Journal of Iranian Economic Issues, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Biannual Journal, Vol. 12, No. 1, Spring and Summer 2025, 31-57
https://www.doi.org/10.30465/ce.2025.41653.1797

The effect of the JCPOA agreement on Iran's oil market in the network of oil markets

Samaneh Bagheri*

Abstract

The oil market is very important for Iran's economy, as an oil-exporting country whose budget is dependent on oil. For the first time, this research examines the effect of the JCPOA agreement on Iran's oil market in the oil market network for 1991/11 to 2019/2 using Diebold Yilmaz's spillover index and complex network theory. The period of this research was divided into three periods: before the JCPOA implementation, during the JCPOA implementation, and during the JCPOA withdrawal period. First, oil market spillover is checked using the Diebold-Yilmaz spillover index. Then, based on this index, the volatility spillover network in the oil markets is drawn. In all three investigated periods, Iran's oil market is the transmitter of turbulence in the oil markets. Iran's oil market has sent more volatility to other oil markets during the JCPOA period, which shows the increasing influence and power of Iran's oil market in the network of oil markets. Oman's oil market, before the implementation of the JCPOA and after the withdrawal from the JCPOA, has been the most volatile transmitter in the oil market network. During the JCPOA implementation period, the Indonesian oil market has been the most volatile transmitter in the spillover network.

Keywords: volatility spillover network, JCPOA, oil markets, complex network theory, Diebold-Yilmaz.

JEL Classification: D53, Q4.

* Ph.D. in Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, samanehbagheri@stu.yazd.ac.ir

Date received: 12/06/2022, Date of acceptance: 12/11/2022

بررسی مسائل اقتصاد ایران، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
دوفصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ پژوهشی)، سال ۱۲، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴

تأثیر توافق برجام بر بازار نفت ایران در شبکهٔ بازارهای نفت

سمانه باقری*

چکیده

بازار نفت برای اقتصاد ایران، به عنوان یک کشور صادرکننده نفت که بودجه این کشور بـه نفت وابسته است، بسیار اهمیت دارد. این پژوهش برای نخستین‌بار به بررسی اثر توافق‌نامه برجام بر بازار نفت ایران در شبکه بازارهای نفت برای دوره زمانی ۱۹۹۱/۱۱ تا ۲۰۱۹/۲ با استفاده از شاخص سرریز دیبلد-ییلماز و تئوری شبکه پیچیده می‌پردازد. دوره زمـانی ایـن پژوهش، به سه دوره زمانی قبل از اجرای برجام، اجرای برجـام و دوره خـروج از برجـام تقسیم شد. ابتدا با استفاده از شاخص سرریز دیبلد-ییلماز، تلاطم در بازارهای نفت بررسی می‌شود و سپس بر اساس این شاخص، شبکه سرریز تلاطم در بازارهای نفت، ترسیم مـی شود. در هر سه دوره مورد بررسی، بازار نفت ایران، فرسـتنده تلاطـم در بازارهـای نفـت است. بازار نفت ایران در دوره برجام، تلاطم بیش‌تری به دیگر بازارهای نفت فرستاده است که نشان‌دهنده افزایش اثرگذاری و افزایش قدرت بازار نفت ایران، در شبکه بازارهای نفت است. بازار نفت عمان، قبل از اجرای برجام و بعد از خروج از برجام، بیش‌تـرین فرسـتنده تلاطم در شبکه بازارهای نفت بوده است. در دوره اجـرای برجـام، بـازار نفـت انـدونزی، بیش‌ترین فرستنده تلاطم، در شبکه سرریز تلاطم بوده است.

کلیدواژه‌ها: شبکه سرریز تلاطم، برجام، بازارهای نفت، تئوری شبکه پیچیده، دیبلد-ییلماز.

طبقه‌بندی JEL: D53,Q4.

* دکترای اقتصاد، دانشکدهٔ اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، samanehbagheri@stu.yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱

۱. مقدمه

برجام (برنامه جامع اقدام مشترک) (Joint comprehensive plan of action (JCPOA) یک توافق‌نامه بین‌المللی برای صلح و ثبات در منطقه خاورمیانه است که در ۲۳ تیر ۱۳۹۴در اتریش بین ایران و گروه ۵+۱ امضا شد و یکی از مهم‌ترین پرونده‌های مورد اختلاف بین‌المللی از طریق گفتگو حل شد. ایران به دلیل داشتن منابع عظیم فسیلی و هم‌چنین موقعیت جغرافیایی، همواره مورد توجه کشورهای ابرقدرت بوده است. نفت، یکی از کالاهای سیاسی و اقتصادی در جهان است. نقش کشور ایران در خاورمیانه بسیار پررنگ است و این توافق، می‌تواند منجر به صلح و ثبات در منطقه خاورمیانه شود. با این توافق‌نامه، تحریم‌های بین‌المللی علیه ایران لغو شدند. توافق برجام نشان داد که می‌توان اختلاف‌های بین المللی را از طریق گفتگو و بدون راه‌حل نظامی به سرانجام رسانید. برنامه هسته‌ای ایران بعد از دو دهه، در نهایت با مذاکرات طولانی به توافقی منجر شد که به امضای نمایندگان شش کشور قدرتمند دنیا، نماینده اتحادیه اروپا و صدور قطعنامه ۲۲۳۱ شورای امنیت سازمان ملل متحد را به عنوان اهرم اجرایی آن برای کشورهای عضو، رسید. بر اساس برجام پرونده هسته‌ای ایران، پس از ده سال از شورای امنیت سازمان ملل متحد خارج و به تحریم های شورای امنیت و اتحادیه اروپا خاتمه داده شد (شعاریان و جمشیدی، ۱۳۹۹: ۱۲). در دوره ریاست جمهوری ترامپ، آمریکا به بهانه ناکارآمدی این توافق‌نامه، به طور یک جانبه از برجام خارج شد و علاوه بر این بازگشت تحریم‌های علیه ایران قبل از اجرای برجام، آمریکا و متحدانش، تحریم‌های جدیدی علیه ایران اعمال کردند. نقض برجام از سوی آمریکا، به عنوان یکی از امضاکنندگان این توافق بین‌المللی، بی‌سابقه بوده است و سبب بی‌اعتمادی به توافق‌نامه‌های بین‌المللی می‌شود. دوره ریاست جمهوری جو بایدن، صحبت از احیای برجام شد و گفت وگوهایی انجام شده است. نقض برجام، بی‌اعتمادی و نااطمینانی کشورهای غربی به گفته‌های خود را، در پی داشته است. ایران باید با حساسیت بیش‌تری در گفت وگوهای بعدی حضور داشته باشد. از پیامدهای برجام، می‌توان به مشروعیت بین‌المللی برنامه هسته‌ای ایران، اشاره نمود. لغو شش قطعنامه شورای امنیت سازمان ملل و ۱۳ قطعنامه آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و بسته شدن پرونده ابعاد نظامی احتمالی برنامه هسته‌ای ایران در مهم‌ترین نهاد بین‌المللی ناظر بر فعالیتهای هسته‌ای در جهان که با قطعنامه رسمی این نهاد در تاریخ ۲۴ آذر تأیید شد، نشان دهنده صلح آمیز بودن فعالیت هسته‌ای ایران و پذیرش برنامه هسته‌ای ایران در سطح بین‌المللی بود. در

دوران اجرای برجام، ایران محل رفت و آمد دیپلماتیک و تجار بود و این نشان‌دهنده نقش پررنگ ایران در منطقه است که در صورت نبود فشارهای خارجی، ایران نقش پررنگی در فعالیت‌های اقتصادی خواهد داشت. با مطرح شدن برنامه هسته‌ای جمهوری اسلامی ایران، در سطح بین‌المللی از سال ۱۳۸۱و به‌ویژه تبدیل آن به دستور کار شورای امنیت سازمان ملل متحد در سال ۱۳۸۵طیف بسیار گسترده‌ای از موضوعات مرتبط با برنامه هسته‌ای جمهوری اسلامی ایران در داخل کشور و در اغلب کشورهایی که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم در ارتباط با ابعاد مختلف موضوع بودند، به دستور کار مطالعاتی تبدیل شد و دیدگاه‌ها و نظریات مختلفی در ارتباط با آن شکل گرفت (خلیلی، ۱۳۹۵: ۱۳۳). پژوهش حاضر، به دنبال پاسخ به این سوال خواهد بود که برجام و خروج از برجام، چگونه بر نقش بازار نفت ایران در شبکه بازارهای نفت اثر داشته است؟. آیا نقش بازار نفت ایران در این سه دوره زمانی در شبکه بازارهای نفت تغییری داشته است؟. این پژوهش برای نخستین بار به بررسی شبکه بازارهای نفت برای سه دوره زمانی شامل قبل از برجام، برجام و پس از خروج از برجام می‌پردازد.

