

## مدل‌های رهبری قیمت و تبانی در کارتل گازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

دکتر شهرام گلستانی\*، مجید هاتفی مجومرد\*\* و ام‌البین جلالی\*\*\*

تاریخ دریافت: ۲۷ خرداد ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: ۹ مهر ۱۳۹۲

این مطالعه به کمک الگوریتم ژنتیک مسیر قیمتی، مسیر استخراج و سود توزیل شده مربوط به GECF و گروه حاشیه‌ای را براساس دو راه حل رهبری قیمت و تبانی مورد محاسبه قرار داده است. در این راستا اعضای «مجمع کشورهای صادرکننده گاز (GECF)» به عنوان یک کارتل و سایر تولیدکنندگان به عنوان گروه حاشیه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. بدین منظور از داده‌های سالانه ۲۰۱۰-۱۹۸۰ جهت پیش‌بینی روندهای مورد بررسی تا سال ۲۰۷۰ استفاده شده است. نتایج مدل رهبری قیمت بیانگر آن است که تقاضای جهانی گاز در طی زمان به صورت خطی و قیمت جهانی آن به صورت نمایی افزایش خواهد یافت. بر این اساس، عرضه گروه حاشیه نیز با روندی فزاینده در دوره مورد بررسی افزایش می‌یابد و عرضه کارتل که از تفاوت بین تقاضای جهانی و عرضه گروه حاشیه حاصل می‌گردد، به طور کاهنده صعودی است. نتایج حاصل از راه حل تبانی بیانگر آن است که روند استخراج در مقایسه با راه حل رهبری قیمت کندتر می‌گردد و در نتیجه قیمت و سود حاصل از راه حل تبانی بیشتر از راه حل رهبری است.

واژه‌های کلیدی: مجمع کشورهای صادرکننده گاز، الگوریتم ژنتیک، رهبری قیمت، تبانی.

طبقه‌بندی JEL: Q41، Q47، F13، D43.

shahram\_golestani@yahoo.com

\* استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان

mhatefi63@gmail.com

\*\* کارشناس ارشد ریاضی کاربردی و دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه باهنر کرمان

omijalali@yahoo.com

\*\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه پیام نور کرج

## ۱. مقدمه

با توجه به روند افزایشی مصرف گاز و اهمیت یافتن آن به عنوان یک منبع مهم انرژی در سال‌های اخیر، هر کشوری که در بازار گاز نقش مهم‌تری را ایفا نماید، از موقعیت برتری در اقتصاد جهانی و در روابط بین‌الملل برخوردار خواهد بود. بنابراین در حالی که تدریجاً سهم گاز در سبد انرژی رو به افزایش است، ضرورت اتخاذ سیاست‌های هماهنگ از سوی تولیدکنندگان بیش از پیش ضرورت می‌یابد. تولیدکنندگان و صادرکنندگان گاز در صورتی که خواهان سهم بیشتری از منافع موجود در بازار و جایگاه بهتری در بازار جهانی این محصول در زمینه تولید، فرآوری و انتقال آن باشند، نیازمند اقدامات همسو و هماهنگ با یکدیگر خواهند بود. به همین دلیل کشورهای تولیدکننده، باید به دنبال استراتژی‌هایی باشند که به واسطه ایجاد هماهنگی در بین تولیدکنندگان، حداکثرکننده منافع جمعی این گروه باشد. از مهمترین این استراتژی‌ها، تشکیل گروهی از صادرکنندگان گاز است که مانند سازمان اوپک در زمینه تولید و قیمت‌گذاری گاز با یکدیگر همکاری نمایند.

در حقیقت، ایجاد سازمان اوپک گازی برای اولین بار از سوی مقام معظم رهبری در دیدار با دبیر شورای امنیت وقت روسیه (ایگور ایوانف) در سال ۱۳۸۵ مطرح گردید. ایشان با بیان اینکه نزدیک به نیمی از ذخایر گاز جهان در روسیه و ایران قرار دارد، پیشنهاد کردند این دو کشور با کمک یکدیگر می‌توانند بنای یک سازمان مربوط به همکاری‌های گازی را همچون اوپک پایه‌گذاری کنند. بعدها در سفر مقام‌های روسی به قطر که یکی دیگر از کشورهای دارنده ذخایر عظیم گازی است، پیشنهاد به آن کشور نیز ارائه گردید و سازمان مربوط به کشورهای صادرکننده گاز به سرعت شکل گرفت. در حال حاضر ۱۲ کشور به عنوان عضو و سه کشور ناظر در مجمع کشورهای صادرکننده گاز<sup>۱</sup> (GECF) حضور دارند که کشورهای عضو ۴۲ درصد از تولید گاز جهان، ۷۰ درصد از ذخایر گازی جهان، ۳۸ درصد از انتقال گاز با خط لوله و ۸۵ درصد از تجارت گاز طبیعی مایع شده<sup>۲</sup> (LNG) را در اختیار دارند. ایران، قطر، روسیه، ترینیداد و توباگو، مصر، بولیوی، الجزایر، نیجریه، لیبی، ونزوئلا عمان و گینه استوایی به عنوان اعضای مجمع کشورهای صادرکننده گاز و کشورهای قزاقستان، نروژ و هلند به عنوان ناظر حضور دارند. همکاری مؤثر و حداکثرکننده منافع جمعی در GECF تنها زمانی تحقق خواهد یافت که

---

1. Gas Exporting Countries Forum

2. Liquid Natural Gas

## مدل‌های رهبری قیمت و تباری در کارت‌ل گاز با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۵۳

کشورهای عضو این مجمع بتوانند در زمینه تولید و قیمت‌گذاری این محصول گران‌بها با یکدیگر همکاری کنند و به عنوان یک بنگاه قیمت‌گذار در بازار جهانی به فعالیت بپردازند. بوجود آمدن چنین سازمانی علاوه بر منافع که برای تولیدکنندگان دربر دارد، به واسطه واقعی کردن قیمت گاز، مصرف آن را نیز بهینه نموده، عمر ذخایر را طولانی‌تر می‌نماید، موجب باثباتی در بازار می‌گردد و انگیزه برای دستیابی به انرژی‌های جدید را افزایش می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین مسائل پیش رو بعد از تشکیل چنین کارت‌ل‌گازی، تعیین مسیر قیمتی و مسیر استخراج است. با توجه به آنچه که گفته شد این مطالعه سعی در تعیین مسیر قیمت و مسیر استخراج برای حالت رهبری قیمت توسط GECF و همچنین حالت تباری GECF با گروه حاشیه‌ای با کمک الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> است.

## ۲. ادبیات موضوع

همزمان با پیدایش اوپک در بازار جهانی نفت، بخشی از تحقیقات مربوط به حوزه انرژی به بررسی رفتار این سازمان و پیش‌بینی عملکرد بازار اختصاص یافت و مطالعات بسیار زیادی در این زمینه انجام گرفت.

پیندایک<sup>۲</sup> (۱۹۷۸) پس از برآورد تابع تقاضای اوپک، مسیرهای قیمتی را در دو حالت رقابتی و انحصاری رسم نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که مسیر قیمت نفت در شرایط رقابتی نسبت به تغییرات نرخ بهره حساس است. با افزایش نرخ بهره شیب مسیر قیمتی افزایش پیدا کرده، قیمت اولیه ذخایر کاهش یافته و در نتیجه زمان پایان ذخایر سریع‌تر فرا می‌رسد. در حالی که مسیر قیمت نفت در شرایط انحصاری، با افزایش نرخ بهره انحراف خیلی کمی در انتقال مسیر قیمت به وجود می‌آورد، همچنین قیمت اولیه انحصاری افزایش یافته که تغییرات آن خیلی جزئی است. با مقایسه روند قیمت نفت اوپک بعد از افزایش نرخ بهره، ملاحظه می‌شود که مسیر قیمت انحصاری در سطح بالاتری از مسیر قیمت رقابتی قرار می‌گیرد.

ویلمن و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۸۵) ارتباط قیمت نفت و نرخ بهره را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق اشاره دارد که افزایش خیلی زیاد در قیمت نفت باعث تغییر نرخ بهره جهانی خواهد شد، در

۱. حل مسائل بهینه‌یابی از طریق الگوریتم ژنتیک موجود در نرم‌افزار MATLAB 7.11.0 (R2010b) صورت گرفته است.

2. Pindyck (1978)

3. Willman, et al (1985)

حالی که یک تغییر کوچک در نرخ بهره جهانی باعث تغییرات زیادی در قیمت‌های نفت می‌گردد.

مارکوئز<sup>۱</sup> (۱۹۸۶) انتقال بین‌المللی اثرات قیمت نفت و سیاست قیمت‌گذاری اوپک را مورد مطالعه قرار داد. وی کشورهای واردکننده نفت را به عنوان اقتصادهای کوچک در نظر گرفت. فرض فوق این امکان را فراهم آورد که قیمت نفت به صورت برونزا توسط اوپک تعیین شود. وی رفتار قیمت نفت و فعالیت‌های اقتصادی را به طور مشترک تجزیه و تحلیل کرد. سپس اثر تغییرات برونزای قیمت نفت در یک مدل ساده نظری را مورد مطالعه قرار داد و برای بررسی هر دو اثر در بازخورد قیمت نفت و سیاست‌های تثبیت‌کننده، تجزیه و تحلیل هتلینگ را تعمیم داد.

گرین<sup>۲</sup> (۱۹۹۱) مطالعه‌ای در زمینه قدرت بازار اوپک و قیمت‌های نفت انجام داده است. در این مطالعه یک مدل ایستا برای اوپک به عنوان کارتل و یک گروه حاشیه‌ای معرفی می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در بلندمدت قیمت‌های بالاتر از منحنی بلندمدت قیمت، فقط باعث کاهش سهم و کاهش قدرت بازار کارتل می‌گردد و در کوتاه‌مدت بازار را به سمت بی‌ثباتی هدایت می‌کند.

گروت و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) روی مدل تعادلی اشتاکلبرگ برای کارتل و گروه حاشیه‌ای مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که مسیر قیمت‌گذاری می‌تواند به صورت ناپیوسته نمایش داده شود.

لی و لین<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) روی چارچوب بازارها در سیستم قیمت‌گذاری جهانی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که عامل تقاضا از زمان ظهور بازارهای چین و هند در سال ۲۰۰۳ به عنوان عاملی معنادار برای سیستم قیمت‌گذاری نفت جهانی بوده است.

بریمانند و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۲) مطالعه‌ای در رابطه با وجود کارتل انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که اوپک در طی زمان در تغییرات سیستم قیمتی مؤثر بوده است. البته نفوذ اوپک فقط بعد از شوک‌های قیمتی مؤثر بوده و در اکثر دوره‌های مطالعه شده کارتل قیمت‌پذیر بوده است.

- 
1. Marquez (1986)
  2. Greene (1991)
  3. Groot, *et al* (2000)
  4. Li and Lin (2011)
  5. Brémond, *et al* (2012)

اما از آنجایی که GECF تازه تأسیس است و هنوز در زمینه قیمت‌گذاری گاز اقدامی انجام نداده، مطالعه‌ای در این ارتباط صورت نگرفته است. بر این اساس ادامه این قسمت به بخشی از مطالعاتی اختصاص یافت که از الگوریتم ژنتیک در مطالعات اقتصادی استفاده کرده‌اند.

