

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تحلیل شبکه تجارت نفت: پایداری،

بهینه‌سازی و تأثیرات جهانی

تألیف

دکتر روح‌اله شهنازی

دکتر نجمه ساجدی‌ان فرد

۱۴۰۳

فهرست

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	۹
۱- کلیات نفت و اثرات استفاده از آن	۱۶
۱-۱- نفت خام چیست؟	۱۶
۲-۱- استفاده از نفت خام	۱۶
۳-۱- اثرات اقتصادی استفاده از نفت	۱۸
۴-۱- اهمیت نفت برای کشورهای صادرکننده نفت.....	۲۰
۵-۱- اثرات منفی استفاده از نفت خام.....	۲۲
۶-۱- اثرات منفی نفت خام برای کشورهای صادرکننده	۲۳
۲- پویایی‌های تولید و مصرف جهانی نفت.....	۲۸
۱-۲- اهمیت درک روند تولید، مصرف و قیمت نفت	۲۹
۱-۱-۲- تکامل صنعت نفت مدرن از قرن ۱۹ تاکنون	۳۰
۲-۲- تحلیل روندهای فعلی تولید نفت	۳۲
۳-۲- عوامل سمت تقاضا مؤثر بر الگوهای مصرف نفت	۳۳
۴-۲- کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت و تعادل در بازار جهانی	۳۴
۵-۲- پیش‌بینی روندهای آینده در تولید و مصرف نفت	۳۵
۱-۵-۲- عوامل محرک تغییرات آتی در عرضه و تقاضای نفت.....	۳۶
۲-۵-۲- عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های مرتبط با پیش‌بینی‌های بلندمدت در بازار نفت	۳۷
۶-۲- عوامل مؤثر بر قیمت نفت	۳۸
۱-۶-۲- نقش بازارهای مالی، سفته‌بازی و تمایل سرمایه‌گذاران در نوسانات قیمت نفت	۴۰
۷-۲- تعامل بین شاخص‌های کلان اقتصادی، نوسانات ارز و قیمت نفت	۴۱
۸-۲- ارزیابی پیامدهای روند تولید و مصرف نفت برای امنیت جهانی انرژی	۴۲
۱-۸-۲- تحلیل مخاطرات و تعارضات ژئوپلیتیکی مرتبط با مناطق نفت‌خیز	۴۲
۲-۹- انتقال به سمت منابع انرژی پاک‌تر و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی	۴۵
۲-۱۰- ادغام ملاحظات پایداری در سیاست‌های انرژی و تصمیمات سرمایه‌گذاری	۴۶
۳- امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری	۵۲
۱-۳- ظهور آرژانس بین‌المللی انرژی و اهمیت آن در تأمین امنیت انرژی	۵۲
۲-۳- امنیت انرژی چیست و چه اهمیتی دارد؟	۵۸
۳-۳- سنجش امنیت عرضه انرژی	۶۴

۷۰.....	۳-۴- شاخص‌های سنجش امنیت عرضه انرژی
۷۴.....	۳-۵- پایداری، تنوع و تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت
۷۸.....	۳-۵-۱- شاخص پایداری کشورها در شبکه تجارت نفت خام
۸۲.....	۳-۵-۲- تحلیل تاب‌آوری شبکه تجارت در طرح
۹۱.....	۴- تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری
۹۵.....	۴-۱- بخش اول: تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت خام
۹۵.....	۴-۱-۱- ساختار شبکه
۹۷.....	۴-۱-۲- ویژگی‌های شبکه تجارت نفت خام
۱۰۱.....	۴-۲- تعیین پایداری در شبکه تجارت نفت
۱۰۴.....	۴-۳- تعیین سهم مؤثر
۱۰۹.....	۴-۴- بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در واردات، صادرات و کل تجارت
۱۱۴.....	۴-۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی تحلیل تاب‌آوری
۱۱۶.....	۴-۶- بخش دوم: تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت
۱۲۴.....	۴-۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت
۱۲۷.....	پیوست ۱: روابط ریاضی مربوط به تحلیل تاب‌آوری
۱۳۱.....	۵- الگوهای بهینه‌یابی شبکه تجارت نفت
۱۳۱.....	۵-۱- الگوی پایه: الگوریتم درخت پوشای کمینه
۱۳۶.....	۵-۲- روش تبرید شبیه‌سازی شده
۱۳۷.....	۵-۲-۱- بهینه‌سازی ترکیبی
۱۴۰.....	۵-۲-۲- مکانیک آماری
۱۴۲.....	۵-۳- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده
	۶- شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود بر حسب هزینه‌های انرژی و زیست‌محیطی
۱۸۱.....	۶-۱- ویژگی‌های زیست‌محیطی و مصرف انرژی شبکه منطقه‌ای صادرات نفت خام
۱۸۵.....	۶-۱-۱- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شبکه موجود
۱۹۱.....	۶-۱-۲- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شبکه بهینه
۱۹۷.....	۶-۱-۳- همبستگی بین شبکه موجود و شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام
۲۰۲.....	۶-۱-۴- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شکاف بین شبکه موجود و بهینه
	۶-۲- نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی تحلیل هزینه‌های زیست‌محیطی و مالی شبکه تجارت نفت
۲۰۴.....	
۲۰۸.....	۷- عوامل شکل‌دهنده ساختار، اتصال و پایداری شبکه تجارت نفت

- ۷-۱- عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت ۲۰۹
- ۷-۱-۱- ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای ۲۰۹
- ۷-۲- در دسترس بودن منابع و ذخایر ۲۱۰
- ۷-۳- توسعه زیرساخت و اتصال ۲۱۱
- ۷-۴- تقاضای جهانی و الگوهای مصرف ۲۱۳
- ۷-۵- پویایی بازار و نوسان قیمت ۲۱۵
- ۷-۶- قراردادهای سیاست‌های تجاری ۲۱۶
- ۷-۷- تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن ۲۱۸
- ۷-۸- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش‌دهنده اثرات مخرب محیط‌زیست .. ۲۲۰
- ۷-۹- گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر ۲۲۱
- ۷-۱۰- فناوری‌های استخراج و پالایش ۲۲۳
- ۷-۱۱- راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک ۲۲۶
- ۷-۱۲- دیجیتالی‌سازی و کاربردهای بلاک‌چین ۲۲۷
- ۷-۱۳- درک و نگرش عمومی نسبت به سوخت‌های فسیلی ۲۳۰
- ۷-۱۴- جنبش‌های اجتماعی و کنشگری ۲۳۲
- ۷-۱۵- توسعه اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به انرژی ۲۳۳
- ۸- تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت جهانی نفت ۲۴۱
- ۸-۱- تعریف تحریم‌ها و انواع آن ۲۴۲
- ۸-۱-۱- تحریم‌های اقتصادی ۲۴۲
- ۸-۲- تحریم‌های دیپلماتیک ۲۴۳
- ۸-۳- تحریم‌های نظامی ۲۴۳
- ۸-۴- تحریم‌های حقوق بشری ۲۴۳
- ۸-۵- تأثیر تحریم‌ها بر تولید و صادرات نفت ۲۴۶
- ۸-۶- تأثیر تحریم‌ها بر تغییر در مسیرهای تجاری و بازارهای صادراتی نفت ۲۴۹
- ۸-۷- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل مؤثر بر شبکه تجارت جهانی نفت ۲۵۱
- ۸-۸- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت ۲۵۱
- ۸-۹- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت ۲۵۲
- ۸-۱۰- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت ۲۵۴
- ۸-۱۱- تأثیر تحریم‌ها بر پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک در شبکه تجارت نفت ۲۵۵
- ۸-۱۲- تأثیر تحریم‌ها بر عوامل اجتماعی- فرهنگی شکل‌دهنده شبکه تجارت نفت ۲۵۶

۹- جمع بندی ۲۶۳

منابع ۲۷۳

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. به این ترتیب، مطالعه شبکه تجارت جهانی نفت نه تنها 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. به این ترتیب، 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 می‌دانیم از همه کسانی که در تدوین این کتاب نقش داشته‌اند، به ویژه، از بنیاد علم ایران به خاطر تأمین مالی پروژه پسادکتری و دانشگاه شیراز (کد طرح ۹۹۰۲۶۱۶۳) 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

۱- کلیات نفت و اثرات استفاده از آن

۱-۱- 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.

۱-۲- 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 از جمله درزگیر ساختمان، عایق قایق‌ها و همچنین پماد دارویی استفاده می‌کردند.

تاریخ مدرن نفت خام به اواسط قرن نوزدهم برمی گردد، زمانی که نخستین چاه نفت تجاری در آمریکا، ایالت پنسیلوانیا در سال ۱۸۵۹ 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 ۱۹۰۰ تقاضای زیادی برای بنزین ایجاد کرد که از نفت خام تولید می شود. این امر منجر به تقاضای بیشتر برای نفت خام شد و در اواسط قرن بیستم، نفت به مهم ترین منبع انرژی جهان تبدیل گردید. کشف ذخایر بزرگ نفت در خاورمیانه در دهه های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ 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 محیط زیست جهانی دارد.

در جامعه مدرن، نفت خام یک منبع ضروری است که نقش مهمی در طیف وسیعی از فعالیت ها، 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 می باشد. 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 می شود. نفت خام به بنزین، گازوئیل و سوخت های هوانوردی برای استفاده در خودروها، کامیون ها، کشتی ها و هواپیماها تصفیه می شود. همچنین برخی از نیروگاه ها از نفت خام یا مشتقات آن به عنوان سوخت برای تولید برق استفاده می کنند. در ضمن در مناطقی که گاز طبیعی کمیاب است، از محصولات مبتنی بر نفت خام مانند نفت سفید برای گرمایش مسکونی و تجاری استفاده می شود.

نفت خام کاربردهای صنعتی زیادی مثلاً در مواد اولیه شیمیایی، تولید آسفالت و روان کننده ها دارد. نفت خام یک خوراک اولیه برای صنعت پتروشیمی است که به عنوان منبع مواد شیمیایی مختلف عمل می کند و از آن برای تولید اتیلن، پروپیلن، بنزن، تولوئن و زایلن استفاده می شود که بلوک های سازنده پلاستیک، لاستیک مصنوعی، حلال ها و الیاف هستند. همچنین نفت خام در تولید آسفالت اهمیت دارد، زیرا قیر بخش سنگین نفت خام در ساخت راه ها 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 از جمله 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.

۳-۱- 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 از جمله پروژه‌های زیربنایی، برنامه‌های اجتماعی و خدمات عمومی به شدت به درآمدهای حاصل از صادرات نفت متکی هستند. در نتیجه، 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 از جمله 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.

۴-۱- 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 از جمله پالایش، پتروشیمی، حمل‌ونقل و خدمات پشتیبانی می‌کنند.

از طرفی درآمدهای نفتی نقش مهمی در تأمین مالی مخارج دولت از جمله 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 از جمله 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 بخش‌های مختلف از جمله 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.

۵-۱- اثرات منفی استفاده از نفت خام

استفاده از نفت خام و مشتقات آن اثرات منفی متنوعی را در حوزه‌های مختلف از جمله 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 (CO_2)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) 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 از جمله نفت خام، سهم عمده‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه CO_2 دارد که به گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم منجر شده است. احتراق نفت خام باعث آزاد شدن مقادیر زیادی CO_2 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. از جمله 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 از جمله 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.

۶-۱- اثرات منفی نفت خام برای کشورهای صادرکننده

اثرات منفی نفت خام برای کشورهای صادرکننده نفت از جمله 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 اقتصادی مانند 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 از جمله 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.

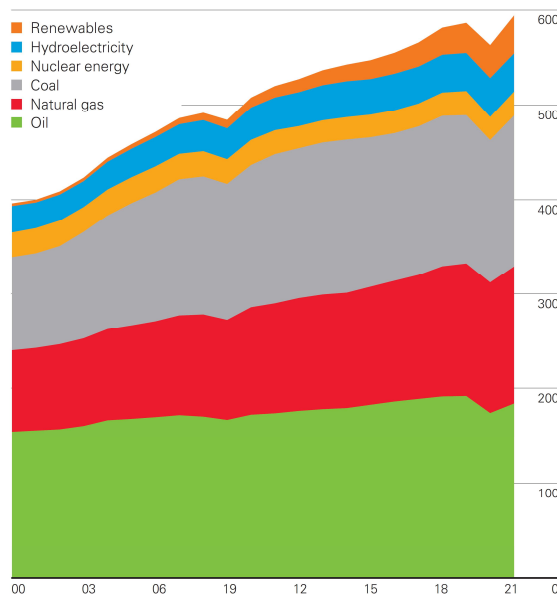
فصل دوم

پویایی های تولید و مصرف جهانی نفت

۲- بویایی‌های 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 بویایی 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 ۱). تطبیق‌پذیری، قابلیت حمل و چگالی انرژی آن را برای کاربردهای مختلف از جمله 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 ۱: 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.

۲-۱- 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.

۲-۱-۱- تکامل صنعت نفت مدرن از قرن ۱۹ 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^۱ پنسیلوانیا در سال ۱۸۵۹ 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 روان‌کننده‌ها 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 از جمله 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 از جمله 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

1. Titusville

نفتی غیرمعارف 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. از جمله کشف میدان نفتی اسپیندل تاپ^۱ در تگزاس سال ۱۹۰۱، 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 (۱۹۶۰): 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 ۱۹۷۰): بحران‌های نفتی دهه ۱۹۷۰ 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 از جمله 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. از جمله 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 خلیج فارس 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 ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ باعث افزایش رقابت و کارایی بازار شد. اصلاحاتی مانند فروپاشی استاندارد اوپل 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 از جمله 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.

۲-۲- 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 از جمله کشورهایی مانند روسیه، قزاقستان و آذربایجان نیز مناطق عمده تولید نفت هستند که در بویایی 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 دیجیتال‌سازی، 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 غیرمعارف استخراج کنند.

۲-۳- 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، کالاهای 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.

۴-۲- 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 از جمله 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 فناوریانه 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 از جمله 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 ناهمبستگی‌های 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.

در نتیجه، 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.

۵-۲- 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 از جمله 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.

۱-۵-۲- 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.

۲-۵-۲- 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.

۶-۲- 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.

۱-۶-۲- 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 از جمله صندوق‌های تأمین، 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.

۷-۲- 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 کالاهای 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.

۸-۲- 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 از جمله 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.

۸-۲-۱- 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 از جمله 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، از جمله 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.

۹-۲- انتقال به سمت منابع انرژی پاک‌تر و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی

با توجه به اثرات منفی مصرف انرژی‌های فسیلی از جمله 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 زمین‌گرمایی 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 مصرف‌نهایی 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.

۱۰-۲- 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 از جمله 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 از جمله 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 از جمله 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 تاب آوری

۳- 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 عمده 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 در نتیجه اعتصابات؛ اما این مسائل از طریق مذاکره بین طرف‌های داخلی که در نهایت 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، ۲۰۱۴).^۱ 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.

۳-۱- ظهور آرانی 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، ۲۰۱۷).^۲ 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، ۲۰۲۰).^۳

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 ۲۰۱۹ حدود ۱۴.۱ درصد ذخایر نفت جهان را دارد؛

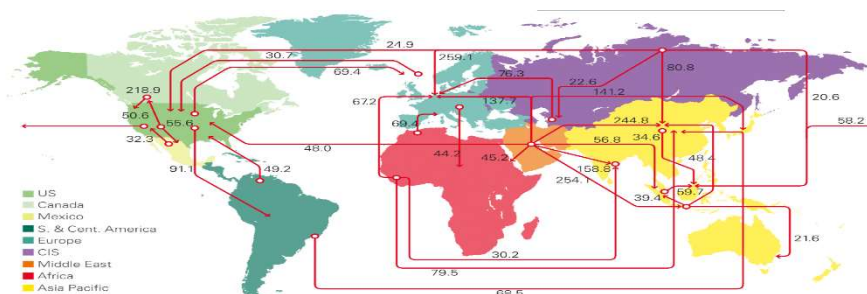
1 . Zhang et al. (2014)

2 . Dudley et al. (2017)

3 . Dong et al. (2020)

اما میزان تولید آنها ۲۵.۹ درصد است. از طرفی آمریکای مرکزی و جنوبی با دارا بودن ۱۸.۸ درصد ذخایر صرفاً ۶.۵ درصد تولید داشته است. خاورمیانه با ۴۸.۱ درصد ذخایر ۳۱.۹ درصد تولید جهان را در اختیار داشته و کل کشورهای اوپک در حالی که ۷۰.۱ درصد ذخایر جهان را در اختیار دارند، ۳۷.۴ درصد تولید نفت را به خود اختصاص داده‌اند و این یعنی کمی بیش از نصف ظرفیت ذخایر خود تولید کرده‌اند. نوع دوم، عدم توازن میان تولید و مصرف نفت است. برای مثال، با وجودی که تولید نفت اروپا ۳.۶ درصد کل جهان است؛ اما مصرف آن ۱۵.۲ می‌باشد و در مقابل کشورهای مستقل مشترک‌المنافع در حالی که ۱۵.۴ درصد تولید نفت را به خود اختصاص داده‌اند؛ اما میزان مصرفشان حدود ۴.۳ درصد است. همچنین با وجود اینکه خاورمیانه ۳۱.۹ درصد تولیدات را دارد؛ اما صرفاً ۹.۶ درصد مصرف را به خود اختصاص داده است. در مقابل آسیا-اقیانوسیه با تولید ۸ درصدی، ۳۶.۸ درصد نفت جهان را مصرف می‌کند (بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۰).^۱ این عدم توازن نشان‌دهنده اهمیت تجارت نفت بوده و بنابراین، درک ویژگی‌های تجارت جهانی نفت اهمیت زیادی دارد.

در شکل (۱) 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 ۲۵ درصد تولید و مصرف نفت دنیا را در اختیار دارد.



شکل ۱: تحرکات عمده تجاری در سال ۲۰۱۹ - جریان تجارت در سراسر جهان (میلیون تن)^۲

۱ . British Petroleum (BP)

۲. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/oil.html>

تولید و مصرف انرژی اعم از سوخت‌های فسیلی، برق، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، سوخت‌های زیستی^۱ و ضایعات، گرمایی، خورشیدی، زمین گرمایی، باد و امواج، هیدروژن و پیل سوختی، زیست توده و فتوولتاییک^۲ یک مفهوم مهم در دنیا است. بر اساس داده‌های موجود، تولید سوخت‌های فسیلی در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ به شدت (۵ درصد) کاهش یافته است. همه سوخت‌های فسیلی، به ویژه نفت (منفی ۷٪) تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، زیرا تقاضای حمل و نقل در طول بحران بهداشت جهانی در اثر انتشار بیماری کووید-۱۹ کاهش یافته است. بر اساس داده‌های اولیه، تولید زغال‌سنگ ۴ درصد کاهش یافت. همچنین به دلیل پیامدهای اقتصادی ناشی از کووید-۱۹، 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 ۳ درصد کاهش یافت.^۳

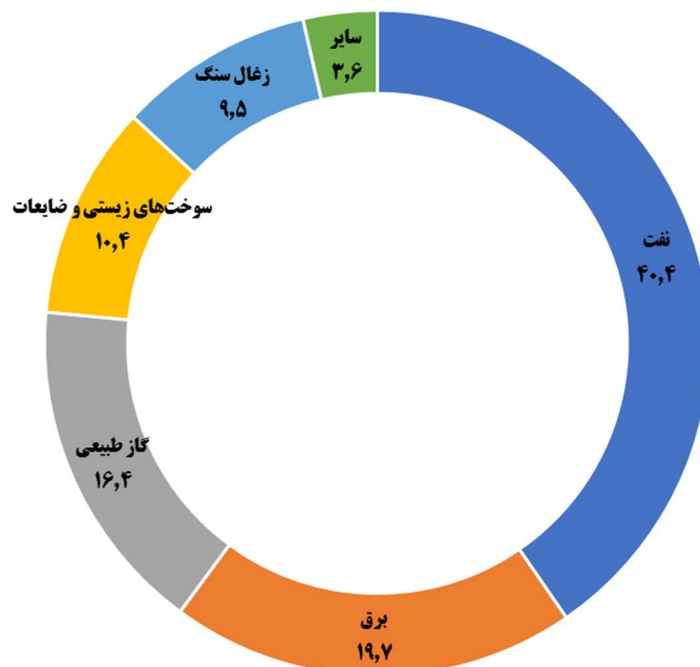
در سال ۲۰۱۹، سهم نفت از کل مصرف نهایی انرژی حدود ۴۰ درصد، سهم برق حدود ۲۰ درصد، سهم گاز طبیعی حدود ۱۶ درصد، سهم سوخت‌های زیستی و ضایعات حدود ۱۰ درصد، سهم زغال‌سنگ حدود ۱۰ درصد و سایر اشکال انرژی (گرما، خورشیدی و زمین گرمایی)^۴ حدود ۴ درصد از کل مصرف نهایی انرژی بوده است.

1 . Biofuels

۲ . برای مطالعه در خصوص انواع منبع انرژی‌های تجدیدپذیر، به سایت سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) مراجعه شود.

3 . <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview/world>

4 . Heat, Solar Thermal, and Geothermal



شکل ۲: سهم انواع مختلف انرژی از مصرف انرژی در سال ۲۰۱۹

عرضه بیش از حد فعلی نفت و تأثیر کووید-۱۹ بر تقاضا، دلیلی برای رضایت خاطر در مورد امنیت عرضه نیست. تقاضای جهانی نفت در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است و به طور خاص، آسیا ۷۷ درصد از رشد تقاضای نفت را تا سال ۲۰۲۵ تشکیل می‌دهد. همزمان، تولید نفت در منطقه کاهش یافته و در نتیجه، نیازهای واردات نفت آسیا در سال ۲۰۲۵ از ۳۱ میلیون بشکه در روز فراتر خواهد رفت. همه اقتصادهای بزرگ آسیا به شدت به واردات نفت وابسته هستند (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۰).

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 در نتیجه 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.^۱ به طور کلی، کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی موظف‌اند ذخایر نفتی معادل حداقل ۹۰ روز واردات خالص نفت

1 . <https://www.iea.org/reports/oil-2020>

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.^۱

جنگ روسیه و اوکراین که از فوریه ۲۰۲۲ 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 ۹۵ درصد از ذخایر گاز در اروپا تا پایان سه‌ماهه چهارم ۲۰۲۲ شد (گزارش شورای جهانی انرژی، ۲۰۲۴).

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

1. <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/oil>

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 از جمله 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.^۱

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

1. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_2024_Full_Report.pdf?v=1717662800

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^۱ 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، ۲۰۲۳).

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 بازایی حوادث سایبری را تقویت نماید.^۲

۲-۳- 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 عمده‌تأ 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 در نتیجه اعتصابات؛ اما این مسائل از طریق مذاکره بین طرف‌های داخلی که در نهایت 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

1. Cybersecurity Energy Security and Emergency Response (CESER)

2. <https://www.energy.gov/ceser/energy-security>

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 (گرونبِrg و همکاران، ۲۰۰۸).^۱

طبق اعلام آژانس بین‌المللی انرژی (۲۰۰۷)، 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 (۱۹۹۶)^۲ اشاره می‌کنند که امنیت انرژی به «از دست دادن رفاه اقتصادی که ممکن است در نتیجه 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 (۱) حجم واردات انرژی؛ (۲) تغییرات قیمت انرژی؛ و (۳) 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، ۲۰۱۰).^۳

درواقع، قیمت‌ها یا نوسان‌پذیری آن‌ها باعث سردرگمی زیادی می‌شود. در تعریف امنیت انرژی به قیمت‌ها اشاره متفاوتی دارد. «کاغذ سبز کمیسیون اروپا در سال ۲۰۰۱» 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

1. 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.

2. Bohi and Toman (1996)

3. 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.

مرکز سیاست انرژی بین‌المللی^۱ با عنوان «مطالعه امنیت تأمین انرژی و ژئوپلیتیک» تعریف امنیت انرژی «در دسترس بودن^۲ انرژی در کل زمان در اشکال مختلف، در مقادیر کافی و در قیمت‌های معقول^۳ و یا مقرون به صرفه^۴ 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»^۵ 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 (۲۰۱۰) با حمایت از دیدگاه بوهی و تومن (۱۹۹۶) 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

1. Center for International Energy Policy (CIEP) known as Clingendael International Energy Programme

2. Availability

3. Reasonable

4. Affordable

5. Overly Volatile

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 ۲۰۰۳، اختلاف گازی بین روسیه و اوکراین در سال‌های ۲۰۰۵/۲۰۰۶)، خرابی تجهیزات (مانند قطعی برق در شمال شرق آمریکا در سال ۲۰۰۳)، اعتصابات (مانند ونزوئلا در سال‌های ۲۰۰۲/۲۰۰۳) و وقایع شدید آب و هوایی (مانند طوفان کاترینا در سال ۲۰۰۵) 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 ۱/۵ 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 سرمایه‌گذاری، 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، رواندا 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، ۲۰۲۴).

بنابراین، در ذیل بحث امنیت انرژی، دو مفهوم تنوع و تاب‌آوری قرار می‌گیرند که بحث تنوع نه تنها 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.

۳-۳- 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 ۴۰/۴ 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، ۲۰۰۱). وقوع تکانه اول نفتی در سال ۱۹۷۳ نقطه شروعی برای توجه ویژه به نفت در سیاست انرژی کشورهای صنعتی شد (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). 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 ۱۰۰ درصد 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^۱ 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 می‌تواند 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.

در نتیجه، 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

۲. 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 امکان‌پذیر می‌کنند، درآمد ایجاد کرده و به ثبات بازار کمک می‌نمایند. برای مطالعه بیشتر به درگاه زیر مراجعه شود.
<https://edurev.in/question/۲۰۲۶۲۸۷/What-is-market-Explain-the-functions-of-market-->

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 (۲۰۱۵)^۱ اشاره کرده‌اند؛ امنیت انرژی درواقع یک مفهوم کاملاً وابسته به زمینه مطالعاتی است. از تعاریف و مطالعات مربوط به مفهوم امنیت انرژی می‌توان هفت موضوع و بعد امنیت انرژی عمده را شناسایی کرد: در دسترس بودن انرژی، زیرساخت‌ها،^۲ 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^۳ 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^۴ 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^۵ و همکاران، ۲۰۰۹ و چستر، ۲۰۱۰^۶). 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)

1 . 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.

2 . Infrastructure

3 . Availability

4 . Accessibility

5 . Krut et al. (2009)

6 . Chester (2010)

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، ۲۰۱۲).

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^۱ شناخته شده یا داشتن خطوط لوله متعدد عرضه می‌شود تا وابستگی به هر خط لوله منفرد، کاهش یابد (آنگ و همکاران، ۲۰۱۵).

به‌طور کلی ۷ 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، ۲۰۱۵).

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، ۲۰۱۵).

مقرون به صرفه بودن^۱ (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، ۲۰۱۵).

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، ۲۰۱۲).

مقبولیت^۲ (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. لزیبرل (۲۰۰۴)^۳ 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

1 . Affordability

2 . Acceptability

3 . Lesbirel, S. H. (2004). Diversification and energy security risks: The Japanese case. Japanese Journal of Political Science, 5(1), 1-22.

راستا، دپارتمان انرژی و تغییرات آب و هوایی بریتانیا نیز بر جنبه عدالت اجتماعی امنیت انرژی تأکید دارد (آنگ و همکاران، ۲۰۱۵).

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 در نتیجه 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 (۲۰۱۲)^۱ بر اهمیت ابعاد «ارائه خدمات انرژی در دسترس، مقرون به صرفه، قابل اعتماد، سازگار با محیط‌زیست، مدیریت صحیح و اجتماعی قابل قبول» در امنیت انرژی تأکید می‌کنند (آنگ و همکاران، ۲۰۱۵).

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).

۴-۳- 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، ۱۹۹۸؛ آوریوخ، ۲۰۰۶؛ فروندل و اشمیت، ۲۰۰۸). در ادبیات موضوع، تنوع به وفور به عنوان کاهش‌دهنده ناامنی انرژی در نظر گرفته می‌شود. گروب و همکاران (۲۰۰۶) 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، ۲۰۰۶).

1 . Pasqualetti, M. J., & Sovacool, B. K. (2012). The importance of scale to energy security. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 9(3), 167-180.

