

## تحلیل نظریه بازی‌های تکاملی در سیستم‌های محاسباتی مبتنی بر عامل: کشورهای نفتی اوپک

سمانه خاتمی

دکتری علوم اقتصادی و کارشناس مطالعات اقتصادی برق منطقه‌ای خراسان،

khatamisamaneh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

### چکیده

مطالعه حاضر بیانگر روش نوین تحلیل مسائل اقتصاد رفتاری در چارچوب نظریه بازی‌هاست که در آن عوامل با عقلانیت محدود با یکدیگر در تعاملات استراتژیک بوده و لذا با تکنیک‌های مدل‌سازی اقتصادی متعارف قابل توضیح نمی‌باشد. در این راستا تئوری بازی تکاملی و مدل‌سازی مبتنی بر عامل با شبیه‌سازی سیستم‌هایی از عوامل با عقلانیت محدود و متعامل اقتصادی به‌عنوان برازنده‌ترین ابزارها برای مطالعه تعاملات پویای استراتژیک اعضای اوپک در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ به‌کار گرفته شده‌اند. نتایج اجرای ۴ مدل رفتاری مبتنی بر عامل بیانگر آنند؛ که با وجود دو دستگی بین اعضاء (کشورهای صبور و کم‌صبر) و نیز برخورداری کشورهای کم‌صبر از ذخایر نفتی گسترده، طی فرآیند تکاملی اعضاء به تدریج نوع اتخاذ سیاست در برابر گروه رقیب را می‌آموزند. لذا امکان بهره‌مندی بیشتر اعضای کم‌صبر اوپک طی بازی در برخورداری از سهم بیشتر بازار در برابر گروه رقیب و عقب راندن آنان از موضع سلطه بر بازار نفتی اوپک وجود خواهد داشت.

طبقه‌بندی JEL: C63، C70، C73.

کلید واژه‌ها: نظریه بازی‌ها، بازی تکاملی، اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل، اوپک

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر صاحب‌نظران اقتصادی و علوم اجتماعی فرض عقلانیت کامل تصمیم‌گیران، مبنی بر دارا بودن همه قابلیت‌ها، توانمندی‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای گرفتن یک تصمیم بهینه را کنار گذاشته‌اند. همچنین فرض همگن بودن عوامل (یعنی عوامل با مشخصه‌ها و ترجیحات یکسان) و نیز وجود تعاملات ناشناخته رد شده است. چرا که نتایج نظری پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کلاسیک غالباً به‌طور اساسی با نتایج مشاهده شده در دنیای واقعی متفاوتند. با این‌وجود لحاظ مفروضات واقعی‌تر و نامحدودتر در خصوص رفتار عوامل، اغلب تحلیل مدل را غیرقابل کنترل می‌سازند. پیشرفت‌های اخیر در علوم کامپیوتر، شبیه‌سازی جوامع مصنوعی<sup>۱</sup> و مطالعه مدل‌های اقتصادی را ممکن ساخته‌اند. این زمینه جدید از مطالعه، اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل<sup>۲</sup> (ACE) نامیده می‌شود.

در اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل، تصمیم‌گیران "عامل" نامیده شده و نحوه رفتار آن‌ها در محیط‌های تصادفی به کمک شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای مورد مطالعه قرار می‌گیرد. ایده اصلی چنین مدل‌هایی آن است که رفتار در سطح خرد عوامل مانند مقادیر مرتبط در سطح کلان، توسط قوانین فردی رفتار و تکامل پویای کل سیستم به‌طور مکرر از طریق شبیه‌سازی تعیین می‌شوند. در واقع ACE، برای مطالعه سیستم‌های بزرگی از عوامل اقتصادی متعامل با رویکرد پایین به بالا کارآمد است<sup>۳</sup> (تسفاژن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۲). به‌علاوه می‌توان برخی از مفروضات اقتصاد کلاسیک را با این روش تعدیل نمود. خصوصاً در این سیستم می‌توان عوامل را با عقلانیت محدود، متفاوت در برخورداری از قابلیت‌های تصمیم‌گیری و نیز اتخاذ استراتژی و لذا ناهمگن در رفتارهای اقتصادی در نظر گرفت. همچنین با به‌کارگیری این رویکرد می‌توان به‌طور مشخص نقش تعاملات در مدل اقتصادی را لحاظ نمود، چرا که بر مبنای ACE اقدامات عوامل و نیز نتایج حاصله در بخش عمده‌ای توسط تعاملات میان عوامل تعیین می‌شوند (تسفاژن، ۲۰۰۱).

1. Artificial societies
2. Agent-based computational economics
3. From the bottom up approach
4. Tesfatsion

از سوی دیگر تئوری بازی تکاملی<sup>۱</sup> (EGT) به‌عنوان برآزنده‌ترین ابزارها برای مدل‌بندی پویایی‌های تعاملات استراتژیک شناخته شده است. نظریه بازی‌های تکاملی یکی از گونه‌های مشتق شده از نظریه بازی کلاسیک<sup>۲</sup> (GT) بوده که در آن فرض عقلانیت کامل بازیکنان (به‌معنای برخورداری از دانش کامل درباره محیط و جدول بازدهی‌ها)، تعدیل می‌گردد. در واقع مطالعه "تکامل و نظریه بازی‌ها" جان مینارد اسمیت<sup>۳</sup> به‌منزله پایه و اساس مطالعات EGT بر اساس شرایط بیولوژیکی لحاظ شده، قضاوت در مورد عقلانی بودن یا نبودن انتخاب‌های بازیکنان را غیرممکن عنوان کرده و لذا بهینه‌سازی رفتار فردی بر اساس دانش محدود عوامل مطرح می‌گردد (اسمیت، ۱۹۸۲).

هدف اصلی مطالعه حاضر با توجه به ماهیت چندبعدی بازارهای جهانی نفت و محیط اقتصادی پیچیده آن و عدم امکان دستیابی به نتایج تجربی قطعی و معین، بهره‌گیری از روشی نوین و کاربردی است که به فرآیندهای "یادگیری" و "جهش" عوامل و نیز نقش اساسی برخورداری از منابع توجه داشته باشد. لذا در این خصوص به ارائه ابزاری روش‌شناختی با ترکیب EGT و مدل‌سازی مبتنی بر عامل<sup>۴</sup> (ABM) پرداخته می‌شود. این نوع تحلیل بازار انرژی متفاوت از تکنیک‌های مدل‌سازی اقتصادی متعارف مبتنی بر فرض عقلانیت کامل عوامل می‌باشد. در این راستا بازار انرژی در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ به‌منظور جستجوی استراتژی‌های بهینه اعضای اوپک با لحاظ عوامل ناهمگن و با تمرکز بر رقابت درون سازمانی به‌منظور کنترل بازار و میزان تولید، مورد مطالعه قرار گرفته است. لذا در مطالعه پیش‌رو به‌منظور غلبه بر رقابت‌های داخلی، همچنین سرمایه‌گذاری بر مزایای همکاری و کنترل منابع، اعضای اوپک در فرآیند یادگیری تکاملی با عامل انگیزشی رشد در منابع نفتی شرکت داده شده‌اند.

چارچوب مطالعه حاضر پس از ارائه مقدمه، مبنی بر مروری کوتاه بر تاریخچه اوپک و پیشینه تحقیق بوده، سپس مبانی نظریه بازی‌ها و نیز بازی‌های تکاملی در سیستم‌های مبتنی بر عامل ارائه می‌گردد. در ادامه با تشریح مبانی اقتصاد محاسباتی

- 
1. Evolutionary game theory
  2. Game theory
  3. Smith
  4. Agent based modeling

مبتنی بر عامل، مصداق‌های کاربردی آن نظیر سیستم‌های چند عاملی و پویایی‌های تکثیر بسط داده می‌شوند. سپس در بخش روش تحقیق مدل EGT عوامل ناهمگن مبنی بر رقابت استراتژیک درون سازمانی اوپک در محیطی شبیه‌سازی شده و بازه زمانی مذکور ارائه می‌شود. نتایج حاصله در راستای کاهش شکاف بین اعضاء در قدرت تصمیم‌گیری‌های سلطه‌جویانه با اجرای ۴ مدل رفتاری مبتنی بر عامل به‌دست آمده و نهایتاً در بخش جمع‌بندی و نتیجه‌گیری تفسیر می‌گردند.

## ۲- اوپک؛ ساختار و سیاست‌ها

نفت به‌عنوان منبع انرژی اصلی و برخوردار از صرفه‌های بزرگ اقتصادی ناشی از پایین بودن هزینه‌ها، در مقایسه با سوخت‌های دیگر از میزان انرژی بالاتری نیز برخوردار است (فتحی و همکاران، ۱۳۹۶). به‌عبارتی دارای انرژی حدود ۵۰ درصد بیشتر از زغال‌سنگ بر پایه وزن و ۱۷۰ برابر بیشتر از گاز طبیعی بر مبنای حجم می‌باشد. لذا نفت خام و محصولات پالایش شده بزرگ‌ترین بخش را در تجارت بین‌الملل چه بر اساس ارزش یا حجم تشکیل می‌دهند. از این‌رو تجارت نفت به‌عنوان تجارتی استراتژیک، بین‌المللی و بسیار حائز اهمیت شناخته شده است (جمشیدی رودباری، ۱۳۸۷).

### ساختار اوپک

در میانه قرن بیستم، شرکت‌های موسوم به "هفت خواهران" قدرت غالب در بازارهای جهانی نفت بودند. به‌عنوان کارتل ضد رقابتی، این شرکت‌های بزرگ برخوردار از حقوق مالکیت نفت استخراج شده از کشورهای تولیدکننده در خاورمیانه و ونزوئلا برخوردار بودند. از این‌رو آن‌ها قادر به کنترل میزان تولید به‌مثابه ابزاری برای عرضه محدود و متعاقباً اثرگذار بر قیمت نفت بودند. لذا کشورهای صادرکننده نفت شروع به ابراز نارضایتی خود نسبت به سهم امتیازات کسب شده آن‌ها از میزان فروش منابع استخراج شده از قلمرو متبوعه خود نموده و در سال ۱۹۶۰ نهایتاً اقدام به تشکیل کارتل اوپک در راستای دفاع از حقوق خود نمودند (آلموگرا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱).

ظهور اوپک به‌عنوان قدرتی فزاینده در بازارهای جهانی نفت به‌درستی بیانگر این واقعیت است که کشورهای عضو اوپک سهم بزرگی از صادرات جهانی نفت را عهده‌دار بوده و مالک بخش عمده ذخایر نفتی موجود در زمین می‌باشند. به‌نحوی که بیش از ۷۵ درصد از ذخایر نفت جهان در ۱۲ کشور عضو اوپک متمرکز شده و لذا تقریباً تمامی کشورها به اوپک وابسته‌اند. حتی می‌توان گفت خود کشورهای عضو اوپک نیز به‌بقای این سازمان وابسته‌اند چرا که بیشتر اعضاء بین ۸۰ تا ۹۹ درصد به درآمدهای ارزی ناشی از فروش نفت وابستگی داشته و این توانایی سازمان است که قیمت‌ها را حفظ نموده تا حداکثر درآمد را برای اعضایش به ارمغان آورد (عبدلی و ناخدا، ۱۳۸۸).

با این‌وجود تنوع کشورهای عضو اوپک و تفاوت‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، به‌عنوان منبع ضعف بالقوه‌ای در ائتلاف محسوب می‌شود (شهابی نژاد، ۱۳۹۴). چرا که اعضای اوپک برحسب جمعیت، احتیاجات مالی و سرمایه‌گذاری، ذخایر نفتی، ظرفیت تولید نفت و درآمد سرانه، تفاوت‌های چشم‌گیری با یکدیگر دارند. بنابراین درون این سازمان دو دستگی بین کشورهای عضو قابل بررسی است (گریفین و ویله‌ابر<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴).