آزاده و تروردیان (۲۰۰۷) با بکار بردن الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی رایانه و طراحی آزمایشات با استفاده از روش تصادفی موفق شدند الگوریتمی جامع برای پیش‌بینی ماهانه مصرف انرژی الکتریکی ارائه کنند. آنها ابتدا مدل‌های سری زمانی را به عنوان یک معیار برای الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی رایانه در نظر گرفتند. سپس، تولید متغیرهای تصادفی برای مصرف ماهانه برق را توسط شبیه‌سازی رایانه‌ای صورت دادند. آنها برای نشان دادن کاربردی بودن و برتری الگوریتم پیشنهادی، مصرف برق به صورت ماهیانه در ایران از مارس ۱۹۹۴ تا فوریه ۲۰۰۵ را به کار بردند.

کانیورت و ازترک<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) به منظور برآورد تقاضای نفت با استفاده از روش بهینه‌یابی الگوریتم ژنتیک، با هدف تخمین ارزش آتی تقاضا برای نفت، به ارائه‌ی سه مدل غیرخطی تقاضا برای نفت در ترکیه پرداخته‌اند. از میان این سه مدل، مدلی که متغیرهای مستقل جمعیت، تولید ناخالص داخلی، واردات نفت و فروش کامیون را به عنوان شاخص پارامترهای طرح به کار می‌برد، با مجموع خطای پایین‌تر (SSE)<sup>۲</sup> راه حل بهتری را در مشاهده داده‌ها فراهم می‌کند.

هالدنبیلن و سیلان<sup>۳</sup> (۲۰۰۵)، با استفاده از سه مدل خطی، درجه دو و نمایی، تقاضای انرژی در بخش حمل و نقل ترکیه را برای سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۰ با به کارگیری تکنیک الگوریتم ژنتیک تخمین زدند. در این مطالعه مصرف انرژی در بخش حمل و نقل تابعی از جمعیت، تولید ناخالص داخلی و تعداد خودرو در نظر گرفته شد. در این مطالعه داده‌های سری زمانی ۱۹۹۵-۱۹۷۰، برای تخمین مدل و داده‌های سری زمانی ۲۰۰۰-۱۹۹۶ برای اعتبارسنجی مدل‌ها به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل درجه دو نسبت به دو مدل دیگر از دقت بالایی در تخمین تقاضای انرژی در بخش حمل و نقل برخوردار است. همچنین مصرف انرژی در بخش حمل و نقل تا سال ۲۰۲۰ براساس سناریوهای مختلف پیش‌بینی شد.

سیلان و ازتورک<sup>۴</sup> (۲۰۰۴) تقاضای انرژی ترکیه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک براساس شاخص‌های اقتصادی تخمین زدند. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق تولید ناخالص ملی،

1. Canyurt and Ozturk (2006)

2. Sum of Squared Error

3. Haldenbilen and Ceylan (2005)

4. Ceylan and Ozturk (2004)

جمعیت، صادرات و واردات بود. در این مطالعه مدل‌های مربوط به تقاضا در قالب الگوریتم ژنتیک به دو صورت خطی و نمایی بدست آمدند. بازه زمانی ۱۹۹۰-۱۹۷۰ برای تخمین مدل‌ها و بازه زمانی ۲۰۰۱-۱۹۹۱ برای اعتبارسنجی این مدل‌ها و مقایسه آنها با پیش‌بینی‌های وزارت انرژی و منابع طبیعی ترکیه بود که نتایج این تحقیق خطای پیش‌بینی کمتر مدل‌های مذکور نسبت به پیش‌بینی‌های وزارت انرژی و منابع طبیعی را نشان داد. همچنین مصرف انرژی ترکیه براساس مدل‌های مذکور، تحت سناریوهای مختلف تا سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی شد.

از دیگر مطالعات انجام گرفته در زمینه کاربرد الگوریتم ژنتیک در تخمین توابع تقاضای انرژی می‌توان به کارهای از ترک و کانپورت (۲۰۰۸) در زمینه تخمین تقاضا برای سوخت‌های فسیلی در ترکیه، فنگ پای و چیانگ هنگ<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) در پیش‌بینی بار برق منطقه‌ای تایوان، از ترک و همکاران (۲۰۰۴) در تخمین تولید و مصرف فرآورده‌های نفتی ترکیه، از ترک و همکاران (۲۰۰۴) در تخمین تقاضای انرژی ترکیه در دو بخش تجاری و خانگی اشاره کرد. صادقی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از الگوریتم ژنتیک، تابع تقاضای بنزین در بخش حمل و نقل را تحت سناریوهای مختلف تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی کردند.

قنبری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، تابع تقاضای بنزین و نفت و گاز حمل و نقل زمینی ایران را شبیه‌سازی کردند. نتایج آنها با استفاده از روند متغیرهای تأثیرگذار بر تقاضای انرژی بخش حمل و نقل زمینی ایران بدست آمد و نشان داد با معیارهای کارایی شبیه‌سازی بهتر، فرم درجه دوم تابع تقاضای بنزین بخش حمل و نقل زمینی و فرم نمایی تابع تقاضای نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی نتایج بهتری را در پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل زمینی ایران فراهم می‌کند.

ذاکری‌فر و همکاران (۱۳۸۷) مدلی از بازار برق را با بهینه‌سازی همزمان انرژی و ذخیره که توسط واحدهای تولیدی و سمت تقاضا فراهم می‌شوند، پیشنهاد و تحلیل نمودند. نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، اثرات قابل توجهی از تغییر نرخ قیمت ذخیره سمت تقاضا بر پارامترهایی از قبیل قیمت‌های بازار انرژی، رفاه اجتماعی و برنامه‌ریزی واحدهای تولید را نشان داد. همچنین مطالعات نشان داد که مصرف‌کنندگان با حضورشان در بازار، ضمن افزایش سود خود، منجر به کاهش قدرت بازار تولیدکنندگان می‌شوند. ضمناً با

1. Feng Pai and Chiang Hong (2005)

کاهش میزان تقاضا در بازار که از طریق برنامه‌های متنوع پاسخ تقاضا قابل دستیابی است، آثار قابل توجه مورد بحث، کاهش خواهد یافت.

اردهالی و ادهم (۱۳۸۷) با مدل‌سازی سیاست‌گذاری انرژی با ملاحظات فنی، اقتصادی، اجتماعی و بکارگیری الگوریتم ژنتیکی مرتب‌سازی جواب‌های نامغلوب نخبه‌گرا در مطالعه موردی موضوع تخصیص منابع نتیجه گرفتند که بکارگیری روش‌های تصمیم‌سازی پس از جستجو، بر مبنای بهینه‌سازی چند هدفه، ضمن ایجاد امکان تحلیل تعادل اهداف چندگانه، متعارض و غیرهم‌مقیاس در سیستم‌های انرژی، قدرت سیاست‌گذاران را در پیش‌بینی و بهبود نتایج حاصل از تصمیمات متفاوت، افزایش داده و آنان را در اتخاذ سیاست‌های مناسب‌تر حمایت می‌کند.

### ۳. مبانی نظری

در متون اقتصادی، ایجاد انحصار، تشکیل کارت‌ل و تراست و تباری بین تولیدکنندگان همواره به عنوان پدیده‌ای بد شناخته شده است و تا آنجا که ممکن است باید از شکل‌گیری آنها جلوگیری شود. این اعتقاد براساس این منطق است که با تشکیل کارت‌ل و ایجاد انحصار، رفاه اجتماعی کاهش خواهد یافت. به عبارت دیگر، انحصار با هدف به حداکثر رساندن سود، منجر به کاهش تولید و افزایش قیمت خواهد گشت. بنابراین، رفاه مصرف‌کننده و جامعه به عنوان یک کل کاهش می‌یابد. این منطق در ارتباط با منابع تجدیدپذیر (محصولات معمولی) کاملاً درست و قابل دفاع است. حال سؤال اساسی این است که آیا این منطق در مورد منابع تجدیدناپذیر نیز صادق است؟ آیا تشکیل کارت‌ل در منابع غیرقابل تجدید، منافع درازمدت و رفاه جهانی را کاهش می‌دهد؟ اگر چه پاسخ به سوالات فوق آسان نیست، اما در برخی موارد می‌توان نتایج متفاوتی را در مقایسه با منابع تجدیدپذیر بدست آورد. به عنوان مثال، با تشکیل یک کارت‌ل در عرضه منابع تجدیدناپذیر، عمر ذخایر طولانی‌تر خواهد گردید و این امر امکان‌پذیر خواهد شد که نسل‌های بعدی نیز بتوانند از این منابع بهره‌مند شوند. همچنین اگر قبول کنیم که استفاده آتی از این منابع، بسیار کارآمدتر از امروز خواهد بود، پس ما می‌توانیم نتیجه بگیریم که بهره‌برداری از این منابع در آینده‌ای دورتر منجر به استفاده بهینه‌تر از آنها خواهد شد.

براساس برآوردهای بریتیش پترولیوم، پیش‌بینی شده که طول عمر ذخایر گاز طبیعی تقریباً ۶۰ سال است. با توجه به آنچه در پاراگراف پیشین بیان گردید، این مطالعه در تلاش است تا بررسی نماید که با تشکیل یک کارتل گازی با محوریت GECF، چگونه طول عمر ذخایر و قیمت و مسیرهای استخراج تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، با استفاده از یک مدل ساده خطی، طول عمر ذخایر و قیمت و مسیرهای استخراج در چارچوب «رهبری قیمت» و «تبانی» مدل مورد مطالعه قرار گرفته است. این مقاله بر آن است تا به طور پویا راه حل رهبری قیمت توسط GECF و راه حل تبانی بین GECF و گروه حاشیه‌ای را به کمک الگوریتم ژنتیک بررسی کند.