آژانس بین‌المللی انرژی در گزارش خود با عنوان «امنیت انرژی و سیاست اقلیمی»^۱ در سال ۲۰۰۷ 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 به شدت 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^۲ (ESMC) نامیده می‌شود. مرحله دوم: قرار گرفتن یک کشور معین در معرض ریسک امنیت انرژی. این عنصر از طریق تعریف شاخص امنیت انرژی^۳ (ESI) در نظر گرفته می‌شود.

در مرحله اول، ریسک‌های امنیت انرژی با استفاده از شاخص هرfindahl-هیرشمن^۴ (HHI) محاسبه می‌شوند. شاخص ESMC برای هر سوخت فسیلی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$ESMC = \sum_i S_{if}^2$$

که در آن S_{if} 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 S_{if} بین صفر و ۱۰۰ درصد است؛ مقادیر ESMC بین صفر که نشان‌دهنده یک بازار کاملاً رقابتی می‌باشد

1. Organization for Economic Co-operation and Development. (2007). *Energy Security and Climate Policy-Assessing Interactions*. Organization for Economic Co-operation and Development.
2. Energy Security Market Concentration (ESMC)
3. Energy Security Index (ESI)
4. Herfindahl-Hirschman Index (HHI)

و ۱۰۰۰۰ 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 از جمله 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.

$$ESMC_{pol} = \sum_i r_i S_{if}^2$$

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

سنجه ESMC یا $ESMC_{pol}$ 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 $ESMC_{pol}$ 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 (ESI_{price})، از ضرب $ESMC_{pol}$ برای هر سوخت فسیلی در سهم ترکیب سوخت در معرض و تجمیع آن‌ها به شکل رابطه زیر به دست می‌آید.

$$ESI_{price} = \sum_f \left[ESMC_{pol-f} \left(C_f / TPES \right) \right]$$

که در آن $TPES$ ، تأمین انرژی کل تمامی سوخت‌های فسیلی، $C_f / TPES$ سهم سوخت فسیلی f در ترکیب سوخت کشور مصرف‌کننده و $ESMC_{pol-f}$ 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.

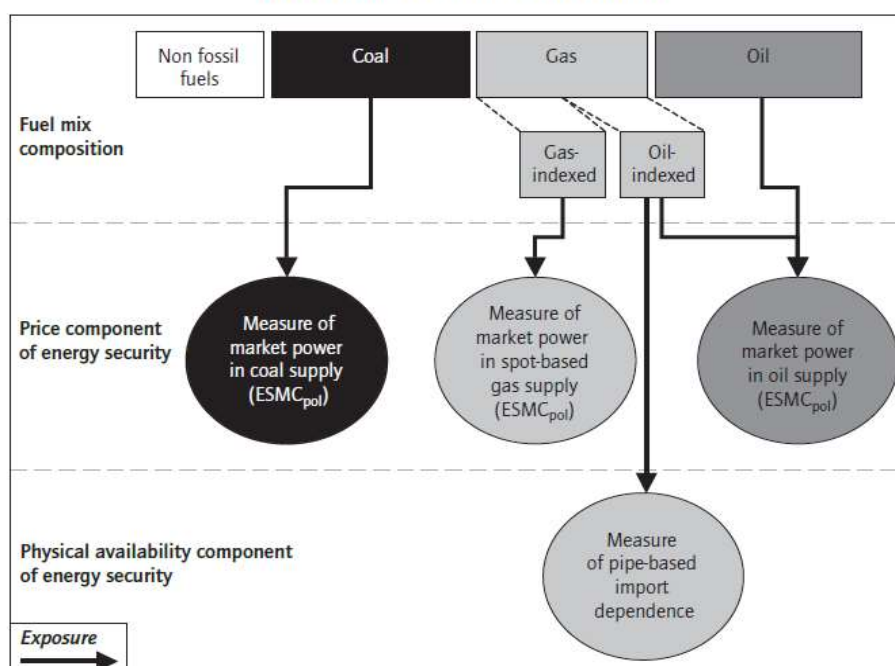
$$ESI_{volume} = \text{Pipe Imp (gas)}_{oil-indexed} / TPES \quad (1)$$

که در آن $\text{Pipe Imp (gas)}_{oil-indexed}$ واردات گاز مبتنی بر لوله (خریداری شده از طریق قراردادهای شاخص نفت) است.

بنابراین، شاخص ESI_{volume} بین صفر و ۱۰۰ خواهد بود، در صورتی که بخش گاز سیستم بازاری کاملاً آزاد داشته باشد (یعنی قیمت‌گذاری ۱۰۰ درصد مبتنی بر گاز) یا بخش گاز بدون واردات مبتنی بر لوله (یعنی ۱۰۰ درصد LNG) باشد یا ۱۰۰ درصد خودکفایی در گاز (یعنی بدون واردات)؛ مقدار این شاخص برابر صفر است. در صورتی که حالت فرضی مصرف گاز ۱۰۰ درصدی

شاخص نفت، ۱۰۰ درصد وابستگی به واردات مبتنی بر لوله و ترکیب سوخت ۱۰۰ درصد مبتنی بر گاز داشته باشیم؛ مقدار شاخص ESI_{volume} به ۱۰۰ 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.

Quantifying the energy security implications of resource concentration



۵-۳- 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، ۲۰۱۴). هولینگ (۱۹۷۳)^۲ برای اولین بار مفهوم تاب‌آوری را برای توصیف ویژگی‌های یک سیستم بوم شناختی^۳ از نظر توانایی «جذب تغییرات» و «تداوم» معرفی کرد. به عبارت دیگر، «یک سیستم بسیار انعطاف‌پذیر باید با انواع مختلف

1 . Zhang et al. (2014)

2 . Holling (1973)

3 . Ecological System

تغییرات سازگار باشد» (چن و همکاران، ۲۰۱۷). 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، ۲۰۲۰).^۲ 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^۳ 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 اخلاص‌گری 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 ۱۹۱۰، 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، ۲۰۰۶). 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 از جمله کانروی (۱۹۷۵)،^۴ جکسون (۱۹۸۴)،^۵ واگنر و دلر (۱۹۹۸)^۶ و واتسون (۲۰۱۶)^۷ رابطه بین تنوع و پایداری اقتصادی را تحلیل می‌کنند. واگنر و دلر (۱۹۹۸) بیان

1 . Chen et al. (2017)

2 . Dell'Isola (2020)

3 . Stability Index

4 . Conroy (1975)

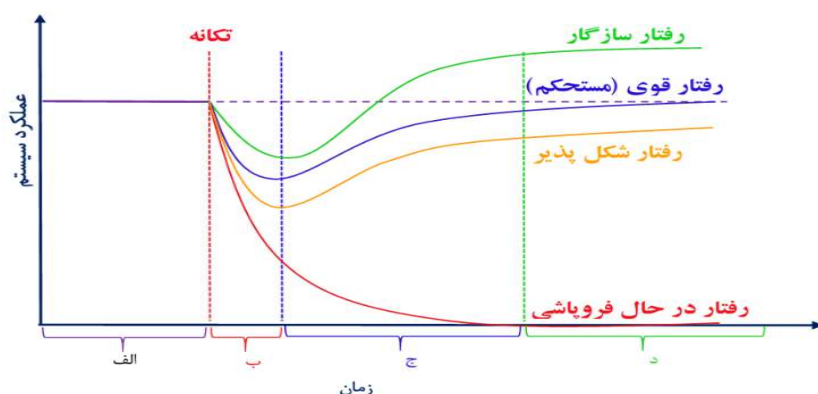
5 . Jackson (1984)

6 . Wagner and Deller (1998)

7 . Deller and Watson (2016)

می‌کنند که تنوع با سطوح بالاتری از پایداری همراه است. کافمن (۱۹۹۳)^۱ نشان می‌دهد که تنوع باعث ایجاد پایداری می‌شود که سیستم اقتصادی را در برابر تکان‌ها محافظت می‌کند.

شکل (۳) چگونگی تحلیل میزان پایداری^۲ یک سیستم را نشان می‌دهد (ثوما، ۲۰۱۴)^۳. بر اساس شکل، اگر در ابتدای دوره B تکان‌ای به سیستم وارد شود، بسته به میزان پایداری چهار نوع سیستم قابل تصور است: (۱) قوی (جذب بدون فروپاشی)^۴؛ (۲) شکل پذیر (بهبود ناقص)^۵؛ (۳) در حال فروپاشی^۶ یا (۴) رفتار سازگار (تغییر شکل توسط تغییر ساختارها، توابع و حلقه‌های بازخورد)^۷.



شکل ۳: 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 (۲۰۱۹)^۸

1 . Kaufmann (1993)

2 . 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 (روتدورف، ۲۰۱۳).

3 . Thoma (2014)

4 . Robust (Absorption without Collapse)

5 . Ductile (Incomplete Recovery)

6 . Collapsing

7 . Adaptive Behavior (transformation by altering structures, functions and feedback loops)

8 . Klimek et al. (2014)

امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری ۷۷

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.

۱-۵-۳- شاخص پایداری کشورها در شبکه تجارت نفت خام

اوندرو و ییلمازکودی (۲۰۱۶) با ارزیابی موقعیت کلی یک کشور در شبکه تجارت جهانی، متصل بودن^۱ یک کشور را می‌سنجند. این امر نه تنها مستلزم توجه به شرکای تجاری یک کشور است بلکه نیاز به توجه به شرکای 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 در نتیجه برای نشان دادن متصل بودن کشورها، می‌توان از شاخص‌های مرکزیت شبکه استفاده کرد که ییلمازکودی و اوندرو (۲۰۱۶)، این شاخص‌ها را شاخص تنوع شریک تجاری^۲ 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، ۲۰۱۷).^۳ تنوع به عنوان سنجش 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، ۲۰۰۴).^۴ 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، ۲۰۱۵).^۵ 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.

1. Connectivity
 2. Trade Partner Diversification (TPD)
 3. Kitamura and Managi (2017)
 4. Folke et al. (2004)
 5. Kharrazi et al. (2015)

لازم به ذکر است که دونگ و همکاران (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۰) شاخص استحکام را برای طرف عرضه نفت خام به شکل زیر تعریف می‌کنند.

$$RI_i = \frac{Q_{i \rightarrow MI}^{out} / Q_i^{out}}{k_{i \rightarrow MI}^{out} / k_i^{out}} \quad (2)$$

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

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

هرچه صورت کسر RI_i بزرگ‌تر باشد، مبین آن است که بیشترین عرضه نفت به بازار از طریق کشور i انجام می‌شود. از آنجایی که کشورهای عمده واردکننده نفت خام کمک بسزایی به پایداری شبکه تجارت دارند؛^۱ بنابراین، برای کشور صادرکننده نفت i هوشمندانه‌تر آن خواهد بود که کشورهای عمده واردکننده نفت خام را به عنوان بازارهای اصلی نفت خام خود در نظر بگیرد.

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

هرچه مخرج کسر RI_i کوچک‌تر باشد، مبین کشورهایی است که با کشور صادرکننده i رابطه تجاری دارند، نه تنها در زمره کشورهای عمده واردکننده نفت خام هستند بلکه سایر کشورهای

۱. دلیل این موضوع آن است که مقیاس تجارت کشورهای واردکننده نفت تفاوت فاحش دارد.

واردکننده را نیز در بر می‌گیرد. به عبارت دیگر، کشورهایی که از کشور i واردات دارند، متنوع هستند.

با این اوصاف، هر چه RI_i بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که کشور i در انتخاب شرکای تجاری هوشمند بوده و روابط تجاری‌اش پایدارتر است.

نقدی که به مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰) 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 (۲۰۱۴) 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 (۲۰۱۴) 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 (۲۰۱۴) متفاوت است. (۱) پایداری کشورهای واردکننده و صادرکننده با توجه به بعد تجاری شبکه تجارت نفت پرداخته می‌شود. (۲) دو شاخص پایداری را برای کشورهای واردکننده و صادرکننده به طور جداگانه تعریف می‌شود. (۳) شاخص پایداری برای مجموعه بزرگ‌تری از کشورها (۱۷۸ کشور در مقایسه با ۷۹ کشور) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شاخص پایداری صادرکنندگان نفت خام

شاخص پایداری صادرکنندگان نفت خام به صورت رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود.

$$XI_i = \frac{Q_i^{out} / Q^{out}}{k_{i \rightarrow M}^{out} / k_M} \quad (3)$$

که در آن Q_i^{out} حجم صادرات کشور i ، Q^{out} کل صادرات دنیا در شبکه صادرات نفت خام، $k_{i \rightarrow M}^{out}$ تعداد شرکای واردکننده از کشور صادرکننده i و k_M 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 XI_i 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 XI_i 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 ۵ درصد باشد و این ۵ درصد صادرات را ۱۰ درصد از واردکنندگان نفت خام داشته باشند. همچنین فرض کنید سهم صادرات کشور i از کل صادرات دنیا ۱۰ درصد باشد و این ۱۰ درصد صادرات را تنها ۵ 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 (۴) محاسبه می‌شود.

$$MI_i = \frac{Q_i^{in}/Q^{in}}{k_{i \rightarrow X}^{in}/k_X} \quad (4)$$

که در آن Q_i^{in} حجم واردات کشور i ، Q^{in} کل واردات دنیا در شبکه واردات نفت خام، $k_{i \rightarrow X}^{in}$ تعداد شرکای صادرکننده به کشور واردکننده i و k_X 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 MI_i 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 MI_i 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 ۵ درصد باشد و این ۵ درصد واردات را از ۱ درصد صادرکنندگان نفت خام داشته باشند. استحکام کشور i در چنین شرایطی پایین است، زیرا تعداد شرکای کمی دارد؛ اما اگر این ۵ درصد واردات از ۱۰ درصد کشورهای صادرکننده نفت خام انجام شود می‌تواند استحکام و پایداری بیشتری داشته باشد.

۲-۵-۳- 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: (۱) یک کشور چه سهمی از کل تجارت انجام شده در شبکه را دارد (قدرت نسبی کشور در شبکه تجاری)؛ و (۲) عدم حضور این کشور در شبکه تجاری چقدر می‌تواند منجر به ایجاد اختلال در انتقال شبکه تجارت نفت شود (اختلال‌گری 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 ۵ است.

$$MS_i = Q_i^{in} / Q^{in} \quad (۵)$$

که در آن MS_i ، سهم وارداتی کشور i از کل واردات شبکه تجارت نفت خام، Q_i^{in} واردات کشور i و Q^{in} 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 (۶) است.

$$XS_i = Q_i^{out} / Q^{out} \quad (۶)$$

که در آن XS_i ، سهم صادراتی کشور i از کل صادرات شبکه تجارت نفت خام، Q_i^{out} صادرات کشور i و Q^{out} 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 ۳ است.

$$TTS_i = \frac{T_i}{T} = \frac{X_i + M_i}{X + M} \quad (۷)$$

که در آن TTS_i ، سهم تجارت کل کشور i از کل تجارت در شبکه تجارت کل نفت خام، T_i 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^۱ (۲۰۰۱) 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^۱ در نرم‌افزار متلب استفاده شده و نحوه محاسبه به صورت رابطه (۸) است.

$$LE_i = \frac{1}{2N} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j,h \in N, j \neq i} (a_{ij} + a_{ji})(a_{ih} + a_{hi}) ([\vec{d}_{jh}(N_i)]^{-1} + [\vec{d}_{hj}(N_i)]^{-1})}{(k_i^{in} + k_i^{out})(k_i^{in} + k_i^{out} - 1) - 2 \sum_{j \in N} a_{ij} a_{ji}} \quad (8)$$

که در آن LE_i کارایی محلی کشور i ، N تعداد کشورها در شبکه تجاری، a_{ij} عناصر ماتریس الحاقی، k_i^{in} درجه ورودی رأس i ، k_i^{out} درجه خروجی رأس i و $\vec{d}_{jh}$ فاصله بین رأس j و h است (لاتورا و مارچیوری، ۲۰۰۱). 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 ۵، ۶ و ۷ به ترتیب سهم مؤثر واردات، صادرات و تجارت کل کشور i را معرفی می‌کنند.

$$ESI_i = MS_i * LE_i \quad (9)$$

$$ESX_i = XS_i * LE_i \quad (10)$$

$$EST_i = TTS_i * LE_i \quad (11)$$

سهام مؤثر بالاتر به اهمیت بیشتر یک کشور در شبکه تجاری مربوط می‌شود. به عبارت دیگر، سطح پایینی از اختلال (LE_i زیاد) و سطح بالایی از قدرت (واردات/صادرات/سهام تجاری بالا) باعث اهمیت بیشتر یک کشور در شبکه تجاری می‌شود. در صورتی که جنبه اخلاگری و سطوح قدرت بالا باشد و قدرت کشور بر جنبه اخلاگری آن غالب باشد، سهم مؤثر بالا حاکی از اهمیت کشور است. از سوی دیگر، سطوح کم اختلال 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 (۲۰۰۴) نشان می‌دهند که اصل تنوع می‌تواند منعکس-کننده انعطاف‌پذیری سیستم‌های انرژی باشد. همچنین خرازی و همکاران (۲۰۱۵) 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 آسیب‌قابل 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 (۱) و به لحاظ سهم مؤثر طیفی همانند شکل (۲) برای کشورها قابل تصور است.

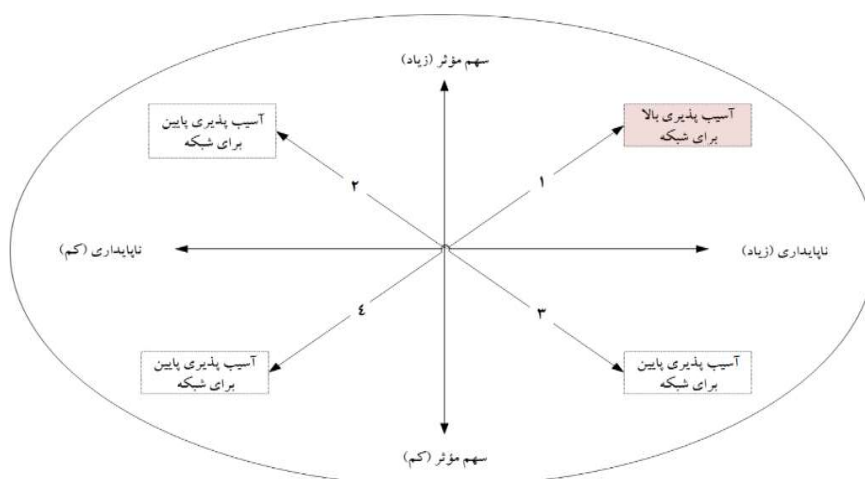


شکل ۱: طیف عدم پایداری



شکل ۲: طیف سهم مؤثر

همان طور که در شکل (۳) نشان می‌دهد با ترکیب 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 ۳: طیف‌بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در تجارت نفت خام

فوتی و همکاران (۲۰۱۳)^۱ 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 (۲۰۱۴) استحکام شبکه تجارت نفت را بررسی کرده‌اند و به نتیجه مشابه رسیده‌اند. برخی مطالعات دیگر (ازجمله مطالعه‌های پوما و همکاران (۲۰۱۵)^۲ و فیر و همکاران (۲۰۱۷)^۳) تاب‌آوری شبکه امنیت غذایی را بررسی کرده‌اند. پوما و همکاران (۲۰۱۵) نتایجی مشابه مطالعات فوتی و همکاران (۲۰۱۳) و جی و همکاران (۲۰۱۴) به دست می‌دهند. فیر و همکاران (۲۰۱۷) با نشان دادن انتقال به سمت یک شبکه پایداری‌تر 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

1 . Foti et al. (2013)

2 . Puma et al. (2015)

3 . Fair et al. (2017)

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 ترکیب 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

۴- تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری

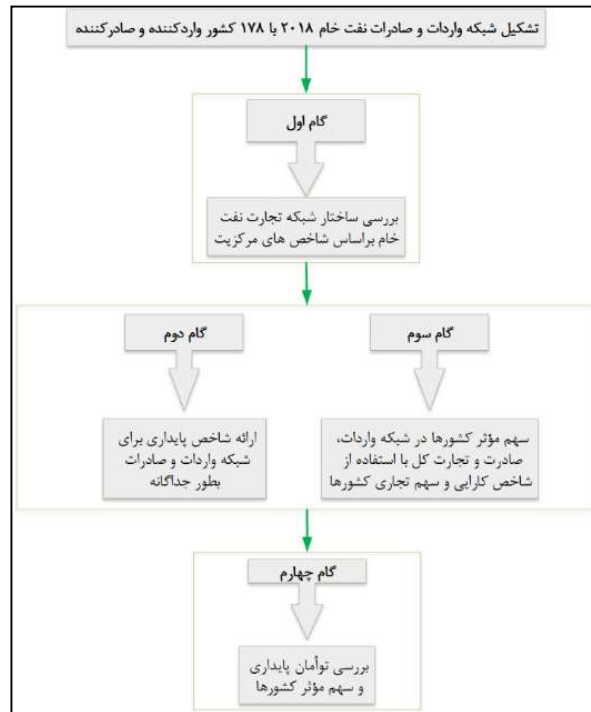
در فصل چهارم به تبیین مفاهیم امنیت انرژی، تنوع، پایداری و تاب‌آوری در شبکه تجارت نفت پرداخته شد. همان‌طور که اشاره شد، تاب‌آوری کشورها در شبکه تجارت بین‌الملل بسیار اهمیت دارد و می‌تواند در تأمین انرژی کل شبکه اثرگذار باشد؛ بنابراین، در فصل حاضر شبکه تجارت نفت خام با تأکید بر مفهوم تاب‌آوری و پایداری 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 ۱۷۸ کشور مشخص می‌شود. بر اساس شاخص‌های ساختاری شبکه از جمله 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: (۱) کشورهای با پایداری بالا و سهم مؤثر بالا؛ (۲) کشورهای با پایداری بالا و سهم مؤثر پایین؛ (۳) کشورهای با پایداری پایین و سهم مؤثر پایین؛ و (۴) کشورهای با پایداری پایین و سهم مؤثر بالا. از بین چهار دسته، دسته چهارم آسیب‌پذیرترین کشورهای شبکه تجارت نفت برای کل شبکه هستند.

شکل ۱ روش تحلیل پایداری کشورها در شبکه واردات و صادرات نفت خام را نشان می‌دهند.



شکل ۱: 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 ۱۷۸ کشور مشخص شده است. بر اساس توزیع درجه و ضرب خوشه‌ای شدن، ویژگی‌های کلی شبکه تجارت نفت خام و استحکام آن بررسی می‌شود. در مرحله دوم، سطح تحلیل به سطح منطقه‌ای تغییر یافته و شبکه تجارت نفت خام به ۱۲ منطقه تقسیم می‌شود. با تحلیل شبکه تجارت منطقه‌ای می‌توان پایداری کشورها در شبکه تجارت نفت خام را ارزیابی کرد.

به پیروی از مطالعات پیشین (دو و همکاران، ۲۰۱۶؛ شیرازی و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ شهنازی و همکاران، ۲۰۲۳) داده‌های واردات و صادرات نفت خام (HS با کد ۲۷۰۹۰۰) مورد استفاده قرار گرفته است که از پایگاه داده تجارت کالایی سازمان ملل متحد گردآوری شده‌اند. از آنجایی که ساختار شبکه تجارت بین‌الملل نفت خام تغییر نداشته است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹)، داده‌های مربوط به سال ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۹۳ ♦

از آنجایی که کارایی محلی بر اساس فاصله بین رؤس 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 (۴)، خلاصه داده‌های مورد استفاده و مرجع را بیان می‌کند.

جدول ۱: اطلاعات مربوط به پایگاه‌های داده‌ای

داده	منبع	درگاه
تجارت دوجانبه (واردات و صادرات) نفت خام و نفت خام پتروشیم ی	پایگاه داده تجارت کالایی سازمان ملل متحد (HS) با کد ۲۷۰۹۰ (۰)	https://comtrade.un.org/data/
بنادر نفتی	رصدخا نه 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*	محاسب ه‌گر فاصله	/https://www.distance.to

مأخذ: یافته‌های تحقیق

* کشورهای که مرز آبی ندارند، فاصله جغرافیایی بین آنها در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که شبکه بهینه تجارت در سطح منطقه‌ای، ۱۲ منطقه تجاری در نظر گرفته شده‌اند که به شرح جدول ۲ هستند. همچنین فاصله بین مناطق بر حسب فاصله دایره بزرگ^۱ محاسبه شوند که این کار به کمک طول و عرض جغرافیایی مناطق محاسبه می‌شود. در مطالعه

1 . Great Circle Distance

حاضر، محاسبه فاصله بین مناطق بر حسب دایره بزرگ به کمک نرم‌افزار متلب انجام شده است.

جدول ۲: منطقه‌های مورد بررسی در شبکه صادرات نفت خام

منبع	منطقه معیار برای سنجش طول و عرض جغرافیایی	تعداد کشورهای منطقه تجاری*	کشور/ منطقه تجاری
https://www.worldatlas.com/articles/top-10-oil-producing-countries-in-africa.html	گابن	۵	کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت
https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-africa	جمهوری آفریقای مرکزی	۴۱	سایر کشورهای آفریقا
https://www.worldatlas.com/articles/the-top-oil-producing-nations-in-europe.html	دریای شمالی	۲	کشورهای اروپایی صادرکننده عمده نفت
https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-europe	اروپا	۳۱	کشورهای اروپایی
-	روسیه	۱	روسیه
https://www.mapsofindia.com/neighbouring-countries-maps/india-china-map.html	گوآتی ^۱ ؛ شهری در شمال شرقی هند و هم‌مرز با چین	۲	چین و هند
https://www.worldometers.info/geography/7-continents/north-america	آمریکای شمالی	۲۰	آمریکای شمالی
https://www.worldometers.info/population/countries-in-south-america-by-population	آمریکای جنوبی	۱۳	آمریکای جنوبی
-	آمریکا	۱	آمریکا
https://www.worldatlas.com/articles/which-are-the-middle-eastern-countries.html	خاورمیانه	۱۶	خاورمیانه
https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-asia	اندونزی (کشوری در بین دو قاره)	۳۳	سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه

1 . Guwahati

کشورهای شوروی سابق به جز روسیه	۱۳	اورالسک ^۱ شهری در قزاقستان	https://worldpopulationreview.com/country-rankings/soviet-union-countries
---	----	--	---

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۱- بخش اول: تاب آوری در شبکه تجارت نفت خام

۴-۱-۱- ساختار شبکه

شاخص‌های مرکزیت^۲ 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^۳، مرکزیت بر اساس مشخصه همسایگان (مرکزیت بردار ویژه^۴، مرکزیت کتز^۵، مرکزیت رتبه صفحه^۶ و مرکزیت قطب و نفوذ^۷)، مرکزیت نزدیکی^۸ و مرکزیت میانگی^۹ هستند (نیومن، ۲۰۱۰، ۱۰).

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، ۲۰۱۰) 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 رتبه صفحه نسخه کامل‌تری از مرکزیت کتز را ارائه می‌کند (نیومن، ۲۰۱۰)؛ بنابراین می‌توان از شاخص رتبه صفحه در بررسی ویژگی‌های ساختاری شبکه واردات و صادرات نفت خام از نظر کشورها استفاده کرد.

- 1 . Uralsk
- 2 . Centrality Measures
- 3 . Degree Centrality
- 4 . Eigenvector Centrality
- 5 . Katz Centrality
- 6 . PageRank Centrality
- 7 . Hub and Authority Centrality
- 8 . Closeness Centrality
- 9 . Betweenness Centrality
- 10 . Newman

دو دسته دیگر شاخص‌های مرکزیت، یعنی مرکزیت نزدیکی و میانگی بر اساس کوتاه‌ترین فاصله بین دو رأس^۱ بنا شده‌اند و برای محاسبه آن‌ها در شبکه وزنی، وزن رؤس 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 رؤس یک شبکه است که ساده‌ترین مرکزیت در بین تمامی شاخص‌های مرکزیت است. در شبکه‌های جهت‌دار، مرکزیت درجه را می‌توان به سنج‌های مرکزیت درجه ورودی و درجه خروجی تفکیک کرد. مرکزیت درجه جنبه‌های کلی رؤس را در شبکه نادیده می‌گیرد. به عبارتی، یعنی تأثیر یک رأس را بر عملکرد کلی شبکه و ویژگی‌های رؤس همسایه بر یک رأس را در نظر نمی‌گیرد (نیومن، ۲۰۱۰). روابط ریاضی مرتبط با مرکزیت درجه، مرکزیت درجه ورودی و مرکزیت درجه خروجی در پیوست ۱ آمده است.

