تحلیل رفتار اوپک با رویکرد نظریه بازی تکاملی

مرضیه خاکستری[۱]، سحر جلینی[۲]، احمد عاملی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸

چکیده

این مقاله روشی را برای بررسی مشکلات اقتصادی که در آن عوامل منطق‌گرا در بازارهای پویا تعامل دارند ارایه می دهد. که در آن از نظریه بازی تکاملی و مدل‌سازی عامل بنیان برای پرداختن به مشکلات بین دوره‌ای که نمایش دهنده ویژگی‌های تکاملی هستند، استفاده می شود. در این تحقیق به بررسی رفتارعوامل سازمان کشورهای صادر کننده نفت (اوپک) در بازارهای جهانی نفت در طول دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، پرداخته می شودکه درصدد کنترل بازارهای جهانی نفت در طی این دوره بودند. برای پرداختن به این مورد، یک مدل نظریه بازی تکاملی متقارن برای بررسی رفتار عوامل اوپک استفاده شده است و این مدل نشان می‌دهد که آنها آموختند تا کنترل منابع خود را به دست بگیرند. در ادامه به منظور توانایی محاسباتی پیاده‌سازی بازی تکاملی و ارائه نتایج دقیق یک روش مدلسازی عامل بنیان به کار گرفته خواهد شد. همچنین نشان داده می‌شود که رفتار اوپک در طول این دوره به رشد ذخایر نفتی در کشورهای عضو آن وابسته است. تحقق بیشتر ذخایر منابع طبیعی، به اوپک اجازه داده است تا به صورت

---

۱. استادیار گروه اقتصاد امور عمومی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، (نویسنده مسئول)
Email: m.khakestari@khu.ac.ir
۲. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، Email sahar.joleini@gmail.com
۳. استادیار گروه اقتصاد انرژی و منابع ، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی،
Email: ameli2000@gmail.com

یک شرکت بزرگ عمل نماید و در صدد کنترل بازارهای جهانی نفت در دوره مذکور باشد. لازم به ذکر است در صورت ثابت ماندن ذخایر، اوپک قابلیت تسلط بر بازارهای جهانی نفت را پیدا نمی‌کرد.

واژه‌های کلیدی: نظریه بازی تکاملی، مدلسازی عامل بنیان، اوپک.

طبقه‌بندی JEL: C73, C68, C63

۱. مقدمه

تکامل بازارهای انرژی در طول زمان، چند پدیده شناخته شده غیر قابل توضیح از لحاظ نظری را به نمایش گذاشته است و این رخدادها موجب نتایج بزرگ اقتصادی و سیاسی شده است. شاید با مطالعات انجام گرفته چنین نتیجه می شود که در مورد این پدیده‌ها به دقت توضیح داده نشده است، و بیشتر در صنعت و دانشگاه در مورد آنها صحبت شده است. شاید بتوان گفت یکی از این پدیده ها ظهور سازمان کشورهای صادر کننده نفت (اوپک)[1] در بازارهای جهانی در طول دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، می باشد که توانستند با نفوذ خود کنترل بخشی از بازارهای نفت را از کارتل شرکت‌های بزرگ شناخته شده به عنوان هفت خواهران نفتی[2] خارج کنند.

در دهه‌های قبل از جنگ جهانی دوم، گروه هفت خواهران نفتی با گرفتن امتیازات از دولت‌های صادرکننده جهانی نفت از حقوق مالکیت نفت استخراج شده بهره می‌بردند و سهم محدودی از سود خود را به عنوان حق امتیاز به دولت‌های ملی کشورهای در حال توسعه و استخراج‌کننده نفت می‌پرداختند. به مرور زمان، نارضایتی دولت‌های صادرکننده نفت از سهم دریافتی بیشتر شد و در سال ۱۹۶۰، این کشورها نام خود را اوپک گذاشتند. اعضای اوپک توانستند با ملی‌سازی منابع کشور های خود و تقسیم تولید به عنوان یک جبهه متحد، به تدریج بر بازارهای نفتی تسلط پیدا کنند.

ظهور اوپک به عنوان قدرت فزاینده در بازارهای جهانی نفت، به درستی بیان کننده این واقعیت است که کشورهای عضو اوپک سهم بزرگی از صادرات جهانی نفت را دارا بوده و مالک بخش عمده ذخایر نفت در زمین می باشند. به طوریکه بیش از ۷۵ درصد ار ذخایر جهان در ۱۲ کشور اوپک متمرکز شده و لذا تقریبا تمامی کشورها به اوپک وابسته اند. (عبدلی و ناخدا، ۱۳۸۸) با این حال، یک معما در این داستان وجود دارد،

1. OPEC
2. Seven Sisters

پیش‌بینی ها نشان می داد که با توجه به کنترل کشورهای عضو اوپک روی بخش عمده‌ای از صادرات جهانی نفت و ذخایر نفت، اوپک به سلطه جهانی می‌رسد، به طوری که انتقال قدرت کاملاً به سرعت رخ می‌دهد. در مقابل، بیش از یک دهه طول کشید تا اوپک جای هفت خواهران را به عنوان نیروی حاکم در بازارهای نفتی جهان بگیرد .مدل‌های اقتصادی سنتی کاملاً عقل‌گرا نمی تواند این تأخیر را توضیح دهند و درنتیجه این نقصان، انگیزه‌ای برای استفاده ا از نظریه بازی تکاملی[1] (EGT) فراهم می-کند (وود و همکاران[2]،۲۰۱۶).

نظریه بازی تکاملی (EGT) برای مطالعه تعاملات استراتژیک که در طول زمان و بارها و بارها رخ می‌دهد و اغلب در شرایطی که در آن عوامل اطلاعات کامل ندارند و همانند مدل‌های سنتی اقتصادی، نمی‌توانند کاملاً به دنبال دلایل منطقی باشند، مناسب می‌باشد. به طور خاص، EGT می‌تواند چگونگی انطباق، یادگیری و یا تقلید و قرار گرفتن آنها تحت شوک‌های ناشی از محیط خود را نشان دهد. کار اصلی در نظریه بازی تکاملی توسط مایناردِ اسمیت[3] در سال ۱۹۸۲ انجام گرفت. ودر سال۱۹۸۷ کار او توسط برون و وینسنت[4] در بازی های پیوسته با ارایه تعریفی از ESS[5] بر حسب ائتلاف چند استراتژی گسترش یافت.

در حالی که EGT در زیست شناسی برای توضیح تناسب گونه‌ها و ژن‌های نسل‌های تولید مثل استفاده می‌شود ولی توجه محدودی را در اقتصاد کاربردی به خود معطوف نموده است. چند اقتصاددان EGT را به صورت نظری بررسی نموده‌اند که می‌توان به

1. Evoloutionary Game Theory
2.Wood, etal.
3. Maynard Smith
4. Brown& Vincent
5. Evolutionarily Stable Strategy
6. Brown& Vincent
7. Evolutionarily Stable Strategy

(ویبـــول[۱]، ۱۹۹۵) و (وگاردونـــدو[۲]، ۱۹۹۶) و (ساموﻟســـان[۳]،۱۹۹۷) و (هوفبـــار و سیگموند[۴]، ۱۹۹۸) و (گینتیز[۵]، ۲۰۰۹) اشاره نمـود. همچنـین وان دامـه[۶] در سـال ۱۹۹۴در مقاله ای به بررسی مزایای استفاده از نظریه بازی تکاملی نسبت به نظریه کلاسـیک بـازی عقلگرایانه می پردازد (وان دامه ، ۱۹۹۴).