### الف- راه حل رهبری قیمت توسط کارتل

انحصارگران چند جانبه در مواجهه با مشکل تشکیل یک کارتل پایدار و مؤثر ممکن است به طور ضمنی و بدون ایجاد یک توافق آشکار با هم همکاری کنند. مدل رهبری قیمت بر این فرض مبتنی است که یکی از بنگاه‌های موجود در صنعت، رهبر قیمتی است. این نوع رفتار در صنایع موجود در انحصار چندجانبه که مشخصاً چند بنگاه اندک قیمت را تعیین می‌کنند و بقیه از آنها تبعیت می‌کنند امری متداول است. فرض کنیم صنعت مفروض ما از گروه کارتل و گروه حاشیه‌ای تشکیل شده است. گروه حاشیه‌ای به عنوان قیمت‌پذیر در بازار عمل کرده، اطلاعات راجع به قیمت را از بازار دریافت می‌کند و براساس قیمت بازار میزان عرضه خود را طوری تعیین می‌کند که مجموع ارزش حال سود انتظاری نسبت به محدودیت فیزیکی ذخایر ماکزیمم شود. بدین ترتیب میزان عرضه گروه حاشیه‌ای که تابعی از قیمت است، بدست می‌آید. کارتل در تعیین قیمت و میزان فروش، تابع عرضه گروه حاشیه‌ای را تابع واکنش گروه حاشیه‌ای در نظر می‌گیرد و میزان عرضه ذخایر خود را معادل با مانده تقاضای بازار تنظیم می‌کند. تابع مانده تقاضای کارتل از تفاوت بین تقاضای بازار و تابع عرضه گروه حاشیه‌ای حاصل می‌شود. در این شرایط، کارتل تلاش می‌کند تا مجموع ارزش حال سود انتظاری خود را با در نظر گرفتن تابع مانده تقاضا حداکثر کند. فرض کنید تابع تقاضای کارتل و هزینه تولید در دوره  $t$  به ترتیب  $p_i = \phi(q_{c,i})$  و  $cost(q_{c,i})$  باشد. با استفاده از نرخ تنزیل  $r$ ، تمام سودهای بدست آمده در زمان‌های آینده به زمان حال تبدیل می‌شوند. بنابراین مجموع ارزش حال سود حاصل از استخراج و فروش ذخایر به صورت زیر نوشته می‌شود:



$$\Pi = \sum_{i=1}^n \frac{(p_i * q_{c,i}) - \text{cost}(q_{c,i})}{(1+r)^{i-1}} = \sum_{i=1}^n \frac{(\phi(q_{c,i}) * q_{c,i}) - \text{cost}(q_{c,i})}{(1+r)^{i-1}} \quad (1)$$

در این راستا با محدودیت و قیدهایی روبرو هستیم. اعمال محدودیت ذخایر باعث می‌شود مجموع کل استخراج و فروش منابع از دوره اول تا انتهای دوره  $n$ ، کوچکتر مساوی از کل ذخایر اثبات شده در ابتدای دوره اول باشد. اگر از دوره اول تا زمان  $n$  مقادیر  $q_{c,1}$  تا  $q_{c,n}$  از ذخایر اولیه  $R_c$  استخراج شوند، آنگاه محدودیت ذخایر به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^n q_{c,i} \leq R_c \quad (2)$$

قید قیمت بزرگتر از صفر در هر دوره بدان معنی است که کارتل عقلایی رفتار کرده و قیمت منفی برای محصولات خود در نظر نمی‌گیرد و همچنین آنها را رایگان نمی‌فروشد. قید تولید بزرگتر از صفر در هر دوره بیانگر آن است که به طور منطقی کارتل در هر دوره مصمم است تا تولید داشته باشد. کارتل برای تعیین بهینه قیمت و میزان استخراج تابع هدف (۱) را با توجه به محدودیت‌های ذکر شده ماکزیمم می‌کند.

$$\begin{aligned} \max \Pi &= \sum_{i=1}^n \frac{(p_i * q_{c,i}) - \text{cost}(q_{c,i})}{(1+r)^{i-1}} = \sum_{i=1}^n \frac{(\phi(q_{c,i}) * q_{c,i}) - \text{cost}(q_{c,i})}{(1+r)^{i-1}} \\ s.t & \\ \sum_{i=1}^n q_{c,i} &\leq R_c \\ q_{c,i} &> 0 \quad \forall i=1,2,3,\dots,n \\ P_i = \phi(q_{c,i}) &> 0 \quad \forall i=1,2,3,\dots,n \end{aligned} \quad (3)$$

#### ب- راه حل تباری بین کارتل و گروه حاشیه‌ای

فرض کنید کارتل و گروه حاشیه‌ای با هم تباری کرده و کارتل بزرگتری ایجاد کنند. آنها قرارداد می‌کنند که اولاً مجموع سود مشترکشان را ماکزیمم کنند. ثانیاً هر کدام در هر دوره بر مبنای فروش محصولات خود سود ببرند. در این صورت این کارتل بزرگتر جوابگوی تقاضای جهانی است. در این شرایط، کارتل بزرگتر تلاش می‌کند تا مجموع ارزش حال سود انتظاری خود را با

در نظر گرفتن تابع تقاضای جهانی حداکثر کند. تابع تقاضای جهانی، هزینه تولید کارتل و هزینه تولید گروه حاشیه‌ای به ترتیب  $p_i = \psi(Q_i) = \psi(q_{s,i} + q_{c,i})$ ،  $\text{cost}(q_{s,i})$  و  $\text{cost}(q_{c,i})$  در نظر گرفته شده که  $q_{c,i}$  تولید کارتل در دوره  $i$ ام و  $q_{s,i}$  تولید گروه حاشیه‌ای در دوره  $i$ ام است. مجموع ارزش حال سود حاصل از استخراج و فروش ذخایر به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} \Pi &= \sum_{i=1}^n \frac{p_i * (q_{s,i} + q_{c,i}) - \text{cost}(q_{s,i}) - \text{cost}(q_{c,i})}{(1+r)^{i-1}} \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{\psi(q_{s,i} + q_{c,i}) * (q_{s,i} + q_{c,i}) - \text{cost}(q_{s,i}) - \text{cost}(q_{c,i})}{(1+r)^{i-1}} \end{aligned} \quad (۴)$$

تبانی بین کارتل و گروه حاشیه‌ای با محدودیت و قیدهایی روبروست. اگر در دوره اول تا دوره  $n$ ام، از ذخایر اثبات شده کارتل در ابتدای دوره اول که معادل  $R_c$  است، مقادیر  $q_{c,1}$  تا  $q_{c,n}$  استخراج شوند، آنگاه محدودیت ذخایر کارتل به صورت زیر است:

$$\sum_{i=1}^n q_{c,i} \leq R_c \quad (۵)$$

همچنین اگر در دوره اول تا دوره  $n$ ام، از ذخایر اثبات شده گروه حاشیه‌ای در ابتدای دوره اول که معادل  $R_s$  است، مقادیر  $q_{s,1}$  تا  $q_{s,n}$  استخراج شوند آنگاه محدودیت ذخایر گروه حاشیه‌ای به صورت زیر است:

$$\sum_{i=1}^n q_{s,i} \leq R_s \quad (۶)$$

همانطور که در راه حل رهبری قیمت نیز اشاره شد، قید قیمت بزرگتر از صفر در هر دوره بدان معنی است که کارتل بزرگتر عقلایی رفتار کرده و قیمت منفی برای محصولات خود در نظر نخواهد گرفت و همچنین آنها را رایگان نیز نمی‌فروشد. قید تولید بزرگتر از صفر در هر دوره برای تولید کارتل و تولید گروه حاشیه‌ای بیانگر آن است که به طور منطقی هم کارتل و هم گروه حاشیه‌ای مصمم‌اند تا در هر دوره تولید داشته باشند. بنابراین باید برای تعیین بهینه قیمت و میزان

استخراج کارتل و گروه حاشیه‌ای، تابع هدف (۴) را با توجه به محدودیت‌های ذکر شده ماکزیم نمود.

$$\max \Pi = \sum_{i=1}^n \frac{\psi(q_{s,i} + q_{c,i}) * (q_{s,i} + q_{c,i}) - \text{cost}(q_{s,i}) - \text{cost}(q_{c,i})}{(1+r)^{i-1}}$$

*s.t*

$$\sum_{i=1}^n q_{c,i} \leq R_c$$

$$\sum_{i=1}^n q_{s,i} \leq R_s \quad (7)$$

$$q_{c,i} > 0 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$q_{s,i} > 0 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$P_i = \psi(q_{s,i} + q_{c,i}) > 0 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, n$$

### ج- الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup>

در دهه هفتاد میلادی محققى به نام جان هلند<sup>۲</sup> از دانشگاه میشیگان ایده استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی‌های مهندسی مطرح کرد. این الگوریتم توسط وی و همکارانش گسترش یافت. نهایتاً در سال ۱۹۷۵ به عنوان الگوریتم ژنتیک ارائه گردید. الگوریتم برای حل مسائل از تئوری تکامل طبیعی و تنازع بقا بهره می‌برد.

ژن‌ها<sup>۳</sup> واحدهای پایه سازنده الگوریتم ژنتیک هستند. یک ژن کد دودویی<sup>۴</sup> یک متغیر است. به مجموعه ژن‌ها، کروموزوم<sup>۵</sup> گفته می‌شود. هر کروموزوم می‌تواند شامل یک یا چند ژن (متغیر) باشد. هر کروموزوم یک تابع هدف<sup>۶</sup> متناظر دارد. الگوریتم با تعداد زیادی کروموزوم تصادفی که به آنها جمعیت<sup>۷</sup> می‌گویند شروع می‌شود. تابع هدف برای همه کروموزوم‌ها محاسبه شده و سپس کروموزوم‌ها، براساس مقدار تابع هدف از بهترین‌ها به بدترین‌ها ارزش‌گذاری می‌شوند.

- 
1. Genetic Algorithm
  2. John Holland
  3. Gene
  4. Binary
  5. Chromosome
  6. Objective Function
  7. Population

کروموزوم‌ها با مقدار تابع هدف کم، حذف می‌شوند. کروموزوم‌های حذف نشده به عنوان والد<sup>۱</sup> نگه داشته می‌شوند و برای ایجاد نسل‌های جدید به اندازه کروموزوم‌های حذف شده به کار می‌روند. بنابراین بعد از هر تکرار تعداد کل کروموزوم‌ها، ثابت باقی می‌ماند. بر روی کروموزوم‌های والد، عملگرهای انتخاب<sup>۲</sup>، تقاطع<sup>۳</sup> و جهش<sup>۴</sup> انجام می‌گیرد و به تعداد کروموزوم‌های حذف شده، کروموزوم نسل جدید به وجود می‌آید. تابع هدف برای همه کروموزوم‌ها محاسبه می‌گردد و سپس ارزش گذاری می‌شوند. هنگامی که تابع هدف به حد قابل قبولی برسد (همگرا شود) الگوریتم متوقف می‌شود. این مقاله درصدد است تا مدل‌های (۳) و (۷) را از طریق الگوریتم ژنتیک حل کند.

#### ۴. کاربرد مدل

به جای گروه کارتل سازمان کشورهای صادرکننده گاز<sup>۵</sup> (GECF) و به جای گروه حاشیه‌ای کشورهای صادرکننده غیروابسته به GECF را در نظر گرفته شده است. در ادامه مسیر زمانی قیمت بهینه، مسیر زمانی استخراج بهینه و سود تنزیل شده GECF و سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای را یک بار با بکار بردن مدل رهبری قیمت توسط GECF و بار دیگر با بکار بردن مدل تبانی بین GECF و گروه حاشیه‌ای، بدست آورده شده است.