### سیاست اوپک

کشورهای اوپک بر اساس تفاوت‌های ماهوی به دو گروه قابل تقسیم هستند. گروه اول به‌رهبری عربستان سعودی شامل کشورهای؛ کویت، قطر، امارات متحده عربی و لیبی است که از درآمد سرانه بالا و ذخایر اثبات شده سرانه قابل توجه برخوردار هستند (کشورهای سازگار با آینده). این کشورهای نسبتاً ثروتمند پس از این‌که جامعه کوچکشان از نظر مالی به‌واسطه درآمدهای هنگفت کاملاً اشباع شد، ذخایر نقدی وسیعی را انباشتند. این کشورها همان‌گونه که تاریخ نشان می‌دهد طرفدار افزایش عرضه کل نفت در تلاش برای تعدیل قیمت‌ها و حفظ تقاضای بلندمدت بوده‌اند. گروه دوم نیز شامل کشورهای؛ ایران، نیجریه، عراق، ونزوئلا و الجزایر (کشورهای سازگار با حال) خواستار این هستند که اوپک کل تولیداتش را به‌نفع افزایش سریع قیمت‌ها محدود نماید. این کشورها دارای درآمد سرانه پایین، صادرات سرانه نفتی کم و جمعیت زیاد

هستند. در حالی که کشورهای گروه اول به توسعه حیاتی بلندمدت و پایدار می‌اندیشند، کشورهای با درآمد پایین تنها خواستار پوشش مشکلات مالی کوتاه‌مدت خود هستند (عبدلی و ناخدا، ۱۳۸۸). در همین راستا، اقدام به تهدید در جهت بی‌ثباتی و تجدیدنظر در تصمیمات حکومت‌های خود می‌کنند. در مجموع می‌توان گفت از آنجا که کشورهای صبور از نرخ تنزیل<sup>۱</sup> بالاتری نسبت به کشورهای کم‌صبر برخوردارند، لذا دارای موقعیت‌های چانه‌زنی مستحکم‌تری نیز می‌باشند. به عبارت دیگر، عامل تنزیل در گروه اول یا  $L$  بزرگ‌تر از گروه دوم  $S$  می‌باشد؛  $r_L > r_S$ .

با این وجود، سهم کشورهای کم‌صبر اوپک از ذخایر نفتی دنیا بیش از کشورهای ثروتمند این ائتلاف برآورد گردیده است. این امر بیانگر قدرت بالقوه این اعضا در اهرم قرار دادن منابع خود در برابر گروه رقیب و سهم‌خواهی بیشتر از مزایای بازار قلمداد می‌گردد.

جدول ۱. سهم اعضا اوپک از ذخایر نفت جهانی، پایان ۲۰۱۸ (میلیارد بشکه)

سهم اوپک از ذخایر نفت جهانی : ۱۱۸۹/۸۰ میلیارد بشکه معادل ۷۹/۴ درصد از کل ذخایر نفتی جهانی					
امارات متحده عربی	۹۷/۸۰	٪ ۸/۲	ونزوئلا	۳۰۲/۸۱	٪ ۲۵/۵
لیبی	۴۸/۳۶	٪ ۴/۱	عربستان سعودی	۲۶۷/۰۳	٪ ۲۲/۴
نیجریه	۳۶/۹۷	٪ ۳/۱	ایران	۱۵۵/۶۰	٪ ۱۳/۱
قطر	۲۵/۲۴	٪ ۲/۱	عراق	۱۴۲/۰۲	٪ ۱۲/۲
الجزایر	۱۲/۲۰	٪ ۱/۰	کویت	۱۰۱/۵۰	٪ ۸/۵

منبع: بولتن آماری سالانه اوپک، ۲۰۱۹

از سوی دیگر نحوه تقسیم منافع حاصل از تشکیل ائتلاف، در پایداری و ثبات آن نقشی اساسی دارد. در واقع، اعضای اوپک منافع همکاری را از طریق تعیین سهمیه تولید برای هر عضو تقسیم می‌کنند. در طول مرحله تقسیم، بازیکنان با هم مذاکره و مجادله می‌نمایند. این مذاکره به صورت پویا، توأم با تهدید و تشویق اعضا و واسطه‌شدن برخی

اعضاء برای تسریع در حصول به توافق و در نهایت کوتاه آمدن و باج‌دادن برخی اعضاء و پذیرش آن توسط اعضاء دیگر صورت می‌گیرد. از این‌رو نحوه تقسیم منافع بین اعضاء اوپک و استراتژی‌های مورد استفاده هر گروه در مواجهه با گروه مقابل و نیز نحوه عمل در مورد میزان تولیدات و تعاملات هر یک از اعضاء با سایرین را می‌توان در چارچوب نظریه بازی‌ها مورد بررسی قرار داد.

### ۳- پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات بسیاری مربوط به نوع شکل‌گیری اوپک و ظهور آن به‌عنوان نیروی غالب در بازارهای جهانی نفت با استفاده از رویکردهای متنوع مدل‌سازی کارتل صورت گرفته‌اند. برای مثال، رویکرد نش-کورنو توسط سالانت<sup>۱</sup> (۱۹۷۶) برای مدل‌سازی اوپک به‌عنوان گروهی متحد پیشینه‌خواه و بدون لحاظ نزاع و اختلاف میان اعضاء به‌کار گرفته شد. آلف و فولی<sup>۲</sup> (۱۹۸۰) از رویکرد نش-کورنو برای مدل‌سازی یک کارتل با هزینه‌های تولید متفاوت بهره بردند. لوری<sup>۳</sup> (۱۹۸۶) نیز با لحاظ تولیدکنندگان نفت به‌عنوان بازیکنان نش-کورنو این فرضیه را آزمون کرد که تولیدکنندگان با ذخایر بزرگ نسبت کوچک‌تری از ذخایر خود را نسبت به بازیکنانی با ذخایر کوچک استخراج می‌کنند. نتایج مطالعه وی مورد تأیید پولاسکی<sup>۴</sup> (۱۹۹۲) قرار گرفت. گیلبرت<sup>۵</sup> (۱۹۷۸) از رویکرد اشتاکلبرگ برای مدل‌سازی اوپک به‌عنوان یک رهبر اشتاکلبرگ قیمت‌ساز استفاده کرد و سایر تولیدکنندگان را قیمت‌پذیر در نظر گرفت.

همچنین پیندیک<sup>۶</sup> (۱۹۷۸) و تورک<sup>۷</sup> (۱۹۷۷) اوپک را در نقش انحصارگری یکپارچه در نظر گرفته و با حل مسئله بهینه‌یابی و حداکثرسازی سود مدل خود را ساختار بندی نمودند. پیندیک اوپک را به دو گروه کشورهای پس‌اندازکننده و مصرف‌کننده (کشورهای با نیاز شدید به نقدینگی) تقسیم کرده و توجه و تمرکز خود را

1. Salant
2. Ulph and Folie
3. Loury
4. Polasky
5. Gilbert
6. Pindyck
7. Tourk

بر قدرت چانه‌زنی این دو گروه معطوف می‌کند. از سوی دیگر برخی از مطالعات، مدل‌سازی کارتل را در مورد رفتار اوپیک رد کرده‌اند شامل؛ دال و یوسل<sup>۱</sup> (۱۹۹۱)، آلموگرا و همکاران (۲۰۱۱).

در برخی مطالعات نیز عربستان سعودی به‌عنوان بنگاه غالب در کارتل اوپیک شناخته شده است مانند؛ مابرو<sup>۲</sup> (۱۹۸۹)، الحاجی و هوتنر<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) و آدلمن<sup>۴</sup> (۱۹۹۵)، درحالی‌که سایرین شامل نیلیزکا<sup>۵</sup> و پیندیک (۱۹۷۶) و هوتاکر<sup>۶</sup> (۱۹۷۹) گروه کشورهای قدرتمند مرکزی اوپیک را به‌عنوان بنگاه غالب در کارتل معرفی نمودند.

از سوی دیگر، رویکردهای غیر کارتلی برای سنجش اوپیک و بازار جهانی نفت شامل مدل‌های رقابتی مک ووی<sup>۷</sup> (۱۹۸۲) و ورلجر<sup>۸</sup> (۱۹۸۷) هستند. با این‌وجود، تعدادی از تحلیل‌های تجربی در ارتباط با بازارهای جهانی نفت شامل گریفین (۱۹۸۵) و الحاجی و هوتنر (۲۰۰۰) مدل‌های رقابتی را مردود دانسته‌اند. همچنین گریفین (۱۹۸۵)، با آزمون مدل‌های مختلف (از جمله مدل‌های کارتل، مدل‌های رقابتی، مدل‌های درآمد هدف و مدل‌های حقوق مالکیت) چنین نتیجه‌گیری کرد که اشتراک بازاری ناقص بهترین مدل برازش شده برای کشورهای عضو اوپیک بوده حال آنکه رفتار کشورهای غیر اوپیک با مدل رقابتی بهتر تبیین می‌شود.

همچنین، بخشی از مطالعاتی که در چارچوب الگوی انحصاری به‌بررسی رفتار اوپیک و طرف عرضه پرداخته‌اند، در قالب تئوری بازی‌ها انجام گرفته‌اند. دوتا<sup>۹</sup> (۱۹۹۹) با استفاده از رویکرد تئوری بازی به بررسی پویایی‌های درونی کشورهای اوپیک طی زمان پرداخت. به‌علاوه آلت<sup>۱۰</sup> و همکاران (۱۹۹۸)، اگرچه مستقیماً به موضوع تقسیم منافع اوپیک نپرداخته‌اند، اما به‌بحث درباره عکس‌العمل‌های استراتژیک بین تولیدکنندگان مهم نفتی پرداخته‌اند. آن‌ها استدلال می‌کنند که عربستان سعودی با داشتن هزینه‌های پایین تولید

1. Dahl & Yücel
2. Mabro
3. Alhajji and Huettner
4. Adelman
5. Hnyilicza
6. Houthakker
7. McAvoy
8. Verleger
9. Dutta
10. Alt et al



و ذخایر نفتی زیاد، به شرطی قادر به تحمل دوره‌های رکود قیمت نفت است که احتمال دهد از این بابت شهرتی نصیبش شده که به تبع آن کسب منفعت می‌کند. همچنین کشورهای نسبتاً ثروتمند اوپک مانند عربستان سعودی در زمینه مسئله همکاری اوپک به دنبال راه‌حلی بلندمدت و با ریسک کم هستند تا آن را جایگزین تنبیه اعضای خاطی کنند.

گریفین و جیانگ<sup>۱</sup> (۱۹۹۷)، در مطالعات خود نشان دادند که با تشکیل کارتل و تبعیت از اصل همکاری، منافع همه اعضای اوپک در مقایسه با وضعیت رقابتی افزایش می‌یابد. اما اعضاء همواره دارای این انگیزه می‌باشند که با فریب‌دادن دیگران و افزایش تولید مازاد بر سهمیه، منافع کوتاه‌مدت خود را افزایش داده و آنچه مانع این اقدام می‌گردد، ترس از رفتار تلافی‌جویانه سایر اعضاء در قبال فریب‌کاری آن‌هاست که منجر به کاهش منافع بلندمدت آن‌ها می‌گردد.

همچنین گیلبرت<sup>۲</sup> (۱۹۷۸)، در قالب یک بازی تکرارشونده با مجموع متغیر و راه‌حل تعادلی منحصر به فرد، اوپک را در قالب بنگاه مسلط و غیر اوپک را در قالب گروه حاشیه رقابتی مورد بررسی قرار داده است.