۲. ادبیات موضوع

اکثر مطالعات به این نتیجه رسیدند که بازار نفت خام یک استخر بزرگ است که در آن تغییرات قیمت در یک بازار به سرعت به سایر بازارهای نفت خام منطقه‌ای منتقل می‌شود (اویانگ و دیگران (Ouyang et al)، ۲۰۲۱: ۱۲۵۷). سرایت به معنای افزایش ارتباط بین بازارهای متقابل پس از بروز یک شوک است و سرریزهای تلاطم برای تعریف علیت در واریانس بین بازارها است. هر دو تعریف، انتقال شوک‌هایی را نشان می‌دهد که نمی‌توان آن‌ها را با اصول و حرکت‌های مشترک توضیح داد. اثرات سرریز را می‌توان به عوامل برون‌زای فعالیت یا فرآیندهای اقتصادی که به عنوان اثرات مستقیم در نظر گرفته نمی‌شوند، نام برد. شدید تلاطم (Extreme volatility spillover)، را می‌توان به عنوان اثر سرریزی که ممکن است منجر به بحران‌های مالی شود، تفسیر کرد. بازارهای مالی جهانی، نسبت به قبل پیچیده‌تر و پیوسته‌تر شده‌اند (ژو و دیگران (Zhou et al)، ۴:۲۰۲۲). برای سیاست‌گذاران، به دلیل زیان ناشی از سرریزهای شدید تلاطم، اهمیت دارد که سرریزهای تلاطم در بازارها، را مدیریت کنند. همبستگی بازارها، به وقوع سرریز تلاطم در مراحل اولیه بستگی دارد و محققان به دنبال پاسخ یه این سوال هستند که آیا پس از تلاطم یک بازار، تأثیر شوک بر

سایر بازارها افزایش خواهد یافت؟. همه پدیده‌های انتشار شوک، را نمی‌توان سرریز تلاطم نامید (فوربس و ریگوبن (Forbes and Rigobon) ، ۲۰۰۲ :۲۲۲۵) سرریز تلاطم، حرکت هماهنگ غیرمنطقی و همبستگی بیش از حد (excessive correlation) پس از حذف ارتباط بین اقتصاد واقعی، مالی و تصمیمات سرمایه‌گذاری عقلایی است. اثر سرریز تلاطم، زمانی اتفاق می‌افتد که تلاطم یک بازار به تأثیر با تأخیر بر تلاطم در بازارهای دیگر شود، پدیده‌ای که در بازارها رخ می‌دهد. دو فرضیه برای توضیح اثر سرریز تلاطم مطرح شده‌اند، فرضیه سرایت ریسک که توسط کینگ و ودوانی (King and Wadhwani) (1990) برای توضیح اثرات سرریز تلاطم مطرح شد و معتقدند که سرمایه‌گذاران، اطلاعات را از تغییر قیمت در بازارهای دیگر، به‌دست می‌آوردند. در بازارهای کارآمد، قیمت سهام بازتابی از بنیاد بازار است. زمانی که اطلاعات پیچیده می‌شود و تعادل بازار آشکار نیست، سرمایه‌گذاران، فقط تغییر در قیمت‌های بازار را درک می‌کنند، بدون این‌که اطلاعات کامل را از تغییرات قیمت بازار به‌دست بیاورند. در این فرضیه، سرمایه‌گذاران به‌طور ذهنی اطلاعات را از تغییرات قیمت در بازارهای دیگر می‌توانند به‌دست بیاورند که سبب انتقال اشتباهات در بازارها می‌شود. این انتقال، سبب سرریز تلاطم در بازارها می‌شود.

فرضیه توجه بازار (market attention hypothesis)، تغییرات قیمت و تلاطم دارایی‌ها را با توجه سرمایه‌گذاران به اخبار و عدم قطعیت یادگیری مربوط می‌دانند. زمانی‌که یادگیری کند باشد، یعنی توجه کم سرمایه‌گذاران به اخبار، اطلاعات به تدریج در قیمت‌ها وارد می‌شود و منجر به تلاطم کم بازده، می‌شود. در صورت توجه زیاد سرمایه‌گذاران به اخبار، اطلاعات بلافاصله در قیمت‌ها وارد می‌شود. توجه زیاد سرمایه‌گذاران به اخبار، به تلاطم بازده بالا منجر خواهد شد. برای تحمل تلاطم بازده بالا، حق بیمه ریسک بالاتری نیاز است (جیانگ و دیگران (Jiang et al)، ۱:۲۰۲۲).

هوانگ و لیو (Huang and Liu) (2007) معتقدند سرمایه‌گذاران اطلاعات و اخبار اقتصادی، را با دقت کم به دست می‌آورند، که منجر به سرمایه‌گذاری زیاد یا کم در یک دارایی می‌شود و سرریز تلاطم زمانی رخ می‌دهد که تغییر تلاطم قیمت در یک بازار بیش از اثر محلی (local effects) تلاطم، تأثیر تأخیری بر تلاطم دیگر بازارها ایجاد می‌کند. از مطالعاتی که به پژوهش در بازارهای نفت پرداخته‌اند به موارد زیر می‌توان اشاره کرد.

رضوی و نصراصفهانی (۱۳۹۹) به تحلیل اثرات سیاست‌های انرژی ترامپ بر امنیت بازارهای نفت خام ایران، با استفاده از رویکرد توصیفی تحلیلی پرداختند و به این نتیجه

رسیدند که فرضیه سیاست‌های انرژی اتخاذ شده توسط ترامپ که موجب افزایش اثرگذاری راهبردهای دولت آمریکا بر حوزه انرژی‌های فسیلی ایران و کاهش سهم بازار آن شده است. سیاست‌های اعمالی ترامپ به شدت سهم بازارهای نفت ایران را کاهش داده است. فرصت‌های صادرات نفت خام برای عراق، آمریکا، روسیه و عربستان به مشتریان ایران منجر به افزایش سهم بازار این کشورها گردیده است. بازگشت سهم صادرات نفت خام ایران به آسیا و اروپا با متزلزل شدن توافق برجام، موجب از دست رفتن بازارهای صادراتی نفت خام کشور گردیده است. همچنین توافق اخیر کشورهای عضو و غیر عضو اوپک در مورد کاهش حجم تولید نفت، کمک شایانی به گسترش تولید نفت شیل آمریکا و بازارهای صادراتی این کشور نموده است.

رضوی و صادقی‌شاهدانی (۱۳۹۸) به بررسی تاثیر سیاست‌های انرژی آمریکا بر قیمت نفت خام، برای دوره زمانی ۲۰۱۸–۲۰۱۷ با استفاده از رهیافت GARCH پرداختند. نتایج بیان‌گر این است که تغییرات شاخص داوجونز تاثیرات قابل توجهی بر قیمت نفت خام داشته است. افزایش تولید نفت آمریکا، سبب کاهش قیمت نفت خام، شاخص این کشور نسبت به سایر نفت‌خام‌های شاخص، نظیر بازار اروپا شده و در نهایت، نتایج نشان می‌دهد که سیاست‌های ترامپ از طریق افزایش تولید نفت و بهبود شاخص داوجونز، سبب تثبیت قیمت نفت در محدوده مد نظر آمریکا شده است. سیاست‌های حوزه انرژی دولت ترامپ با توجه به رونق صنعت نفت و توسعه نفت شیل به طور عمده بخش عرضه نفت را متاثر نموده و از این طریق تاثیرگذاری بر عرضه نفت موجب کاهش قیمت نفت در بازار گردیده است.

اویانگ و دیگران (Ouyang et al) (2021) به تحلیل شبکه سرریز بازار جهانی نفت خام، شواهدی از دوران پس از بحران مالی با استفاده از شبکه سرریز پیشنهاد شده توسط بارونیک و کرهلیک (Baruník and Křehlík) (2018) و داده‌های روزانه ۳۱ بازار نفت خام برای دوره زمانی ۲۰۱۹–۲۰۰۹، اثرات سرریز تلاطم بازده و رفتار متغیر زمانی در شش بازار نفت خام بررسی شد. مطابق نتایج ناهمگونی در تحرکات بین بازارهای جهانی نفت خام در دوران پس از بحران مالی وجود دارد. در میان مدت، هر دو اثر بازده و سرریز تلاطم خیلی اهمیت زیادی ندارند که باعث می‌شود استراتژی پرتفوی متنوع مفید باشد. قیمت‌ها در مناطق اروپا و آسیای مرکزی در سرریز بازده، رهبر هستند. قیمت‌های منطقه‌ای آسیا و اقیانوسیه بیش‌ترین سهم را از نظر سرریزهای تلاطم دارند. در مواجهه با رویدادهای مرتبط

با نفت در دوران پس از بحران مالی، سرریزهای تلاطم طولانی‌مدت به شدت افزایش می‌یابد. سیاست‌گذاران باید اقدام مؤثری برای جلوگیری از هرگونه انتقال ریسک در مقیاس بزرگ در بلندمدت انجام دهند .