مرکزیت رتبه‌صفحه: با توجه به شاخص مرکزیت، مرکزیت یک رأس متناسب با مرکزیت رؤس 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. هنگامی که یک رأس مرکزی به رأسی با مرکزیت پایین وارد می‌شود، این امر باعث افزایش چشمگیر مرکزیت رأس دوم می‌گردد. با این حال، هنگامی که یک رأس مرکزی به رأس مرکزی دیگری وارد می‌شود، این امر تنها منجر به افزایش جزئی در شاخص مرکزیت آنها می‌شود (نیومن، ۲۰۱۰). پیوست ۱ 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 رؤس (کشورها) را در یک شبکه به تصویر

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۹۷ ♦

می‌کشند. در ادبیات تحقیق، شاخص‌های نفوذ و قطب به ترتیب در شبکه‌های واردات و صادرات در نظر گرفته می‌شوند.

۴-۱-۲- 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 (۳) آورده می‌شود.

جدول ۳: ویژگی‌های کلی شبکه تجارت نفت خام در سال ۲۰۱۸

شبکه حجم واردات		شبکه حجم صادرات	
تعداد رئوس	۱۷۸	تعداد رئوس	۱۷۸
تعداد یال‌ها	۱۴۳۱	تعداد یال‌ها	۱۴۳۱
قوی‌ترین رابطه تجاری بین ...	به میزان ...	قوی‌ترین رابطه تجاری بین ...	به میزان ...
کانادا و ایالات متحده آمریکا	۱۰ ^{۱۱} *۱.۹۹۹۲	کانادا و ایالات متحده آمریکا	۱۰ ^{۱۱} *۱.۳۱۷۱
روسیه و چین	۱۰ ^{۱۰} *۷.۱۴۹۴	ایران و تایوان	۱۰ ^{۱۰} *۷.۰۵۰۶
عربستان سعودی و چین	۱۰ ^{۱۰} *۵.۶۷۳۴	روسیه و چین	۱۰ ^{۱۰} *۶.۶۹۵۸
عربستان سعودی و ایالات متحده آمریکا	۱۰ ^{۱۰} *۴.۹۳۵۲	عربستان سعودی و چین	۱۰ ^{۱۰} *۵.۶۷۳۴
عراق و هند	۱۰ ^{۱۰} *۴.۷۸۳۸	عربستان سعودی و ایالات متحده آمریکا	۱۰ ^{۱۰} *۴.۹۳۵۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

* کشور اول، کشور مبدأ و کشور دوم، کشور مقصد تجاری هستند.
در سال ۲۰۱۸، 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 ۴

کشورهای برتر بر حسب شاخص‌های مرکزیت درجه ورودی، رتبه‌صفحه و نفوذ را در شبکه حجم واردات نفت خام نشان می‌دهد.

جدول ۴: شاخص‌های مرکزیت برای ۱۰ 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	۴۶۲	هلند	۰.۰۹۹	آمریکا	۰.۴۹۹
آمریکا	۴۲۹	بلژیک	۰.۰۶۷	چین	۰.۱۲۹
هند	۲۲۶	چین	۰.۰۶۲	هند	۰.۰۸۰
کره	۱۴۹	آمریکا	۰.۰۵۸	کره	۰.۰۵۷
آلمان	۸۶	ژاپن	۰.۰۵۳	اسپانیا	۰.۰۱۹
هلند	۶۹	سنگاپور	۰.۰۵۰	تایوان	۰.۰۱۷
اسپانیا	۶۸	هند	۰.۰۴۵	ایتالیا	۰.۰۱۷
ایتالیا	۶۴	تایلند	۰.۰۳۴	هلند	۰.۰۱۴
تایلند	۵۷	آلمان	۰.۰۳۳	آلمان	۰.۰۱۴
فرانسه	۵۴	فیلیپین	۰.۰۲۴	تایلند	۰.۰۱۳

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، پرتغال، 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 ۵ کشورهای برتر بر حسب نفت خام نشان می‌دهد.

جدول ۵: شاخص‌های مرکزیت برای ۱۰ 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	۳۰۰	چین	۰.۱۰۵	کانادا	۰.۱۶۶
روسیه	۲۶۵	سنگاپور	۰.۰۷۰	عربستان	۰.۱۵۷
عراق	۱۹۰	ژاپن	۰.۰۵۷	عراق	۰.۱۱۲
کانادا	۱۳۸	آمریکا	۰.۰۵۳	روسیه	۰.۰۸۱
ایران	۱۲۶	هلند	۰.۰۴۳	ویتنام	۰.۰۵۶
آمریکا	۱۱۹	هند	۰.۰۳۷	مکزیک	۰.۰۵۰
کویت	۹۵	تایلند	۰.۰۳۷	کویت	۰.۰۴۳
نیجریه	۸۹	کره	۰.۰۳۶	برزیل	۰.۰۳۸
قزاقستان	۷۵	اسپانیا	۰.۰۳۵	ایران	۰.۰۳۱
امارات	۶۵	مالزی	۰.۰۲۴	عمان	۰.۰۳۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

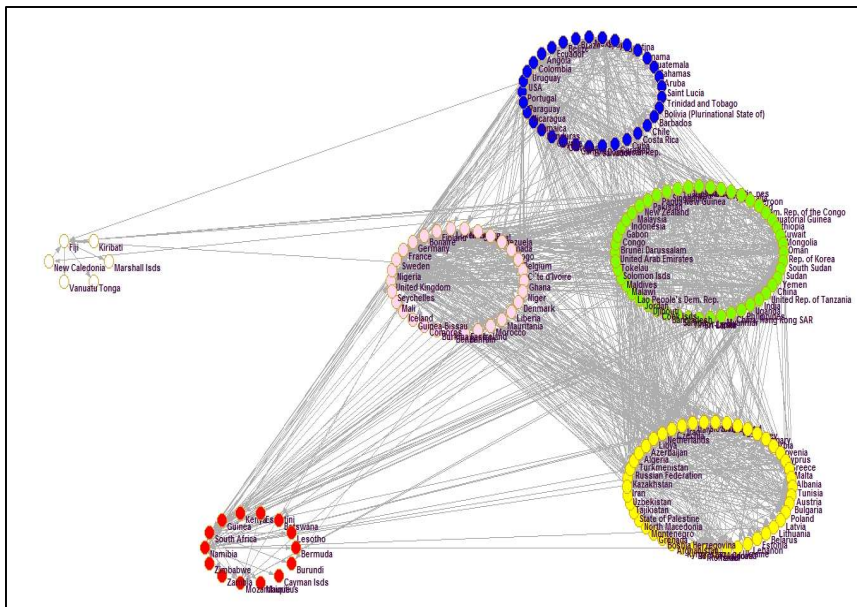
همان‌طور که مشاهده می‌شود، بر اساس شاخص مرکزیت درجه خروجی، عربستان سعودی، روسیه و عراق بیشترین حجم صادراتی را داشته‌اند. این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده قدرت این کشورها در صادرات نفت خام باشد. همچنین، مشاهده می‌شود که چین، سنگاپور و ژاپن بیشترین میزان شاخص رتبه‌صفحه را دارند. این بدین معناست که این کشورها 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 (۷) اجتماعات در شبکه صادرات نفت خام مشخص شده است. اجتماع‌یابی^۱ شبکه را به چند اجتماع تقسیم می‌کند، به گونه‌ای که روابط درون جامعه‌ای حداکثر و روابط بین جامعه‌ای حداقل می‌شود (رونهود و نوسینوف،^۲ ۲۰۰۹)؛ به عبارت دیگر، رئوس درون یک جامعه به طور متراکم^۳ و رئوس بین جوامع به طور پراکنده^۴ به هم متصل هستند (بلاندل^۵ و همکاران، ۲۰۰۸). روش‌های متفاوتی برای اجتماع‌یابی ارائه شده است: الگوریتم‌های تقسیم‌کننده،^۶ الگوریتم‌های جمع‌بندی^۷ و روش‌های بهینه‌یابی^۸ که روش بهینه‌یابی، بر اساس حداکثر کردن تابع هدف است (ریچارد و بورنهودل،^۹ ۲۰۰۶؛ بلاندل و همکاران، ۲۰۰۸). در اجتماع‌یابی به روش لوین^{۱۰} که یک روش بهینه‌یابی است، اتصالات درون اجتماعی حداکثر و اتصالات بین جوامع حداقل می‌شود (روبینو و اسپورنز، ۲۰۱۰). در شکل (۷)، اجتماعات به این روش پیدا شده‌اند.

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

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۱۰۱



شکل ۷: اجتماعات در شبکه تجارت صادرات نفت خام

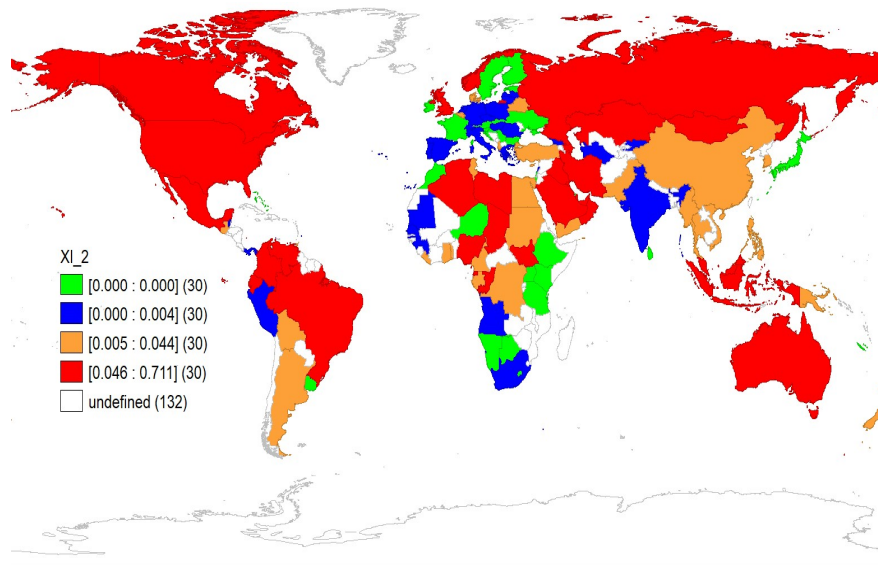
۲-۴- تعیین پایداری در شبکه تجارت نفت

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 ۶ ده کشور با کمترین و بیشترین میزان شاخص پایداری در صادرات نفت خام (XI_i) را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۸) وضعیت شاخص در کشورهای مختلف جهان مشخص شده است.

جدول ۶: کشورهای با بیشترین و کمترین پایداری در شبکه صادرات نفت خام

کشور با بیشترین پایداری	مقدار شاخص XI_i	کشور با کمترین پایداری	مقدار شاخص XI_i
لسوتو و سریلانکا	$1.0E-1.54181$	عربستان	۰.۷۰
باهاماس	$1.0E-1.54181$	ونزوئلا	۰.۴۹
اروگوئه	$1.0E-3.08362$	عراق	۰.۴۹
اتیوپی	$1.0E-6.93813$	کویت	۰.۴۶
نیجر	$0.8E-2.25104$	کانادا	۰.۴۴
کالدونیای جدید	$0.8E-2.79838$	روسیه	۰.۴۰
لوکزامبورگ	$0.8E-9.77506$	ایران	۰.۳۹

۰.۲۸	عمان	۰۷E-۱.۳۴۳۴۳	سوازیلند
۰.۲۶	مکزیک	۰۷E-۱.۶۳۴۳۲	اتریش
۰.۲۰	برزیل	۰۷E-۱.۷۵۴۱۹	ژاپن



شکل ۸: پایداری کشورها در شبکه صادرات نفت خام

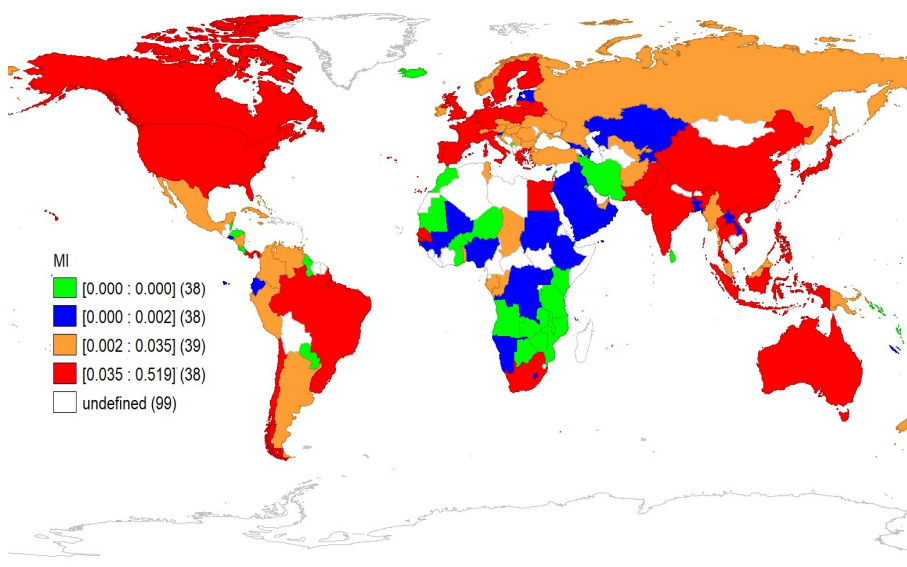
همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شبکه صادرات نفت خام، کشورهای عمده صادرکننده نفت از جمله عربستان سعودی، ونزوئلا، عراق، کویت، ایران، عمان و روسیه در زمره کشورهای با کمترین پایداری در شبکه تجارت نفت قرار گرفته‌اند. این کشورها از جمله کشورهای عمده صادرکننده نفت هستند. از آنجایی که سهم صادرات آنها بر سهم پیوندهای 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 ۷، کشورهایی با کمترین و بیشترین میزان پایداری در شبکه وارداتی بر حسب شاخص MI_i را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۹) وضعیت شاخص پایداری واردکننده‌ها در بین کشورهای جهان مشخص شده است.

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۱۰۳

جدول ۷: کشورهای با بیشترین و کمترین پایداری در شبکه واردات نفت خام

کشور با بیشترین پایداری	مقدار شاخص MI_i	کشور با کمترین پایداری	مقدار شاخص MI_i
غنا	$1.0E-2.24974$	چین	۰.۵۲۰
سريلانكا	$1.0E-5.62435$	بلاروس	۰.۵۱۳
مراکش	$1.0E-8.43652$	آمریکا	۰.۴۴۷
گرنادا، ایران، موريس	$0.9E-2.13725$	هند	۰.۲۷۰
سیشل	$0.9E-2.41847$	تایوان	۰.۱۷۰
بروندي	$0.9E-5.28689$	کره	۰.۱۶۷
ایسلند	$0.9E-5.91963$	آلمان	۰.۱۲۵
گامبیا	$0.9E-9.56139$	کانادا	۰.۱۱۱
مالدیو	$0.9E-9.56139$	اسپانیا	۰.۱۰۳
کنیا	$0.8E-1.06863$	ایتالیا	۰.۱۰۳



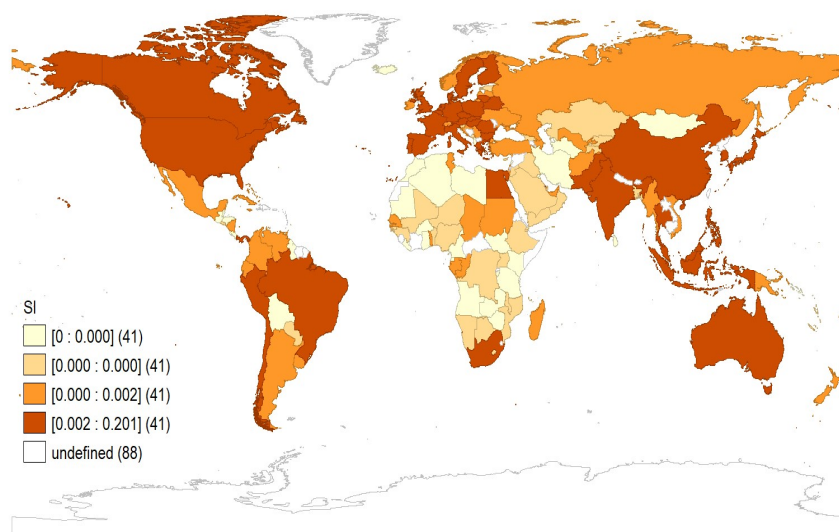
شکل ۹: پایداری کشورها در شبکه واردات نفت خام

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

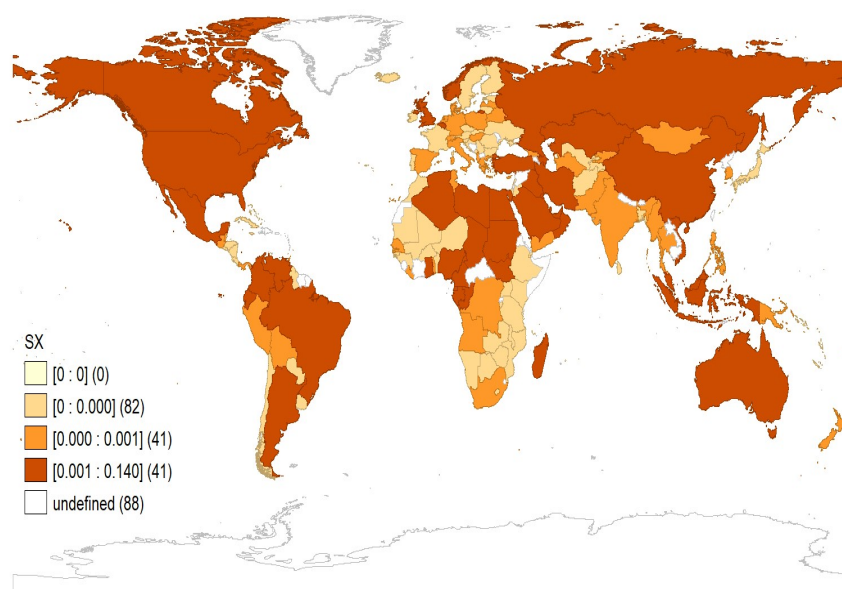
و نیمه پایدار قرار دارند؛ اما در شبکه وارداتی، در وضعیت نیمه ناپایدار و ناپایدار قرار گرفته‌اند. این در حالی است که برخی کشورها از جمله کشورهای آمریکا، کانادا و برزیل در هر دو شبکه در وضعیت ناپایداری قرار دارند. این کشورها در زمره کشورهای عمده واردکننده نفت قرار دارند. سهم واردات این کشورها از کل واردات 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.

۴-۳- تعیین سهم مؤثر

در شکل (۱۰) 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.

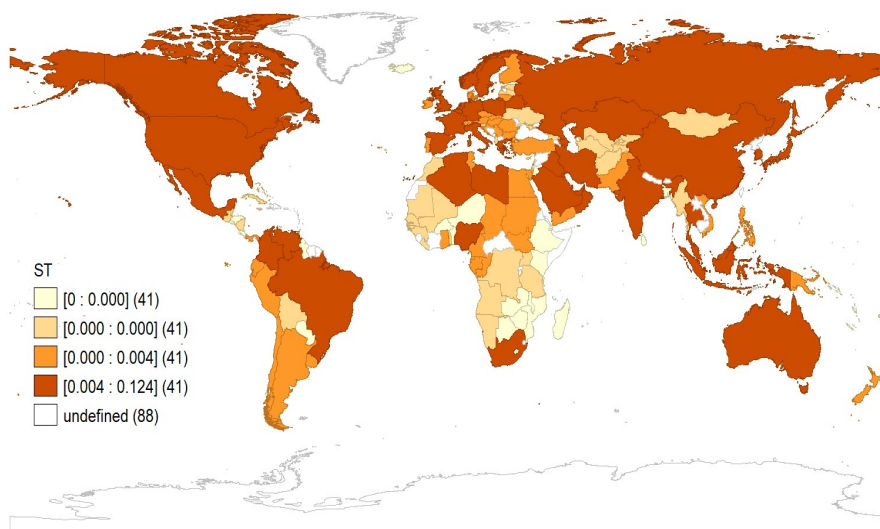


شکل ۱۰: سهم وارداتی کشورها از واردات نفت خام کل دنیا



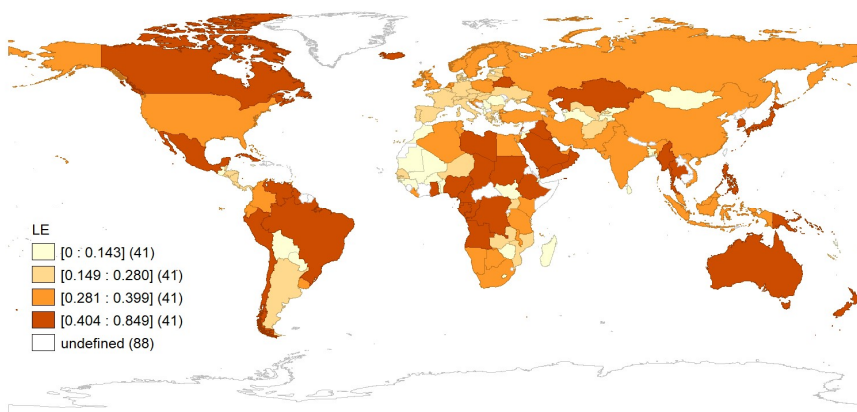
شکل ۱۱: سهم صادراتی کشورها از صادرات نفت خام انجام شده در جهان

در شکل (۱۱) سهم صادراتی کشورها در شبکه تجارت نفت مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کشورهای حوزه مناطق اصلی ترانزیت نفتی،^۱ عمده مناطق با سهم صادراتی بالا هستند. به عبارتی، کشورهای حوزه تنگه هرمز از جمله ایران، عراق، قطر، کویت، عمان، امارات متحده عربی، عربستان سعودی، کشورهای حوزه تنگه باب المندب مانند مصر و سودان و کشورهای حوزه تنگه مالاکا از جمله 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، ۲۰۲۰)، در زمره کشورهای با سهم صادراتی بالا قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۲: سهم تجارت کل کشورها از مجموع صادرات و واردات نفت خام جهان

در شکل (۱۲) 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.



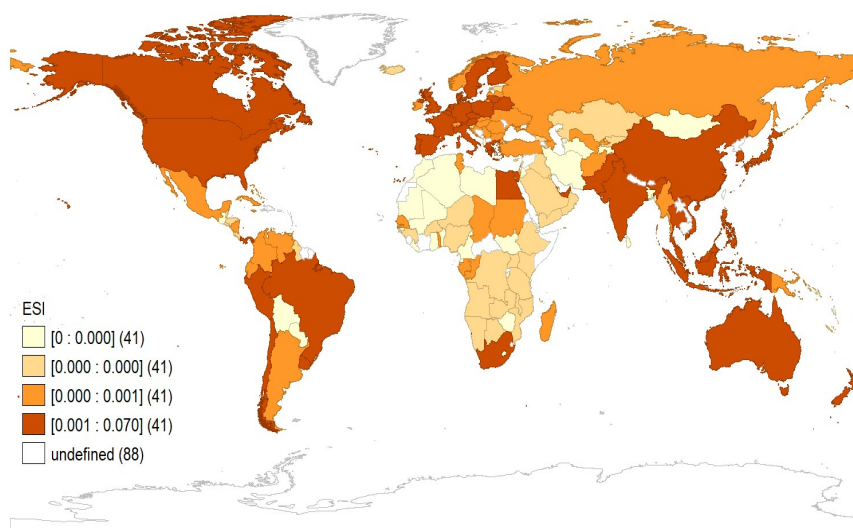
شکل ۱۳: کارایی محلی کشورها در شبکه تجارت نفت خام

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۱۰۷ ♦

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 صورتی که 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 زیر شبکه‌ای 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 ۸۵ درصد و کارایی محلی کشور عربستان حدود ۴۰ درصد است که کارایی محلی بالایی تلقی نمی‌شود.

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

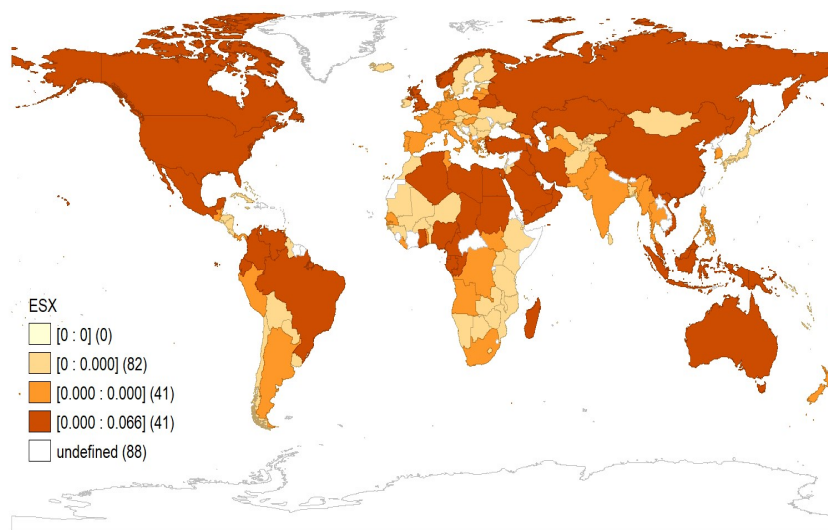
تعیین سهم مؤثر در واردات نفت خام: سهم مؤثر کشورها در شبکه واردات از کارایی محلی کشورها و سهم وارداتی آن‌ها به دست می‌آید که در جدول پیوست نحوه محاسبه آن ذکر شده است. شکل ۱۴، سهم مؤثر کشورها در شبکه وارداتی را بر نقشه جهان نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: 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 از جمله 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 ۱۵، سهم مؤثر کشورها در شبکه صادراتی را بر نقشه جهان نشان می‌دهد.



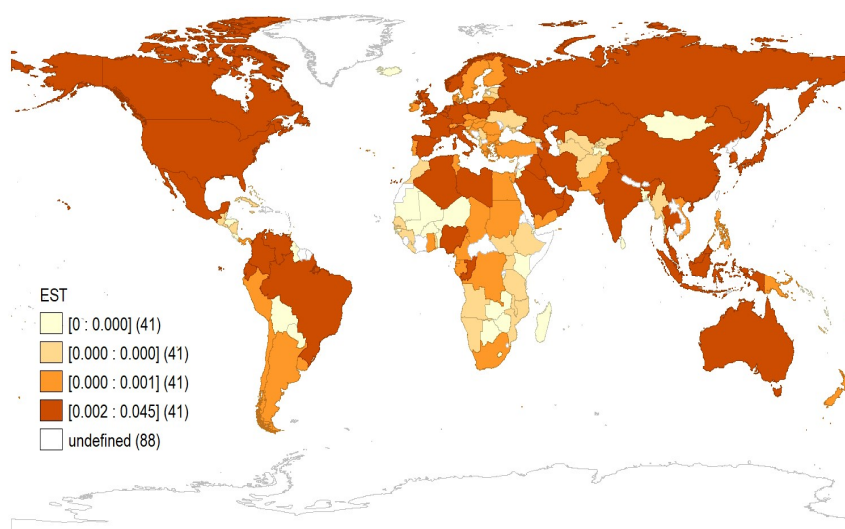
شکل ۱۵: سهم مؤثر کشورها در شبکه صادرات نفت خام

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

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۱۰۹

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 ۱۶، سهم مؤثر کشورها در شبکه تجارت کل را بر نقشه جهان نشان می‌دهد.



