

مدل سازی بازدارندگی نفت در منطقه خلیج فارس

غلامرضا رکنی^{۱*}، عباس زمانیان^۲

^۱ دانشیار، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ دانشجوی دکتری علوم سیاسی، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

نفت عنصر ثابت پژوهش‌های سیاسی ایران معاصر است، و نقش آن در حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی ایران به انجای مختلفی بررسی شده است. با این حال، نفت عاملی مؤثر بر امنیت ملی و ثبات منطقه‌ای به‌ویژه در خلیج فارس است که کشورهای آن بخش چشمگیری از نفت مورد نیاز جهان را تأمین می‌کنند. تجارت و امنیت یار قدیم‌اند و با توجه به حساسیت و آسیب‌پذیری عمومی جهان در قبال نفت، تجارت این کالا حتی بیش از سایر کالاها مستلزم امنیت است. با این حال، خلیج فارس و پیرامون آن مدت‌ها دستخوش جنگ‌های متعددی بوده است؛ و این تناقض مستلزم توضیح است. ویژگی برجسته تجارت نفت نوسان است؛ نوسان عرضه، نوسان تقاضا، نوسان قیمت، و نوسان سهم کشورها و مناطق نفت‌خیز از تجارت جهانی نفت. در این پژوهش، با هدف ارائه توضیحی در مورد تناقض جنگ و تجارت، رابطه جنگ و خشونت با نوسان‌های ذاتی بازار نفت بررسی می‌شود. پرسش پژوهشی اصلی این است که چگونه نوسان نسبت سهم تجارت نفت منطقه خلیج فارس به تجارت جهانی نفت بر رخداد خشونت و جنگ در این منطقه و پیرامون آن تأثیر می‌گذارد؟ در پاسخ به این پرسش، فرضیه بازدارندگی نفت ارائه شده است که با استفاده از داده‌های موجود و مدل‌سازی ریاضی، درستی آن آزمون می‌شود. انتظار از مدل‌سازی این است که رخدادهای حاصل از افراط و تفریط در تجارت نفت منطقه را نشان داده و محدوده مناسبی از بازدارندگی تجارت نفت این منطقه را نمایش دهد. بازدارندگی نفت وجهی ساختاری دارد، و مستلزم شرایطی است که به‌صورت گزاره ریاضی تعریف شده باشند. برای مدل‌سازی از حوزه دستگاه‌های دینامیکی با تکنیک معادلات دیفرانسیل استفاده شده است. مدل ارائه شده نوسانی بودن مقوله بازدارندگی را نشان می‌دهد که بر اساس آن می‌توان «پهنای باند بازدارندگی» را محاسبه کرد. این محاسبه‌ها با داده‌های میدانی نیز سازگاری پذیرفتنی‌ای دارد. رخ دادن جنگ‌های متعدد در منطقه خلیج فارس و خاورمیانه، و نبود تناقض آن با بازدارندگی نفت بر اساس نظریه انشعاب توضیح داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جنگ، خلیج فارس، دستگاه دینامیکی، معادلات دیفرانسیل، نفت، نوار بازدارندگی

* نویسنده مسئول، رایانامه: rokni@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۱، تاریخ تصویب: ۲۳ آبان ۱۴۰۱

۱. مقدمه

منبع طبیعی راهبردی نفت، یکی از عوامل ثابت در مطالعات سیاسی ایران معاصر بوده است. استبداد، شکاف دولت-ملت (کاتوزیان، ۱۳۷۲: ۲۲ و ۲۹۸-۲۷۹)، توسعه ناهمگون (آبراهامیان، ۱۳۷۷: ۵۲۵)، دولت رانتیر (اسکاچپول، ۱۳۸۲) و توسعه وابسته (فوران، ۱۳۷۷: ۳۳) از موضوع‌ها و مفاهیم اصلی در پژوهش‌های سیاسی ایران معاصرند که نفت در همه آنها ایفای نقش می‌کند. نقش ویرانگر نفت در ناپایداری ساختار طبقاتی جامعه، شکاف بین گروه‌های حاکم و نیروهای اجتماعی، توسعه نیافتگی سیاسی و ایجاد حکومت وابسته سرکوب‌گر مستقل از مردم نشان داده شده است. با وجود کارکردهای مخرب اقتصادی، اجتماعی و سیاسی، نفت در امنیت ملی ایران و دیگر کشورهای خلیج فارس و نیز ثبات منطقه‌ای کارکردی بسیار حساس دارد که مغفول مانده است. در سال‌های اخیر با وجود افزایش تنش میان ایران و آمریکا و هم‌پیمانان آن، جنگی در خلیج فارس رخ نداده است. در هر حال، همچنان که تجربه نشان داده، نمی‌توان گفت که جنگی در خلیج فارس در آینده رخ نمی‌دهد. در توضیح چگونگی وقوع و عدم وقوع جنگ در منطقه کارکرد بازدارندگی نفت پیشنهاد می‌شود که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

آمار نشان می‌دهد که نفت بخش کوچکی از تجارت جهانی را تشکیل می‌دهد. برای نمونه، در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ که ایران تحریم شدید نفتی را تجربه می‌کرد، نفت تنها ۵/۴۴ درصد تجارت جهانی را به خود اختصاص داده بود (Observatory of Economic Complexity, 2021)، ولی باید به این موضوع توجه کرد که بخش چشمگیری از ۹۴/۶۶ درصد دیگر به نفت و مشتقات آن، چه به‌عنوان ماده اولیه و چه به‌عنوان منبع انرژی وابسته است. از سوی دیگر، در همین سال‌ها کشورهای خلیج فارس ۳۳/۹ و ۳۲ درصد از صادرات جهانی نفت را در اختیار داشته‌اند که سهم اندکی از تجارت جهانی است (OPEC, Selected Years)، ولی از آنجا که وابستگی زندگی جوامع امروزی به نفت و مشتقات آن بسیار زیاد است، وزن نفت در تجارت جهانی به‌طور چشمگیری بیشتر از سهم آن در تجارت جهانی است. همچنین نفت در سطحی لرزان^۱ و قیمتی منعطف و ناپایدار عرضه می‌شود. با توجه به نبود امکان تأمین فوری کمبود ناگهانی نفت، هرگونه اختلال در عرضه موجب حرکت تعادل ناپایدار^۲ به سوی مرزهای آسیب‌زا برای کشورهای صنعتی و نیز کشورهای تولیدکننده نفت می‌شود. در نتیجه کنش‌های هردو دسته به‌طور معمول معطوف به اعاده تعادل به بازار نفت است. کشورهای صنعتی در اصل هیچ‌گونه اهمیت ذاتی برای کشورهای تولیدکننده نفت قائل نیستند مگر در حد حفظ منافع. این امر مفهوم تعادل را برای قطب‌های صنعتی و کشورهای

1. Volatile
2. Unstable Equilibrium

صادرکننده نفت متفاوت می‌کند. در نتیجه بازار نفت ثبات چندگانه^۱ پیدا می‌کند که موجب حساسیت بالای آن می‌شود.

در این پژوهش، تأثیر سهم تجارت نفت منطقه خلیج فارس از تجارت جهانی نفت بر بازدارندگی از اقدام‌های خشونت‌آمیز و رخداد جنگ در منطقه خلیج فارس بررسی می‌شود. در این زمینه اطلاعات عددی مربوط به صنعت نفت تا حد پذیرفتنی در دسترس‌اند، ولی کیفیت نقش بازدارندگی نفت به صورت یک عدد به اندازه کافی در دسترس نیست. به دلیل محدود بودن منابع کره زمین از جمله نفت، هر نوع افزایش یا کاهش تجارت نفت در یک منطقه بر تجارت نفت سایر مناطق اثر می‌گذارد. بدین ترتیب، با کنترل سهم مناطق مختلف، امکان کنترل درگیری‌ها و کشمکش‌ها فراهم می‌شود. ما سعی داریم تا در چارچوبی بین‌رشته‌ای این کیفیت را به صورت کمی ارائه کنیم (رکتی‌لموکی، ۱۴۰۰). به این منظور بازدارندگی را براساس نسبت جریان نفت خلیج فارس به جریان نفت جهان به عنوان یک عامل کنترل سیستمی تعریف و محاسبه خواهیم کرد.

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات کمی در حوزه مدلسازی ریاضی پدیده‌های واقعی به طور معمول در دو چارچوب ایستا^۲ و پویا^۳ قرار می‌گیرد. در مدلسازی ایستا به طور متعارف داده‌های آماری با روش‌های مرسوم آماری و نیز در ترکیب با صورت‌های جبری بررسی می‌شوند. برای نمونه، می‌توان به مطالعات تأثیر ژئوپولیتیک نفت و تأثیر آن بر هند با استفاده از روش‌های ایستا در (Estrada et al., 2020) اشاره کرد. در مقابل مطالعات پویا از ابزارهایی مانند نظریه بازی‌ها، نگاشت‌های تحولی، و معادلات دیفرانسیل برای مدلسازی و بررسی تحولات در طی زمان و نیز تحلیل حساسیت نسبت به پارامترها^۴ استفاده می‌کنند. برای نمونه، شماری از پژوهشگران از مدل‌های دستگاه‌های دینامیکی، که بنا بر طبیعت خود پویا هستند، برای مطالعه پویای بازار نفت استفاده کرده‌اند (Hosseini et al., 2016). برای شبیه‌سازی نیز از مدلسازی پویا استفاده شده است (Estrada et al., 2020).

موضوع نفت در پژوهش‌های موجود بیشتر در حوزه اقتصاد کلان بررسی شده است. این گونه مطالعات نقش نفت در اقتصادهای ملی، و نیز در توسعه و اقتصاد انرژی را بررسی

1. Bistability
2. Static
3. Dynamics

۴. پارامترها Parameters کمیت‌هایی هستند که در مدل ثابت فرض می‌شوند، ولی امکان تغییر آنها برای دریافت رفتار کیفی گوناگون وجود دارد. در ضمن، پارامتری‌سازی Parameterization بیان یک مفهوم ریاضی بر اساس تغییر یک پارامتر در محدوده‌ای معین است.