این مرور ادبیات کوتاه نشان می‌دهد که هیچ اجماعی در خصوص رفتار تولید اوپک وجود ندارد. لذا در دهه اخیر برخی محققان از جمله؛ جینتیس<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) کاربرد رویکردها و الگوریتم‌های تکاملی در حل مسائل کاربردی و تصمیم‌سازی را بررسی و آزمون نموده‌اند. علاوه بر این، مدل‌سازی مبتنی بر عامل در مطالعات آکسلرود و تسفاژن<sup>۴</sup> (۲۰۰۶) مطرح و بررسی گردیده است. ایده اصلی رویکردهای شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، طراحی مدل‌های ساده‌ای از دنیای واقعی است که در آن عوامل با یکدیگر بر اساس قوانین اجتماعی تعامل دارند. در این صورت می‌توان مطالعات رفتار کلان اقتصادی را از منظر رفتاری خرد مورد بررسی قرار داد. از جمله مطالعات انجام گرفته در زمینه بازی‌های تکاملی و کاربرد آن در سیستم‌های چند عامله می‌توان به مطالعات؛ آدامی همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۶)، آلمن<sup>۱</sup> (۲۰۱۴)، دینسر<sup>۲</sup> (۲۰۰۸)، نوو<sup>۳</sup> و همکاران

- 
1. Griffin & Xiong
  2. Gilbert
  3. Gintis
  4. Axelrod & Tesfatsion
  5. Adami et al

(۲۰۱۲)، پارسون و ولد ریج<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) و توپلز و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) اشاره نمود. در تمامی این مقالات با اشاره به مبانی نظری بازی‌های تکاملی، چارچوب این نظریه و چگونگی به‌کارگیری سیستم‌های مبتنی بر عامل توضیح داده شده است.

#### ۴- نظریه بازی‌ها در سیستم‌های مبتنی بر عامل

طی دهه‌های اخیر گرایش فزاینده‌ای به استفاده از تکنیک نظریه بازی‌ها برای تحلیل و کاربرد سیستم‌های چندعامله وجود داشته است. در واقع نظریه بازی‌ها پیرامون این مسئله مطالعه می‌کند که چگونه استراتژی‌های تعامل می‌توانند جهت حداکثر نمودن رفاه یک عامل در مواجهه با چندین عامل طراحی شوند. بنابراین بسیاری از کاربردهای نظریه بازی‌ها در سیستم‌های مبتنی بر عامل به‌منظور تحلیل تعاملات چندین عامل است. این تعاملات می‌توانند شامل مذاکرات و همکاری باشند (پارسونز و ولد ریج، ۲۰۰۲).

#### نظریه بازی‌های تکاملی

نظریه بازی‌های تکاملی بر پایه «نظریه تکاملی داروین» استوار است. طبق نظریه داروین در یک اکوسیستم، جمعیت گونه‌هایی که با محیط سازگارترند رشد کرده و برعکس جمعیت گونه‌هایی که با محیط کمتر سازگارند رو به زوال می‌گذارد (آلتمن، ۲۰۱۴).

در این نظریه بازی نه یک‌بار بلکه بارها و بارها با تغییر بازیکنان که به‌طور کامل آگاه نیستند، صورت می‌پذیرد. از این رو تئوری بازی‌های تکاملی بنیان محکمی برای فهم و درک شرایط تکرارشونده پویا در زمینه بازی‌های استراتژیک ارائه می‌دهد. در این تئوری تصمیمات بازیکنان، به‌دلیل تفسیرهای اشتباهی که ممکن است از عملکرد دیگر بازیکنان داشته باشند، به‌طور کامل عقلایی در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین این نظریه

---

1. Altman  
2. Dinther  
3. Nowé  
4. Parsons & Wooldridge  
5. Tuyls et al

مسئله بازیکنان فوق منطقی<sup>۱</sup> و وجود دانش عمومی<sup>۲</sup> جهانی در نظریه کلاسیک بازی‌ها را رد می‌کند. همچنین در این نظریه مفاهیم اساسی EGT از جمله استراتژی پایدار تکاملی (ESS) معرفی می‌شود. چنین استراتژی در مفهوم تعادلی به معنای پایداری در برابر جهش‌های مهاجم بالقوه است. به بیان ریاضی استراتژی s پایدار تکاملی است اگر:

$$\pi(s, s) > \pi(t, s), \quad \text{or} \quad (1-f)$$

$$\pi(s, s) = \pi(t, s) \ \& \ \pi(s, u) > \pi(u, u) \quad (1-b)$$

که در آن؛  $\pi(t, s)$  بازدهی استراتژی s در بازی برابر استراتژی t است.

در سال‌های اخیر، نظریه تکاملی بازی‌ها به صورت روزافزون مورد توجه اقتصاددانان، جامعه‌شناسان و به‌طور کلی دانشمندان علوم اجتماعی قرار گرفته است. این توجه دانشمندان علوم اجتماعی به نظریه‌ای با ریشه‌های آشکار بیولوژیک، از سه حقیقت نشأت گرفته است (اشمیت، ۲۰۰۴):

- «تکامل» به آن صورتی که نظریه تکاملی بازی‌ها با آن سر و کار دارد، لزوماً همان تکامل بیولوژیک نیست، تکامل در این زمینه می‌تواند مفهومی معادل تکامل اجتماعی مربوط به تغییر در اعتقادات و هنجارهای جامعه را نیز به همراه داشته باشد.  
- بسیاری از فرضیه‌های عقلانی که زیربنای نظریه تکاملی بازی‌ها را تشکیل می‌دهند، در بیشتر موارد مناسب‌تر از فرضیه‌های زیربنایی نظریه کلاسیک بازی‌ها برای مدل‌سازی سیستم‌های اجتماعی هستند.

- این حقیقت که نظریه تکاملی بازی‌ها نظریه‌ای پویاست، مؤلفه مهمی بوده که نظریه کلاسیک بازی‌ها از آن بی‌بهره است.

از سویی می‌توان گفت که با توجه به عقلانیت محدود مطرح شده در نظریه بازی‌های تکاملی، غیرممکن است که قضاوت کنیم کدام انتخاب‌های استراتژی عقلایی‌ترین است. بنابراین سؤال اینجاست که چگونه یک بازیکن می‌تواند یاد بگیرد که رفتارش را بهینه کرده و از حداکثر عایدی بهره‌مند شود. برای این فرآیند آموزشی، مدل‌های ریاضی مانند معادلات تکثیر<sup>۳</sup> بسط داده شده‌اند. در چنین محیط‌های پیچیده‌ای، عوامل نرم‌افزاری باید قادر به یادگیری از محیط خود و انطباق با خاصیت غیر پایدار بودن آن

1. Hyper. rational  
2. Common knowledge  
3. Replicator equations

باشند. از این رو سیستم‌های مبتنی بر عامل و از جمله سیستم‌های چندعامله برای مطالعه و بررسی چنین محیط‌هایی و ارائه راهکار مناسب برای تصمیم‌گیری هر یک از بازیکنان مورد توجه قرار می‌گیرند (آدامی و همکاران، ۲۰۱۶). زیرا ویژگی‌های اصلی یک سیستم چندعامله دقیقاً متناظر یا مرتبط با نظریه بازی تکاملی است. یک سیستم چندعامله متشکل است از تعاملات بین دو عامل یا بیشتر که هر یک سعی در دستیابی به هدفی خاص (عموماً متضاد با دیگری) دارند. هیچ عاملی به‌طور کامل از تعاملات دیگر عوامل یا اهداف آن‌ها اطلاع ندارد و نیز اطلاعات کاملی در رابطه با محیط در دسترس عوامل نمی‌باشد. بنابراین ترکیب تئوری بازی تکاملی و سیستم‌های چند عامله به دلیل ماهیت مشترک «پویا»، در فهم بازی‌های تکرارشونده دو یا بیش از دو بازیکن و مدل‌سازی آن‌ها در ترتیبی ساده، کمک مؤثری در پیشبرد اهداف مطالعه خواهد داشت.

#### *اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل (ACE)*

محاسبات بر مبنای عامل الگویی جدید و در حال تحول و توسعه در علوم کامپیوتر است. چنانچه از اوایل دهه ۱۹۹۰ سیستم‌های بر اساس عامل و سیستم‌های چند عاملی به‌عنوان محیط تحقیقاتی فعال و مهمی برای حمایت از الزامات جدید در تکنولوژی اطلاعات ظهور یافته‌اند. در اقتصاد مدل‌هایی که مبتنی بر عامل خوانده می‌شوند، سیستم‌هایی از عوامل با عقلانیت محدود و متعامل اقتصادی (برای مثال؛ خانوارها، بنگاه‌ها) را به‌وسیله شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای مطالعه می‌نمایند. ایده اصلی چنین مدل‌هایی آن است که رفتار در سطح خرد عوامل مانند مقادیر مرتبط در سطح کلان، توسط قوانین فردی رفتار و تکامل پویای کل سیستم به‌طور مکرر از طریق شبیه‌سازی تعیین می‌شوند (دینسر، ۲۰۰۸). چنین رویکردی در تضاد با نمای اقتصادی بازار است که در آن خریداران و فروشندگان ناشناخته بوده و ساختار تعاملات عمدتاً کم اهمیت در نظر گرفته می‌شد. مدل‌های تکاملی اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل شامل شبیه‌سازی‌های متعددی از عوامل مستقل طی زمان و تعاملات آن‌ها با یکدیگر و با محیط برای مطالعه الگوهای ناشی از تعاملات رفتاری آن‌ها به‌کار گرفته شده‌اند. مثالی

از این رویکرد که در مطالعه حاضر مطرح می‌گردد عبارت است از ساختار رقابتی بازار انرژی با تأکید بر بازار نفت در قالب سازمان اوپک.

### سیستم‌های چندعاملی<sup>۱</sup> (MAS)

به‌عنوان اولین تعریف برای یک سیستم چندعاملی می‌توان گفت که MAS به سیستمی گفته می‌شود که از تعدادی عامل تشکیل شده است. این عامل‌ها هر یک به‌نوبه خود فعل و انفعالات داخلی داشته و در محیط خارج نیز با یکدیگر ارتباط دارند. ضمن اینکه عامل‌ها قادرند به‌طور مستقل<sup>۲</sup> عمل کنند. در بیشتر موارد عامل با داشتن اطلاعات خاص و محرک‌های مختلف، از طرف کاربر عمل کرده و در واقع یک عامل می‌تواند نماینده‌ای از طرف انسان باشد که در محیط‌های مجازی مانند او به تصمیم‌گیری و انجام کارهای مختلف می‌پردازد. برای داشتن ارتباطات داخلی موفق بین عامل‌ها، آن‌ها نیاز به همکاری و هماهنگی با یکدیگر و نیز مذاکرات دو طرفه دارند. به‌همان اندازه‌ای که انسان‌ها در ارتباطات روزانه خود با هم ارتباط داشته و به مذاکره و داد و ستد می‌پردازند (مک‌کال و نورث<sup>۳</sup>، ۲۰۱۰).

سیستم‌های چندعامله به‌عنوان سیستم‌های حل مسائل به‌صورت توزیع شده و نیز ابزار نوینی جهت بررسی انواع فرآیندهای انسانی شناخته شده‌اند. با اینکه زمان زیادی از پیدایش این گونه سیستم‌ها نمی‌گذرد، ولی استفاده از روش‌های طراحی بر اساس عامل یکی از موفق‌ترین راه‌حل‌های موجود بوده به‌نحوی که بسیاری از مشکلات پیچیده دنیای واقعی با استفاده از محیط‌های توزیع شده حل می‌شوند. این نوع سیستم‌ها نسبت به سیستم‌های معمولی و تک‌عاملی، مزایای زیادی دارند؛ از جمله اینکه در اکثر شرایط کار می‌کنند. به این معنا که چون مغز متفکر واحد ندارند و تصمیم‌گیری در آن‌ها به‌صورت توزیعی است، چنانچه حتی بخشی از آن‌ها نیز از کار بیفتد باز هم به‌کار خود ادامه می‌دهند. همچنین این نوع سیستم‌ها برای محیط‌هایی با مقیاس وسیع<sup>۴</sup> و محیط‌های ناشناخته نیز گزینه مناسبی نسبت به سیستم‌های تک‌عاملی به‌شمار می‌آیند (تویلز و همکاران، ۲۰۰۵).

