‌های فسیلی عادلانه و فراگیر باشد. این جنبش‌ها از برنامه‌های بازآموزی، ایجاد شغل در بخش‌های انرژی پاک و توسعه جامعه برای کاهش اثرات اجتماعی و اقتصادی دوران گذار از نفت حمایت می‌کنند.

در مجموع جنبش‌های اجتماعی و کنشگری با افزایش آگاهی عمومی، تأثیرگذاری بر تصمیم‌گیری‌های خط‌مشی و تحت فشار قرار دادن شرکت‌ها برای اتخاذ شیوه‌های پایدارتر، نقش مهمی در شکل‌دهی شبکه تجارت نفت دارند. این جنبش‌ها سلطه سوخت‌های فسیلی را به چالش می‌کشند، از عدالت زیست‌محیطی و اجتماعی حمایت می‌کنند و به گذار انرژی در حال انجام کمک می‌کنند.

* 1. توسعه اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به انرژی

توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی، عوامل اجتماعی- فرهنگی مهمی هستند که بر شبکه تجارت نفت مؤثر می‌باشند. توسعه اجتماعی- اقتصادی با تأثیر بر تقاضای نفت، توسعه زیرساخت‌ها و سیاست‌های انرژی در سطوح ملی و جهانی تأثیر می‌گذارند.

ازجمله رشد اقتصادی و صنعتی شدن سبب افزایش تقاضای انرژی می‌شود؛ بنابراین توسعه اجتماعی- اقتصادی و صنعتی شدن باعث افزایش مصرف انرژی ازجمله تقاضا برای نفت می‌شود. همان‌طور که کشورها رشد اقتصادی را تجربه می‌کنند، صنایع انرژی بر، نیازهای حمل‌ونقل و مصرف انرژی خانوارها افزایش می‌یابد که منجر به افزایش تقاضا برای نفت و مشتقات آن می‌گردد. همچنین توسعه اجتماعی- اقتصادی اغلب مستلزم گسترش زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها، بنادر و خطوط لوله برای حمایت از تجارت و فعالیت‌های اقتصادی است. شبکه تجارت نفت با توسعه سایت‌های استخراج جدید، مسیرهای حمل‌ونقل و تأسیسات ذخیره‌سازی برای رفع نیازهای رو به رشد انرژی به این نیازهای زیرساختی پاسخ می‌دهد. درنهایت توسعه اقتصادی باعث جذب سرمایه‌گذاری‌های خارجی و فرصت‌های تجاری ازجمله صادرات و واردات نفت و فرآورده‌های نفتی می‌شود. شبکه تجارت نفت با تسهیل مشارکت‌های تجاری بین‌المللی، ایجاد زنجیره تأمین و انطباق با تقاضاهای بازار به این پویایی‌های اقتصادی پاسخ می‌دهد.

دسترسی و توسعه انرژی عامل اثرگذار دیگری در شبکه تجارت نفت است. در بسیاری از نقاط جهان، عدم دسترسی به خدمات انرژی مدرن ازجمله برق و سوخت‌های پاک پخت‌وپز، مانع توسعه اجتماعی- اقتصادی و کیفیت زندگی می‌شود. شبکه تجارت نفت با ارائه فرآورده‌های نفتی مقرون به‌صرفه و قابل دسترس برای مقاصد مختلف انرژی مانند حمل‌ونقل و تولید برق، نقشی در رفع فقر انرژی ایفا می‌کند. همچنین دسترسی به انرژی برای تضمین امنیت آن که برای توسعه اجتماعی- اقتصادی ضرورت دارد، حیاتی است. کشورها به دنبال تنوع بخشیدن به منابع انرژی و تأمین منابع قابل اعتماد نفت برای حمایت از فعالیت‌های اقتصادی و حفظ ثبات هستند. شبکه تجارت نفت با ایجاد قراردادهای بلندمدت، ذخایر استراتژیک و سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین برای تضمین امنیت انرژی پاسخ می‌دهد. لازم به ذکر است که در اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد بر اهمیت انرژی مقرون به‌صرفه و پاک برای توسعه اقتصادی-اجتماعی تأکید دارد. شبکه تجارت نفت با تأمین منابع انرژی و تسهیل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک‌تر که با اهداف توسعه پایدار مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود بهره‌وری انرژی همسو هستند، با این اهداف تلاقی می‌کند.

لازم به ذکر است که توسعه اجتماعی- اقتصادی بر سیاست‌های گذار انرژی و تنوع منابع انرژی نیز تأثیر می‌گذارد. دولت‌ها و جوامع به‌طور فزاینده‌ای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های پاک را برای رسیدگی به تغییرات آب و هوا و نگرانی‌های زیست‌محیطی در اولویت قرار می‌دهند. این سیاست‌ها با تأثیرگذاری بر تصمیمات سرمایه‌گذاری، چارچوب‌های نظارتی و پویایی بازار، شبکه تجارت نفت را شکل می‌دهد. همچنین توسعه اجتماعی- اقتصادی منجر به پذیرش فناوری‌ها و شیوه‌های کارآمد انرژی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی می‌شود. شبکه تجارت نفت با ترویج وسایل نقلیه، تجهیزات و فرایندهای با انرژی کارآمد و همچنین سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فناوری‌های پاک‌تر پاسخ می‌دهد. درنهایت باید توجه داشت که توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی در مناطق و کشورها متفاوت است. کشورهای در حال توسعه با زیرساخت‌ها و دسترسی محدود به انرژی ممکن است اولویت‌ها و چالش‌های متفاوتی نسبت به کشورهای توسعه‌یافته داشته باشند. شبکه تجارت نفت این نابرابری‌ها را تصدیق می‌کند و از طریق همکاری‌های منطقه‌ای، انتقال فناوری و ابتکارات ظرفیت‌سازی با زمینه‌های مختلف اجتماعی- اقتصادی سازگار است.

در مجموع توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی برای شکل‌دهی به شبکه تجارت نفت، افزایش تقاضای انرژی، توسعه زیرساخت‌ها و تصمیم‌گیری‌های سیاستی ضروری است. همان‌طور که جوامع برای توسعه پایدار و افزایش دسترسی به انرژی مقرون به‌صرفه و پاک تلاش می‌کنند، شبکه تجارت نفت برای پاسخگویی به این پویایی‌های اجتماعی- اقتصادی در حال تغییر تکامل می‌یابد.

**جمع‌بندی**

در این فصل، عواملی مؤثر بر شبکه تجارت نفت بررسی شد. شبکه تجارت جهانی نفت یک دستگاه پیچیده شامل بازیگران به هم پیوسته، مسیرهای حمل‌ونقل و چارچوب‌های نظارتی است؛ بنابراین شبکه تجارت جهانی نفت، یک نظام پیچیده و پویا است که تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل ساختاری، اقتصادی، محیطی، تکنولوژیک و اجتماعی- فرهنگی قرار که به طور خلاصه این عوامل در جدول (1) ارائه شده است.

**جدول 1:** عوامل مؤثر بر شبکه تجارت نفت

|  |  |
| --- | --- |
| **عوامل اصلی** | **زیر بخش ها** |
| عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت | ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای |
| در دسترس بودن منابع و ذخایر |
| توسعه زیرساخت و اتصال |
| عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت | تقاضای جهانی و الگوهای مصرف |
| پویایی بازار و نوسان قیمت |
| قراردادها و سیاست‌های تجاری |
| عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت | تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن |
| ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش |
| انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر |
| پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک در شبکه تجارت نفت | فن‌آوری‌های استخراج و پالایش |
| راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک |
| دیجیتالی سازی و کاربردهای بلاک چین |
| عوامل اجتماعی- فرهنگی شکل‌دهنده شبکه تجارت نفت | درک و نگرش عمومی نسبت به سوخته‌ای فسیلی |
| جنبش‌های اجتماعی و کنشگری |
| توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی |

بررسی‌های انجام شده در این فصل نشان داد که شبکه تجارت نفت به شدت تحت تأثیر عوامل ساختاری قرار دارد. این عوامل شامل در دسترس بودن منابع و ذخایر نفتی، توسعه زیرساخت‌ها و اتصال میان مناطق تولید، مصرف، ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای است. منابع نفتی در نقاط مختلف جهان به‌طور نابرابر توزیع شده‌اند و همین مسئله، نقش مهمی در شکل‌گیری الگوهای تجاری و مسیرهای حمل و نقل ایفا می‌کند. توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل ازجمله خطوط لوله و پایانه‌های صادرات و واردات، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بدون آنها، جریان روان نفت بین کشورها ممکن نخواهد بود. ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای نیز می‌توانند به‌طور مستقیم بر تجارت نفت تأثیرگذار باشند، به‌ویژه زمانی که روابط بین‌المللی و امنیت منطقه‌ای مطرح می‌شود.

از طرفی عوامل اقتصادی نیز نقش حیاتی در شبکه تجارت نفت دارند. تقاضای جهانی و الگوهای مصرف، پویایی بازار و نوسان قیمت و قراردادها و سیاست‌های تجاری ازجمله عوامل کلیدی در این حوزه هستند. تقاضای جهانی برای نفت به‌طور مداوم در حال تغییر است و این تغییرات به‌طور مستقیم بر تولید و تجارت نفت تأثیر می‌گذارد. نوسان قیمت نفت که می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد، تأثیرات عمیقی بر تجارت نفت دارد. همچنین، قراردادها و سیاست‌های تجاری بین کشورها می‌تواند به‌طور مستقیم مسیرهای تجاری و حجم تجارت نفت را تعیین کند.

عوامل محیطی و پایداری نیز در شبکه تجارت نفت دارای اهمیت هستند. تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش و انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر ازجمله عوامل محیطی و پایداری هستند که بر شبکه تجارت نفت تأثیر می‌گذارند. تغییرات آب و هوایی و مقررات سخت‌گیرانه‌تر در مورد انتشار کربن، فشارهای زیادی بر صنعت نفت وارد کرده است تا به سمت فناوری‌ها و فرایندهای پاک‌تر حرکت کند. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش نیز به‌طور مستقیم بر فعالیت‌های استخراج و حمل‌ونقل نفت تأثیرگذار است. همچنین، حرکت به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند در بلندمدت تقاضای جهانی برای نفت را کاهش داده و شبکه تجارت نفت را دست‌خوش تغییرات عمده‌ای کند.

از دیگر عوامل مؤثر در شبکه تجارت نفت، پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک است. پیشرفت‌های تکنولوژیک در حوزه‌های استخراج و پالایش، راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک و دیجیتالی‌سازی و کاربردهای بلاک‌چین نیز نقش مهمی در شبکه تجارت نفت دارند. فناوری‌های نوین استخراج و پالایش، نه‌تنها بهره‌وری را افزایش می‌دهند بلکه می‌توانند به کاهش اثرات زیست‌محیطی نیز کمک کنند. راه‌حل‌های جدید در حمل‌ونقل و لجستیک ازجمله استفاده از کشتی‌های بزرگ‌تر و کارآمدتر و بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل خطوط لوله نیز، باعث افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل نفت می‌شوند. دیجیتالی‌سازی و استفاده از بلاک‌چین نیز می‌تواند شفافیت و کارایی را در زنجیره تأمین نفت افزایش دهد.

درنهایت، عوامل اجتماعی- فرهنگی نیز در شکل‌دهی به شبکه تجارت نفت نقش دارند. درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی، جنبش‌های اجتماعی و کنشگری و توسعه اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به انرژی ازجمله این عوامل هستند. نگرش عمومی و فشارهای اجتماعی می‌تواند تأثیرات مستقیمی بر سیاست‌گذاری‌ها و جهت‌گیری‌های صنعت نفت داشته باشد. جنبش‌های اجتماعی و کنشگری در زمینه محیط‌زیست نیز می‌توانند به تغییرات عمده در سیاست‌ها و اقدامات صنعت نفت منجر شوند. توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه نیز می‌تواند بر تقاضای نفت و درنتیجه بر شبکه تجارت نفت تأثیرگذار باشد.

در مجموع، شبکه تجارت جهانی نفت تحت تأثیر مجموعه‌ای پیچیده و متنوع از عوامل قرار دارد که در تعامل با یکدیگر، الگوها و مسیرهای تجاری این ماده حیاتی را شکل می‌دهند. درک و تحلیل دقیق این عواملبرای پیش‌بینی و مدیریت تغییرات در این شبکه بسیار حائز اهمیت است.

فصل هشتم

تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت جهانی نفت

1. تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت جهانی نفت

مقدمه

تحریم‌های اقتصادی و تجاری، ابزارهای قدرتمندی هستند که توسط کشورها و نهادهای بین‌المللی به منظور اعمال فشار بر کشورهای هدف برای تغییر رفتارهای سیاسی، اقتصادی یا نظامی آنها به کار می‌روند. در این میان، صنعت نفت به عنوان یکی از ارکان اصلی اقتصاد جهانی و منبع اصلی درآمد بسیاری از کشورهای تولیدکننده نفت، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه و تولیدکنندگان عمده، همواره در مرکز توجه سیاست‌گذاران تحریمی بوده است. تأثیرات گسترده و پیچیده تحریم‌های نفتی بر شبکه تجارت جهانی نفت، نیازمند بررسی و تحلیل دقیق است تا بتوان به درک جامعی از این پدیده و پیامدهای آن دست یافت.

شبکه تجارت جهانی نفت، شبکه‌ای پویا و چندلایه است که در آن، عرضه و تقاضای نفت خام و فرآورده‌های نفتی تحت تأثیر عوامل متعددی همچون تغییرات ژئوپلیتیکی، نوسانات اقتصادی، تحولات تکنولوژیک و سیاست‌های بین‌المللی قرار دارد. تحریم‌های نفتی به عنوان یکی از ابزارهای سیاست خارجی می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر این شبکه تأثیر بگذارند. از کاهش تولید و صادرات نفت توسط کشورهای هدف گرفته تا تغییر مسیرهای تجاری و بازآرایی بازارهای بین‌المللی نفت، همگی نمونه‌هایی از اثرات تحریم‌ها بر شبکه تجارت نفت هستند.

یکی از موارد برجسته در این زمینه، تحریم‌های نفتی اعمال‌شده علیه ایران است که در سال‌های اخیر تأثیرات چشمگیری بر شبکه تجارت جهانی نفت داشته است. این تحریم‌ها نه‌تنها موجب کاهش شدید صادرات نفت ایران و افزایش فشار اقتصادی شده، بلکه به تغییرات عمده‌ای در بازارهای جهانی نفت و مسیرهای تجاری نیز منجر گردیده‌اند. به عنوان مثال، تغییر جهت صادرات نفت ایران به سوی بازارهای آسیایی و کاهش تعاملات نفتی با اروپا و آمریکا، نمونه‌ای از تغییرات ناشی از این تحریم‌هاست.