کرده‌اند. پیشنهاد و برآورد مدل‌های اقتصادسنجی برای توسعه اکتشاف و استخراج نفت در حوزه دریای شمال نمونه‌ای از مدل‌سازی در حوزه نفت است که صرفاً جنبه اقتصادی دارد (Pesaran, 1991). همچنین مدلی زمانی از سیاست اکتشاف و تولید نفت و قیمت‌گذاری ارائه شده است (Pesaran, 1990). این مطالعه یک مدل خودرگرسیون برداری جهانی^۱ را برای شبیه‌سازی انواع شوک به بازارهای نفت معرفی کرده، و حساسیت زمانی چنین شوک‌هایی را در بازارهای نفت بررسی کرده است. محدث و پسران با استفاده از یک مدل اقتصادسنجی سه‌ماهه کاهش تا حدی سریع قیمت نفت وابسته به کاهش نرخ بهره و تورم را در بیشتر کشورها بررسی، و افزایش قیمت‌های واقعی سهام جهانی نفت را بیان کرده‌اند. هرچند تأثیر بر تولید واقعی مثبت است، ولی تحقق آنها زمان بیشتری طول می‌کشد. افزون‌بر این، با استفاده از مشاهده‌های ماهانه بر روی قیمت واقعی نفت، قیمت سهام واقعی و سود سهام واقعی، تأثیر قیمت‌های پایین نفت بر اقتصاد ایالات متحده را در دوره‌های مختلف بررسی کرده‌اند (Mohaddes & Pesaran, 2016).

مدل‌سازی اکتشاف و استخراج نفت امری کلان است و ملاحظات اقتصادی، زمین‌شناسی و سیاسی مهمی را در برمی‌گیرد. کار مدل‌سازی با نبود قطعیت‌هایی که ممکن است اندازه‌گیری‌نشده باشند، تحت تأثیر دینامیک آتی قیمت نفت و کشف میادین نفتی جدید قرار دارد (Pesaran et al., 1989). برای امور استخراج و فنون بهره‌برداری نیز پژوهش‌های کمی و پویا نقشی اساسی دارند. برای نمونه، (Liu et al., 2013) یک سیستم ارزیابی کمی را برای اندازه‌گیری آمادگی مخازن نفت و گاز برای توسعه با در نظر گرفتن مخزن و کیفیت داده‌های ورودی بیان می‌کند. از دیدگاهی دیگر، مقوله رابطه نفت و دموکراسی موضوع یک مطالعه کمی و در نهایت پویاست (Ross, 2001). علت پویا بودن این مقوله این است که مشاهده تنوع شرایط اجتماعی کشورهای مختلفی که تولیدکننده و فروشنده نفت هستند، نشان می‌دهد که رابطه‌ای ایستا میان نفت و دموکراسی وجود ندارد، بلکه این مقوله پدیده‌ای پویا بوده، و دینامیک آن تابع عوامل و متغیرهای کلان بومی، منطقه‌ای و بین‌المللی است. در ادامه چنین پژوهش‌های پویایی، در این پژوهش به موضوع بازدارندگی نفت، و مدل‌سازی آن، به‌عنوان مقوله‌ای پویا توجه می‌کنیم.^۲

۳. چارچوب نظری

از پایان جنگ جهانی دوم به بعد نظریه‌های مختلف بازدارندگی شکل گرفتند که ناظر بر

1. GVAR

۲. برای جزئیات تحلیل‌های دینامیکی می‌توان به (Guckenheimer et al., 1989; Kuznetsov, 2004) مراجعه کرد.

جنگ سرد و رابطه ایالات متحده-اتحاد جماهیر شوروی بودند. هرچند بازدارندگی با پایان جنگ سرد به طور موقت جای خود را به نظریه‌های دیگر داد، ولی بازدارندگی پدیده‌ای عام است نه «پدیده‌ای محدود به زمان و مکان خاص» (Quackenbush, 2011). از این رو، بسط نظری و بررسی‌های موردی و کمی لازمه ارتقای بحث بازدارندگی است.

چالش اصلی بازدارندگی ناسازگاری بررسی‌های موردی با نظریه‌هاست. «تحلیلگران با بررسی موارد موفقیت و ناکامی بازدارندگی به این نتیجه رسیده‌اند که نظریه بازدارندگی هم از حیث توصیفی و هم از حیث تجویزی ناکارآمد است» (Achen & Snidal, 1989)، زیرا از نظر تحلیلگران رخ ندادن تهاجم و جنگ دال بر موفقیت، و رخ دادن تهاجم و جنگ دال بر ناکامی بازدارندگی است. از آنجا که دامنه تبیین‌گری نظریه‌ها ناگزیر محدود است، دست زدن بازیگران به حمله تنها نشانگر مشروط بودن بازدارندگی است نه نادرستی آن. بروز جنگ به معنی ناکارآمدی بازدارندگی نیست، بلکه محدوده بازدارندگی را مشخص می‌کند. بنابراین یافتن روشی برای توضیح بازدارندگی و محاسبه محدوده آن ضروری است.

برای توضیح و تحدید حدود بازدارندگی باید نشان داد که بازدارندگی کجا عمل نمی‌کند (Zagare & Kilgour, 1998). انواع نظریه‌های بازدارندگی بر قاعده‌مندی پدیده بازدارندگی مبتنی هستند. این قاعده‌مندی به معنی وجود داده‌هایی زمانمند است که می‌توان آنها را در چارچوب دستگاه‌های دینامیک بررسی و پردازش کرد. اگر رفتارهای بازیگران را به صورت کاتالوگ در تحلیل دینامیکی درآوریم، رخ دادن جنگ بر اساس نظریه انشعاب^۱ در سیستم دینامیکی قابل توضیح خواهد بود. به این ترتیب بررسی‌های موردی و کمی نه تنها نظریه بازدارندگی را مخدوش نمی‌کنند، بلکه به تعیین محدوده عملکرد بازدارندگی کمک خواهند کرد.

درگیری و جنگ تصادفی بزرگ‌ترین ضعف درونی نظریه بازدارندگی ساختاری برشمرده شده است (Quackenbush, 2011)، حال آنکه در نظریه سیستم دینامیکی ظرفیت توضیح و مدلسازی رخدادهای تصادفی نیز وجود دارد. با محاسبه نوار بازدارندگی^۲ و نقطه انشعاب می‌توان نشان داد که بازدارندگی نفت در چه شرایطی عمل می‌کند و چه شرایطی زمینه‌ساز بروز جنگ است. نفت عاملی نظامی و تسلیحاتی نیست، ولی برای همه کشورها کم و بیش حائز اهمیت راهبردی است. برای کشورهای خلیج فارس که تولیدکننده نفت‌اند به نوعی و برای مصرف‌کنندگان نفت، به ویژه کشورهای صنعتی به نوعی دیگر.

وابستگی زندگی جوامع امروزی به نفت نوعی آسیب‌پذیری عمومی در سطح جهان نسبت به جریان نفت ایجاد می‌کند که همگی در آن سهیم‌اند. بر اساس گزارش سالانه بریتیش پترلیوم، بخش اعظم منابع نفتی جهان در اطراف خلیج فارس متمرکز است و بخش زیادی از نفت مورد نیاز روزانه جهان از این آبراه جریان پیدا می‌کند (BP, 2020). آسیب‌پذیری عمومی جهان نسبت به اختلال جریان نفت خلیج فارس چشمگیر است. جنگ بزرگ‌ترین عامل اختلال جریان معمول نفت خلیج فارس است. از این رو، نخست با وجود زمینه‌های جنگ، تنش‌ها در خلیج فارس به‌طور قطع به جنگ نمی‌انجامند؛ دوم این که جنگ‌های خلیج فارس کوتاه‌اند؛ و همین‌که دامنه آنها به جریان نفت برسد، خاتمه پیدا می‌کنند؛ و سوم این که در خلیج فارس کشورهایی در معرض جنگ قرار می‌گیرند که به‌قدر کافی از بازار نفت دور مانده باشند.

به‌منظور طراحی چارچوب نظری کیفیتی با عنوان بازدارندگی نفت را مطرح می‌کنیم. منظور از بازدارندگی نفت این است که تجارت نفت به‌عنوان اقدامی سودمند برای همه طرف‌های درگیر، موجب بی‌میلی آنها به جنگ می‌شود. شایان ذکر است که بازدارندگی نفت تنها به درصد تجارت نفت از کل تجارت جهانی بستگی ندارد، زیرا بسیاری از سایر تجارت‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به نفت مرتبط‌اند. به‌طور منطقی می‌پذیریم که اگر سطح این کیفیت از حدی کمتر باشد بازدارندگی عمل نخواهد کرد، زیرا امید دستاوردها بر هزینه‌ها فزونی می‌یابد و در نتیجه احتمال بروز خشونت بالا می‌گیرد. از سوی دیگر به‌طور منطقی می‌پذیریم که اگر سطح این کیفیت از حدی بیشتر شود، با وجود پیش‌دورری‌ها، باز هم بازدارندگی عمل نخواهد کرد، زیرا هزینه بازدارندگی بر هزینه اقدام فزونی می‌گیرد و در نتیجه احتمال بروز خشونت افزایش می‌یابد. می‌توان دید که ضعف اقتصادی ناشی از کاهش بهای نفت در برخی کشورهای آسیب‌پذیر موجب تجربه خشونت و جنگ شده است. در حالی که احساس کاذب قدرت اقتصادی ناشی از افزایش ناگهانی و انفجاری بهای نفت نیز در مواقعی موجب تجربه خشونت و جنگ شده است. این مشاهده‌ها ما را به این پرسش رهنمون می‌کنند که جایگاه نفت در بازدارندگی چیست؟ این بحث زمانی پیچیده‌تر می‌شود که نوسان در عرضه، تقاضا، و بهای نفت را در نظر بگیریم. از آنجا که همه منابع زمین محدودند هر نوع افزایش تجارت منطقه‌ای نفت، بر سایر مناطق تأثیر می‌گذارد. بدین ترتیب، با کنترل سهم مناطق مختلف، امکان کنترل منازعه‌ها فراهم می‌شود. در این پژوهش، تأثیر نوسان سهم تجارت نفت منطقه خلیج فارس از تجارت جهانی نفت بر بازدارندگی اقدام‌های خشونت‌آمیز و رخداد جنگ در این منطقه بررسی می‌شود. در این زمینه اطلاعات عددی مربوط به صنعت نفت تا حدی در دسترس است، ولی کیفیت بازدارندگی در قالب عدد به‌اندازه کافی در دسترس نیست. به همین دلیل برای بررسی این موضوع نیازمند مدل کمی مناسبی هستیم.