- 
1. Multi Agent System
  2. Autonomous
  3. Macal I & North
  4. Large Scale

دو مسئله کلیدی که در طراحی سیستم‌های چند عاملی مطرح است: اول طراحی عامل و دوم طراحی محیطی برای عملکرد و ارتباط میان عامل‌هاست. در طراحی عامل، چگونگی ساخت عاملی که قادر به انجام کارهای مستقل و اعمال خودمختار باشد، مدنظر است. در طراحی اجتماع یا محیط عامل‌ها، نکته اساسی این است که چگونه عامل‌هایی طراحی کنیم که قادر به برقراری ارتباط با یکدیگر باشند. منظور از این ارتباط همان همکاری، هماهنگی و مذاکره بین عامل‌هاست. این کار برای انجام موفقیت‌آمیز وظایفی که بر عهده آن‌ها گذاشته شده ضروری است؛ چرا که همه عامل‌ها اهداف مشترک ندارند یا نمی‌توانند با علایق یکسان ساخته شوند (تویلز و همکاران، ۲۰۰۷).

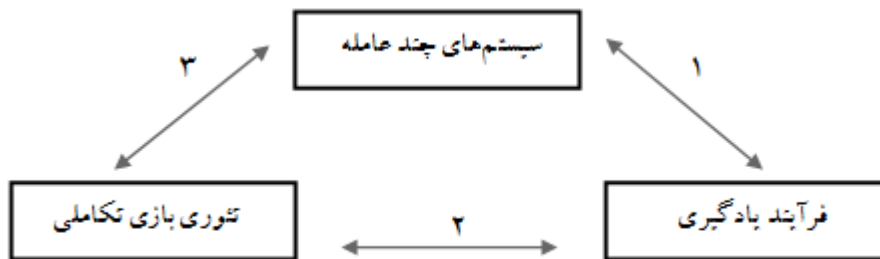
**عامل:** طبق تعریف پارسونز و وولدریج (۲۰۰۲) یک عامل، هویت مستقل محاسباتی با رفتاری پویا و انعطاف‌پذیر در راستای تأمین اهداف خود و در محیطی غیرقابل پیش‌بینی دارد. همچنین عوامل سازگار و گذشته‌نگر می‌باشند. عوامل با اقدامات خود لزوماً محیط را کنترل نمی‌کنند، بلکه به‌بهترین حالت آن‌را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. بدین‌صورت که آن‌ها داده‌هایی از محیط دریافت کرده و در مقابل خروجی یا اقداماتی را به محیط باز می‌گردانند. با این‌وجود، نااطمینانی محیط دلالت دارد بر آنکه عوامل نیاز به یادگیری از محیط و سازگاری با شرایط محیطی به‌منظور کسب موفقیت دارند. در واقع از آنجایی که پیش‌بینی کلیه وضعیت‌های پیش‌روی یک عامل، از قبل امکان‌پذیر نیست لذا فرآیند یادگیری<sup>۱</sup> و انطباق برای کارایی سیستم‌های چندعامله امری ضروری است.

**طرح یادگیری:** روش‌های یادگیری عوامل عبارت‌اند از:

- تقلید<sup>۲</sup>: عوامل رفتارهای مطلوب سایرین با بازدهی بالا را کپی می‌کنند.
- تقویت<sup>۳</sup>: عوامل تمایل دارند به پذیرش و تقویت اقدامات دارای بازدهی بالا در گذشته و نیز خودداری از تکرار اقداماتی که سابقاً بازدهی پایینی داشته‌اند.
- بهترین پاسخ: عوامل اقدامات مرتبط با بیشینه‌سازی بازدهی انتظاری خود را با توجه به انتظارات از اقدامات سایرین برمی‌گزینند.

1. Learning process  
2. Imitation  
3. Reinforcement

به طور کلی در یک سیستم چندعامله، نحوه یادگیری یک عامل وابسته به اقدامات اتخاذ شده توسط سایر عوامل موجود در سیستم می‌باشد. لذا ارتباط نزدیکی بین مفاهیم تئوری بازی تکاملی، فرآیند یادگیری<sup>۱</sup> و نیز سیستم‌های مبتنی بر عامل وجود دارد.



شکل ۱. رابطه مثلث وار LP و MAS، EGT

منبع: تویلز و همکاران، ۲۰۰۷

**محیط:** محیط‌ها می‌توانند کاملاً قابل مشاهده بوده یا قسمتی از آن‌ها مشهود باشد. همچنین ممکن است معین یا تصادفی؛ تک‌عامله یا چندین عامله؛ ایستا یا پویا، شناخته شده یا ناشناخته و نیز گسسته یا پیوسته باشند (نو و همکاران، ۲۰۱۲).

- یک محیط قابل مشاهده محیطی است که عوامل می‌توانند به‌سادگی راجع به یکدیگر اطلاعات به‌دست آورند.

- سیستم‌های چندین‌عامله محیط‌هایی با بیش از یک عامل دارند و آن‌ها می‌توانند همکارانه، رقابتی یا ترکیبی از هر دو باشند.

- در یک محیط معین، رفتار عوامل قابل پیش‌بینی خواهد بود. هرچند در صورت پیچیدگی مسئله به‌دلیل عدم کفایت قدرت پردازش و توانمندی گردآوری اطلاعات توسط عوامل، پیش‌بینی‌ها از صحت لازم برخوردار نخواهند بود.

- محیط‌های ایستا متفاوت از محیط‌های پویا بوده چرا که در محیط‌های پویا اقدامات عوامل بر حوادث متعاقب و مترتب بر آن‌ها اثرگذارند.

- محیط‌های گسسته نیز برخلاف محیط‌های پیوسته دارای تعداد متناهی از وضعیت‌های ممکن هستند.

- در یک محیط شناخته شده عوامل راجع به قوانین حاکم بر محیط آگاهی و دانش داشته و بدین ترتیب توانایی استدلال در مورد عواقب ناشی از اطلاعات دریافت شده را دارند.

### پویایی‌های تکثیر<sup>۱</sup> (RD)

پویایی‌های تکثیر به‌عنوان یکی از مشهورترین معادلات پویا، قاعده رفتاری مبنی بر توصیف چگونگی یادگیری عوامل و نحوه انتفاع آن‌ها از تجربیات خود می‌باشد. در EGT برخلاف GT که در آن بازیکنان تعادل نش را بازی می‌کنند، به تدریج استراتژی خود را طی زمان در مواجهه با مشاهدات تکراری بازدهی خود و سایرین بازنگری و تغییر می‌دهند. در این راستا، تکامل استراتژی‌ها را می‌توان توسط پویایی‌های تکثیر توصیف نمود. بدین ترتیب که استراتژی‌های دارای بازدهی متوسط بالاتر با احتمال بیشتری بازی شده و RD فرایند کشش و تمایل عوامل به سمت استراتژی‌های با بازدهی و مطلوبیت بیشتر را مدل‌بندی می‌کند. به طور کلی پویایی‌های تکثیر در تئوری بازی تکاملی به‌عنوان تغییر جمعیت طی زمان تعریف می‌شوند.

پویایی‌های تکثیر تک‌جمعیتی: پویایی‌های تکثیر سیستمی از معادلات تفاضلی توصیف‌کننده چگونگی تکامل جمعیت استراتژی‌های متفاوت طی زمان است. فرم عمومی یک RD به‌صورت ذیل است:

$$\frac{dx_i}{dt} = [(AX)_i - x \cdot AX]x_i \quad (2)$$

در معادله فوق،  $x_i$  بیانگر تراکم استراتژی  $s_i$  در جمعیت و  $A$  ماتریس بازدهی بوده که بیانگر مقادیر متفاوت بازدهی دریافتی توسط هر فرد تکثیرکننده در تعامل با سایر تکثیرکننده‌ها در جمعیت است. سیاست یک بازیکن یا وضعیت جمعیت ( $x$ ) به‌عنوان بردار احتمال  $x = (x_1, x_2, \dots, x_I)$  شناخته شده که بیانگر تراکم‌های متفاوت از همه انواع گوناگون تکثیرکننده‌ها در جمعیت است. در این بردار احتمال،  $x_i$  بیانگر احتمال بازی عمل  $i$  یا نسبتی از جمعیت است که به‌گونه  $i$  تعلق دارند. همچنین  $(AX)_i$  بازدهی است تکثیرکننده  $s_i$  در یک جمعیت با وضعیت  $x$  دریافت می‌دارد و  $x \cdot AX$  بیانگر بازدهی



متوسط در جمعیت است. نرخ رشد  $\frac{dx_i}{dt}/x_i$  متناظر با تفاوت بین بازدهی جاری استراتژی و بازدهی متوسط در جمعیت است. از این رو اقدامات دارای بازدهی بیشتر از متوسط قوی‌تر شده و اقدامات دارای بازدهی زیر متوسط از جمعیت حذف می‌شوند (جینتیس، ۲۰۰۷).

**پویایی‌های تکثیر چندجمعیتی:** با بسط مطالعه پویایی‌های جمعیت به بیش از یک جمعیت، پویایی‌های تکثیر چندجمعیتی حاصل می‌شود. بازی‌هایی که توسط افرادی از جمعیت‌های گوناگون صورت می‌گیرند، معمولاً بازی‌های تکاملی نامتقارن<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند. در اینجا بازی را در نظر می‌گیریم که بین اعضای از دو جمعیت متفاوت انجام می‌شود (برای سادگی دو عضو از دو جمعیت متفاوت). لذا زمانی که چندین عامل با یادگیری همزمان را در نظر می‌گیریم به دو سیستم از معادلات تفاضلی نیاز داریم: یکی برای بازیکن ردیف (R) و یکی برای بازیکن ستون (C). این ترتیب متناظر با یک RD برای بازی‌های نامتقارن می‌باشد. اگر  $A = B^t$  (ترانهاده B) باشد، معادله (۲) مجدد به دست می‌آید. بردار احتمال p و بردار احتمال q به ترتیب مرتبط با استراتژی‌های ممکن بازیکن R و بازیکن C هستند. لذا معادلات تکثیر زیر برای دو جمعیت حاصل می‌شوند:

$$\frac{dp_i}{dt} = [(Aq)_i - p \cdot Aq]p_i \quad (۳)$$

$$\frac{dq_i}{dt} = [(Bp)_i - q \cdot Bp]q_i \quad (۴)$$

که در آن؛ دو ماتریس بازدهی متفاوت A و B برای دو بازیکن متفاوت به کار گرفته می‌شوند. همان گونه که از دو معادله فوق مشخص است، نرخ رشد گونه‌ها در هر جمعیت اکنون، برخلاف مدل یادگیرنده تک جمعیتی، توسط ترکیب جمعیت‌های دیگر تعیین می‌شود (تویلز و همکاران، ۲۰۰۷).

## ۵- روش تحقیق

## مدل EGT عوامل ناهمگن: رقابت بین اعضاء اوپک

مدل نظریه بازی‌های تکاملی، کشورهای عضو اوپک را به‌عنوان جمعیت ناهمگن از عوامل در نظر گرفته که برای به‌دست آوردن سهم بیشتر بازار جهانی با یکدیگر رقابت دارند. مدل به‌کار رفته در این مطالعه بر مبنای مطالعات نظری ساموئلسن<sup>۱</sup> (۱۹۹۷) بوده که با بسط آن جمعیت‌های ناهمگن از عوامل و نیز فرآیند نوین یادگیری را با لحاظ اثر منابع طبیعی در بازارهای انرژی شامل می‌شود.

با توجه به اینکه بی‌صبری عوامل در نرخ تنزیل آن‌ها به‌عنوان منبع قدرت چانه‌زنی مستتر است، لذا گروه کشورهای اوپک به دو دسته کشورهای صبور که به‌دلیل برخورداری از عامل تنزیل بالاتر از موقعیت‌های چانه‌زنی مستحکم‌تری برخوردارند و کشورهای کم‌صبر دارای عامل تنزیل پایین‌تر و بالطبع قدرت چانه‌زنی کمتر قابل تقسیم‌بندی هستند. از این رو ابتدا دو جمعیت متمایز هر دو با اندازه  $N$  و برخوردار از دو انتخاب استراتژی متفاوت را در نظر می‌گیریم.

عوامل کم‌صبر اوپک به‌عنوان اعضای جمعیت  $S$  شناخته شده و شامل کشورهای: ایران، الجزایر، عراق، نیجریه و ونزوئلا می‌باشند. استراتژی‌های در دسترس این گروه برای بازی مشتمل بر استراتژی  $U$  یعنی تولید کامل<sup>۲</sup> و استراتژی  $V$  یعنی سرشکن کردن<sup>۳</sup> تولید است. تولید کامل دلالت بر عرضه مقدار کافی نفت در قیمت‌های پایین به دنیای صنعتی دارد. درحالی‌که سرشکن کردن تولید بیانگر کاهش تولید عامل اوپک به کسری از تولید در دسترس است.

از سوی دیگر عوامل صبور اوپک به‌عنوان اعضای جمعیت  $L$  شامل؛ عربستان، امارات متحده عربی، قطر، کویت و لیبی می‌باشند. این گروه کشورها در این بازی می‌توانند استراتژی  $X$  یعنی تسلط<sup>۴</sup> و یا استراتژی  $Y$  یعنی تسلیم<sup>۵</sup> را بازی کنند. تسلط مستلزم تعیین و تنظیم قیمت‌های نفت و سطوح تولیدی در جهت حفظ سهم بازار بوده درحالی‌که استراتژی تسلیم به‌معنای عقب‌نشینی از موضع قیمت‌گذاری و تسلط بر بازار

1. Samuelson  
2. Full production  
3. Prorate  
4. Dominate  
5. Acquiesce

و اجازه‌دادن به سایر عوامل اوپک در جهت کنترل قیمت‌ها و سطوح تولیدی به‌منظور افزایش سهم بازار آن‌هاست. چرا که اگر منافع بلندمدت بازیکنان صبور در گرو همکاری بازیکنان بی صبر باشد، باید به بازیکنان بی صبر باج دهند تا حاضر به همکاری شوند. در واقع براساس نظریه فیرون<sup>۱</sup> (۱۹۹۸)، بازیکنانی که صبورند به اتکاء قدرت چانه‌زنی بیشتر، سهم بیشتری از بازار را نیز به خود اختصاص می‌دهند. با این وجود موقعیت‌های بسیاری هم وجود دارند که بازیکنان صبور در مقابل بازیکنان بی‌صبر از موضع تسلط کوتاه می‌آیند تا همکاری بین آن‌ها ادامه یابد. ارائه گرافیکی بازی با فرم نرمال به‌عنوان بازی  $\bar{Q}$  در جدول ذیل ارائه شده است.

جدول ۲. فرم نرمال بازی  $\bar{Q}$ 

استراتژی		کشورهای صبور	
		تسلط	تسلیم
کشورهای کم‌صبر	تولید کامل	B, A	D, C
	تولید سرشکن	C, D	A, B

منبع: یافته‌های تحقیق

در هر دور از بازی تکاملی، عضوی از هر دو جمعیت به‌طور تصادفی برای بازی در برابر یک رقیب از گروه مخالف انتخاب می‌شود. با فرض  $B > A > C > D$  تعادل‌های نش اکید بازی عبارت‌اند از: (U- تولید کامل، X- تسلط) و نیز (V- سرشکن کردن تولید، Y- تسلیم). در این بازی B بازدهی به‌دست آمده توسط عامل غالب و کنترل‌کننده بازار بوده در حالی که A بازدهی مرتبط با عامل همکاری‌کننده با حریف غالب است. همچنین C و D بازدهی‌های متناظر با شکست‌های هماهنگی یا تشریک مساعی هستند.

در واقع بازی  $\bar{Q}$  نسخه‌ای تکاملی و کاربردی از بازی تنازع زوجین<sup>۲</sup> (BOTS) با لحاظ منابع طبیعی و ملاحظات رفتاری محسوب می‌شود. در ابتدای بازی همه عوامل کم‌صبر اوپک U و عوامل صبور اوپک X را بازی می‌کنند. بازدهی‌های انتظاری برای هر عامل

1. Fearon  
2. Battle of the sexes

مشروط به انتخاب‌های استراتژیک عوامل در جمعیت رقیب می‌باشند. با این وجود، بازدهی‌های واقعی تصادفی بوده و برابر بازدهی انتظاری یک عامل به اضافه نتیجه R از متغیر تصادفی  $\bar{R}$  است. متغیر تصادفی  $\bar{R}$  شامل شوک‌های برون‌زا در بازارهای جهانی نفت بوده و ارزش انتظاری آن صفر است. بنابراین اگر یک عامل کم‌صبر اوپک استراتژی U را بازی کند در حالی که عاملی از گروه رقیب X را بازی نماید، عامل کم‌صبر اوپک بازدهی انتظاری A و در واقع بازدهی واقعی A+R را به دست خواهد آورد.

بازدهی‌های انتظاری برای عوامل کم‌صبر اوپک زمانی که I بیانگر جمعیت عوامل رقیب است که X را بازی می‌کنند عبارت‌اند از:

$$\pi_U(I) = IA + (1 - I)C \quad (5-الف)$$

$$\pi_V(I) = ID + (1 - I)B \quad (5-ب)$$

برای عوامل صبور اوپک بازدهی‌های انتظاری با فرض آنکه k نسبتی از جمعیت رقیب باشد که U را بازی می‌کنند، عبارت‌اند از:

$$\pi_X(k) = kB + (1 - k)C \quad (6-الف)$$

$$\pi_Y(k) = kD + (1 - k)A \quad (6-ب)$$

این بازدهی‌ها در طول بازی به خاطر انعطاف‌پذیری ثابت در نظر گرفته شده‌اند.<sup>۱</sup> همچنین فرآیند یادگیری در این مطالعه بر مبنای بسط و اصلاح مدل ساموئلسن (۱۹۹۷) صورت می‌گیرد. در اینجا یادگیری به صورت دوره‌ای (در فواصل زمانی معین) رخ داده و مشروط به موقعیت رفاهی یک عامل نسبت به رقیبش می‌باشد. با این وجود عوامل به طور احتمالی ممکن است در فرآیند یادگیری در هر دوره شرکت نمایند و این بیانگر این حقیقت است که لزوماً یادگیری در هر دوره اتفاق نمی‌افتد. به عبارت دیگر عوامل تنها برخی اوقات وضعیت رفاهی خود را بررسی نموده و تصمیم به تغییر رفتار خود می‌گیرند.

در طی فرآیند یادگیری، عامل به مقایسه بازدهی‌های مرتبط با انتخاب استراتژی‌های خود با سطح رضایت یا همان بازدهی کسب شده توسط رقیب می‌پردازد.

۱. در حالی که از جنبه واقعی این احتمال وجود دارد که بازدهی‌ها طی دوره تکامل یابند، یا اینکه بازدهی‌های مربوط به تباری طی زمان به طور یکنواخت افزایش یابند. با این وجود ویبول (۱۹۹۵) ثابت می‌کند که مجموعه تمامی تعادل‌های نش نسبت به انتقالات موازی با تابع بازدهی هر بازیکن ثابت هستند.

به عبارتی در این روش عوامل از رقبای خود به‌عنوان مرجع یا راهنما برای انتخاب‌های استراتژیک بهره می‌گیرند (تسفاژن، ۲۰۰۶). سپس چنانچه بازدهی عامل نسبت به رقیبش کمتر باشد، آن عامل با تقلید از دیگر عوامل استراتژی خود را اصلاح خواهد نمود.

علاوه بر فرآیند یادگیری، یک عامل ممکن است در فرآیند جهش<sup>۱</sup> شرکت نماید. بدین معنا که هر دو استراتژی ممکن و در دسترس خود را به‌طور تصادفی بازی کند. در واقع، جهش به‌عنوان تجربه‌ای تصادفی از انتخاب‌های استراتژی تعبیر می‌شود؛ یک عامل جهش می‌تواند با انتخاب استراتژی جدید وضعیت رفاهی خود را بهبود بخشیده یا اینکه می‌تواند استراتژی اولیه خود را که در بازی با رقبا بازدهی خوبی عایدش ساخته را مجدداً انتخاب نماید. برای مثال اگر همه عوامل در حال بازی کردن استراتژی تولید کامل باشند، یک عامل جهش می‌تواند استراتژی تولید کامل را ادامه داده یا اینکه تولید خود را در تلاش برای افزایش بازدهی سرشکن نماید. در مجموع فرآیند یادگیری پس از هر راند بازی با فرم نرمال رخ می‌دهد. به عبارتی پس از تحقق بازدهی، هر عامل احتمالاً تعیین می‌کند که آیا در یادگیری شرکت می‌کند یا خیر (هومز، ۲۰۰۶).

چنانچه عوامل اوپک را به‌صورت همگن در نظر گیریم؛ اگر عاملی که  $X$  یا سرشکن کردن تولید را در جمعیتی که همه عوامل استراتژی  $X$  را انتخاب می‌کنند، بازی کرده و آنگاه در دوره  $\tau$  در فرآیند یادگیری شرکت نماید، احتمال ترک آن استراتژی برای وی عبارت است از:

$$g(A) = \text{prob}(A + R < \Delta; \psi) = F(\Delta - A; \psi) \quad (7)$$

که در آن؛  $\Delta$ ، سطح رضایت عامل یا بازدهی رقیب،

$\psi$  برابر سهم بازار جمعیت عامل بوده که به‌عنوان ترکیبی از ذخایر نفتی و تولید تفسیر می‌شود،

$R$  بازدهی واقعی محقق شده از متغیر تصادفی  $\hat{R}$ ،

$F$  تابع توزیع تجمعی از  $\hat{R}$

این مورد را می‌توان به جمعیت‌های ناهمگن از عوامل نیز بسط داد. در این صورت، چنانچه عاملی یادگیری را دریافت نکند، به بازی استراتژی مشابه در دوره‌های بعدی در

مواجه با رقیب تصادفی ادامه داده و چنانچه در فرآیند یادگیری "بیاموزد"، رفاه وی با استفاده از معادلات ذیل قابل توصیف است:

$$\begin{aligned} g(A, \psi) &= \text{prob}\{[(\psi > \chi) \wedge (A + R < \Delta)] \vee [(\psi < \chi) \wedge (A + R < \rho)]\} \\ g(B, \psi) &= \text{prob}\{[(\psi > \chi) \wedge (B + R < \Delta)] \vee [(\psi < \chi) \wedge (B + R < \rho)]\} \\ g(C, \psi) &= \text{prob}\{[(\psi > \chi) \wedge (C + R < \Delta)] \vee [(\psi < \chi) \wedge (C + R < \rho)]\} \\ g(D, \psi) &= \text{prob}\{[(\psi > \chi) \wedge (D + R < \Delta)] \vee [(\psi < \chi) \wedge (D + R < \rho)]\} \quad (A) \end{aligned}$$

برای توضیح این قواعد یادگیری، فرض کنید که عامل اوپک بازدهی A را به دست آورده و در یک فرآیند یادگیری شرکت کند. بنابراین احتمال رهاسازی استراتژی فعلی او متناظر با اولین معادله از مجموعه معادلات فوق می‌باشد. در این مجموعه معادلات، علاوه بر متغیرهای توصیف شده در معادله (۷)، دیگر متغیرها عبارتند از:

$\chi$ ، بیانگر سهم بازار جمعیت رقیب،

$\rho$ ، بازدهی احتیاطی یا بازدهی ذخایر که  $\rho > D$ .

حال با فرض آنکه عامل اوپک دارای بازدهی A و سهم بازار  $\psi$  باشد، قاعده یادگیری به طریق ذیل عمل می‌کند؛ چنانچه عامل از مزیت سهم بازار برخوردار باشد و بازدهی کمتری نسبت به رقیب خود کسب نماید، سهم بازار خود را به‌عنوان اهرم قدرت قرار داده و اقدام به ترک استراتژی می‌نماید که او را در شرایط بدتری نسبت به رقیبش قرار می‌دهد. همچنین اگر عامل اوپک با حفظ مزیت سهم بازار خود مشاهده کند که وی در حال کسب بازدهی بیشتری نسبت به رقیبش است، در این صورت نیازی به تغییر رفتار خود ندارد. به‌علاوه اگر عامل اوپک از عدم مزیت سهم بازار برخوردار باشد و کمتر از بازدهی احتیاطی خود به دست آورد، در این حالت نیز استراتژی خود را رها ساخته و از طریق انتخاب استراتژی متفاوت، بازدهی بیشتری را جستجو خواهد نمود. با این حال چنانچه بازدهی احتیاطی وی تأمین شود یا به عبارتی بیش از کمینه بازدهی به دست آورد آنگاه رفتار جاری خود را حفظ کرده و تغییر نخواهد داد. چنین فرآیند یادگیری عوامل ناهمگن اوپک، تحت تأثیر تحقیقات اقتصاد رفتاری مبتنی بر حسادت، کینه‌توزی و غرض‌ورزی است. در طول رقابت دو گروه با یکدیگر، گروه کشورهای کم‌صبر ناراضی از کسب بازدهی کمتر از رقبای خود هستند. لذا چنانچه دارای سهم بازار کافی باشند از منابع ذخایر نفتی خود به‌عنوان اهرم در بازی قدرت مقابل رقبا بهره می‌گیرند. این نوع مدل‌سازی رفتاری از طریق یافته‌های تجربی نیز مورد تأیید می‌باشد. چنانکه مطالعات

نشان داده‌اند که عوامل کینه‌توز متمایل به حذف رقبای خود از گود حتی به‌قیمت آسیب به همه شرکاء هستند (مک ووی، ۱۹۸۲).