بدین منظور ارزش پارامترهای مورد نیاز در مدل (۳) و (۷) باید تعیین گردد. به همین جهت در هر دوره هزینه کل استخراج گاز را برای GECF و گروه حاشیه‌ای صفر<sup>۶</sup>  $cost(q_{s,i}) = 0$  و  $cost(q_{c,i}) = 0$ ، حجم ذخایر اثبات شده GECF و گروه حاشیه‌ای در سال ۲۰۱۰ به ترتیب برابر ۹۴۳۵۳ میلیارد مترمکعب ( $R_c$ ) و ۹۸۱۹۶ میلیارد مترمکعب ( $R_s$ )<sup>۷</sup>، طول عمر ذخایر را ۶۰ سال<sup>۸</sup>

1. Parent
2. Selection
3. Crossover
4. Mutation
5. Organization of Petroleum Export Countries

۶. داده‌های مربوط به هزینه گاز کشورها موجود نیست. از طرفی به علت اینکه گاز معمولاً کالای توأمی است که به همراه نفت استخراج می‌شود، هزینه‌های تمام شده آن بسیار پایین است. از این رو در دوره هزینه کل استخراج گاز صفر در نظر گرفته شده است.

7. The Future Role of Natural Gas (2011) and British petroleum, Energy security: an overview
8. The Future Role of Natural Gas (2011) and British Petroleum, Energy Security: an Overview

## مدل‌های رهبری قیمت و تباری در کارت‌ل گازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۶۳

( $n = 60$ ) و نرخ تنزیل ۸ درصد<sup>۱</sup> ( $r = 8\%$ ) تعیین می‌شود. همچنین برای تخمین تابع تقاضای باقیمانده GECEF باید مراحل زیر طی شود:

۱. تابع بلندمدت تقاضای جهانی گاز را تخمین زد ( $Q = \psi^{-1}(p)$ ).
۲. تابع بلندمدت عرضه گروه حاشیه‌ای را تخمین زد ( $q_s = \xi^{-1}(p)$ ).
۳. تابع بلندمدت عرضه گروه حاشیه‌ای را از تابع بلندمدت تقاضای جهانی گاز کم کرد.

$$q_c = Q - q_s = \psi^{-1}(p) - \xi^{-1}(p) = \phi^{-1}(p) \quad (۸)$$

۴. معکوس تابع (۸) را بدست آورد ( $p = \phi(q_c)$ ).

پس از طی شدن چهار مرحله فوق، تمام پارامترهای مورد نیاز مدل (۳) آماده است. برای استفاده از مدل (۷) باید  $p = \psi(Q)$  را تخمین زد. از مرحله اول آماده کردن پارامترهای مدل (۳)، تخمین  $Q = \psi^{-1}(p)$  بدست آورده شد. با معکوس کردن آن، تمام پارامترهای مورد نیاز برای تخمین مدل (۷) حاصل خواهد شد. با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌توان مدل‌های (۳) و (۷) را بهینه‌سازی کرد.

چرا از توابع بلندمدت برای تخمین مدل‌های (۳) و (۷) استفاده می‌شود؟ در پاسخ باید گفت: کارت‌ل در ابتدای تشکیل، عمر خود را شصت سال در نظر می‌گیرد. از این رو تصمیم می‌گیرد تا سود تنزیل شده شصت ساله‌اش را حداکثر کند. بنابراین کارت‌ل با در نظر گرفتن توابع بلندمدت قادر به ترسیم مسیر قیمتی بهینه و مسیر استخراج بهینه است. از طرفی تقاضای جهانی و گروه حاشیه‌ای قادرند از تصمیمات کارت‌ل خبردار شوند (یا در ابتدای تشکیل، خود کارت‌ل تصمیمات مربوط به مسیر قیمتی و مسیر استخراج را به اطلاع آنها خواهد رساند یا اینکه طرف تقاضا و گروه حاشیه‌ای به راحتی قادرند مسیر قیمتی و مسیر استخراج کارت‌ل را بدست آورند). از این رو طرف تقاضا و گروه حاشیه‌ای با آگاهی از عمل کارت‌ل، عکس‌العمل نشان داده و آنها نیز سعی می‌کنند به طور بلندمدت برنامه‌ریزی کنند.

۱. در بسیاری از مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است نرخ تنزیل ۸٪ (احمدیان (۱۳۷۳). ص ۱۴۸) یا نزدیک به ۸٪ (چاکراورتی و روماست (۱۹۹۰). ص ۳۱۶) و یا محدوده‌ای که ۸٪ را دربر می‌گیرد (پیندایک (۱۹۷۸). ص ۱۰)، در نظر گرفته شده است.

تخمین تابع تقاضای جهانی گاز، عرضه گروه حاشیه‌ای و تقاضای مانده کارتل در تعیین رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل و همچنین بررسی تأثیر تغییرات قیمت گاز بر روی مقدار تقاضای جهانی و عرضه گروه حاشیه‌ای از روش مکانیزم تصحیح خطای برداری<sup>۱</sup> (VECM) استفاده شده است. توجه به این نکته حائز اهمیت است که در تخمین توابع تقاضای جهانی گاز و عرضه گروه حاشیه‌ای، قیمت نفت ( $P_{oil}$ ) و رشد تولید ناخالص جهانی (G) به طور برونزا وارد مدل شده‌اند. داده‌ها به صورت سالانه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. برای داده‌های مربوط به قیمت گاز، از قیمت سرچاه آمریکا برحسب دلار برای هزار فوت مکعب<sup>۲</sup> استفاده شده است که از اداره اطلاعات انرژی آمریکا<sup>۳</sup> (EIA) استخراج شده است. برای تبدیل فوت مکعب به متر مکعب، داده‌ها در ۰/۰۲۸۳ ضرب شده است. داده‌های مربوط به قیمت نفت به قیمت ثابت سال پایه ۲۰۱۰ میلادی، از داده‌های انرژی سالیانه شرکت بریتیش پترولیوم<sup>۴</sup> (BP) استخراج گردیده است. رشد تولید ناخالص جهانی از داده‌های دفاتر ملی بانک جهانی<sup>۵</sup> استخراج شده است. نهایتاً تقاضای جهانی گاز که عبارتست از کل واردات گاز طبیعی جهان برحسب میلیون متر مکعب استاندارد<sup>۶</sup> و عرضه گروه حاشیه‌ای که عبارت است از مجموع صادرات گاز کشورهای غیر عضو برحسب میلیون متر مکعب استاندارد از سایت اوپک استخراج گردیده‌اند.

## ۵. بررسی مانایی متغیرها

برای انجام آزمون مربوط به VECM ابتدا باید با انجام آزمون ریشه واحد دیکي فولر تعمیم یافته (ADF) و بررسی پایایی یا ناپایایی به درجه همجمعی متغیرها پی برد.

جدول ۱. آزمون ریشه واحد دیکي فولر تعمیم یافته (ADF) روی سطح متغیرها

آزمون ریشه واحد دیکي فولر تعمیم یافته (ADF)		آزمون ریشه واحد دیکي فولر تعمیم یافته (ADF)		متغیر
روی تفاضل مرتبه اول متغیرها		روی سطح متغیرها		
احتمال	کمیت بحرانی	احتمال	کمیت بحرانی	
۰/۰۰۰۱	-۵/۵۱۳۷۹۵	۰/۹۹۷۷	۱/۲۴۹۱۱۲	Q
۰/۰۴۳۴	-۳/۰۶۰۹۱۸	۰/۱۲۰۸	-۲/۵۳۴۲۴۸	$P_{gas}$

1. Vector Error Correction Model
2. U.S. Natural Gas Wellhead Price (Dollars per Thousand Cubic Feet)
3. Energy Information Administration
4. British Petroleum
5. World Bank National Accounts Data
6. Million Standard Cubic Meters

مدل‌های رهبری قیمت و تبانی در کارتل گازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۶۵

$P_{oil}$	-۱/۹۸۵۱۲۱	۰/۲۹۱۴	-۶/۰۹۲۵۵۴	۰
G	-۴/۳۳۰۶۲۹	۰/۰۰۱۹	-	-
$q_s$	-۰/۸۳۵۳۵۵	۰/۹۹۳۰	-۴/۵۶۸۴۵۳	۰/۰۰۱۱

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

نتیجه آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته روی سطح متغیرها نشان می‌دهد که کلیه متغیرها به جز  $G$  ناپایا هستند. متغیر  $G$  در سطح ساکن است. لذا آزمون ریشه واحد بر روی تفاضل مرتبه اول متغیرهایی که در سطح ساکن نیستند، انجام می‌شود. از جدول ۱ ملاحظه می‌شود که متغیرهای ناپایا با یک بار تفاضل گیری پایا شده‌اند.

**تخمین تقاضای بلندمدت جهانی گاز و عرضه بلندمدت گروه حاشیه‌ای**

الگوهای تصحیح خطا به دلیل آنکه نوسانات کوتاه مدت متغیرها را به مقادیر تعادلی بلندمدت آنها ارتباط می‌دهند در کارهای تجربی از شهرت زیادی برخوردارند. یک الگوی تصحیح خطا نشان می‌دهد که عوامل اقتصادی در کوتاه مدت، تحت تأثیر خطای عدم تعادل دوره قبل و تغییر متغیرهای تأثیرگذار بر تقاضای جهانی و عرضه گروه حاشیه‌ای، چگونه تقاضا و عرضه خود برای گاز را تعدیل می‌کنند و به سمت مقدار تعادلی بلندمدت آن حرکت می‌نمایند. نتایج حاصل از تخمین رابطه بلندمدت تقاضای جهانی و عرضه گروه حاشیه‌ای در جداول ۲ و ۳ آمده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از رابطه بلندمدت برای تقاضای جهانی گاز

متغیر	ضرایب	آماره t
C	۵۹۳۵/۱۲۷	-
$P_{gas}$	-۹۴۶۵۰۳/۲	-۲/۰۳۲۴۶
t	۳۶۳۵۰/۰۸	۱۵/۸۵۳۴

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

نتایج نشان می‌دهد که در بلندمدت:

۱. رابطه معکوس و معناداری بین تقاضای جهانی گاز و قیمت گاز وجود دارد.
۲. رابطه مستقیم و معناداری بین تقاضای جهانی گاز و روند زمانی وجود دارد.

جدول ۳. نتایج حاصل از رابطه بلندمدت برای عرضه گروه حاشیه‌ای

متغیر	ضرایب	آماره t
C	-۳۴۹۶۵/۳۶	-
$P_{gas}$	۳۰۵۵۶۰۳	۶/۲۰۶۶۵
t	۲۷۸۴/۴۸۴	-

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

این نتایج نشان می‌دهد که در بلندمدت:

۱. رابطه مستقیم و معناداری بین عرضه گروه حاشیه‌ای و قیمت گاز وجود دارد.

۲. رابطه مستقیمی بین عرضه گروه حاشیه‌ای و روند زمانی وجود دارد.

در ادامه برای بدست آوردن تابع مانده تقاضای GECF، باید تابع عرضه بلندمدت گروه حاشیه‌ای از تابع تقاضای بلندمدت جهانی گاز کسر گردد. روابط بلندمدت در جداول ۸ و ۹ در پیوست را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$Q = ۵۹۳۵/۱۲۷ - ۹۴۶۵۰۳/۲P_{gas} + ۳۶۳۵۰/۰۸(t - ۱۹۸۰) \quad (۹)$$

$$t = ۱۹۸۰, ۱۹۸۱, ۱۹۸۲, \dots$$

$$q_s = -۳۴۹۶۵/۳۶ + ۳۰۵۵۶۰۳P_{gas} + ۲۷۸۴/۴۸۴(t - ۱۹۸۰) \quad (۱۰)$$

$$t = ۱۹۸۰, ۱۹۸۱, ۱۹۸۲, \dots$$

با کسر رابطه (۱۰) از رابطه (۹) تابع مانده تقاضای گاز GECF بدست آورده می‌شود:

$$q_c = ۴۰۹۰۰/۴۸۴ - ۴۰۰۲۱۰۶/۲P_{gas} + ۳۳۵۶۵/۵۹۵(t - ۱۹۸۰) \quad (۱۱)$$

$$t = ۱۹۸۰, ۱۹۸۱, ۱۹۸۲, \dots$$

رابطه (۱۱) نشان می‌دهد که:

۱. رابطه معکوسی بین قیمت جهانی گاز و مانده تقاضای کارتل وجود دارد.