در نظریه دستگاه‌های دینامیکی تغییر توپولوژیکی^۱ رفتار دستگاه با مفهوم انشعاب بیان می‌شود. گذر از نقطه یا مرز انشعاب موجب مشاهده رفتارهایی خواهد شد که پیش از گذر از مرز دیده نشده‌اند. در پژوهش حاضر این مفهوم با گذر از مرز بازدارندگی عینیت پیدا می‌کند. به این معنا که رخداد جنگ نیازمند گذر از نقطه یا مرز انشعاب است. تجربه گذر از مرز بازدارندگی، از منظر دستگاه‌های دینامیکی به معنی پیدایش انشعاب است. در واقع با تغییر توپولوژیکی، جنگ از حالت بازدارندگی منشعب می‌شود، به طوری که توپولوژی پاسخ نسبت به پیش از گذر از مرز تغییر می‌یابد.

۴. مدل‌سازی بازدارندگی نفت خلیج فارس

هنگامی که با اطلاعات عددی مربوط به مسئله‌ای مواجه‌ایم و نتایج حاصل از آن اطلاعات جنبه‌های کیفی پیدا می‌کنند، یکی از راه‌های افزایش دقت در ارتباط میان کمیت‌ها و کیفیت‌ها، ساختن مدلی درباره موضوع است. ساخت هر مدل ریاضی از طرح پرسشی اصلی آغاز می‌شود. در این پژوهش پرسش ناظر بر تأثیر نوسانات نسبت سهم تجارت نفت منطقه خلیج فارس به تجارت جهانی نفت بر رخداد خشونت و جنگ در این منطقه و پیرامون آن است. انتظار از این مدل‌سازی برای بازدارندگی نفت این است که رخدادهای حاصل از افراط و تفریط را نشان دهد و محدوده مناسبی از بازدارندگی تجارت نفت این منطقه را به‌نمایش گذارد.

خلیج فارس از ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ به‌طور متوسط ۳۴/۴۱ درصد نفت جهان را تولید و عرضه کرده است (OPEC, Selected Years). چنین کمیت‌هایی که نسبت تجارت ویژه‌ای را به تجارت دیگری نشان می‌دهند، اغلب نوسان‌هایی با دامنه کم دارند. البته، گاهی به علت رخدادهای غیرمترقبه، نوسان‌هایی با دامنه بزرگ‌تر هم در آنها دیده می‌شود. با توجه به اینکه در فرایندهای پیچیده‌ای مانند بازدارندگی فرکانس تغییرات اهمیت زیادی دارد، برای بررسی اثر این تغییرات بر مقوله بازدارندگی به مدلی مناسب نیازمندیم. برای ساخت مدل به‌ترتیب زیر عمل می‌کنیم.

۱. توپولوژیک Topologic یا توپولوژیکی منسوب به ساختار توپولوژی در ریاضی است. تغییر توپولوژیکی در اینجا به معنای تغییر توپولوژی Topology منسوب به مدلی ریاضی است—ساختاری ریاضی برای مجموعه‌ای که به‌وسیله دسته خاصی از زیرمجموعه‌های آن که مجموعه‌های باز خوانده می‌شوند، و شرط‌های سه‌گانه زیر را برآورده می‌سازند، بنا می‌شود: ۱. خود مجموعه و مجموعه تهی، باز هستند؛ ۲. اجتماع هر شمار دلخواه از مجموعه‌های باز یک مجموعه باز است؛ ۳. اشتراک شمار متناهی از مجموعه‌های باز یک مجموعه باز است. داشتن این ساختار برای مطالعه دینامیکی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

متغیر حالت کمیته است مثبت که آن را ضریب بازدارندگی تجارت نفت منطقه می‌خوانیم و آن را با x نشان می‌دهیم. این متغیر تابعی است از زمان، یعنی آن را به این صورت $x(t)$ در نظر می‌گیریم. متغیر خروجی کمیته بازدارندگی است که آن را با y نشان می‌دهیم. این متغیر نیز تابعی است از زمان، یعنی آن را به صورت $y(t)$ در نظر می‌گیریم. رابطه این دو کمیته به شکل $y(t) = \lambda_1(t)x(t)$ صورت‌بندی می‌شود. این نوع صورت‌بندی به این دلیل است که امکان دارد در طی زمان مقوله افراط-تفریط طبیعتی همگن نداشته باشد. بر این اساس $\lambda_1(t)$ ضریب تنظیم زمانی است. کران پایین بازدارندگی (مرز تفریط) با y_m و کران بالای بازدارندگی (مرز افراط) با y_M نشان داده می‌شوند. بر این اساس اگر در زمان t مقدار کمیته بازدارندگی شرط $y_m < y(t) < y_M$ را برآورده سازد، تجارت نفت منطقه بر رخدادهای خشونت‌آمیز و جنگ تأثیری بازدارنده خواهد داشت، ولی اگر در زمان t مقدار کمیته بازدارندگی، شرط $y_m > y(t)$ یا شرط $y(t) > y_M$ را برآورده سازد، تجارت نفت منطقه برای رخدادهای خشونت‌آمیز و جنگ تأثیری بازدارنده نخواهد داشت. در این حالت منطقی است که اگر یکی از شرایط $y_m > y(t)$ یا $y(t) > y_M$ برای حداقل زمانی به طول بینجامد، امکان رخداد خشونت و جنگ فراهم می‌شود. برای مدل‌سازی کمیته ضریب بازدارندگی به دو پارامتر مهم توجه می‌کنیم که در طی زمان تغییراتی هم دارند. نخست پارامتر درصد تجارت جهانی نفت از کل تجارت جهان است که با ϵ نشان داده می‌شود و دیگری درصد تجارت نفت خلیج‌فارس از کل تجارت جهانی نفت که با δ نشان داده می‌شود.

در این مدل $\epsilon \in 0.01(\zeta_0 - \zeta_l, \zeta_0 + \zeta_r)$ است که بنا بر داده‌های موجود $\zeta_0 \approx 5.44$ که ζ_l و ζ_r تغییراتی کوچک پیرامون آن را بیان می‌کنند. نیز، $\delta \in 0.01(\xi_0 - \xi_l, \xi_0 + \xi_r)$ است که بنا بر داده‌های موجود $\xi_0 \approx 32.3682$ که ξ_l و ξ_r تغییراتی کوچک حول آن را بیان می‌کنند. مقدارهای ζ_0 و ξ_0 مقادیر نامی خوانده می‌شوند. در این پژوهش بر تغییرات δ حول مقدار نامی ξ_0 تمرکز داریم و مقدار ϵ را مقدار نامی آن در نظر می‌گیریم. بدیهی است که مطالعه تأثیر تغییرات ϵ حول مقدار نامی خود، نیازمند پژوهش‌های جداگانه‌ای است. مدل ریاضی پیشنهادی دستگاهی دینامیکی است که خروجی آن به صورت معادله دیفرانسیل (۱) خواهد بود.

$\begin{cases} \dot{x} = f(t, x, \epsilon, \delta), & x \in [0, +\infty], & t \geq 0, \\ y(t) = \lambda_1(t)x(t) \end{cases} \quad (1)$

در این معادله میدان برداری f روند تغییرات ضریب بازدارندگی را نشان می‌دهد. یکی از جنبه‌های مهم ضریب بازدارندگی، ظرفیت محدود کل دستگاه در وضعیت ثابت بودن همه پارامترهاست. بر این اساس، مدل لجستیک صورت مناسبی از همه این جزئیات به صورت زیر ارائه می‌دهد. (Kahn, 1990).

$$f(t, x, \epsilon, \delta) = \gamma(\epsilon, \delta, t) x (1 - s(\epsilon, \delta, t) x) \quad (۲)$$

فرض کنید که ϵ و δ کمیت‌های ثابتی باشند (در طول مدتی طولانی تغییرات محسوسی نداشته باشند). در این صورت، مدل ارائه شده دارای دو نقطه ثابت خواهد بود؛ یکی $x^* = 0$ و دیگری $x^{**} = \delta$ که به سطح بازدارندگی $\gamma = \lambda_0 \delta$ می‌انجامد. این کمیت وضعیتی باثبات دارد و در صورت نوسان ϵ و δ نوسان اندکی خواهد داشت. در واقع دامنه نوسان خروجی در حد و اندازه نوسان پارامترها خواهد بود. این وضعیت در دنیای واقعی مشاهده نمی‌شود.