فو و کیاو (Fu and Qiao) (2021) به بررسی ارتباط معاملات آتی نفت خام چین و بازارهای بین المللی نفت، تحلیل سرریز بازده و تلاطم برای داده‌های روزانه ۲۸ فوریه ۲۰۰۶ تا ۳۱ آوریل ۲۰۱۹ با استفاده از شاخص دیبلد-ییلماز پرداختند. مطابق نتایج، بازارهای نفت خام درجه بالایی از یکپارچگی را از نظر بازده و تلاطم نشان می‌دهند. جهت و مقدار ارائه شده توسط هر بازار به طور قابل توجهی متفاوت است. بازارهای آتی وست تگزاس، بازار نقدی و آتی برنت بیش‌ترین سهم را در بازار جهانی نفت داشته‌اند و نقش‌های اصلی را ایفا می‌کنند، در حالی که بازار آتی دبی مهم‌ترین دریافت‌کننده است و بیش‌ترین سرریز را از سایر بازارها دریافت کرده و آن را در سراسر شبکه عبور داده است. معاملات آتی نفت خام شانگهای، ارتباط زیادی با سایر بازارها ندارد. تغییرات ناهمگون در جهت، شدت و تداوم سرریز در سراسر بازارها پس از شیوع همه‌گیری COVID-19 در سال ۲۰۲۰ میلادی مشاهده شد. این مطالعه سطح یکپارچگی معاملات آتی نفت خام شانگهای و پویایی ارتباطات بازارهای نفت خام منطقه‌ای را نشان می‌دهد که برای فعالان بازار، سیاست‌گذاران از اهمیت زیادی برخوردار است.

بهلول و دیگران (Bahloulet al) (2021) به بررسی پویایی بازده و شدت ارتباط (connectedness)تلاطم بین کالاها و شاخص‌های بازار سهام اسلامی برای دوره زمانی ۳۰ آگوست ۲۰۰۷ تا مارس ۲۰۲۰ با استفاده از شاخص سرریز دیبلدییلماز و شبکه پیچیده پرداختند. مطابق نتایج شاخص‌های کالا در هر دوره، بیش‌ترین منبع شوک را به بازار سهام اسلامی دارد. سرریز تلاطم نشان می‌دهد، درجه اتصال در شبکه در طول زمان متفاوت بوده است، زیرا انتقال قوی سرریز، پس از همه‌گیری بیماری COVID-19 وجود داشته است. بازار سهام اسلامی یک دریافت‌کننده خالص سرریز است. در مطالعات انجام شده، پژوهشی که به بررسی سرریز تلاطم در بازارهای نفت در دوره قبل از برجام، برجام و پس از برجام انجام نشده است. این پژوهش برای نخستین بار به بررسی سرریز تلاطم در بازارهای نفت در دوره قبل از برجام، برجام و پس از برجام و مقایسه آن‌ها با استفاده شاخص سرریز دیبلد-ییلماز و تئوری شبکه پیچیده می‌پردازد .

۳. روش تحقیق

در این پژوهش از شاخص سرریز دیبلد-ییلماز (Diebold-Yilmaz) و تئوری شبکه پیچیده (Complexity Network) که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود، استفاده شده است.

۱.۳ شاخص سرریز دیبلد-ییلماز

دیبلد-ییلماز (۲۰۱۲) سرریز را با استفاده از چارچوب VAR تعمیم یافته، اندازه‌گیری کردند. ماتریس کوواریانس ثابت است و با چولسکی (Cholesky) یا تجزیه تعمیم‌یافته محاسبه می‌شود (بارباگلیا و دیگران (Barbaglia et al)، ۲۰۱۹ :۲). یک مدل var(p) با n متغیر و وقفه p به شکل معادله (۱) فرض می‌شود.

$$X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \cdots + \Phi_P X_{t-P} + \xi_t \qquad (۱)$$

در معادله $X_t = (X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{nt})'$ بردار n بعدی و n سری بازده قیمت و یا سری تلاطم را نشان می‌دهد ξ_t نشان‌دهنده بردار خطا و ماتریس کوواریانس P است. P با توجه به معیار AIC تعیین می‌شود.

فرآیند MA (moving average) را می‌توان با $X_t = \Psi(L)\xi$ نشان داد. تجزیه واریانس نسبت واریانس خطای پیش‌بینی یک متغیر درون‌زا، در سیستم VAR که تحت تاثیر شوک‌های اطلاعاتی مختلف قرار گرفته است، را اندازه‌گیری می‌کند و نشان می‌دهد تا چه حد مسیر یک متغیر، تحت تأثیر خود یا سایر متغیرهای سیستم است. سهم متغیر j در واریانس خطای پیش‌بینی متغیر i در افق H را می‌توان به صورت معادله (۲) نوشت.

$$\theta_{ij}(H) = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H} ((\Psi_h \Sigma)_{ij})^2}{\sum_{h=0}^{H} (\Psi_h \Sigma \Psi_h')_{ii}} \qquad (۲)$$

در معادل (۳) هر ماتریس تجزیه وارایانس را می‌توان به صورت معادله (۳) نرمال کرد،

$$\widetilde{\theta_{ij}(H)} = \frac{\theta_{ij}(H)}{\sum_{j=1}^{n} \theta_{ij}(H)}, \qquad (۳)$$

جایی‌که $\breve{\theta}_{ij}(H)$ معیاری از اتصال متغیر j به i را در افق زمانی H نشان می‌دهد. به منظور اندازه‌گیری شاخص سرریز، S(H) سرریز کل است و سرریز تلاطم در بازارها را نشان می‌دهد.

$$S(H) = \frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^{n} \breve{\theta}_{ij}(H) \qquad (۴)$$

هنگام استفاده از روش DY می‌توان سرریزها را جمع کرد. سرریز بازار m به بـازار n را می‌توان به صورت معادله (۵) نشان داد.

$$\widetilde{\theta_{mn}}=\sum_{i\in m}\sum_{j\in n}\widetilde{\theta_{ij}} \quad (۵)$$

$m,n\in\{A,B,D,E,F\}$

تبدیل فوریه (Fourier) بکار گرفته شده توسط BK را معرفی می‌کنیم که می‌تواند تجزیـه واریانس خطای پیش‌بینی تعمیم یافته را در یک فرکانس خاص w محاسبه کند.

$$\theta_{ij}(H)=\frac{\sigma_{jj}^{-1}\sum_{h=0}^{\infty}(\Psi(e^{-ihw})\Sigma)_{ij}^{2}}{\sum_{h=0}^{\infty}(\Psi(e^{-ihw})\sum\Psi(e^{ihw}))_{ii}} \quad (۶)$$

$\theta_{ij}(w)$طیف متغیر i در یک فرکانس معین w است که می‌تـوان آن را بـه تـاثیر متغیـر jنشان داد. معادله (۶) می‌تواند به شکل معادله (۷) نرمال شود.

$$\theta_{ij}(w)=\widetilde{\frac{\theta_{ij}(w)}{\sum_{h=1}^{n}\theta_{ij}(w)}} \quad (۷)$$

$\widetilde{\theta_{ij}(w)}$سرریز تلاطم از بازار j به i در فرکانس مشخص w است. ارزیابی اتصال در یک باند فرکانسی ارزشمندتر از اتصال یک فرکانس است، اتصال تجمعی در هر باند فرکـانس d= (a,b)را می‌توان به صورت رابطه (۸) تعریف کرد:

$$\theta_{ij}(d)=\widetilde{\int_{a}^{b}\theta_{ij}(w)dw} \quad (۸)$$

برای اندازه‌گیری سرریز کلی بازارها، می‌توان یک شاخص کل سرریز Cd ایجاد کرد تـا تأثیر سرریز تلاطم در بازارهای جهانی آشکار شود. کل سرریز در تمام باندهای بـازار d بـه صورت معادله (۹) بیان می شود.

$$C^{d}=\frac{\sum_{i=1,i\neq j}^{n}\widetilde{\theta_{ij}(d)}}{\sum_{ij}\widetilde{\theta_{ij}(d)}} \quad (۹)$$

قسمتی از واریانس متغیر i که با همه متغیرهای دیگر ($i\neq j$) در ارتباط اسـت، در بانـد فرکانسی d به صورت رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$C_{i\leftarrow}^{d}=\sum_{j=1,i\neq j}^{n}\widetilde{\theta_{ij}(d)} \quad (۱۰)$$

سهم متغیر i، به‌متغیرهای دیگر ($i\neq j$) به صـورت معادلـه (۱۱) نشـان داده مـی‌شـود (اویوانگ و دیگران (Ouyang et al)، ۲۰۲۱: ۴).