۲. رابطه مستقیمی بین روند زمانی و مانده تقاضای کارتل وجود دارد.

از رابطه (۱۱) می‌توان تابع معکوس مانده تقاضای بلندمدت کارتل را بدست آورد:

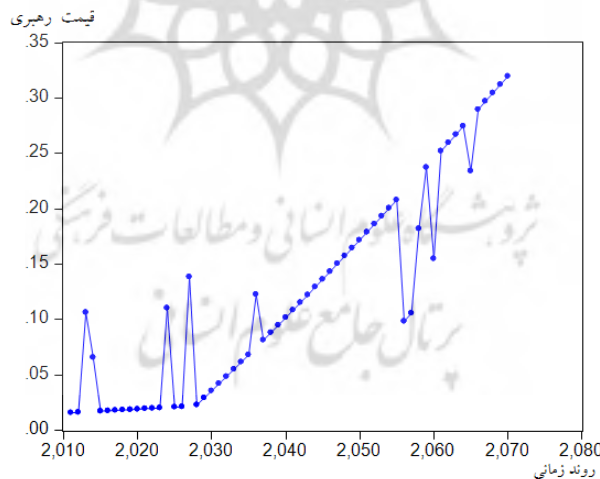
$$P_{gas} = ۰/۰۱۰۲۱۹۷۳۹ - ۰/۰۰۰۰۰۰۲۴۹۸۶۸q_c + ۰/۰۰۸۳۸۶۹۸۲۵۸۴(t - ۱۹۸۰) \quad (۱۲)$$

$$t = ۱۹۸۰, ۱۹۸۱, ۱۹۸۲, \dots$$



### ۶. رهبری قیمت GECF و پیروی گروه حاشیه‌ای

با بدست آوردن تابع تقاضای بلندمدت مانده کارت‌ل، تمام پارامترهای مورد نیاز برای حل مدل غیرخطی (۳) توسط الگوریتم ژنتیک مهیاست.<sup>۱</sup> در مدل رهبری قیمت می‌توان مسیر قیمتی، مسیر استخراج کارت‌ل، مسیر استخراج گروه حاشیه‌ای، مسیر تقاضای کل را به‌دست آورد. اگر از شکستگی‌ها در نمودار ۱ صرف نظر شود، مسیر قیمت دارای مسیری تقریباً صعودی است. این مسیر به دو قسمت تقسیم شده است که قسمت اول (۲۰۱۱ تا ۲۰۲۸) بسیار کم شیب‌تر از قسمت دوم (۲۰۲۹ تا ۲۰۷۰) است. این امر بیانگر آن است که وابستگی قیمت به زمان به صورت غیرخطی است. چون در تصریح مدل فرض شده که این وابستگی خطی است لذا الگوریتم ژنتیک نمودار را به دو قسمت خطی برآورد کرده است. با فرض اینکه بپذیریم که برآورد خطی انجام شده تقریبی نسبتاً مناسب از تابع غیرخطی است، پرشیب‌تر شدن قسمت دوم بیانگر آن است که با گذشت زمان و رسیدن به انتهای عمر منابع، ارزش ذخایر پایان‌پذیر و قیمت سایه‌ای آن با نرخ فزاینده افزایش خواهد یافت. به بیان دیگر این نتیجه حاصل می‌گردد که روند قیمت گاز نمایی است. قیمت در ابتدای تشکیل کارت‌ل در سال ۲۰۱۱، از ۰/۱۶۱۳ دلار برای هر هزار مترمکعب به ۰/۳۱۹۹۹ دلار برای هر هزار مترمکعب در سال ۲۰۷۰ خواهد رسید.



مأخذ: محاسبات پژوهشگر

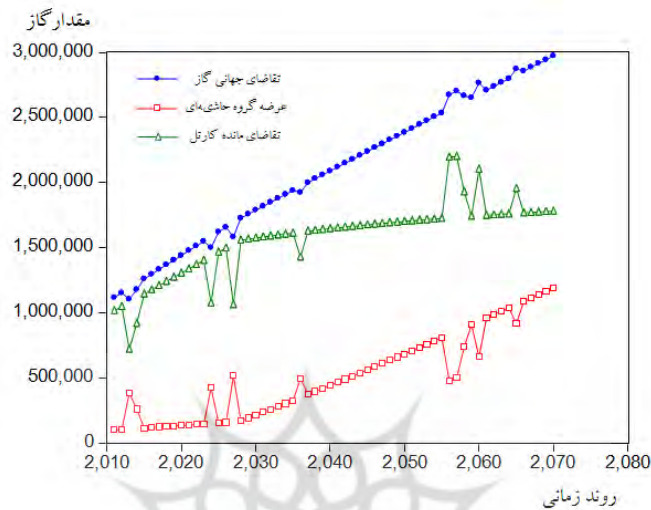
#### نمودار ۱. منحنی قیمت در مدل رهبری قیمت

۱. الگوریتم ژنتیک مدل (۳) در پیوست آورده شده است.

توابع تقاضای جهانی گاز، عرضه گروه حاشیه‌ای، تقاضای مانده گاز در مدل رهبری قیمت در نمودار ۲ رسم شده است. از آنجایی که عرضه گروه حاشیه، تابع مستقیم قیمت جهانی گاز است و قیمت گاز نیز در طی زمان به صورت نمایی افزایش می‌یابد آنگاه عرضه گروه حاشیه نیز به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به علاوه از آنجایی که تقاضای جهانی گاز در طی زمان روندی خطی دارد، عرضه کارتل که مابه‌التفاوت تقاضای جهانی گاز و عرضه گروه حاشیه‌ای است، روندی صعودی اما با نرخ کاهنده خواهد داشت. بنابراین طبیعی است که هر جا تقعر عرضه گروه حاشیه‌ای به سمت بالا باشد، تقعر تقاضای مانده GECF به سمت پایین خواهد بود. در هر دوره، استخراج GECF از استخراج گروه حاشیه‌ای بیشتر است. کارتل در ابتدای هر سال قیمتی را اعلام می‌کند که با توجه به آن سود دوره شصت ساله‌اش حداکثر شود. سپس به گروه حاشیه‌ای اجازه می‌دهد تا در قیمت تعیین شده به فروش بپردازد. سپس باقیمانده تقاضای بازار را تأمین می‌کند. مقدار استخراج کارتل و گروه حاشیه‌ای به ترتیب از  $1016881/168$  میلیون مترمکعب و  $1193408/63$  میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۱ به  $1781162/64$  میلیون مترمکعب و  $10640/934$  میلیون مترمکعب در سال ۲۰۷۰ خواهد رسید. با جایگذاری مقادیر قیمت و مقدار استخراج در تابع هدف (۳) می‌توان به سود بهینه تنزیل شده کارتل در طی شصت دوره دست یافت. سود تنزیل شده کارتل در طی شصت دوره برابر دلار  $929956989/8$  است. همچنین با توجه به قیمت کارتل و عرضه گروه حاشیه‌ای، سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای نیز برابر  $293791085/8$  دلار است. سود تنزیل شده کارتل به میزان  $636165904$  دلار بیش از سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای است. در طی این شصت دوره از  $94353000$  میلیون مترمکعب ذخایر اثبات شده کارتل، مقدار  $94352999/9981$  میلیون مترمکعب استخراج و مقدار  $0/0019$  میلیون مترمکعب باقی می‌ماند. یعنی تشکیل کارتل باعث می‌شود که در طی شصت سال تقریباً کل ذخایر کارتل فروخته شود. همچنین از  $98196000$  میلیون مترمکعب ذخایر اثبات شده گروه حاشیه‌ای، مقدار  $30872191/7$  میلیون مترمکعب فروخته و مقدار  $67323808/3$  میلیون مترمکعب باقی بماند. یعنی تشکیل کارتل سبب می‌شود که ۳۲ درصد ذخایر گروه حاشیه‌ای فروخته و ۶۸ درصد باقی بماند. بنابراین از  $192549000$  میلیون مترمکعب ذخایر اثبات شده جهان، مقدار  $125225191/7$  میلیون مترمکعب فروخته و مقدار  $67323808/3$  میلیون مترمکعب باقی می‌ماند. تشکیل کارتل باعث می‌شود ۶۵ درصد ذخایر اثبات شده جهان استخراج شود. سهم کارتل و گروه حاشیه‌ای از این مقدار به ترتیب

## مدل‌های رهبری قیمت و تبانی در کارتل گازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۶۹

برابر ۴۹ و ۱۶ درصد است. همچنین بدیهی است در صورتی که ۶۵ درصد ذخایر اثبات شده جهان مصرف شوند، ۳۵ درصد منابع باقی خواهند ماند.



مأخذ: محاسبات پژوهشگر

نمودار ۲. توابع تقاضای جهانی گاز، عرضه گروه حاشیه‌ای، تقاضای مانده گاز در مدل رهبری قیمت

### تبانی بین کارتل و گروه حاشیه‌ای

معکوس رابطه (۹) به صورت زیر است.

$$P_{gas} = 0.0063 - 0.0000010565Q + 0.0384(t - 1980)$$

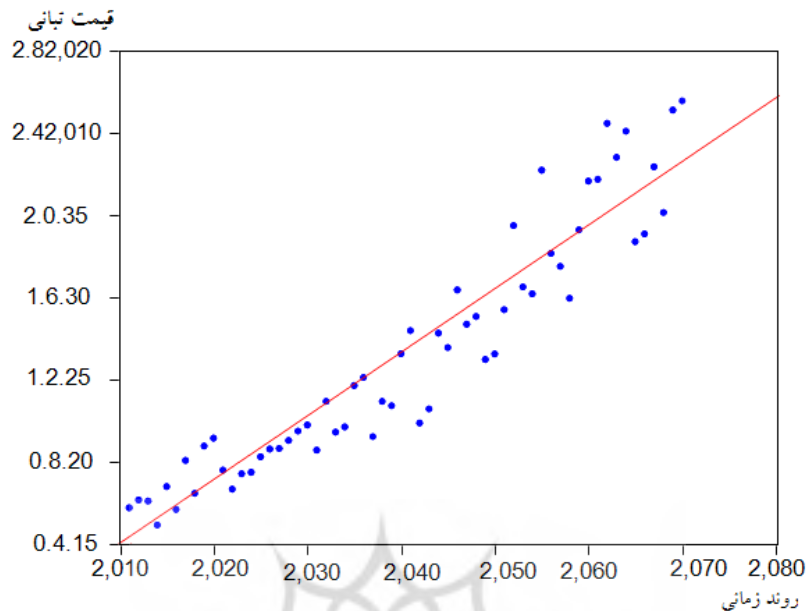
$$t = 1980, 1981, 1982, \dots$$

$$P_{gas} = 0.0063 - 0.0000010565(q_c + q_s) + 0.0384(t - 1980)$$

$$t = 1980, 1981, 1982, \dots$$
(۱۳)

اکنون تمام پارامترهای مورد نیاز برای بهینه کردن مدل (۷) توسط الگوریتم ژنتیک مهیاست.<sup>۱</sup> با جایگذاری پارامترها در مدل (۷)، مقادیر استخراج GECF و گروه حاشیه‌ای طوری بدست می‌آیند که سود حاصل از تبانی حداکثر شود.