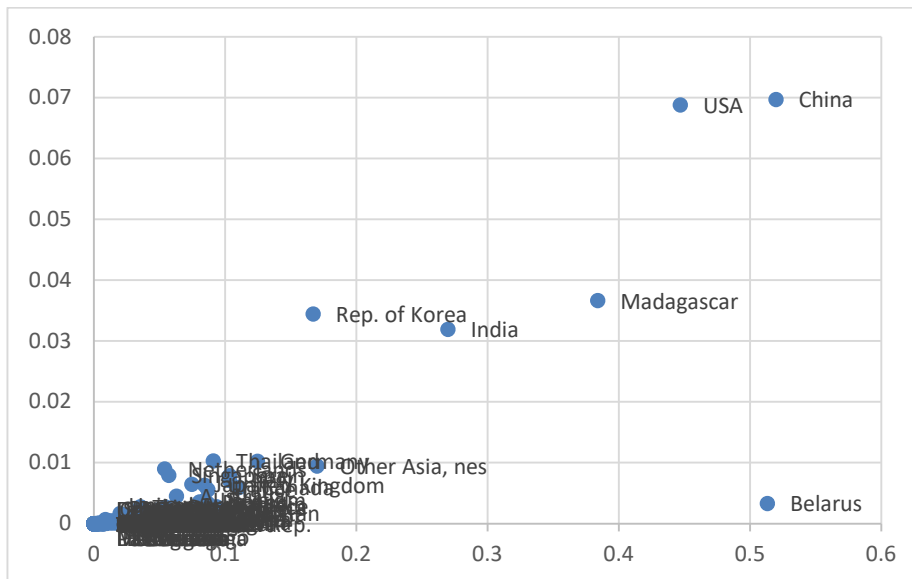
شکل ۱۶: سهم مؤثر کشورها در شبکه تجارت کل (مجموع صادرات و واردات) نفت خام

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.

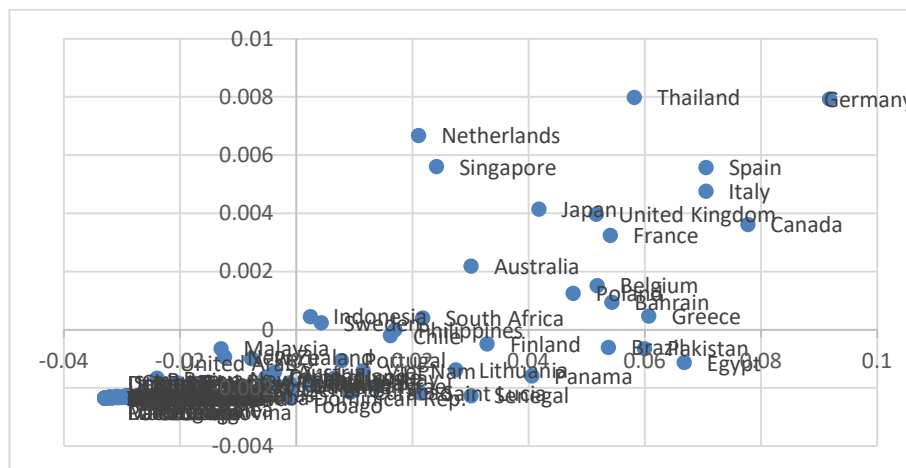
۴-۴- بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در واردات، صادرات و کل تجارت

بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در واردات: همان‌طور که شکل‌های (۱۷) و (۱۸) و جدول ۷ 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 ۱۷: طیف‌بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در واردات نفت خام (الف)



شکل ۱۸: طیف‌بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در واردات نفت خام (ب)

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۱۱۱ ♦

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.

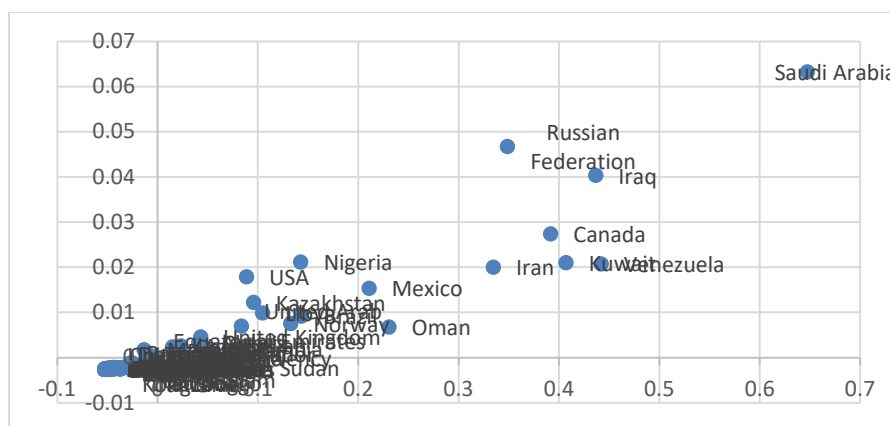
گروه بعدی کشورها که فهرست آنها به طور کامل در جدول ۷ ارائه شده است، کشورهایی هستند که ناپایداری و سهم مؤثر کمی در شبکه تجارت دارند. از این رو نه تنها آسیبی برای خود آنها به صورت جدی قابل تصور نیست بلکه نقش و اثر مهمی در شبکه هم نمی‌توانند داشته باشند.

جدول ۷: طیف واردات

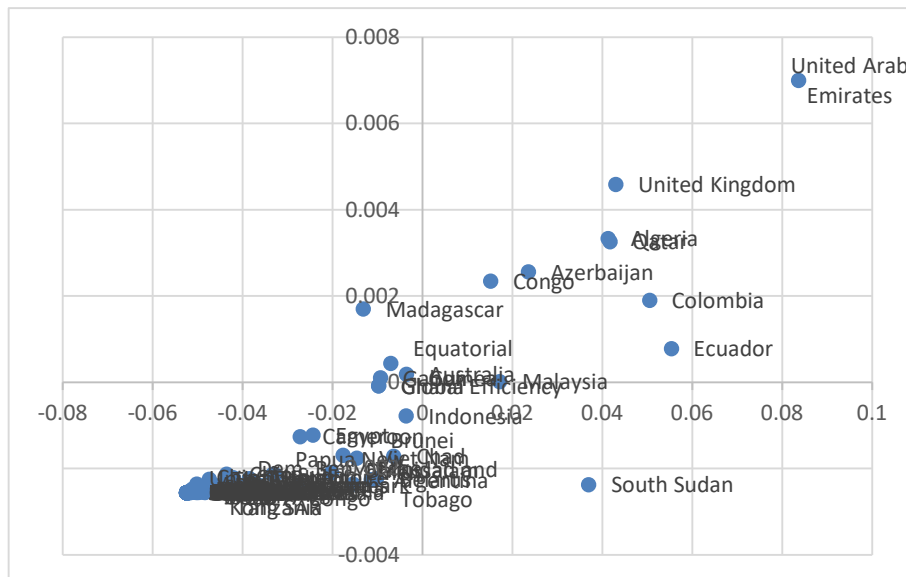
عدم پایداری			
کم	زیاد		
-	چین، بلاروس، آمریکا، هند، تایوان، جمهوری کره، آلمان، کانادا، اسپانیا، ایتالیا، یونان، تایلند، فرانسه، بلژیک، بریتانیا، لهستان، ژاپن، استرالیا، سنگاپور، آفریقای جنوبی، هلند، فیلیپین، سوئد، اندونزی	زیاد	سهم مؤثر
جمهوری دومینیکن، بلغارستان، اسلواکی، ترکیه، اتریش، رومانی، جمهوری چک، ساحل عاج، ترینیداد و توباگو، پرو، سوئیس، اروپا، نیوزلند، مالزی، باهاما، ایرلند، نروژ، صربستان، کرواسی، نیکاراگوئه، پاپوا گینه نو، امارات متحده عربی، جامائیکا، 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، اسلوانی، استونی، قبرس، قزاقستان، مالی، گرجستان، عراق، لاوس، قرقیزستان، نیجریه، جمهوری خلق کنگو، کشور فلسطین، عربستان سعودی، گینه بیسائو، بنین، کالدونیای	مصر، پاکستان، برزیل، پاناما، فنلاند، سنگال، لیتوانی، سنت لوسیا، شیلی، اسرائیل، ویتنام، کوراسائو، پرتغال، اروگوئه، دانمارک، مجارستان	کم	

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، مونتسنگرو، 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، برونئی، سیشل، ایران، گرانادا، موریس، مراکش سریلانکا، غنا			
---	--	--	--

بررسی همزمان ناپایداری و نقش مؤثر در صادرات: همان‌طور که در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ و جدول ۱۱ 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 ۱۹: طیف‌بندی کشورها بر اساس سهم مؤثر و ناپایداری در صادرات نفت (الف)



شکل ۲۰: طیف‌بندی 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 (۱۱) 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 نمی‌تواند داشته باشند.

جدول ۱۱: طیف صادرات

عدم پایداری			
کم	زیاد		
ماداگاسکار، گینه استوایی، استرالیا و گابن	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	زیاد	سهم مؤثر
غنا، اندونزی، مصر، کامرون، برونئی دارالسلام، چاد، ویتنام، یمن، چین، پاپوا 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، لیبیا، مالتا، میانمار، لهستان، آلبانی، قبرس، آلمان، یونان، سنگاپور، مجارستان، گواتمالا، سوئیس، هنگ کنگ، 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	سودان جنوبی	کم	

۴-۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای سیاستی تحلیل تاب‌آوری

نفت را به عنوان یک منبع استراتژیک می‌توان خون در رگ‌های جوامع مدرن دانست (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). این در حالی است که کشورهای صادرکننده نفت عموماً دارای بی‌ثباتی سیاسی هستند (کیتامورا و ماناگی، ۲۰۱۷)؛ بنابراین، تاب‌آوری عرضه انرژی به دغدغه کشورهای واردکننده نفت تبدیل شده است. از آنجایی که 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 ۱۷۸ کشور تعیین شد و بر اساس شاخص‌های ساختاری شبکه از جمله 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، کشورهای پایینی 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،

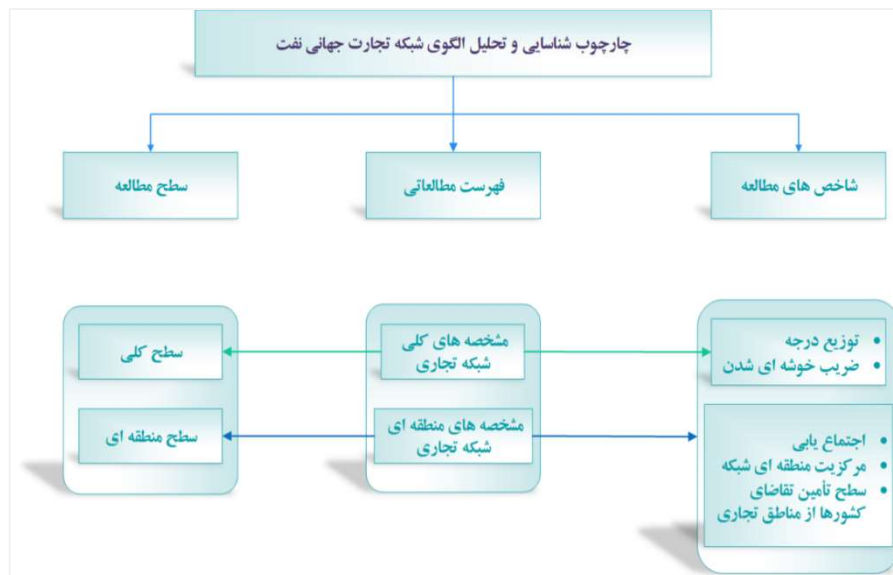
لیبی، برزیل، نروژ، امارات متحده عربی، عمان، بریتانیا، الجزایر، قطر، آذربایجان، جمهوری کنگو، کلمبیا، اکوادور و مالزی نه تنها پایداری پایینی دارند بلکه سهم مؤثر بالایی در شبکه صادرات نفت خام دارا هستند.

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.

۴-۶- 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 ۲۱ است.



شکل ۲۱: شمای کلی شناسایی و تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت

در این قسمت به پیروی از مطالعه جی و همکاران (۲۰۱۴)، 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 (۲۰۱۴) 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 ۲۰۱۸ به شرح جدول (۵-۸) است.

جدول ۱۱: بیشترین و کمترین شدت صادرات بین کشورها بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۸ در تجارت نفت خام

روابط تجاری با شدت پایین			روابط تجاری با شدت بالا		
شدت رابطه	کشور واردکننده	کشور صادرکننده	شدت رابطه	کشور واردکننده	کشور صادرکننده
-۱۰E۷.۹۲	جمهوری کره	برزیل	۴۲۴۷۴۰۶۴۷.۶	توکلائو	ساموآ
-۰.۸E۱.۲۹	تایلند	ایران	۸۰۵۰۹۲۵۴.۷۵	سیشل	بریتانیا
-۰.۸E۱.۳۴	اسپانیا	امارات متحده عربی	۳۱۵۱۹۳۴۲.۲۶	موزامبیک	اسواتینی
-۰.۸E۱.۳۹	هلند	کنگو	۳۰۶۸۱۵۵۳.۰۴	کریباتی	فیجی
-۰.۸E۱.۴۵	صربستان	لیبی	۳۰۶۸۱۵۵۳.۰۴	جزایر مارشال	فیجی

۰۰۸E۱.۶۰	آلمان	برونئی دارالسلام	۳۰۶۸۱۵۵۳.۰۴	وانواتو	فیجی
۰۰۸E۲.۲۴	ایالات متحده آمریکا	امارات متحده عربی	۳۰۶۸۱۵۵۳.۰۴	تونگا	فیجی
۰۰۸E۲.۵۹	اسپانیا	اکوادور	۲۸۸۴۱۱۳۰.۷۳	اوگاندا	کنیا
۰۰۸E۲.۸۴	سنگاپور	نروژ	۴۱۰۰۸۵۰.۴۳۵	ایسلند	سوئد
۰۰۸E۴.۸۱	بلژیک	ایالات متحده آمریکا	۳۸۳۴۹۹۲.۱۲۴	مونتسنگرو	صربستان

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

در تبیین مشخصه‌های کلی شبکه تجارت نفت خام به پیروی از مطالعه جی و همکاران (۲۰۱۴)، 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 خلاصه درجه 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 (۵-۹) 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.

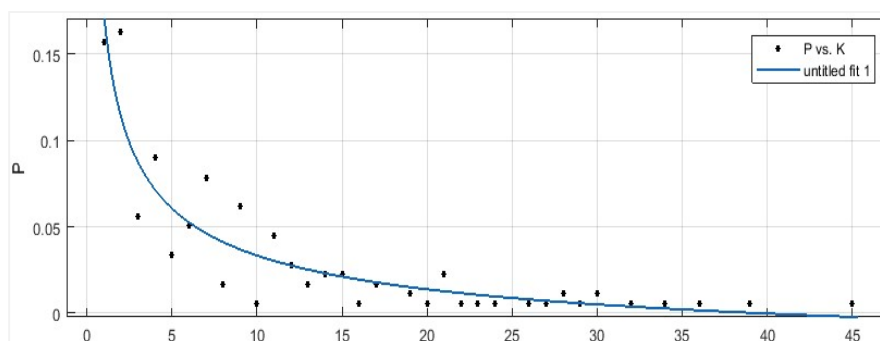
جدول ۱۲: کشورهای صادرکننده نفت خام با بیشترین درجه ورودی و درجه خروجی

بیشترین درجه ورودی		بیشترین درجه خروجی	
کشور	درجه ورودی	کشور	درجه خروجی
هلند	۲۸	ایالات متحده آمریکا	۳۱
چین	۲۴	روسیه	۲۹
مالزی	۲۴	قزاقستان	۲۵
سنگاپور	۲۲	امارات متحده عربی	۲۱
ایتالیا	۲۰	آذربایجان	۱۹
هند	۱۸	نیجریه	۱۹
اسپانیا	۱۸	الجزیره	۱۵
فرانسه	۱۶	چین	۱۵
جمهوری کره	۱۵	بریتانیا	۱۵
استرالیا	۱۴	لیبی	۱۴

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 ۲۲، توزیع درجه شبکه صادرات نفت خام را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲: توزیع درجه در شبکه صادرات نفت خام

منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۲۲ 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 ۱۳، کشورها را بیشترین و کمترین ضریب خوشه‌ای شدن (بزرگ‌تر از صفر) در شبکه صادرات نفت خام را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳: 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	۱.۰۰	گینه	۰.۰۸
گویانا	۱.۰۰	ایالات متحده آمریکا	۰.۱۳
میانمار	۰.۷۹	سنگال	۰.۱۴
باهاماس	۰.۷۵	صربستان	۰.۱۵
بلاروس	۰.۷۵	چین	۰.۱۵
لائوس	۰.۷۵	توگو	۰.۱۵
پاپوا گینه نو	۰.۷۵	هلند	۰.۱۵
لوکزامبورگ	۰.۷۴	مراکش	۰.۱۷
برونئی دارالسلام	۰.۶۸	هند	۰.۱۷
بحرین	۰.۶۷	روسیه	۰.۱۷

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 ۰.۲۲ است که باز هم به این معنی است که ایران نیز روابط تجاری نزدیک با همسایگان تجاری خود ندارد.

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۱۲۱

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 (۲۰۱۴)، شبکه تجاری به ۱۲ منطقه مهم تفکیک و سپس تحلیل این بخش بر حسب این ۱۲ منطقه انجام شده است.

ساختار جوامع منعکس‌کننده ویژگی‌های ساختار منطقه‌ای آن است. کشورها/مناطق متعلق به یک جامعه، یک شبکه منطقه‌ای با روابط تجاری بسیار نزدیک تشکیل می‌دهند و وابستگی‌های تجاری قوی بین آنها وجود دارد. نتایج حاصل از تحقیق مبین آن است که در بررسی تجارت منطقه‌ای، به طور کلی سه جامعه شبکه تجارت نفت خام شناسایی می‌شود که به شرح جدول ۱۴ است. همان‌طور که جدول ۱۴ نشان می‌دهد بعد فاصله، هزینه‌های تجاری و ... نیز در ساختار جوامع به دست آمده قابل مشاهده است.

جدول ۱۴: ساختار جوامع در تجارت منطقه‌ای

کشور / منطقه تجاری در جامعه (۱)	کشور / منطقه تجاری در جامعه (۲)	کشور / منطقه تجاری در جامعه (۳)
بلوک تجاری مرکز و شرق دنیا	بلوک تجاری میانه دنیا	بلوک تجاری غرب دنیا
چین و هند	کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت	آمریکای شمالی
	سایر کشورهای 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 ۰.۲۵ 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 ۰.۴۸ و غرب جهان معادل صفر است.

این موضوع مبین آن است که کشورها و مناطق حاضر در بلوک مرکز و شرق جهان با یکدیگر 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 ۰.۲۴، میانه جهان معادل ۰.۱۳، غرب جهان معادل ۰.۲۱ و کل شبکه منطقه‌ای معادل ۰.۰۲۵ 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.

تحلیل شبکه صادرات و واردات نفت خام: تاب‌آوری و پایداری ۱۲۳ ♦

معیار دیگری که می‌توان به کمک آن توانایی یک منطقه تجاری برای پاسخگویی به نیازهای کشورهای متعلق به آن منطقه و در نتیجه تأثیر آن بر پایداری تجاری این کشورها ارزیابی کرد؛ شاخصی از توزیع نسبی درجه است. از آنجایی که یک بلوک تجاری تضمینی قوی برای ثبات کشورهای در بلوک تجاری است؛ اگر توانایی بلوک تجاری برای پاسخگویی به تقاضای کشورها بالا باشد، بلوک تجاری توانایی قوی برای تثبیت تجارت کشورهای واردکننده نفت در بلوک تجاری دارد و باعث می‌شود که کشورهای واردکننده نفت کمتر تحت تأثیر تکانه‌های عرضه نفت توسط سایر بلوک‌های تجاری قرار گیرند. نتایج حاصل از تحلیل این موضوع به شرح جدول (۵) - (۱۲) است.

جدول ۱۵: 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
۷۰ کشور	۱۰۰٪	بلوک میانی (۳۷) بلوک مرکزی و شرقی (۲۲) بلوک غربی (۱۱)	گینه	۸.۷۴-۰.۷E	بلوک میانی
فیجی	۹۹.۹۹٪	بلوک مرکزی و شرقی	اتیوپی	۰.۰۴٪	بلوک میانی
روسیه	۹۹.۹۹٪	بلوک میانی	هندوراس	۲.۴۴٪	بلوک غربی
پاناما	۹۹.۹۸٪	بلوک مرکزی و شرقی	بلیز	۳.۲۹٪	بلوک غربی
لائوس	۹۹.۹۶٪	بلوک غربی	استونی	۱۱.۵۶٪	بلوک میانی
پاراگوئه	۹۹.۴۷٪	بلوک غربی	اوگاندا	۱۱.۹۹٪	بلوک میانی
عمان	۹۹.۴۲٪	بلوک مرکزی و شرقی	برزیل	۱۳.۳۳٪	بلوک غربی
اسلواکی	۹۸.۹۶٪	بلوک میانی	گیبرالتار	۱۳.۸۵٪	بلوک میانی
چک	۹۸.۶۸٪	بلوک میانی	کنیا	۱۹.۵۶٪	بلوک میانی
بلژیک	۹۸.۱۴٪	بلوک میانی	آرژانتین	۲۵.۸۷٪	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^۱، عمده کشورهای واردکننده نفت خام به ترتیب کشورهای چین، آمریکا، هند، کره جنوبی و ژاپن هستند. بر اساس شاخص محاسبه شده، ۴۷.۱ درصد از تقاضای چین توسط بلوک تجاری مرکزی و شرق دنیا تأمین می‌شود؛ این میزان برای آمریکا معادل ۶۹.۸ 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 ۶۸.۷ درصد، ۷۶.۵ درصد و ۵۱.۶ 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 کره جنوبی است که حدود ۲۴ درصد از نیازش توسط بلوک تجاری مرکزی و شرق دنیا تأمین نمی‌شود.

۴-۷- 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 ۱۲ 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

1 . The Observatory of Economic Complexity (OEC)

نشانی این پایگاه www.oec.world است.

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 ۷۵ 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 ۱: روابط ریاضی مربوط به تحلیل تاب‌آوری

جدول پیوست ۱: روابط ریاضی به کار رفته در تحلیل تاب‌آوری

منبع	تفسیر متغیرها	رابطه ریاضی	سنجه
نیومن (۲۰۱۰)	k_i^{in} : درجه ورودی رأس i a_{ij} : درایه ماتریس الحاقی	$k_i^{in} = \sum_{j=1}^N a_{ij}$	مرکزیت درجه ورودی
نیومن (۲۰۱۰)	k_i^{out} : درجه خروجی رأس i a_{ji} : درایه ماتریس الحاقی	$k_i^{out} = \sum_{j=1}^N a_{ji}$	مرکزیت درجه خروجی
نیومن (۲۰۱۰)	x_i : شاخص مرکزیت رتبه‌صفحه رأس i α : پارامتر ثابت در مؤلفه درون‌زای شاخص رتبه‌صفحه که مبین ویژگی‌های توپولوژیکی است a_{ij} : درایه ماتریس الحاقی k_j^{out} : درجه خروجی رأس j β : پارامتر ثابت، مؤلفه برون-زای شاخص رتبه‌صفحه	$x_i = \alpha \sum_j a_{ij} \frac{x_j}{k_j^{out}} + \beta$	مرکزیت رتبه‌صفحه
وجه تمایز مطالعه حاضر	XSI_i : شاخص پایداری سمت صادرات کشور i Q_i^{out} : حجم صادرات کشور i Q^{out} : کل صادرات در جهان $k_{i \rightarrow M}^{out}$: تعداد شرکای تجاری کشور i k_M : کل کشورهای واردکننده در شبکه صادرات نفت خام	$XSI_i = \frac{Q_i^{out} / Q^{out}}{k_{i \rightarrow M}^{out} / k_M}$	شاخص پایداری سمت صادرات
وجه تمایز مطالعه حاضر	MSI_i : شاخص پایداری سمت واردات کشور i Q_i^{in} : حجم واردات کشور i Q^{in} : کل واردات در جهان $k_{i \rightarrow X}^{in}$: تعداد شرکای تجاری کشور i k_X : کل کشورهای صادرکننده در شبکه واردات نفت خام	$MSI_i = \frac{Q_i^{in} / Q^{in}}{k_{i \rightarrow X}^{in} / k_X}$	شاخص پایداری سمت واردات
رابطه بدیهی	MS_i : سهم وارداتی کشور i Q_i^{in} : حجم واردات کشور i Q^{in} : کل واردات در جهان	$MS_i = Q_i^{in} / Q^{in}$	سهم واردات
رابطه بدیهی	XSI_i : سهم صادراتی کشور i Q_i^{out} : حجم صادرات کشور i Q^{out} : کل صادرات در جهان	$XSI_i = Q_i^{out} / Q^{out}$	سهم صادرات

رابطه بدیهی	TTS_i : سهم تجاری کشور i T_i : حجم تجارت کشور i T : کل تجارت نفت خام در جهان	$TTS_i = \frac{T_i}{T} = \frac{Q_i^{out} + Q_i^{in}}{Q^{out} + Q^{in}}$	سهم تجارت کل
لاتورا و مارچیوری (۲۰۰۱)	LE_i : کارایی محلی کشور i N : تعداد رئوس (کشورها) در شبکه a_{ij} : درایه ماتریس الحاقی N_i : تعداد همسایگان رأس i (کشور) k_i^{in} : درجه ورودی رأس i k_i^{out} : درجه خروجی رأس i $\vec{d}_{jh}$: فاصله بین رئوس j و h	$LE_i = \frac{1}{2N} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j,h \in N, j \neq i} (a_{ij} + a_{ji})(a_{ih} + a_{hi}) ([\vec{d}_{jh}(N_i)]^{-1} + [\vec{d}_{hj}(N_i)]^{-1})}{(k_i^{in} + k_i^{out})(k_i^{in} + k_i^{out} - 1) - 2 \sum_{j \in N} a_{ij} a_{ji}}$	کارایی محلی
وجه تمایز مطالعه حاضر	LE_i : کارایی محلی کشور i M_i : واردات کشور i M : کل واردات نفت خام	$LE_i * \frac{M_i}{M}$	سهم مؤثر سمت واردات
وجه تمایز مطالعه حاضر	LE_i : کارایی محلی کشور i X_i : صادرات کشور i X : کل صادرات نفت خام	$LE_i * \frac{X_i}{X}$	سهم مؤثر سمت صادرات
وجه تمایز مطالعه حاضر	LE_i : کارایی محلی کشور i T_i : تجارت کل کشور i T : کل تجارت نفت خام	$LE_i * \frac{T_i}{T}$	سهم مؤثر در شبکه تجارت کل

منبع: یافته‌های تحقیق

فصل پنجم

الگوهای بهینه‌یابی شبکه تجارت نفت

۵- الگوهای بهینه‌یابی شبکه تجارت نفت

روش‌های یافتن شبکه بهینه، حول محور مفهوم درخت‌های پوشای کمینه^۱ در نظریه شبکه است. در ادبیات تحقیق شبکه بهینه تجارت، دو الگوریتم بر اساس الگوی بهینه‌یابی و روش تبرید شبیه‌سازی شده^۲ و همچنین الگوی برنامه‌نویسی پویای اصلاح شده^۳ و الگوریتم تکراری^۴ 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 اصلاح شده و الگوریتم تکراری، شبکه تجارت بهینه نفت را استخراج می‌کنیم. در ادامه هر کدام از این روش‌ها به تفصیل توضیح داده می‌شوند.

۵-۱ الگوی پایه: الگوریتم درخت پوشای کمینه

طیف وسیعی از ساختارهای شبکه و روابط متقابل بین اجزای آن‌ها به کمک شبکه‌های تصادفی مقیاس آزاد^۵ 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 (۲۰۲۰) در توصیف مفهوم افزونگی^۶ 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 تکان‌ها و اختلالات نقش مهمی ایفا می‌کند (خرازی و همکاران، ۲۰۱۶). به عنوان مثال، با انتخاب از بین رئوس مختلف و در نتیجه حرکت به سمت تأمین‌کنندگان قوی‌تر می‌توان انعطاف‌پذیری در برابر تکان‌ها، یک شبکه تجاری پیچیده را کسب کرد. مفهوم دیگر در زمینه انعطاف‌پذیری شبکه‌ها، مفهوم ماژولاریتی^۷ است که میزان تقسیم‌شدن رئوس به جوامع یا خوشه‌های جداگانه را اندازه‌گیری می‌کند. بلوک‌های تجاری اقتصادی می‌توانند

1 . Minimum Spanning Tree
2 . Simulated Annealing Method
3 . Improved Dynamic Programming Model
4 . Iterative Algorithm
5 . Scale Free Random Networks
6 . Redundancy
7 . Modularity

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 این گونه شبکه‌ها است (خرازی و همکاران، ۲۰۲۰).