در این مدل، با توجه به تمرکز بر بازدارندگی بر اساس نسبت تجارت نفت خلیج فارس به تجارت جهانی نفت، مقدار نامی $\epsilon = 5.44\% = 0.0544 \ll 1$ را در نظر می‌گیریم. همان‌طور که بیان شد، برای تمرکز بر درصد سهم تجارت نفت منطقه‌ای به کل تجارت جهانی نفت، قرار می‌دهیم $\zeta_l = 0, \zeta_r = 0$. در این صورت:

$$f(t, x, \epsilon, \delta) = \epsilon x (1 - \delta(t)^{-1} x) = \epsilon \hat{f}(t, x, \epsilon, \delta) \quad (۳)$$

بنا بر قضیه متوسط‌گیری می‌توان بیان کرد که خروجی این مدل با فرض متناوب بودن δ با دامنه کوچک و ثابت بودن $\epsilon \ll 1$ تابعی متناوب خواهد بود که با دامنه‌ای متناسب با ϵ نوسان می‌کند (Sanders et al., 2007). فرض کنید که متوسط $\delta^{-1}(t)$ مقدار δ_0^{-1} باشد. در این حالت با روش متوسط‌گیری به دستگاه زیر می‌رسیم:

$$\bar{f}(t, z, \epsilon, \delta) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{f}(t, z, \epsilon, \delta) dt = \frac{1}{T} \int_0^T z (1 - \delta^{-1}(t) z) dt = z (1 - \delta_0^{-1} z) \quad (۴)$$

دستگاه متوسط به صورت $\dot{z} = \epsilon \bar{f}(t, z, \epsilon, \delta)$ خواهد بود. در این دستگاه متوسط نقطه ثابت پایدار $z^{**} = \delta_0$ را داریم. این نقطه ثابت، در دستگاه اصلی، به معنی وجود یک پاسخ نوسانی حول $z^{**} = \delta_0$ است، متناسب با $O(\epsilon)$. در نهایت کمیت خروجی به صورت زیر خواهد بود

$$y(t) = \lambda_1(t)z(t, \epsilon, \delta_0)$$

و امکان رخداد گذر از مرز بازدارندگی را در زمانی مانند t' به یکی از صورت‌های $\lambda_1(t')z(t', \epsilon, \delta_0) > y_M$ یا $\lambda_1(t')z(t', \epsilon, \delta_0) < y_m$ فراهم می‌کند. برای بازدارندگی ناحیه‌های درونی، بیرونی و مرز میان آنها را به صورت زیر تعریف می‌کنیم. ناحیه درونی که وضعیت بازدارندگی را نشان می‌دهد به این صورت تعریف می‌شود که به ازای هر $t > 0$ ، $y_m < y(t) < y_M$. ناحیه بیرونی که وضعیت نبود بازدارندگی را نشان می‌دهد به صورت $y(t_1) < y_m$ برای یک $t_1 > 0$ ، در وضعیت تفریط، یا $y(t_1) > y_M$ برای یک $t_1 > 0$ در وضعیت افراط است. مرز بین دو ناحیه بیرونی و درونی، نقطه گذری به صورت $y(t_c) = y_m$ برای یک $t_c > 0$ یا نقطه گذری به صورت $y(t_c) = y_M$ برای یک $t_c > 0$ است. در صورتی که متغیر خروجی دستگاه یکی از این گذرهای مرزی را تجربه کند، بازدارندگی شکسته شده و امکان میدانی رخدادهای خشونت‌آمیز و جنگ فراهم می‌شود. به این ترتیب کمیت‌های y_m و y_M نقش مرز انشعاب را ایفا می‌کنند که عبور از آنها توپولوژی پاسخ دستگاه را تغییر می‌دهد.

۴.۱. شبیه‌سازی

با توجه به اینکه کمیت δ طی زمان ثابت نبوده و متغیر است، می‌توان انتظار داشت که تغییرات آن بر گذر از مرز بازدارندگی تأثیر بگذارد. برای بررسی این مسئله پیش از استفاده از داده‌های واقعی، به منظور شبیه‌سازی، مقدار δ را نسبت به زمان تابعی متناوب در نظر می‌گیریم. با انجام محاسبات مربوطه تأثیر دامنه و فرکانس تغییرات δ را بر گذر از مرز بازدارندگی بررسی می‌کنیم. بازه زمانی مورد استفاده از ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۹ به مدت ۲۴ سال است. با احتساب شمار روزها، زمان مورد نظر برابر با ۸۷۶۰ روز خواهد بود. با توجه به اینکه بهای نفت روزانه تعیین می‌شود، بازه زمانی [۰، ۸۷۶۰] به عنوان محدوده زمانی برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

جدول ۱. داده‌های مربوط به شبیه‌سازی مدل بازاریابی

بازه زمانی	مقادیر استفاده‌شده شبیه‌سازی		
	[0, 2000]	[2000, 5000]	[5000, 8760]
$\xi_l = \xi_r = \xi_{lr}$	۰	۲	۲
ξ_0	۳۲	۳۲	۳۲
T	-	۷	۱۴
$\omega = \frac{2\pi}{T}$	-	$\frac{2\pi}{7}$	$\frac{\pi}{7}$
y_m	۱۵۹	۱۵۹	۱۵۹
y_M	۱۶۱	۱۶۱	۱۶۱
ϵ	۰/۰۵۴۴	۰/۰۵۴۴	۰/۰۵۴۴

منبع: نگارندگان

فرض کنید که $\delta = \delta(t) = \xi_0 + \xi_{lr} \sin(\omega t)$ باشد که در آن $t \in [0, 8760]$ و فرکانس تغییرات δ با مقدار ω بیان می‌شود. مقدار متوسط دامنه تغییرات با عدد ξ_0 داده شده و دامنه تغییرات حول ξ_0 با ξ_{lr} به صورت متقارن در نظر گرفته شده است. دوره تناوب مربوطه عبارتست از $T = \frac{2\pi}{\omega}$. دو وضعیت فرضی در نظر گرفته می‌شوند که در آنها تغییرات δ در بازه یک هفته‌ای و دوهفته‌ای صورت پذیرند. در این صورت به ترتیب خواهیم داشت $\omega = \frac{2\pi}{7}$ و $\omega = \frac{2\pi}{14}$.

قضیه ۱: فرض کنید در دستگاه (۱)-(۳)، $0 < \epsilon \ll 1$ و $\delta(t) = \xi_0 + \xi_{lr} \sin(\omega t)$ با $0 < \xi_{lr} < \xi_0$ افزون‌براین، فرض کنید که $0 < y_m < y_M$ داده شده باشند و به ازای یک زوج اعداد مثبت (λ_0, λ_1) و هر $t > 0$ داشته باشیم $\lambda_0 \leq \lambda(t) \leq \lambda_1$. آنگاه به ازای هر $\xi_{lr} > 0$ مقدارهای $0 < \omega_L$ و $0 < \omega_U$ وجود دارند به طوری که برای هر $T_U > T_L$ و هر $t_L > t_U$ و $T_U > t_U$ و هر $t_1 > T_L$ و یک $t_2 > T_U$ وجود دارند به طوری که $y(t_1) < y_m$ و $y(t_2) > y_M$.

برهان: با فرض $0 < \xi_{tr} < \xi_0$ در فرمول (۴) خواهیم داشت

$$\delta_0^{-1} = 2\pi\omega^{-1}(\xi_0^2 - \xi_{tr}^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\dot{z} = \epsilon x \left(1 - \frac{2\pi}{\omega\sqrt{\xi_0^2 - \xi_{tr}^2}} x \right)$$

نقطه تعادل غیر بدیهی پایدار مجانبی موضعی دستگاه متوسط $z^* = \frac{\omega}{2\pi} \sqrt{\xi_0^2 - \xi_{tr}^2}$ می‌باشد. بر اساس قضیه متوسط‌گیری، متغیر دستگاه اصلی، $x(t)$ ، دارای یک پاسخ دوره‌ای پایدار مجانبی موضعی با دامنه‌ای از مرتبه $O(\epsilon)$ حول z^* به صورت $x(t) = z^* + O(\epsilon)$ است. اینک به رابطه‌های

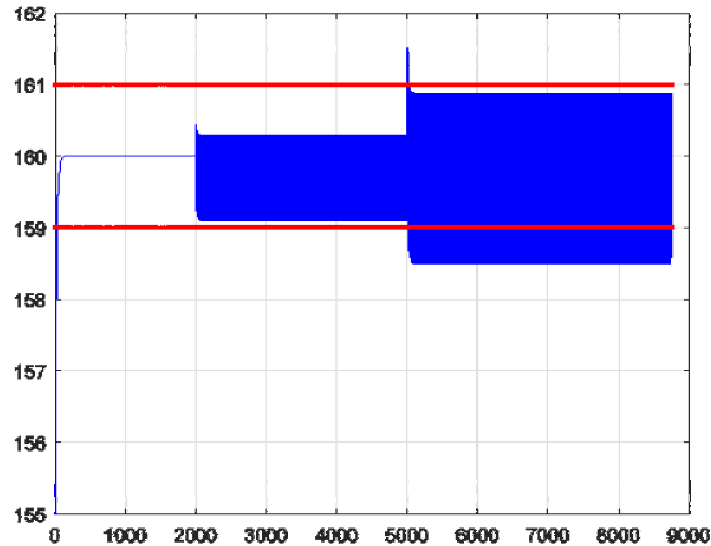
$$y_0(t) = \lambda_0 x(t) \leq \lambda(t)x(t) = y(t)$$

و

ξ_{tr} با داشتن مقدار ثابتی برای $y(t) = \lambda(t)x(t) \leq \lambda_1 x(t) = y_1(t)$ توجه می‌کنیم. با داشتن مقدار ثابتی برای ξ_{tr} و ثابت بودن مقدار ξ_0 ، با افزایش فرکانس ω ، اگر مقدار $\lambda_0 z^*$ به اندازه کافی به مرز y_M نزدیک شود، نوسان $y_0(t)$ با دامنه $O(\epsilon)$ مرز را قطع خواهد کرد. بدیهی است که در این صورت نوسان $y(t)$ با دامنه $O(\epsilon)$ نیز مرز y_M را قطع می‌کند. مقدار بحرانی فرکانس را با $0 < \omega_L$ نشان می‌دهیم. با توجه به طبیعت نوسانی پاسخ‌های دستگاه اصلی و نیز حالت‌های گذرای دستگاه مقدار $t_L > 0$ وجود دارد به طوری که برای هر $T_L > t_L$ یک $t_1 > T_L$ داریم به طوری که $y(t_1) < y_M$. به طور مشابه، با داشتن مقدار ثابتی برای ξ_{tr} و ثابت بودن مقدار ξ_0 ، با افزایش فرکانس ω ، اگر مقدار $\lambda_1 z^*$ به اندازه کافی به مرز y_M نزدیک شود، نوسان $y_1(t)$ با دامنه $O(\epsilon)$ مرز را قطع خواهد کرد. بدیهی است که در این صورت نوسان $y(t)$ با دامنه $O(\epsilon)$ نیز مرز y_M را قطع می‌کند. مقدار بحرانی فرکانس را با $0 < \omega_U$ نشان می‌دهیم. با توجه به طبیعت نوسانی پاسخ‌های دستگاه اصلی و نیز حالت‌های گذرای دستگاه مقدار $t_U > 0$ وجود دارد به طوری که برای هر $T_U > t_U$ یک $t_2 > T_U$ وجود دارند به طوری که $y(t_2) > y_M$.