در این تحقیق مدلسازی عامل بنیان[۷] برای ارائه نتایج دقیـق مـورد اسـتفاده قـرار داده می شود. در ABM، عوامل در طول زمان با توجـه بـه قـوانین رفتـاری برنامـه‌ریـزی شـده تعامل پیدا می‌کنند و رفتارهای پیش آمده در عوامل و در محـیط، بـا یـادگیری و تکامـل عوامل مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل های عامل بنیان این امکان را برای محققان فراهم می کنند که ایده های خود را تبدیل به مدل کنند و آزمایش هـا و تحلیـل هـایی بـر روی عامل هایی که در محیط باهم تعامل می کنند انجـام دهـد. (اصـغر پـور ماسـوله و امیـری ،۱۳۹۳) مطالب مقدماتی برای آشنایی با ABM توسط (آکسلرود و تسفتشن[۸]،۲۰۰۶) ارائه شده است. همچنین مطالعه ای در زمینه چگونگی انتقال مفاهیم نظریه بازی تکـاملی به مدل عامل بنیان نیز توسط دیوید[۹] در سال ۲۰۰۷ انجام شده است.

این تحقیق در ۶ بخش سازماندهی شده است. .در بخش بعدی به مبانی نظری پرداخته می شود .در بخش سوم پیشینه تحقیق بیان می شود. بخش چهارم به مدل تحقیق مورد استفاده درمقاله اختصاص دارد. در بخش پنجم نتایج شبیه سازی و سرانجام در بخش پایانی، نتیجه گیری ارائه شده است.

1.Weibull
2.Vega-Redondo
3. Samuelson
4. Hofbauer & Sigmund
5. Gintis
6. Van Damme
7. Agent Based Modeling
8. Axelrod & Tesfatsion
9. Dawid

۲ . مبانی نظری

در این قسمت نظریه بازی تکاملی و روش عمومی پیدا کردن ESS و ارتباط آن با تعادل نش ارائه می گردد.

نظریه بازی تکاملی

یک کاربرد اصلی و گسترده نظریه بازی ها ، نظریه بازی تکاملی است که برای اولین بار توسط مایnارد اسمیت در سال ۱۹۸۲ انجام گرفت . ایده ی او این بود که اگر در یک بازی اثر متقابل بین بازیکنان را بررسی کنیم، می‌بینیم که استراتژی برتر سرانجام میان بازیکنان گسترش می یابد و مسلط می شود. او مفهوم استراتژی پایدار تکاملی ESS را مطرح نمودند. در ESS یک استراتژی خوب توسط هر تغییری مورد حمله قرار نمی گیرد، در نتیجه تغییرات بد نمی توانند به جمعیت غلبه کنند. این مفاهیم طبیعتا در زیست کاربرد دارد، اما می توان برای شرح و پیش بینی بسیاری از مسائل در اقتصاد، امور مالی و زمینه های دیگری از مسائل اقتصادی و سیاسی استفاده نمود.

در یک بازی تکاملی یک استراتژی، استراتژی تکاملی پایدار است اگر در جامعه ای که مورد استفاده قرار گرفته است نسبت به استراتژی های جدید و هر استراتژی رقیب بهتر باشد. باید یادآوری شود که بعضی از بازی ها اصلا استراتژی پایدار تکاملی ندارند. پویایی تکامل ممکن است یک چرخه ی نوسانی بین استراتژی ها باشد به طوری که هر استراتژی به نوبه ی خود بر بازی تسلط پیدا می کند در این حالت در زمان های مختلف، استراتژی های مسلط مختلفی خواهیم داشت.

در هر بازی عایدی هر بازیکن به نوع آن و نوع حریف بستگی دارد که در ماتریس بازی نشان داده می‌شود. بازیکنی که دارای عایدی بیشتری نسبت به بازیکن دیگر است صفات یا نوع خود را از طریق انتقال ژن‌های خود به نسل آینده منتقل می‌کند، یعنی آن استراتژی که پیامد بیشتری دارد به دلیل انتقال ژنتیکی در دوره یا نسل بعد بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد و لذا عایدی آن به دلیل افزایش سهم آنها در نسل بعدی جمعیت،

بیشتر می شود و استراتژی ها که عایدی کمتری دارد، کمتر مورد استفاده قرار می گیرد و در نهایت از بین می رود. گاهی اوقات جهش ژنتیکی انجام می شود، یعنی بعضی از بازیکنان از میان استراتژی های قابل انتخاب، آنکه قبلا بوسیله هیچ فردی از جمعیت انتخاب نشده را انتخاب می‌کنند یا به عبارت دیگر نوع جدیدی در جمعیت حضور پیدا می‌کند که اصطلاحاً به آن جهش یافته می‌گویند. اگر این جهش یافته ها در مواجهه با افراد موجود در جمعیت مناسب تر عمل کنند، صفت آنها به نسل های بعدی منتقل می‌شود و یا ممکن است جهش یافته ها مناسب عمل نکنند و از بین بروند. در زیست شناسی فرآیند تکامل از طریق انتخاب ژنتیکی صورت می‌گیرد، ولی در تعاملات انسانی بازیکنانی که در یک دوره تجربه خوبی از انتخاب خود بدست می‌آورند اطلاعات آن را به اطرافیان خود منتقل می‌کنند تا آنها در دوره بعد همان انتخاب را انجام دهند. بر عکس آنهایی که در یک دوره، تجربه خوبی از انتخاب خود به دست نیاورده اند آن را به اطرافیان خود منتقل می‌کنند تا آنها در دوره بعد آن انتخاب را انجام ندهند. این انتقال تجربه موجب می‌شود دردوره‌های بعد انتخاب خوب بیشتر و انتخاب بد کمتر استفاده شود.

پایداری و ثبات تکامل(یعنی جایی که جهش ژنتیکی متوقف می‌شود) دو حالت دارد :

۱- یک نوع رفتار مناسب‌تر از همه انواع دیگر است، لذا در فرایند تکامل کل جمعیت را آن نوع فرا می‌گیرد و هیچ تنوعی در جمعیت در تعادل دیده نمی‌شود که اصطلاحاً به آن نوع یا استراتژی تکامل یافته با ثبات (ESS) تک ریختی می‌گویند.

۲- حالت دیگر به موقعیتی اطلاق می‌شود که در تکامل، دو یا چند نوع به یک اندازه مناسب تر از بقیه نوع‌هاست. در این صورت جمعیت از چند نوع تشکیل می‌شود که با هم همزیستی دارند که به آن نوع‌ها یا استراتژی‌های تکامل یافته با ثبات (ESS) چندریختی می‌گویند.

- **روش عمومی پیدا کردن ESS و ارتباط آن با تعادل نش**

بازی متقارن دو نفره را در نظر بگیرید که هر بازیکن دارای چند عمل است که می‌تواند ازمیان آنها انتخاب کند. فرض کنید هر دو $\dot{\alpha}$ را انتخاب می‌کنند. اگر این بازی بوسیله یک جمعیت انجام شود بطوری که همه آنها یک نوع بوده و آنها را نوع $\dot{\alpha}$ می‌نامیم، تحت چه شرایطی عمل $\dot{\alpha}$، ESS است؟

فرض می‌کنیم اندکی جهش یافته به نام b وارد جمعیت شده که بایستی برای ESS بودن $\dot{\alpha}$، هر یک از جمعیت جهش یافته، عایدی مورد انتظار کمتری در مقایسه با هر عضو از جمعیت اصلی $\dot{\alpha}$ بدست آورد یعنی :

$$U(b) < U(\dot{\alpha}) \qquad \forall b \neq \dot{\alpha} \tag{۱}$$

پس سهم احتمال b باید ε و سهم احتمال $\dot{\alpha}$ ، ε-۱ باشد، پس داریم:

$$U(b) = (1-\varepsilon)U(b,\dot{\alpha}) + \varepsilon\, U(b,b) \tag{۲}$$

$$U(\dot{\alpha}) = (1-\varepsilon)\, U(\dot{\alpha},\dot{\alpha}) + \varepsilon\, U(\dot{\alpha},b) \tag{۳}$$

با توجه به رابطه (۱) داریم:

$$\begin{aligned}(1-\varepsilon)U(\dot{\alpha},\dot{\alpha}) + \varepsilon U(\dot{\alpha},b) \\ > (1-\varepsilon)U(b,\dot{\alpha}) \\ + \varepsilon U(b,b)\end{aligned} \tag{۴}$$

اکنون اگر $\varepsilon = 0$ باشد، $\dot{\alpha}$ ESS است، زیرا تعادل نش قوی است. اگر $\varepsilon \neq 0$ باشد یک مقدار $\bar{\varepsilon} < 1$ وجود خواهد داشت که رابطه مذکور به ازای تمام ε ها $< \varepsilon$ $\bar{\varepsilon}$ صادق خواهد بود.