علاوه بر ایران، تحریم‌های نفتی علیه کشورهای دیگر همچون عراق در دهه‌های گذشته و روسیه در دوران معاصر نیز نشان‌دهنده تأثیرات گسترده و چندبعدی این ابزار سیاسی بر شبکه تجارت جهانی نفت است. تحلیل این موارد، به درک بهتر مکانیسم‌های تأثیرگذاری تحریم‌ها و پیامدهای آنها برای اقتصاد جهانی و بازار نفت کمک می‌کند.

در این فصل به بررسی جامع و دقیقی از تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت جهانی نفت پرداخته خواهد شد. این بررسی شامل تحلیل تأثیرات تحریم‌ها بر تولید و صادرات نفت، تغییرات در بازارهای جهانی، واکنش‌های کشورهای تحریم‌شده و شرکت‌های بین‌المللی نفتی و درنهایت، پیامدهای ژئوپلیتیکی و اقتصادی تحریم‌ها خواهد بود. هدف این فصل، ارائه دیدگاهی جامع و علمی از پدیده تحریم‌های نفتی و پیامدهای آن برای شبکه تجارت جهانی نفت است تا بتواند به عنوان مرجعی مفید برای سیاست‌گذاران، پژوهشگران و علاقه‌مندان به این حوزه مورد استفاده قرار گیرد.

* 1. تعریف تحریم‌ها و انواع آن

تحریم‌ها به عنوان ابزارهای دیپلماتیک و اقتصادی، مجموعه‌ای از اقدامات محدودکننده هستند که توسط یک یا چند کشور علیه یک کشور، گروه یا فرد اعمال می‌شوند. هدف اصلی از اعمال تحریم‌ها، تغییر رفتار دولت یا گروه هدف از طریق ایجاد فشار اقتصادی، سیاسی یا اجتماعی است. این ابزارها می‌توانند شامل ممنوعیت‌های تجاری، محدودیت‌های مالی، انسداد دارایی‌ها و محدودیت‌های مسافرتی باشند. تحریم‌ها به چند دسته اصلی تقسیم می‌شوند که هر کدام ویژگی‌ها و اهداف خاص خود را دارند.

* + 1. تحریم‌های اقتصادی

**تحریم‌های تجاری**: شامل محدودیت‌ها یا ممنوعیت‌های تجاری است که صادرات و واردات کالاها و خدمات بین کشورها را محدود می‌کند. مثال‌هایی از تحریم‌های تجاری، تحریم‌های اعمال‌شده توسط ایالات متحده و اتحادیه اروپا علیه ایران است که به‌طور گسترده‌ای صادرات نفت و واردات تکنولوژی‌های پیشرفته را محدود کرده است.

**تحریم‌های مالی:** شامل مسدود کردن دارایی‌ها و حساب‌های بانکی، منع انتقال پول و سرمایه و محدودیت‌های مربوط به وام‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها است. به عنوان مثال، ایالات متحده در سال‌های اخیر تحریم‌های مالی سخت‌گیرانه‌ای را علیه بانک‌ها و نهادهای مالی ایران و روسیه اعمال کرده است.

* 1. تحریم‌های دیپلماتیک

**تحریم‌های مسافرتی:** شامل محدودیت‌ها یا ممنوعیت‌های ورود و خروج افراد خاص از کشورهای تحریم‌کننده است. این تحریم‌ها معمولاً علیه مقامات دولت‌ها، فرماندهان نظامی و افراد مرتبط با فعالیت‌های غیرقانونی اعمال می‌شوند.

**تعلیق روابط دیپلماتیک:** شامل کاهش یا قطع کامل روابط دیپلماتیک با کشور هدف است. این نوع تحریم‌ها می‌توانند شامل اخراج دیپلمات‌ها، بستن سفارت‌ها یا کاهش سطح روابط دیپلماتیک باشند

* 1. تحریم‌های نظامی

**ممنوعیت‌های تسلیحاتی:** شامل منع فروش، انتقال یا تولید سلاح‌ و تجهیزات نظامی است. این نوع تحریم‌ها معمولاً برای جلوگیری از تقویت توان نظامی کشور هدف و کاهش تهدیدات نظامی اعمال می‌شوند. به عنوان مثال، شورای امنیت سازمان ملل متحد تحریم‌های تسلیحاتی شدیدی را علیه کره شمالی به دلیل برنامه‌های هسته‌ای و موشکی این کشور اعمال کرده است.

* 1. تحریم‌های حقوق بشری

**تحریم‌های فردی:** شامل اعمال محدودیت‌ها بر افراد خاص به دلیل نقض حقوق بشر، فساد یا جرائم جنگی است. این تحریم‌ها می‌توانند شامل مسدود کردن دارایی‌ها و ممنوعیت سفر باشند. نمونه‌هایی از این نوع تحریم‌ها شامل تحریم‌های اعمال‌شده علیه مقامات سوری است.

تاریخچه و اهداف اعمال تحریم‌ها در صنعت نفت

تحریم‌های اقتصادی و تجاری به‌طور گسترده به عنوان ابزاری برای رسیدن به اهداف سیاسی، امنیتی و اقتصادی توسط دولت‌ها و نهادهای بین‌المللی به کار گرفته شده‌اند. صنعت نفت به دلیل اهمیت استراتژیک و اقتصادی آن، یکی از حوزه‌های کلیدی بوده که بارها هدف تحریم‌های بین‌المللی قرار گرفته است. تحریم‌های نفتی معمولاً با چندین هدف کلیدی اعمال می‌شوند که برخی از مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از: الف- تغییر رفتار سیاسی و استراتژیک دولت‌های هدف، ب- کاهش درآمدهای دولت‌های هدف، چراکه نفت منبع اصلی درآمد بسیاری از کشورهای تولیدکننده آن است. کاهش درآمدهای نفتی می‌تواند توان اقتصادی و مالی دولت هدف را کاهش داده و آن را تحت فشار قرار دهد.پ- کاهش منابع مالی دولت هدف، توان نظامی آن را تضعیف کنند. ت- ایجاد نارضایتی عمومی و فشار بر مردم برای تغییر حکومت یا سیاست‌های دولت. این استراتژی می‌تواند نتایج متفاوتی داشته باشد و در برخی موارد ممکن است منجر به افزایش همبستگی داخلی در برابر فشارهای خارجی شود. ث- به عنوان ابزار اجرای قوانین و مقررات بین‌المللی. به عنوان مثال، تحریم‌های نفتی علیه عراق پس از تهاجم به کویت به عنوان یک اقدام تنبیهی برای نقض قوانین بین‌المللی اعمال شد.

در این بخش، به بررسی تاریخچه تحریم‌ها در صنعت نفت و اهداف اعمال این تحریم‌ها پرداخته می‌شود. تاریخچه تحریم‌ها در صنعت نفت به چند دهه گذشته بازمی‌گردد و در هر دوره تاریخی، تحریم‌ها با اهداف و پیامدهای متفاوتی اعمال شده‌اند:

**تحریم‌های نفتی در دوران جنگ جهانی دوم**: در طول جنگ جهانی دوم، نیروهای متفقین[[220]](#footnote-220) تحریم‌های شدیدی را علیه قدرت‌های محور یا متحدین[[221]](#footnote-221) به‌خصوص ژاپن و آلمان اعمال کردند. این تحریم‌ها شامل محدودیت‌های صادرات نفت به این کشورها بود که هدف آن کاهش توان نظامی و اقتصادی آنها در جنگ بوده است. این تحریم‌ها تأثیرات عمده‌ای بر ظرفیت جنگی قدرت‌های محور داشت.

**تحریم‌های نفتی اعراب در دهه 1970:** یکی از مهم‌ترین تحریم‌های نفتی در تاریخ، تحریم نفتی کشورهای عربی علیه کشورهای غربی در سال 1973 بود. این تحریم‌ها در پاسخ به حمایت غرب از اسرائیل در جنگ یوم کیپور اعمال شد و منجر به افزایش شدید قیمت نفت و بحران انرژی در بسیاری از کشورهای صنعتی گردید. این بحران نشان داد که نفت به عنوان یک سلاح اقتصادی می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر اقتصاد جهانی داشته باشد.

**تحریم‌های نفتی علیه ایران:** تحریم‌های نفتی علیه ایران در چندین مقطع زمانی مختلف اعمال شده‌اند؛ اما مهم‌ترین آنها پس از انقلاب اسلامی 1979 و در دهه‌های 2000 و 2010 بوده است. در دهه 1980، ایالات متحده تحریم‌های شدیدی علیه ایران به اتهام حمایت از تروریسم و فعالیت‌های هسته‌ای مشکوک اعمال کرد. این تحریم‌ها در دهه 2000 و 2010 توسط اتحادیه اروپا و سازمان ملل متحد تشدید شدند و هدف آنها محدود کردن برنامه هسته‌ای ایران و اعمال فشار برای مذاکره بود. برای مثال در طی این سال‌ها ، واردات نفت خام ایران به ایالات متحده در سال 1987 ممنوع شد. سایر عناصر بخش نفت ایران نیز مشمول تحریم بوده‌اند؛ ازجمله سرمایه‌گذاری در تولید نفت ایران، بیمه شرکت‌های نفتی ایران و حمل نفت خام ایران، فروش کالاها و خدمات حمایت‌کننده از تولید نفت خام ایران، حمل و نقل و صادرات نفت.

**تحریم‌های نفتی علیه عراق:** پس از تهاجم عراق به کویت در سال 1990، سازمان ملل متحد تحریم‌های گسترده‌ای علیه عراق اعمال کرد که شامل ممنوعیت کامل صادرات نفت این کشور بود. این تحریم‌ها تا سال 2003 و سرنگونی رژیم صدام حسین ادامه یافت که تأثیرات عمیقی بر اقتصاد عراق و رفاه عمومی مردم این کشور داشت.

**تحریم‌های نفتی علیه روسیه:** در پی الحاق کریمه به روسیه در سال 2014 و بحران‌های بعدی در اوکراین ازجمله جنگ روسیه و اکراین، ایالات متحده و اتحادیه اروپا تحریم‌های شدیدی را علیه صنعت نفت و گاز روسیه اعمال کردند. این تحریم‌ها شامل محدودیت‌هایی در دسترسی به تکنولوژی‌های پیشرفته و سرمایه‌گذاری‌های خارجی در صنعت نفت و گاز روسیه بود و هدف آن کاهش توان اقتصادی و استراتژیک روسیه بود.

اهمیت مطالعه تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت نفت

تحریم‌های اقتصادی و تجاری به عنوان ابزاری مؤثر در سیاست خارجی و بین‌المللی، نقش مهمی در شکل‌دهی به روابط بین کشورها و ساختار اقتصادی جهانی ایفا می‌کنند. صنعت نفت، به عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع استراتژیک در جهان، به‌طور خاص تحت تأثیر تحریم‌ها قرار دارد. مطالعه تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت نفت از چندین جنبه اهمیت ویژه‌ای دارد.

نفت به عنوان یک کالای استراتژیک، نقش حیاتی در اقتصاد جهانی دارد. نوسانات در تولید و تجارت نفت می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر قیمت نفت و به تبع آن، بر اقتصاد جهانی داشته باشد. تحریم‌های نفتی معمولاً باعث کاهش عرضه نفت در بازارهای جهانی می‌شوند که منجر به افزایش قیمت‌ها و ایجاد نوسانات در بازارهای مالی و اقتصادی می‌گردد. این نوسانات می‌توانند تورم را افزایش دهند، رشد اقتصادی را کند کنند و به بی‌ثباتی اقتصادی منجر شوند؛ بنابراین تحریم‌های نفتی می‌توانند تأثیرات گسترده‌ای بر توسعه اجتماعی- اقتصادی کشورها داشته باشند. کاهش درآمدهای نفتی می‌تواند به کاهش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، آموزش، بهداشت و سایر بخش‌های اجتماعی منجر شود. این موضوع به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه که به‌شدت به درآمدهای نفتی وابسته هستند، اهمیت دارد.

البته تحریم‌های نفتی نه‌تنها تأثیرات اقتصادی دارند بلکه به‌شدت بر روابط ژئوپلیتیکی و دیپلماتیک بین کشورها تأثیر می‌گذارند. اعمال تحریم‌های نفتی می‌تواند منجر به تشدید تنش‌ها و منازعات بین‌المللی شود. به عنوان مثال، تحریم‌های نفتی علیه ایران و روسیه نشان داده‌اند که چنین اقداماتی می‌توانند باعث تغییر در اتحادها و روابط بین‌المللی شوند. تأثیر بر امنیت انرژی دیگر اثر تحریم‌ها بر شبکه تجارت نفت است. امنیت انرژی یکی از موضوعات کلیدی در سیاست‌های بین‌المللی است. تحریم‌های نفتی می‌توانند امنیت انرژی کشورهای واردکننده نفت را به خطر بیندازند. کشورهای وابسته به واردات نفت ممکن است با مشکلاتی مانند افزایش قیمت‌ها، کمبود عرضه و نیاز به تغییر سریع در منابع انرژی خود مواجه شوند. این موضوع به‌ویژه برای کشورهای صنعتی که به‌شدت به نفت وابسته هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است.

در عین حال تحریم‌های نفتی می‌توانند تأثیرات مهمی بر پایداری و محیط‌زیست داشته باشند. کاهش دسترسی به منابع و فناوری‌های پیشرفته می‌تواند باعث استفاده از روش‌های کم‌تأثیرتر و دوستدار محیط‌زیست شود. از سوی دیگر، تحریم‌ها ممکن است منجر به استفاده از روش‌های استخراج و پالایش غیرمستند و ناپایدار شوند که اثرات منفی بر محیط‌زیست دارند. درنهایت تحریم‌های نفتی می‌توانند تأثیرات مهمی بر توسعه فناوری و نوآوری در صنعت نفت داشته باشند. کشورهای تحریم‌شده ممکن است مجبور شوند به توسعه فناوری‌های بومی و استفاده از روش‌های نوین استخراج و پالایش نفت بپردازند تا وابستگی خود به تکنولوژی‌های خارجی را کاهش دهند. این موضوع می‌تواند منجر به افزایش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و پیشرفت‌های تکنولوژیکی شود.

* 1. تأثیر تحریم‌ها بر تولید و صادرات نفت

تحریم‌های اقتصادی و تجاری به عنوان ابزاری مهم در سیاست خارجی و بین‌المللی، تأثیرات قابل توجهی بر تولید و صادرات نفت دارند. این تأثیرات می‌توانند به تغییرات عمده‌ای در بازارهای جهانی نفت و همچنین اقتصادهای کشورهای هدف و تحریم‌کننده منجر شوند. در این بخش، به بررسی تأثیر تحریم‌ها بر تولید و صادرات نفت پرداخته می‌شود. در ابتدا تأثیر تحریم‌ها بر **کاهش تولید نفت بررسی می‌شود.** تحریم‌ها معمولاً با هدف کاهش تولید نفت در کشورهای هدف اعمال می‌شوند. این کاهش تولید می‌تواند ناشی از چندین عامل باشد که در به شرح زیر است:

**محدودیت دسترسی به فناوری و تجهیزات پیشرفته**: تحریم‌های اقتصادی معمولاً شامل محدودیت‌های صادرات فناوری‌ها و تجهیزات مورد نیاز برای استخراج و تولید نفت می‌شود. این محدودیت‌ها می‌توانند تولید نفت را کاهش دهند، زیرا کشورهای هدف قادر به نگهداری و به‌روزرسانی تجهیزات خود نخواهند بود.