۱. الگوریتم ژنتیک مدل (۷) در پیوست آورده شده است.

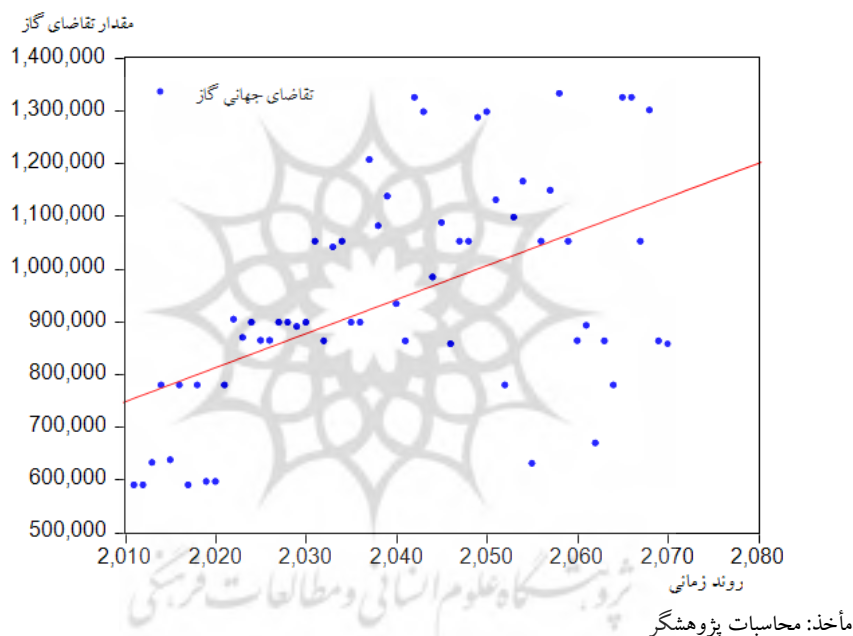


نمودار ۳. منحنی قیمت در مدل تبانی

سپس با جایگذاری در رابطه (۱۳)، قیمت تبانی مشخص می‌شود. همان‌طور که مسیر قیمتی در نمودار ۳ رسم شده است، قیمت حول یک روند مشخص نوسان می‌کند. قیمت در ابتدای تشکیل کارتل در سال ۲۰۱۱، از ۰/۵۷۳۳۶۳۹ دلار برای هر هزار مترمکعب گاز، صعودی افزایش یافته و به ۲/۵۵۶۴۵۸۶ دلار برای هر هزار مترمکعب در سال ۲۰۷۰ خواهد رسید. در تبانی، رقابت موجود بین گروه حاشیه‌ای و GECF از بین رفته و جای خود را به همکاری و تعاون در جهت حداکثر کردن منافع جمعی می‌دهد. بنابراین در نمودار ۴ تابع تقاضای جهانی گاز رسم شده است. اکنون با در دست داشتن قیمت گاز و مقادیر استخراج کارتل و گروه حاشیه‌ای، می‌توان سود کل تنزیل شده حاصل از تبانی، سود تنزیل شده کارتل و سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای را بدست آورد. سود کل تنزیل شده برابر ۹۰۲۸۵۲۸۳۳۸ دلار است. سود تنزیل شده کارتل برابر ۴۴۹۶۴۹۸۵۹۶ دلار و سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای برابر ۴۵۳۲۰۲۹۷۴۲ دلار است. ملاحظه می‌شود که در صورت تبانی، کارتل سودی به اندازه ۳۵۵۳۱۱۴۶ دلار کمتر از گروه حاشیه‌ای خواهد کرد. همچنین سهم سودهای تنزیل شده کارتل و گروه حاشیه‌ای از تبانی به ترتیب برابر ۴۹/۸ درصد و

## مدل‌های رهبری قیمت و تباری در کارت‌ل گازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۷۱

۵۰/۲ درصد است. با تباری بین کارت‌ل و گروه حاشیه‌ای، از کل ذخایر اثبات شده جهان (۱۹۲۵۴۹۰۰۰ میلیون مترمکعب)، مقدار ۶۶۱۴۷۶۵۸ میلیون مترمکعب استخراج خواهد شد. یعنی در صورت یک تباری شصت ساله بین کارت‌ل و گروه حاشیه‌ای، تا سال آخر تباری ۲۹ درصد ذخایر اثبات شده دنیا استخراج خواهد شد که مقدار ۲۷۶۳۱۸۴۱/۵۹ میلیون مترمکعب را کارت‌ل و مقدار ۲۹۱۴۳۳۹۴/۸ میلیون مترمکعب را گروه حاشیه‌ای استخراج خواهند کرد. سهم استخراج کارت‌ل از ذخایر اثبات شده‌اش و سهم استخراج گروه حاشیه‌ای از ذخایر اثبات شده‌اش به ترتیب برابر ۲۹/۳ درصد و ۲۹/۷ درصد است.



نمودار ۴. تابع تقاضای جهانی گاز در مدل تباری

## ۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش شد تا به طور پویا در یک دوره زمانی شصت ساله راه حل رهبری قیمت توسط GECF و راه حل تباری بین GECF و گروه حاشیه‌ای بررسی شود. بدین منظور ابتدا تابع تقاضای جهانی، تابع عرضه گروه حاشیه‌ای و تابع تقاضای مانده کارت‌ل تخمین زده شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که با افزایش یک دلار در قیمت گاز میزان تقاضای جهانی به میزان ۰/۹۵ تریلیارد

متر مکعب کاهش می‌یابد و به ازای همین افزایش یک دلار در قیمت عرضه گروه حاشیه به میزان ۳/۰۵ تریلیارد افزایش می‌یابد. بر همین اساس، یک دلار افزایش در قیمت موجب می‌گردد تقاضا برای گاز GECF به اندازه چهار تریلیون متر مکعب کاهش یابد. به علاوه بر طبق برآوردها، تقاضای جهانی گاز به طور متوسط در هر سال به میزان ۰/۳۶ تریلیارد متر مکعب افزایش می‌یابد و در همین حال عرضه گروه حاشیه در هر سال بطور متوسط ۰/۰۳ تریلیارد متر مکعب افزایش پیدا می‌نماید. بدین ترتیب، به طور متوسط در هر سال تقاضا برای گاز GECF به میزان ۰/۳ تریلیون متر مکعب افزایش می‌یابد. جهت دستیابی به توابع بلندمدت تقاضای کل و عرضه گروه حاشیه‌ای روش تصحیح خطا استفاده شده است. با به دست آوردن اطلاعات فوق، توانایی تخمین مدل رهبری قیمت توسط GECF با پیروی گروه حاشیه‌ای و همچنین تخمین مدل تبانی GECF با گروه حاشیه‌ای فراهم می‌شود.

بر اساس راه رهبری قیمت، کارتل در ابتدای هر سال قیمتی را اعلام می‌کند که با توجه به آن سود دوره شصت ساله‌اش حداکثر شود. سپس به گروه حاشیه‌ای اجازه می‌دهد تا در قیمت تعیین شده به عرضه گاز پردازد و سپس باقیمانده تقاضای بازار را تأمین می‌کند. بر اساس این تحلیل، نتایج مدل رهبری قیمت نشان داد که قیمت در طی دوره مورد بررسی روندی صعودی و غیرخطی خواهد داشت؛ به گونه‌ای که تا اواخر دهه ۲۰۲۰ رشد قیمت ملایم و اندک و پس از آن رشد قیمت شدت می‌گیرد. بدین ترتیب در ابتدای تشکیل کارتل در سال ۲۰۱۱، قیمت از ۰/۱۶۱۳ دلار برای هر هزار متر مکعب به ۰/۳۱۹۹۹ دلار برای هر هزار متر مکعب در سال ۲۰۷۰ خواهد رسید. در هر دوره، استخراج GECF از استخراج گروه حاشیه‌ای بیشتر است. مقدار استخراج کارتل و گروه حاشیه‌ای به ترتیب از ۱۰۱۶۸۱۱/۱۶۸ میلیون متر مکعب و ۱۰۰۶۴۰/۹۳۴ میلیون متر مکعب در سال ۲۰۱۱ به ۱۷۸۱۱۶۲/۶۴ میلیون متر مکعب و ۱۱۹۳۴۰۸/۶۳ میلیون متر مکعب در سال ۲۰۷۰ خواهد رسید. با جایگذاری مقادیر قیمت و مقدار استخراج در تابع هدف کارتل، سود بهینه تنزیل شده در طی شصت دوره بدست آمده است. سود تنزیل شده کارتل در طی شصت دوره برابر ۹۲۹۹۵۶۹۸۹/۸ دلار است. همچنین با توجه به قیمت کارتل و عرضه گروه حاشیه‌ای، سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای نیز برابر ۲۹۳۷۹۱۰۸۵/۸ دلار است. سود تنزیل شده کارتل به میزان ۶۳۶۱۶۵۹۰۴ دلار بیش از سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای است.