اگر $(\dot{\alpha},\dot{\alpha})$ تعادل نش قوی باشد برای تمام $b \neq \dot{\alpha}$ رابطه $u(\dot{\alpha},\dot{\alpha}) > u(b,\dot{\alpha})$ برقرار خواهد بود، یعنی $\dot{\alpha}$ تنها بهترین پاسخ است. لذا در حالت تعادل نش قوی آن تعادل نش

ESS است، ولی اگر $(\dot{\alpha},\dot{\alpha})$ تعادل نش ضعیف باشد، یعنی وقتی که بازیکن حریف $\dot{\alpha}$ را انتخاب می‌کند $\dot{\alpha}$ و بعضی از b ها بهترین پاسخ به $\dot{\alpha}$ انتخابی حریف باشد؛ بعبارت دیگر $\dot{\alpha}$ و b عایدی یکسانی داشته باشند :$u(\dot{\alpha},\dot{\alpha})=u(b,\dot{\alpha})$ باشد.

رابطه (۱) به صورت $u(\dot{\alpha},b) > u(b,b)$ تقلیل می‌یابد. لذا در حالت تعادل نش ضعیف شرط اینکه $\dot{\alpha}$، ESS باشد این است که رابطه $u(\dot{\alpha},b) > u(b,b)$ برقرار باشد. (عبدلی،۱۳۹۱)

۳. پیشینه تحقیق

در ابتدا مقالاتی که بازار نفت را با استفاده از نظریه بازی مورد بررسی قرار داده اند آورده می شود.

شنوی[1] (۱۹۸۰) در مقاله خود در بازار جهانی نفت را به صورت یک بازی دو نفره مجموع غیر صفر به صورت نرمال که هر یک از بازیکنان استراتژی های پیوسته دارند مدل کرده است. هر دو بازیکن جزو کشورهای وارد کننده نفت یا اوپیک و صادر کننده نفت یا اوپک هستند. مساله ارایه شده در حالت غیر همکاری با استفاده از نقطه تعادل نش حل شده است. راه حل نقطه تعادل نش قیمت بهینه هر بشکه نفت برای اوپک و مقدار بهینه سطح واردات نفت برای اوپک را با فرض عدم همکاری میان بازیکنان به صورت تحلیلی بیان می‌کند. هم چنین جواب بهینه با در نظر گرفتن همکاری میان بازیکنان در این بازی با استفاده از مجموعه های همکاری مورگنسترن و وان نیومن و چانه زنی نش مورد بررسی قرار گرفته است. و دوباره نقطه بهینه قیمت هر بشکه نفت سطح بهینه واردات نفت ارایه شده است.

در مقاله ای دیگر بازار جهانی نفت را به صورت یک بازی با همکاری سه نفره در قالب تابع مشخصه با پیامد یا بدون پیامد مدل کرده است. سه بازیکن عبارتند از: کشور های وارد

1.Shenoy

کننده نفت گروهی از اعضای اوپک که به وسیله ایران هدایت می شوند و گروهی از اعضای اوپک که به وسیله عربستان سعودی هدایت می شوند. پاسخ های مختلفی برای بازی مانند ارزش شاپلی ، مجموعه های چانه زنی و هستک مورد مطالعه قرار گرفته است (شنوی، ۱۹۸۰).

آلسمیلر و هرودل [1] (۱۹۸۵) به مدل سازی بازار نفت جهان با در نظر گرفتن اوپک بعنوان یک کارتل استکلبرگ در چارچوب سیستم مدل سازی تعادل عمومی پرداخته اند.این مدل به تفصیل توضیح داده شده و نتایج حاصل از این مدل برای سال های ۱۹۸۰ تا ۲۰۴۰ آورده شده است. به منظور مقایسه ، هنگامی که اوپک به عنوان یک رقیب در نظر گرفته می شود، به بررسی نتایج مدل پرداخته اند و با مقایسه قیمت جهانی نفت به صورت تابعی از زمان از طریق دو روش ، تاثیری که اوپک می تواند در بازار نفت با استفاده از تمامی قدرت خود اعمال کند را اندازه‌گیری کرده اند. قیمت جهانی نفت حاصله از مدل بازار جهانی نفت با سایر روش ها مقایسه شده است.

ادبیات اقتصادی، مشخصات خاصی را برای هر کارتل فراهم می کند. تئوری کارتل-های بین‌المللی به خوبی در ادبیات گسترش نیافته است و هر کارتل منحصر به فرد است. بعضی از این مشخصات در هر کارتلی وجود دارد که الحاجی و هوتنر [2] در سال ۲۰۰۰ وجود این مشخصات را در ۱۳ کشور عضو اوپک بررسی می‌کند. علاوه بر این، این مطالعه کارتل کشورهای نفتی هفت خواهران و اوپک را مقایسه می‌کند و خلاصه‌ای از توسعه اوپک را با استفاده از یافته‌های مدل‌های اقتصادسنجی در ۲۵ سال اخیر بیان می-کند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های رقابتی به تنهایی اوپک را پوشش نمی‌دهد.در واقع این پژوهش بیان می‌کند که اوپک ترکیبی است از عربستان سعودی (تولیدکننده غالب

1. Alsmiller & Horwedel
2. Alhajji & Huettner

جهان) بعلاوه چندین زیر گروه متمایز که مدل‌های جداگانه‌ای را برای بررسی رفتارهای هرکدام توضیح می‌دهد. موفقیت‌های اخیر اوپک شامل محدودیت‌های ظرفیت فنی، طبیعی و سیاسی در زمینه نفت است که از فریب دادن کشورها بر سر سهمیه‌شان پیشگیری کرده است.

کاستیلو و دوراو[1] (۲۰۱۳) طی پژوهشی چارچوب تصمیم‌سازی برای طرح ادراکی و ارزیابی پروژه در صنعت گاز و نفت ارائه کرده است. این چارچوب بر اساس نظریه بازی ست که استراتژی‌های آن با استفاده از الگوریتم دودویی ژنتیک ایجاد می‌شود. چارچوب مطرح شده بطور همزمان مشکل تصمیم‌سازی چند هدفه و چند سطحه را حل می‌کند. این چارچوب معروف به استفاده در طراحی فشار کشتی است. علاوه بر این سه مورد مطالعه بر طبق تحلیل و آنالیز تأثیر اهداف چندگانه روی طراحی فشار کشتی تعریف شده است. مقایسه نتایج بدست آمده و نتایج گزارش شده برای طراحی مخازن تحت فشار، اطمینان چارچوب مطرح شده را تأیید می‌کند. بنابراین ارزیابی چارچوب مطرح شده نشان داد که نتایج طراحی فرآیند مفهومی بسته به اهداف در نظر گرفته شده است. همانطور که انتظار می‌رود، بیشتر نتایج زمانی واقعی هستند که یک چارچوب یکپارچه از تصمیم‌گیری شامل هزینه‌های استراتژیک از مرحله‌ی طراحی مفهومی بدست آید. با این حال، توابع هدف متکی بر اطلاعات نرم‌افزاری با عدم قطعیت بزرگ، بویژه در مرحله طراحی هستند، بنابراین عدم قطعیت ممکن است به منظور بهبود نتایج گنجانده شود.