**کاهش سرمایه‌گذاری خارجی:** تحریم‌ها می‌توانند باعث خروج سرمایه‌گذاران خارجی و کاهش سرمایه‌گذاری‌های جدید در صنعت نفت کشور هدف شوند. این کاهش سرمایه‌گذاری می‌تواند منجر به کاهش تولید نفت شود، زیرا پروژه‌های جدید به تعویق می‌افتند یا لغو می‌شوند.

**مشکلات مالی و اقتصادی:** تحریم‌ها معمولاً منجر به مشکلات مالی و اقتصادی برای کشور هدف می‌شوند که این مشکلات می‌توانند به کاهش تولید نفت منجر گردند. کاهش دسترسی به منابع مالی خارجی و داخلی می‌تواند توانایی کشور هدف برای حفظ و افزایش تولید نفت را محدود کند.

**تأثیر دیگر تحریم‌ها کاهش صادرات نفت است*.*** تحریم‌ها به طور مستقیم می‌توانند صادرات نفت کشور هدف را کاهش دهند. این کاهش صادرات می‌تواند ناشی از محدودیت تجاری، مشکلات حمل و نقل و کاهش تقاضا از سوی مشتریان باشد که در ادامه توضیح داده می‌شود:

**محدودیت‌های تجاری:** تحریم‌ها معمولاً شامل ممنوعیت‌ها و محدودیت‌های تجاری هستند که صادرات نفت کشور هدف را به کشورهای دیگر محدود می‌کنند. این محدودیت‌ها می‌توانند شامل ممنوعیت فروش نفت، ممنوعیت انتقال نفت و ممنوعیت استفاده از سیستم‌های بانکی بین‌المللی برای معاملات نفتی باشند.

**مشکلات حمل و نقل**: تحریم‌ها می‌توانند مشکلات جدی در حمل و نقل نفت ایجاد کنند. برای مثال، محدودیت‌های اعمال‌شده بر شرکت‌های حمل و نقل و بیمه‌گران می‌توانند صادرات نفت را به‌شدت مختل کنند.

**کاهش تقاضا از سوی مشتریان:** تحریم‌ها می‌توانند باعث کاهش تقاضای مشتریان بین‌المللی برای نفت کشور هدف شوند. مشتریان ممکن است به دلیل ترس از تحریم‌های ثانویه یا به دلیل مشکلات در انجام معاملات مالی از خرید نفت از کشور هدف خودداری کنند.

**تأثیر دیگر تحریم‌ها تغییر در الگوهای تجارت جهانی نفت است*.*** تحریم‌ها می‌توانند از طریق خارج کردن برخی بازیگران و تقویت جایگاه برخی بازیگران دیگر به تغییر در الگوهای تجارت جهانی نفت منجر شوند. این تغییرات می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

**تغییر در جریان‌های تجاری**: کشورهای تحریم‌شده ممکن است به دنبال بازارهای جدید برای فروش نفت خود باشند. این موضوع می‌تواند منجر به تغییر در جریان‌های تجاری نفت شود. برای مثال، ایران پس از اعمال تحریم‌های بین‌المللی، تلاش کرد تا نفت خود را به کشورهای آسیایی مانند چین و هند صادر کند.

**افزایش تجارت غیررسمی:** تحریم‌ها می‌توانند به افزایش تجارت غیررسمی و قاچاق نفت منجر شوند. کشورهای تحریم‌شده ممکن است برای دور زدن تحریم‌ها به فروش نفت در بازارهای غیررسمی و با استفاده از روش‌های غیرقانونی روی آورند.

**تغییر در ساختار بازار جهانی نفت:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییر در ساختار بازار جهانی نفت منجر شوند. این تغییرات می‌توانند شامل افزایش نقش کشورهای تولیدکننده نفت غیر اوپک و افزایش اهمیت منابع نفتی غیرمتعارف مانند نفت شیل باشند.

**قابل ذکر است که** تحریم‌های نفتی می‌توانند پیامدهای اقتصادی گسترده‌ای برای کشورهای تحریم‌شده ازجمله موارد زیر داشته باشند:

**کاهش درآمدهای دولت:** کاهش تولید و صادرات نفت می‌تواند به کاهش درآمدهای دولت منجر گردد. این کاهش درآمدها می‌تواند به کاهش بودجه‌های دولتی، کاهش سرمایه‌گذاری‌های عمومی و کاهش ارائه خدمات عمومی منجر شود.

**افزایش بدهی‌های خارجی:** کشورهایی که تحت تحریم قرار دارند ممکن است برای جبران کاهش درآمدهای نفتی به افزایش بدهی‌های خارجی روی آورند. این موضوع می‌تواند به افزایش مشکلات مالی و اقتصادی در بلندمدت منجر شود.

**تشدید مشکلات اجتماعی:** کاهش درآمدهای نفتی می‌تواند به تشدید مشکلات اجتماعی مانند بیکاری، فقر و نابرابری منجر شود. این مشکلات می‌توانند به افزایش نارضایتی عمومی و ناآرامی‌های اجتماعی منتهی گردد.

البته تحریم‌های نفتی می‌توانند پیامدهای اقتصادی برای کشورهای تحریم‌کننده نیز داشته باشند که برای نمونه چند مورد از این پیامدهای محتمل در ادامه ارائه شده است:

**افزایش قیمت نفت:** کاهش عرضه نفت در بازارهای جهانی می‌تواند به افزایش قیمت نفت منجر شود. این افزایش قیمت می‌تواند به افزایش هزینه‌های انرژی و کاهش رشد اقتصادی در کشورهای واردکننده نفت منتهی گردد.

**تأثیر بر شرکت‌های نفتی**: شرکت‌های نفتی کشورهای تحریم‌کننده ممکن است با مشکلاتی مانند کاهش دسترسی به منابع نفتی و از دست دادن بازارهای بین‌المللی مواجه شوند. این مشکلات کاهش درآمدها و سودآوری شرکت‌ها را در پی دارد.

**پیامدهای ژئوپلیتیکی:** تحریم‌های نفتی می‌توانند به تشدید تنش‌ها و منازعات ژئوپلیتیکی منجر شوند. این تنش‌ها می‌توانند به بی‌ثباتی در مناطق تولیدکننده نفت و کاهش امنیت انرژی در سطح جهانی منتهی گردد.

در مجموع باید توجه داشت که تحریم‌های نفتی تأثیرات گسترده و چندوجهی بر تولید و صادرات نفت دارند. این تأثیرات می‌توانند به کاهش تولید و صادرات نفت در کشورهای هدف، تغییر در الگوهای تجارت جهانی نفت و پیامدهای اقتصادی برای کشورهای تحریم‌شده و تحریم‌کننده منجر شوند.

* 1. تأثیر تحریم‌ها بر تغییر در مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت

تحریم‌های اقتصادی به عنوان ابزارهای مهم در دیپلماسی بین‌المللی می‌توانند تأثیرات عمیقی بر مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت داشته باشند. این تأثیرات می‌توانند باعث تغییرات قابل توجهی در الگوهای تجاری جهانی، شراکت‌های تجاری و استراتژی‌های بازار نفت شوند. تحریم‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث تغییر در مسیرهای تجاری نفت گردند. این تغییرات همان‌طور که در ادامه توضیح داده می‌شود، می‌توانند به دلایل مختلفی ازجمله محدودیت‌های تحریمی، تغییر در تقاضا و عرضه و تغییرات در سیاست‌های تجاری گردند.

**محدودیت‌های تحریمی:** تحریم‌های اقتصادی معمولاً شامل محدودیت‌های تجاری هستند که به‌طور مستقیم بر مسیرهای تجاری نفت تأثیر می‌گذارند. برای مثال، تحریم‌های نفتی می‌توانند به ممنوعیت صادرات نفت از یک کشور خاص به کشورهای خاص دیگر منجر شوند که این موضوع باعث تغییر در مسیرهای تجاری نفت به سمت بازارهای جدید می‌گردد.

**تغییر در تقاضا و عرضه:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییر در تقاضا و عرضه نفت در بازارهای جهانی منجر شوند. به عنوان مثال، کاهش عرضه نفت از کشور تحریم‌شده می‌تواند به افزایش قیمت‌ها و تغییر در مسیرهای تجاری نفت به سمت بازارهای جدید منتهی گردد. کشورهای واردکننده نفت ممکن است به دنبال منابع جدید و جایگزین برای تأمین نیازهای خود باشند.

**تغییرات در زیرساخت‌های حمل و نقل:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییرات در زیرساخت‌های حمل و نقل نفت نیز منجر شوند. برای مثال، محدودیت‌ها بر تأمین‌کنندگان خدمات حمل و نقل و بیمه‌گران می‌توانند تغییر مسیرهای حمل و نقل نفت و استفاده از روش‌های جایگزین را ایجاد کنند.

قابل ذکر است که تحریم‌ها می‌توانند تأثیرات مهمی بر بازارهای صادراتی نفت داشته باشند. این تأثیرات همان‌طور که در ادامه توضیح داده شد، می‌توانند شامل تغییر در شرکای تجاری، ایجاد بازارهای جدید و تغییر در استراتژی‌های فروش نفت باشند.

**تغییر در شرکای تجاری:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییر در شرکای تجاری نفت یک کشور منجر شوند. کشورهای تحریم‌شده ممکن است تلاش کنند تا بازارهای جدیدی را برای صادرات نفت خود پیدا کنند و روابط تجاری جدیدی را با کشورهایی که تحت تأثیر تحریم‌ها قرار ندارند، برقرار نمایند. به عنوان مثال، تحریم‌های نفتی علیه ایران باعث شده‌اند که ایران به سمت بازارهای آسیایی جدید مانند چین و هند روی آورد.

**ایجاد بازارهای جدید**: کشورهای تحریم‌شده ممکن است به دنبال ایجاد و گسترش بازارهای جدید برای نفت خود باشند. این موضوع می‌تواند به تغییرات در بازارهای جهانی نفت و توسعه روابط تجاری جدید منجر شود. به عنوان مثال، تحریم‌های روسیه بر روی صادرات نفت به اروپا باعث شده که این کشور به سمت بازارهای جدید در آسیا و دیگر نقاط دنیا روی آورد.

**تغییر در استراتژی‌های فروش نفت:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییر در استراتژی‌های فروش نفت کشورها منجر شوند. کشورهایی که تحت تحریم قرار دارند ممکن است استراتژی‌های جدیدی برای فروش نفت خود به کار گیرند، ازجمله تخفیف‌های بیشتر، قراردادهای بلندمدت و استفاده از روش‌های پرداخت جایگزین.

لازم به ذکر است که تحلیل تأثیر تحریم‌ها بر تغییر مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت نیازمند درک عمیق از تأثیرات کلان و خرد اقتصادی این تغییرات است. در سطح اقتصاد کلان تغییر در مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت می‌تواند به تغییرات عمده‌ای در بازارهای جهانی نفت و اقتصادهای کشورهای واردکننده و صادرکننده نفت منجر شود. این تغییرات می‌توانند به نوسانات قیمت نفت، تغییرات در تراز تجاری و تأثیرات بر رشد اقتصادی کشورهای مختلف منجر شوند. در سطح خرد، تغییر در مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت می‌تواند به تأثیرات خرد اقتصادی قابل توجهی بر شرکت‌های نفتی، بنگاه‌های اقتصادی و خانوارها منتهی گردد. این تأثیرات می‌توانند شامل تغییر در هزینه‌های تولید، تغییر در درآمدهای نفتی و تغییر در هزینه‌های انرژی برای مصرف‌کنندگان باشد. در مجموع تحریم‌ها به‌طور قابل توجهی بر مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت تأثیر می‌گذارند. این تأثیرات می‌توانند تغییر در مسیرهای تجاری، تغییر در شرکای تجاری، ایجاد بازارهای جدید و تغییر در استراتژی‌های فروش نفت را موجب شوند.

* 1. تأثیر تحریم‌ها بر عوامل مؤثر بر شبکه تجارت جهانی نفت

تحریم‌های اقتصادی و تجاری می‌توانند به‌طور گسترده‌ای بر شبکه تجارت جهانی نفت تأثیر بگذارند. این تأثیرات می‌توانند به تغییرات در عوامل ساختاری، اقتصادی، محیطی، تکنولوژیک و اجتماعی-فرهنگی شبکه تجارت نفت که در فصل قبل به طور مفصل بررسی و تحلیل شد، منجر گردد. در این بخش، به بررسی تأثیر تحریم‌ها بر هر یک از این عوامل پرداخته خواهد شد.

* 1. **تأثیر تحریم‌ها بر عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت**

تحریم‌ها به عنوان ابزارهای اقتصادی می‌توانند تأثیرات عمیقی بر عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت داشته باشند. این تحریم‌ها معمولاً به منظور محدود کردن دسترسی کشورهای هدف به بازارهای جهانی و کاهش درآمدهای نفتی آن‌ها اعمال می‌شوند. یکی از عوامل کلیدی در این زمینه، تغییر در الگوهای عرضه و تقاضا است. با اعمال تحریم‌ها، کشورهای هدف ممکن است مجبور شوند به بازارهای غیررسمی یا کشورهای کم‌خطرتر متوسل شوند که این امر می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های انتقال و کاهش کارایی در زنجیره تأمین گردد. همچنین، این تغییرات می‌تواند بر کیفیت نفت صادراتی تأثیر بگذارد، زیرا برخی از پالایشگاه‌ها و مشتریان بین‌المللی ممکن است از خرید نفت از کشورهای تحریمی خودداری کنند که درنتیجه باعث افت قیمت‌ها و ناپایداری در بازار می‌شود.

علاوه بر این، تحریم‌ها می‌توانند تغییرات ساختاری در سرمایه‌گذاری و فناوری در صنعت نفت ایجاد کنند. در شرایط تحریم، سرمایه‌گذاری خارجی کاهش می‌یابد و دسترسی به فناوری‌های پیشرفته محدود می‌شود. این امر می‌تواند به کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌های تولید منتهی گردد و درنهایت بر توان رقابتی کشورها تأثیر بگذارد. همچنین، تحریم‌ها ممکن است به انزوای بازارهای نفتی و افزایش وابستگی به بازارهای داخلی یا منطقه‌ای منجر شوند که این امر می‌تواند به ناپایداری‌های بیشتری در تجارت نفت دامن بزند. به‌طور کلی، تأثیر تحریم‌ها بر عوامل ساختاری شبکه تجارت نفت نه‌تنها به کاهش درآمدهای نفتی منجر می‌شود بلکه می‌تواند زیربنای اقتصادی و تجاری کشورها را تحت تأثیر قرار دهد و به ایجاد بحران‌های اقتصادی و اجتماعی منجر شود. در ادامه تأثیرات تحریم بر اجزای مختلف عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجاری نفت ارائه شده است.

**ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای:** تحریم‌ها می‌توانند تغییرات قابل توجهی در ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای به وجود آورند. کشورهای تحت تحریم ممکن است به دنبال تحکیم اتحادهای جدید با کشورهایی که تحت تأثیر تحریم‌ها قرار ندارند، باشند. این تغییرات می‌توانند به تغییر در الگوهای همکاری و رقابت در بازار نفت منجر شوند.

**در دسترس بودن منابع و ذخایر:** تحریم‌ها می‌توانند تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر در دسترس بودن منابع و ذخایر نفت داشته باشند. به عنوان مثال، تحریم‌ها می‌توانند به کاهش سرمایه‌گذاری در صنعت نفت و کاهش فعالیت‌های اکتشافی و توسعه‌ای منجر شوند که این موضوع می‌تواند باعث کاهش بهره‌برداری از ذخایر جدید و کاهش منابع در دسترس گردد.

**توسعه زیرساخت و اتصال:** تحریم‌ها می‌توانند به تأثیرات منفی بر توسعه زیرساخت‌ها و اتصال در صنعت نفت و همچنین محدودیت‌های تجاری و مالی در تأمین تجهیزات و فناوری‌های لازم برای توسعه زیرساخت‌های نفتی منجر شوند. این محدودیت‌ها می‌توانند به تأخیر در پروژه‌های زیرساختی و کاهش توانایی‌های انتقال و فرآوری نفت منتهی گردد.

* 1. **تأثیر تحریم‌ها بر عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت**

تحریم‌ها می‌توانند تأثیرات عمیق و گسترده‌ای بر عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت داشته باشند. یکی از این تأثیرات، کاهش درآمدهای نفتی کشورهاست که به دلیل محدودیت‌های صادراتی و عدم دسترسی به بازارهای بین‌المللی اتفاق می‌افتد. این کاهش درآمدها نه‌تنها توانایی کشورها در تأمین مالی پروژه‌های توسعه‌ای را کاهش می‌دهد بلکه موجب افزایش فشار بر بودجه‌های دولتی و ناپایداری اقتصادی می‌شود. در این شرایط، کشورها ممکن است برای جبران کسری بودجه، به افزایش مالیات‌ها یا کاهش هزینه‌های عمومی روی آورند که این امر می‌تواند به نارضایتی اجتماعی و بی‌ثباتی سیاسی منجر گردد.

علاوه بر این، تحریم‌ها می‌توانند بر هزینه‌های تولید و قیمت نفت تأثیرگذار باشند. در شرایط تحریم، دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و سرمایه‌گذاری‌های خارجی محدود می‌گردد که این امر می‌تواند به کاهش کیفیت و افزایش هزینه‌های استخراج و تولید نفت منجر شود. همچنین، تحریم‌ها می‌توانند به تغییر در الگوهای تجاری و افزایش وابستگی به بازارهای محلی یا منطقه‌ای منتهی گردند که به نوبه خود می‌تواند نوسانات قیمت نفت را تشدید کند. این نوسانات نه‌تنها بر اقتصاد کشورهای تولیدکننده نفت تأثیر می‌گذارد بلکه می‌تواند به ایجاد عدم قطعیت در بازار جهانی نفت و کاهش سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت در صنعت نفت منجر شود. به‌طور کلی، تحریم‌ها با ایجاد اختلال در شبکه تجارت نفت می‌توانند به ناپایداری‌های اقتصادی و اجتماعی دامن بزنند و تأثیرات منفی بر رشد و توسعه اقتصادی کشورهای هدف داشته باشند. در ادامه تأثیرات تحریم بر اجزای مختلف عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجاری نفت ارائه شده است.

**تقاضای جهانی و الگوهای مصرف:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییرات در تقاضای جهانی و الگوهای مصرف نفت منجر شوند. به عنوان مثال، کاهش عرضه نفت از کشورهای تحریم‌شده می‌تواند باعث افزایش قیمت‌ها و تغییر در الگوهای مصرف جهانی گردد. کشورهای واردکننده نفت ممکن است به دنبال منابع جدید و جایگزین باشند که این تغییرات می‌توانند به تغییر در تقاضای نفت منتهی شود.

**پویایی بازار و نوسان قیمت:** تحریم‌ها می‌توانند به نوسانات شدید در بازار نفت و قیمت‌های جهانی و همچنین کاهش عرضه نفت به دلیل تحریم‌ها باعث افزایش نوسانات قیمت‌ها در بازار جهانی نفت می‌شود. این نوسانات می‌توانند به تأثیرات اقتصادی قابل توجهی در بازارهای جهانی نفت منجر گردد.

**قراردادها و سیاست‌های تجاری**: تحریم‌ها می‌توانند به تغییرات در قراردادها و سیاست‌های تجاری مرتبط با نفت منجر شوند. به عنوان مثال، تحریم‌های نفتی می‌توانند به تغییر در قراردادهای تجاری، تغییر در شرایط مالی و پرداخت‌های بین‌المللی و تغییر در سیاست‌های تجاری کشورها منتهی گردد.

* 1. **تأثیر تحریم‌ها بر عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت**

تحریم‌ها می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر عوامل محیطی و پایداری مؤثر بر شبکه تجارت نفت داشته باشند. در شرایط تحریم، کشورهای هدف معمولاً به دلیل محدودیت‌های اقتصادی و فشارهای مالی، ممکن است اولویت کمتری برای رعایت استانداردهای زیست‌محیطی قائل شوند. این امر می‌تواند منجر به افزایش آلودگی و تخریب محیط‌زیست شود، زیرا شرکت‌ها به جای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک و پایدار، به دنبال کاهش هزینه‌ها و افزایش تولید هستند. درنتیجه، استخراج و فرآوری نفت به صورت غیراصولی و با رعایت حداقلی از استانداردهای زیست‌محیطی انجام می‌شود که این موضوع می‌تواند به بروز مشکلاتی نظیر آلودگی آب و خاک و تخریب اکوسیستم‌ها منجر شود.

علاوه بر این، تحریم‌ها می‌توانند بر اقدامات کشورهای تحریمی در راستای توسعه پایدار تأثیر منفی بگذارند. در شرایطی که دسترسی به بازارهای بین‌المللی و فناوری‌های نوین محدود می‌شود، کشورها ممکن است نتوانند به منابع مالی و فنی لازم برای گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به نفت دسترسی پیدا کنند. این مسئله می‌تواند به تداوم وابستگی به سوخت‌های فسیلی و تأخیر در اجرای برنامه‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود. به‌طور کلی، تحریم‌ها نه‌تنها بر وضعیت اقتصادی و سیاسی کشورها تأثیر می‌گذارند، بلکه می‌توانند به تضعیف تلاش‌های جهانی برای حفظ محیط‌زیست و دستیابی به توسعه پایدار نیز دامن بزنند. در ادامه تأثیرات تحریم بر اجزای مختلف عوامل محیطی و پایداری مؤثر بر شبکه تجاری نفت ارائه شده است.

**تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن**: تحریم‌ها می‌توانند تأثیرات غیرمستقیم بر تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن داشته باشند. به عنوان مثال، کاهش تولید نفت از کشورهای تحریم‌شده می‌تواند به کاهش انتشار کربن از این منابع منجر شود، اما در عوض، افزایش استفاده از منابع انرژی جایگزین ممکن است تأثیرات جدیدی بر محیط‌زیست داشته باشد.

**ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییرات در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش تأثیرات محیطی منجر شوند. به عنوان مثال، فشارهای بین‌المللی ناشی از تحریم‌ها ممکن است به افزایش توجه به تأثیرات زیست‌محیطی و توسعه سیاست‌های کاهش تأثیرات زیست‌محیطی منجر شود.

**انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر:** تحریم‌ها می‌توانند به تسریع روند انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر منجر شوند. به‌ویژه، تحریم‌ها ممکن است باعث کاهش وابستگی به نفت و افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر شوند. این تغییرات می‌توانند به کاهش تقاضا برای نفت و تغییر در ساختار انرژی جهانی منجر شوند.

* 1. ****تأثیر تحریم‌ها بر پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک در شبکه تجارت نفت****

تحریم‌ها می‌توانند اثرات عمیقی بر پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک در شبکه تجارت نفت داشته باشند. زمانی که یک کشور هدف تحریم‌های اقتصادی قرار می‌گیرد، دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و سرمایه‌گذاری‌های خارجی به شدت کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند به کندی فرآیندهای نوآوری و توسعه تکنولوژیک منجر شود. کمبود منابع مالی و فنی، شرکت‌های نفتی را مجبور می‌کند تا به روش‌های سنتی و کمتر کارآمد برای استخراج و فرآوری نفت روی آورند. این موضوع نه تنها بهره‌وری را کاهش می‌دهد، بلکه همچنین موجب افزایش هزینه‌های تولید و کاهش رقابت‌پذیری در بازار جهانی می‌شود. در چنین شرایطی، کشورهای تحریمی ممکن است نتوانند به توسعه فناوری‌های سبز و پایدار که می‌توانند به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کمک کنند، دست یابند.

علاوه بر این، تحریم‌ها می‌توانند به ایجاد انزوا در زمینه‌های تحقیق و توسعه منجر شوند، زیرا همکاری‌های بین‌المللی در زمینه علم و فناوری تحت تأثیر محدودیت‌های سیاسی قرار می‌گیرد. این انزوا نه‌تنها مانع از انتقال دانش و فناوری‌های نوین می‌شود، بلکه می‌تواند به کاهش انگیزه‌های داخلی برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه منجر گردد. درنتیجه، کشورهای تحت تحریم ممکن است در زمینه‌های کلیدی مانند فناوری‌های حفاری، پالایش و مدیریت منابع انرژی عقب بمانند. این عدم پیشرفت در نوآوری‌های تکنولوژیک می‌تواند در بلندمدت تأثیرات منفی بر امنیت انرژی و پایداری اقتصادی کشورها به وجود آورد و به تداوم وابستگی به روش‌های استخراج و تولید ناکارآمد منجر شود. در ادامه تأثیرات تحریم بر اجزای مختلف عوامل پیشرفت و نوآوری‌های تکنولوژیک بر شبکه تجاری نفت ارائه شده است.

**فن‌آوری‌های استخراج و پالایش:** تحریم‌ها می‌توانند به محدودیت‌هایی در زمینه فن‌آوری‌های استخراج و پالایش نفت منجر شوند. به عنوان مثال، تحریم‌ها می‌توانند به کاهش دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و تجهیزات مورد نیاز برای استخراج و پالایش نفت بیانجامد که این موضوع می‌تواند به کاهش کارایی و افزایش هزینه‌های تولید آن منجر شود.

**راه‌حل‌های حمل و نقل و لجستیک:** تحریم‌ها می‌توانند به تأثیرات قابل توجهی بر راه‌حل‌های حمل و نقل و لجستیک نفت منجر شوند. محدودیت‌ها و مشکلات مربوط به تحریم‌ها می‌توانند به تغییرات در شیوه‌های حمل و نقل نفت و افزایش هزینه‌های لجستیکی منجر شوند.

**دیجیتالی‌سازی و کاربردهای بلاک چین:** تحریم‌ها می‌توانند به تسریع روند دیجیتالی‌سازی و استفاده از بلاک چین در صنعت نفت منجر شوند. به‌ویژه، شرکت‌های نفتی ممکن است به دنبال استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای مدیریت بهتر زنجیره تأمین و مقابله با محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها باشند.

* 1. **تأثیر تحریم‌ها بر عوامل اجتماعی- فرهنگی شکل‌دهنده شبکه تجارت نفت**

تحریم‌ها می‌توانند تأثیرات عمیقی بر عوامل اجتماعی و فرهنگی مؤثر بر شبکه تجارت نفت داشته باشند. یکی از اثرات بارز این تحریم‌ها، افزایش نارضایتی اجتماعی و کاهش اعتماد عمومی به دولت‌هاست. در شرایطی که درآمدهای نفتی به دلیل تحریم‌ها کاهش می‌یابد، دولت‌ها ممکن است نتوانند خدمات عمومی و رفاهی را به‌طور مطلوب ارائه دهند که این امر می‌تواند به بروز نارضایتی‌های عمومی و اعتراضات اجتماعی منجر شود. همچنین، افزایش بیکاری و ناپایداری اقتصادی به دلیل محدودیت‌های صادراتی و کاهش سرمایه‌گذاری، می‌تواند ساختار اجتماعی را تحت تأثیر قرار دهد و تنش‌های اجتماعی را افزایش دهد.

علاوه بر این، تحریم‌ها می‌توانند به تغییرات فرهنگی و اجتماعی در جوامع تحت تأثیر منجر شوند. به دلیل محدودیت‌های دسترسی به اطلاعات و فناوری‌های جدید، جوامع ممکن است از روندهای جهانی عقب بمانند و از تعاملات فرهنگی و اجتماعی با دیگر کشورها محروم شوند. این انزوا می‌تواند به تقویت دیدگاه‌های ملی‌گرایانه و ضد جهانی‌سازی در بین مردم منجر شود که این امر می‌تواند به افزایش تنش‌های اجتماعی و کاهش همبستگی فرهنگی منجر گردد. همچنین، در شرایطی که جامعه تحت فشار اقتصادی قرار دارد، اولویت‌ها ممکن است به‌طور قابل توجهی تغییر کند و مسائل فرهنگی و اجتماعی به حاشیه رانده شوند. درنتیجه، تحریم‌ها نه‌تنها به بروز مشکلات اقتصادی منجر می‌شوند، بلکه، همان‌طور که در ادامه مفصل‌تر تحلیل شده، می‌توانند به تحولات فرهنگی و اجتماعی عمیق و نگران‌کننده‌ای در جوامع هدف منجر شوند.

**درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی:** تحریم‌ها می‌توانند به تغییر در درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی منجر شوند. به‌ویژه، کاهش عرضه نفت به دلیل تحریم‌ها می‌تواند به افزایش توجه عمومی به مسائل مربوط به محیط‌زیست و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی منجر شود.

**جنبش‌های اجتماعی و کنشگری:** تحریم‌ها می‌توانند به تقویت جنبش‌های اجتماعی و کنشگری مرتبط با انرژی و محیط‌زیست منجر شوند. به عنوان مثال، تحریم‌ها ممکن است به افزایش فعالیت‌های گروه‌های محیط زیستی و فشار بر سیاست‌گذاران برای پیاده‌سازی سیاست‌های پایدارتر منجر شوند.

**توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی**: تحریم‌ها می‌توانند به تأثیرات قابل توجهی بر توسعه اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به انرژی منجر شوند. به‌ویژه، کاهش صادرات نفت به دلیل تحریم‌ها می‌تواند به مشکلات اقتصادی و کاهش دسترسی به انرژی در کشورهای تحت تحریم منجر شود.