شبیه‌سازی انجام شده با حل معادله دیفرانسیل (۱) تا (۳) نشان می‌دهد که دامنه تغییرات متغیر خروجی $y(t)$ به صورت شکل ۱ است. جزییات حل معادله دیفرانسیل و یافتن پاسخ دینامیکی در منابع موجود است (Stuart & Humphries, 1998). در اینجا کمیت‌های مدل مطابق ستون دوم جدول ۱ انتخاب شده‌اند. در این شبیه‌سازی مقدار ضریب خروجی ثابت و برابر $\lambda(t) = \lambda_0 = \lambda_1 = 5$ در نظر گرفته شده است.

شکل ۱. تغییرات کمیت بازدارندگی $y(t)$ بر حسب زمان با تغییر پارامترهای نوسانی کمیت δ .



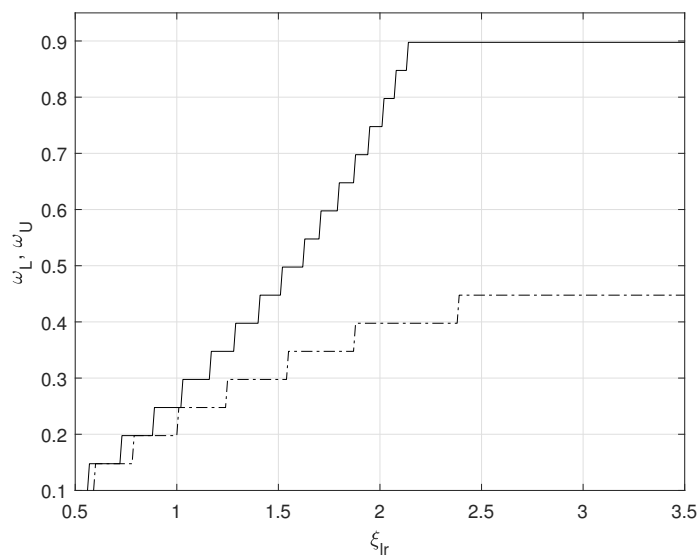
منبع: نگارندگان بر اساس داده‌های فرضی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی.

با تغییر مقدار $T = 7$ به $T = 14$ مقدار ω از $\frac{2\pi}{7}$ به $\frac{2\pi}{14}$ تغییر می‌یابد. در این حالت تغییرات متغیر خروجی $y(t)$ به صورت شکل ۱ است. کمیت‌های مدل مطابق ستون سوم جدول ۱ انتخاب شده‌اند. شبیه‌سازی مقدمه مدل‌سازی است که بر اساس داده‌های فرضی انجام می‌گیرد و سپس چنانکه مشاهده می‌کنید مدل‌سازی بر اساس داده‌های واقعی صورت می‌گیرد. شکل ۱ نشان می‌دهد در بازه زمانی $[0, 2000]$ که کمیت δ مقدار ثابتی دارد، عدد بازدارندگی به مقدار ۱۶۰ همگرا می‌شود که در طول مسیر و نیز مقدار مجانبی آن در محدوده (y_m, y_M) قرار دارد و دستگاه در محدوده بازدارندگی می‌ماند. حالت دوم، در بازه زمانی $[2000, 5000]$ ، کمیت δ با دامنه نوسان کم $\xi_l = \xi_r = \xi_{lr} = 2$ با فرکانس $\omega = \frac{2\pi}{7}$ ، کمیت بازدارندگی $y(t)$ تا نزدیکی y_m مرز پایین بازدارندگی به پیش می‌رود. در حالت سوم، در بازه زمانی $[5000, 8760]$ ، کمیت δ با دامنه نوسان کم $\xi_l = \xi_r = \xi_{lr} = 2$ به طور کامل مشابه حالت دوم، ولی با فرکانس $\omega = \frac{2\pi}{14}$ ، کمیت بازدارندگی $y(t)$ از مرز بازدارندگی y_m به طور قطع عبور می‌کند و در یک مقطع زمانی کوتاه از مرز بالای بازدارندگی y_M نیز در می‌گذرد.

استفاده از داده‌های فرضی نتایج جالب توجهی به دست می‌دهد. مقوله آهنگ تغییرات (فرکانس تغییرات δ) برای گذر نکردن از مرز بازدارندگی بسیار اساسی است. برای روشن شدن نقش ω در این گذر، فاصله دامنه متغیر خروجی $y(t)$ را با مرز بازدارندگی بر حسب کمیت ω در فاصله $T \in [7, 14]$ که متناظر است با $\omega \in [\frac{2\pi}{14}, \frac{2\pi}{7}]$ بررسی می‌کنیم. مقدار بحرانی ω یعنی مقداری که منجر به گذر از مرز بازدارندگی می‌شود را با نماد ω_L و ω_U نشان داده ایم. این مقدارهای بحرانی تابعی هستند از سایر کمیت‌ها مانند ξ_{lr} ، ξ_0 و ϵ ، یعنی $\omega_U = \omega_U(\epsilon, \xi_0, \xi_{lr})$ و $\omega_L = \omega_L(\epsilon, \xi_0, \xi_{lr})$. در اینجا، با ثابت گرفتن ξ_0 و ϵ ، مقدار ω_c به ξ_{lr} وابسته است. این مقادیر بحرانی برای $\xi_0 = 32$ و $\xi_{lr} \in [0.5, 3.5]$ ، با استفاده از روش‌های عددی محاسبه شده و در نمودار شکل ۲ رسم شده‌اند. در این شبیه‌سازی کمیت‌های ω_U و ω_L نقش پارامترهای انشعاب را دارند که مرزهای تغییر توپولوژیک دستگاه را تعیین می‌کنند. در شکل ۲ نمودار انشعاب (یعنی مقادیر پارامترهای مرز انشعاب) بر حسب تغییر پارامتر ξ_{lr} ترسیم شده‌اند.

شکل ۲

مقدار بحرانی ω_U بر حسب ξ_{lr} (خط پر) و مقدار بحرانی ω_L بر حسب ξ_{lr} (خط نقطه)



منبع: نگارندگان

۳.۲. خروجی داده‌های واقعی

در اینجا داده‌های واقعی را در نظر می‌گیریم. در جدول ۲ داده‌های واقعی تولید و صادرات نفت به تفکیک واحدهای فعال بیان شده‌اند.

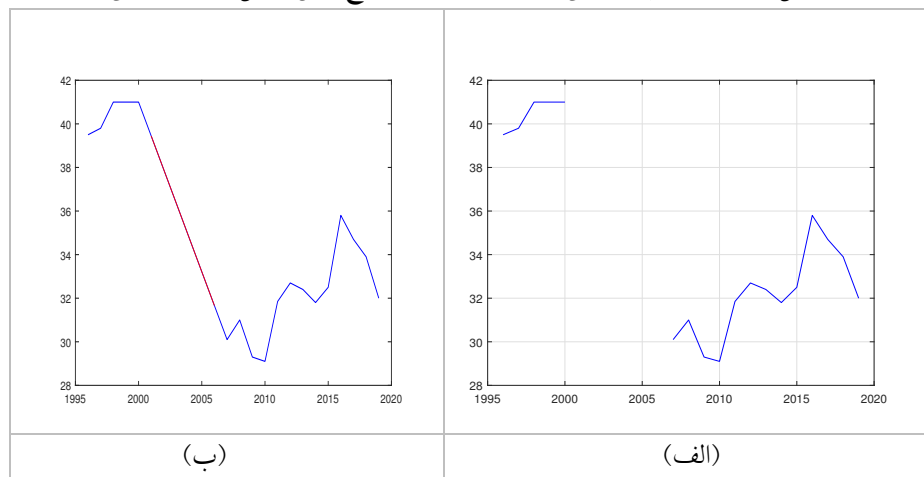
جدول ۲. داده‌های مربوط به نسبت تجارت نفت خلیج فارس به تجارت جهانی نفت بر حسب درصد

سال	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷
δ	۳۹/۵	۳۹/۸	۴۱	۴۱	۴۱	-	-	-	-	-	-	۳۰/۱
سال	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹
δ	۳۱	۲۹/۳	۲۹/۱	۳۱/۸۵	۳۲/۷	۳۲/۴	۳۱/۸	۳۲/۵	۳۵/۸	۳۴/۷	۳۳/۹	۳۲

منبع: نگارندگان، بر اساس آمار برگرفته از سالنامه‌های آماری اوپک (OPEC, 2000, 2011, 2016, 2017, 2020)

نمودار جدول ۱ در شکل ۳ (الف) نمایش داده شده است. در این داده‌ها شکاف وجود دارد. برای سادگی، کاهش از بازه زمانی ۲۰۰۰ به ۲۰۰۶ به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود. این روند در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است.