$$NC_{i}^{d}=C_{i\leftarrow}^{d}-C_{i\rightarrow}^{d} \quad (۱۱)$$

۲.۳ شبکهٔ پیچیده

شبکه پیچیده، از تئوری گراف بـه‌دسـت آمـده اسـت و بـه درک بهتـر متغیرهـای وابسـته می‌پردازد. شبکه پیچیده از اجزایی که تشکیل شبکه می‌دهند، سـاخته شـده اسـت و بـرای برطرف ساختن مشکلات سیستمی و درک اطلاعات نهفته در بازارها مناسب است. روابـط بازارها به عنوان یک شبکه در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری‌که نمودار شبکه پیچیـده، شـامل $G(V,E)$ که $V=\{1,2,N\}$ گره‌ها و E یال بین گره‌ها هستند و نشان دهنده سـرریز تلاطـم در گره‌ها است (ژنگ و دیگران (Zhang et al)، ۲۰۲۰: ۴). درجه وزنـی (weighted degree) در شبکه پیچیده بر اساس قدرت سرریز تلاطم بین گره‌ها را نشان می‌دهد. گره‌ای با درجه وزنی بالاتر، توانایی سرریز تلاطم بیش‌تر به گره‌های دیگر را دارد. در معادلـه (۱۲) و (۱۳) d_i^{out} و d_i^{in} به معنای درجه وزنی خروجی و درجه وزنی ورودی است و $e_{i,j}$ در معـادلات نشان دهنده سرریز تلاطم از گره i به گره j است. n و m بیان‌گر تعداد گره‌ها که اثرات سرریز تلاطم به گره i است.

$$d_i^{out} = \sum_{j=1}^{n} e_{ij} \qquad (۱۲)$$

$$d_i^{in} = \sum_{j}^{m} e_{i,j} \qquad (۱۳)$$

درجه وزنی گره بزرگ‌تر در شبکه پیچیده، نشان‌دهنده سرریز تلاطم بیش‌تر در آن گـره است (لیو و دیگران (Liu et al) ، ۲۰۱۷: ۱۰).

۴. بررسی شبکهٔ سرریز تلاطم بازارهای نفت

در این پژوهش ابتدا با استفاده از شاخص سرریز دیبلد-ییلماز، تلاطـم در بازارهـای نفـت بررسی می‌شود و سپس با استفاده از تئـوری شـبکه پیچیـده بـه شـبکه سـرریز تلاطـم در بازارهای نفت پرداخته می‌شود. در این بخش، به بررسی شبکه سرریز تلاطم در دوره قبـل از اجرای برجام، دوره اجرای برجام و دوره خـروج از برجـام پرداختـه مـی‌شـود. تمـامی متغیرهای تحقیق شامل قیمت نفت بازارهای نفت کشورها، مطابق پژوهش ژنگ و دیگـران (Zhang et al) (۲۰۲۰)، ناتاراجان و دیگران (Natarajan et al) (۲۰۱۴) و چادهوری و دیگران (Chowdhury et al) (۲۰۱۹) به‌صورت بازده $100(\ln(p_t/p_{t-1})$ برآورد شـده اسـت. داده‌هـای

این پژوهش از سایت اوپک به‌دست آمده است. در این پژوهش از نرم افزار ایویـوز و نـرم افزار گفی بهره گرفته شده است.

۵. نتایج تجربی

در این پژوهش ابتدا با استفاده از شاخص سرریز دیبلد-ییلماز، تلاطـم در بازارهـای نفـت بررسی می‌شود و سپس با استفاده از تئـوری شـبکه پیچیـده بـه شـبکه سـرریز تلاطـم در بازارهای نفت پرداخته می‌شود. در این بخش، به بررسی شبکه سرریز تلاطم در دوره قبـل از اجرای برجام، دوره اجرای برجام و دوره خروج از برجام پرداخته می‌شود.

۱.۵ بررسی شبکه سرریز تلاطم در دوره قبل از اجرای برجام

در این قسمت، با استفاده از شاخص دیبلد-ییلماز به بررسـی سـرریز تلاطـم در بازارهـای نفت پرداخته می‌شود و سپس شبکه سرریز تلاطم ترسیم می‌شود.

جدول ۱. سرریز دیبلد-ییلماز در دوره قبل از اجرای برجام

	Algeria	angola	Egypt	iran	Indonesia	Libya	malasiya	mexico	Norway	oman	Qatar	Russia	Saudi	brent	wti	emirates
Algeria	۶.۷	۶.۶	۶.۵	۶.۳	۵	۶.۷	۵.۸	۵.۹	۶.۶	۶.۳	۶.۳	۶.۵	۶	۶.۷	۵.۹	۶.۲
angola	۶.۶	۶.۸	۶.۵	۶.۳	۵.۲	۶.۶	۵.۸	۶	۶.۶	۶.۳	۶.۲	۶.۴	۶.۱	۶.۶	۵.۸	۶.۲
Egypt	۶.۶	۶.۶	۶.۹	۶.۲	۴.۹	۶.۶	۵.۶	۶	۶.۶	۶.۳	۶.۳	۶.۷	۶.۱	۶.۶	۵.۸	۶.۲
iran	۶.۳	۶.۳	۶.۲	۶.۹	۵.۲	۶.۳	۵.۹	۶	۶.۲	۶.۷	۶.۶	۶.۲	۶.۴	۶.۴	۵.۸	۶.۵
Indonesia	۶.۱	۶.۳	۵.۹	۶.۴	۷.۸	۶.۱	۶.۶	۶	۶	۶.۴	۶.۴	۵.۸	۶.۱	۶.۲	۵.۷	۶.۳
Libya	۶.۷	۶.۶	۶.۵	۶.۳	۵	۶.۷	۵.۸	۵.۹	۶.۶	۶.۳	۶.۳	۶.۵	۶	۶.۷	۵.۹	۶.۲
malasiya	۶.۳	۶.۳	۶	۶.۵	۵.۹	۶.۳	۷.۱	۶.۲	۶.۲	۶.۴	۶.۴	۶	۶.۱	۶.۴	۵.۸	۶.۳
mexico	۶.۳	۶.۴	۶.۴	۶.۳	۵.۱	۶.۳	۵.۸	۷.۵	۶.۲	۶.۴	۶.۳	۶.۲	۶.۱	۶.۴	۶.۱	۶.۳
Norway	۶.۷	۶.۶	۶.۵	۶.۳	۴.۹	۶.۷	۵.۸	۵.۹	۶.۷	۶.۳	۶.۳	۶.۵	۶	۶.۷	۵.۸	۶.۲
oman	۶.۲	۶.۲	۶.۲	۶.۵	۵.۱	۶.۲	۵.۸	۶	۶.۲	۷	۶.۹	۶.۲	۶.۷	۶.۳	۵.۷	۶.۸

	Algeria	angola	Egypt	iran	Indonesia	Libya	malasiya	mexico	Norway	oman	Qatar	Russia	Saudi	brent	wti	emirates
Qatar	۶.۲	۶.۲	۶.۲	۶.۵	۵.۱	۶.۲	۵.۸	۶	۶.۲	۶.۹	۷	۶.۲	۶.۶	۶.۳	۵.۷	۶.۸
Russia	۶.۷	۶.۵	۶.۸	۶.۲	۴.۸	۶.۶	۵.۶	۵.۹	۶.۶	۶.۳	۶.۳	۶.۹	۶.۱	۶.۶	۵.۸	۶.۲
Saudi	۶.۲	۶.۲	۶.۲	۶.۵	۴.۹	۶.۲	۵.۶	۶.۱	۶.۲	۶.۹	۶.۸	۶.۱	۷.۲	۶.۳	۵.۷	۶.۹
brent	۶.۶	۶.۶	۶.۵	۶.۳	۵	۶.۷	۵.۸	۵.۹	۶.۶	۶.۳	۶.۳	۶.۵	۶.۱	۶.۷	۵.۹	۶.۲
wti	۶.۴	۶.۴	۶.۲	۶.۳	۵	۶.۴	۵.۸	۶.۳	۶.۳	۶.۳	۶.۳	۶.۲	۶.۱	۶.۵	۷.۴	۶.۱
emirates	۶.۲	۶.۲	۶.۲	۶.۵	۵	۶.۲	۵.۷	۶	۶.۲	۷	۶.۹	۶.۲	۶.۸	۶.۳	۵.۷	۷

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق جدول ۱، سرریز تلاطم از بازار نفت الجزایر به بازار نفت ایـران، ۶/۳ درصـد، از بازار نفت آنگولا ۶/۳ درصد، از بازار نفت مصر، ۶/۲ درصد، از بازار اندونزی ۵/۲ درصـد، از بازار نفت لیبی ۶/۳ درصد، از بازار نفت مـالزی ۵/۹ درصـد، از بـازار نفـت مکزیـک ۶ درصد، از بازار نفت نروژ ۶/۲ درصد، از بازار نفت عمان ۶/۷ درصد، از بازار نفت قطر ۶/۶ درصد، از بازار نفت روسیه ۶/۴ درصد، از بازار نفت عربستان سعودی و برنت، ۶/۴ درصد، از بازار نفت wti ۵/۸ درصد و بازار نفت امارات ۶/۵ درصد است.