در مجموع تحریم‌ها می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر عوامل مختلف مؤثر بر شبکه تجارت جهانی نفت داشته باشند. این تأثیرات شامل تغییرات در ملاحظات ژئوپلیتیکی، در دسترس بودن منابع، توسعه زیرساخت‌ها، تقاضا و الگوهای مصرف، پویایی بازار، نوسانات قیمت، فناوری‌های نوین و عوامل اجتماعی-فرهنگی است. درک این تأثیرات به تحلیل‌گران و سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا استراتژی‌های مناسبی برای مدیریت تأثیرات تحریم‌ها بر بازار نفت تدوین کنند و به ایجاد راهکارهای پایدارتر و مؤثرتر برای آینده بازار نفت بپردازند.

**جمع‌بندی**

این فصل به بررسی تأثیر تحریم‌ها بر شبکه جهانی تجارت نفت پرداخته و ابعاد مختلف این موضوع را تحلیل کرده است. تحریم‌ها، به عنوان یک ابزار سیاسی و اقتصادی، می‌توانند تأثیرات عمیق و گسترده‌ای بر بازارهای نفت و زنجیره تأمین جهانی داشته باشند. تحریم‌ها معمولاً منجر به کاهش صادرات نفت کشور هدف می‌شوند که این امر می‌تواند به افزایش قیمت جهانی نفت و نوسانات شدید در بازار منجر گردد. کشورهای دیگر ممکن است به دلیل عدم دسترسی به منابع نفتی تحریم‌شده، به سمت منابع جایگزین حرکت کنند که این تغییر در زنجیره تأمین می‌تواند پیامدهای بلندمدت بر اقتصاد جهانی داشته باشد. از طرفی تحریم‌ها باعث تغییر در الگوهای تجاری می‌شوند. کشورها ممکن است به دنبال شرکای جدید برای تأمین نفت باشند و این امر می‌تواند منجر به شکل‌گیری بلوک‌های تجاری جدید و تغییر در روابط بین‌المللی گردد. کشورهای غیرتحریم‌شده نیز ممکن است از این فرصت بهره‌برداری کنند و سهم بازار خود را افزایش دهند.

همچنین تحریم‌ها می‌توانند به خطرات امنیت انرژی دامن بزنند. کاهش عرضه نفت از کشورهای تحریم‌شده می‌تواند به بحران‌های انرژی در کشورهای وابسته به واردات نفت منجر شود. این وضعیت می‌تواند نیاز به تنوع منابع انرژی و افزایش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های جایگزین را تشدید کند. قابل ذکر است که تحریم‌ها نه‌تنها بر اقتصاد بلکه بر ساختارهای سیاسی و اجتماعی کشورها نیز تأثیر می‌گذارند. فشار اقتصادی ناشی از تحریم‌ها می‌تواند منجر به نارضایتی عمومی و بی‌ثباتی سیاسی شود که به نوبه خود می‌تواند بر بازار نفت و تجارت جهانی تأثیرگذار باشد.

در ادامه فصل تأثیر تحریم‌ها بر عوامل مؤثر بر شبکه تجارت جهانی نفت بررسی شد که خلاصه این اثرات در جدول 1 ارائه شده است.

**جدول 1:** تأثیر تحریم‌ها بر عوامل مؤثر بر شبکه تجارت جهانی نفت

| **عامل مؤثر** | **زیرعامل** | **تأثیر تحریم‌ها** |
| --- | --- | --- |
| عوامل ساختاری | ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای | تغییر در روابط ژئوپلیتیکی، شکل‌گیری بلوک‌های جدید تجاری. |
| در دسترس بودن منابع و ذخایر | کاهش تولید و ذخایر نفتی به دلیل محدودیت‌های صادرات و واردات. |
| توسعه زیرساخت و اتصال | کاهش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و عدم توانایی در بهبود اتصال. |
| عوامل اقتصادی | تقاضای جهانی و الگوهای مصرف | تغییر در الگوهای مصرف و تقاضا به دلیل کاهش عرضه از کشورهای تحریم‌شده. |
| پویایی بازار و نوسان قیمت | نوسانات شدید قیمت نفت به دلیل کاهش عرضه و افزایش تقاضا. |
| قراردادها و سیاست‌های تجاری | تغییر در قراردادهای تجاری و افزایش تنوع در تأمین نفت. |
| عوامل محیطی و پایداری | تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن | عدم توانایی کشورهای تحریم‌شده در پایبندی به مقررات زیست‌محیطی و افزایش آلودگی. |
| ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش | کاهش توانایی در اجرای پروژه‌های پایدار و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی. |
| انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر | موانع در سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و تداوم وابستگی به سوخت‌های فسیلی. |
| پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک | فن‌آوری‌های استخراج و پالایش | کاهش سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های جدید و افزایش هزینه‌های تولید. |
| راه‌حل‌های حمل و نقل و لجستیک | افزایش هزینه‌ها و کاهش کارایی در زنجیره تأمین به دلیل محدودیت‌های ترانزیت. |
| دیجیتالی‌سازی و کاربردهای بلاک‌چین | عدم توانایی در استفاده مؤثر از تکنولوژی‌های نوین به دلیل محدودیت‌های مالی و تکنولوژیکی. |
| عوامل اجتماعی-فرهنگی | درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی | تقویت نگرش‌های منفی نسبت به سوخت‌های فسیلی به دلیل کاهش دسترسی به منابع نفتی. |
| جنبش‌های اجتماعی و کنشگری | افزایش نارضایتی‌های اجتماعی و درخواست‌های عمومی برای تغییرات در سیستم انرژی. |
| توسعه اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به انرژی | کاهش دسترسی به انرژی و تأثیر منفی بر توسعه اجتماعی-اقتصادی. |

درنهایت از آنجا که تحریم‌ها ابزاری پیچیده و چندوجهی هستند، درک این تأثیرات و تحلیل آن‌ها در زمینه‌های مختلف، به سیاستگذاران و پژوهشگران کمک می‌کند تا راهکارهای موثرتری برای مدیریت چالش‌های ناشی از تحریم‌ها و تضمین ثبات در بازار جهانی نفت ارائه دهند؛ بنابراین، تحلیل جامع و دقیق از این پدیده، برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در سیاست‌های انرژی و تجارت جهانی ضروری است.

فصل نهم

جمع­بندی

1. جمع‌بندی

نفت همچنان به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی جهان، نقشی حیاتی در اقتصاد جهانی و تعاملات بین‌المللی ایفا می‌کند. شبکه تجارت نفت به دلیل وابستگی متقابل میان کشورها و پیچیدگی‌های حمل‌ونقل و توزیع آن، یکی از مهم‌ترین شبکه‌های تجاری جهانی محسوب می‌شود. تحلیل این شبکه از منظر پایداری، تنوع و بهینه‌سازی می‌تواند نقش کلیدی در بهبود عملکرد آن و افزایش تاب‌آوری کشورها در برابر نوسانات بازارهای جهانی داشته باشد. با توجه به تحولات اخیر در عرصه‌های انرژی و تغییرات زیست‌محیطی، رویکردهای جدیدی برای مدیریت و بهینه‌سازی این شبکه ضرورت دارد.

یکی از چالش‌های مهم در شبکه تجارت نفت، تغییرات در الگوهای عرضه و تقاضا است. عواملی مانند بحران‌های اقتصادی، توسعه فناوری‌های جایگزین، سیاست‌های انرژی و تغییرات ژئوپلیتیک نقش بسزایی در تغییر این الگوها ایفا می‌کنند. این تغییرات باعث می‌شود که کشورها و شرکت‌های نفتی به دنبال انعطاف‌پذیری بیشتر و تنوع‌بخشی به منابع تأمین و بازارهای صادراتی باشند. امنیت انرژی در این زمینه اهمیت ویژه‌ای دارد، چراکه هرگونه اختلال در جریان عرضه می‌تواند منجر به بحران‌های جهانی در سطح گسترده شود.

از سوی دیگر، پایداری زیست‌محیطی و کاهش انتشار کربن به یکی از محورهای اصلی سیاست‌های انرژی در سطح جهانی تبدیل شده است. بهینه‌سازی شبکه تجارت نفت با هدف کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند در کاهش اثرات زیست‌محیطی این صنعت مؤثر باشد. همچنین، به‌کارگیری فناوری‌های نوین و استراتژی‌های مدیریتی که بهینه‌سازی مسیرهای تجاری و کاهش وابستگی به منابع غیر قابل اعتماد را تسهیل می‌کنند، از عوامل کلیدی در حفظ پایداری شبکه نفت به شمار می‌روند.

تحریم‌های اقتصادی و سیاسی نیز از دیگر عوامل تأثیرگذار بر شبکه تجارت نفت هستند. این تحریم‌ها می‌توانند تغییرات عمده‌ای در روابط تجاری بین کشورها و مسیرهای تجاری ایجاد کنند. کشورهای هدف تحریم‌ها معمولاً به دنبال تنوع‌بخشی به شرکای تجاری و پیدا کردن راه‌های جایگزین برای صادرات و واردات نفت خود هستند که این مسئله به نوبه خود می‌تواند تعادل بازارهای نفت را به هم بزند و قیمت‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، تحلیل تأثیرات تحریم‌ها بر شبکه تجارت جهانی نفت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بهینه‌سازی شبکه تجارت نفت مستلزم رویکردی چندوجهی است که در آن عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و سیاسی به طور همزمان مورد توجه قرار گیرند.

بنابراین تجارت نفت به عنوان یک سیستم پیچیده و پویا، تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که هر کدام به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر ساختار و پایداری آن اثربخش است. ازجمله این عوامل می‌توان به سیاست‌های انرژی اشاره کرد که نقش محوری در تعیین جهت‌گیری‌های ملی و بین‌المللی دارند. سیاست‌های دولت‌ها همچون تغییر در حمایت از سوخت‌های فسیلی یا تلاش برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به طور گسترده‌ای، تجارت نفت را دچار نوسان کند. علاوه بر این، تحولات تکنولوژیک ازجمله نوآوری در اکتشاف، استخراج نفت و روش‌های جدید حمل‌ونقل و توزیع به دگرگونی‌های سریع در شبکه جهانی نفت منجر شده است. این تحولات موجب گردیده که هزینه‌ها کاهش و کارایی افزایش یابد؛ اما همزمان شبکه‌ای پیچیده‌تر و چالش‌برانگیزتر برای مدیریت به وجود آمده است.

از این رو بهینه‌سازی شبکه تجارت جهانی نفت نیازمند مشارکت و همکاری جامع میان تمام بازیگران اصلی اعم از صادرکنندگان و واردکنندگان است. این همکاری نه‌تنها به منظور بهبود کارایی اقتصادی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و توزیع ضروری است بلکه در دستیابی به اهداف گسترده‌تر جهانی همچون کاهش انتشار کربن و مقابله با تغییرات اقلیمی نیز نقشی حیاتی ایفا می‌کند. با توجه به ساختار پیچیده و وابستگی متقابل این شبکه، هرگونه عدم هماهنگی یا مانع در جریان تجارت می‌تواند زنجیره تأمین جهانی نفت را مختل کرده و به نوسانات قیمت و بحران‌های انرژی منجر شود. به همین دلیل، دستیابی به یک شبکه بهینه و پایدار تنها با ایجاد یک محیط تجاری منسجم و مرتبط میان همه طرف‌های درگیر امکان‌پذیر است.

در این راستا، هرگونه اقدامات ضد اعتمادزایی و همکاری در این شبکه ازجمله تحریم‌های اقتصادی و سیاسی، نه‌تنها به دوری از شبکه بهینه نفت منجر می‌شود بلکه تأثیرات منفی قابل توجهی بر سایر اهداف جهانی، به‌ویژه کاهش انتشار کربن و مقابله با تغییرات اقلیمی دارد. تحریم‌ها به طور معمول باعث تغییر مسیرها و شرکای تجاری می‌شوند که این تغییرات ممکن است به افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل و انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر گردد. از طرف دیگر، کشورهایی که هدف تحریم قرار می‌گیرند، ناچار به استفاده از روش‌های پرهزینه‌تر و ناکارآمدتر برای تأمین انرژی خود می‌شوند که این خود بر پایداری زیست‌محیطی شبکه، تأثیر منفی می‌گذارد.

این نوع اقدامات همچنین مانع از ایجاد یک محیط تجاری باثبات و پایدار می‌شود که در آن کشورها بتوانند به صورت هماهنگ و کارآمد به اهداف مشترک جهانی دست یابند. به جای اینکه کشورها به دنبال راه‌حل‌های بهینه و پایدار برای تجارت نفت باشند، با وجود تحریم‌ها و دیگر موانع سیاسی، تلاش‌ها به سمت تنش‌های بیشتر و تشدید رقابت‌های اقتصادی سوق پیدا می‌کند. این موضوع به‌ویژه در مواجهه با بحران‌های انرژی و تغییرات اقلیمی چالش‌برانگیزتر می‌شود چراکه کشورها به جای همکاری برای کاهش انتشار کربن و بهینه‌سازی شبکه‌های تجاری، بیشتر به دنبال منافع کوتاه‌مدت خود و مقابله با اثرات تحریم‌ها هستند.

درنهایت، ایجاد یک شبکه بهینه تجارت جهانی نفت نیازمند همکاری مستمر و پایدار در سطح بین‌المللی است که در آن تمامی کشورها به عنوان شرکای استراتژیک به دنبال تحقق اهداف مشترک باشند. سیاست‌های ضد همکاری و تحریم‌ها تنها منجر به افزایش شکاف‌ها و عدم تعادل در شبکه می‌شوند و در طولانی‌مدت تلاش‌های جهانی برای کاهش تغییرات اقلیمی و تحقق توافقات زیست‌محیطی بین‌المللی را تضعیف می‌کنند. بنابراین، برای دستیابی به شبکه‌ای که هم کارآمد و هم پایدار باشد، حذف موانع سیاسی و اقتصادی و تکیه بر راهکارهای مبتنی بر همکاری و مشارکت، ضروری است.

بهینه‌سازی این شبکه به یک برنامه‌ریزی چندجانبه و استراتژیک نیاز دارد که تنها به مسائل اقتصادی محدود نمی‌شود بلکه باید پایداری زیست‌محیطی و تاب‌آوری در برابر شوک‌های ناگهانی نیز مورد توجه قرار گیرد. رویکردهای تک‌بعدی برای مدیریت این شبکه نمی‌تواند کافی باشد؛ اما نیاز به تعاملات بین‌المللی، استفاده از فناوری‌های پیشرفته و همکاری‌های منطقه‌ای برای بهبود کارایی و کاهش وابستگی به مسیرهای پرریسک وجود دارد.