شکل ۳. نمودار تغییرات زمانی درصد تجارت نفت خلیج فارس از کل تجارت جهانی نفت



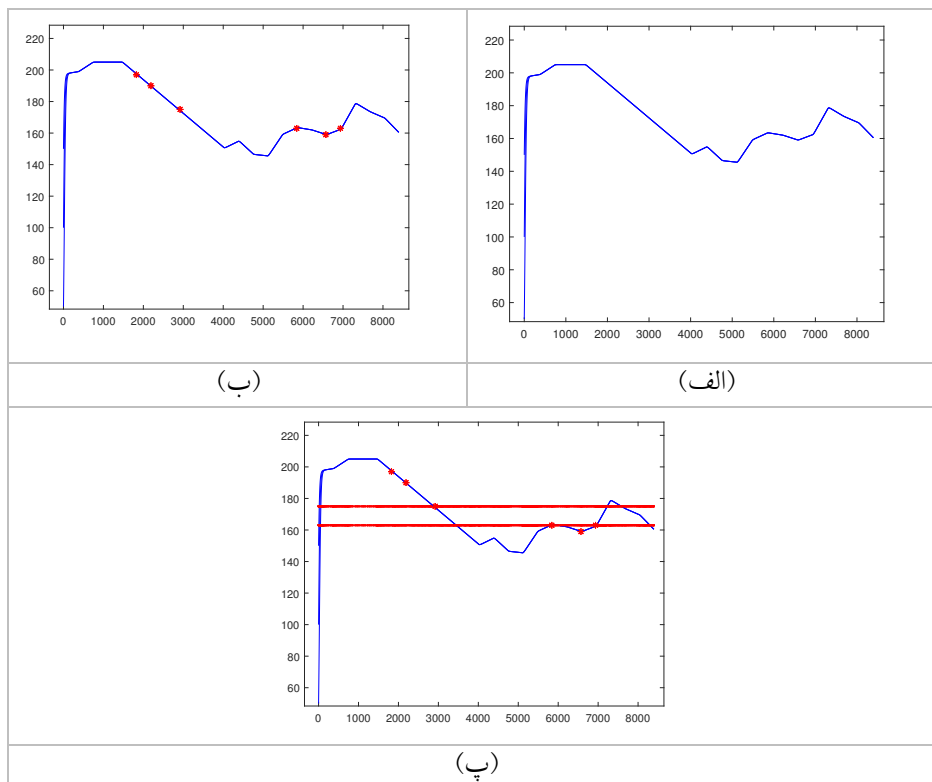
منبع: نگارندگان

در شکل ۳ (الف)، داده‌های جدول ۲ نشان داده شده است. شکاف مشاهده‌شده در داده‌ها به علت دسترسی نداشتن به منابع آماری است. با توجه به افت شایان توجه در یک بازه کوتاه‌مدت، این شکاف با تقریبی خطی، که در شکل ۳ (ب) نمایش داده شده است، پوشش داده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این داده‌ها نوسان دارند، ولی به طور کامل متناوب یا دوره‌ای نیستند. برای بررسی تغییرات متغیر خروجی، کمیت بازدارندگی $y(t)$ ، تغییرات پارامتر $\delta(t)$ را به مدل ریاضی وارد می‌کنیم.

متناظر با شکل ۱، برای مدل ارائه شده با ورودی تابع δ به صورت شکل ۴، کمیت $y(t)$ را با حل معادله دیفرانسیل (۱) تا (۳)، محاسبه می‌کنیم (Stuart & Humphries, 1998) در شکل ۴ (الف) نشان می‌دهیم. در این محاسبه، مانند نمودار شکل ۱، مقدار ضریب خروجی ثابت و برابر $\lambda_1(t) = 5$ در نظر گرفته شده است. در این شکل حد فاصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۹ به شمار ۸۷۶۰ روز از ۰ تا ۸۷۶۰ در محور افقی نمایه شده است.

شکل ۴. محور افقی زمان بر حسب روز از ۰ تا ۸۷۶۰ مربوط به سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۹ و محور عمودی

نشان‌دهنده کمیت بازدارندگی $y(t)$



منبع: نگارندگان

شکل ۴ (الف) با محاسبه عددی پاسخ معادله دیفرانسیل (۱)–(۳)، با خروجی $y(t)$ با سه شرط اولیه $y(0) \in \{50, 100, 150\}$ ترسیم شده است. در شکل ۴ (ب)، زمان رخداد‌های خشونت‌آمیز و جنگ‌ها مطابق جدول ۳ روی نمودار تغییرات کمیت بازدارندگی $y(t)$ بر حسب زمان با علامت * مشخص شده‌اند.

جدول ۳. رخدادهای خشونت‌آمیز و جنگ‌ها در خلیج فارس و مناطق پیرامونی تأثیرپذیر از آن

سال	۱۹۹۶-۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۳	۲۰۱۱	۲۰۱۴	۲۰۱۵
عنوان جنگ	خلیج فارس	افغانستان	عراق	سوریه	داعش	یمن

یادداشت: داده‌های در دسترس و استفاده‌شده در این جدول دربرگیرنده دوره زمانی ۱۹۹۶ به بعد است. دامنه خشونت و جنگ در خلیج فارس آغازشده از ۱۹۹۱، در عمل تا ۲۰۰۰ با مصادیق شدید انسانی، اجتماعی و اقتصادی ادامه داشت؛ و پس از آن به جنگ‌های پس‌آزاده سپتامبر پیوند خورد.

منبع: نگارندگان

با توجه به اینکه وضعیت بازدارندگی در مدل ارائه‌شده به صورت نوار $y_m < y(t) < y_M$ است، در میان این رخدادها، عرض باند بدون خشونت در شکل ۴ (پ) نشان داده شده است. بر اساس این اطلاعات، کمیت‌های نوار بازدارندگی به صورت $y_m = 163$ ، $y_M = 175$ محاسبه شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تغییر شرایط اولیه تأثیری روی پهنای نوار بازدارندگی نداشته است. شایان ذکر است که خروج از نوار بازدارندگی به معنی امکان رخداد جنگ است و نه رخداد الزامی آن. در محدوده زمانی $[7100, 7300]$ کمیت بازدارندگی اندکی از مرز بالایی خارج شده است. این امر امکان رخداد جنگ در آن زمان را نشان می‌دهد، ولی به علت عوامل دیگری مانند کوتاه بودن زمان ماندگاری در خارج از نوار، الزامات میدانی پیش‌زمینه رخدادهای خشونت‌آمیز که نیازمند کمترین زمان ممکن هستند، و بازگشت زود هنگام به داخل نوار بازدارندگی، جنگی رخ نداده است.

۵. نتیجه

هدف از پژوهش حاضر پیوند دادن دانشگاه با سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری است. از این‌رو، دست‌آوردها را می‌توان در دو حوزه آکادمیک و سیاست‌گذاری برشمرد. سیاست‌گذاری، تصمیم‌گیری و طراحی راهبرد نیازمند محاسبات قابل اتکاست و همین نیاز حیاتی می‌تواند رشته پیونددهنده دانشگاه و حکومت باشد. این مهم مستلزم اتخاذ رویکرد و روش محاسباتی به موضوع‌هاست. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که با ابزارهای ریاضی می‌توان با موضوع‌ها و پدیده‌ها برخورد محاسباتی اعتمادپذیر کرد تا سیاستمداران با اتکا به چنین دست‌آوردهای پژوهشی تصمیم‌گیری کنند. مدل ریاضی ارائه‌شده به این پرسش پاسخ داده است که بازدارندگی چگونه تحت تأثیر اقتصاد نفت قرار می‌گیرد، و نشان داده شده است که تأثیرپذیری شگرف بازدارندگی از عوامل اقتصادی امری محاسبه‌شدنی است. بنابراین می‌توان از نفت به عنوان یک عامل اقتصادی کلان و بازدارنده سخن گفت. مدل ارائه‌شده ما شیوه

محاسبه وقوع و عدم وقوع جنگ در منطقه خلیج فارس و پیرامون آن را ارائه می‌کند. این مدل تناقض^۱ جنگ و تجارت به طور عام و در منطقه خاورمیانه و خلیج فارس به طور خاص را توضیح می‌دهد. جنگ‌های متعدد در طی چند دهه اخیر نشانه نبود یا ناکارآمدی بازدارندگی نفت نیست. رخداد این جنگ‌ها اثر انشعاب در سیستم دینامیکی است که به عنوان مدل بازدارندگی نفت طراحی کرده‌ایم.

مدل ما نشان می‌دهد که بازدارندگی می‌تواند پدیده‌ای نوسانی باشد و تحت تأثیر متغیرهای اقتصادی کلان قرار گیرد. افزون‌بر این، در صورت داشتن شرایط ویژه بر روی کمیت $\delta(t)$ (نسبت زمان‌مند تجارت نفت خلیج فارس به تجارت جهانی نفت) امکان نوسان-آرامش^۲ وجود دارد. پدیده اخیر به مقیاس‌های زمانی چندگانه در دینامیک می‌انجامد و پیچیدگی ساختار اتخاذ سیاست‌ها را به خوبی نشان می‌دهد. از این رو، در دست داشتن داده‌های بیشتر و ادامه کار مدل‌سازی مفید و لازم به نظر می‌رسد. کمیت بازدارندگی به عنوان خروجی مدل در شبیه‌سازی محاسبه شده است. هنگامی که کمیت بازدارندگی در نوار مربوطه بین دو کران پایین و بالا (y_M و y_m) قرار داشته باشد، بازدارندگی در برابر جنگ عمل می‌کند. در صورتی که این کمیت از کران بالا یا از کران پایین در گذرد، یعنی انشعاب رخ دهد، دیگر عملکرد بازدارندگی مورد انتظار را نخواهد داشت. بر اساس این مدل، داده‌های واقعی به عنوان تغییرات $\delta(t)$ به ورودی مدل داده شد و متغیر خروجی تحت عنوان بازدارندگی محاسبه شد. با درج رخداد‌های خشونت‌آمیز و جنگ زمان‌های مربوطه بر روی نمودار تغییرات کمیت بازدارندگی، نوار بازدارندگی آشکار می‌شود.

در شبیه‌سازی با ثابت گرفتن دامنه تغییرات $\delta(t)$ تغییر فرکانس نوسانات آن، کمیت بازدارندگی محاسبه می‌شود. این محاسبات برای سه حالت مختلف انجام گرفته و مشخص شده است که تغییر فرکانس، بدون تغییر دامنه، می‌تواند موجب انشعاب شود، یعنی کمیت خروجی از مرزهای نوار بازدارندگی خارج شده و جنگ آغاز شود. افراط و تفریط در کمیت بازدارندگی، یعنی گذر از مرزهای بالایی و پایینی نوار بازدارندگی برآیند رفتارهای همه عوامل دخیل در تجارت نفت است. افزایش قیمت پایه نفت با روش کاهش عرضه یا فشار سیاسی و نیز کاهش قیمت پایه نفت به روش افزایش بی‌رویه تولید و تبانی‌های سیاسی از جمله این عوامل‌اند. به هر حال، با وجود تعدد عوامل مدل محاسباتی لازم در دست است که تصمیم‌گیرندگان می‌توانند به آن رجوع کنند.