همان‌طور که اشاره شد، افزونگی به تکرار مسیرها، عملکردها یا اجزایی اشاره دارد که توانایی تحمل خطای دستگاه را افزایش می‌دهد. هنگامی که 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^۱ 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، ۲۰۲۰).

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 (۲۰۱۷) نشان داده‌اند که بخش‌های اقتصادی با افزونگی بالاتر بهتر می‌توانند در برابر تکانه‌های اقتصادی مقاومت کنند و از پس آن‌ها برآیند (خرازی و همکاران، ۲۰۲۰)؛ 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، ۲۰۰۳).^۱

یک رویکرد متفاوت در زمینه انعطاف‌پذیری شبکه‌ها این است که بررسی شود چگونه می‌توان یک مؤلفه متصل^۲ از شبکه‌ای را به گراف 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، ۲۰۰۳). 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، ۲۰۰۸).^۳

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، ۲۰۰۳)؛ به عبارت دیگر، درخت پوشای کمینه، یک درخت پوشا با وزن کمتر یا مساوی وزن هر درخت پوشای دیگری است (جن و همکاران، ۲۰۰۸). 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^۴ هستند (سبو و همکاران، ۲۰۰۳).

1 . Szabó et al. (2003)

2 . Connected Component

3 . Gen et al. (2008)

4 . Invasion Percolation

نخستین بار مفهوم نفوذ تهاجمی توسط ویلکینسون و ویلمسن (۱۹۸۳) 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، ۲۰۰۱). باراباسی (۱۹۹۶) 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، ۱۹۹۶). برای مطالعه بیشتر به پژوهش ویلکینسون و ویلمسن (۱۹۸۳) 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.

روش‌های متعارف یافتن درخت پوشای کمینه عبارت‌اند از: الگوریتم کروسکال^۱، الگوریتم پریم^۲ و الگوریتم سولین^۳. 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^۴ 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^۵ $[S, S]$ اضافه می‌نماید. همچنین، در الگوریتم سولین، مجموعه‌ای از درخت‌های رأس-مجزا^۶ 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^۷، درخت پوشای کمینه است و از تمامی قسمت‌های یک گراف می‌گذرد، به گونه‌ای که مجموع هزینه یال‌های درخت حداقل باشد (دوبرین و دوکسبری^۸، ۲۰۰۱). به عبارت دیگر، در الگوریتم درخت پوشای کمینه به دنبال حداقل کردن هزینه‌های یک شبکه هستیم، به طوری که تعداد روابط در شبکه به حداقل ممکن برسد. فرض کنید شبکه وزن‌دار و جهت‌داری به صورت شکل (۱) داشته باشیم.

1 . Kruskal's Algorithm

2 . Prim's Algorithm

3 . Sollin's Algorithm

4 . Cycle

چرخه یک گام $i_1 i_2, \dots, i_{k-1} i_k$ است، به گونه‌ای که رأس آغازین و پایانی آن یکی بوده و هیچ دو رأس دیگری در میان این دنباله یکی نباشد. به عبارت دیگر، رابطه $i_1 = i_k$ برقرار است، به گونه‌ای که $i_k \neq i_{k'}$ زمانی که $k < k'$ باشد، مگر در $k = 1$ و $k' = k$. بنابراین، چرخه یک گام است که تنها رأسی که بیش از یک بار در آن ظاهر می‌شود، رأس ابتدایی و انتهایی باشد (جکسون، ۲۰۱۰). 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، ۲۰۰۳).

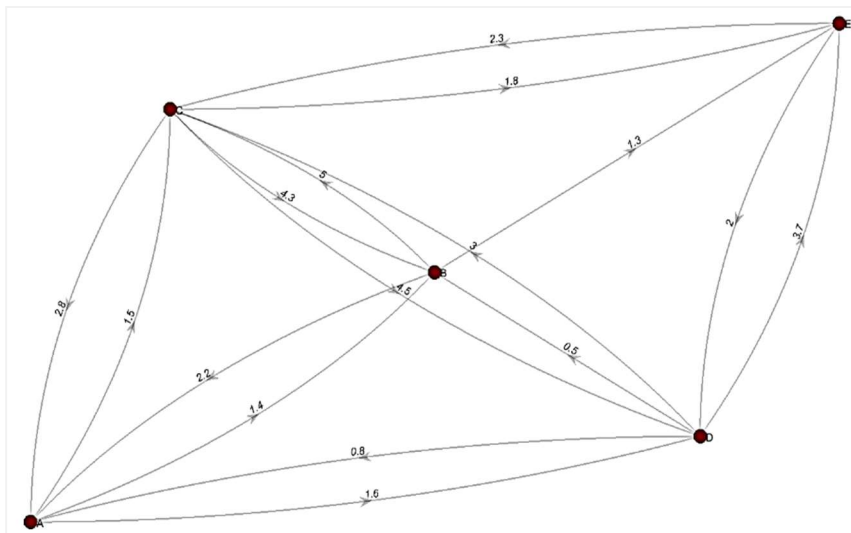
5 . Cut

برش رأسی یک گراف، زیر مجموعه‌ای از مجموعه رئوس آن گراف است، به طوری که با حذف این رأس، گراف ناهمبند (نامتصل) شود. یک برش k -رأسی، برش رأسی با k عنصر (رأس گراف) است (باندی و مورتی، ۱۹۷۶).

6 . Node-Disjoint Trees

7 . Non-Trivial Optimization Problem

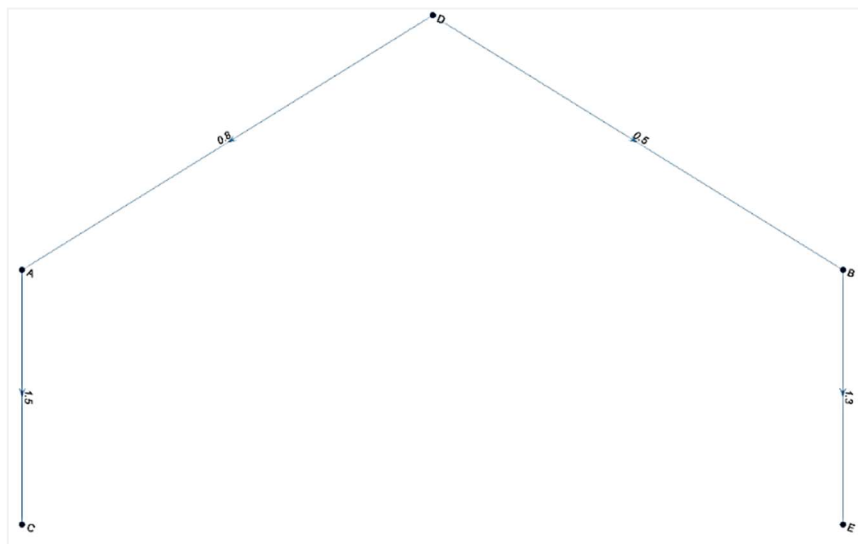
8 . Dobrin & Duxbury (2001)



شکل ۱: شبکه نمونه برای یافتن شبکه بهینه

با اعمال الگوریتم درخت پوشای کمینه بر شبکه متصور در شکل (۲)، شبکه‌ای ۵ رأسی با ۴ رابطه به شکل (۲) خواهیم داشت. شبکه بهینه به دست آمده در شکل (۳) با استفاده از جعبه‌ابزار نظریه گراف^۱ رسم شده است (ایگلین، ۲۰۰۹).^۲ همچنین، می‌توان از الگوریتم کروسکال^۳ نیز درخت پوشای کمینه یک شبکه را به دست آورد (پاپاکریستودیس، ۲۰۱۴).^۴ خاطرنشان می‌شود که در روش درخت پوشای کمینه، لینک جدیدی ساخته نمی‌شود بلکه بر اساس لینک‌های موجود، به حداقل کردن هزینه پرداخته می‌شود.

1 . Graph Theory
2 . Iglin (2009)
3 . Kruskal
4 . Papachristoudis (2014)



شکل ۲: شبکه بهینه با حداقل هزینه

فرض کنید که وزن روابط در شکل ۲، معادل گاز CO_2 منتشر شده به ازاء هر تن در مایل طی شده برای تجارت نفت باشد. به عبارتی، در صورتی که در ۱۰ مایل، ۵ تن نفت جابه‌جا شده باشد، وزن رابطه تجاری ۰.۵ خواهد بود (به عنوان مثال رابطه بین رأس D و B). در این صورت، بر اساس شبکه نشان داده شده در شکل ۲ می‌توان این‌طور استدلال کرد که رؤس C و E تنها نقش واردکننده را ایفا کنند، رأس D تنها نقش صادرکننده و رؤس A و B می‌توانند هر دو نقش را ایفا کنند.

۲-۵- روش تبرید شبیه‌سازی شده

با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده^۱ می‌توان بهینه کلی^۲ (و نه بهینه محلی) یک تابع را پیدا کرد. وجه تمایز این الگوریتم با الگوریتم‌های مشابه همچون الگوریتم ژنتیک، این است که (۱) به راحتی کدنویسی می‌شود؛ (۲) برای مسائل دنیای واقعی به خوبی می‌تواند استفاده گردد؛ (۳) زمانی که تعداد متغیرها زیاد است به خوبی می‌تواند استفاده شود؛ (۴) فارغ از محدودیت‌های بهینه محلی، به راحتی می‌تواند بهینه کلی را پیدا کند؛ و (۵) سرعت همگرایی این الگوریتم سریع‌تر از الگوریتم‌های مشابه است.

1. Simulated Annealing Algorithm (SAA)
2. Global Optimum

رویکرد تبرید شبیه‌سازی شده در سال ۱۹۸۳ توسط کرک‌پاتریک و همکارانش^۱ پیشنهاد شده است. کرک‌پاتریک و همکارانش (۱۹۸۳) 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^۲ و مکانیک آماری^۳ را به‌طور خلاصه بررسی و سپس شباهت‌های بین این دو شاخه را بیان می‌کنند. درنهایت، نشان می‌دهند که چگونه الگوریتم متروپلیس^۴ 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 کرک-پاتریک و همکاران (۱۹۸۳) ابتدا توضیحی در خصوص شاخه‌های بهینه‌سازی ترکیبی و مکانیک آماری آورده شده و سپس، الگوریتم متروپلیس و رویکرد تبرید شبیه‌سازی شده معرفی می‌گردد.

۱-۲-۵- 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 کمی «خوبی» یک سیستم پیچیده است. تابع هزینه به جزئیات پیکربندی بسیاری از بخش‌های یک سیستم پیچیده بستگی دارد.

1 . Kirkpatrick et al. (1983)

2 . 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 از جمله هوش مصنوعی، ریاضیات و مهندسی نرم‌افزار قرار دارد.

https://en.wikipedia.org/wiki/Combinatorial_optimization

3 . 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-آماري مشتق می‌شوند.

https://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_mechanics

4 . Metropolis

یک مثال کلاسیک از مسئله بهینه‌سازی ترکیبی، مسئله فروشنده دوره‌گرد^۱ است. باندی و مورتی (۱۹۷۶) 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 صورتی که زمان‌های مسافرت بین شهرها داده شده باشد، فروشنده دوره‌گرد چگونه 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^۲ 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، ۱۹۷۶).

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^۳ تعلق دارد و

1 . 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 $(n-1)!$ برای $n > 2$ 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

2 . Hamiltonian cycle

در نظریه گراف، منظور از دور، گذر بسته‌ای است که رؤس داخلی و مبدأ آن غیر تکراری باشد. منظور از گذر، گشتی (دنباله ناتمامی از رؤس 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، ۱۹۷۶).

3 . 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

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»^۱ و اصلاح تکراری.^۲ 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 به دست آمده در اعمال روش‌های قوی‌تر برای زیرمسائل را جبران نکند.

در اصلاح تکراری، فرایند با سیستم در یک پیکربندی شناخته شده شروع می‌شود. یک عملیات بازآرایی^۳ 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^۴ (و نه کلی^۵) باقی

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 اگر پاسخ به یک مسئله بله 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/>

1 . Divide-And-Conquer

این الگوریتم به سه قسمت قابل تقسیم است. (۱) تقسیم: مسئله به چند زیرمسئله کوچک‌تر تقسیم می‌شود؛ (۲) حل: زیرمسائل با فراخوانی بازگشتی (recursive calling) حل می‌شوند؛ و (۳) ترکیب: زیرمسائل با هم ترکیب می‌شوند تا راه‌حل نهایی کل مسئله به دست آید.

<https://www.geeksforgeeks.org/divide-and-conquer-algorithm-introduction/>

2 . Iterative Improvement

3 . Rearrangement Operation

4 . Local

5 . Global

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 (۱۹۸۳) استدلال می‌کنند که با افزایش اندازه مسائل بهینه‌سازی، تحلیل بدترین حالت یک مسئله به‌طور 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.

۵-۲-۲- مکانیک آماری

مکانیک آماری شاخه اصلی دانش فیزیک ماده چگال^۱ 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 ۱۰^{۲۳} 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، زمانی که میانگین‌گیری از مجموعه سیستم‌های یکسان^۲ معرفی شده توسط گیبس^۳ انجام می‌شود. در این مجموعه، هر پیکربندی سیستم که توسط مجموعه موقعیت‌های اتمی، $\{r_i\}$ تعریف می‌شود؛ توسط ضریب احتمال بولتسمان^۴ $\exp(-E(\{r_i\})/k_B T)$ ، وزن‌دهی می‌گردد که در آن $E(\{r_i\})$ انرژی پیکربندی، k_B ثابت بولتسمان و T دما است.

1 . Condensed Matter Physics

2 . Identical Systems

3 . Gibbs

4 . 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 ϵ_i باشد را به صورت $p_i = \frac{e^{-\epsilon_i/k_B T}}{Z}$ ارائه می‌دهد که در آن Z ، ثابت نرمال‌سازی است و با این فرض که احتمال قرار داشتن سیستم در وضعیت میکرو معادل یک است ($\sum_j p_j = 1$) به دست می‌آید. بنابراین، $Z = \sum_j e^{-\epsilon_j/k_B T}$ که جمع روی تمامی حالات میکرو (j) انجام می‌شود.
https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node66.html

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، μ_i ، مجاز است فقط به حالت‌های «بالا» یا «پایین» اشاره کند که با $\mu_i = \pm 1$ نشان داده می‌شود. انرژی برهمکنش بین چنین اسپین‌های مجاوری را می‌توان به صورت $J\mu_i\mu_{i+1}$ بازنویسی کرد. تعامل بین هر جفت اسپین مجاور، به اندازه $\pm J$ 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 $\pm NJ$ بوده و انرژی محتمل‌ترین حالت صفر است. در این صورت، پیکربندی‌های حالت پایه، وزن آماری $\exp(-N/2)$ را دارند که کوچک‌تر از پیکربندی‌های انرژی صفر است. اگر $k_B T$ کوچک‌تر از J باشد، عامل بولتسمان $\exp(-E/k_B T)$ ، 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 (۱۹۵۳) می‌توان این محدودیت را پوشانده و در نتیجه با استفاده از این روش راه‌حل‌های مناسب‌تری ارائه کرد.

۳-۵- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

رویکرد تبرید شبیه‌سازی شده در سال ۱۹۸۳ توسط کرک‌پاتریک و همکارانش پیشنهاد شد که از فرایند تبرید مورد استفاده در متالورژی^۱ 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 زمانی که مواد به تعادل هیدرولیکی حرارتی^۲ برسد، هر دما حفظ می‌شود. روش تبرید شبیه‌سازی شده که برای مسائل بهینه‌سازی اعمال می‌شود، راه‌حل اولیه را در نظر می‌گیرد و جستجوی همسایگی،^۳ 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، ۲۰۱۶).^۴

1. 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>

2. Thermal Hydraulic Balance

تعادل هیدرولیک (Hydraulic Balancing)، فرایند بهینه‌سازی توزیع آب در سیستم گرمایش یا سرمایش هیدرولیک ساختمان است که از طریق یکسان کردن 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

3. Neighborhood Search

4. Ziane et al. (2017)

متروپلیس و همکاران (۱۹۵۳)، 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، ΔE ، محاسبه می‌گردد. اگر $\Delta E \leq 0$ باشد، جابه‌جایی پذیرفته و پیکربندی با اتم جابجا شده به عنوان نقطه شروع مرحله بعدی استفاده می‌گردد. در صورتی که $\Delta E > 0$ باشد، به صورت احتمالی رفتار می‌شود، بدین معنا که احتمال پذیرفته شدن پیکربندی معادل $P(\Delta E) = \exp\left(\frac{-\Delta E}{k_B T}\right)$ خواهد بود که در آن k_B ثابت بولتسمان است. اعداد تصادفی که به طور یکنواخت در بازه (0,1) توزیع شده‌اند، وسیله‌ای مناسب برای اجرای بخش تصادفی الگوریتم متروپلیس هستند. یکی از این اعداد انتخاب شده و با $P(\Delta E)$ مقایسه می‌شود. اگر عدد انتخاب شده کمتر از $P(\Delta E)$ 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 $P(\Delta E)$ 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 $\{x_i\}$ ، 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 زمانی که 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 $\{x_i\}$ 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^۱ رخ می‌دهد. نکته‌ای که وجود دارد

این است که مشخصه‌های بزرگ^۱ وضعیت نهایی سیستم در دماهای بالاتر ظاهر می‌گردد، در حالی که خصوصیات ظریف^۲ 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^۳ (Z) که به شرح زیر است، به دست آورد.

$$Z = \text{Tr} \exp(-E/k_B T) \quad (۴)$$

که در آن نماد اثر ماتریس،^۴ Tr نشان‌دهنده مجموع تمام پیکربندی‌های ممکن اتم‌ها در سیستم نمونه است. لگاریتم Z که انرژی آزاد^۵ ($F(T)$) نامیده می‌شود، اطلاعاتی در خصوص متوسط انرژی $\langle E(T) \rangle$ و همچنین آنتروپی ($S(T)$) ارائه می‌کند که لگاریتم تعداد پیکربندی‌های مربوط به نمونه در دمای T است:

$$-k_B T \ln Z = F(T) = \langle E(T) \rangle - TS \quad (۵)$$

1 . Gross Features

2 . Fine Details

3 . Partition Function

ثابت نرمال‌سازی در توزیع بولتسمان (Z)، تابع افراز نیز خوانده می‌شود. یادآوری می‌شود که ثابت نرمال‌سازی در توزیع بولتسمان معادل $Z = \sum_j e^{-E_j/k_B T}$ 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 صورتی که دما و ... تغییر کند، Z تابعی از این پارامترها خواهد بود. به عبارتی؛ $Z = Z(T, N, V)$ برای توضیح بیشتر در خصوص تابع افراز، به درگاه زیر مراجعه شود.

https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node68.html

4 . Trace

مجموع قطری ماتریس را اثر ماتریس گویند.

5 . (Helmholtz) Free Energy

معادله مهمی که انرژی آزاد هلمهولتز و تابع افراز را به هم مرتبط می‌کند به صورت $F(T) = -k_B T \ln Z$ است. همانطور که اشاره شد، $F(T) = \langle E(T) \rangle - TS$ است. با در نظر گرفتن رابطه اصلی ترمودینامیک، انرژی آزاد را می‌توان به صورت $dF = -SdT - PdV + \mu dN$ بازنویسی کرد. در این صورت، روابط مربوط به آنتروپی، فشار و پتانسیل شیمیایی به شرح زیر خواهد بود.

$$S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_{V,N} \text{ و } P = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_{T,N} \text{ و } \mu = -\left(\frac{\partial F}{\partial N}\right)_{T,V}$$

https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node70.html

لازم به ذکر است که رابطه اصلی ترمودینامیک، $dE = TdS - PdV$ بوده که در آن d مبین تغییرات بینهایت کوچک است. بنابراین، dE مبین تغییرات بینهایت کوچک انرژی درونی یک سیستم در بین دو وضعیت تقریباً یکسان، T دمای مطلق، S آنتروپی، P فشار و V حجم است.

https://theory.physics.manchester.ac.uk/~judith/stat_therm/node38.html

میانگین‌های وزنی بولتسمان نمونه را می‌توان بر حسب مشتق F بیان کرد. بنابراین، میانگین انرژی به صورت $\langle E(T) \rangle = \frac{-d \ln Z}{d(1/k_B T)}$ محاسبه می‌شود. به علاوه، نرخ تغییر انرژی با توجه به پارامتر کنترل، T مربوط به اندازه تغییرات در انرژی به صورت $C(T) = \frac{d\langle E(T) \rangle}{dT}$ محاسبه می‌شود که معادل $C(T) = \frac{[\langle E(T)^2 \rangle - \langle E(T) \rangle^2]}{k_B T^2}$ است. در دینامیک آماری، به $C(T)$ ظرفیت گرمایی ویژه^۱ 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:

$$\frac{dS(T)}{dT} = \frac{C(T)}{T} \text{ و } S(T) = S(T_1) - \int_{T_1}^T \frac{C(T')}{T'} dT' \quad (۶)$$

که در آن T_1 دمایی می‌باشد که آنتروپی شناخته شده است.

زین و همکاران (۲۰۱۶) 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 E_i)، به وضعیت جدید j (انرژی E_j): $\Delta E_{ij} = E_j - E_i$

پذیرش انتقال به وضعیت جدید با احتمال P_{ij} ، یا

$$\begin{cases} P_{ij}(t) = 1 & \text{اگر } E_{ij} \leq 0 \\ P_{ij}(t) = e^{\frac{-\Delta E}{T}} & \text{اگر } E_{ij} > 0 \end{cases} \quad (۷)$$

در عمل، زوال هندسی^۲ اغلب استفاده می‌شود بدین معنا که $T = \alpha \cdot T$ بوده و α در بازه $[0,1]$ قرار دارد. برای تغییر دما، عدد پردازشی که در آن دما کاهش می‌یابد را می‌توان به سادگی

۱ . 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.

۲ . Geometric Decay

مشخص کرد (زین و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین دونگ و همکاران (۲۰۲۰)، گام‌های پیاده‌سازی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده را به شرح زیر تبیین می‌کنند:

- گام اول: یک راه‌حل اولیه $x^{(0)}$ ایجاد کنید و دمای T به مقدار کافی بالا را در نظر بگیرید. حداکثر تعداد تکرار t_{max} 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، $\Delta C = C(x^{(t+1)}) - C(x^{(t)})$ را محاسبه کنید. در صورتی که $\Delta C < 0$ باشد، حل جدید پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت، یک عدد تصادفی مانند α در بازه $(0,1)$ در نظر بگیرید. در حالی که $\alpha \leq \exp\left(\frac{\Delta C}{T}\right)$ ، 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 (t_{max}) 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 (۲۰۲۰) 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^۱ 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^۲ نشان می‌دهند که کشورهای بزرگ صادرکننده نفت شرکای خود را هوشمندانه انتخاب می‌کنند و روابط تجاری آن‌ها پایدارتر است. این

1 . Bipartite Network
2 . Robustness Indicator

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^۱ 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 (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۰)، 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 (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۰)

دونگ و همکاران (۲۰۲۰) برای تمایز قائل شدن بین کشورهای تجاری، شاخص مقدار خالص واردات را تعریف می‌کنند که به صورت زیر است.

$$Q_j^{in} = Q_{jI} - Q_{jE} \quad (۸)$$

که در آن، Q_j^{in} مقدار خالص واردات کشور j بر حسب کیلوگرم، Q_{jI} حجم واردات کشور j و Q_{jE} حجم صادرات کشور j است. به‌طور واضح، اگر Q_j^{in} منفی باشد، به معنی آن است که کشور j صادرکننده خالص نفت خام بوده و باید $-Q_j^{in}$ را به کشورهای واردکننده توزیع کند و اگر Q_j^{in} مثبت باشد مبین آن است که کشور j واردکننده خالص نفت خام بوده و به میزان Q_j^{in} از کشورهای صادرکننده نفت خام نیاز دارد تا تقاضایش را تأمین کند. همچنین، اگر $Q_j^{in} = 0$ 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، m و n باشد، چنین گرافی را به صورت $K_{m,n}$ 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،^۱ ۱۹۷۶).

در شبکه دوبخشی دونگ و همکاران (۲۰۲۰)، m صادرکننده خالص نفت خام و n واردکننده نفت خام وجود دارد. وزن رابطه بین کشورهای تجاری، x_{ij} مبین مقدار تجارت نفت خام از طریق یک رابطه مستقیم از کشورهای صادرکننده خالص نفت خام (i) به کشورهای واردکننده خالص نفت خام (j) است. از این رو، $x_{ij} > 0$ می‌باشد. بنابراین، برای کشورهای صادرکننده خالص نفت خام و کشورهای واردکننده خالص نفت خام معادلات موازنه‌ای زیر برقرار است.

$$Q_i^{out} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (۹)$$

$$Q_j^{in} = \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (۱۰)$$

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

این پژوهشگران، چند شاخص توپولوژیکی شبکه را تعریف می‌کنند که عبارت از درجه ورودی (k_j^{in}) کشور واردکننده خالص j ، درجه خروجی (k_i^{out}) کشور صادرکننده خالص i ، قدرت ورودی (S_j^{in}) کشور واردکننده خالص j و قدرت خروجی (S_i^{out}) کشور صادرکننده خالص i است. در ادبیات شبکه، درجه ورودی و خروجی برای شبکه جهت‌دار دوتایی^۱ و قدرت ورودی و خروجی برای شبکه جهت‌دار وزنی^۲ 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^۳ است. از این رو، متوسط درجه نزدیک‌ترین همسایگان یک کشور صادرکننده نفت خام (کشور i) به صورت رابطه شماره (۱۱) تعریف می‌شود.

$$\overline{k_i^{in}} = \frac{1}{k_i} \sum_{j \in N_i} k_j \quad (۱۱)$$

که در آن N_i مبین مجموعه همسایگان رأس i است. حال اگر مقدار حاصل از رابطه شماره (۱۱) برای تمامی رئوس محاسبه شده و برای یک درجه خروجی مانند k^{out} میانگین‌گیری شود، می‌توان متوسط درجه ورودی نزدیک‌ترین همسایگان را محاسبه کرد که به صورت $\langle \overline{k^{in}} | k^{out} \rangle$ نشان داده می‌شود.

به همین ترتیب، متوسط درجه نزدیک‌ترین همسایگان یک کشور واردکننده نفت خام (کشور j) به صورت رابطه شماره (۱۲) تعریف می‌شود.

1 . Binary Networks
2 . Weighted Networks
3 . Average Nearest Neighbors Degree

$$\overline{k_j^{out}} = \frac{1}{k_j} \sum_{i \in N_j} k_i \quad (12)$$

که در آن N_j مبین مجموعه همسایگان رأس i است. حال اگر مقدار حاصل از رابطه (۱۲) برای تمامی رؤوس محاسبه شده و برای یک درجه خروجی مانند k^{in} میانگین‌گیری شود، می‌توان متوسط درجه ورودی نزدیک‌ترین همسایگان را محاسبه کرد که به صورت $\langle \overline{k^{out}} | k^{in} \rangle$ نشان داده می‌شود.

در صورتی که $\langle \overline{k^{in}} | k^{out} \rangle$ با افزایش k^{out} بیشتر شود و یا $\langle \overline{k^{out}} | k^{in} \rangle$ با افزایش k^{in} افزایش یابد، شبکه‌ای همبسته / مشابه^۱ خواهیم داشت. به همین ترتیب، در صورتی که $\langle \overline{k^{in}} | k^{out} \rangle$ با افزایش k^{out} و یا $\langle \overline{k^{out}} | k^{in} \rangle$ با افزایش k^{in} کاهش یابد، شبکه‌ای ناهمبسته / نامشابه^۲ خواهیم داشت.

باراباسی (۲۰۱۶)^۳ در تعریف شبکه همبسته و ناهمبسته بیان می‌کند که رؤوس 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 از جمله شبکه خنثی^۴، شبکه همبسته^۵ و شبکه ناهمبسته^۶ مواجه شویم. در شبکه خنثی، تعداد روابط بین رؤوس مرجع برابر با تعداد مورد انتظار روابط بین رؤوس مرجع در شبکه‌های تصادفی است. در شبکه‌های همبسته، رؤوس مرجع تمایل دارند با یکدیگر ارتباط داشته باشند و از ارتباط با رؤوس با درجه پایین اجتناب می‌کنند. در این حال، رؤوس با درجه پایین نیز تمایل دارند که با رؤوس درجه پایین ارتباط داشته باشند. به چنین شبکه‌هایی، شبکه‌های همبسته گویند. در حالت حدی، شبکه‌های کاملاً همبسته^۸ را خواهیم

1 . Assortative Network

2 . Disassortative Network

3 . Barabási (2016)

4 . Neutral Network

5 . Assortative Network

6 . Disassortative Network

۷. برای مطالعه بیشتر به فصل هفتم کتاب علم شبکه، نوشته باراباسی (۲۰۱۶) مراجعه شود.

8. Perfectly Assortative Network

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^۱ داشته و باعث ناهمبستگی آن می‌شود.

– جامعه آماری و داده‌های مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰)

در این مطالعه، کشورهای بزرگ صادرکننده نفت خام در دو فرایند انتخاب شده است. یکی اینکه دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ در نظر گرفته شده و کشورهای صادرکننده نفت خام بر حسب صادرات خالص سالانه‌شان رتبه‌بندی شده‌اند. دوم اینکه، کشورهایی که همواره در زمره ۱۵ کشور برتر طی این دوره زمانی قرار گرفته‌اند، انتخاب شده‌اند. از این رو، ۹ کشور به عنوان صادرکنندگان بزرگ نفت خام انتخاب شده و با فرایندی مشابه، ۱۱ کشور به عنوان واردکنندگان بزرگ نفت خام انتخاب شده‌اند. در این مطالعه، داده‌های تجارت نفت خام از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ از پایگاه اطلاعات آماری تجارت کالایی ملل متحد جمع‌آوری گردیده‌اند. گروه کالایی مورد نظر بر اساس کد سامانه هماهنگ شده^۲ شماره‌گذاری کالا HS:270900 است. فاصله جغرافیایی بین کشورها (به کیلومتر) از پایگاه مرکز مطالعات آینده‌نگر و اطلاعات بین‌المللی^۳ گرفته شده است.

– الگوی بهینه‌سازی مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰) – ساختار و فرضیات الگو

هدف الگوی بهینه‌سازی مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰)، یافتن شبکه توزیع بهینه است. در این مطالعه، مسئله بهینه‌سازی بر حسب هزینه کل شبکه تعریف می‌شود. فرض کنید، c_i هزینه تولید یک کیلوگرم نفت خام در کشور صادرکننده i ، v ارزش یک کیلوگرم نفت خام و p_j قیمت یک کیلوگرم نفت خام واردشده توسط کشور واردکننده j باشد. در این صورت، p_j به صورت رابطه (۱۳) تعریف می‌شود.

$$p_j = v + d_{ij}c_L \quad (13)$$

که در آن c_L هزینه لجستیک^۴ به ازای هر واحد فاصله و d_{ij} فاصله جغرافیایی بین دو رأس i و j است.

1. Hub-and-Spoke

2. Harmonized System (HS)

3. Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII)

4. Logistics Costs

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

$$R = x_{ij}(v - c_i) + x_{ij}(\bar{v} - p_j) \quad (14)$$

که در آن x_{ij} نفت خام صادرشده از رأس i به رأس j است. با جایگذاری رابطه (۱۳) در (۱۴) خواهیم داشت.

$$R = x_{ij}(\bar{v} - c_i) - c_L d_{ij} x_{ij} \quad (15)$$

دونگ و همکاران (۲۰۲۰)، یک سری فروض در نظر می‌گیرند که عبارت‌اند از: (۱) $\bar{v} - c_i$ ثابت بوده و (۲) c_L ثابت است. بنابراین، هزینه تجارت بین دو کشور i و j به صورت زیر خواهد بود.

$$C_{ij} = c_L d_{ij} x_{ij} \quad (16)$$

رابطه (۱۶) نشان می‌دهد که هرچقدر حجم تجارت و فاصله جغرافیایی بین دو رأس بیشتر باشد، هزینه تجارت بیشتر خواهد بود؛ (۳) سومین فرض این مطالعه این است که $c_L = 1$ است. بنابراین، هزینه کل تجارت به شکل زیر خواهد شد.

$$C = \sum_{i,j} d_{ij} x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

برای به دست آوردن عملکرد بهینه شبکه تجارت نفت خام، دونگ و همکاران (۲۰۲۰) مسئله را به صورت یک الگوی بهینه‌سازی درمی‌آورند که در آن تابع هدف به صورت زیر خواهد بود.

$$\min C = \sum_{i,j} d_{ij} x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

قیدهای این مسئله روابط (۹) و (۱۰) 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 (۱۸) 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 شبیه‌سازی شده 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 (۲۰۲۱) در مقاله خود با عنوان «بهینه‌سازی ساختار تجارت نفت خام: تحلیل شبکه پیچیده» با بهره‌گیری از الگوی پیشین خود، یک شبکه دویخی را برای مدل‌سازی تجارت نفت خام ارائه می‌کنند. این پژوهشگران بیان می‌کنند که در مقایسه با شبکه نابینه، الگوی پیشنهادی می‌تواند به‌طور 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 توزیع‌نمایی 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 (۲۰۲۱)، هر کشور k ، خالص واردات به صورت $M_k = M_{KI} - M_{KE}$ تعریف می‌شود که در آن M_{KI} مبین حجم واردات و M_{KE} مبین حجم صادرات است. به‌طور خاص، در صورتی که $M_k < 0$ باشد بدین معناست که کشور k صادرکننده خالص است و اگر $M_k > 0$ باشد، این کشور واردکننده خالص خواهد بود. همچنین، در صورتی که $M_k = 0$ باشد، کشور k نه واردکننده خالص و نه صادرکننده خالص خواهد بود. در شبکه دویخی 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 $(x_{ij} | x_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m)$ 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:

$$M_i = -\sum_{j=1}^m x_{ij} \quad (۱۹)$$

$$M_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (۲۰)$$

که در آن $0 < x_{ij} < \min\{-M_i, M_j\}$ است.

تعداد کشورهایی که با کشور i تجارت دارند، درجه این کشور (k_i) را تعیین می‌کند. در شبکه مورد مطالعه، کشورها دو درجه متفاوت دارند؛ درجه ورودی (k^{in}) و درجه خروجی (k^{out}). 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.

$$P(k) = \frac{N_k}{N} \quad (۲۱)$$

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

– الگوی بهینه‌سازی

دونگ و همکاران (۲۰۲۱) 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 (۲۰۲۱) همان‌طور که در مقاله پیشین خود (دونگ و همکاران، ۲۰۲۰) اظهار کردند، معادله هزینه تجارت را به شرح زیر تشکیل می‌دهند.

$$C = \sum_{i,j} d_{ij} x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (۲۲)$$

که در آن d_{ij} فاصله جغرافیایی بین کشور صادرکننده خالص i و کشور واردکننده خالص j است. در عبارت فوق، متغیر x_{ij} 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.

$$\min C = \sum_{i,j} d_{ij} x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

همانند مطالعه پیشین این پژوهشگران، قیدهای مسئله بهینه‌سازی روابط ترازکننده (۱۹) و (۲۰) خواهند بود. به منظور حل این مسئله بهینه‌یابی، از الگوریتم درخت پوشای کمینه و همچنین روش تبرید شبیه‌سازی شده استفاده کرده‌اند که این روش‌ها در بخش‌های پیشین به تفصیل معرفی شده‌اند.

– روش برنامه‌ریزی پویا^۱

در سال ۱۹۵۷، ریچارد بلمن^۲ 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، بازرگانی، مدیریت و غیره تلقی می‌شود (اسنیدوویچ، ۲۰۱۰).^۴

روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری^۵ شامل روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی،^۶ الگوریتم ژنتیک،^۷ الگوریتم مورچگان،^۸ الگوریتم جستجوی ممنوعه،^۹ الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات^{۱۰} هستند. در میان روش‌های بهینه‌سازی، روش برنامه‌ریزی پویا یک الگوریتم بهینه‌سازی است که برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای استفاده می‌شود

1 . Dynamic Programming (DP)

2 . Richard Bellman (1957)

۳ . مطالعه بلمن (۱۹۷۰) 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.

4 . Sniedovich (2010)

5 . Heuristic Approaches

6 . Artificial Neural Network (ANN)

7 . Genetic Algorithm (GA)

8 . Ant Colony Optimization (ACO)

9 . Tabu Search (TS)

10 . Particle Swarm Optimization (PSA)

و به‌ویژه برای حل مسائل بهینه‌سازی جهانی قابلیت اعتماد و اطمینان^۱ شبکه‌های به هم متصل^۲ 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 (تریپاتی و همکاران، ۲۰۱۵۳). وانگ (۱۹۸۶)^۴ نشان می‌دهد که رویکرد برنامه‌ریزی پویا نه تنها برای مسائل بهینه‌سازی دنباله‌دار و بازگشتی^۵ 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^۶ 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، ۱۹۸۶).

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.

$$f(p) = \underset{q}{\text{opt}}[H(p, q, f(T(p, q)))] \quad (24)$$

یا؛

$$f(p) = \underset{q}{\text{opt}}[H(p, q, g(T(p, q)))] \quad (25)$$

1 . Network Reliability

تریپاتی و همکاران (۲۰۱۵) 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.

2 . Interconnected Networks

3 . Tripathy et al. (2015)

4 . Wang (1986)

5 . Sequential and Recursive Optimization Problems

6 . Principle of Optimality

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 (۲۵)، 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، ۱۹۸۶ و ۱۹۸۸).

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^۱ 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، ۱۹۸۶).

وانگ (۱۹۸۶) به منظور نشان دادن کاربرد برنامه‌ریزی پویا در الگوهای گسسته متناهی و نامتناهی، از دو نامساوی استفاده می‌کند: نامساوی میانگین حسابی و میانگین هندسی^۲؛ و نامساوی ینسن^۳. 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 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \geq \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} \quad (26)$$

و تساوی زمانی برقرار است که $x_1 = x_2 = \dots = x_n$ باشد.

1 . Transition Constraint

2 . Arithmetic Mean – Geometric Mean (AM-GM) Inequality

3 . Jensen Inequality

این نامساوی، ابزار مفیدی در بررسی برخی مسائل بهینه‌سازی می‌تواند باشد. از تعمیم نامساوی میانگین حسابی- هندسی، نامساوی‌های دیگری همچون نامساوی مینکوسکی^۱ (و در نتیجه نامساوی هولدر^۲) حاصل می‌شود که در حل مسائل برنامه‌ریزی پویا نیز کاربرد دارند.

– نامساوی ینسن

نامساوی ینسن یک نابرابری احتمالاتی^۳ 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:^۴

1 . Minkowski Inequality

نامساوی مینکوسکی بیان می‌کند در صورتی که $r > s$ اعداد حقیقی غیر صفر باشند، آنگاه برای هر عدد حقیقی مثبت a_{ij} نامساوی زیر برقرار است.

$$\left(\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n a_{ij}^r \right)^{s/r} \right)^{1/s} \geq \left(\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}^s \right)^{r/s} \right)^{1/r}$$

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

2 . Hölder's Inequality

بنا بر این نامساوی، در صورتی که $a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n, z_1, z_2, \dots, z_n$ اعداد حقیقی نامنفی و $\lambda_a, \lambda_b, \dots, \lambda_z$ اعداد حقیقی نامنفی با جمع یک باشند؛ نامساوی زیر را خواهیم داشت.

$$(a_1 + a_2 + \dots + a_n)^{\lambda_a} + (b_1 + b_2 + \dots + b_n)^{\lambda_b} + (z_1 + z_2 + \dots + z_n)^{\lambda_z} \geq a_1^{\lambda_a} b_1^{\lambda_b} \dots z_1^{\lambda_z} + \dots + a_n^{\lambda_a} b_n^{\lambda_b} \dots z_n^{\lambda_z}$$

به عبارت دقیق‌تر، در صورتی که $\{a_{ij}\}_{i=1}^n \}_{j=1}^m$ دنباله‌های متعددی از اعداد حقیقی نامنفی و $\{\lambda_i\}_{i=1}^n$ اعداد حقیقی نامنفی با $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ باشند، نامساوی زیر را خواهیم داشت.

$$\sum_j \prod_i a_{ij}^{\lambda_i} \leq \prod_i \left(\sum_j a_{ij} \right)^{\lambda_i}$$

برای مطالعه بیشتر به تارنمای زیر مراجعه شود.

https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php/H%C3%B6lder%27s_Inequality

3 . Probabilistic Inequality

۴ . برای مطالعه بیشتر به تارنمای زیر مراجعه شود.

<https://www.statlect.com/fundamentals-of-probability/Jensen-inequality>

قضیه: فرض کنید X یک متغیر تصادفی انتگرال پذیر باشد. همچنین فرض کنید $g: \mathcal{N} \rightarrow \mathcal{N}$ یک تابع محدب است، به گونه‌ای که $Y = g(X)$ نیز انتگرال پذیر باشد. با این فروض، نامساوی زیر، نامساوی ینسن خوانده می‌شود.

$$E[g(X)] \geq g(E[X]) \quad (27)$$

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

$$E[g(X)] > g(E[X]) \quad (28)$$

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

$$E[g(X)] \leq g(E[X]) \quad (29)$$

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

$$E[g(X)] < g(E[X]) \quad (30)$$

به عبارت دیگر، تابع حقیقی f روی بازه I از اعداد حقیقی محدب خوانده می‌شود اگر به ازای هر $x, y \in I$ و $p, q \geq 0$ به طوری که $p + q = 1$ باشد داشته باشیم:

$$f(px + qy) \leq pf(x) + qf(y) \quad (31)$$

وانگ (۱۹۸۶) 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 $A \geq G$ و نامساوی ینسن به شکل $f(A) \leq \frac{[af(x) + bf(y)]}{(a+b)}$ (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 (۲۰۲۱) 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^۱ را به همراه دارد که به عنوان حالت اولیه مرحله بعدی در نظر گرفته می‌شود (اسنیدوویچ، ۱۹۷۸).

دونگ و همکاران (۲۰۲۱) 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 نامرتب 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 (۲۰۲۱) 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 ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ 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، ۱۳ کشور به عنوان صادرکننده خالص سنگ نیکل دست آمده است: نروژ، فیلیپین، ترکیه، زیمبابوه، 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 ۱۰ 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 ۹۱.۶۳ 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)، ۹ 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 ۱۰ 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 ۹۸.۳۲ 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 (۲۰۲۱) وجود دارد: کشورهای صادرکننده و کشورهای واردکننده. کشورهای صادرکننده با E_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) و کشورهای واردکننده با I_j ($j = 1, 2, 3, \dots, m; \text{where } m \geq 8$) 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 Q_{ij} (واحد: کیلوگرم) را به کشور واردکننده j صادر می‌کند، یک یال در شبکه تجاری سال t ایجاد می‌شود و ماتریس الحاقی مربوطه A_t یک درایه a_{ij} غیر صفر خواهد داشت ($a_{ij} = Q_{ij}$). درایه مربوط به رؤس بدون روابط تجاری، صفر خواهد بود. در این صورت، ماتریس الحاقی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$A_t = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & \cdots & a_{n,m} \end{bmatrix} \quad (32)$$

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. هنگامی که کشور واردکننده j ، سنگ نیکل را به میزان Q_{ij} (واحد: کیلوگرم) از کشور صادرکننده E_i در سال t وارد می‌کند، یک یال در شبکه تجاری سال t ایجاد می‌شود و ماتریس الحاقی متناظر دارای یک درایه غیر صفر b_{ij} ($b_{ij} = Q_{ij}$) خواهد بود. درایه مربوط به رؤس بدون روابط تجاری، صفر خواهد بود. در این صورت، ماتریس الحاقی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$B_t = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix} \quad (33)$$

– محاسبه هزینه‌های تجاری عمده شبکه تجاری

در صورتی که هزینه‌های تجارت در کل شبکه را با C نشان دهیم، C_{ij} هزینه‌های تجارت از کشور صادرکننده E_i به کشور واردکننده I_j است. هزینه‌های تجارت شامل هزینه‌های تولید، هزینه‌های مانع سیاسی، 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 حمل و نقل در تجارت بین‌الملل، D_{ij} فاصله از کشور صادرکننده E_i تا کشور واردکننده I_j و Q_{ij} وزن کل سنگ معدن نیکل صادراتی به I_j باشد. در این صورت، هزینه‌های تجارت بین E_i و I_j به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{ij} = \alpha + LD_{ij}Q_{ij} \quad (34)$$

در فرمول فوق، α نشان‌دهنده سایر هزینه‌ها به استثنای هزینه‌های حمل و نقل 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. هنگامی که هزینه‌ها حداقل می‌شوند، $D_{ij}Q_{ij}$ به حداقل مقدار خود می‌رسد. بنابراین، تابع هزینه را می‌توان به صورت زیر ساده کرد:

$$C_{ij}' = D_{ij}Q_{ij} \quad (35)$$

– 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 بهینه‌سازی 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 برنامه‌نویسی 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 E_i را انتخاب کنید. از منظر کشورهای صادرکننده، روند ساخت مدل برنامه‌ریزی پویا بهبودیافته به شرح زیر است:

- گام اول: متغیر مرحله ۱ j را تنظیم کنید. با توجه به تعداد کشورهای واردکننده که سنگ نیکل را از E_i وارد می‌کنند، متغیر مرحله j به دست می‌آید و $j = 1, 2, 3, \dots, n$
- گام دوم: متغیر وضعیت Q_j^{out} 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 Q_{ij} را تنظیم کنید. حجم صادرات سنگ نیکل از E_i به هر کشور واردکننده به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته می‌شود، که در آن $j = 1, 2, 3, \dots, n$ است. Q_i^{out} مجموع حجم صادرات E_i است. بنابراین:

$$Q_i^{out} = \sum_{j=1}^n Q_{ij} \quad (36)$$

- گام چهارم: معادله انتقال وضعیت Q_j^{out} را به صورت زیر بسازید:

$$Q_{j+1}^{out} = Q_j^{out} - Q_{ij} \quad (37)$$

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

- گام پنجم: تابع هزینه $C_j(Q_{ij})$ را محاسبه کنید.

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

$$f(Q_i^{out}) = \min \sum_{j=1}^n C_j(Q_{ij}) = \min \sum_{j=1}^n D_{ij}Q_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (38)$$

قیدهای مسئله عبارت‌اند از:

$$\begin{cases} Q_{ij} \geq 0 \\ Q_i^{out} = \sum_{j=1}^n Q_{ij} \\ Q_j^{in} = \sum_{i=1}^m Q_{ij} \\ Q_{n+1}^{out} = 0. \end{cases} \quad (39)$$

متغیر Q_i^{out} مبین مجموع حجم صادرات همه کشورهای صادرکننده است. متغیر Q_j^{in} مبین مجموع حجم واردات همه کشورهای واردکننده می‌باشد. فرمول $\sum_{j=1}^n Q_{ij}$ مجموع حجم صادرات سنگ معدن نیکل از E_i به هر کشور واردکننده است. فرمول $\sum_{i=1}^m Q_{ij}$ مجموع حجم واردات سنگ معدن نیکل از هر کشور صادرکننده به I_j 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 E_i را می‌توان با دنبال کردن مرحله ۱ تا مرحله ۶ ساخت. الگوی برنامه‌ریزی پویای بهبودیافته از منظر تقاضا، باید کشور واردکننده I_j را انتخاب کند. سپس مراحل ۱ تا ۶ 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 E_i را به صورت تصادفی انتخاب کنید. فاصله بین E_i و همه کشورهای واردکننده را برای به دست آوردن یک دنباله $(D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{in})$ 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 E_i یعنی $(Q_{i1}, Q_{i2}, \dots, Q_{in})$ به دست می‌آید.

– گام سوم: هر کشور دیگری را انتخاب کنید. مرحله ۱ را تکرار و سپس مرحله ۲ 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:

$$\begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{21} & \dots & Q_{i1} \\ Q_{12} & Q_{22} & \dots & Q_{i2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{1j} & Q_{2j} & \dots & Q_{ij} \end{bmatrix} \quad (40)$$

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

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_{ij} Q_{ij} \quad (41)$$

$$\sum_{j=1}^n D_{ij} Q_{ij} = (D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{in}) \times (Q_{i1}, Q_{i2}, \dots, Q_{in})^T \quad (42)$$

– 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 ۱ 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:

$$\delta = P_m^m = m \times (m - 1) \times (m - 2) \times \dots \times 1 \quad (43)$$

گام پنجم: مدل را با توجه به دنباله شماره سریال کشور صادرکننده خاص در هر ردیف از ماتریس حل کنید، فرایندها را تکرار را انجام دهید و کل هزینه‌های C مربوط به ماتریس تصمیم را محاسبه نمایید. ماتریس تصمیم مربوط به حداقل هزینه کل $\min C$ 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 A' و ماتریس اصلی A را محاسبه کنید و جهت بهینه‌سازی را با توجه به ماتریس تفاوت یعنی $(A' - A)$ تعیین نمایید. در فرایند حل الگو از دیدگاه تقاضا، باید مواضع کشور صادرکننده و کشور واردکننده را 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 (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۰) - بعد نظری: در مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰)، 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 اثرات مخرب زیست‌محیطی در آن به حداقل می‌رسد. به عبارت دیگر، هزینه تجارت در الگوی ساده پیشنهادی بر حسب حجم تجاری، فاصله جغرافیایی و میزان CO_2 منتشر شده در تجارت نفت خام بررسی و حداقل می‌شود.

وجه تمایز دیگر الگوی ساده پیشنهادی با مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰)، نوع شبکه‌ای می‌باشد که در نظر گرفته شده است. شبکه مورد نظر ما ساده است؛ اگرچه شبکه دونگ و همکاران (۲۰۲۰) شبکه دویخی می‌باشد. همچنین، ما شبکه واردات و صادرات را به‌طور جداگانه در نظر

گرفته‌ایم، این در حالی است که دونگ و همکاران (۲۰۲۰) تنها یک شبکه که دویخشی 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^۱ می‌باشد، در حالی که ارزش‌گذاری واردات بر اساس قیمت‌گذاری سیف^۲ است که هر دوی آن‌ها اصطلاح بازرگانی بین‌المللی^۳ برای حمل و نقل دریایی و آبراه داخلی^۴ 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.^۵

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 ۲۰۱۸ در قالب شبکه ساده و نه شبکه دوتایی مناسب‌تر باشد.

وجه تمایز الگوی پیشنهادی این مطالعه با مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰) – 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

1. Free on Board (FOB)

2. Cost, Insurance, Freight (CIF)

3. International Commercial Terms (Incoterms)

4. Inland Waterway

۵. برای مطالعه بیشتر به پایگاه اطلاعاتی زیر مراجعه شود.

<https://comtrade.un.org/db/help/ureadMeFirst.aspx>

به عنوان تجارت‌کننده نفت خام در نظر گرفته شده‌اند. از این رو در الگوی ساده پیشنهادی، ۱۷۸ کشور و قلمرو اقتصادی در نظر گرفته شده است.

وجه تشابه داده‌های مورد بررسی الگوی ساده پیشنهادی و مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۰) 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 ۲۰۱۸ در نظر می‌گیرد، در حالی که مطالعه دونگ و همکاران، سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ 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^۱ 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 (۲۰۲۰) - فروض الگو: در الگوی دونگ و همکاران (۲۰۲۰)، 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 (۲۰۲۰) 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.

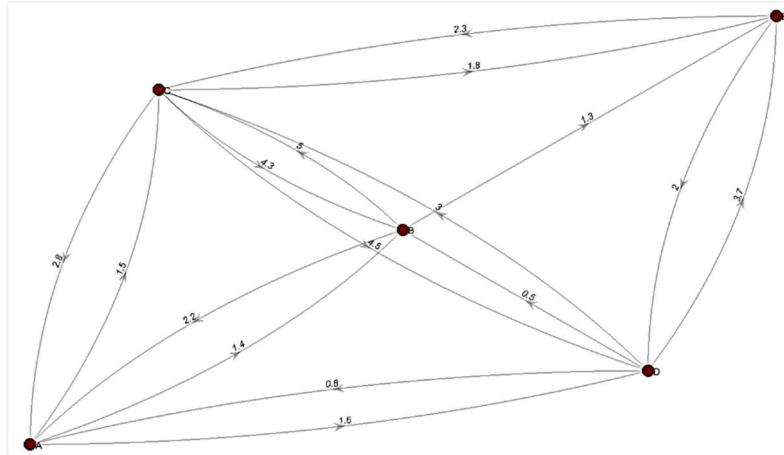
همان‌طور که اشاره شد، ساده‌ترین مسئله بهینه‌سازی غیر بدیهی^۲، درخت پوشای کمینه است. در این روش، از تمامی قسمت‌های یک گراف گذر می‌کند، به گونه‌ای که مجموع هزینه یال‌های درخت حداقل باشد (دوبرین و دوکسبری، ۲۰۰۱: ۵۰۷۶). به عبارت دیگر، در الگوریتم درخت پوشای کمینه به دنبال حداقل کردن هزینه‌های یک شبکه هستیم، به طوری که تعداد روابط در

1 . Great Circle Distance

2 . Non-Trivial Optimization Problem

شبکه به حداقل ممکن برسد. فرض کنید شبکه وزن دار و جهت‌داری به صورت شکل ۳ 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

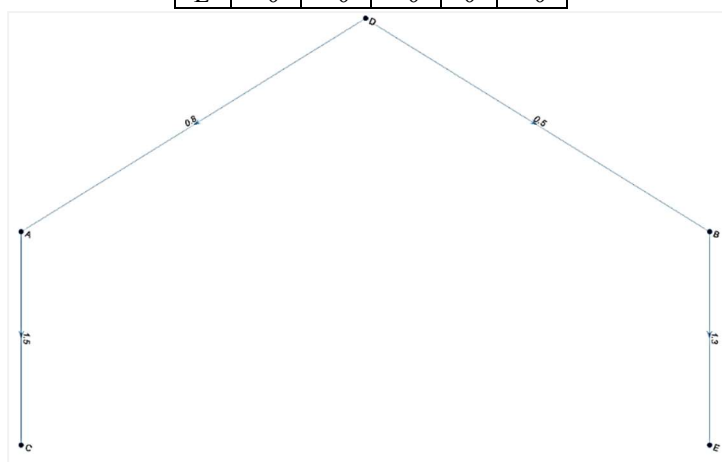


شکل ۳: شبکه نمونه برای یافتن شبکه بهینه

با اعمال الگوریتم درخت پوشای کمینه بر شبکه متصور در شکل ۳، شبکه‌ای ۵ رأسی با ۴ رابطه به شکل ۴ خواهیم داشت. شبکه بهینه به دست آمده در شکل ۴ با استفاده از جعبه‌ابزار نظریه گراف^۱ رسم شده است (ایگلین، ۲۰۰۹). همچنین، می‌توان از الگوریتم کروسکال^۲ نیز درخت پوشای کمینه یک شبکه را به دست آورد (پاپاکریستودیس، ۲۰۱۴). 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:

1 . Graph Theory
2 . Kruskal

	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

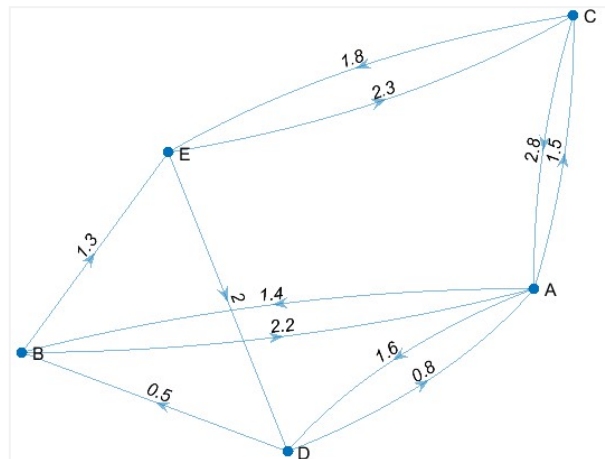


شکل ۴: شبکه بهینه با حداقل هزینه

فرض کنید که وزن روابط در شکل ۴، معادل گاز CO₂ منتشر شده به ازاء هر تن در مایل طی شده برای تجارت نفت باشد. به عبارتی، در صورتی که در ۱۰ مایل، ۵ تن نفت جابه‌جا شده باشد، وزن رابطه تجاری ۰.۵ خواهد بود (به عنوان مثال، رابطه بین رأس D و B). در این صورت، بر اساس شبکه نشان داده شده در شکل ۳ می‌توان این‌طور استدلال کرد که رئوس C و E تنها نقش واردکننده را ایفا کنند، رأس D تنها نقش صادرکننده و رئوس A و B 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 ۳ داشت، به گونه‌ای 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 ۵ را خواهیم داشت.



شکل ۵: 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 ۵ 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 ۱.۴ 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.

روش‌های سنجش کارایی و بهره‌وری اقتصادی ۱۷۳

	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.

۱۰	۵	۷	۸
۳	۱۵	۱۲	۹

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

۱۰	۵	۷	۰
۰	۱۵	۰	۹

برای پیدا کردن وزن‌های جدید به گونه‌ای 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 صورتی که ضریب آخرین درایه غیر صفر را z در نظر بگیریم، سطر اول را به صورت زیر خواهیم داشت.

$$30 - \left(\frac{10}{30} + \frac{10}{7}z + \frac{5}{30} + \frac{5}{7}z + \frac{7}{30} + z \right) = 0$$

به همین ترتیب می‌توان اوزان جدید را پیدا کرد.

۱۳.۶۳۶۴	۶.۸۱۸۲	۹.۵۴۵۵	۰
۰	۲۴.۳۷۵۰	۰	۱۴.۶۲۵۰

الگوی برنامه‌ریزی پویای اصلاح‌شده و الگوریتم تکراری به همراه باز توزیع تجارت نفت خام در الگوریتم برنامه‌ریزی پویای مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۱)، 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 (۲۰۲۱)، 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 (۲۰۲۱) این است که در الگوی پیشنهادی طرح پیش رو، روابط تجاری بالقوه بین تمامی ۱۷۸ کشور و ۱۲ 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.

$$B = \begin{bmatrix} C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & 0 & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ C2 & b_{21} & 0 & b_{23} & b_{24} \\ C3 & b_{31} & b_{32} & 0 & b_{34} \\ C4 & b_{41} & b_{42} & b_{43} & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & 0 & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ C2 & d_{21} & 0 & d_{23} & d_{24} \\ C3 & d_{31} & d_{32} & 0 & d_{34} \\ C4 & d_{41} & d_{42} & d_{43} & 0 \end{bmatrix}$$

که در آن، C_i مبین کشور/ منطقه i و در ماتریس B، b_{ij} 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 ۱: واردات و صادرات کشورها در الگوی نمونه

واردات	صادرات	منطقه
$M_1 = b_{21} + b_{31} + b_{41}$	$X_1 = b_{12} + b_{13} + b_{14}$	C1
$M_2 = b_{12} + b_{32} + b_{42}$	$X_2 = b_{21} + b_{23} + b_{24}$	C2
$M_3 = b_{13} + b_{23} + b_{43}$	$X_3 = b_{31} + b_{32} + b_{34}$	C3
$M_4 = b_{14} + b_{24} + b_{34}$	$X_4 = b_{41} + b_{42} + b_{43}$	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 ۱ 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 ۱ صادرات C1 معادل X_1 است. حال اگر M_1 (واردات همین کشور/ منطقه) کمتر یا مساوی X_1 باشد؛ کشور/ منطقه C1 می‌تواند تمام نیاز وارداتی خود را تأمین کند. در غیر این صورت، تنها به میزان X_1 از نیاز وارداتی خود را می‌تواند تأمین نماید. به منظور توضیح فرایند بازتوزیع صادرات، فرض کنید که $M_1 < X_1$ باشد؛ در این صورت، C1 می‌تواند نیاز وارداتی خود

را به‌طور کامل تأمین کند بنابراین، $X_1 - M_1$ واحد باقی‌مانده می‌تواند بین سایر مناطق تخصیص داده شود.

حال در صورتی که $M_4 \leq X_1 - M_1$ باشد، کل نیاز وارداتی C4 تأمین می‌شود؛ در غیر این صورت تنها بخشی از نیاز آن (به میزان $X_1 - M_1$) 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 $M_4 < X_1 - M_1$ باشد. در این صورت؛ C1 می‌تواند به میزان $X_1 - M_1 - M_4$ از نیاز وارداتی C3 را تأمین کند. در صورتی که $M_3 \leq X_1 - M_1 - M_4$ باشد، کل نیاز وارداتی C3 تأمین می‌شود؛ در غیر این صورت تنها بخشی از نیاز آن (به میزان $X_1 - M_1 - M_4$) تأمین شده و C1 دیگر نمی‌تواند نیاز C2 را تأمین نماید. بنابراین، نیاز وارداتی C2 توسط سایر کشورها تأمین می‌شود.

حال فرض کنید که $M_3 < X_1 - M_1 - M_4$ باشد. در این صورت کل نیاز وارداتی C3 توسط C1 تأمین می‌شود و C1 می‌تواند به میزان $X_1 - M_1 - M_4 - M_3$ نیاز C2 را تأمین کند. حال اگر $M_2 \leq X_1 - M_1 - M_4 - M_3$ باشد، کل نیاز C2 توسط C1 تأمین می‌شود؛ در غیر این صورت تنها به میزان $X_1 - M_1 - M_4 - M_3$ 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.

$$Q = \begin{bmatrix} C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & M_1 & X_1 - M_1 - M_4 - M_3 & X_1 - M_1 - M_4 \\ C2 & 0 & 0 & 0 \\ C3 & 0 & 0 & 0 \\ C4 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

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

در اینجا توجه به چند نکته ضروری است:

در مطالعه دونگ و همکاران (۲۰۲۱)، 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 (۲۰۲۱)، 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 (۲۰۲۱) 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 (۲۰۲۱) 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 ۴ منطقه/ کشوری فوق ۴ فاکتوریل حالت، یعنی ۲۴ 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

۶- شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود بر حسب

هزینه‌های انرژی و زیست‌محیطی

به پیروی از دو و همکاران (۲۰۱۶)، شیرازی و همکاران (۲۰۲۰)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)، شهنازی و همکاران (۲۰۲۳) در این مطالعه از داده‌های واردات و صادرات نفت خام (HS با کد ۲۷۰۹۰۰) 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، ۲۰۱۹)، داده‌های مربوط به سال ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

همچنین از آنجایی که کارایی محلی بر اساس فاصله بین رؤس 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 ۱، خلاصه داده‌های مورد استفاده و مرجع را بیان می‌کند.

جدول ۱: 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 ^۱ (HS با کد ۲۷۰۹۰۰)	واردات کمینه: صفر؛ بیشینه: ۴۶۹/۱۵ واردات چین؛ میانگین: ۱۲/۸۹؛ میانه: ۰/۰۵
		صادرات کمینه: صفر؛ بیشینه: ۲۹۹/۵۶ صادرات عربستان سعودی؛ میانگین: ۱۲/۰۲؛ میانه: ۰/۰۵
بنادر نفتی	رصدخانه جهانی انرژی ^۲	موضوعیت ندارد
فاصله بین بنادر نفتی	فاصله دریایی ^۳	کمینه: ۲۸/۷۷ (بین ایران و عراق) بیشینه: ۱۵۷۰۴/۶۹ (بین عربستان سعودی و پرو) میانگین: ۴۵۷۵/۳۷؛ میانه: ۴۲۹۵/۸۶

۱ . <https://comtrade.un.org/data/>

۲ . http://globalenergyobservatory.org/list.php?db=Transmission&type=Oil_Ports

۳ . <https://sea-distances.org/>

فاصله بین کشورها*	محاسبه‌گر فاصله ^۱	کمینه: ۵۵/۸۶ (بین اسرائیل و فلسطین) بیشینه: ۱۱۲۷۶/۰۳ (بین قزاقستان و فیلیپین) میانگین: ۲۲۳۵/۲۶؛ میانه: ۱۸۷۸/۰۳
فاصله جغرافیایی بین مناطق	محاسبه دایره بزرگ ^۲ (محاسبات تحقیق)	موضوعیت ندارد
انتشار CO ₂	آژانس محیط‌زیست اروپا ^۳	
ارجحیت تجارت دریایی نفت خام	انرژی‌های سیاره ^۴	موضوعیت ندارد
انتشار گاز متان از خطوط انتقال نفت و گاز	آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده ^۵	موضوعیت ندارد
قیمت جهانی سوخت در سال ۲۰۱۸	آژانس بین‌المللی انرژی ^۶	مقدار ثابت معادل ۱/۰۵ 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 (۲) 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.

۱ . <https://www.distance.to/>

۲ . طول و عرض جغرافیایی از درگاه زیر گرفته شده است.

<https://www.latlong.net/>

۳ . https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/specific-co2-emissions-per-tonne-2#tab-chart_1

۴ . <https://www.planete-energies.com/en/media/article/transporting-oil-sea>

۵ . <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>

۶ . <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-fuel-price-changes-2005-2018>

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۱۸۳ ♦

جدول ۲: اطلاعات مرتبط با انتشار CO₂

نوع جابجایی	انتشار* CO ₂	بیشترین هزینه انتشار	کمترین هزینه انتشار	میانگین هزینه انتشار	میانگین هزینه انتشار
دریایی	۱۴۳/۲۴	۱۴۷۹۱۸۸۱۵/۴۶	۱۲/۶۰		
خط لوله	۶۷/۴۳	مگاتن-کیلومتر (بین روسیه و چین)	تن-کیلومتر (بین لوکزامبورگ و بلژیک)		
راه آهن	۱۹/۰۳	نوع جابجایی: دریایی	نوع جابجایی: خط لوله	۱۷۰۷۷۱۶/۲۱ مگاتن-کیلومتر	۲۶۰۱۲/۱۴ مگاتن-کیلومتر
زمینی	۱۴۵/۸۰				

مأخذ: یافته‌های تحقیق

* ارقام اشاره شده، میانگین انتشار گاز کربن دی‌اکسید طی دوره ۲۰۱۴-۲۰۰۰ است. ارقام انتشار گاز کربن دی‌اکسید به ازاء هر تن-کیلومتر است.

لازم به ذکر است که شبکه بهینه تجارت در سطح منطقه‌ای، ۱۲ منطقه تجاری در نظر گرفته شده‌اند که به شرح جدول ۳ هستند. همچنین فاصله بین مناطق بر حسب فاصله دایره بزرگ^۱ محاسبه گردیده که این کار به کمک طول و عرض جغرافیایی مناطق محاسبه می‌شود. در مطالعه حاضر، محاسبه فاصله بین مناطق بر حسب دایره بزرگ به کمک نرم‌افزار متلب انجام شده است.

جدول ۳: 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	۵	گابن	https://www.worldatlas.com/articles/top-10-oil-producing-countries-in-africa.html
سایر کشورهای آفریقا	۴۱	جمهوری آفریقای مرکزی	https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-africa
کشورهای اروپایی صادرکننده عمده نفت	۲	دریای شمالی	https://www.worldatlas.com/articles/the-top-oil-producing-nations-in-europe.html
کشورهای	۳۱	اروپا	https://www.worldometers.info/geography/how

1 . Great Circle Distance

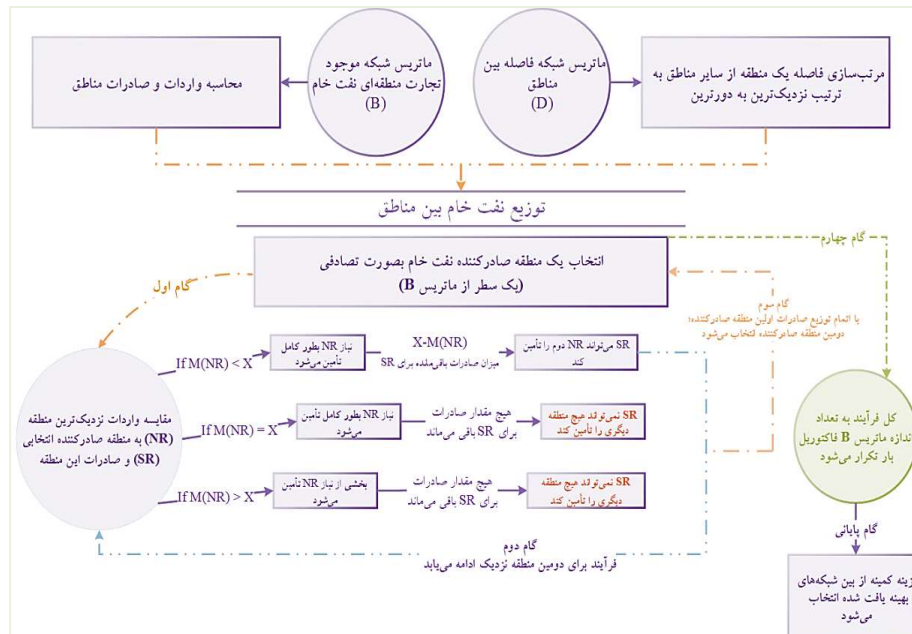
منبع	منطقه معیار برای سنجش طول و عرض جغرافیایی	تعداد کشورهای منطقه تجاری*	کشور/ منطقه تجاری
-many- /countries-in-europe			اروپایی
-	روسیه	۱	روسیه
https://www.mapsofindia.com/neighbouring-countries-maps/india-china-map.html	گواتی، ^۱ شهری در شمال شرقی هند و هم مرز با چین	۲	چین و هند
https://www.worldometers.info/geography/7-/continents/north-america	آمریکای شمالی	۲۰	آمریکای شمالی
https://www.worldometers.info/population/countries-in-south-america-by-population	آمریکای جنوبی	۱۳	آمریکای جنوبی
-	آمریکا	۱	آمریکا
https://www.worldatlas.com/articles/which-are-the-middle-eastern-countries.html	خاورمیانه	۱۶	خاورمیانه
https://www.worldometers.info/geography/how-many-countries-in-asia	اندونزی (کشوری در بین دو قاره)	۳۳	سایر کشورهای آسیا و اقیانوسیه
https://worldpopulationreview.com/country-rankings/soviet-union-countries	اورالسک، ^۲ شهری در قزاقستان	۱۳	کشورهای شوروی سابق بجز روسیه

مأخذ: یافته‌های تحقیق

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

شکل ۱ شمای کلی نحوه استخراج شبکه بهینه را نشان می‌دهد.

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۱۸۵



شکل ۱: شمای کلی استخراج شبکه بهینه تجارت نفت خام

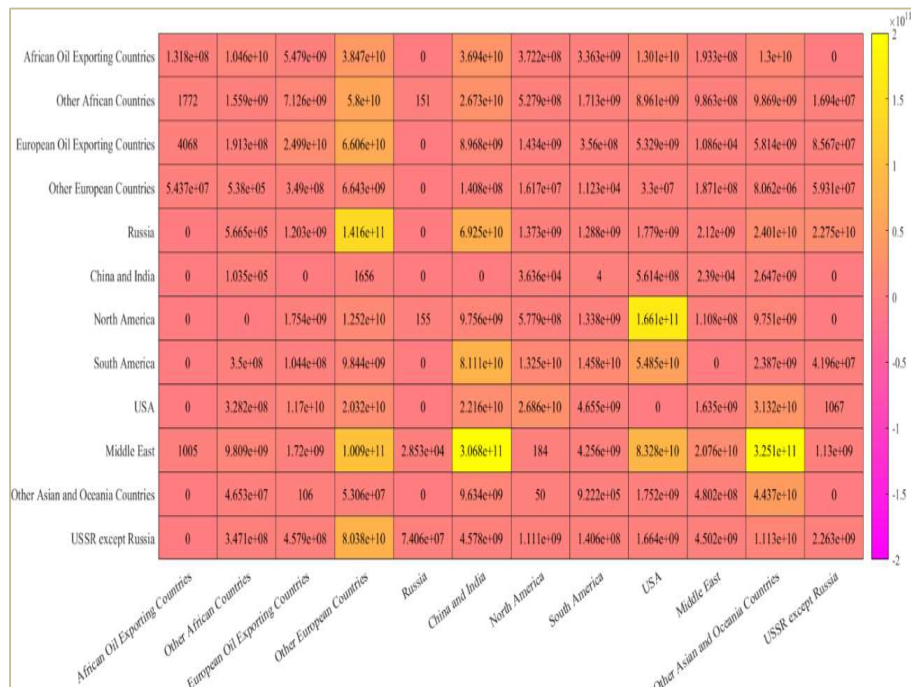
مأخذ: یافته‌های پژوهش

۶-۱- ویژگی‌های زیست‌محیطی و مصرف انرژی شبکه منطقه‌ای صادرات نفت خام

۶-۱-۱- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام - شبکه موجود

مشخصات کلی شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

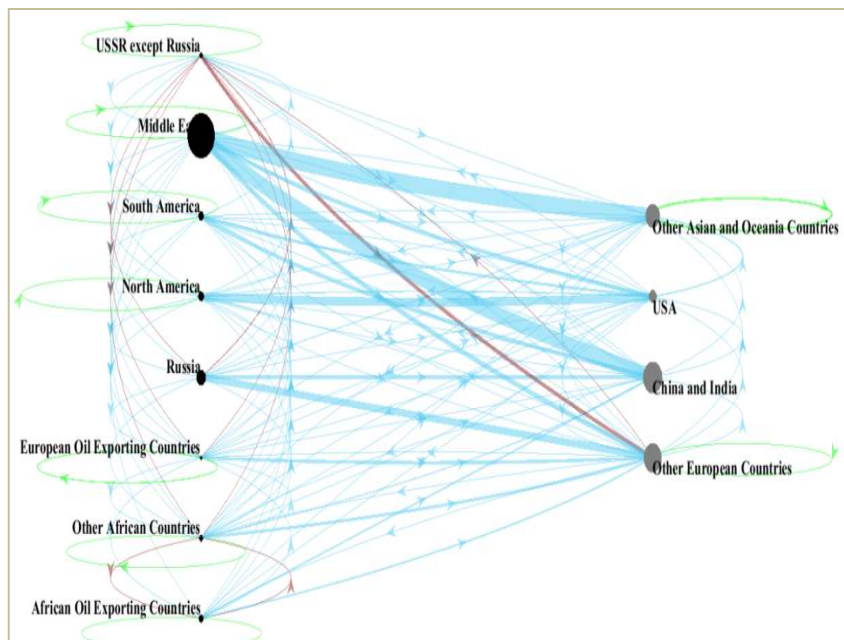
شبکه تجارت نفت خام منطقه‌ای بر اساس مجموع تجارت بین کشورها در درون و بین مناطق مطابق با شبکه تجارت نفت ۱۷۸ کشوری طراحی شده است. در نتیجه، شبکه تجارت نفت منطقه‌ای موجود از ۱۲ رأس (منطقه) و ۱۲۰ رابطه تجاری تشکیل شده که ۱۲۰ رابطه شامل ۱۱۱ روابط تجاری بین منطقه‌ای و ۹ رابطه تجاری درون منطقه‌ای است. شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب ماتریس الحاقی با ابعاد ۱۲ در ۱۲ و نمودار شبکه مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل ۲: 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 ۲۰۱۸ 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 ۳: گراف شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

مأخذ: یافته‌های تحقیق

شکل ۳ 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 ۳ 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 (۳) 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 ۴ اطلاعات مربوط به انتشار گاز کربن در شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام را خلاصه می‌کند.

جدول ۴: گاز کربن منتشر شده در شبکه موجود تجارت منطقه‌ای نفت خام

منطقه	نفت خام صادر شده منطقه (تن-کیلومتر)	کل کربن منتشر شده 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	۱۱E+۹/۳۴	۱۴E+۱/۳۳	۱۵E+۱/۶۷	۷/۹۶	۱۴E+۱/۳۹
سایر کشورهای آفریقایی	۱۱E+۷/۵۵	۱۴E+۱/۰۸		۶/۴۸	
کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام	۱۱E+۲/۹۲	۱۳E+۴/۱۸		۲/۵۰	
سایر کشورهای	۰۹E+۳/۱۴	۱۱E+۴/۴۱		۰/۰۳	

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۱۸۹ ♦

					اروپایی
	۱۰/۸۰		۱۴E+۱/۸۰	۱۲E+۱/۳۰	روسیه
	۰/۱۵		۱۲E+۲/۴۹	۱۰E+۱/۷۴	چین و هند
	۴/۹۸		۱۳E+۸/۳۲	۱۱E+۵/۸۱	آمریکای شمالی
	۱۴/۱۶		۱۴E+۲/۳۶	۱۲E+۱/۶۵	آمریکای جنوبی
	۹/۳۹		۱۴E+۱/۵۷	۱۲E+۱/۰۹	ایالات متحده
	۴۰/۹۸		۱۴E+۶/۸۴	۱۲E+۴/۷۷	خاورمیانه
	۰/۵۸		۱۲E+۹/۶۴	۱۰E+۶/۷۳	سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه
	۱/۹۸		۱۳E+۳/۳۱	۱۱E+۳/۱۹	اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود؛ روسیه، آمریکای جنوبی، ایالات متحده آمریکا و خاورمیانه بیشتر از میانگین انتشار کربن در شبکه تجارت نفت خام کنونی، گاز دی اکسید کربن منتشر می‌کنند. دقت شود که بیشترین میزان انتشار گاز کربن مربوط به خاورمیانه است که حدود ۴۱ 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 ۲/۶۸ کیلوگرم یا معادل آن ۲۶۸۰ گرم دی‌اکسید کربن تولید می‌کند. بنابراین هر گرم دی‌اکسید کربن برابر با $\frac{1}{2680}$ لیتر گازوئیل است. بر این اساس، مصرف انرژی هر منطقه در صادرات نفت خام برابر با $\frac{\text{کل کربن منتشرشده منطقه}}{2680}$ 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 ۲۶۸۰ برابر است. در صورتیکه نوع حمل‌ونقل به صورت خط لوله باشد؛ گاز متان منتشر می‌شود و هر گرم متان معادل ۲۵۰۰۰ گرم گاز دی‌اکسید کربن است. در نتیجه، مخرج کسر فوق معادل ۲۵۰۰۰ می‌شود؛ یعنی $\frac{\text{کل کربن منتشرشده منطقه}}{25000}$. جدول ۵ اطلاعات مربوط به مصرف کل انرژی در هر منطقه بر حسب واحدهای لیتر دیزل و مگا ژول را ارائه می‌دهد.

جدول ۵: 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	۱۰E+۴/۹۲	۱۲E+۱/۸۷	۱۳E+۲/۳۴	۷/۹۸	۱۲E+۱/۹۵
سایر کشورهای آفریقایی	۱۰E+۴/۰۴	۱۲E+۱/۵۳		۶/۵۳	
کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام	۱۰E+۱/۵۶	۱۱E+۵/۹۲		۲/۵۳	
سایر کشورهای اروپایی	۰۸E+۱/۶۲	۰۹E+۶/۱۶		۰/۰۳	
روسیه	۱۰E+۶/۵۵	۱۲E+۲/۴۹		۱۰/۶۲	
چین و هند	۰۸E+۹/۳۰	۱۰E+۳/۵۳		۰/۱۵	
آمریکای شمالی	۱۰E+۳/۱۰	۱۲E+۱/۱۸		۵/۰۳	
آمریکای جنوبی	۱۰E+۸/۸۲	۱۲E+۳/۳۵		۱۴/۲۹	
ایالات متحده	۱۰E+۵/۸۴	۱۲E+۲/۲۲		۹/۴۷	
خاورمیانه	۱۱E+۲/۵۵	۱۲E+۹/۷۰		۴۱/۳۹	
سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه	۰۹E+۳/۶۰	۱۱E+۱/۳۷		۰/۵۸	
اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه	۰۹E+۸/۶۲	۱۱E+۳/۲۷		۱/۴۰	

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.

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۱۹۱

همچنین، خاورمیانه بیش از ۴۱ 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 ۶ است.

جدول ۶: ویژگی‌های شبکه منطقه‌ای صادرات نفت خام

تعداد کشور/ منطقه تجاری												۱۲
تعداد روابط تجاری												۱۲۰
کل کربن منتشر شده (گرم)												۱۵E+۱/۶۷
کل انرژی مصرفی (مگا ژول)												۱۳E+۲/۳۴
کربن منتشر شده توسط هر منطقه (گرم)*												
۱.م	۲.م	۳.م	۴.م	۵.م	۶.م	۷.م	۸.م	۹.م	۱۰.م	۱۱.م	۱۲.م	
۳۳	۸	۱۸	۴۱	۸۰	۴۹	۸/۳۲	۳۶	۵۷	۸۴	۶۴	۳۱	
E+۱	E+۱	E+۴	E+۴	E+۱	E+۲	۱۳E+	E+۲	E+۱	E+۶	E+۹	E+۳	
۱۴	۱۴	۱۳	۱۱	۱۴	۱۲		۱۴	۱۴	۱۴	۱۲	۱۳	
انرژی مصرفی هر منطقه (مگاژول)*												
۱.م	۲.م	۳.م	۴.م	۵.م	۶.م	۷.م	۸.م	۹.م	۱۰.م	۱۱.م	۱۲.م	
۸۷	۵۳	۹۲	۱۶	۴۹	۵۳	۱/۱۸	۳۵	۲۲	۷۰	۳۷	۲۷	
E+۱	E+۱	E+۵	E+۶	E+۲	E+۳	۱۲E+	E+۳	E+۲	E+۹	E+۱	E+۳	
۱۲	۱۲	۱۱	۰۹	۱۲	۱۰		۱۲	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

* منظور از م. منطقه است. به این ترتیب، مناطق عبارت‌اند از: منطقه ۱: کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه ۲: سایر کشورهای آفریقایی؛ منطقه ۳: کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه ۴: سایر کشورهای اروپایی؛ منطقه ۵: روسیه؛ منطقه ۶: چین و هند؛ منطقه ۷: آمریکای شمالی؛ منطقه ۸: آمریکای جنوبی؛ منطقه ۹: ایالات متحده آمریکا؛ منطقه ۱۰: خاورمیانه؛ منطقه ۱۱: سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه؛ منطقه ۱۲: اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه.

۶-۱-۲- شبکه تجارت منطقه‌ای نفت خام- شبکه بهینه

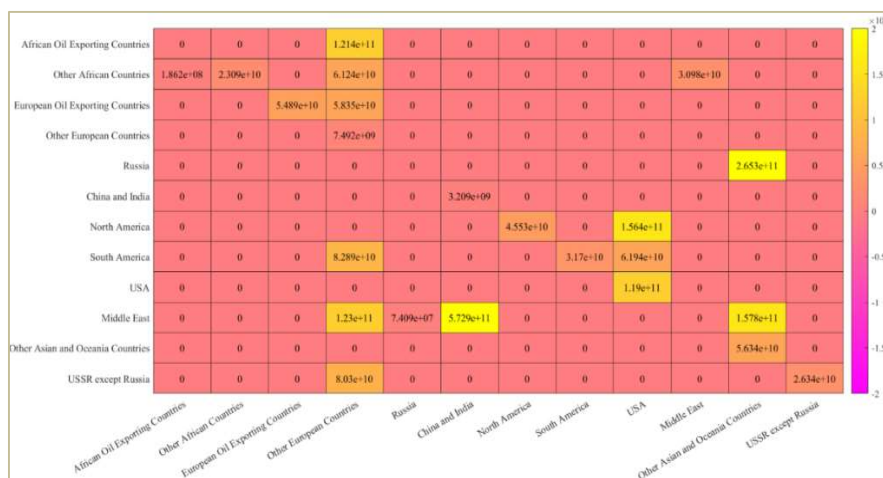
مشخصات کلی شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

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 ۱۲ رأس (منطقه) و ۲۳ پیوند تجاری

است. ۲۳ رابطه تجاری از ۱۴ رابطه تجاری بین منطقه‌ای و ۹ 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 ۴ و ۵ به ترتیب ماتریس الحاقی با ابعاد ۱۲ در ۱۲ شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای و گراف مربوطه را نشان می‌دهند.



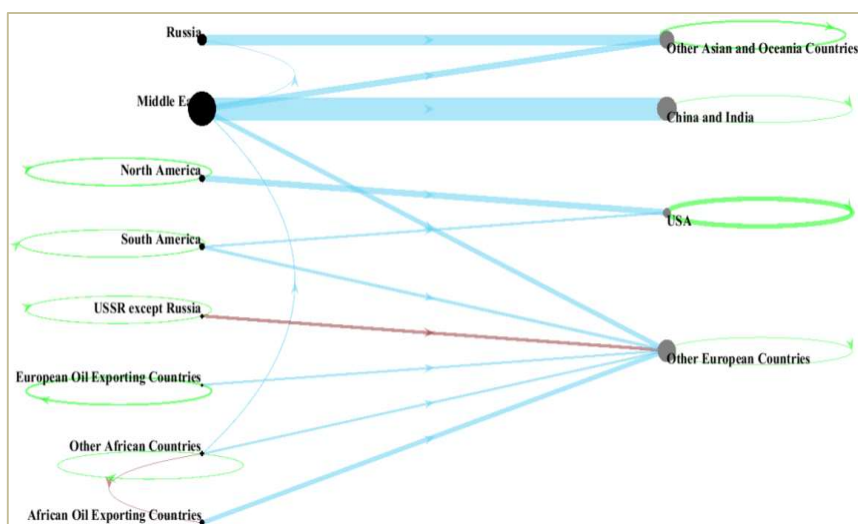
شکل ۴: ماتریس الحاقی شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

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

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۱۹۳ ♦

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 ۵: گراف شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همانند گراف شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه‌ای، پیوندهای تجاری ضخیم‌تر در شکل ۵ 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^۱ در شکل ۴ و نمودار شبکه به نسبت خلوت در شکل ۵ شاهی 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 ۵ 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 (۴) با روشن‌ترین رنگ درایه ماتریس الحاقی نشان داده شده است.

از نظر نوع جابه‌جایی نفت خام توجه شود که مطابق شکل ۵، 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 به جز 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 ۷ آورده شده است.

جدول ۷: گاز کربن منتشر شده در شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

منطقه	نفت خام صادر شده منطقه (تن-کیلومتر)	کل کربن منتشر شده 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	۱۱E+۶/۸۰	۱۳E+۹/۷۴	۱۵E+۱/۱۲	۸/۷۰	۱۳E+۹/۳۳
سایر کشورهای	۱۱E+۴/۲۲	۱۳E+۶/۰۴		۵/۳۹	

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۱۹۵

منطقه	نفت خام صادر شده منطقه (تن-کیلومتر)	کل کربن منتشر شده توسط منطقه (گرم)	کل کربن منتشر شده (گرم)	سهم هر منطقه از انتشار کربن (درصد)	میانگین کربن منتشر شده (گرم)
آفریقایی					
کشورهای اروپایی صادر کننده نفت خام	۱۰E+۹/۳۹	۱۳E+۱/۳۵		۱/۲۱	
سایر کشورهای اروپایی	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
روسیه	۱۲E+۱/۸۵	۱۴E+۲/۶۵		۲۳/۶۶	
چین و هند	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
آمریکای شمالی	۱۱E+۲/۰۱	۱۳E+۲/۸۸		۲/۵۷	
آمریکای جنوبی	۱۱E+۹/۹۹	۱۴E+۱/۴۳		۱۲/۷۷	
ایالات متحده	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
خاورمیانه	۱۲E+۳/۴۹	۱۴E+۵/۰۰		۴۴/۶۴	
سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه	۱۱E+۱/۶۲	۱۳E+۱/۰۹		۰/۹۷	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

میزان کربن منتشر شده توسط خاورمیانه، روسیه، آمریکای جنوبی و کشورهای صادر کننده 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،^۱ زیرا در شبکه تجارت بهینه نفت خام، ایالات متحده تأمین کننده نفت خام مناطق دیگر نیست.

۱. از آنجایی که فرض شده فاصله هر منطقه از خودش صفر است و مقدار کربن منتشر شده تابعی از فاصله بین مناطق است؛ مقدار انتشار گاز کربن در تجارت درون منطقه‌ای صفر می‌شود.

مصرف انرژی در شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام
جدول ۸ مصرف انرژی در هر منطقه را بر حسب واحد لیتر- دیزل و مگاژول در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای نشان می‌دهد.

جدول ۸: مصرف انرژی در شبکه بهینه تجارت منطقه‌ای نفت خام

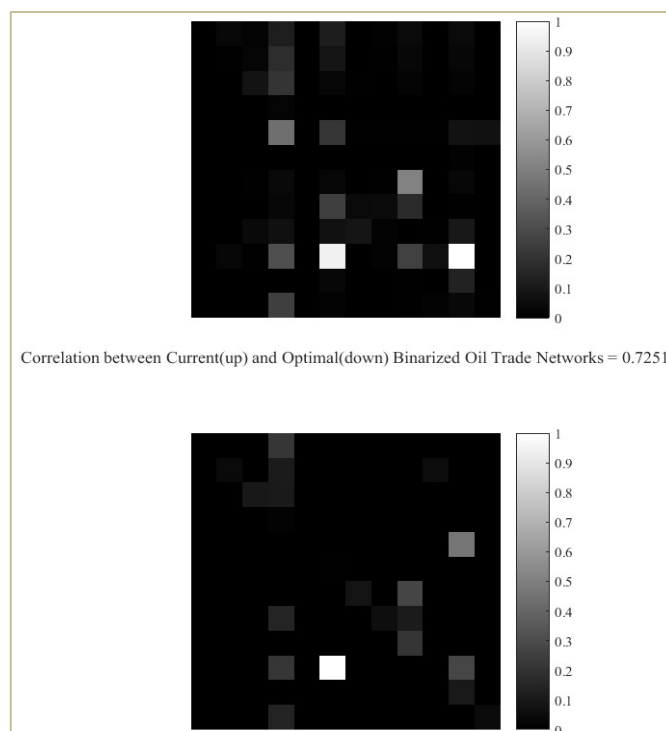
منطقه	انرژی مصرفی منطقه (لیتر-دیزل)	انرژی مصرفی منطقه (مگاژول)	کل انرژی مصرفی (مگاژول)	سهم هر منطقه از کل انرژی مصرفی (درصد)	میانگین انرژی مصرفی (مگاژول)
کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام	۱۰E+۳/۶۳	۱۲E+۱/۳۸	۱۳E+۱/۵۷	۸/۷۹	۱۲E+۱/۳۱
سایر کشورهای آفریقایی	۱۰E+۲/۲۵	۱۱E+۸/۵۷		۵/۴۶	
کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام	۰۹E+۵/۰۲	۱۱E+۱/۹۱		۱/۲۲	
سایر کشورهای اروپایی	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
روسیه	۱۰E+۹/۸۸	۱۲E+۳/۷۵		۲۳/۸۹	
چین و هند	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
آمریکای شمالی	۱۰E+۱/۰۷	۱۱E+۴/۰۸		۲/۶۰	
آمریکای جنوبی	۱۰E+۵/۳۴	۱۲E+۲/۰۳		۱۲/۹۳	
ایالات متحده	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
خاورمیانه	۱۱E+۱/۸۷	۱۲E+۷/۰۹		۴۵/۱۶	
سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	
اتحاد جماهیر شوروی به جز روسیه	۰۸E+۴/۳۷	۱۰E+۱/۶۶		۰/۱۱	

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 ۴۵ درصد از کل مصرف انرژی در شبکه تجارت نفت خام را به خود اختصاص داده است.

۳-۱-۶- 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 ۶ شباهت بین دو شبکه را بر اساس حجم معاملات بین مناطق نشان می‌دهد.

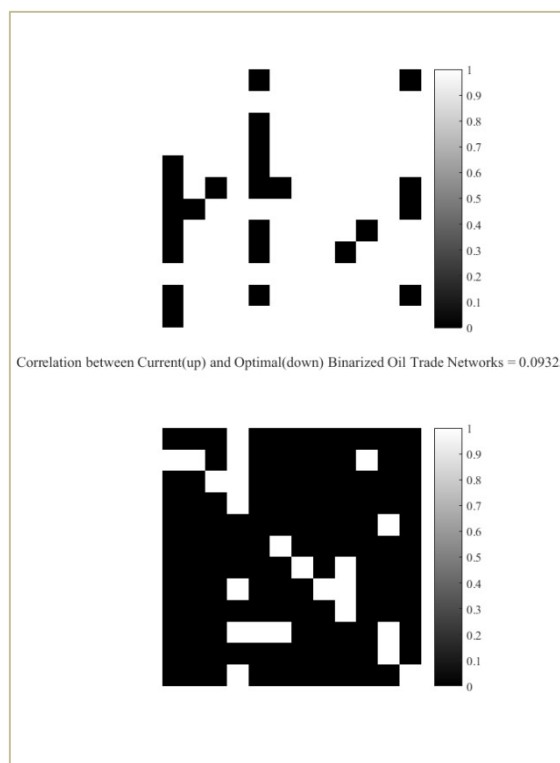


شکل ۶: همبستگی بین شبکه‌های وزنی تجارت کنونی و بهینه منطقه‌ای نفت خام

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 ۷۳ 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. در نتیجه، همبستگی بین شبکه‌های تجارت نفت خام منطقه‌ای بهینه و کنونی دوتایی (بدون وزن) محاسبه می‌شود. شکل ۷ الگوی رابطه تجاری در شبکه‌های مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۷: همبستگی بین شبکه‌های بدون وزن تجارت کنونی و بهینه منطقه‌ای نفت خام
مأخذ: یافته‌های تحقیق

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۱۹۹

شکل ۷ 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 ۹ 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 ۴ 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 ۹ این اطلاعات با جزئیات خلاصه شده است.

جدول ۹: مقایسه ویژگی‌های شبکه کنونی و بهینه صادرات نفت خام منطقه‌ای

تعداد کشور / منطقه تجاری		۱۲									
تعداد روابط تجاری		شبکه موجود: ۱۲۰	شبکه بهینه: ۲۳								
تغییرات: ۸۰/۸۳٪ کاهش											
کل کربن منتشر شده (گرم)		شبکه موجود ۱۵E+۱/۶۷	شبکه بهینه ۱۵E+۱/۱۲								
تغییرات: ۳۲/۹۳٪ کاهش											
کل انرژی مصرفی (مگا ژول)		شبکه موجود ۱۳E+۲/۳۴	شبکه بهینه ۱۳E+۱/۵۷								
تغییرات: ۳۲/۹۱٪ کاهش											
مقایسه کربن منتشر شده توسط هر منطقه (درصد کاهش)**											
۱.م	۲.م	۳.م	۴.م	۵.م	۶.م	۷.م	۸.م	۹.م	۱۰.م	۱۱.م	۱۲.م
۲۷	۴۴	۶۸	۱۰۰	۴۷	۱۰۰	۶۵	۳۹	۱۰۰	۲۷	۱۰۰	۶۷
مقایسه انرژی مصرفی هر منطقه (درصد کاهش)**											
۱.م	۲.م	۳.م	۴.م	۵.م	۶.م	۷.م	۸.م	۹.م	۱۰.م	۱۱.م	۱۲.م
۲۶	۴۴	۶۸	۱۰۰	۵۱	۱۰۰	۶۵	۳۹	۱۰۰	۲۷	۱۰۰	۹۵

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 ۱: کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه ۲: سایر کشورهای آفریقایی؛ منطقه ۳: کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام؛ منطقه ۴: سایر کشورهای اروپایی؛ منطقه ۵: روسیه؛ منطقه ۶: چین و هند؛ منطقه ۷: آمریکای شمالی؛ منطقه ۸: آمریکای جنوبی؛ منطقه ۹: ایالات متحده آمریکا؛ منطقه ۱۰: خاورمیانه؛ منطقه ۱۱: سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه؛ منطقه ۱۲: اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه.

در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای، تعداد روابط تجاری دوجانبه به شدت کاهش یافته است (حدود ۸۱ درصد). این موضوع منجر به کاهش عمده (حدود ۳۳ 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^۱ (۲۰۱۱) 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 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، ۲۰۲۳).

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 ۴۲ 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 در نتیجه انتشار کربن و مصرف انرژی آن در شبکه تجارت بهینه ۱۰۰ 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، ۲۰۲۳). 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 ۱۰۰ درصدی انتشار کربن در شبکه بهینه می‌باشد.

ایالات متحده آمریکا سومین منطقه با کاهش ۱۰۰ 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 در نتیجه، انتشار کربن و مصرف انرژی آن در شبکه بهینه برابر با صفر است.

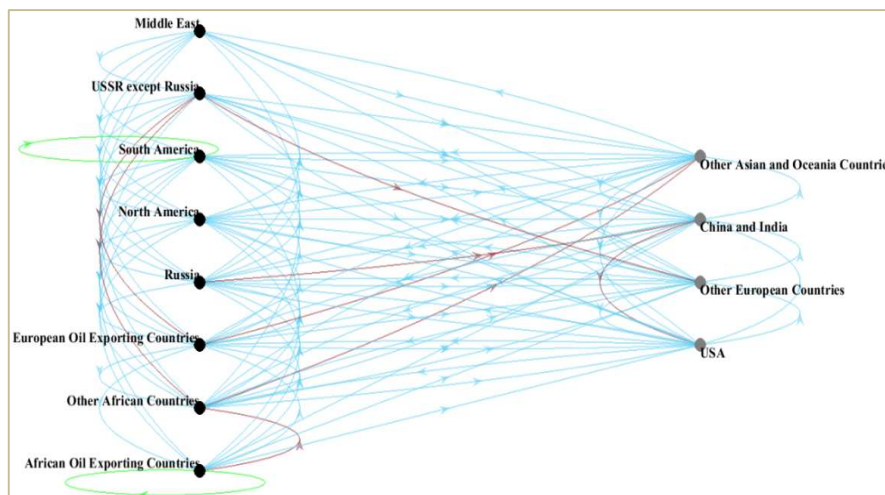
سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه آخرین منطقه با انتشار کربن صفر در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای است. این منطقه تأمین‌کننده قابل توجهی برای سایر مناطق در شبکه اصلی نبوده و تنها نقش واردکننده را در شبکه بهینه ایفا می‌کند. این به معنی کاهش ۱۰۰ درصد انتشار کربن آن در شبکه بهینه است.

در نهایت، مقایسه تغییرات در انتشار کربن و مصرف انرژی مورد توجه است. طبق جدول ۹، 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 به جز روسیه تنها از طریق نوع حمل‌ونقل خط لوله (داخلی) انجام می‌شود که گاز دی‌اکسید کربن 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.

۴-۱-۶- 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 (۸) شکاف بین دو شبکه را نشان می‌دهد.



شکل ۸: شکاف بین شبکه بهینه و شبکه کنونی تجارت نفت خام منطقه‌ای

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در بین تمامی ۹ 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 ۱۴ رابطه تجاری از طریق خط لوله در شبکه تجارت بهینه باقی می‌مانند که باعث کاهش ۸۶ درصدی در نوع تجارت خط لوله شبکه بهینه شده است. علاوه بر این، ۸۵ 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.

شبکه بهینه تجارت نفت و شکاف بین شبکه بهینه و شبکه موجود ۲۰۳

از نظر جنبه هزینه مالی، شکاف بین دو شبکه برابر با ۲۱۲/۵۸ میلیارد دلار است. به عبارتی، بیش از ۳۲ 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 ۲۰۱۸ (دلار به ازاء هر لیتر دیزل) در انرژی مصرفی جهت جابجایی نفت خام بین مناطق (بر حسب لیتر-دیزل) به دست می‌آید. جدول (۱۰) تجزیه و تحلیل هزینه‌های مالی را به طور دقیق‌تر ارائه می‌کند.

جدول ۱۰: 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)	مالی (میلیارد دلار)	کل هزینه مالی (میلیارد دلار)	
کشورهای آفریقایی صادرکننده نفت خام	۱۰E+۳/۶۳	۳۸/۱۲	۴۳۴/۸۶	۱۰E+۴/۹۲	۵۱/۶۶	۶۴۷/۴۴	-۲۶/۲۲
سایر کشورهای آفریقایی	۱۰E+۲/۲۵	۲۳/۶۳		۱۰E+۴/۰۴	۴۲/۴۲		-۴۴/۳۱
کشورهای اروپایی صادرکننده نفت خام	۰۹E+۵/۰۲	۵/۲۷		۱۰E+۱/۵۶	۱۶/۳۸		-۶۷/۸۲
سایر کشورهای اروپایی	۰/۰۰	۰/۰۰		۰۸E+۱/۶۲	۰/۱۷		-۱۰۰
روسیه	۱۰E+۹/۸۸	۱۰۳/۷۴		۱۰E+۶/۵۵	۶۸/۷۸		۵۰/۸۱
چین و هند	۰/۰۰	۰/۰۰		۰۸E+۹/۳۰	۰/۹۸		-۱۰۰
آمریکای شمالی	۱۰E+۱/۰۷	۱۱/۲۴		۱۰E+۳/۱۰	۳۲/۵۵		-۶۵/۴۸
آمریکای جنوبی	۱۰E+۵/۳۴	۵۶/۰۷		۱۰E+۸/۸۲	۹۲/۶۱		-۳۹/۴۶
ایالات متحده	۰/۰۰	۰/۰۰		۱۰E+۵/۸۴	۶۱/۳۲		-۱۰۰
خاورمیانه	۱۱E+۱/۸۷	۱۹۶/۳۵		۱۱E+۲/۵۵	۲۶۷/۷۵		-۲۶/۶۷
سایر کشورهای آسیایی و اقیانوسیه	۰/۰۰	۰/۰۰		۰۹E+۳/۶۰	۳/۷۸		-۱۰۰
اتحاد جماهیر شوروی به‌جز روسیه	۰۸E+۴/۳۷	۰/۴۶		۰۹E+۸/۶۲	۹/۰۵		-۹۴/۹۳
مقایسه کل هزینه مالی در شبکه بهینه و شبکه موجود (درصد)				-۳۲/۸۳			

مأخذ: یافته‌های تحقیق

هزینه مالی حمل و نقل نفت خام در شبکه تجاری بهینه ۳۲/۸۳ درصد کمتر از شبکه موجود است. همه مناطق به جز روسیه از نظر هزینه مالی حمل و نقل نفت خام در شبکه بهینه تجارت نفت خام منطقه‌ای، صرفه‌جویی قابل توجهی (بازه تغییرات [۲۲/۲۶، ۱۰۰]) 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 ۱۰ 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.

۲-۶- 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 ۳۳٪) 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 در نتیجه 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، توافقات 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 در نهایت 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 شکل دهنده ساختار، اتصال و پایداری شبکه

تجارت نفت

۷- 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 از جمله 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، از جمله 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.

۷-۱- 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.

۷-۱-۱- ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادیه‌های منطقه‌ای

ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادیه‌های منطقه‌ای نقش مهمی در شکل دادن به پویایی شبکه تجارت نفت دارند. این عوامل بر روابط تجاری و اتحادیه‌های 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 حمل و نقل 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 حمل و نقل 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 در نتیجه 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 نفت خیز 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. اتحادیه‌های 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.

۷-۲- 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 اثر بخش 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 به صرفه بودن تولید و حمل‌ونقل تأثیر گذاشته و بر الگوهای تجارت و رقابت در بازار مؤثر است.

۷-۳- 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 از جمله 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 در نهایت 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 قراردادهای سیاست‌های تجاری است که در ادامه هر یک به طور مفصل بررسی می‌شود.

۴-۷- 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 از جمله 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.

در نهایت عوامل ژئوپلیتیکی از جمله 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.

۷-۵- 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 غیروپک 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 غیروپک 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.

در نهایت عوامل کلان اقتصادی از جمله رشد اقتصادی، نرخ تورم و نرخ ارز بر تقاضای نفت، سطح قیمت‌ها و نوسانات قیمت اثر بخش 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.

۶-۷. قراردادهای تجارت 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.

در نهایت 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.

۷-۷- 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 از جمله 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 از جمله 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 مؤثر باشد، به ویژه در مناطقی که تولید و مصرف سوخت زیستی قابل توجهی دارند.

در نهایت سیاست‌های مرتبط با بهره‌وری انرژی می‌تواند مصرف کلی انرژی و تقاضا برای نفت را کاهش دهد. بهبود بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف از جمله 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.

۷-۸- 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 از جمله آلودگی آب و هوا، تخریب زیستگاه، از دست دادن تنوع زیستی و تغییرات آب و هوا ارزیابی می‌شود. در نتیجه 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 آنجا که 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 زیست‌محیطی 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 زیست‌محیطی 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 از جمله اثرات ارزیابی‌های زیست‌محیطی است. در نتیجه 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. در نهایت مشارکت ذینفعان باعث تقویت گفتگو، ایجاد اعتماد و ارتقای تصمیم‌گیری پایدار در شبکه تجارت نفت خواهد شد.

۹-۷- 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 از جمله 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 فناوری‌های 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

فناوری‌های استخراج و پالایش، راه‌حل‌های حمل‌ونقل و 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.

۱۰-۷- فناوری‌های استخراج و پالایش

فناوری‌های 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. فناوری‌های 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 غیرمعارف 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 آمریکا، 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 سکوه‌های 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 فناوری‌های 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 فناوری‌های استخراج و پالایش برای صنعت نفت برای انطباق با پویایی‌های متغیر بازار و کمک به گذار انرژی پایدار بسیار مهم است.

۷-۱۱- 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 از جمله 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، به گونه‌ای 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 پیشرفته 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 تله‌ماتیک 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 راندهای 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. در نهایت 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.

در نهایت 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.

۷-۱۲- دیجیتال 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 از جمله 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 دیجیتال شدن و بلاک چین به عنوان پیشرفت‌های فناوری در شبکه تجارت نفت ارائه می‌شود.

سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین دیجیتال فرایندهای مختلفی از جمله 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. از جمله 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 بلاک‌چین، فرآیندهای مالی تجارت و تسویه حساب کارآمدتر را در شبکه تجارت نفت امکان‌پذیر می‌کنند. با دیجیتالی کردن و خودکارسازی اسناد مانند اعتبار اسنادی و بارنامه، بلاک‌چین 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 بلاک‌چین توکن‌سازی دارایی است. توکن‌سازی دارایی شامل نمایش دارایی‌های فیزیکی مانند ذخایر نفتی یا زیرساخت به عنوان توکن‌های دیجیتالی در یک بلاک‌چین 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. در نهایت پلتفرم‌های تجارت انرژی مبتنی بر بلاک‌چین، تجارت هم‌تا به هم‌تا انرژی از جمله 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 بلاک‌چین، کارایی بازار را ارتقا می‌دهند، هزینه‌ها را کاهش داده و از یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر حمایت می‌کنند.

در مجموع کاربردهای دیجیتالی شدن و بلاک‌چین 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 بلاک‌چین 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.

۷-۱۳- 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 پایداری 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 پایداری 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.

۷-۱۴- 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 از جمله 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 از جمله 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.

۷-۱۵- 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 (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: عوامل مؤثر بر شبکه تجارت نفت

عوامل اصلی	زیر بخش‌ها
عوامل ساختاری مؤثر بر شبکه تجارت نفت	ملاحظات ژئوپلیتیکی و اتحادهای منطقه‌ای
	در دسترس بودن منابع و ذخایر

توسعه زیرساخت و اتصال	
تقاضای جهانی و الگوهای مصرف	عوامل اقتصادی مؤثر بر شبکه تجارت نفت
پویایی بازار و نوسان قیمت	
قراردادها و سیاست‌های تجاری	
تغییرات آب و هوا و مقررات انتشار کربن	عوامل محیطی و پایداری در شبکه تجارت نفت
ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقدامات کاهش	
انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر	
فن‌آوری‌های استخراج و پالایش	پیشرفت‌ها و نوآوری‌های تکنولوژیک در شبکه تجارت نفت
راه‌حل‌های حمل‌ونقل و لجستیک	
دیجیتالی سازی و کاربردهای بلاک چین	
درک و نگرش عمومی نسبت به سوخته‌های فسیلی	عوامل اجتماعی- فرهنگی شکل‌دهنده شبکه تجارت نفت
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 از جمله 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 قراردادهای سیاست‌های تجاری از جمله 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، قراردادهای 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 از جمله 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 دیجیتال‌سازی و کاربردهای بلاک‌چین نیز نقش مهمی در شبکه تجارت نفت دارند. فناوری‌های نوین استخراج و پالایش، نه تنها بهره‌وری را افزایش می‌دهند بلکه می‌توانند به کاهش اثرات زیست‌محیطی نیز کمک کنند. راه‌حل‌های جدید در حمل‌ونقل و لجستیک از جمله استفاده از کشتی‌های بزرگ‌تر و کارآمدتر و بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل خطوط لوله نیز، باعث افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل نفت می‌شوند. دیجیتال‌سازی و استفاده از بلاک‌چین نیز می‌تواند شفافیت و کارایی را در زنجیره تأمین نفت افزایش دهد.

در نهایت، 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 از جمله 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 در نتیجه 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 عوامل برای پیش‌بینی و مدیریت تغییرات در این شبکه بسیار حائز اهمیت است.

فصل هشتم

تأثیر تحریم ها بر شبکه تجارت جهانی نفت

۸- 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 اعمال شده علیه ایران است که در سال‌های اخیر تأثیرات چشمگیری بر شبکه تجارت جهانی نفت داشته است. این تحریم‌ها نه تنها 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.

۸-۱- 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.

۸-۱-۱- 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.

۸-۲- 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.

۸-۳- 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.

۸-۴- 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 دولتها، ب- کاهش درآمدهای دولتها، 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^۱ تحریم‌های شدیدی را علیه قدرت‌های محور یا متحدین^۲ 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 ۱۹۷۰: یکی از مهم‌ترین تحریم‌های نفتی در تاریخ، تحریم نفتی کشورهای عربی علیه کشورهای غربی در سال ۱۹۷۳ بود. این تحریم‌ها در پاسخ به حمایت غرب از اسرائیل در جنگ یوم کپور 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 ۱۹۷۹ و در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ بوده است. در دهه ۱۹۸۰، ایالات متحده تحریم‌های شدیدی علیه ایران به اتهام حمایت از تروریسم و فعالیت‌های هسته‌ای مشکوک اعمال کرد. این تحریم‌ها در دهه ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ 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 ۱۹۸۷ ممنوع شد. سایر عناصر بخش نفت ایران نیز مشمول تحریم بوده‌اند؛ از جمله سرمایه‌گذاری در تولید نفت

1 . Allied Powers

2 . Axis Powers

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 ۱۹۹۰، سازمان ملل متحد تحریم‌های گسترده‌ای علیه عراق اعمال کرد که شامل ممنوعیت کامل صادرات نفت این کشور بود. این تحریم‌ها تا سال ۲۰۰۳ 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 ۲۰۱۴ و بحران‌های بعدی در اوکراین از جمله جنگ روسیه و اوکراین، 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 نه تنها تأثیرات اقتصادی دارند بلکه به شدت 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 به شدت 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. در نهایت 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.

۵-۸- 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 اعمال شده بر شرکت‌های حمل و نقل و بیمه‌گران می‌توانند صادرات نفت را به شدت 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 از جمله 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.

۶-۸- 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 از جمله 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، از جمله 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.

۷-۸- 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 به‌طور مفصل بررسی و تحلیل شد، منجر گردد. در این بخش، به بررسی تأثیر تحریم‌ها بر هر یک از این عوامل پرداخته خواهد شد.

۸-۸- 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 در نتیجه 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 در نهایت 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 نه تنها 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.

۹-۸- 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 نه تنها 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 نه تنها 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.

۱۰-۸- 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. در نتیجه، 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 نه تنها 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.

۸-۱۱- 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 نه تنها مانع از انتقال دانش و فناوری‌های نوین می‌شود، بلکه می‌تواند به کاهش انگیزه‌های داخلی برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه منجر گردد. در نتیجه، 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.

فناوری‌های استخراج و پالایش: تحریم‌ها می‌توانند به محدودیت‌هایی در زمینه فناوری‌های 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.

۸-۱۲- 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. در نتیجه، تحریم‌ها نه تنها 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 نه تنها 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 ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: 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.

تأثیر تحریم‌ها بر شبکه تجارت جهانی نفت ۲۵۹ ♦

عامل مؤثر	زیرعامل	تأثیر تحریم‌ها
	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.

در نهایت 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

جمع بندی

۹- 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. از جمله 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 از جمله 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 نه تنها 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 از جمله تحریم‌های اقتصادی و سیاسی، نه تنها 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

- بانندی، مورتی (۱۹۷۶). نظریه گراف و کاربردهای آن. ترجمه دارا عظیمی (۱۳۹۴). تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- شهنازی، روح اله و نجمه ساجدیان فرد (۱۴۰۲). تحلیل الگوی شبکه تجارت جهانی نفت: رویکرد شبکه پیچیده. *مدلسازی/اقتصاد سنجی*. سال هشتم، شماره ۲، ۱۶۲-۱۲۱.
- 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. Itkhoki, 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/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., & Katzmaier, 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., & Rübelke, 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>.
- Pförr, 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/۲۵۲۶۲۸۷/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
- 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-connp-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/Hydraulic_balancing