## مدل‌های رهبری قیمت و تباری در کارت‌ل گازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۷۳

بر اساس راه حل تباری کارت‌ل به تنهایی سود تنزیل شده خود را حداکثر نمی‌کند، بلکه در ائتلافی که با گروه حاشیه تشکیل می‌دهد به حداکثرسازی سود مشترک پرداخته و در این راستا میزان تولید هر یک در هر دوره تعیین می‌گردد. نتایج مدل تباری نشان داد با تشکیل چنین کارت‌ل دو لایه‌ای، روند افزایش قیمت به مراتب شدیدتر ولی هموارتر خواهد بود که نتیجه منطقی چنین ائتلافی است. بر این اساس قیمت در ابتدای تشکیل کارت‌ل دو لایه در سال ۲۰۱۱، از ۰/۵۷۳۳۶۳۹ دلار برای هر هزار مترمکعب گاز، افزایش یافته و به ۲/۵۵۶۴۵۸۶ دلار برای هر هزار مترمکعب در سال ۲۰۷۰ خواهد رسید. با در دست داشتن قیمت گاز و مقادیر استخراج کارت‌ل و گروه حاشیه‌ای، می‌توان سود کل تنزیل شده حاصل از تباری، سود تنزیل شده کارت‌ل و سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای را بدست آورد. سود کل تنزیل شده برابر ۹۰۲۸۵۲۸۳۳۸ دلار است. سود تنزیل شده کارت‌ل برابر ۴۴۹۶۴۹۸۵۹۶ دلار و سود تنزیل شده گروه حاشیه‌ای برابر ۴۵۳۲۰۲۹۷۴۲ دلار است. ملاحظه می‌شود که در صورت تباری، کارت‌ل سودی به اندازه ۳۵۵۳۱۱۴۶ دلار کمتر از گروه حاشیه‌ای خواهد کرد. همچنین سهم سودهای تنزیل شده کارت‌ل و گروه حاشیه‌ای از تباری به ترتیب برابر ۴۹/۸ درصد و ۵۰/۲ درصد است. با تباری بین کارت‌ل و گروه حاشیه‌ای، از کل ذخایر اثبات شده جهان (۱۹۲۵۴۹۰۰۰ میلیون مترمکعب)، مقدار ۶۶۱۴۷۶۵۸ میلیون مترمکعب استخراج خواهد شد. یعنی در صورت یک تباری شصت ساله بین کارت‌ل و گروه حاشیه‌ای، تا سال آخر تباری ۲۹ درصد ذخایر اثبات شده دنیا استخراج خواهد شد که مقدار ۲۷۶۶۳۱۸۴۱/۵۹ میلیون مترمکعب را کارت‌ل و مقدار ۲۹۱۴۳۳۹۴/۸ میلیون مترمکعب را گروه حاشیه‌ای استخراج خواهند کرد. سهم استخراج کارت‌ل از ذخایر اثبات شده‌اش و سهم استخراج گروه حاشیه‌ای از ذخایر اثبات شده‌اش به ترتیب برابر ۲۹/۳ درصد و ۲۹/۷ درصد است.

در نهایت لازم به ذکر است که تمامی کمیت‌های به دست آمده در مطالعه بر اساس مفروضاتی همچون قیمت و تولید اولیه، زمان تشکیل کارت‌ل، ذخایر اثبات شده، نرخ تنزیل و... حاصل شده‌اند و با تغییر در هر کدام از آنها این کمیت‌ها نیز تغییر خواهند یافت. لیکن این تغییر در کمیت‌ها تأثیر معناداری بر تحلیل‌ها و روندهای کلی بدست آمده از مطالعه نخواهد گذاشت و این تحلیل‌ها همچنان قابل استنادند. تحلیل‌ها و نتایجی از قبیل اینکه با تشکیل کارت‌ل:

- طول عمر ذخایر افزایش می‌یابد.

- عرضه باثبات‌تر می‌گردد.

- قیمت در مقایسه با وضعیت بدون کارتل سریع تر افزایش می یابد.
- با تشکیل کارتل دو لایه تمامی نتایج فوق تقویت می گردند.

## منابع

### الف - فارسی

- احمدیان، مجید (۱۳۷۳)، *نظریه بازار و کاربرد آن برای منابع انرژی پایان پذیر*، تهران. مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی.
- ذاکری فر، رزم آرا، جدید، شهرام و لادن هاشمی تهرانی (۱۳۸۸)، «بهینه سازی همزمان انرژی و ذخیره در بازارهای برق با مشارکت سمت تقاضا در ارائه خدمات ذخیره»، *نشریه انرژی ایران*، شماره ۲۹، صفحات ۲۸-۱.
- صادقی، حسین، ذوالفقاری، مهدی و محمد حیدری زاده (۱۳۸۸)، «تخمین تابع تقاضای بنزین در بخش حمل و نقل با استفاده از الگوریتم ژنتیک»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۲۱، صفحات ۲۷-۱.
- قنبری، علی، خضری، محمد و آرش اعظمی (۱۳۸۷)، «شبیه سازی تابع تقاضای بنزین و نفت گاز در حمل و نقل زمینی ایران با استفاده از الگوریتم ژنتیک»، *فصلنامه اقتصاد مقداری*، شماره ۴، صفحات ۱۷۷-۱۵۷.
- محمدی اردهالی، مرتضی و امیر ادهم (۱۳۸۷)، «مدل سازی سیاستگذاری انرژی با ملاحظات فنی، اقتصادی و اجتماعی: بکارگیری الگوریتم ژنتیکی مرتب سازی جواب های نامغلوب نخبه گرا در مطالعه موردی موضوع تخصیص منابع»، *مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۱۶، صفحات ۱۱۰-۸۱.

### ب - انگلیسی

- Azadeh, A. and S. Tarverdian (2007), "Integration of Genetic Algorithm, Computer Simulation and Design of Experiments for Forecasting Electrical Energy Consumption", *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 5229-5241.
- Brémond, V., Hache, E. and V. Mignon (2012), "Does OPEC Still Exist As a Cartel? An Empirical Investigation", *Energy Economics*, Vol. 34. pp. 125-131.



- Canyurt, O. and H. K. Ozturk (2008), "Application of Genetic Algorithm (GA) Technique on Demand Estimation of Fossil Fuels in Turkey", *Energy Policy*, Vol. 36, pp. 2562-2569.
- Canyurt, O. E. and H. K. Ozturk (2006), "Three Different Applications of Genetic Algorithm (GA) Search Techniques on Oil Demand Estimation", *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, pp. 3138-3148.
- Ceylan, H. and H. K. Ozturk (2004), "Estimating Energy Demand of Turkey Based on Economic Indicators Using Genetic Algorithm Approach", *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp. 2525-2537.
- Chakravorty, U. and J. Roumasset (1990), "Competitive Oil Scarcity Rents When the Extaction Cost Function Is Convex", *Resources and Energy*, No. 12, pp. 311-320.
- Cynthia Lin, C. Y. (2011), "Estimating Supply and Demand in the World Oil Market", *The Journal of Energy and Development*, Vol. 34, pp.1-32.
- Greene, D. L. (1991), "A Note on OPEC Market Power and Oil Prices", *Energy Economics*, Vol. 13. pp. 123-129.
- Groot, F., Withagen, C. and A. Zeeuw (2000), "Open-loop Von Stackelberg Equilibrium in the Cartel-vs.-Fringe Model", *Energy Economics*, Vol. 22. pp. 209-223.
- Haldenbilen, S. and H. Ceylan (2005), "Genetic Algorithm Approach to Estimate Transport Energy Demand in Turkey", *Fuel and Energy*, Vol. 46, pp. 193-204.
- Holland, J. H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Li, H., and S. Lin (2011), "Do Emerging Markets Matter in the World Oil Pricing System? Evidence of Imported Crude by China and India", *Energy Policy*, No. 39, pp. 4624-4630.
- Marquez, J. (1986), "The International Transmission of Oil-Price Effects and OPEC's Pricing Policy", *Journal of Economics and Business*, Vol. 38, pp. 237-253.
- Ozturk, H. K., Ceylan, H., Hepbasli, A. and Z. Utlu (2004), "Estimating Petroleum Energy Production and Consumption Using Vehicle Ownership and GDP Based on Genetic Algorithm Approach", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 8, pp. 289-302.
- Ozturk, H. K., Hamzaçebi, C. and Y. S. Murat (2004), "Residential-Commercial Energy Input Estimation Based on Genetic Algorithm (GA) Approaches: An Application of Turkey", *Energy and Buildings*, Vol. 36, pp. 175-183.
- Pai, P. and W. Hong (2005), "Forecasting Regional Electricity Load Based on Recurrent Support Vector Machines with Genetic Algorithm", *Electric Power System Research*, Vol. 74, pp. 417-425.

- Pindyck, R. S. (1978), "Gains to Producers from the Cartelization of Exhaustible Resources", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 60, pp.238-251.
- Willman, E., Lowinger, T. and C. Wihlborg (1985), "OPEC in World Financial Markets: Oil Prices and Interest Rates", *Journal of International Money and Finance*, Vol. 4, pp. 253-266.



الف - برنامه بهینه یابی مدل رهبری قیمت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

```
function f = mh_leadership(x)
f=0;
for i=1:60
f=f+((0.010219739+0.008386982584*(i+30))/(1+.08)^(i-1))*x(i)-
(0.000000259868/(1+.08)^(i-1))*(x(i)^2);
end
f=-f;
function [o,pmax,xmax,fvalmax]=leadership()
n=60;
a=0.010219739;
b=0.000000259868;
c=0.008386982584;
g=((a+c*(31:n+30))/b);
g=g';
[x,fval,exitflag,output]=ga(@leadership_fun,n,[],[],ones(1,n),94353000,zeros(1,n),g,
[]);
    fvalmax=fval;
    xmax=x;
    exitflagmax=exitflag;
    outputmax=output;
    for i=1:100
        for j=1:1000
            [x,fval,exitflag,output]=ga(@
mh_fun,n,[],[],ones(1,n),94353000,zeros(1,n),g,[]);
            if fval<fvalmax
                fvalmax=fval;
                xmax=x;
                exitflagmax=exitflag;
                outputmax=output;
            end
        end
    end
    for i=1:n
        pmax(i)=a-b*xmax(i)+c*(i+30);
    end
    %p=price
    o=94353000-sum(xmax',1);
    %o= zarfiate baghimande
    fvalmax=-fvalmax;
```

ب- برنامه بهینه‌یابی مدل تباری با استفاده از الگوریتم ژنتیک

```

function f= collusion_fun(x)
f=0;
for i=1:60
    f=f+((0.0063+0.0384*(i+30))/(1+.08)^(i-1))*(x(i)+x(i+60))-
    (0.0000010565/(1+.08)^(i-1))*(x(i)+x(i+60))^2);
end
f=-f;

function [xmax,fvalmax]=collusion()
n=60;
RC=94353000;
RS=98196000;
A=zeros(n+2,2*n);
for i=1:n
    A(i,i)=1;
    A(i,i+n)=1;
end
A(n+1,:)=1;
A(n+2,:)=1;
a=(0.0063+0.0384*(31:n+30))/0.0000010565;
a=a';
b=[a;RC;RS];
[x,fval,exitflag,output]=ga(@ collusion_fun,2*n,A,b,[],[],zeros(1,2*n),[]);
    fvalmax=fval;
    xmax=x;
    exitflagmax=exitflag;
    outputmax=output;
for i=1:100
    for j=1:1000
        [x,fval,exitflag,output]=ga(@ collusion_fun,2*n,A,b,[],[],zeros(1,2*n),[]);
        if fval<fvalmax
            fvalmax=fval;
            xmax=x;
            exitflagmax=exitflag;
            outputmax=output;
        end
    end
end
end
fvalmax=-fvalmax;

```

ج- تعیین طول وقفه بهینه

برای تعیین وقفه بهینه الگوی VAR، معیارهای بیزین-شوارتز و آکایک (AIC) و حنان-کوین (HQ) بکار برده می‌شوند. جداول زیر نتایج این آزمون را نشان می‌دهد.