1. Paradox
2. Relaxation-Oscillation

در سال‌های اخیر به واسطه خروج یک‌جانبه آمریکا از برجام و وضع تحریم‌های شدید علیه ایران، اوضاع منطقه پرتنش بوده است. گاهی تصمیم‌گیرندگان و رهبران سیاسی آمریکا و هم‌پیمانان منطقه‌ای آن نسخه جنگ را تجویز می‌کردند، ولی «پهنای باند بازدارندگی»^۱ نفت نشان می‌دهد که اهرم قدرتمندتری است. هرچند با روی کار آمدن دموکرات‌ها و شروع دور جدید مذاکرات شدت فشار بر ایران به طرز آشکاری کاهش یافته، ولی حمله روسیه به اوکراین وضعیت جدیدی را رقم زده است. اوکراین در عمل به نیابت از آمریکا و ناتو با روسیه می‌جنگد. شاید روسیه نیز بخواهد ایران را به نیابت از خود به جنگ با آمریکا گسیل کند. کندی مذاکرات هسته‌ای می‌تواند نشانه علاقه طرف‌ها به پیشبرد بی‌سروصدای توافق باشد یا از شکست مذاکرات حکایت کند. روسیه دلایل زیادی دارد که برجام به نتیجه نرسد، از جمله بازار نفت و گاز که با لغو تحریم‌ها به‌روزی ایران گشوده می‌شود و در عین حال به‌روزی روسیه بسته خواهد شد. مدل ارائه‌شده و مدل‌های دیگری که در صورت لزوم مطرح خواهند شد، و ارتقا خواهند یافت، می‌توانند موقعیت را با وضوح لازم در معرض دید تصمیم‌گیرندگان بگذارند.

شاید به نظر برسد که تحریم نفتی فرصتی برای رهایی از وابستگی به نفت و عوارض سیاسی، اقتصادی و اجتماعی آن است، ولی این خطایی راهبردی است که چهار دهه مرتکب شده‌ایم. در صورت ادامه یافتن این خطا نه تنها ایران از فرصت بهره‌برداری از این منبع حیاتی محروم می‌ماند و سبب عقب ماندن ایران از کشورهای دیگر منطقه می‌شود، بلکه خطر تکرار تجربه عراق در مورد ایران را نیز امکان‌پذیر می‌کند. برای بررسی دقیق‌تر این مسئله می‌توان در ادامه به دینامیک دوگانه بازدارندگی - پیش‌دستی نیز پرداخت که مجال دیگری می‌طلبد. افزون‌بر این، تحلیل حساسیت نسبت به پارامترها و اختلال در شرایط و نیز ورودی‌های ناخواسته و تصادفی نیز نیازمند بررسی‌های جداگانه‌اند، و می‌توانیم در پژوهش‌های آینده به آنها بپردازیم.

بیانیه نبود تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که تعارض منافع وجود ندارد و تمام مسائل اخلاق در پژوهش را شامل پرهیز از دزدی ادبی، انتشار و یا ارسال بیش از یک بار مقاله، تکرار پژوهش دیگران، داده‌سازی یا جعل داده‌ها، منبع‌سازی و جعل منابع، رضایت ناآگاهانه سوژه یا پژوهش‌شونده، سوءرفتار و غیره، به‌طور کامل رعایت کرده‌اند.

منابع و مأخذ

الف) فارسی

۱. اسکاچپول، تدا. (۱۳۸۲، خرداد) «دولت رانتیر و اسلام شیعی در انقلاب ایران»، ترجمه محمد تقی دلفروز. فصلنامه مطالعات راهبردی، ۶، ۱۹: ۱۱۹-۱۴۱. در

http://quarterly.risstudies.org/article_1068.html

۲. آبراهامیان، یرواند. (۱۳۷۶) *ایران بین دو انقلاب: درآمدی بر جامعه‌شناسی سیاسی ایران معاصر*، ترجمه احمد گل محمدی و محمدابراهیم فتاحی. تهران: نی.
۳. رکنی لموکی، غلامرضا. (۱۴۰۰) «فعالیت‌های بین‌رشته‌ای و مدل پویای آن»، *نامه علوم پایه (فرهنگستان علوم ایران)*، ۱: ۴۵-۵۹. در: <http://www.ias.ac.ir/images/1400/1400PDFs/basic-1-4-Rokni-Fa.pdf>
۴. فوران، جان. (۱۳۷۷) *مقاومت شکننده: تاریخ تحولات اجتماعی ایران از سال ۱۵۰۰ م. تا انقلاب*، ترجمه احمد تدین. تهران: مؤسسه فرهنگی رسا.
۵. کاتوزیان، محمدعلی همایون. (۱۳۷۲) *اقتصاد سیاسی ایران از مشروطیت تا پایان سلسله پهلوی*، ترجمه محمدرضا نفیسی و کامبیز عزیزی. تهران: مرکز.

ب) انگلیسی

6. Achen, Christopher H., and Duncan Snidal. (1989) "Rational Deterrence Theory and Comparative Case Studies," *World Politics* 41, 2: 143-69. <DOI:10.2307/2010405>.
7. BP. (2020, March 18) *BP Annual Report and Form 20-F for 2019*. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/nl-nl/netherlands/home/documents/corporate-and-finance/bp-annual-report-and-form-20f-2019.pdf> (Accessed 12 March 2021).
8. Estrada, Mario Arturo Ruiz; et al. (2020, March) "Simulations of US-Iran War and its Impact on Global Oil Price Behavior," *Bursa Istanbul Review* 20, 1: 1-12. <DOI:10.1016/j.bir.2019.11.002>.
9. Guckenheimer, John; and Philip Holmes. (1983). *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. Springer e-Book. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-1140-2> (Accessed 2 February 2022).
10. Hosseini, Seyed Hossein; et al. (2016, March) "A Conceptual Framework for the Oil Market Dynamics: A Systems Approach," *Energy Exploration & Exploitation* 34, 2: 171-98, <DOI:10.1177/0144598716631656>.
11. Kahn, Peter B. (1990) *Mathematical Methods for Scientists and Engineers: Linear and Nonlinear System*. London: Wiley.
12. Kuznetsov, Yuri A. (2004) *Elements of Applied Bifurcation Theory*. Springer E-Book. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4757-3978-7> (Accessed 2 February 2022).
13. Liu, Hui; et al. (2013) "Productivity Evaluation and Influential Factor Analysis for Sarvak Reservoir in South Azadegan Oil Field, Iran," *Petroleum Exploration and Development* 40, 5: 627-634, <DOI:10.1016/S1876-3804(13)60082-8>.
14. Mohaddes; Kamiar; and Hashem M. Pesaran. (2016) "Country-Specific Oil Supply Shocks and the Global Economy: A Counterfactual Analysis," *Energy Economics* 59: 382-399, <DOI:10.1016/j.eneco.2016.08.007>. Available at: https://econpapers.repec.org/article/eeeneco/v_3a59_3ay_3a2016_3ai_3ac_3ap_3a382-399.htm (Accessed 15 December 2021).
15. Observatory of Economic Complexity (OEC). (2020) "Crude Petroleum," *oec.world*. Available at: <https://oec.world/en/profile/hs92/crude-petroleum> (Accessed 15 December 2021).
16. OPEC. (Selected Years) *OPEC Annual Statistical Bulletin for Selected Years, 2000, 2011, 2016, 2017, 2020*. Available at <https://www.opec.org/opec-web/en/publications/202.htm> (Accessed 15 December 2021).

17. Pesaran, Hashem M. (1990) "An Econometric Analysis of Exploration and Extraction of Oil in the U.K. Continental Shelf," *Economic Journal* 100, 401: 367-390, <DOI:10.2307/2234130>.
18. Pesaran, Hashem M. (1991) "Estimation of Simple Class of Multivariate Rational Expectations Models: A Test of the New Classical Model at a Sectoral Level," *Empirical Economics* 16, 2: 211-232. Available at: <https://ideas.repec.org/a/spr/empeco/v16y1991i2p211-32.html> (Accessed 15 December 2021).
19. Pesaran, Hashem M.; et al. (1989, July) "Econometric Analysis of Aggregation in the Context of Linear Prediction Models," *Econometrica* 57, 4: 861-888. Available at: <https://ideas.repec.org/a/ecm/emetrp/v57y1989i4p861-88.html> (Accessed 15 December 2021).
20. Quackenbush, Stephen L. (2011) "Deterrence Theory: Where Do We Stand?" *Review of International Studies* 37, 2: 741-62, <DOI:10.1017/S0260210510000896>.
21. Ross, Michale L. (2001) "Does Oil Hinder Democracy?" *World Politics* 53, 3: 325-36. Available at: <http://www.jstor.org/stable/25054153> (Accessed 15 December 2021).
22. Sanders, Jan A.; et al. (2007) *Averaging Methods in Nonlinear Dynamical Systems*. New York: Springer. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-48918-6> (Accessed 23 May 2021).
23. Stuart, Andrew M.; and Anthony R. Humphries. (1998) *Dynamical Systems and Numerical Analysis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
24. Zagare, Frank C.; and D. Marc Kilgour. (1998) "Deterrence Theory and the Spiral Model Revisited," *Journal of Theoretical Politics* 10, 1: 59-87. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/249676088> (Accessed 23 May 2021).