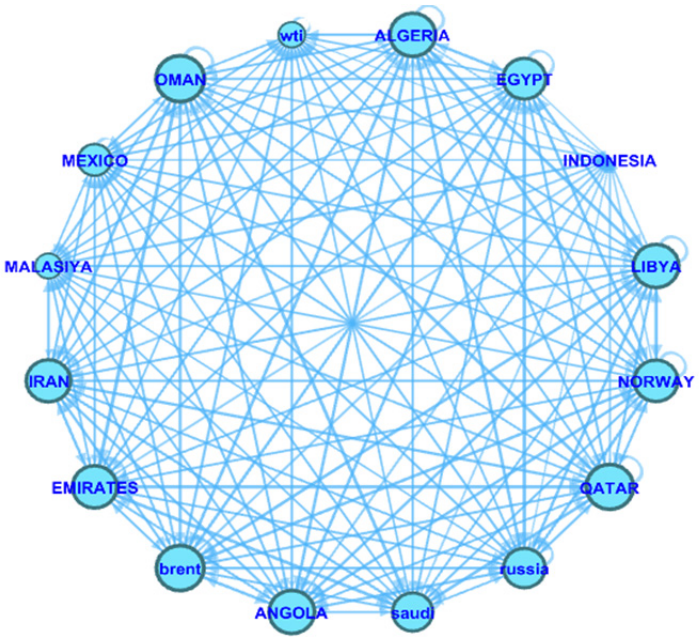
جدول ۲. میانگین سرریزهای خالص هدایتی و جهت‌دار تلاطم
در بازارهای نفت در دوره قبل از اجرای برجام

	سرریز از دیگران	سرریز به دیگران	میانگین سرریزهای خالص هدایتی و جهت‌دار
Algeria	۹۳.۳	۹۶.۳	۳
angola	۹۳.۲	۹۶.۱	۲.۹
Egypt	۹۳.۱	۹۴.۸	۱.۷
iran	۹۳.۱	۹۵.۴	۲.۳
Indonesia	۹۲.۲	۷۶.۱	−۱۶.۱
Libya	۹۳.۳	۹۶.۱	۲.۸
malasiya	۹۲.۹	۸۷.۳	−۵.۶
mexico	۹۲.۵	۸۹.۹	−۲.۶

	سرریز از دیگران	سرریز به دیگران	میانگین سرریزهای خالص هدایتی و جهت‌دار
Norway	۹۳.۳	۹۵.۴	۲.۱
oman	۹۳	۹۷	۴
Qatar	۹۳	۹۶.۶	۳.۶
Russia	۹۳.۱	۹۴.۱	۱
Saudi	۹۲.۸	۹۳.۲	۰.۴
brent	۹۳.۳	۹۷.۱	۳.۸
wti	۹۲.۶	۸۷	-۵.۶
emirates	۹۳	۹۵.۳	۲.۳

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق جدول ۲، بازارهای الجزایر، آنگولا، مصر، ایران، لیبی، عمان، قطر، روسیه، عربستان سعودی، برنت و امارات متحده عربی فرستنده تلاطم هستند و بازارهای اندونزی، مالزی، مکزیک و بازار نفت وست تگزاس (wti) گیرنده تلاطم هستند.



شکل ۱. شبکه بازارهای نفت قبل از اجرای برجام

منبع: محاسبات تحقیق

شکل ۱، شبکه سرریز تلاطم بر اساس weighted out degree ترسیم شده است. گره‌های بزرگ‌تر مقدار weighted out degree بیش‌تری دارند، بازار نفت عمان به دلیل داشتن weighted out degree بالاتر، در شبکه گره بزرگ‌تری است. یال‌ها نشان‌دهنده سرریز تلاطم بین گره‌ها است و هر چه ضخامت این یال‌ها بیش‌تر باشد، سرریز بیش‌تری در گره‌ها نشان داده می‌شود.

جدول ۳. خصوصیات شبکه سرریز تلاطم در دوره قبل از اجرای برجام

	Indegree	Out degree	Degree	weighted in degree	weighted out degree	Weighted Degree	Page ranks
Algeria	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۲.۸	۲۰۲.۸	۰.۰۵۹
angola	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۲.۸	۲۰۲.۸	۰.۰۵۹
Egypt	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۱.۷	۲۰۱.۷	۰.۰۵۹
iran	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۱۰۲.۳	۲۰۲.۲	۰.۰۵۹
Indonesia	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۸۳.۹	۱۸۴	۰.۰۵۹
Libya	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۲.۸	۲۰۲.۸	۰.۰۵۹
malasiya	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۹۴.۳	۱۹۴.۳	۰.۰۵۹
mexico	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۹۷.۴	۱۹۷.۵	۰.۰۵۹
Norway	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۱۰۲	۲۰۱.۹	۰.۰۵۹
oman	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۴.۱	۲۰۴.۱	۰.۰۵۹
Qatar	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۱۰۳.۶	۲۰۳.۵	۰.۰۵۹
Russia	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۱۰۱.۱	۲۰۱	۰.۰۵۹
Saudi	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۰.۵	۲۰۰.۵	۰.۰۵۹
brent	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۳.۷	۲۰۳.۷	۰.۰۵۹
wti	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۹۴.۵	۱۹۴.۵	۰.۰۵۹
emirates	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۱۰۲.۴	۲۰۲.۵	۰.۰۵۹

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق جدول ۳، وزن یال ورودی به گره (indegree) و یال خروجی از گره (outdegree) برای بازارهای نفت، یکسان است و به این معناست که تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بازارهـای نفت در شبکه قبل از برجام یکسان است. قبل از برجام، بازار نفت قطر به دلیـل وزن یـال خروجی از گره (weighted outdegree) فرستنده تلاطم است و بازار نفت امارات، مکزیـک و اندونزی به دلیل وزن یال ورودی به گره (Weighted indegree) بالاتر، بـازار گیرنـده تلاطـم است. مقدار الگوریتم page Rank برای بازارهای نفت یکسان است که اهمیت یکسانی برای بازارهای نفت در شبکه نشان می‌دهد.

۲.۵ بررسی شبکهٔ سرریز تلاطم در دورهٔ اجرای برجام

در این بخش ابتدا با استفاده از شاخص سرریز دیبلد-ییلماز، سـرریز تلاطـم در بازارهـای نفت، بررسی خواهد شد و سپس با اسـتفاده از تئـوری شـبکه پیچیـده بـه بررسـی شـبکه بازارهای نفت پرداخته می‌شود.

جدول ۴. سرریز تلاطم بر اساس شاخص سرریز دیبلد-ییلماز در دوره اجرای برجام

	Algeria	angola	Egypt	iran	Indonesia	Libya	malasiya	mexico	Norway	oman	Qatar	Russia	Saudi	brent	wti	emirates
Algeria	۶.۴	۶.۲	۷.۱	۷.۹	۱۴	۶.۴	۵.۶	۲.۵	۶.۸	۳.۸	۴.۳	۷.۳	۴	۶.۹	۵.۱	۵.۷
angola	۶.۴	۶.۲	۷.۱	۷.۸	۱۳.۴	۶.۴	۵.۷	۲.۷	۶.۸	۳.۸	۴.۳	۷.۲	۴	۶.۹	۵.۴	۵.۷
Egypt	۶.۱	۵.۸	۷.۲	۷.۶	۱۳.۸	۶.۳	۵.۵	۲.۵	۶.۶	۴.۳	۴.۷	۷.۳	۴.۴	۶.۸	۵	۶.۳
iran	۶.۳	۶	۷.۲	۷.۸	۱۳.۱	۶.۴	۵.۷	۲.۴	۶.۷	۴.۲	۴.۶	۷.۳	۴.۳	۶.۹	۵	۶.۱
Indonesia	۵.۴	۴.۸	۷.۶	۸.۱	۱۵.۲	۵.۹	۴.۹	۲.۷	۵.۹	۳.۸	۴.۶	۷.۷	۳.۸	۶.۴	۶.۱	۶.۹
Libya	۶.۴	۶.۲	۷.۲	۷.۹	۱۲.۷	۶.۶	۵.۹	۲.۴	۶.۹	۳.۹	۴.۳	۷.۳	۴.۱	۷	۵.۵	۵.۷
malasiya	۶.۴	۶.۲	۷.۱	۷.۷	۱۲.۵	۶.۶	۵.۹	۲.۷	۶.۹	۴.۱	۴.۴	۷.۲	۴.۳	۷	۵.۴	۵.۷
mexico	۵.۳	۵.۳	۶.۷	۷.۱	۱۷.۷	۵.۳	۴.۳	۵.۳	۵.۶	۳.۹	۵.۱	۶.۸	۴	۶	۵.۱	۶.۶

	Algeria	angola	Egypt	iran	Indonesia	Libya	malasiya	mexico	Norway	oman	Qatar	Russia	Saudi	brent	wti	emirates
Norway	۶.۴	۶.۱	۷.۲	۸	۱۳.۷	۶.۶	۵.۸	۲.۳	۷	۳.۷	۴.۱	۷.۳	۳.۹	۷	۵.۱	۵.۷
oman	۵.۸	۵.۶	۷.۱	۷.۵	۱۳.۷	۶.۱	۵.۳	۲.۹	۶.۳	۴.۴	۴.۸	۷.۲	۴.۴	۶.۶	۵.۹	۶.۴
Qatar	۵.۹	۵.۵	۷.۲	۷.۶	۱۲.۸	۶.۱	۵.۴	۲.۹	۶.۲	۴.۵	۵	۷.۳	۴.۶	۶.۵	۶.۱	۶.۵
Russia	۶.۱	۵.۸	۷.۲	۷.۶	۱۳.۶	۶.۳	۵.۵	۲.۴	۶.۶	۴.۳	۴.۷	۷.۳	۴.۴	۶.۸	۵	۶.۳
Saudi	۵.۸	۵.۶	۷	۷.۴	۱۴.۶	۶.۱	۵.۲	۳	۶.۳	۴.۳	۴.۸	۷.۱	۴.۳	۶.۶	۵.۳	۶.۴
brent	۶.۳	۶.۱	۷.۲	۷.۹	۱۳.۴	۶.۵	۵.۷	۲.۵	۶.۹	۳.۹	۴.۳	۷.۳	۴.۱	۷	۵.۲	۵.۸
wti	۵.۷	۴.۹	۷.۷	۸.۳	۱۲.۸	۶	۵.۴	۲.۸	۵.۸	۳.۹	۴.۷	۷.۸	۴.۲	۶.۳	۷.۴	۶.۴
emirates	۵.۸	۵.۶	۷.۱	۷.۵	۱۴.۱	۶.۲	۵.۳	۲.۸	۶.۴	۴.۳	۴.۷	۷.۱	۴.۳	۶.۷	۵.۶	۶.۵

منبع: محاسبات تحقیق

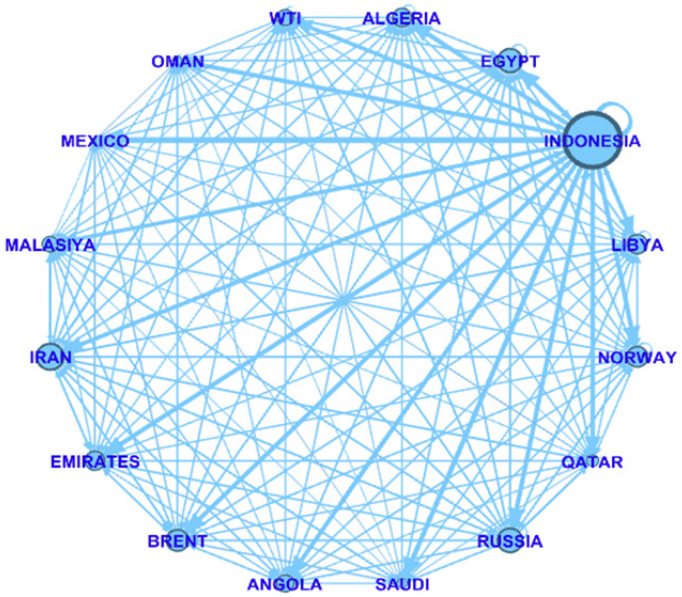
مطابق جدول ۴، سرریز تلاطم در زمان اجرای برجام از بازار نفت الجزایر به بازار نفت ایران، ۶/۳ درصد، از بازار نفت آنگولا ۶ درصد، از بازار نفت مصر، ۷/۲ درصد، از بازار اندونزی ۱۳/۱ درصد، از بازار نفت لیبی ۶/۴ درصد، از بازار نفت مالزی ۵/۷ درصد، از بازار نفت مکزیک ۲/۴ درصد، از بازار نفت نروژ ۶/۷ درصد، از بازار نفت عمان۴/۲ درصد، از بازار نفت قطر ۴/۶ درصد، از بازار نفت روسیه ۷/۳ درصد، از بازار نفت عربستان سعودی ۳/۴ درصد و از بازار نفت برنت، ۶/۹ درصد، از بازار نفت wti ۵ درصد و از بازار نفت امارات ۶/۱ درصد است.

جدول ۵. میانگین سرریزهای خالص هدایتی و جهت‌دار تلاطم در بازارهای نفت در دوره اجرای برجام

	سرریز از دیگران	سرریز به دیگران	میانگین سرریزهای خالص هدایتی و جهت‌دار
Algeria	۹۳.۶	۹۰.۲	-۳.۴
angola	۹۳.۸	۸۵.۷	-۸.۱
Egypt	۹۲.۸	۱۰۸	۱۵.۲
iran	۹۲.۲	۱۱۶	۲۳.۸
Indonesia	۸۴.۸	۲۰۵.۸	۱۲۱
Libya	۹۳.۴	۹۳.۲	-۰.۲
malasiya	۹۴.۱	۸۱.۳	-۱۲.۸
mexico	۹۴.۷	۳۹.۵	-۵۵.۲
Norway	۹۳	۹۶.۸	۳.۸
oman	۹۵.۶	۶۰.۷	-۳۴.۹
Qatar	۹۵	۶۸.۴	-۲۶.۶
Russia	۹۲.۷	۱۰۹.۲	۱۶.۵
Saudi	۹۵.۷	۶۲.۸	-۳۲.۹
brent	۹۳	۱۰۰.۳	۷.۳
wti	۹۲.۶	۸۰.۶	-۱۲
emirates	۹۳.۵	۹۲.۲	-۱.۳

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق جدول ۵، بازارهای نفت ایران، مصر، اندونزی، نروژ، روسیه و برنت، فرستنده تلاطم و بازارهای الجزایر، آنگولا، لیبی، مالزی، مکزیک، عمان، قطر، عربستان سعودی، wti و امارات، گیرنده تلاطم هستند.



شکل ۲. شبکه سرریز تلاطم در دوره اجرای برجام

منبع: محاسبات تحقیق

شکل ۲، شبکه بر اساس weighted outdegree ترسیم شده است. در شبکه سرریز تلاطم، بازار نفت اندونزی، بیش‌ترین فرستنده تلاطم در این شبکه است. بازار نفت اندونزی به‌دلیل داشتن بیش‌ترین weighted out degree گره بزرگ‌تری در شبکه سرریز تلاطم است.

جدول ۶. خصوصیات شبکه سرریز تلاطم در دوره اجرای برجام

	Indegree	Outdegree	Degree	weighted indegree	weighted out degree	Weighted Degree	Page ranks
Algeria	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۹۶.۵	۱۹۶.۵	۰.۰۵۹
angola	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۸	۹۱.۹	۱۹۱.۷	۰.۰۵۹
Egypt	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۲	۱۱۴.۹	۲۱۵.۱	۰.۰۵۹
iran	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۲۳.۷	۲۲۳.۷	۰.۰۵۹

	Indegree	Outdegree	Degree	weighted indegree	weighted out degree	Weighted Degree	Page ranks
Indonesia	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۸	۲۲۱.۱	۳۲۰.۹	۰.۰۵۹
Libya	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۹۹.۸	۱۹۹.۸	۰.۰۵۹
malasia	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۸۷.۱	۱۸۷.۲	۰.۰۵۹
mexico	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۴۴.۸	۱۴۴.۹	۰.۰۵۹
Norway	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۱۰۳.۷	۲۰۳.۶	۰.۰۵۹
oman	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۶۵.۱	۱۶۵.۱	۰.۰۵۹
Qatar	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۷۳.۴	۱۷۳.۵	۰.۰۵۹
Russia	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۱۱۶.۵	۲۱۶.۴	۰.۰۵۹
Saudi	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۸	۶۷.۱	۱۶۶.۹	۰.۰۵۹
brent	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۱۰۷.۴	۲۰۷.۵	۰.۰۵۹
wti	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۸۸.۲	۱۸۸.۳	۰.۰۵۹

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق جدول ۶، مقدار indegree و outdegree برای بازارهای نفت یکسان است و به این معناست که تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در بازارهای نفت، در شبکه سرریز تلاطم یکسان است.

۳.۵ بررسی شبکهٔ سرریز تلاطم در زمان خروج از برجام

در این بخش با استفاده از شاخص دیبلد-ییلماز، سرریز تلاطم در بازارهای نفت، بررسی می‌شود و شبکه سرریز تلاطم، رسم می‌شود.

جدول ۷. سرریز تلاطم بر اساس شاخص سرریز دیبلد-ییلماز در دوره خروج از برجام

	Algeria	angola	Egypt	iran	Indonesia	Libya	malasiya	mexico	Norway	oman	Qatar	Russia	Saudi	brent	wti	emirates
Algeria	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۲	۶	۶.۲	۶.۲	۶	۶.۶	۶.۴	۶.۵	۶.۱	۶.۴	۵.۹	۶.۶
angola	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۲	۶	۶.۱	۶.۲	۶	۶.۶	۶.۴	۶.۶	۶.۱	۶.۵	۵.۹	۶.۶
Egypt	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۳	۶	۶.۲	۶	۶	۶.۷	۶.۴	۶.۶	۶.۱	۶.۴	۵.۹	۶.۷
iran	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۳	۶	۶.۲	۶.۱	۶	۶.۷	۶.۴	۶.۶	۶.۱	۶.۴	۵.۹	۶.۷
Indonesia	۵.۸	۵.۸	۶.۴	۶.۵	۶.۷	۶	۶.۲	۵.۴	۵.۹	۶.۸	۶.۴	۶.۵	۶.۳	۶.۴	۶.۲	۶.۷
Libya	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۲	۶	۶.۲	۶	۶	۶.۶	۶.۴	۶.۵	۶.۱	۶.۴	۵.۹	۶.۶
malasiya	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۵	۶.۲	۶	۶.۲	۵.۹	۶	۶.۷	۶.۴	۶.۵	۶.۲	۶.۴	۵.۹	۶.۷
mexico	۶	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۱	۶.۱	۶.۱	۶.۶	۶.۱	۶.۵	۶.۳	۶.۶	۶	۶.۵	۵.۹	۶.۵
Norway	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۲	۶	۶.۲	۶.۱	۶	۶.۶	۶.۴	۶.۶	۶.۱	۶.۴	۵.۹	۶.۶
oman	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۵	۶.۳	۶	۶.۲	۵.۷	۶	۶.۸	۶.۵	۶.۵	۶.۳	۶.۴	۶.۱	۶.۷
Qatar	۵.۹	۵.۹	۶.۵	۶.۵	۶.۲	۶.۱	۶.۲	۵.۹	۶	۶.۷	۶.۴	۶.۵	۶.۲	۶.۴	۶	۶.۷
Russia	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۶	۶.۳	۶	۶.۲	۶	۶	۶.۷	۶.۴	۶.۶	۶.۱	۶.۴	۵.۹	۶.۷
Saudi	۵.۹	۵.۹	۶.۵	۶.۵	۶.۲	۶.۱	۶.۲	۶	۶	۶.۶	۶.۴	۶.۵	۶.۲	۶.۴	۶	۶.۶
brent	۵.۹	۵.۹	۶.۵	۶.۵	۶.۳	۶.۱	۶.۲	۵.۹	۶	۶.۷	۶.۴	۶.۵	۶.۲	۶.۴	۶	۶.۷
wti	۵.۹	۵.۹	۶.۵	۶.۵	۶.۳	۶.۱	۶.۱	۶	۶	۶.۶	۶.۴	۶.۵	۶.۲	۶.۴	۶.۱	۶.۶
emirates	۵.۹	۵.۸	۶.۵	۶.۵	۶.۳	۶	۶.۲	۵.۸	۶	۶.۷	۶.۵	۶.۵	۶.۲	۶.۴	۶	۶.۷

منبع: محاسبات تحقیق

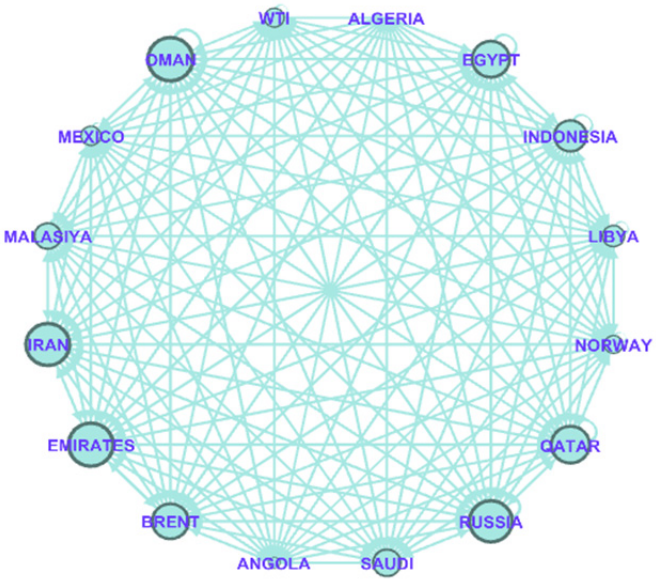
مطابق جدول ۷، سرریز تلاطم در زمان خروج از برجام، از بازار نفت الجزایر بـه بـازار نفت ایران، ۵/۹ درصد، از بازار نفت آنگولا ۵/۸ درصد، از بازار نفت مصر، ۶/۵ درصـد، از بازار اندونزی ۶/۳ درصد، از بازار نفت لیبی ۶ درصد، از بازار نفت مـالزی ۶/۲ درصـد، از بازار نفت مکزیک ۶/۱ درصد، از بازار نفت نروژ ۶ درصد، از بازار نفت عمان ۶/۷ درصـد، از بازار نفت قطر ۶/۴ درصد، از بازار نفـت روسـیه ۶/۶ درصـد، از بـازار نفـت عربسـتان سعودی ۶/۱ درصد و از بازار نفت برنت، ۶/۴ درصد، از بازار نفت wti ۵/۹ درصد و بـازار نفت امارات ۶/۷ درصد است.

جدول ۸. میانگین سرریزهای خالص هدایتی و جهت دار تلاطم در بازارهای نفت در دوره خروج برجام

	سرریز از دیگران	سرریز به دیگران	میانگین سرریزهای خالص هدایتی و جهت دار
Algeria	۹۴.۱	۸۸.۴	-۵.۷
angola	۹۴.۲	۸۷.۵	-۶.۷
Egypt	۹۳.۵	۹۷.۴	۳.۹
iran	۹۳.۴	۹۸	۴.۶
Indonesia	۹۳.۳	۹۳.۶	۰.۳
Libya	۹۴	۹۰.۶	-۳.۴
malasiya	۹۳.۸	۹۲.۳	-۱.۵
mexico	۹۳.۴	۸۹.۱	-۴.۳
Norway	۹۴	۹۰.۲	-۳.۸
oman	۹۳.۲	۹۹.۶	۶.۴
Qatar	۹۳.۶	۹۶	۲.۴
Russia	۹۳.۴	۹۸	۴.۶
Saudi	۹۳.۸	۹۲.۴	-۱.۴
brent	۹۳.۶	۹۶.۳	۲.۷
wti	۹۳.۹	۸۹.۳	-۴.۶
emirates	۹۳.۳	۹۹.۸	۶.۵

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق جدول ۸، بازارهای مصر، ایران، اندونزی، عمان، قطر، روسیه، برنت و امارات فرستنده تلاطم و بازارهای الجزایر، آنگولا، لیبی، مالزی، مکزیک، نروژ، عربستان سعودی و wti گیرنده تلاطم هستند.



شکل ۳. شبکه سرریز تلاطم در دوره خروج از برجام

منبع: محاسبات تحقیق

شکل ۳، شبکه بازارهای نفت بر اساس weighted out degree ساخته شده است. در این شبکه، بازار نفت عمان به دلیل داشتن weighted out degree بیش‌تر، گره بزرگ‌تری در شبکه سرریز تلاطم است.

جدول ۹. خصوصیات شبکه سرریز تلاطم در دوره خروج از برجام

	In degree	Out degree	Degree	weighted in degree	weighted out degree	Weighted Degree	Page ranks
ALGERIA	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۹۰.۲	۱۹۰.۱	۰.۰۵۹
ANGOLA	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۹۳.۳	۱۹۳.۳	۰.۰۵۹
EGYPT	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۱۰۲.۶	۲۰۲.۷	۰.۰۵۹
IRAN	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۲	۱۰۴.۸	۲۰۵	۰.۰۵۹
INDONESIA	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۱۰۰.۷	۲۰۰.۷	۰.۰۵۹
LIBYA	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۷	۹۷	۱۹۶.۷	۰.۰۵۹
MALASIYA	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۸	۹۸.۷	۱۹۸.۵	۰.۰۵۹
MEXICO	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۲	۹۶.۳	۱۹۶.۵	۰.۰۵۹
NORWAY	۱۶	۱۶	۳۲	۹۹.۹	۹۵.۸	۱۹۵.۷	۰.۰۵۹
OMAN	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۲	۱۰۵.۳	۲۰۵.۵	۰.۰۵۹
QATAR	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۱۰۲.۹	۲۰۳	۰.۰۵۹
RUSSIA	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۱	۱۰۴.۵	۲۰۴.۶	۰.۰۵۹
SAUDI	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰	۹۹.۱	۱۹۹.۱	۰.۰۵۹
BRENT	۱۶	۱۶	۳۲	۱۰۰.۲	۱۰۲.۲	۲۰۲.۴	۰.۰۵۹
WTI	۱۶	۱۶	۳۲	۹۴.۵	۹۶.۲	۱۹۰.۷	۰.۰۶۲

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق جدول ۹، مقدار indegree و outdegree برای بازارهای نفت یکسان است و به این معناست که تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در شبکه بازارهای نفت در زمان خروج برجام یکسان است.

۶. نتیجه‌گیری

بازار نفت از بازارهای مهم برای کشور ایران، به دلیل تأمین بیش‌ترین بخش از بودجه است. در این پژوهش به بررسی توافق برجام بر بازار نفت ایران با استفاده از شاخص سرریز

دیبلد-ییلماز و تئوری شبکه پیچیده در سه دوره زمانی پرداخته شد. مطابق نتایج به‌دست آمده تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بازارهای نفت در شبکه قبل از توافق برجام، یکسان است. قبل از اجرای برجام بازار، بازار نفت قطر به دلیل وزن یال خروجی از گره (weighted outdegree) فرستنده تلاطم، است و بازار نفت امارات، مکزیک و اندونزی به دلیل وزن یال ورودی به گره (Weighted indegree) بالاتر، بازار گیرنده تلاطم، است. مقدار الگوریتم Page Rank برای بازارهای نفت یکسان است که نشان‌دهنده اهمیت یکسان بازارهای نفت در شبکه است.

در دوره اجرای برجام، شبکه بر اساس weighted outdegree ساخته شده است. در شبکه سرریز تلاطم، بازار نفت اندونزی، بیش‌ترین فرستنده تلاطم در شبکه است. بازار نفت اندونزی به‌دلیل داشتن بیش‌ترین weighted outdegree گره بزرگ‌تری در شبکه سرریز تلاطم است. در دوره خروج از برجام، بازارهای مصر، ایران، اندونزی، عمان، قطر، روسیه، برنت و امارات فرستنده تلاطم و بازارهای الجزایر، آنگولا، لیبی، مالزی، مکزیک، نروژ، عربستان سعودی و wti گیرنده تلاطم هستند. در دوره اجرای برجام، وزن یال خروجی از گره بازار نفت ایران افزایش یافته است و به این معنی است که بازار نفت ایران، تلاطم بیش‌تری را به بازارهای دیگر می‌فرستد و نشان‌دهنده افزایش سرریز تلاطم از بازار نفت ایران به دیگر بازارها است و بیان‌گر افزایش اثرگذاری بازار نفت ایران در دوره اجرای برجام در شبکه بازارهای نفت است. در دوره خروج از برجام، سرریز تلاطم بازار نفت ایران، کاهش یافته است. بازار نفت ایران در سه دوره مورد بررسی، فرستنده تلاطم است. بازار نفت ایران در دوره اجرای برجام، سرریز تلاطم بیش‌تری به سایر بازارها داشته است و بازارهای دیگر را بیش‌تر تحت تأثیر قرار می‌دهد. در دوره اجرای برجام، بازار نفت ایران، قدرت انتقال تلاطم بیش‌تری دارد.

با توجه به تأثیرگذاری بیش‌تر بازار نفت خام ایران در دوره اجرای برجام و سرریز بیش‌تر تلاطم به دیگر بازارهای نفت، اجرای برجام به نفع بازار نفت ایران بوده است، پیشنهاد می‌شود تلاش برای احیای این توافق‌نامه انجام شود. با توجه به نقش مهمی که بازار نفت ایران در تأمین بودجه کشور دارد، برجام به اثرگذاری بازار نفت ایران در شبکه بازارهای نفت موثر بوده است. مطابق نتایج این پژوهش، اجرای برجام بر بازار نفت ایران اثرگذار بوده است و این موضوع را تیم مذاکره کننده ایران باید در تصمیم‌گیری‌های خود در نظر بگیرند.

کتاب‌نامه

رضوی، سید عبداله و نصراصفهانی، محمد. (۱۳۹۹). بررسی تحلیل اثرات سیاست‌های انرژی ترامپ بر امنیت بازارهای نفت خام ایران، پژوهش‌های راهبردی، ۱۳۴-۱۰۳:(۹)۳۵.

رضوی، سیدعبداله و صادقی شاهدانی، مهدی. (۱۳۹۸). تاثیر سیاست های انرژی آمریکا بر قیمت نفت خام، پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. ۲۱۱-۱۸۳: (۱۶) ۵.

شعاریان، ابراهیم و جمشیدی، تورج. (۱۳۹۹). خروج از برجام و جبران خسارت ناشی از عدم اجرای قرادادهای تجاری بین‌المللی. پژوهش حقوق عمومی، (۳۲-۹) ۶۹:۲۲.

خلیلی، رضا. (۱۳۹۵). پیامدهای منطقه‌ای و بین‌المللی برجام: رویکردی استراتژیک، مطالعات راهبردی. ۱۵۷-۱۳۱:(۲) ۱۹.

Bahloul, S and Khemakhem, I .(2021). Dynamic return and volatility connectedness between commodities and Islamic stock market indices. Resources Policy 71.

Barbaglia, L, Croux, C, Wilms, I .(2019). Volatility Spillovers in Commodity Markets: A Large *t*-Vector Autoregressive Approach. Energy Economics.

Bonato, M., Caporin M. and Ranaldo, A. (2011). Hedging risk spillovers in international equity Portfolios. Working paper.1-32.

Chowdhury, B, Dungy, M, Kangogo, M, Abu Sayeed, M, Volkov, V, (2019). The Changing Network of Market Linlage: The Asian Experience, International Review of Financial Analysis, 64:71-92.

Diebold, F.X., Yilmaz, K.(2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. Int. J. Forecast. 28 (1), 57–66.

Forbes, K., Rigobon, R. (2004). Contagion in Latin America: Definitions, Measurement, and Policy Implications. *NBER Working Paper, 1*,1-46.

Forbes KJ, Rigobon R. (2002). No contagion, only interdependence: measuring stock market comovements. J Finance, 57(5).

Fu, J and Qiao, H.(2021). The Time-Varying Connectedness Between China's Crude Oil Futures and International Oil Markets: A Return and Volatility Spillover Analysis. Letters in Spatial and Resource Sciences.

Guloglu, B, Kaya, P. Aydemir, R. (2016). Volatility transmission among Latin American stock markets under structural breaks. Physica A,462:330-340.

Huang, L., Liu, H., (2007). Rational inattention and portfolio selection. J. Finance 62 (4), 1999–2040.

Jiang, S,. Li, Y, Lu, Q,. Wang, S.,Wei, Y. (2022). Volatility communicator or receiver? Investigating volatility spillover mechanisms among Bitcoin and other financial markets. Research in International Business and Finance. 59, 101543.

Kollias, C, Kyrtsou, C, Papadamou, S. (2013). The effects of terrorism and war on the oil price–stock index relationship. Energy Economics. 40: 743-752.

King, M.A., Wadhwani, S., (1990). Transmission of volatility between stock markets. Rev. Financ. Stud. 3 (1): 5–33.

Kleit, A.N., (2001). Are regional oil markets growing closer together?: an arbitrage cost approach. Energy J. 22, 1e15.

Liu, X,.An, H, Li, H,. Chen, Z,. Feng, S,.Wen, S.(2017). Features of spillover networks in international financial markets: Evidence from the G20 countries. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 479: 265-278.

Mantegna, R. N., & Stanley, H. E. (1999). Introduction to econophysics: correlations and complexity in finance. Cambridge university press. ISBN 0-511-03502-0.

Nettleton, D. (2014*).* Commercial data mining: processing, analysis and modeling for predictive analytics projects: Elsevier.

Natarajan, V,K, Singh, A.R.R, Priya, N,C.(2014). Examining mean-volatility spillovers across national stock markets. Journal of Economics, Finance and Administrative Science.19: 55-62.

Ouyang z-y, Qin, Z, Cao, H, (2021).A spillover network analysis of the global crude oil market: Evidence from the post financial crisis era, Petroleum Science.

Zięba , D. Kokoszczyński, R., Śledziewska, R. (2019).Shock transmission in the cryptocurrency market. Is Bitcoin the most influential?. International Review of Financial Analysis.64*:* 102-125.

Zhao, L., Li, W., & Cai, X. (2016). Structure and dynamics of stock market in times of crisis. *Physics Letters A, 380*(5 6), 654-666.

Zhang, W, Zhuang, X and Lu, Y. (2020) .Spatial spillover effects and risk contagion around G20 stock markets based on volatility network. North American Journal of Economics and Finance.

Zhou, W, Chen, Y, Chen, J . (2022). Risk spread in multiple energy markets: Extreme volatility spillover network analysis before and during the COVID-19 pandemic. Energy, 256.