وود و همکاران (۲۰۱۶) مدلی مبتنی بر نظریه بازی تکاملی و مدلسازی عامل بنیان برای مطالعه رفتار سازمان اوپک وشرکت نفتی هفت خواهران در بازارهای جهانی نفت در طول دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، ارایه نمودندکه در تقابل با یکدیگر برای کنترل بازارهای جهانی نفت در طی این دوره بودند. که نتایج مقاله به شرح زیر است.

1. Castillo & Dorao
2. Organisation for Economic Co-operation and Development

یک روش تکاملی و محاسباتی برای مطالعه بازارهای انرژی پیشنهاد شده است. این رویکرد به مبارزه تاریخی میان اوپک و هفت خواهران می پردازد. مدل بازی تکاملی از کارتل های ناهمگن تشکیل شده است.

مدلسازی عامل بنیان ، مدل نظری کارتل ها را در طول زمان شبیه سازی می کند. انتقال قدرت، به وسیله ی یادگیری تکاملی و رشد منابع به دست می آید.

در مطالعات داخلی نتایج نشان‌دهنده آن است که هر یک از مدل‌های رفتاری اوپک در کوتاه مدت می‌تواند رفتار این سازمان را توضیح دهد اما دلایلی نظیر تغییر ساختار بازار جهانی نفت طی عمر ۴۸ ساله که بر روی عملکرد اوپک تاثیر گذار است، سبب شده در بلندمدت نتوان رفتار اوپک را با مدل‌های صرفاً اقتصادی بیان کرد. بلکه توانسته‌اند با تلفیقی از مدل‌های اقتصادی و در نظر گرفتن شرایط اقتصادی-سیاسی و با توجه به ذخایر نفتی، رفتار اوپک را در بلند مدت توضیح دهند.

ابریشمی و گلستانی (۱۳۸۳) در مقاله‌ای که انجام داده‌اند، رفتار دو سازمان اوپک و OECD[1] را بعنوان بازیگران اصلی و تأثیرگذار در بازار جهانی نفت در قالب یک بازی تکرار شونده متناهی انحصار دو جانبه، مورد بررسی قرار داده اند. نشان داده شده که اوپک بعنوان یک چانه‌زن ضعیف حضور یافته و در مقایسه با دولت های عضو OECD سهم کمتری از منافع را به خود اختصاص داده است. در تئوری بکار گرفته شده استراتژی نفتی اوپک براساس سه انگیزه اقتصادی، سیاسی-امنیتی و درآمدی شکل گرفته که قدرت چانه‌زنی بالای گروه پس‌اندازکننده نقش قابل ملاحظه‌ای در تصمیم‌گیری و اتخاذ استراتژی نفتی این سازمان دارد. از طرف دیگر استراتژی نفتی OECD براساس سه انگیزه اقتصادی، امنیتی(امنیت انرژی) و بعضاً زیست محیطی شکل گرفته است. برآیند این استراتژی‌ها منجر به حاکمیت قیمت تعادلی و باثباتی در بازار جهانی نفت گردیده که بواسطه آن بخش اعظم منافع از طریق وضع مالیات و تعرفه نصیب دولت های OECD می-گردد. همچنین عبدلی و ناخدا (۱۳۸۸) پژوهشی انجام داده‌اند که ابتدا مدل ساده چانه‌زنی

ارائه می‌شود و در آن بی‌صبری منبع قدرت چانه‌زنی می‌باشد و پیامد این مرحله که در مرحله اجرایی دنبال می‌شود، به شکل بازی معمای زندانی در می‌آید. سپس نشان داده شده که چگونه این مدل به سوال تقسیم منافع در سازمان کشورهای صادرکننده نفت خام با در نظر گرفتن قدرت چانه‌زنی و افق‌های زمانی پاسخ می‌دهد.سازمان اوپک از اعضایی با بردباری متفاوت تشکیل شده است و تا به امروز تداوم دارد.

در تحقیقات انجام شده توسط عبدلی و ماجد(۱۳۹۱) با توجه به وضعیت حاکم بین اعضای اوپک، از نظریه همکاری برای تحلیل رفتار این اعضا استفاده شده که نتایج آن نیز به این صورت بوده که مدل با آثار ثابت برای توضیح الگوی رفتاری کشورهای اوپک مناسب است. طبق این مدل مقدار فروش نفت خام توسط کشورهای عضو اوپک رابطه مثبتی با ذخایر اثبات شده و فروش دوره قبل دارد.

نظری و خاکستری (۱۳۹۴) به بررسی اثر تحریم‌ها بر روی ایران در سال های اخیر می پردازند و با استفاده از نظریه بازی‌ها سعی شده استراتژی های ممکن را بررسی نمایند. در این راستا سه بازیکن ایران، عربستان و آمریکا تعریف شدند و مدلی برای بازی میان آنها ارائه گردید سپس مدل ارائه شده به صورت بازی همکارانه حل شد و نقطه تعادل برای آن بدست آمد. در بازی به صورت همکارانه نتایج بدست آمده بدین صورت است که هر سه بازیکن آمریکا و عربستان و ایران استراتژی به ترتیب کاهش فشار و تحریم کمتر ،کاهش فشار و همکاری و همکاری را انتخاب می کند. در انتها نیز تاثیر تحریم های نفتی بر فروش نفت ایران بررسی گردید. دیده شد که حتی با افزایش چند برابری قیمت نفت در طی این سال ها، درآمد نفتی ایران سیر نزولی داشته است.

در مقاله ی دیگری ملاحظه می‌شود، مسائل همکاری بین‌المللی شامل: مسئله چانه‌زنی (شبیه به بازی‌های هماهنگی) و نیز مسئله اجرا (شبیه به بازی معمای زندانی) تبیین می گردد که بر اساس نظریه بازی دارای دو مرحله مرتبط به هم هستند. در مرحله نخست، کشورها مذاکراتی را درباره مورد معامله صورت می‌دهند و در مرحله دوم (مرحله اجرای بازی) معامله موافقت‌شده به مورد اجرا در می‌آید که این دو مرحله به صورت یک بازی معمای

زندانی تکراری مدل‌سازی شده است. طبق نتایج، هر قدر منافع همکاری بیشتر باشد سایه آینده طولانی‌تر و همکاری پایدارتر است. ممکن است سایه طولانی از آینده، اجرای یک توافقنامه بین‌المللی را تسهیل کند امّا در عین حال به کشورها انگیزه‌هایی می‌بخشد تا با شدت بیشتری چانه‌زنی کنند و به امید حصول منافع بیشتر اجرای توافقنامه را به تأخیر اندازند. کاربرد این مدل برای اوپک نشان می‌دهد که کشورهای فقیرتر سهم بیشتری از تولید را نسبت به کشورهای غنی‌تر دریافت می‌کنند تا پایبند به همکاری باشند. (عبدلی و ناخدا ، ۱۳۹۵)

خاتمی و شکیبایی (۱۳۹۶) در مقاله خود مدلی جدید از جستجوی استراتژی‌های بهینه در بازی معمای زندانی تکراری با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارایه نمودند. بدین منظور با شبیه‌سازی رقابت بین ایران و عربستان در ائتلاف اوپک نفتی، از ۱۲ نوع استراتژی مطرح در بازی معمای زندانی تکراری طی ۲۰ اجرای الگوریتم ژنتیک به‌منظور حداکثرسازی امتیازات فردی بازیکن و نیز حداقل‌سازی امتیاز برازندگی رقیب استفاده شده است. نتایج نشان داد استراتژی عمل متقابل حائز بالاترین بازدهی متوسط در هر دو رقابت بوده و در رتبه‌های بعدی استراتژی‌های اکثریت موافق، ماشه وعمل متقابل پس از دو بار نقض همکاری رقیب جای گرفته‌اند. استراتژی همواره عدم همکاری نیز در رقابت‌ها با کمترین بازدهی به‌عنوان ناکاراترین استراتژی شناخته شده است.