Research Paper

Modeling of Oil Deterrence in the Persian Gulf

Gholam Reza Rokni Lamouki^{1*}, Abbas Zamanian²

¹ Associate Professor, School of Mathematics, Statistics and Computer Science, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

² A PhD Candidate, Faculty of Law & Political Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 10 May 2022, Accepted: 14 November 2022
© University of Tehran

Abstract

The role of oil, which seems a constant factor in the contemporary Iranian political studies, has been studied in economic, social, and political domains of the country in various ways. However, oil as a strategic natural resource has also influenced regional and national security, particularly in the Persian Gulf countries which are top exporters in the international oil markets. The interdependency of oil exporters and importers has created some kind of mutual vulnerability, and thus the oil trade requires security. Moreover, the countries in the oil-rich Persian Gulf and its vicinity have been experiencing conflicts and wars for decades. The occurrence of wars has often undermined the security of the global oil trade. We try to explain oil market oscillations, considering that the oil market is volatile, and also the supply, demand, and prices of this strategic resource fluctuate. The share of oil-rich regions and countries in the global oil trade also tend to change continually. Because natural resources such as oil are limited, any increase or decrease in oil production and exports in one region affects other oil-rich regions. Since these fluctuations have consequences, it is assumed that these fluctuations affect the occurrence of violence and war in the oil-rich regions. The main research question is: How do the increase or decrease in the share of Persian Gulf oil exports of the world oil exports affect the occurrence of violence and war in this region and its vicinity? To find an appropriate answer to this question, we articulated and tested the "oil deterrence" hypothesis by using mathematical modeling and analyzing the available data.

Deterrence theories in international politics are based on military capability as well as other capabilities which can be transformed into military capability. Nevertheless, oil deterrence is based on the strategic attribute of this commodity and its trade. The high level of mutual vulnerability of the exporting and importing countries makes oil a strategic commodity that requires some stability. Given the inherent oscillation of

the oil market, one needs to adopt an efficient method to define and calculate its consequences. We recommend the use of dynamical system theory by which both the oscillations over time and the desirable and undesirable consequences can be defined and calculated. The expectation from modeling is to identify the events resulting from the oil exports' extremes and to show the appropriate range of deterrence of the Persian Gulf oil exports. Oil deterrence requires conditions that are defined as mathematical propositions.

When we have numerical information about an object and the results of that information are qualitative, one way to increase the accuracy of the relationship between quantities and qualities is to construct a model of the object. The quantitative (numeric) data on the volume of Persian Gulf oil exports and the world's total oil exports in different time periods are available, and fluctuate. However, information on the occurrence of conflicts and wars are not readily obtainable in numerical form. So, we define a positive quantity as a coefficient of deterrence that is a function of time. Furthermore, we consider the quantity of deterrence, which is also a function of time. These time functions are then placed as a state variable and an output variable in a differential equation. The upper and lower bounds indicate the extremes of the share of the region's oil exports. Interestingly, no war has been waged as long as output quantity oscillates within the upper and lower bands. Therefore, it is expected that the same relationship would be observed in the future. This model has been tested once by simulating the desired information, and a second time by using the actual data collected.

The proposed model shows the deterrence category well and has acceptable compatibility with the data. We have computed the oil deterrence bandwidth in the Persian Gulf. This model shows that deterrence against violence and war can be an oscillating phenomenon and be affected by macroeconomic variables. Another result is that the outbreak of wars in the Persian Gulf region is the result of bifurcation resulting from crossing the deterrence band. The results of the calculations show why — despite the high tensions in recent years — a war between Iran and the United States has not started, while the United States invaded Iraq under seemingly similar circumstances. Although the region has been the location of various wars for decades, no war has started in the deterrence band. Therefore, the model can help decision-makers in the region to make forward-looking policy decisions to avoid the escalations of crises to devastating wars. This is a step towards calculating quality matters, which can then include other qualities and clarify the decision-making conditions.

Keywords: Deterrence Bandwidth, Oil, Persian Gulf, War

Declaration of conflicting interests

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

ORCID iDs: <https://orcid.org/0000-0002-4873-0470>

References

- Abrahamian, Yervand. (1997) *Irān bein-e du enghelāb: Darāmedi bar jāme'eh'shenāsi siāsi-e Irān-e mo'āser (Iran between Two Revolutions)*, trans. Ahmad Golmohammadi and Mohammad Ibrahim Fattahi Velilaei. Tehran: Nay. [in Persian]
- Achen, Christopher H., and Duncan Snidal. (1989) "Rational Deterrence Theory and Comparative Case Studies," *World Politics* 41, 2: 143-69. <DOI:10.2307/2010405>.
- BP. (2020, March 18) *BP Annual Report and Form 20-F for 2019*. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/nl-nl/netherlands/home/documents/corporate-and-finance/bp-annual-report-and-form-20f-2019.pdf> (Accessed 12 March 2021).
- Estrada, Mario Arturo Ruiz, et al. (2020, March) "Simulations of US-Iran War and its Impact on Global Oil Price Behavior," *Bursa Istanbul Review* 20, 1: 1-12. <DOI:10.1016/j.bir.2019.11.002>.
- Foran, John. (1998) *Moghāvemāt-e shekanandeh: tārikh-e tahavolāt-e ejtemā'i Irān az sāl-e 1500 tā enghelāb (Fragile Resistance: Social Transformation in Iran from 1500 to the Revolution)*, trans. Ahmad Tadayon. Tehran: Rasa. [in Persian]
- Guckenheimer, John; and Philip Holmes. (1983). *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. Springer e-Book. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-1140-2> (Accessed 2 February 2022).
- Hosseini, Seyed Hossein, et al. (2016, March) "A Conceptual Framework for the Oil Market Dynamics: A Systems Approach," *Energy Exploration & Exploitation* 34, 2: 171-98, <DOI:10.1177/01445987166631656>.
- Kahn, Peter B. (1990) *Mathematical Methods for Scientists and Engineers: Linear and Nonlinear System*. London: Wiley.
- Katozian, Mohammad Ali Homayoun. (1993) *Eghtesad-e siāsi-e Irān az mashrotyat tā pāyān-e selseleh-ye pahlavi (Political Economy of Modern Iran: Despotism and Pseudo Modernism, 1926–1979)*, trans. Mohammad Reza Nafisi and Kambiz Azizi. Tehran: Markaz. [in Persian]
- Kuznetsov, Yuri A. (2004) *Elements of Applied Bifurcation Theory*. Springer E-Book. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4757-3978-7> (Accessed 2 February 2022).
- Liu, Hui; et al. (2013) "Productivity Evaluation and Influential Factor Analysis for Sarvak Reservoir in South Azadegan Oil Field, Iran," *Petroleum Exploration and Development* 40, 5: 627-634, <DOI:10.1016/S1876-3804(13)60082-8>.
- Mohaddes; Kamiar; and Hashem M. Pesaran. (2016) "Country-Specific Oil Supply Shocks and the Global Economy: A Counterfactual Analysis," *Energy Economics* 59: 382-399, <DOI:10.1016/j.eneco.2016.08.007>. Available at: https://econpapers.repec.org/article/eeeeneeco/v_3a59_3ay_3a2016_3ai_3ac_3ap_3a382-399.htm (Accessed 15 December 2021).
- Observatory of Economic Complexity (OEC). (2020) "Crude Petroleum," *oec.world*. Available at: <https://oec.world/en/profile/hs92/crude-petroleum> (Accessed 15 December 2021).

- OPEC. (Selected Years) *OPEC Annual Statistical Bulletin for Selected Years, 2000, 2011, 2016, 2017, 2020*. Available at <https://www.opec.org/opec-web/en/publications/202.htm> (Accessed 15 December 2021).
- Pesaran, Hashem M. (1990) "An Econometric Analysis of Exploration and Extraction of Oil in the U.K. Continental Shelf," *Economic Journal* 100, 401: 367-390, <DOI:10.2307/2234130>.
- Pesaran, Hashem M. (1991) "Estimation of Simple Class of Multivariate Rational Expectations Models: A Test of the New Classical Model at a Sectoral Level," *Empirical Economics* 16, 2: 211-232. Available at: <https://ideas.repec.org/a/spr/empeco/v16y1991i2p211-32.html> (Accessed 15 December 2021).
- Pesaran, Hashem M.; et al. (1989, July) "Econometric Analysis of Aggregation in the Context of Linear Prediction Models," *Econometrica* 57, 4: 861-888. Available at: <https://ideas.repec.org/a/ecm/emetrp/v57y1989i4p861-88.html> (Accessed 15 December 2021).
- Quackenbush, Stephen L. (2011) "Deterrence Theory: Where Do We Stand?" *Review of International Studies* 37, 2: 741-62, <DOI:10.1017/S0260210510000896>.
- Rokni Lamouki, Gholam Reza. (2021) "Fa'āliyat'hā-ye bein-reshtehi va model-e poyā-ye ān (Interdisciplinary Activities and Its Dynamical Model)," *Nāme-ye-Oloom-e Pāye (Quarterly Review of Basic Sciences)* 1, 1: 45-59. Available at: <http://ias.ac.ir/images/1400/1400PDFs/basic-1-4-Rokni-Fa.pdf> [in Persian].
- Ross, Michale L. (2001) "Does Oil Hinder Democracy?" *World Politics* 53, 3: 325-36. Available at: <http://www.jstor.org/stable/25054153> (Accessed 15 December 2021).
- Sanders, Jan A.; et al. (2007) *Averaging Methods in Nonlinear Dynamical Systems*. New York: Springer. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-48918-6> (Accessed 23 May 2021).
- Skocpol, Theda. (2003, June) "Dolat-e rentier va eslām-e shia dar Enghelāb-e Irān (Rentier State and Shi'a Islam in Iranian Revolution)," trans Delforouz. *Faslnāmeḥ-ye motāleāt-e rāhbordi (Journal of Strategic Studies)* 19: 119-141. Available at: http://quarterly.risstudies.org/article_1068.html [in Persian].
- Stuart, Andrew M.; and Anthony R. Humphries. (1998) *Dynamical Systems and Numerical Analysis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Zagare, Frank C.; and D. Marc Kilgour. (1998) "Deterrence Theory and the Spiral Model Revisited," *Journal of Theoretical Politics* 10, 1: 59-87. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/249676088> (Accessed 23 May 2021).



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.