همچنین پس از کامل شدن فرآیند یادگیری، عاملی که نیاموخته احتمالاً یک طرح جهش دریافت می‌کند. عاملی که جهش یافته یکی از دو استراتژی در دسترس خود را انتخاب نموده و آن را در راند بعدی بازی به جمعیت بسط می‌دهد.

با برگزاری بازی به‌فرم نرمال همراه با فرآیندهای یادگیری و جهش و با لحاظ پیوستگی زمان به بررسی تکامل سیستم می‌پردازیم. بدین‌منظور بر اساس واقعیت‌های بازار جهانی نفت در سال ۲۰۱۵، فرض می‌کنیم همه عوامل کم‌صبر اوپک U را بازی کرده و همه عوامل صبور X را بازی نمایند با این شرط که سهم بازار کشورهای صبور در ابتدا بیش از گروه کم‌صبر باشد. آنگاه در مدل افزایش تدریجی سهم بازار گروه کم‌صبر را در هر دوره زمانی با کاهش تدریجی متناظر در سهم بازار کشورهای صبور در هر دوره لحاظ می‌کنیم. بدین‌ترتیب کشورهای دارای عامل تنزیل پایین‌تر، مزیت سهم بازار را در دوره  $\tau + \rho$  به دست می‌آورند. لذا زمانی که دوره زمانی  $\tau$  به‌قدر کافی کوچک باشد، زمان به‌طور پیوسته در نظر گرفته می‌شود. همچنین با فرض  $\gamma \in [0,1]$  بیان‌کننده نسبت عوامل اوپک که U- تولید کامل را بازی می‌کنند و  $\delta \in [0,1]$  نسبت عوامل کشورهای صبور که X- تسلط را بازی می‌کنند و با لحاظ محدودیت‌های مناسب، پویایی‌های تکثیر به دست می‌آیند:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma} = \gamma[\pi(\gamma) - \bar{\pi}(\gamma)] + [\lambda(1 - 2(\gamma))(k - \bar{\pi}(\gamma))] \quad (9)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \dot{\delta} = \delta[\pi(\delta) - \bar{\pi}(\delta)] + [\lambda(1 - 2(\delta))(l - \bar{\pi}(\delta))] \quad (10)$$

که در آن؛  $\lambda$  احتمال جهش است که می‌تواند گسترش و عمومیت یک استراتژی را با توجه به پارامترهای دوره موردنظر، افزایش یا کاهش دهد. در مجموع عمومیت یک استراتژی داده شده چنانچه شرط تسلط بازار برقرار بوده و بازدهی آن استراتژی بیش از بازدهی متوسط جمعیت عوامل باشد، افزایش می‌یابد.

با توجه به تعادل‌های نش اکید بازی از قرار؛  $\{X, U\}$  و  $\{Y, V\}$ ، لذا حالت‌های

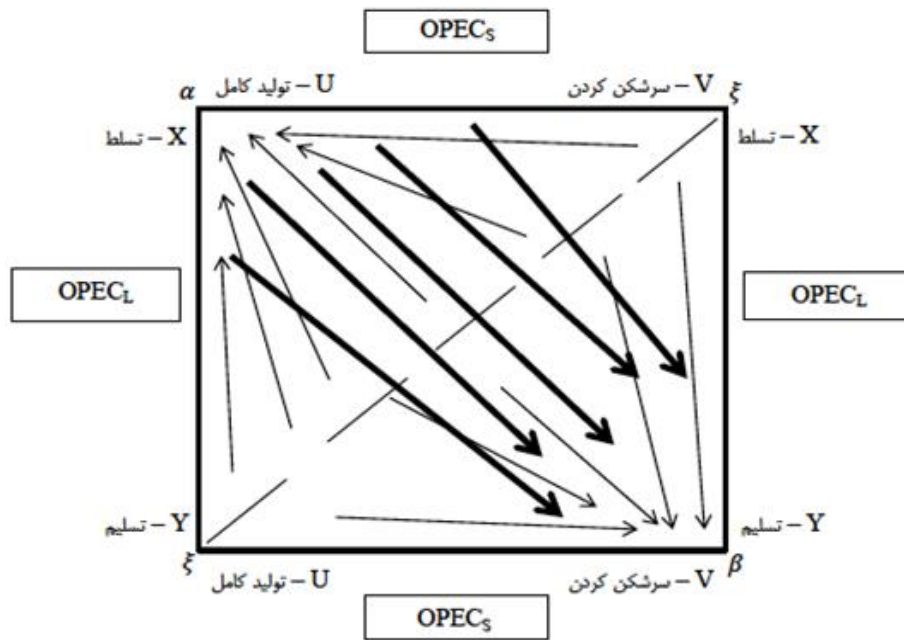
تعادلی ایستا چنین نوشته می‌شوند:

$$\alpha = \{U - \text{Full Production}, X - \text{Dominate}\}$$

$$\beta = \{V - \text{Prorate}, Y - \text{Acquiesce}\}$$

و وضعیت‌های تعادلی ایستای ناپایدار عبارت‌اند از:

$\xi = \{U - \text{Full Production}, Y - \text{Acquiesce}\}, \{V - \text{Prorate}, X - \text{Dominate}\}$   
 به طور گرافیکی، بیان تکامل سیستم در نمودار فازی بازی  $\bar{Q}$  منعکس گردیده است. بازی با حالت ایستای  $\alpha$  شروع شده و در این نقطه یا حوالی آن باقی می ماند تا زمانی که سهم بازار گروه کشورهای کم صبر کمتر از گروه رقیب بوده و با فرض آنکه بازدهی  $A$  بیش از بازدهی احتیاطی  $\rho$  باشد. عوامل این گروه می توانند طی این دوره آزمون و خطا کرده و تجربه کسب نمایند، اما اگر بازدهی  $D$  از بازدهی احتیاطی کمتر باشد آنگاه فرآیند یادگیری اعضای تولیدکننده نفت را به وضعیت  $\alpha$  برخواهد گرداند. با این وجود زمانی که سهم بازار اعضای کم صبر بیش از سهم بازار رقبا باشد، آنگاه انتخاب وضعیت های تعادلی ایستا تغییر خواهد کرد. به محض این که گروه کم صبر اوپک می آموزد که چگونه از ذخایر و منابع طبیعی خود به عنوان اهرم قدرت استفاده کرده و مطابق با وضعیت برخورداری از مزیت سهم بازار رفتار کند، ترکیبی از فرآیندهای یادگیری و جهش منجر به تکامل مدل به وضعیت  $\beta$  خواهند شد.



شکل ۲. نمودار فازی بازی  $\bar{Q}$

منبع: یافته های تحقیق



خطوط باریک نشان دهنده شدت تمایل همگرایی به حالت‌های ایستای پایدار  $\alpha$  و  $\beta$  و خطوط پرننگ بیانگر پویایی‌های تکاملی مدل هستند. زمانی که بازی را با فرض دارا بودن مزیت سهم بازار توسط کشورهای ثروتمند اوپک آغاز کنیم، همه عوامل در حالت  $\alpha$  در گوشه چپ بالای نمودار فوق هستند. هرگونه انحراف استراتژی اوپک کم‌صبر با شکست روبرو بوده و خطوط باریک نشان دهنده روند بازگشت عوامل منحرف به تولید کامل هستند. پس از دوره  $\rho + \tau$ ، اعضای کم‌صبر اوپک مزیت سهم بازار را به دست آورده و همان گونه که خطوط پرننگ نشان می‌دهند، یادگیری این اعضاء سیستم را به وضعیت  $\beta$  در گوشه راست پایین سوق می‌دهد. پس از آن، هرگونه انحراف عوامل صبور با شکست مواجه شده و خطوط نازک اطراف  $\beta$  نشان دهنده شدت همگرایی به این حالت ایستای پایدارند. در این نقطه تعادلی عوامل کم‌صبر دارای مزیت سهم بازار می‌باشند.

بر اساس مطالعه ساموئلسن (۱۹۹۷)، این نمودار فازی نشان دهنده تغییرات رفتار سیستم در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت است. در کوتاه‌مدت و میان‌مدت عوامل اقدام به انطباق و سازگاری با شرایط و موقعیت خود می‌نمایند؛ به عبارتی در بازه‌های زمانی بازیکنان در هر گروه با یکدیگر رقابت کرده، اما همچنان در تعادل اولیه باقی می‌مانند. در بلندمدت اما عوامل با درک صحیح از موقعیت به حالت تعادلی دیگری تکامل می‌یابند. در مدل حاضر، این نوع پیشرفت با انتقال کنترل بر متغیر سهم بازار در دوره  $\rho + \tau$  به تدریج رخ می‌دهد.

### مدل‌سازی مبتنی بر عامل

مدل مبتنی بر عامل در واقع معادل محاسباتی مدل EGT است. این نوع مدل‌سازی با به‌کارگیری شبیه‌سازی، نتایج دقیق‌تری را برای مدل تئوریک فراهم می‌نماید. برنامه‌نویسی این مدل با زبان C++ تهیه و در محیط لینوکس اجرا گردیده است. با آغاز برنامه، کاربر تمامی احتمالات و پارامترهای مدل را وارد می‌کند. در هر دوره کلیه عوامل اوپک به‌طور تصادفی با یکدیگر در بازی بازار جهانی نفت مواجه می‌شوند. عوامل کم‌صبر اوپک می‌توانند استراتژی U یا V را بازی کرده درحالی که عوامل رقیب می‌توانند استراتژی X یا Y را بازی کنند. در ابتدای بازی همه عوامل کم‌صبر اوپک استراتژی

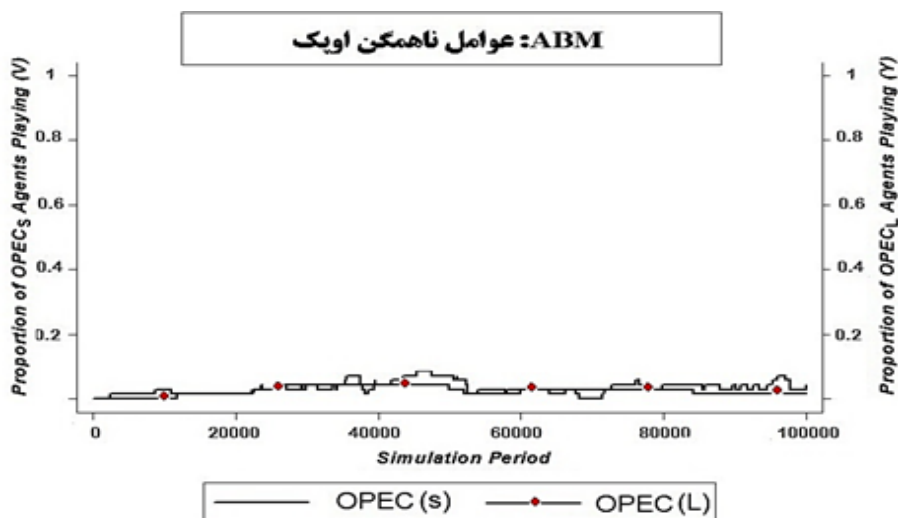
تولید کامل را انتخاب کرده و همه عوامل رقیب دارای وجهه تسلط هستند. در هر دوره هر عامل ممکن است به طور احتمالی در یادگیری شرکت نماید. چنانچه عوامل طی بازی بیاموزند، آنگاه در صورت عدم رضایت از کسب بازدهی کمتر از رقبا و به منظور برخورداری از قدرت کنترل و اهرم‌سازی منابع طبیعی خود می‌توانند یک استراتژی جدید را برگزینند. همچنین اگر آن‌ها کمتر از سطح بازدهی احتیاطی خود کسب نمایند، قادر به انتخاب یک استراتژی جدید خواهند بود. علاوه بر این، هر عامل احتمالاً ممکن است با یک جهش روبرو شده که او را به کسب تجربیات تصادفی، با انتخاب استراتژی‌های متفاوت برانگیزاند. در پایان هر دوره، سهم بازار عوامل متناسب با وضعیت و انتخاب‌های هر دو گروه رشد یا افول خواهد کرد. با این وجود بازیکنان این تغییر را تا دوره بعدی که مجدد در فرآیند یادگیری شرکت کنند، درک نخواهند کرد.