٤. مدل تحقیق

در این تحقیق به بررسی تعامل استراتژیک وتکاملی بین اعضای سازمان کشورهای صادر کننده نفت (اوپک) در بازارهای جهانی نفت در طول دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، پرداخته می شود. یک مدل نظریه بازی تکاملی متقارن در نظر گرفته می شود که بازیکنان، کشور های عضو سازمان اوپک می باشند

ماتریس بازی عوامل اوپک که به صورت Game $\hat{G}$ در جدول ۱ نشان داده شده است می‌دهد و در آن هر دوره با t نشان داده می‌شود. یک جمعیت N تولید کننده

اوپک را در نظر بگیرید که در آن N یک عدد صحیح متناهی است. هر عامل در جمعیت با استراتژی خالص X یا Y بازی می کند. استراتژی X نشان دهنده این است که تولیدکننده اوپک، تولید را کاهش می‌دهد (سرشکن کردن) . استراتژی Y نشان دهنده این است که تولیدکننده اوپک، تولید را افزایش می‌دهد.

در هر دوره، عوامل اوپک باید انتخاب کنند که آیا استراتژی Y را بازی کنند، که درصورت انتخاب استراتژی Y آن عوامل وضع موجود را حفظ می‌نمایند و به جهان صنعتی، نفت فراوان را در قیمت‌های پایین ارائه می‌دهند، یا استراتژی X را بازی کنند، که در تلاش برای کاهش عرضه و افزایش قیمت‌ها، تولید سرشکن می‌شود.

جدول ۱. فرم نرمال بازی $\hat{G}$

	Xهمکاری/ سرشکن	**Y عدم همکاری/تولید**
Xهمکاری/سرشکن	c,c	a,b
Yعدم‌همکاری/تولید	b,a	d,d

عایدی واقعی هر عامل برابر است با عایدی مورد انتظار خود به علاوه متغیر تصادفی R . متغیر تصادفی R ، شوک‌های نفتی است که در بازار جهانی نفت صورت می گیرد . به عنوان مثال، تصور کنید که یک عامل سطری، با استراتژی X بازی می کند که در این حالت یک عامل ستونی با استراتژی Y بازی می‌کند. عاملی که‌با X بازی می‌کند، عایدی مورد انتظار a را بدست می‌آورد ، اما عایدی واقعی $a + R$ است.

در نظر بگیرید که عامل X را در یک جمعیت بازی می‌کند که در آن تعداد K از حریفان، X را بازی می کنند.

بنابراین عایدی مورد انتظار عامل برابرست با:

$$\pi_X(k) = kc + (1 - k)a \qquad (۵)$$

برای یک عامل که Y را بازی می‌کند، با توجه به اینکه K، X را بازی می‌کند، عایدی مورد انتظار عامل به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\pi_Y(k) = kb + (1-k)d \quad (۶)$$

در اینجا، یادگیری به صورت دوره‌ای صورت می‌گیرد وبستگی به شرایط یک عامل در رابطه با رقبای خود دارد. عوامل احتمالاً روش یادگیری را در هر دوره دریافت نمی-کنند و این نشان دهنده این واقعیت است که یادگیری در هر دوره رخ نمی‌دهد و این بستگی به شرایط عوامل دارد که آیا آنها باید رفتار خود را تغییر دهند یا خیر. هنگامی که شرایط به گونه ای باشدکه یک عامل نیاز به تغییر استراتژی خود داشته باشد در این حالت استراتژی خود را با تقلید از عامل دیگر انتخاب می‌نماید

در ماتریس بازی فرض شود $b > c > d > a$ است. همچنین در این حالت فرض می‌شود که افراد موجود از دو نوع تشکیل می‌شوند. یک دسته همیشه رفتار همکارانه در پیش می‌گیرند که این افراد را نوع C می‌نامیم. یک دسته همیشه به دنبال منافع خود هستند که این افراد را نوع D می‌نامیم.

دو عضو از جمعیت اعضای اوپک را به طور تصادفی انتخاب می‌کنیم. هر کدام از آنها می‌توانند نوع D یا C باشند. حال سوال این است که کدام نوع در بین جمعیت شایسته‌تر عمل می‌کند؟ ۲ حالت در نظر می‌گیریم:

حالت ۱) فرض می‌کنیم کل جمعیت از نوع C هستند. در این صورت در مواجهه هرکدام با یکدیگر هر یک c واحد عایدی بدست می‌آورند در این حالت تعداد اندکی ار نوع D وارد جمعیت می‌شود. پس احتمال D که سهم کوچکی دارد را برابر ε و بقیه را $1-\varepsilon$ در نظر می‌گیریم. با این مفروضات هر عضو اوپک از نوع C با احتمال ε با نوع D برخورد کرده و عایدی $U(C,D) = a$ و با احتمال $1-\varepsilon$ با نوع C برخورد کرده و سود $U(C,C) = c$ را بدست می‌آورند. لذا عایدی هریک از نوع C ها برابر است با:

$$W(C) = (1-\varepsilon)U(C,C) + \varepsilon U(C,D) \quad (۷)$$
$$= c - (c-a)\,\varepsilon$$

$$W(D) = (۱ - \varepsilon)U(D,C) + (۱ - \varepsilon)U(D,D) \quad (۸)$$
$$= b - (b - d)\ \varepsilon$$

در نتیجه:

- $\forall \varepsilon:\ W(D) > W(C)$

- D دارای شایستگی بهتر نسبت به C می باشد.

- D عایدی مورد انتظار بیشتری دارد، یعنی فرآیند تکامل تا جایی ادامه پیدا می-کند که همه از نوع D می‌شوند.

هر عضو نوع D دارای عایدی مورد انتظاری بیشتری نسبت به نوع C است. این عایدی بیشتر که ناشی از ارائه نفت فراوان به جهان صنعتی در قیمت‌های پایین است، موجب می شود در دوره بعدی اعضایی که استراتژی Y یعنی ارائه نفت با قیمت پایین را انتخاب می کنند، افزایش یابد و سهم اعضای نوع D در جمعیت زیاد شود. این فرآیند تا جایی ادامه می‌یابد که همه اعضای جمعیت از نوع D شوند.

حالت ۲) فرض می کنیم کل جمعیت از نوع D باشند. در مواجهه هر کدام با یکدیگر هر یک عایدی d را بدست می‌آورند. اندکی جهش یافته C وارد جمعیت می‌شود. پس احتمال C را می‌توان ε و احتمال D را $۱ - \varepsilon$ در نظر گرفت که داریم :

$$W(C) = \varepsilon U(C,C) + (۱ \quad (۹)$$
$$- \varepsilon)U(C,D)$$

$$W(D) = \ \varepsilon U(D,C)\ + (۱ - \varepsilon)U(D,D) \quad (۱۰)$$

لذا :

$$W(D) > W(C)$$

نتیجه: استراتژی تکاملی یعنی ESS برابر D می‌باشد. باید توجه کرد که در نظریه بازی عقلایی D استراتژی کاملاً غالب هر بازیکن و ترکیب استراتژی (D,D) تعادل نش است. این نتیجه‌گیری تعمیم‌پذیر است. مبنی بر اینکه اگر یک بازی دارای استراتژی کاملاً غالب باشد آن استراتژی ESS نیز است.

- **حل مساله با دو تکرار**

در این قسمت مساله را با دو تکرار بررسی می کنیم. اگر بازی معمای زندانی تکرار شود ممکن است بازیکنان برای برخورداری از منافع دو جانبه، همکاری را در پیش گیرند. ممکن است یک بازیکن ذاتاً از نوع C و دیگری از نوع D باشد و یا ممکن است ذاتاً بازیکنی باشد که با همکاری شروع می‌کند و آن را ادامه می‌دهد مشروط بر اینکه حریف همکاری را در دوره قبل انتخاب کرده باشد، افرادی که از این نوع استراتژی تبعیت می‌کنند را نوع T می‌نامیم. در غیر این صورت همیشه D را انتخاب می‌کند.