در مجموع، این کتاب نشان می‌دهد که تجارت نفت به عنوان یک سیستم پیچیده و پویا تحت تأثیر عوامل متعددی مانند سیاست‌های انرژی، تحولات تکنولوژیک، روابط و بحران‌های اقتصادی و سیاسی و تغییرات اقلیمی قرار دارد. بهینه‌سازی این شبکه نیازمند برنامه‌ریزی استراتژیک و اتخاذ رویکردهای چندجانبه همکارانه است که در آن علاوه بر کارایی اقتصادی، مسائلی همچون پایداری محیط‌زیستی و تاب‌آوری در برابر شوک‌های ناگهانی نیز مدنظر قرار گیرند. این کتاب تلاش نموده است تا با ارائه تحلیلی جامع و دقیق به سیاست‌گذاران، پژوهشگران و دانشجویان دیدگاهی نوین در مورد شبکه تجارت جهانی نفت ارائه دهد و راهکارهایی برای بهبود این شبکه در آینده پیشنهاد کند.

منابع

باندی، مورتی (1976). نظریه گراف و کاربردهای آن. ترجمه دارا عظیمی (1394). تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

شهنازی، روح اله و نجمه ساجدیان فرد (1402). تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت: رویکرد شبکه پیچیده. *مدلسازی اقتصاد سنجی.* سال هشتم، شماره 2*،* 162-121.

Adegbite, A. (2016). “Oil and Gas, Pollution and Environmental Policy in Nigeria.” Routledge.

Adenikinju, A. (2002). “The Economic Impacts of Oil Production and Export: Evidence from Nigeria.” African Economic Research Consortium.

Afesorgbor, S. K. (2019). The impact of economic sanctions on international trade: How do threatened sanctions compare with imposed sanctions? *European Journal of Political Economy*, *56*, 11-26.‏

Ahmadi, A. (2018). The impact of economic sanctions and the JCPOA on energy sector of Iran. *Global Trade and Customs Journal*, *13*(5).‏

Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015). Energy security: Definitions, dimensions and indexes. *Renewable and sustainable energy reviews*, *42*, 1077-1093.

Babina, T. Hilgenstock, B. Itskhoki, O. Mironov, M. & Ribakova, E. (2023). Assessing the impact of international sanctions on Russian oil exports. *Available at SSRN 4366337*.‏

Barabási, A. L. (1996). Invasion percolation and global optimization. *Physical Review Letters*, *76*(20), 3750.

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. BP Statistical review of the world energy 2020. London: BP; 2020.

Caruso, R. (2003). The impact of international economic sanctions on trade: An empirical analysis. *Peace economics, peace science and public policy*, *9*(2).

Chen, H., Cullinane, K., & Liu, N. (2017). Developing a model for measuring the resilience of a port-hinterland container transportation network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *97*, 282-301.

Chester, L. (2010). Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature. *Energy policy*, *38*(2), 887-895.

Conroy, M. E. (1975). The concept and measurement of regional industrial diversification. *Southern Economic Journal*, 492-505.

Dai, M., Felbermayr, G. J., Kirilakha, A., Syropoulos, C., Yalcin, E., & Yotov, Y. V. (2021). Timing the impact of sanctions on trade. In *Research handbook on economic sanctions* (pp. 411-437). Edward Elgar Publishing.

Dell’Isola, M., Ficco, G., Lavalle, L., Moretti, L., Tofani, A., & Zuena, F. (2020). A resilience assessment simulation tool for distribution gas networks. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, *84*, 103680.

Deller, S., & Watson, P. (2016). Spatial variations in the relationship between economic diversity and stability. *Applied Economics Letters*, *23*(7), 520-525.

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.

Dreger, C., Kholodilin, K. A., Ulbricht, D., & Fidrmuc, J. (2016). Between the hammer and the anvil: The impact of economic sanctions and oil prices on Russia’s ruble. *Journal of comparative economics*, *44*(2), 295-308.‏

Drezner, D. W. (1999). *The sanctions paradox: Economic statecraft and international relations* (No. 65). Cambridge University Press.‏

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.

Dudley, B. et al. (2017). BP statistical review of world energy. *In Tech rep British Petroleum*, London, UK.

Fair, K. R., Bauch, C. T., & Anand, M. (2017). Dynamics of the global wheat trade network and resilience to shocks. *Scientific reports*, *7*(1), 1-14.

Fischhendler, I., Herman, L., & Maoz, N. (2017). The political economy of energy sanctions: insights from a global outlook 1938–2017. *Energy Research & Social Science*, *34*, 62-71.‏

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.

Foti, N. J., Pauls, S., & Rockmore, D. N. (2013). Stability of the world trade web over time–an extinction analysis. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *37*(9), 1889-1910.

Gen, M., Cheng, R., & Lin, L. (2008). *Network models and optimization: Multiobjective genetic algorithm approach*. Springer Science & Business Media.

Groenenberg, H., Ferioli, F., Heuvel, S. V. D., Kok, M. T. J., Manders, A. J. G., Slingerland, S., & Wetzelaer, B. J. H. W. (2008). Climate, energy security and innovation: An assessment of EU energy policy objectives.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, *4*(1), 1-23.

Hufbauer, G. C., Schott, J. J., & Elliott, K. A. (1990). *Economic sanctions reconsidered: History and current policy* (Vol. 1). Peterson Institute.‏

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

Iglin, S. (2009). grTheory - graph theory toolbox. *URL:* [*https://www.mathworks.com/*](https://www.mathworks.com/) *matlabcentral/fileexchange/4266-grtheory-graph-theory-toolbox*, MATLAB Central File Exchange.

International Energy Agency (2001). Toward a sustainable energy future. Paris: International Energy Agency.

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

Jackson, R. W. (1984). An evaluation of alternative measures of regional industrial diversification. *Regional Studies*, *18*(2), 103-112.

Kaempfer, W. H., & Lowenberg, A. D. (2007). The political economy of economic sanctions. *Handbook of defense economics*, *2*, 867-911.‏

Kaufmann, R. K. (1993). An empirical exploration of the relation among diversity, stability, and performance in economic systems. *Structural Change and Economic Dynamics*, *4*(2), 299-313.

Kharrazi, A., Fath, B. D., & Katzmair, H. (2016). Advancing empirical approaches to the concept of resilience: A critical examination of panarchy, ecological information, and statistical evidence. *Sustainability*, 8(9), 935.

Kharrazi, A., Rovenskaya, E., & Fath, B. D. (2017). Network structure impacts global commodity trade growth and resilience. *PloS one*, *12*(2), e0171184.

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.

Kharrazi, A., Yu, Y., Jacob, A., Vora, N., & Fath, B. D. (2020). Redundancy, diversity, and modularity in network resilience: applications for international trade and implications for public policy. *Current Research in Environmental Sustainability*, *2*, 100006.

Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, *220*(4598), 671-680.

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.

Kohl, T. (2021). In and out of the penalty box: US sanctions and their effects on international trade. In *Research handbook on economic sanctions* (pp. 388-410). Edward Elgar Publishing.‏

Kruyt, B., Van Vuuren, D. P., de Vries, H. J., & Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy policy*, *37*(6), 2166-2181.

Latora, V., & Marchiori, M. (2001). Efficient behavior of small-world networks. *Physical review letters*, *87*(19), 198701.

Lektzian, D., & Mkrtchian, G. (2021). The effect of sanctions on economic freedom. *Social Science Quarterly*, *102*(6), 2776-2794.‏

Lesbirel, S. H. (2004). Diversification and energy security risks: The Japanese case. *Japanese Journal of Political Science*, *5*(1), 1-22.

Löschel, A., Moslener, U., & Rübbelke, D. T. (2010). Indicators of energy security in industrialized countries. Energy policy, 38(4), 1665-1671.

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.

Nguyen, T. T., & Do, M. H. (2021). Impact of economic sanctions and counter-sanctions on the Russian Federation’s trade. *Economic Analysis and Policy*, *71*, 267-278.‏

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

Organization for Economic Co-operation and Development. (2007). *Energy Security and Climate Policy-Assessing Interactions*. Organization for Economic Co-operation and Development.

Osemeke, L., & Adegbite, E. (2016). Regulatory multiplicity and conflict: Towards a combined code on corporate governance in Nigeria. *Journal of business ethics*, *133*, 431-451.

Papachristoudis, G. (2014). Kruskal's algorithm. *URL: https://www. mathworks. com/ matlabcentral /fileexchange/ 41963-kruskal-s-algorithm*, MATLAB Central File Exchange.

Pasqualetti, M. J., & Sovacool, B. K. (2012). The importance of scale to energy security. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, *9*(3), 167-180.

Petroleum, B. (2020). Statistical review of world energy 2021. *URL: https://www. bp. com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energyeconomics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report. pdf*.

Pforr, C., & Cook, J. (2013). "Resource Curse or Cure? On the Sustainability of Development in Western Australia". University of Western Australia Press.

Pósfai, M., & Barabási, A. L. (2016). *Network science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Puma, M. J., Bose, S., Chon, S. Y., & Cook, B. I. (2015). Assessing the evolving fragility of the global food system. *Environmental Research Letters*, *10*(2), 024007.

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 mega scale networks by information-based replica correlations. *Physical Review E*, *80*(1), 016109.

Rubinov, M., & Sporns, O. (2010). Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations. *Neuroimage*, *52*(3), 1059-1069.

Rutherford, D. (2013). *Routledge dictionary of economics*. Taylor & Francis.

Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). “The Curse of Natural Resources: A Survey". Journal of Economic Literature, 39(2), 535-574.

Schott, J. J. (2006). Economic sanctions, oil, and Iran. *Washington: Peterson Institute for International Economics*.‏

Shahnazi, R., Sajedianfard, N., & Melatos, M. (2023). Import and export resilience of the global oil trade network. *Energy Reports*, *10*, 2017-2035.

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.

Siollun, M. (2009). “Oil, Politics, and Violence: Nigeria's Military Coup Culture (1966-1976).” Algora Publishing.

Sniedovich, M. (1978). Dynamic programming and principles of optimality. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, *65*(3), 586-606.

Speight, J. G. (2014). “The Chemistry and Technology of Petroleum.” CRC Press.

Szabó, G. J., Alava, M., & Kertész, J. (2003). Geometry of minimum spanning trees on scale-free networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *330* (1-2), 31-36.

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

Tripathy, P. K., Dash, R. K., & Tripathy, C. R. (2015). A dynamic programming approach for layout optimization of interconnection networks. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, *18*(3), 374-384.

Wagner, J. E., & Deller, S. C. (1998). Measuring the effects of economic diversity on growth and stability. *Land Economics*, 541-556.

Wang, C. L. (1986). The principle and models of dynamic programming. *Journal of mathematical analysis and applications*, *118*(2), 287-308.

Wang, C. L. (1988). The principle and models of dynamic programming, II. *Journal of mathematical analysis and applications*, *135*(1), 268-283.

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.

Wang, Y., Wang, K., & Chang, C. P. (2019). The impacts of economic sanctions on exchange rate volatility. *Economic Modelling*, *82*, 58-65.‏

Wen, J., Zhao, X., Wang, Q. J., & Chang, C. P. (2021). The impact of international sanctions on energy security. *Energy & Environment*, *32*(3), 458-480.

Wilkinson, D., & Willemsen, J. F. (1983). Invasion percolation: a new form of percolation theory. *Journal of physics A: Mathematical and general*, *16*(14), 3365.

Yergin, D. (2009). “The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power". Free Press.

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.

Ziane, I., Benhamida, F., & Graa, A. (2017). Simulated annealing algorithm for combined economic and emission power dispatch using max/max price penalty factor. *Neural Computing and Applications*, *28*(1), 197-205.

[https://edurev.in/question/2526287/What-is-market-Explain-the-functions-of-market-](https://edurev.in/question/2526287/What-is-market-Explain-the-functions-of-market--)<https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node68.html>

<https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node70.html>

<https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node38.html>

<https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php/Minkowski_Inequality>

<https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php/H%C3%B6lder%27s_Inequality>

<https://www.statlect.com/fundamentals-of-probability/Jensen-inequality>

<https://comtrade.un.org/db/help/ureadMeFirst.aspx>

<https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview/world>

<https://www.iea.org/reports/oil-2020>

<https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/oil>

<https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_2024_Full_Report.pdf?v=1717662800>

<https://www.energy.gov/ceser/energy-security>

[www.oec.world](http://www.oec.world)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Combinatorial_optimization>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_mechanics>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem>

<https://www.geeksforgeeks.org/types-of-complexity-classes-p-np-conp-np-hard-and-np-complete/>

<https://www.geeksforgeeks.org/divide-and-conquer-algorithm-introduction/>

<https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node66.html>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Metallurgy>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydronic_balancing>

1. . Titusville [↑](#footnote-ref-1)
2. . Spindletop [↑](#footnote-ref-2)
3. . Zhang et al. (2014) [↑](#footnote-ref-3)
4. . Dudley et al. (2017) [↑](#footnote-ref-4)
5. . Dong et al. (2020) [↑](#footnote-ref-5)
6. . British Petroleum (BP) [↑](#footnote-ref-6)
7. . https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/oil.html [↑](#footnote-ref-7)
8. . Biofuels [↑](#footnote-ref-8)
9. . برای مطالعه در خصوص انواع منبع انرژی‌های تجدیدپذیر، به سایت سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) مراجعه شود. [↑](#footnote-ref-9)
10. . https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview/world [↑](#footnote-ref-10)
11. . Heat, Solar Thermal, and Geothermal [↑](#footnote-ref-11)
12. . https://www.iea.org/reports/oil-2020 [↑](#footnote-ref-12)
13. . https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/oil [↑](#footnote-ref-13)
14. .https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World\_Energy\_Trilemma\_2024\_Full\_Report.pdf?v=1717662800 [↑](#footnote-ref-14)
15. . Cybersecurity Energy Security and Emergency Response (CESER) [↑](#footnote-ref-15)
16. . https://www.energy.gov/ceser/energy-security [↑](#footnote-ref-16)
17. . Groenenberg, H., Ferioli, F., Heuvel, S. V. D., Kok, M. T. J., Manders, A. J. G., Slingerland, S., & Wetzelaer, B. J. H. W. (2008). Climate, energy security and innovation: An assessment of EU energy policy objectives. [↑](#footnote-ref-17)
18. . Bohi and Toman (1996) [↑](#footnote-ref-18)
19. . Löschel et al. (2010)

    Löschel, A., Moslener, U., & Rübbelke, D. T. (2010). Indicators of energy security in industrialized countries. Energy policy, 38(4), 1665-1671. [↑](#footnote-ref-19)
20. . Center for International Energy Policy (CIEP) known as Clingendael International Energy Programme [↑](#footnote-ref-20)
21. . Availability [↑](#footnote-ref-21)
22. . Reasonable [↑](#footnote-ref-22)
23. . Affordable [↑](#footnote-ref-23)
24. . Overly Volatile [↑](#footnote-ref-24)
25. . بازارها چندین کارکرد (عملکرد) مهم را در یک اقتصاد انجام می‌دهند که تبادل کالاها و خدمات را تسهیل و رشد اقتصادی را امکان‌پذیر می‌کند. کارکردهای کلیدی یک بازار عبارتند از: تعیین قیمت، تخصیص منابع، رقابت، ارائه اطلاعات، تبادل کارآمد، تولید درآمد، ثبات بازار. بنابراین، بازارها برای عملکرد یک اقتصاد ضروری هستند. آن‌ها تبادل کالا و خدمات را تسهیل می‌کنند، قیمت‌ها را تعیین می‌کنند، منابع را به طور کارآمد تخصیص می‌دهند، رقابت را ترویج می‌کنند، اطلاعات را فراهم می‌کنند، تبادل کارآمد را امکان پذیر می‌کنند، درآمد ایجاد کرده و به ثبات بازار کمک می‌نمایند. برای مطالعه بیشتر به درگاه زیر مراجعه شود.