متغیر سهم بازار در مدل حاضر، از صفر تا یک قابل تغییر بوده، به نحوی که سهم بازار ۰/۱ بیانگر آن است که آن گروه مالک ۱۰ درصد از ذخایر و تولیدات جهانی می‌باشد. به منظور تأکید بر اهمیت متغیر خاص انرژی، انواع گوناگونی از مدل شامل؛ یک مدل کنترلی، عاری از هر گونه تغییر در متغیر سهم بازار در طول دوره افق زمانی شبیه‌سازی شده است. در این مدل، عوامل صبور اوپک کنترل کامل خود را بر منابع طی بازی حفظ می‌کنند. در واقع این مدل کنترلی تعبیر حالتی است که در آن؛ هیچ‌گونه طرح یادگیری تکاملی بر اساس تغییر در منابع طبیعی توسط هیچ‌یک از عوامل دو گروه دریافت نخواهد شد. مدل‌های رفتاری جایگزین نیز با لحاظ نرخ‌های انتقال متفاوت در سهم بازار در بخش نتایج ارائه و بررسی شده‌اند. به طور کلی احتمال یادگیری عبارت از؛ ۰/۰۰۰۲ درصد، احتمال جهش ۰/۰۰۰۰۰۱ درصد و هر گروه متشکل از پنج عامل در نظر گرفته شده‌اند. هر مدل، ۱۰ بار و برای ۱۰۰۰۰۰ دوره شبیه‌سازی و اجرا شده است.

## ۶- یافته‌های تحقیق

نتایج مدل کنترلی در شکل ۳ نشان داده شده است. در این مدل کنترلی، فقدان یادگیری تکاملی و عدم لحاظ رشد یا تنزل منابع طبیعی و نیز سهم بازار همراه با عدم انتقال قدرت میان بازیکنان لحاظ گردیده، به نحوی که عوامل صبور اوپک کنترل بازارهای نفتی را در طول افق زمانی حفظ می‌کنند. در حالی که عوامل کم‌صبر در این

مدل بازدھی کمتری نسبت به رقبا کسب کرده و قادر به یادگیری و اهرم‌سازی منابع خود به‌عنوان ابزاری برای دست گرفتن کنترل بازارهای نفتی نخواهند بود. در واقع، عوامل کم‌صبری که از استراتژی تولید کامل منحرف می‌شوند به‌سمت آن استراتژی و حالت ایستای اولیه ( $\alpha$ ) کشیده می‌شوند. قابل ذکر است که وضعیت صفر برای عوامل کم‌صبر اشاره به بازی استراتژی تولید کامل دارد و وضعیت یک مبنی بر سرشکن کردن تولید است. برای عوامل رقیب نیز وضعیت صفر به استراتژی تسلط و یک به استراتژی تسلیم دلالت دارد.

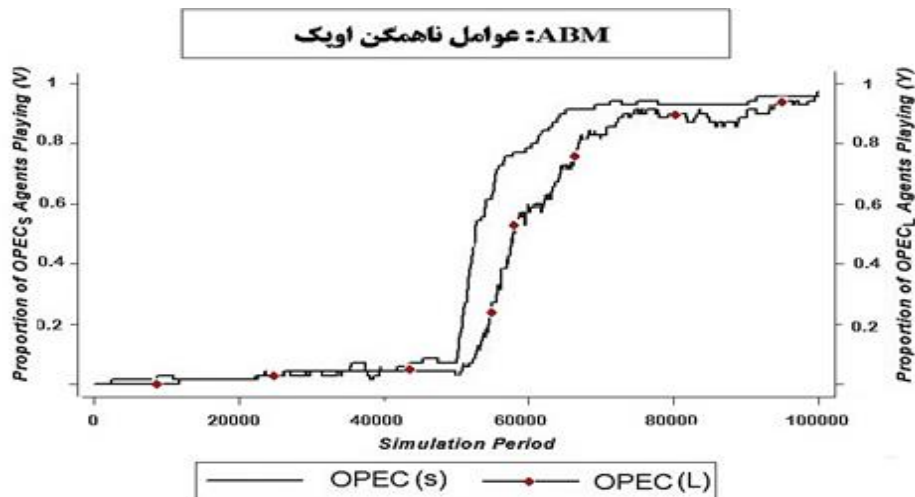


شکل ۳. مدل کنترلی ABM

منبع: یافته‌های تحقیق

در مقابل در مدل رفتاری، عوامل کم‌صبر اوپک بدون لحاظ سهم بازاری خود بازی را آغاز نموده و سهم بازار آن‌ها به نسبت  $0/001$  در هر دوره افزایش می‌یابد. در حالی که، عوامل رقیب بازی را با سهم بازار یک آغاز نموده و سهم بازاری آن‌ها به‌ازای  $0/001$  در هر دوره کاهش می‌یابد. زمانی که عوامل در فرآیند یادگیری شرکت نمایند، آن‌ها قادر به تشخیص وضعیت کنونی سهم بازار خود خواهند بود. در این مدل، عوامل صبور بازی را با تسلط و برخورداری کامل از سهم بازار آغاز نموده و اعضای کم‌صبر به تدریج می‌آموزند

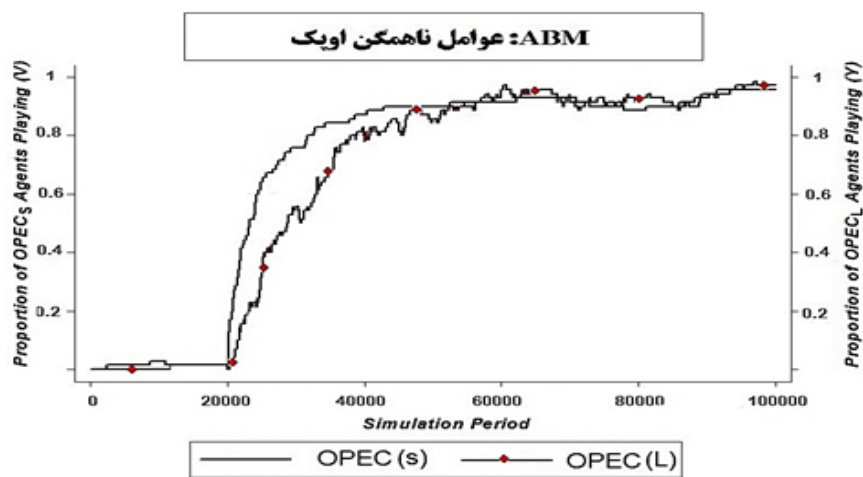
که آن‌ها صاحب سهم بازار روزافزونی هستند تا جایی که مزیت سهم بازار را پس از دوره ۵۰۰۵۰ از کل ۱۰۰۰۰۰ دوره به دست می‌آورند. شکل ۴ بیانگر موقعیتی است که در آن عوامل کم‌صبر اوپک نوع به‌کارگیری توانمندی‌های خود را برای تسلط بر بازارهای جهانی نفت آموخته و لذا اعضای آن به سرعت به سمت حالت تعادلی دیگر حرکت کرده و رقبا را مجبور به تغییر استراتژی می‌نمایند. گروه رقیب نیز با توجه به این الزام و فشار، استراتژی خود را با هدف جلوگیری از ایجاد نزاع و درگیری و نیز دستیابی به بازدهی برتر نسبت به کسب بازدهی‌های تشریک‌مسابی، تغییر خواهد داد.



شکل ۴. مدل رفتاری ABM

منبع: یافته‌های تحقیق

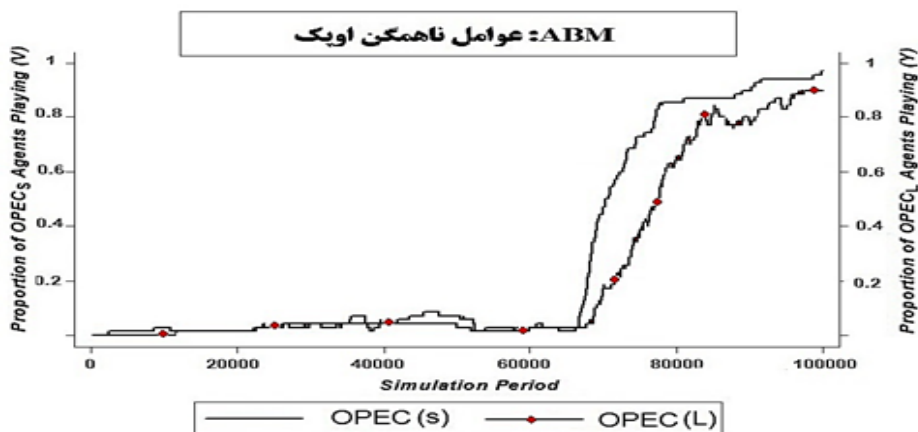
همچنین به منظور تأکید بر اهمیت متغیر خاص انرژی در مدل، دو نوع نرخ متفاوت که در آن عوامل کم‌صبر اوپک سهم بازار را از رقبا می‌ربایند، در نظر گرفته شده است. در یک حالت، عوامل کم‌صبر سهم بازار را در نرخی سریع‌تر به دست آورده و لذا در دوره ۲۰۰۱۰ از مزیت سهم بازار برخوردار خواهد شد. نتایج این مدل در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. در این مدل اوپک با سرعت بیشتری کنترل بازار را به دست آورده و گروه رقیب را مجبور به تسلیم شدن می‌نماید.



شکل ۵. مدل رفتاری ABM با نرخ انتقال سریع

منبع: یافته‌های تحقیق

نوع دیگری از مدل بیانگر انتقال کندتری در مزیت سهم بازار بوده که در آن؛ عوامل کم‌صبر اوپک در دوره ۶۷۰۰۲ اکثریت سهم بازار را به دست می‌آورند. نتایج این مدل نیز در شکل ۶ نشان داده شده و مبین یک انتقال تأخیری میان تعادل‌هاست.



شکل ۶. مدل رفتاری ABM با نرخ انتقال آهسته

منبع: یافته‌های تحقیق

در مجموع می‌توان گفت که تغییر پارامترها به منظور تغییر نرخ یادگیری در تمام انواع مدل‌های مذکور منجر به ارائه نتایجی دقیق‌تر شده و مقایسه بین حالت‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد. در فرآیند یادگیری تکاملی، عموماً عوامل کم‌صبر بر مبنای حسادت و نارضایتی در کسب بازدهی کمتر از رقبا و خصوصاً تشخیص قدرت اهرم‌سازی سهم بازار خود در برابر آن‌ها، به حالت‌های بازدهی پایین تشریک مساعی برای کسب قدرت آتی راضی می‌شوند. سپس رقبا را به سمت بازدهی مطلوب خود می‌کشانند.

#### ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

این مطالعه بر مبنای مشاهدات تاریخی از نوع رقابت، میزان فروش و سهم اعضای اوپک از بازار جهانی نفت از آغاز شکل‌گیری ائتلاف تاکنون، به پیش‌بینی امکان تغییر سهم بازار و تغییر جایگاه اعضا در قالب بازی تکاملی و لحاظ نقش مؤثر متغیر ذخایر طبیعی و فرآیندهای یادگیری و جهش می‌پردازد. چنین رویکرد تکاملی مدل با استفاده از روش‌های سنتی امکان‌پذیر نبوده و در مطالعات قبلی صورت گرفته درباره اعضا اوپک و رقابت درون سازمانی آن‌ها سابقه ندارد. لذا به منظور ارائه نتایجی متنوع و دقیق از نحوه تغییر جایگاه قدرت اعضا در بازار جهانی نفت، مدل تئوری بازی تکاملی عوامل ناهمگن با شبیه‌سازی در سیستم‌های مبتنی بر عامل اجرا و به کار گرفته شده است. بدین منظور از ابزاری متدولوژیکی، حاصل از ترکیب تئوری بازی تکاملی و مدل-سازی مبتنی بر عامل به منظور شبیه‌سازی محیط رقابتی بازی بین اعضای ناهمگن اوپک در بازه زمانی (۲۰۱۵-۲۰۴۰) استفاده شده است. همچنین در این مطالعه به بررسی رویکرد یادگیری تکاملی در سیستم‌های مبتنی بر عامل، بر مبنای نارضایتی اعضا اوپک از وضع موجود پرداخته شده است. نتایج مطالعه حاضر، بیانگر لزوم و امکان تغییر رفتار استراتژیک گروه کم‌صبر اوپک با بازدهی پایین در مقایسه با گروه رقیب می‌باشد. از این رو، با لحاظ یادگیری عوامل کم‌صبر از تجربیات گذشته و بهره‌برداری از احساس نارضایتی خود در برابر رقبا، امکان تشریک مساعی با یکدیگر و بهبود وضعیت اعضا بررسی گردیده است. نتایج مبنی بر آنند که با استفاده از رویکرد تکاملی در قالب مدل کنترلی (که در آن اثر ذخایر و منابع طبیعی لحاظ نگردیده) و ۳ نوع مدل رفتاری

ABM (بیان‌کننده اهمیت متغیر منابع طبیعی) و با لحاظ نرخ‌های یادگیری متفاوت، این گروه کشورها با اهرم‌سازی منابع و ذخایر نفتی خود قادر به بهره‌گیری بیشتر از سهم بازار و لذا بهینه‌سازی سطح فروش و سود خواهند بود. زیرا زمانی که عوامل اوپک می‌آموزند که دارای مزیت سهم بازار هستند، با نشان دادن نارضایتی خود قادر به عمل متقابل در برابر رقبا خواهند بود و با پذیرش موقتی بازدهی پایین تشریک مساعی نهایتاً گروه رقیب را وادار به عقب‌نشینی و حرکت به سمت وضعیت تعادلی  $\beta$  و پذیرش تسلیم می‌نمایند.

از این رو چنین کاربردی از تئوری بازی تکاملی که توسط مدل‌سازی مبتنی بر عامل شبیه‌سازی گردیده، به خوبی منعکس‌کننده پویایی‌های انتقال قدرت میان اعضای اوپک می‌باشد. زیرا در این نوع تحلیل یادگیری و کنترل منابع، تغییر تکاملی را تسهیل نموده و با ایجاد نقطه عطف، منجر به سوق دادن بازیکنان از یک وضعیت تعادلی به وضعیتی جدید می‌شود. در مجموع، به کارگیری این رویکرد نوین، ابزاری برای اجرا و بررسی مطالعات تکاملی کاربردی در اقتصاد را پیشنهاد می‌دهد.

## منابع

جمشیدی رودباری، مستانه (۱۳۸۷). بررسی علل تطابق نیافتن مدل‌های اقتصادی رفتار اوپک در بلندمدت از دیدگاه تحولات بازار نفت و ویژگی‌های این سازمان، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۴۷، ۶۳-۲۵.

شهابی نژاد، وحید (۱۳۹۴). ارزیابی بهره‌وری عامل انرژی در ایران و کشورهای منتخب در حال توسعه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۷. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۱ (۴۶)، ۲۴۲-۲۲۱.

فتحی، بهرام، خداپرست مشهدی، مهدی، همایونی فر، مسعود و سجادی فر، سید حسین (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد کارایی زیست محیطی کشورهای منتخب بر اساس تحلیل داده‌های فراگیر و تئوری بازی‌ها در محیط رقابتی. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۳ (۵۳)، ۱۳۳-۱۰۵.

عبدلی، قهرمان (۱۳۸۷). نظریه بازی‌ها و کاربردهای آن؛ بازی‌های ایستا و پویا با اطلاعات کامل. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.

عبدلی، قهرمان و ناخدا، محمدجواد (۱۳۸۸). کاربرد نظریه فیرون در بررسی پایداری اویک: با رویکرد نظریه بازی‌های تکراری. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۶ (۲۰)، ۵۶-۳۳.

Adami, C., Schossau, J., & Hintze, A. (2016). Evolutionary Game Theory using Agent-based Methods, *Physics of Life Reviews*, 19, 1-26.

Adelman, M. (1995). *The Genie out of the Bottle*. The MIT Press. Cambridge, Mass. US.

Alhajji, A. F., & Huettner, D. (2000). OPEC and other Commodity Cartels: a Comparison. *Energy Policy*, 28(15), 1151-1164.

Alhajji, A. F., & Huettner, D. (2000). OPEC and World Crude Oil Markets from 1973 to 1994: Cartel, Oligopoly, or Competitive? *The Energy Journal*, 21(3), 31-60.

Almoguera, P. A., Douglas, C., & Herrera, A. M. (2011). Testing for the Cartel in OPEC: Non-Cooperative Collusion or just Non-Cooperative? *Oxford Review of Economic Policy*, 27(1), 144-168.

Alt, J. E., Calvert, L., & Humes, B. D. (1988). Reputation and Hegemonic Stability: A Game-Theoretic Analysis. *American Political Science Review*, 82(2), 445-66.

Altman, E. (2014). Evolutionary Games. *Encyclopedia of Systems and Control*, Springer, 391-96.

Dahl, C., & Yucel, M. (1991). Testing Alternative Hypotheses of Oil Producer Behavior. *The Energy Journal*, 12(4), 117-138.

Dinther, C. V. (2008). Agent-based Simulation for Research in Economics. *Handbook on*

*Information Technology in Finance*, International Handbooks Information System, 421-442.

Dutta, P. K. (1999). *Strategies and Games: Theory and Practice*. The MIT Press.

Fearon, J. (1998). Bargaining and Enforcement, and International Cooperation. *International Organization*, 52, 269-305.



- Gilbert, R. (1978). Dominant Firm Pricing in a Market for an Exhaustible Resource. *The Bell Journal of Economics*, 9, 385-95.
- Gintis, H. (2007). The Dynamics of General Equilibrium. *The Economic Journal*, 117(523), 1280-1309.
- Griffin, J. M. (1985). OPEC Behavior: A Test of Alternative Hypotheses. *American Economic Review*, 75(5), 954-63.
- Griffin, J. M., & Xiong, W. (1997). The Incentive to Cheat: An Empirical Analysis of OPEC. *Journal of Law and Economics*, 40(2), 289-316.
- Griffin, J., & Vielhaber, L. (1994). OPEC Production: The Missing Link. *The Energy Journal*, 15, 115-32.
- Hnyilicza, E., Pindyck, R. S. (1976). Pricing Policies for a Two-Part Exhaustible Resource Cartel: the Case of OPEC. *European Economic Review*, 8, 139-154.
- Houthakker, H. S. (1979). Growth and Inflation: Analysis by Industry. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 241-256.
- Hommes, C. H. (2006). Heterogeneous Agent Models in Economics and Finance. In Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd, editors, *Handbook of Computational Economics*.
- Loury, G. (1986). A Theory of 'Oil'igopoly: Cournot equilibrium in Exhaustible Resource Markets with Fixed Supplies. *International Economic Review*, 27(2), 285-301.
- Mabro, R. (1989). OPEC's Production Policies: How do they work? Why don't they work? Oxford Institute for Energy Studies.
- Macall, C. M., North, M. J. (2010). Tutorial on Agent-based Modelling and Simulation, *Journal of Simulation*, 4, 151-162.
- McAvoy, P. (1982). *Crude Oil Prices as Determined by OPEC & Market Fundamentals*. Cambridge, MA: Ballinger Publishing Co.
- Nowé, A., Vrancx, P., & De Hauwere, Y. M. (2012). Game Theory and Multi-agent Reinforcement Learning, *Adaptation, Learning, and Optimization*, 12, 441-470.
- Parsons, S., & Wooldridge, M. (2002). Game Theory and Decision Theory in Multi-Agent Systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 5(3), 243-254.
- Pindyck, R. S. (1978). Gains to Producers from the Cartelization of Exhaustible Resources. *The Review of Economics and Statistics*, 60(2), 238-251.

- Polasky, S. (1992). Do Oil Producers Act as 'Oil'igopolists? *Journal of Environmental Economics and Management*, 23(3), 216-247.
- Salant, S. (1976). Exhaustible Resources and Industrial Structure: A Nash-Cournot Approach to the World Oil Market. *Journal of Political Economy*, 84(5), 1079-93.
- Samuelson, Larry. (1997). *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Schmidt, C. (2004). Are Evolutionary Games another Way of Thinking bout Game Theory? Some Historical Considerations. *Journal of Evolutionary of Economics*, 14, 249–262.
- Smith, J. M. (1982). *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Tesfatsion, L. (2001). Introduction to the Special Issue on Agent-based Computational Economics. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(3), 281-293.
- Tesfatsion, L. (2002). Agent-based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom up. *Artificial Life*, 8(1), 55-82.
- Tesfatsion, L. (2006). Agent-based Computational Economics: a Constructive Approach to Economic Theory. *Handbook of Computational Economics: Agent-Based Computational Economics*, Amsterdam: North-Holland.
- Tourk, K. A. (1977). OPEC Cartel: a Revival of the Dominant-firm Theory. *Journal of Energy & Development*, 2(2), 321-28.
- Tuyls, K., & Parsons, S. (2007). What Evolutionary Game Theory tells us about Multiagent Learning. *Artificial Intelligence*, 171(7), 406–416.
- Tuyls, K., Nowe, A., Lenaerts, T., & Manderick, B. (2005). An Evolutionary Game Theoretic Perspective on Learning in Multi-Agent Systems, *Information, Interaction and Agency*, 133-166.
- Ulph, A., & Folie, G. (1980). Exhaustible Resources and Cartels: an Intertemporal Nash-Cournot model. *The Canadian Journal of Economics*, 13, 645-658.
- Verleger, P. K. (1987). The Evolution of Oil as a Commodity. In *Energy: Markets and Regulation*, Richard L. Gordon, Henry D. Jacoby, and Martin B. Zimmerman (eds.) Cambridge, MA: MIT Press.

---

## **Analysis of the Evolutionary Game Theory in Agent-Based Computational Systems: OPEC Oil-Producing Countries**

**Samaneh Khatami**

**Ph.D. Economics** [khatamisamaneh@gmail.com](mailto:khatamisamaneh@gmail.com)

Received: 2019/03/11 Accepted: 2020/02/09

### **Abstract**

This study suggests a new method for analysing the behavioral economics issues in the framework of game theory. In this context, bounded rational agents interact with one another in a strategic manner. Therefore, conventional economic modeling techniques are unable to explain these interactions. We use evolutionary game theory and agent-based modeling as the most suitable tools for studying the dynamic environments of strategic interactions of OPEC members in the period 2015 to 2040. The results of running 4 agent-based behavioral models suggest that despite the split between members (into patient and impatient countries), impatient members enjoy vast oil reserves. But during the evolutionary process, members gradually learn how to play the game against rival groups. There is thus a possibility that more impatient members of OPEC can gain the upper hand during the game against rival groups and undermine their position of market dominance over OPEC.

**JEL Classification:** C63 .C70 .C73.

**Keywords:** Game theory; Evolutionary game theory; Agent-based Computational Economics; OPEC