فرض کنید کل جمعیت اعضای اوپک از دو نوع T و D خارج نیستند. دو عضو را بطور تصادفی انتخاب می‌کنیم تا بازی که مرحله قبل به آن اشاره شد را دوباره تکرار کنند. اگر هر دو نوع D باشند همیشه نفت را با قیمت پایین به جهان صنعتی ارائه می‌دهند و اگر نوع T باشند همیشه در مرحله اول تولید خود را سرشکن کرده و قیمت نفت تولیدی را افزایش داده و در مرحله دوم قیمتی را که حریف در مرحله اول انتخاب کرده، انتخاب می‌کنند. پیامد هر بازیکن برابر حاصل جمع پیامدهای بدست آمده از انجام بازی در مرحله اول و دوم است. اگر هر دو بازیکن انتخابی از نوع D باشند هر کدام در هر مرحله پیامد d و در کل پیامد ۲d و اگر هردو از نوع T باشند هرکدام در هر مرحله پیامد c و در کل پیامد ۲c را بدست می‌آورند. اگر یکی از نوع D و دیگری از نوع T باشد، پیامد نوع D در مرحله اول b، در مرحله دوم d و در مجموع b+d خواهد بود.

جدول ۲. پیامدهای بازیکنان

بازیکن ۱ \ بازیکن ۲	۲c و۲c	[(a+d),(b+d)]
	[(b+d),(a+d)]	۲d و۲d

در بازی مذکور D استراتژی غالب ضعیف است. اگر همه جمعیت از نوع D باشند در مواجهه هرکدام با یکدیگر هریک پیامد 2d را بدست می‌آورد. اگر جهش یافته‌های اندک نوع T وارد جمعیت شوند، سهم آنها در کل جمعیت برابر ε می‌شود. در این صورت شایستگی هر یک از نوع D و T برابر است با :

$$W(D) = \varepsilon U(D,T) + (1-\varepsilon)U(D,D) \quad (11)$$

$$W(T) = \varepsilon U(T,T) + (1-\varepsilon)U(T,D) \quad (12)$$

در نتیجه :

$$\forall \varepsilon : \quad W(D) > W(T)$$

لذا اگر همه جمعیت از نوع D باشند جهش یافته‌های نوع T نمی‌توانند افزایش یابند، پس D یک ESS یک ریختی است. یعنی در تعادل، کل جمعیت از یک نوع تشکیل می‌شود.

اگر همه جمعیت از نوع T باشند در مواجهه هر کدام با دیگری هر یک پیامد 2c را بدست می‌آورند.فرض کنید جهش یافته اندک نوع D وارد جمعیت شود که سهم آنها در کل جمعیت ε می‌شود، در این صورت شایستگی هر کدام برابر می‌شود با:

$$W(D) = \varepsilon U(D,D) + (1-\varepsilon)U(D,T) \quad (13)$$

$$W(T) = \varepsilon U(T,D) + (1-\varepsilon)U(T,T) \quad (14)$$

در نتیجه :

$$\forall \varepsilon : \quad W(D) > W(T)$$

یعنی جمعیت غالب می‌تواند بوسیله جهش یافته‌های اندک نوع D مورد هجوم قرار گرفته و از بین برود. لذا استراتژی T نمی‌تواند ESS باشد.

همانطور که قبلاً گفته شده، تشخیص ESS بودن مبتنی بر دو آزمون است:

آزمون اول : آیا پیامد یک جهش یافته در مواجهه با عضوی از جمعیت غالب، بیشتر یا کمتر از پیامد هر عضو از جمعیت غالب در مواجهه با یکدیگر است؟ اگر این سوال پاسخ روشنی نداشته باشد، آزمون دوم انجام می‌شود.

در بررسی مدل بدون تکرار آزمون اول مبنی بر غلبه نوع D بر C و در بررسی مدل با دو تکرار مبنی بر غلبه نوع D بر T به جوابی روشن منتهی شد.

آزمون دوم : این آزمون موقعی بکار می‌رود که پیامد یک جهش یافته در مواجهه با هر عضو از جمعیت غالب برابر با پیامد هر عضو از جمعیت غالب با یکدیگر باشد. در این حالت باید دید آیا پیامد هر عضو از جمعیت اصلی در مواجهه با عضوی از جمعیت جهش یافته بیشتر یا کمتر از پیامد حاصل از برخورد هر عضو جمعیت جهش یافته با یکدیگر است. اگر پیامد حاصل از برخورد هر عضو جهش یافته با یکدیگر کمتر از پیامد هر عضو از جمعیت اصلی در مواجهه با عضوی از جمعیت جهش یافته باشد در این صورت جمعیت جهش یافته نمی تواند غالب شود و از بین می‌رود

- **حل مساله با n تکرار**

فرض کنید کل جمعیت از دو نوع D و T تشکیل شده و بازی را n بار تکرار کنند، پیامد هر نوع از عوامل به صورت زیر است :

اگر در هر n تکرار عوامل نوعT با یکدیگر برخورد کنند پیامد هر کدام برابر است با :

$$u(T,T) = nc \qquad (۱۵)$$

اگر در هر n تکرار عوامل نوع D با یکدیگر برخورد کنند پیامد هرکدام برابر است با :

$$u(D,D) = nd \qquad (۱۶)$$

اگر در هر n تکرار عوامل نوع D و T با یکدیگر برخورد کنند پیامد نوع D برابر است با :

$$u(D,T) = b + (n-۱)d \qquad (۱۷)$$

اگر در هر n تکرار عوامل نوع D و T با یکدیگر برخورد کنند پیامد نوع T برابر است با :

$$u(T,D) = a + (n-1)d \quad (18)$$

جدول ۳. پیامدهای بازیکنان

بازیکن ۱ \ بازیکن ۲		
	nc,nc	nd-(d-a),nd-(d-b)
	nd-(d-b),nd-(d-a)	nd,nd

اگرسهم جمعیت نوع T در کل جمعیت ε باشد شایستگی هر عضو از D و T برابر است با:

$$W(D) = \varepsilon U(D,T) + (1-\varepsilon)U(D,D) \quad (19)$$
$$= \varepsilon[nd-(d-b)] + (1-\varepsilon)nd$$
$$= nd - \varepsilon(d-b)$$

$$W(T) = \varepsilon U(T,T) + (1-\varepsilon)U(T,D) \quad (20)$$
$$= \varepsilon cn + (1-\varepsilon)[a + (n-1)d]$$
$$= \varepsilon(n(c-d) + (d-a)) + a + (n-1)d$$

نوع T موقعی شایسته‌تر از D است که:

$$W(T) > W(D): \quad \varepsilon(n(c-d) + (d-a)) + a + (n-1)d \quad (21)$$
$$> -\varepsilon(d-b) + nd:$$
$$\varepsilon(n(c-d) + (d-a) + (d-b))$$
$$> d - a:$$
$$\varepsilon$$
$$> (d-a)/n(c-d) + (d-a) + (d-b)$$

بایـد توجـه داشـت کـه سـهم جمعیـت نـوع T در نقطـه تـوازن، یعنـی تلاقـی خـط $W(D)$ و $W(T)$، به مقدار n بستگی دارد. هر چقـدر مقـدار nبزرگتـر باشـد ایـن عـدد کوچکتر است. بنابراین هر چقدر تکرار بیشتر باشد سهم جمعیت نوع T کـه بتوانـد کـل جمعیت را فرا گیرد کوچکتر است.

می‌توان نتیجه گرفت هر چقدر n بیشتر باشد احتمال همکاری بیشتر بوده و به جمعیت همکار اضافه می‌شود.

-در بازی‌های غیر تکاملی جواب همان تعادل نش اولیه است.

-در بازی‌های تکاملی، تعداد تکرارها که زیـاد مـی‌شـود، تعـادل تغییـر کـرده و بـه سمت بهتر شدن پیش می‌رود.

۵. مدل عامل بنیان

در این تحقیق مدل عامل بنیان ABM در visual studio 2010 نوشته و بـا زبـان C^{++} پیاده‌سازی شد. با استفاده از ABM مدل EGT (نظریه بازی تکاملی) ارائه شـده در بخـش قبلی شبیه سازی می شود.

در ابتدا تمام پارامترها و احتمالات مدل را انتخاب مـی شـوند(البتـه مقـدار منطقـی). عوامل اوپک و بازار نفت در نظر گرفته می شود. اولین گام در هر دوره این است که هـر عامل به طور تصادفی با دیگر عامل اوپک برای Game $\hat{G}$ در بازار نفت بازی می‌کند.

پس از اینکه بازی همزمان انجام می‌شود و عایدی ها دریافت می‌شوند، عوامل ممکن است فرآیند یادگیری را آموخته باشند یا نه. در هر صورت فرآیند یـادگیری ایـن گونـه است که اگر هر دو عامل استراتژی مختلط صفر را بازی کنند و عایدی عامـل اول کمتـر از عایدی عامل رقیب باشد، یک عدد تصادفی بین ۰ و ۹۹ با یک توزیع یکنواخت تولید می‌کنیم. اگر این عدد تصادفی کمتر از احتمال یادگیری و ذخایر نفت عامـل مـورد نظـر بود، استراتژی این عامل از صفر به یک تغییر می‌کند و این امر نشان‌دهنده ایـن اسـت کـه

عامل اول فرآیند یادگیری را آموخته و استراتژی خود را تغییر داده است. در غیر این صورت عامل اول فرآیند یادگیری را نیاموخته است.

اگر عایدی عامل اول مساوی عایدی عامل دوم باشد، انگیزه تغییر استراتژی برای هیچ یک از دو عامل وجود ندارد.

و به همین ترتیب اگر عایدی عامل اول بهتر از عایدی عامل دوم باشد، یک عدد تصادفی بین ۰ و ۹۹ با یک توزیع یکنواخت ایجاد می‌کنیم. اگر این عدد کمتر از احتمال یادگیری و ذخایر نفت عامل مورد نظر باشد، عامل دوم استراتژی خود را از صفر به یک تغییر می‌دهد. در غیر این صورت عامل دوم ، فرآیند یادگیری را نیاموخته است.

سپس، در این حالت ممکن است عوامل جهش داشته باشند یا نه. هر عامل که جهش می‌کند، یکی از دو استراتژی را به صورت تصادفی انتخاب می‌کند. این را می‌توان به عنوان یک آزمایش تصادفی یا به عنوان فراموش نمودن یادگیری قبلی تفسیر نمود. در نهایت، آخرین مرحله در هر دوره این است که ذخایر نفت برای هر عامل به روز می‌شود. با رشد ذخایر نفت، احتمال یادگیری و جهش برای هر تولید کننده نفت افزایش می یابد.

در هر دو مجموعه از شبیه‌سازی‌ها، احتمال یادگیری ۰/۰۰۵ است و احتمال جهش ۰/۰۰۱ است. هر بازی برای یک میلیون دوره زمانی توسط ۱۲ دولت در اوپک بازی می‌شود و سپس هر پارامترسازی چند ده بار تکرار شود تا اطمینان حاصل شود که نتایج قوی هستند؛ تمام نتایج نهایی نشان دهنده میانگین منعکس در سراسر چندین مشاهده است. با این حال، تفاوت کلیدی، مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌ها است که نفت در آن گنجانده می‌شود. همانطور که گفته شد این مدلسازی در دو حالت اجرا شده است. درحالت اول در مدل ذخایر نفتی گنجانده نشده و در حالت دوم ذخایر نفتی گنجانده شده است.

نرخ شوک برابر با ۰/۵ درصد یعنی ۰/۰۰۵ از ورودی گرفتیم. به عبارت دیگر به ازای هر ۱۰۰۰ تکرار ۵بار به بازار شوک دادیم. در حالت دوم، ۱۲ ذخایر نفت در نظر

گرفتیم. در هر بار که به صورت تصادفی به بازار نفت شوک دادیم، ذخایر را به اندازه ۰/۰۰۱ افزایش دادیم.در جداول ۴ و ۵ و۶، داده‌های مربوط به مدل‌سازی را بیان می‌کنیم:

جدول ٤. نتایج برآورد مدل

احتمال یادگیری	احتمال جهش	نرخ شوک	تعداد عوامل
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۱۲

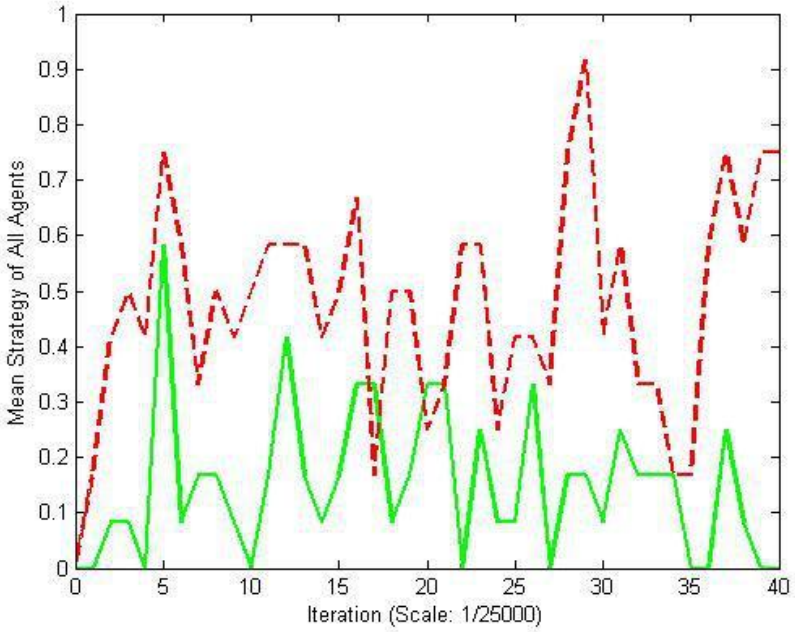
جدول ۵ . ذخایر نفت برای ۱۲ عامل

ذخایر نفت برای ۱۲ عامل					
۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳

جدول ٦. مقادیر ماتریس بازی

مقادیر a, b, c, d ماتریس بازی	
$b = ۴$	$a = ۱$
$d = ۲$	$c = ۳$

نمودار (۱)، نتایج گرافیکی برای دو نوع از مدل را فراهم می کند. همانطور که بیان شد این برنامه با زبان C^{++} نوشته شده و از آنجایی که C^{++} ابزار مناسبی برای رسم نمودار نیست، داده های خروجی را در متلب وارد کرده و نمودار آن را رسم کردیم.



نمودار ۱. نتایج شبیه‌سازی

خط بالا نسخه‌ای از نتایج را به تصویر می‌کشد که ذخایر نفت در آن گنجانده شده است. در طول زمان ، اوپک یاد می گیرد که چگونه کنترل بازار نفت را به دست بگیرد.در ابتدا استراتژی‌های مختلط همه صفر هستند و این نشان‌دهنده رفتار دولت‌های اوپک در سال ۱۹۶۰ است. خط پایین نشان‌دهنده نوعی از مدل است که منابع انرژی در حال تغییر را شامل نمی‌شود. بدون رشد ذخایر، اوپک همچنان در حالتی می‌ماند که در آن کارتل بر بازارهای نفت تسلط ندارد. در این مدل که سهم بازار در حال رشد اوپک در آن گنجانده نشده است، میانگین استراتژی‌ها در سراسر یک میلیون دوره برابر با ۰/۱۵۹۲۱۴ است؛ لذا با توجه به میانگین بدست آمده می‌توان فهمید که در این مدل اغلب تولیدکنندگان اوپک استراتژی اولیه یعنی افزایش تولید را انتخاب می کنند. هنگامی که ذخایر نفتی در حال رشد در نظر گرفته می‌شوند، میانگین استراتژی‌ها، ۰/ ۴۶۷۱۶۸ است.

عدد حاصل شده نشان دهنده این است که با لحاظ کردن ذخایر نفت و تحقق افزایش سهم عوامل در بازار، اشتیاق آنها برای بازی کردن استراتژی ۱ بیشتر شده و اعضای کارتل استراتژی محدود کردن تولید نفت را انتخاب می‌کنند.

٦. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در مدلی که ذخایر نفت در آن گنجانده نمی‌شود، اوپک نمی تواند کنترل بازار نفت را به دست بگیرد. در این حالت اغلب تولیدکنندگان اوپک استراتژی اولیه یعنی تولید کامل را پیش می‌گیرند. با این حال تعداد کمی از عوامل، کاهش تولید را آزمایش می‌نمایند. اکثر عوامل اوپک در نزدیکی در همان نقطه تعادل اولیه باقی می‌مانند وکسانی که برای سرشکن کردن تولید تلاش می‌نمایند، کاهش می‌یابند. عواملی که تولید را کاهش نمی‌دهند به سادگی سهم بازار را از طرف مقابل می گیرند. با این توضیحات می بینیم با وجود افزایش نسبس تولید، اعضای اوپک یاد نمی‌گیرند تا به تعادل برتر نش پارتو برسند.

با این حال، در مدلی که ذخایر نفت در آن گنجانده می‌شود، اوپک، کنترل بازار نفت را به دست می گیرد. زمانی که عوامل اوپک، مالکیت روزافزون ذخایر نفت را دارا هستند، افزایش سهم بازار عوامل اوپک باعث می‌شود که تمایل به یاد گیری آنها افزایش یابد و در نتیجه، عوامل تمایل به تغییر وضعیت داشته باشند و اعضای کارتل استراتژی محدود کردن تولید نفت را انتخاب کنند. ممکن است تعدادی از عوامل هنوز هم، استراتژی‌های افزایش تولید را انتخاب کنند. اما با گذشت زمان، این عوامل یاد می‌گیرند که با همکاری با بقیه عوامل شرایط بهتر خواهد شد و تعداد عواملی که افزایش تولید را انتخاب می‌کنند، کاهش می‌یابد، هر چند عوامل آزمایش مستمر خود را همچنان ادامه می‌دهند.

منابع و مآخذ

- Abdoli, GH. (2012). Game theory and its applications (incomplete, evolutionary and collaborative information games) . Agah Publication, Tehran, First Edition.
- Abdoli, GH., Majed V. (2012). Analyzing OPEC Members Behavior: A Cooperation Game Approach. Jemr, 2 (7), 27-50.
- Abdoli, GH., Majed, V. (2009). Application of Fiorin's theory in OPEC's review with the approach of the theory of repeted games. Qurterly Energy Economics Review, 6(20), 33-56
- Abdoli, GH., Nakhoda, M. (2016). Policy making in international cooperation, a repeated game theory approach and it application to OPEC. Public Plicy, 2(1), 9-27 .
- Abrishami, H., Golestani, SH. (2003). Review OPEC's Behavior in oil Monopoly and How to Divide the Benefits of Oil Trade Between them.Iranian Journal of Trade Studies(IJTC), 8(31), 59-89.
- Alhajji, A.F. & Huettner D. (2000). Opec and other commodity cartels, Energy policy 28, 1151-1164.
- Alsmiller, R. & Horwedel J.E. (1985). A model of the world oil market with an OPEC cartel. Energy, 1089–1102.
- Asgharpoor Masouleh, A.R., Amiri, S. (2013). Agent-based Modeling. Second National Conference on Sociology and Social Sciences.
- Axelrod, R. & Tesfatsion, L. (2006). A Guide for Newcomers to Agent-based Modeling in the Social Sciences. In Handbook of Computational Economics: Agent- Based omputational Economics, Vol. 2, edited by Leigh Tesfatsion and K.L. Judd. Amsterdam: North-Holland.
- Brown, J.S., & Vincent, T.L. (1987). A theory for the evolutionary game. *Theoretical Population Biology*, 31, 140-166.
- Castillo, L. & Dorao, C. (2013). Decision-making in the oil and gas projects based on game theory: Conceptual process design. *Energy Conversion and Management*, 9, 48-55.
- Dawid, H. (2007). Evolutionary game dynamics and the analysis of agent-based imitation models: The long run, the medium run, and the importance of global analysis. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 31, 2108-2133.
- Gintis, H. (2009). Game Theory Evolving: A Problem-Centered Introduction to Modeling Strategic Interaction. Princeton, NJ: Princeton University Press.

- Hofbauer, J. & Sigmund, K. (1998). Evolutionary Games and Population Dynamics. Cambridge: Cambridge University Press.
- Khakestari M, Nazari Adli N. (2015). The Impact of Sanction on the Oil Incomes in Oil Markets: Cooperative Game Approach. Jemr, 6 (21) :193-219.
- Khatami , S., shakibaee, A. (2017). Analysis of the Evolutionary Game Theory among Iran & Saudi Arabia in the Context of Genetic Algorithm. *Quarterly Jornal of Economical Modeling*, 11(38), 29-56.
- Maynard Smith, J. 1982. Evolution and the Theory of Games. Cambridge University Press,
- Cambridge.
- Samuelson, L.(1997). Evolutionary Games and Equilibrium Selection. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Shenoy, P. P. (1980). A three-person cooperative game formulation of the world oil market. *Applied Mathematical Modelling*, 301-307.
- Shenoy, P. P. (1980). A two-person non-zero-sum game model of the world oil market. *Applied Mathematical Modelling*, 295-300.
- Vega-Redondo, F. (1996). Evolution, Games, and Economic Behaviour. New York: Oxford University Press.
- Weibull, J. W.(1995). Evolutionary Game Theory. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Wood, A. D., Mason, C. F., Finnoff , D. (2016). OPEC, the Seven Sisters, and Oil Market Dominance: An Evolutionary Game Theory and Agent-Based Modeling Approach. *Journal of Economic Behavior and Organization* . 132. Part B. 66-78.

An Analysis of the Behavior of OPEC with the Approach of Evolutionary Game Theory

Marzieh Khakestari[1]**,Sahar Joleini**[2]**, Ahmad Ameli**[3]

Received:2017/05/16 Accepted: 2018/05/08

Abstract

This paper implements an approach to examine economic problems in which rational agents interact in dynamic markets. We use evolutionary game theory and agent-based modeling in tandem as a means to address intertemporal problems that display evolutionary attributes. This study examines the behavior of the Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC) in the global oil markets during the 1960s and 1970s, which sought to control global oil markets during this period.. To address this, a symmetric evolutionary game theory model is used to examine the behavior of OPEC agents as they learned to take control of their resources. An agent-based modeling approach employs computational power to implement the evolutionary game and provide detailed results. It is shown that OPEC's behavior over the period is dependent on the growth of petroleum reserves within the member nations. Increasing realizations of natural resource reserves spur increased rates of learning and experimentation, and this enables the cartel to act cooperatively and capture control of global petroleum markets. If reserves are kept constant, OPEC lingers at a state in which the cartel does not come to dominate world oil markets.

Keyword*:* Evolutionary Game Theory, Agent-Based Modeling, OPEC.
JEL Classification: C63, C68, C73.

1. Assistant Professor of Kharazmi University (Corresponding Author),
Email: m.khakestari@khu.ac.ir
2. Master of Industrial Engineering, Kharazmi University, Email:sahar.joleini@gmail.com
3. Assistant Professor of Kharazmi University, Email:ameli2000@gmail.com