    https://edurev.in/question/2526287/What-is-market-Explain-the-functions-of-market-- [↑](#footnote-ref-25)
26. . Ang et al. (2015)

    Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015). Energy security: Definitions, dimensions and indexes. Renewable and sustainable energy reviews, 42, 1077-1093. [↑](#footnote-ref-26)
27. . Infrastructure [↑](#footnote-ref-27)
28. . Availability [↑](#footnote-ref-28)
29. . Accessibility [↑](#footnote-ref-29)
30. . Kruyt et al. (2009) [↑](#footnote-ref-30)
31. . Chester (2010) [↑](#footnote-ref-31)
32. . Chokepoints [↑](#footnote-ref-32)
33. . Affordability [↑](#footnote-ref-33)
34. . Acceptability [↑](#footnote-ref-34)
35. . Lesbirel, S. H. (2004). Diversification and energy security risks: The Japanese case. Japanese Journal of Political Science, 5(1), 1-22. [↑](#footnote-ref-35)
36. . Pasqualetti, M. J., & Sovacool, B. K. (2012). The importance of scale to energy security. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, *9*(3), 167-180. [↑](#footnote-ref-36)
37. . Organization for Economic Co-operation and Development. (2007). *Energy Security and Climate Policy-Assessing Interactions*. Organization for Economic Co-operation and Development. [↑](#footnote-ref-37)
38. . Energy Security Market Concentration (ESMC) [↑](#footnote-ref-38)
39. . Energy Security Index (ESI) [↑](#footnote-ref-39)
40. . Herfindahl-Hirschman Index (HHI) [↑](#footnote-ref-40)
41. . Zhang et al. (2014) [↑](#footnote-ref-41)
42. . Holling (1973) [↑](#footnote-ref-42)
43. . Ecological System [↑](#footnote-ref-43)
44. . Chen et al. (2017) [↑](#footnote-ref-44)
45. . Dell’Isola (2020) [↑](#footnote-ref-45)
46. . Stability Index [↑](#footnote-ref-46)
47. . Conroy (1975) [↑](#footnote-ref-47)
48. . Jackson (1984) [↑](#footnote-ref-48)
49. . Wagner and Deller (1998) [↑](#footnote-ref-49)
50. . Deller and Watson (2016) [↑](#footnote-ref-50)
51. . Kaufmann (1993) [↑](#footnote-ref-51)
52. . Stability

    پایداری یا stability مبین قرار گرفتن در شرایط مانا (stable) یا تعادلی (equilibrium) است. در حالی که این واژه با واژه sustainability که «پایداری» ترجمه می­شود متفاوت است. به گفته روتردورف، منظور از sustainability، رفع نیازهای نسل حاضر و نسل­های آینده با انتخاب طیف خاصی از فعالیت­های اقتصادی است (روترفورد، 2013). [↑](#footnote-ref-52)
53. . Thoma (2014) [↑](#footnote-ref-53)
54. . Robust (Absorption without Collapse) [↑](#footnote-ref-54)
55. . Ductile (Incomplete Recovery) [↑](#footnote-ref-55)
56. . Collapsing [↑](#footnote-ref-56)
57. . Adaptive Behavior (transformation by altering structures, functions and feedback loops) [↑](#footnote-ref-57)
58. . Klimek et al. (2014) [↑](#footnote-ref-58)
59. . Connectivity [↑](#footnote-ref-59)
60. . Trade Partner Diversification (TPD) [↑](#footnote-ref-60)
61. . Kitamura and Managi (2017) [↑](#footnote-ref-61)
62. . Folke et al. (2004) [↑](#footnote-ref-62)
63. . Kharrazi et al. (2015) [↑](#footnote-ref-63)
64. . دلیل این موضوع آن است که مقیاس تجارت کشورهای واردکننده نفت تفاوت فاحش دارد. [↑](#footnote-ref-64)
65. . Latora and Marchiori [↑](#footnote-ref-65)
66. . Brain Connectivity Toolbox (BCT) [↑](#footnote-ref-66)
67. . Foti et al. (2013) [↑](#footnote-ref-67)
68. . Puma et al. (2015) [↑](#footnote-ref-68)
69. . Fair et al. (2017) [↑](#footnote-ref-69)
70. . Great Circle Distance [↑](#footnote-ref-70)
71. . Guwahati [↑](#footnote-ref-71)
72. . Uralsk [↑](#footnote-ref-72)
73. . Centrality Measures [↑](#footnote-ref-73)
74. . Degree Centrality [↑](#footnote-ref-74)
75. . Eigenvector Centrality [↑](#footnote-ref-75)
76. . Katz Centrality [↑](#footnote-ref-76)
77. . PageRank Centrality [↑](#footnote-ref-77)
78. . Hub and Authority Centrality [↑](#footnote-ref-78)
79. . Closeness Centrality [↑](#footnote-ref-79)
80. . Betweenness Centrality [↑](#footnote-ref-80)
81. . Newman [↑](#footnote-ref-81)
82. . Geodesic Distance [↑](#footnote-ref-82)
83. . Community Detection [↑](#footnote-ref-83)
84. . Ronhovde and Nussinov [↑](#footnote-ref-84)
85. . Densely [↑](#footnote-ref-85)
86. . Sparsely [↑](#footnote-ref-86)
87. . Blondel [↑](#footnote-ref-87)
88. . Divisive Algorithms [↑](#footnote-ref-88)
89. . Agglomerative Algorithms [↑](#footnote-ref-89)
90. . Optimization Methods [↑](#footnote-ref-90)
91. . Reichardt and Bornholdt [↑](#footnote-ref-91)
92. . Louvain [↑](#footnote-ref-92)
93. . Oil Chokepoints [↑](#footnote-ref-93)
94. . The Observatory of Economic Complexity (OEC)

    نشانی این پایگاه www.oec.world است. [↑](#footnote-ref-94)
95. . Minimum Spanning Tree [↑](#footnote-ref-95)
96. . Simulated Annealing Method [↑](#footnote-ref-96)
97. . Improved Dynamic Programming Model [↑](#footnote-ref-97)
98. . Iterative Algorithm [↑](#footnote-ref-98)
99. . Scale Free Random Networks [↑](#footnote-ref-99)
100. . Redundancy [↑](#footnote-ref-100)
101. . Modularity [↑](#footnote-ref-101)
102. . Diversity [↑](#footnote-ref-102)
103. . Szabó et al. (2003) [↑](#footnote-ref-103)
104. . Connected Component [↑](#footnote-ref-104)
105. . Gen et al. (2008) [↑](#footnote-ref-105)
106. . Invasion Percolation

     نخستین بار مفهوم نفوذ تهاجمی توسط ویلکینسون و ویلمسن (1983) معرفی شد. این مفهوم به نوع جدیدی از مسئله نفوذ اشاره دارد که با نظریه نفوذ معمولی متفاوت است، زیرا مسئله نفوذ تهاجمی به طور خودکار نقاط بحرانی سیستم را شناسایی می­کند. در علم فیزیک، مسئله حمله سیال به محیط متخلخل توسط فرایند نفوذ تهاجمی مدل‌سازی می­شود (دوبرین و دوکسبری، 2001). باراباسی (1996) در توصیف این مفهوم بیان می­کند که با هدف درک تعامل پیچیده بین دینامیک فرایندهای جریان و تصادفی بودن محیط متخلخل، تعدادی الگو معرفی شده‌اند که جنبه‌های مختلف موقعیت‌های تجربی متفاوت را به تصویر می‌کشند. یکی از الگوهای مورد بررسی در این رابطه، نفوذ تهاجمی است که به عنوان مثال مهاجرت ثانویه نفت در طول تشکیل مخازن زیرزمینی نفت را توصیف می‌کند باراباسی،1996). برای مطالعه بیشتر به پژوهش ویلکینسون و ویلمسن (1983) مراجعه شود.

     Wilkinson, D., & Willemsen, J. F. (1983). Invasion percolation: a new form of percolation theory. *Journal of physics A: Mathematical and general*, *16*(14), 3365. [↑](#footnote-ref-106)
107. . Kruskal’s Algorithm [↑](#footnote-ref-107)
108. . Prim’s Algorithm [↑](#footnote-ref-108)
109. . Sollin’s Algorithm [↑](#footnote-ref-109)
110. . Cycle

     چرخه یک گام است، به­گونه­ای که رأس آغازین و پایانی آن یکی بوده و هیچ دو رأس دیگری در میان این دنباله یکی نباشد. به عبارت دیگر، رابطه برقرار است، به گونه­ای که زمانی که  باشد، مگر در و. بنابراین، چرخه یک گام است که تنها رأسی که بیش از یک بار در آن ظاهر می­شود، رأس ابتدایی و انتهایی باشد (جکسون، 2010). در شبکه جهت­دار، تعریف چرخه مانند شبکه بی­جهت است با این تفاوت که هم اکنون ترتیب رئوس در هر یال اهمیت پیدا می­کند. برخی شبکه­ها مانند شبکه غذا تا حدودی و نه به طور کامل، غیرچرخه­ای هستند (نیومن، 2003). [↑](#footnote-ref-110)
111. . Cut

     برش رأسی یک گراف، زیر مجموعه­ای از مجموعه رئوس آن گراف است، به طوری‌که با حذف این رأس، گراف ناهمبند (نامتصل) شود. یک برش k-رأسی، برش رأسی با k عنصر (رأس گراف) است (باندی و مورتی، 1976). [↑](#footnote-ref-111)
112. . Node-Disjoint Trees [↑](#footnote-ref-112)
113. . Non-Trivial Optimization Problem [↑](#footnote-ref-113)
114. . Dobrin & Duxbury (2001) [↑](#footnote-ref-114)
115. . Graph Theory [↑](#footnote-ref-115)
116. . Iglin (2009) [↑](#footnote-ref-116)
117. . Kruskal [↑](#footnote-ref-117)
118. . Papachristoudis (2014) [↑](#footnote-ref-118)
119. . Simulated Annealing Algorithm (SAA) [↑](#footnote-ref-119)
120. . Global Optimum [↑](#footnote-ref-120)
121. . Kirkpatrick et al. (1983) [↑](#footnote-ref-121)
122. . Combinatorial Optimization

     بهینه­سازی ترکیبی، شاخه‌ای از بهینه‌سازی است که به آن دسته از مسائل بهینه‌سازی می‌پردازد که در آن‌ها مجموعه پاسخ‌های امکان‌پذیر گسسته است یا می‌تواند به صورت گسسته درآید و هدف، پیدا کردن بهترین پاسخ از بین این پاسخ‌ها است. بهینه‌سازی ترکیبی شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی و علوم رایانه و مرتبط با تحقیق در عملیات، نظریه الگوریتم و نظریه پیچیدگی محاسباتی است که در محل تلاقی چندین رشته ازجمله هوش مصنوعی، ریاضیات و مهندسی نرم‌افزار قرار دارد.

     https://en.wikipedia.org/wiki/Combinatorial\_optimization [↑](#footnote-ref-122)
123. . Statistical Mechanics

     مکانیک آماری، یکی از مباحث مطرح در فیزیک است که به سیستم‌هایی با تعداد متغیرهای بسیار زیاد می‌پردازد. این متغیرها می‌توانند ذراتی چون اتم‌ها، مولکول‌ها یا ذرات بنیادی باشند که تعداد آن‌ها می‌تواند هم‌مرتبه با عدد آووگادرو باشد. در این مبحث با استفاده از خاصیت­های میکروسکوپی این ذرات مانند ساختار اتمی و برهمکنش بین آن‌ها، اطلاعاتی در مورد خواص ماکروسکوپی سیستم مانند فشار، انتروپی و انرژی آزاد گیبس از طریق محاسبات و روش‌های آماری به دست می‌آید. مثلاً معادله‌های حالت در ترمودینامیک توسط مدل‌های میکروسکوپی-آ ماری مشتق می‌شوند.

     https://en.wikipedia.org/wiki/Statistical\_mechanics [↑](#footnote-ref-123)
124. . Metropolis [↑](#footnote-ref-124)
125. . Traveling Salesman Problem

     مسئله فروشنده دوره­گرد، مسئله مشهوری است که ابتدا توسط ویلیام همیلتون و چوریو مطرح شد. تعداد جواب­های امکان­پذیر مسئله فروشنده دوره­گرد معادل برای است که در آن *n* *تعداد شهرها می­باشد. درواقع این عدد برابر است با تعداد دورهای همیلتونی در یک گراف کامل با n رأس.*

     https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling\_salesman\_problem [↑](#footnote-ref-125)
126. . Hamiltonian cycle

     در نظریه گراف، منظور از دور، گذر بسته­ای است که رئوس داخلی و مبدأ آن غیر تکراری باشد. منظور از گذر، گشتی (دنباله ناتهی از رئوس و یال­ها) است که یال­های آن غیر تکراری باشد. همچنین، منظور از بسته بودن این است که طول گشت مثبت باشد و مبدأ و مقصد آن یکی باشند (باندی و مورتی، 1976). [↑](#footnote-ref-126)
127. . Nondeterministic Polynomial Time Complete (NP-Complete)

     در علوم کامپیوتر، مسائلی وجود دارند که هنوز راه حل آن­ها پیدا نشده است. این مسائل به کلاس­هایی به نام کلاس­های پیچیدگی تقسیم می­شوند. در نظریه پیچیدگی، کلاس پیچیدگی مجموعه­ای از مسائل با پیچیدگی مرتبط است. این کلاس­ها به دانشمندان کمک می­کنند تا مسائل را بر اساس زمان و مکان مورد نیاز برای حل مسائل و تأیید راه­حل­ها گروه­بندی کنند. کلاس پیچیدگی شاخه­ای از نظریه محاسبات است که به منابع مورد نیاز برای حل یک مسئله می­پردازد. منابع رایج زمان و مکان هستند، به این معنی که الگوریتم چقدر زمان برای حل یک مسئله و میزان استفاده از حافظه مربوطه نیاز دارد. به طور کلی، پنج کلاس پیچیدگی وجود دارد. کلاس اول، کلاس P است که P مخفف Polynomial Time است. کلاس P مجموعه­ای از مسائل تصمیم­گیری است (مسائل با پاسخ «بله» یا «خیر») که می­تواند توسط یک ماشین قطعی (Deterministic) در زمان چند جمله­ای حل شود. مشخصه این کلاس پیچیدگی این است که به راحتی در زمان چند جمله­ای قابل حل است. کلاس دوم، کلاس NP است که مخفف Non-Deterministic Polynomial Time است. کلاس NP مجموعه­ای از مسائل تصمیم­گیری است که می­تواند توسط یک ماشین غیر قطعی (Non-Deterministic) در زمان چند جمله­ای حل شود. مشخصه این کلاس پیچیدگی این است که اگر پاسخ به یک مسئله بله باشد، پاسخ­ها را می­توان در زمان چند جمله­ای بررسی کرد. کلاس سوم، کلاس Co-NP است که مکمل کلاس NP بوده و مخفف  
     Complement of NP Class است. به این معنی که اگر پاسخ به یک مسئه در Co-NP خیر باشد، پس اثباتی وجود دارد که می­توان آن را در زمان چند جمله­ای بررسی کرد. مشخصه این کلاس پیچیدگی این است که اگر پاسخ به یک مسئه خیر باشد، پاسخ­ها را می­توان در زمان چند جمله­ای بررسی کرد. کلاس چهارم، کلاس NP-hard است. یک مسئله NP-hard حداقل به سختی سخت­ترین مسئله در NP است و از دسته مسائلی است که هر مشکل در NP به NP-hard کاهش می­یابد. مشخصه این کلاس پیچیدگی این است تمام مسائل NP-hard در NP نیستند و بررسی آن­ها زمان زیادی می­برد. کلاس پنجم، کلاس NP-complete است. گفته می­شود که یک مسئله NP-complete است اگر هم NP و هم NP-hard باشد. مسائل NP-complete مسائل سخت در NP هستند. مشخصه اصلی این کلاس پیچیدگی این است که مسئله­ای که NP و NP-hard است NP-complete خواهد بود.

     https://www.geeksforgeeks.org/types-of-complexity-classes-p-np-conp-np-hard-and-np-complete/ [↑](#footnote-ref-127)
128. . Divide-And-Conquer

     این الگوریتم به سه قسمت قابل تقسیم است. 1) تقسیم: مسئله به چند زیرمسئله کوچک‌تر تقسیم می­شود؛ 2) حل: زیرمسائل با فراخوانی بازگشتی (recursive calling) حل می­شوند؛ و 3) ترکیب: زیرمسائل با هم ترکیب می­شوند تا راه­حل نهایی کل مسئله به دست آید.

     https://www.geeksforgeeks.org/divide-and-conquer-algorithm-introduction/ [↑](#footnote-ref-128)
129. . Iterative Improvement [↑](#footnote-ref-129)
130. . Rearrangement Operation [↑](#footnote-ref-130)
131. . Local [↑](#footnote-ref-131)
132. . Global [↑](#footnote-ref-132)
133. . Condensed Matter Physics [↑](#footnote-ref-133)
134. . Identical Systems [↑](#footnote-ref-134)
135. . Gibbs [↑](#footnote-ref-135)
136. . Boltzmann

     در ریاضیات و فیزیک، توزیع بولتسمان، یک توزیع برای حالات سیستم است. اگر سیستمی در تماس با یک حمام حرارتی در دمای T باشد، توزیع بولتسمان احتمال اینکه آن سیستم در i-امین وضعیت میکرو با سطح انرژی باشد را به صورت ارائه می­دهد که در آن Z، ثابت نرمال­سازی است و با این فرض که احتمال قرار داشتن سیستم در وضعیت میکرو معادل یک است () به دست می­آید. بنابراین، که جمع روی تمامی حالات میکرو (j) انجام می­شود.

     https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat\_therm/node66.html [↑](#footnote-ref-136)
137. . Metallurgy

     متالورژی، شاخه‌ای از علم مواد است که به شناخت و استخراج فلزات و فناوری‌های کار با فلزات می‌پردازد. این علم تفکیک مواد معدنی از سنگ معدن آن‌ها، ذوب، تصفیه و تولید شمش، بهبود خواص و تهیه آلیاژها و فن کار بر روی فلزات و شکل‌دهی آن‌ها را دربر می‌گیرد.

     https://en.wikipedia.org/wiki/Metallurgy [↑](#footnote-ref-137)
138. . Thermal Hydraulic Balance

     تعادل هیدرولیک (Hydraulic Balancing)، فرایند بهینه‌سازی توزیع آب در سیستم گرمایش یا سرمایش هیدرولیک ساختمان است که از طریق یکسان­کردن فشار سیستم انجام می­شود تا آب و هوای داخلی مورد نظر با شرایط کارایی انرژی بهینه و حداقل هزینه عملیاتی فراهم کند.

     https://en.wikipedia.org/wiki/Hydronic\_balancing [↑](#footnote-ref-138)
139. . Neighborhood Search [↑](#footnote-ref-139)
140. . Ziane et al. (2017) [↑](#footnote-ref-140)
141. . Adaptive Divide-And-Conquer [↑](#footnote-ref-141)
142. . Gross Features [↑](#footnote-ref-142)
143. . Fine Details [↑](#footnote-ref-143)
144. . Partition Function

     ثابت نرمال­سازی در توزیع بولتسمان (Z)، تابع افراز نیز خوانده می­شود. یادآوری می­شود که ثابت نرمال­سازی در توزیع بولتسمان معادل است و جمع روی تمامی حالات میکرو (j) اعمال می­شود. ممکن است این ابهام وجود داشته باشد که چگونه یک «ثابت»، می­تواند فرم تابعی داشته باشد؟ خوب برای یک سیستم که دما (T)، تعداد ذرات (N) یا حجم (V) ثابت است، Z یک ثابت خواهد بود؛ اما در صورتی­که دما و ... تغییر کند، Z تابعی از این پارامترها خواهد بود. به عبارتی؛ . برای توضیح بیشتر در خصوص تابع افراز، به درگاه زیر مراجعه شود.

     https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat\_therm/node68.html [↑](#footnote-ref-144)
145. . Trace

     مجموع قطری ماتریس را اثر ماتریس گویند. [↑](#footnote-ref-145)
146. . (Helmholtz) Free Energy

     معادله مهمی که انرژی آزاد هلمهولتز و تابع افراز را به هم مرتبط می­کند به صورت است. همانطور که اشاره شد، است. با در نظر گرفتن رابطه اصلی ترمودینامیک، انرژی آزاد را می­توان به صورت  *بازنویسی کرد. در این صورت، روابط مربوط به انتروپی، فشار و پتانسیل شیمیایی به شرح زیر خواهد بود.*

     و و

     https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat\_therm/node70.html

     لازم به ذکر است که رابطه اصلی ترمودینامیک، بوده که در آن d مبین تغییرات بینهایت کوچک است. بنابراین، d*E* مبین تغییرات بینهایت کوچک انرژی درونی یک سیستم در بین دو وضعیت تقریبا یکسان، T دمای مطلق، S انتروپی، P فشار و V حجم است.

     https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat\_therm/node38.html [↑](#footnote-ref-146)
147. . Specific Heat Capacity

     ظرفیت گرمایی ویژه معادل مقدار گرمایی است که لازم است مقدار مشخص از ماده‌ای دریافت کند تا دمای آن یک واحد افزایش یابد. [↑](#footnote-ref-147)
148. . Geometric Decay [↑](#footnote-ref-148)
149. . Bipartite Network [↑](#footnote-ref-149)
150. . Robustness Indicator [↑](#footnote-ref-150)
151. . Rationality and Practicability [↑](#footnote-ref-151)
152. . Bondy and Murty (1976) [↑](#footnote-ref-152)
153. . Binary Networks [↑](#footnote-ref-153)
154. . Weighted Networks [↑](#footnote-ref-154)
155. . Average Nearest Neighbors Degree [↑](#footnote-ref-155)
156. . Assortative Network [↑](#footnote-ref-156)
157. . Disassortative Network [↑](#footnote-ref-157)
158. . Barabási (2016) [↑](#footnote-ref-158)
159. . Neutral Network [↑](#footnote-ref-159)
160. . Assortative Network [↑](#footnote-ref-160)
161. . Disassortative Network [↑](#footnote-ref-161)
162. . برای مطالعه بیشتر به فصل هفتم کتاب علم شبکه، نوشته باراباسی (2016) مراجعه شود. [↑](#footnote-ref-162)
163. . Perfectly Assortative Network [↑](#footnote-ref-163)
164. . Hub-and-Spoke [↑](#footnote-ref-164)
165. . Harmonized System (HS) [↑](#footnote-ref-165)
166. . Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII) [↑](#footnote-ref-166)
167. . Logistics Costs [↑](#footnote-ref-167)
168. . Dynamic Programming (DP) [↑](#footnote-ref-168)
169. . Richard Bellman (1957) [↑](#footnote-ref-169)
170. . مطالعه بلمن (1970) با عنوان «برنامه­ریزی پویا و مسائل بهینه معکوس در اقتصاد ریاضی» نمونه­ای از کاربرد برنامه­ریزی پویا در علم اقتصاد است. وی بیان می­کند که برخی از فرایندهای مهم در اقتصاد ریاضی ممکن است به عنوان فرایندهای تصمیم­گیری چند مرحله­ای یا به طور معادل به عنوان فرایندهای کنترلی در نظر گرفته شوند. بنابراین، استفاده از نظریه برنامه­ریزی پویا یا حساب تغییرات در این مسائل کمک­کننده خواهند بود؛ زیرا مشاهده یک فرایند به عنوان یک فرایند بهینه­سازی بسیار مفید است. [↑](#footnote-ref-170)
171. . Sniedovich (2010) [↑](#footnote-ref-171)
172. . Heuristic Approaches [↑](#footnote-ref-172)
173. . Artificial Neural Network (ANN) [↑](#footnote-ref-173)
174. . Genetic Algorithm (GA) [↑](#footnote-ref-174)
175. . Ant Colony Optimization (ACO) [↑](#footnote-ref-175)
176. . Tabu Search (TS) [↑](#footnote-ref-176)
177. . Particle Swarm Optimization (PSA) [↑](#footnote-ref-177)
178. . Network Reliability

     تریپاثی و همکاران (2015) در توضیح قابلیت اطمینان در حوزه شبکه بیان می­کنند که عملکرد شبکه­های ارتباطی عمدتاً بر اساس اطمینان از توانایی کارکرد آن­ها حتی در صورت وقوع خرابی سنجیده می­شود. به عبارت دیگر، شبکه­ها باید برای کاربردهای حیاتی بسیار قابل اعتماد باشند. طراحی یک شبکه با قابلیت اطمینان بالا شامل افزونگی است و در نتیجه افزایش هزینه را به همراه دارد. [↑](#footnote-ref-178)
179. . Interconnected Networks [↑](#footnote-ref-179)
180. . Tripathy et al. (2015) [↑](#footnote-ref-180)
181. . Wang (1986) [↑](#footnote-ref-181)
182. . Sequential and Recursive Optimization Problems [↑](#footnote-ref-182)
183. . Principle of Optimality [↑](#footnote-ref-183)
184. . Transition Constraint [↑](#footnote-ref-184)
185. . Arithmetic Mean – Geometric Mean (AM-GM) Inequality [↑](#footnote-ref-185)
186. . Jensen Inequality [↑](#footnote-ref-186)
187. . Minkowski Inequality

     نامساوی مینکوسکی بیان می­کند در صورتی‌که اعداد حقیقی غیر صفر باشند، آنگاه برای هر عدد حقیقی مثبت نامساوی زیر برقرار است.

     دقت شود که اگر هر کدام از r و s صفر باشند؛ نامساوی فوق به نامساوی هولدر تبدیل می­شود. برای مطالعه بیشتر به تارنمای زیر مراجعه شود.

     https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php/Minkowski\_Inequality [↑](#footnote-ref-187)
188. . Hölder's Inequality

     بنا بر این نامساوی، در صورتی که اعداد حقیقی نامنفی و اعداد حقیقی نامنفی با جمع یک باشند؛ نامساوی زیر را خواهیم داشت.

     به عبارت دقیق­تر، در صورتی که دنباله­های متعددی از اعداد حقیقی نامنفی و اعداد حقیقی نامنفی با باشند، نامساوی زیر را خواهیم داشت.

     برای مطالعه بیشتر به تارنمای زیر مراجعه شود.

     https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php/H%C3%B6lder%27s\_Inequality [↑](#footnote-ref-188)
189. . Probabilistic Inequality [↑](#footnote-ref-189)
190. . برای مطالعه بیشتر به تارنمای زیر مراجعه شود.

     https://www.statlect.com/fundamentals-of-probability/Jensen-inequality [↑](#footnote-ref-190)
191. . State Transition [↑](#footnote-ref-191)
192. . Stage Variable [↑](#footnote-ref-192)
193. . State Variable [↑](#footnote-ref-193)
194. . Decision Variable [↑](#footnote-ref-194)
195. . State Transition Equation [↑](#footnote-ref-195)
196. . Free on Board (FOB) [↑](#footnote-ref-196)
197. . Cost, Insurance, Freight (CIF) [↑](#footnote-ref-197)
198. . International Commercial Terms (Incoterms) [↑](#footnote-ref-198)
199. . Inland Waterway [↑](#footnote-ref-199)
200. . برای مطالعه بیشتر به پایگاه اطلاعاتی زیر مراجعه شود.

     https://comtrade.un.org/db/help/ureadMeFirst.aspx [↑](#footnote-ref-200)
201. . Great Circle Distance [↑](#footnote-ref-201)
202. . Non-Trivial Optimization Problem [↑](#footnote-ref-202)
203. . Graph Theory [↑](#footnote-ref-203)
204. . Kruskal [↑](#footnote-ref-204)
205. . https://comtrade.un.org/data/ [↑](#footnote-ref-205)
206. . http://globalenergyobservatory.org/list.php?db=Transmission&type=Oil\_Ports [↑](#footnote-ref-206)
207. . https://sea-distances.org/ [↑](#footnote-ref-207)
208. . https://www.distance.to/ [↑](#footnote-ref-208)
209. . طول و عرض جغرافیایی از درگاه زیر گرفته شده است.

     https://www.latlong.net/ [↑](#footnote-ref-209)
210. . https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/specific-co2-emissions-per-tonne-2#tab-chart\_1 [↑](#footnote-ref-210)
211. . https://www.planete-energies.com/en/media/article/transporting-oil-sea [↑](#footnote-ref-211)
212. . https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references [↑](#footnote-ref-212)
213. . https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-fuel-price-changes-2005-2018 [↑](#footnote-ref-213)
214. . Great Circle Distance [↑](#footnote-ref-214)
215. . Guwahati [↑](#footnote-ref-215)
216. . Uralsk [↑](#footnote-ref-216)
217. . Sparse Adjacency Matrix [↑](#footnote-ref-217)
218. . از آنجایی که فرض شده فاصله هر منطقه از خودش صفر است و مقدار کربن منتشرشده تابعی از فاصله بین مناطق است؛ مقدار انتشار گاز کربن در تجارت درون منطقه‌ای صفر می­شود. [↑](#footnote-ref-218)
219. . United Nations Environment Programme (UNEP) [↑](#footnote-ref-219)
220. . Allied Powers [↑](#footnote-ref-220)
221. . Axis Powers [↑](#footnote-ref-221)