جدول ۴. آزمون تعیین وقفه بهینه برای تابع تقاضای جهانی

SC	AIC	HQ	
۲۳/۲۰۳۸۲	۲۲/۹۱۵۸۵	۲۳/۰۰۱۴۸	۰
۱۹/۳۰۵۴۲*	۱۸/۸۲۵۴۸	۱۸/۹۶۸۱۹*	۱
۱۹/۴۶۱۱۴	۱۸/۷۸۹۲۲*	۱۸/۹۸۹۰۲	۲
۱۹/۹۰۲۱۰	۱۹/۰۳۸۲۱	۱۹/۲۹۵۰۹	۳
۲۰/۱۵۵۹۳	۱۹/۱۰۰۰۶	۱۹/۴۱۱۴۰۳	۴

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

جدول ۵. آزمون تعیین وقفه بهینه برای تابع عرضه گروه حاشیه‌ای

SC	AIC	HQ	
۲۱/۸۶۳۲۸	۲۱/۵۷۵۳۲	۲۱/۶۶۰۹۴	۰
۱۷/۷۹۰۱۰	۱۷/۳۱۰۱۶	۱۷/۴۵۸۷	۱
۱۷/۷۸۲۷۶*	۱۷/۱۱۰۸۵	۱۷/۳۱۰۶۴*	۲
۱۸/۱۶۶۳۸	۱۷/۳۰۲۴۹	۱۷/۵۵۹۳۷	۳
۱۸/۱۱۶۹۰	۱۷/۰۶۱۰۳*	۱۷/۳۷۵۰۰	۴

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

با ملاحظه جداول فوق مشخص می‌شود که براساس معیار بیزین-شوارتز، طول وقفه مناسب برای مدل تقاضای جهانی یک و برای مدل عرضه گروه حاشیه‌ای برابر دو است. آخرین مرحله قبل از برآورد الگو، تعیین بردارهای همجمعی است که به وسیله آزمون حداکثر مقدار ویژه و آزمون اثر انجام می‌پذیرد.

جدول ۶. آزمون همجمعی تابع تقاضای جهانی گاز براساس آزمون اثر

احتمال	مقدار بحرانی	آزمون اثر	مقدار ویژه	فرضیه صفر
۰/۰۰۳۹	۲۵/۸۷۲۱۱	۳۳/۹۷۹۸۶	۰/۵۳۲۷۹۵	$r = 0$
۰/۰۸۳۷	۱۲/۵۱۷۹۸	۱۱/۱۵۰۲۵	۰/۳۱۰۴۲۲	$r \leq 1$

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

جدول ۷. آزمون همجمعی تابع تقاضای جهانی گاز براساس آزمون حداکثر مقدار ویژه

احتمال	مقدار بحرانی	آزمون حداکثر مقدار ویژه	مقدار ویژه	فرضیه صفر
۰/۰۱۵۲	۱۹/۳۸۷۰۴	۲۲/۸۲۹۶۱	۰/۵۳۲۷۹۵	$r = 0$
۰/۰۸۳۷	۱۲/۵۱۷۹۸	۱۱/۱۵۰۲۵	۰/۳۱۰۴۲۲	$r \leq 1$

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

جدول ۸. آزمون همجمعی تابع عرضه گروه حاشیه‌ای براساس آزمون اثر

احتمال	مقدار بحرانی	آزمون اثر	مقدار ویژه	فرضیه صفر
۰/۰۰۱۹	۱۸/۳۹۷۱	۲۷/۷۶۱۶۵	۰/۵۶۷۳۰۳	$r = 0$
۰/۰۶۲۶	۳/۸۴۱۴۶۶	۳/۴۶۷۸۱۸	۰/۱۱۲۷۰۷	$r \leq 1$

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

جدول ۹. آزمون همجمعی تابع عرضه گروه حاشیه‌ای براساس آزمون حداکثر مقدار ویژه

احتمال	مقدار بحرانی	آزمون حداکثر مقدار ویژه	مقدار ویژه	فرضیه صفر
۰/۰۰۳۹	۱۷/۱۴۷۶۹	۲۴/۲۹۳۸۳	۰/۵۶۷۳۰۳	$r = 0$
۰/۰۶۲۶	۳/۸۴۱۴۶۶	۳/۴۶۷۸۱۸	۰/۱۱۲۷۰۷	$r \leq 1$

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

براساس اطلاعات مندرج در جداول ۶ و ۷، وجود یک بردار همجمعی پذیرفته می‌شود که نشان‌دهنده رابطه بلندمدتی است که بین قیمت گاز و تقاضای جهانی برقرار است. همچنین با توجه به جداول ۸ و ۹، یک رابطه بلندمدت بین قیمت گاز و عرضه گروه حاشیه‌ای برقرار است.

مدل‌های رهبری قیمت و تباری در کارتل گازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۸۱

جدول ۱۰. قیمت، استخراج کارتل، استخراج گروه حاشیه‌ای، تقاضای کل در مدل رهبری قیمت

year	p leadership	q cartel	q fringe	Q total	year	p leadership	q cartel	q finge	Q total
2011	0.016130135	1016881.168	100640.934	1117522.102	2041	0.108725299	1653274.44	467109.514	2120383.953
2012	0.016481901	1049039.014	104500.275	1153539.289	2042	0.115606237	1659301.8	490919.411	2150221.213
2013	0.106595102	721961.4436	382634.926	1104596.37	2043	0.122524658	1665179.15	514843.844	2180022.994
2014	0.065860301	918552.3775	260950.031	1179502.408	2044	0.129479485	1670910.8	538879.518	2209790.318
2015	0.017536697	1145514.563	116076.763	1261591.326	2045	0.136469533	1676501.49	563022.814	2239524.303
2016	0.017888307	1177673.031	119935.629	1297608.66	2046	0.143493593	1681956.06	587270.037	2269226.096
2017	0.018239994	1209831.194	123794.728	1333625.922	2047	0.150551052	1687276.96	611619.315	2298896.276
2018	0.018591641	1241989.515	127653.706	1369643.221	2048	0.157640431	1692470.12	636066.125	2328536.245
2019	0.018943289	1274147.832	131512.688	1405660.52	2049	0.164760872	1697538.96	660607.851	2358146.813
2020	0.019295187	1306305.149	135372.432	1441677.581	2050	0.171911429	1702487.28	685241.598	2387728.875
2021	0.019646586	1338464.466	139230.65	1477695.116	2051	0.179090826	1707320.17	709963.471	2417283.64
2022	0.019998234	1370622.783	143089.632	1513712.415	2052	0.186298957	1712038.07	734773.141	2446811.208
2023	0.020349882	1402781.1	146948.613	1549729.713	2053	0.19353423	1716647.34	759665.746	2476313.086
2024	0.110463236	1075702.916	425083.733	1500786.649	2054	0.200795992	1721150.6	784639.291	2505789.892
2025	0.021052875	1467098.951	154665.647	1621764.598	2055	0.208083372	1725551.34	809691.114	2535242.45
2026	0.021404827	1499256.05	158525.558	1657781.608	2056	0.098591552	2197315.64	477912.067	2675227.702
2027	0.138560558	1063951.218	519291.443	1583242.661	2057	0.105927915	2201520.33	503113.563	2704633.897
2028	0.023194691	1559224.119	169563.639	1728787.758	2058	0.182227419	1929726.74	739039.041	2668765.782
2029	0.029490236	1567594.289	191584.809	1759179.098	2059	0.237474067	1742189.06	910635.346	2652824.408
2030	0.035835522	1575765.387	213757.97	1789523.357	2060	0.155116654	2105358.4	661768.273	2767126.669
2031	0.042230269	1583738.54	236082.261	1819820.801	2061	0.252303827	1749969.99	961518.174	2711488.164
2032	0.04867407	1591515.373	258556.443	1850071.816	2062	0.259750124	1753734.72	987055.587	2740790.305
2033	0.055166135	1599099.049	281178.099	1880277.148	2063	0.267216349	1757419.7	1012653.89	2770073.585
2034	0.061705638	1606492.87	303944.709	1910437.579	2064	0.274702036	1761026.78	1038311.66	2799338.443
2035	0.068291861	1613699.712	326854.077	1940553.789	2065	0.234342156	1956117.24	917772.376	2873889.615
2036	0.122787814	1429166.397	496156.558	1925322.955	2066	0.289729212	1768017.63	1089797.71	2857815.344
2037	0.081599449	1627572.549	373085.748	2000658.297	2067	0.297269717	1771405.33	1115622.99	2887028.316
2038	0.088318978	1634245.885	396402.446	2030648.331	2068	0.304827268	1774724.81	1141500.35	2916225.155
2039	0.095080488	1640751.21	419847.421	2060598.631	2069	0.312401927	1777975.82	1167429.98	2945405.801
2040	0.101882996	1647092.456	443417.669	2090510.125	2070	0.319992625	1781162.64	1193408.63	2974571.265

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

جدول ۱۱. قیمت، استخراج کارتل، استخراج گروه حاشیه‌ای، تقاضای جهانی در مدل تبانی

year	p collusion	q cartel	q fringe	Q cartel	year	p collusion	q cartel	q fringe	Q cartel
2011	0.5733639	295000	295001.063	590001.063	2050	1.3234791	1002509.282	295002.25	1297511.532
2012	0.6117626	295000.75	295001.5	590002.25	2051	1.5384422	562398.0624	567992.657	1130390.72
2013	0.6056927	295003.88	337090.139	632094.014	2052	1.9481115	295002	483974.326	778976.3263
2014	0.4889151	295000.31	483972.576	778972.889	2053	1.6498796	295002.75	802602.934	1097605.684
2015	0.6769994	335969.64	301323.852	637293.496	2054	1.6163604	603282.9598	562395.812	1165678.772
2016	0.5657144	483973.33	295000.25	778973.576	2055	2.2196782	329649.2922	301322.602	630971.8941
2017	0.8037604	295000.75	295003.563	590004.313	2056	1.813295	295003	756965.733	1051968.733
2018	0.6425138	483973.83	295000.313	778974.139	2057	1.7496722	580541.1783	567994.407	1148535.585
2019	0.8738804	295002.25	301324.852	596327.102	2058	1.5940705	1002510.782	329651.542	1332162.324
2020	0.9122823	301323.35	295002	596325.352	2059	1.9284966	295001	756966.233	1051967.233
2021	0.7577118	483974.33	295001.688	778976.014	2060	2.1662352	568286.9451	295002	863288.9451
2022	0.6640628	335969.64	567993.657	903963.301	2061	2.1742543	295001.5625	597043.605	892045.1671
2023	0.739069	301322.1	567992.657	869314.759	2062	2.4479996	295002.5	374283.283	669285.7831
2024	0.746775	603366.21	295001	898367.207	2063	2.2817425	295003.5	567994.595	862998.0946
2025	0.8217804	568719.16	295000.25	863719.414	2064	2.4089128	483973.5763	295001.5	778975.0763
2026	0.8601791	295001	568719.664	863720.664	2065	1.8704801	756964.7335	567994.907	1324959.641
2027	0.8620615	603366.21	295002.375	898285.335	2066	1.9088791	567993.6571	756966.983	1324960.641
2028	0.900375	603366.71	295000.5	898367.207	2067	2.2356979	295001	756964.983	1051965.983
2029	0.9470102	434910.97	455661.462	890572.432	2068	2.0115227	969649.7557	330849.332	1300499.088
2030	0.9771716	603367.71	295002.75	898370.457	2069	2.5121464	295002	567992.407	862994.4071
2031	0.8532977	295001	756965.233	1051966.23	2070	2.5564586	562397.3124	295001.063	857398.3749

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی