فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران/ سال چهاردهم/ شماره ۴۲/ بهار ۱۳۸۹/ صفحات ۱۴۹-۱۶۷

# آزمون پایداری رشد در مورد منابع تجدید ناپذیر (بازبینی مدل هتلینگ) مطالعه موردی نفت اوپک

دکتر علی امامی میبدی*
احسان ا... حق‌دوست**
جواد پاکدین***

تاریخ ارسال: ۸۷/۷/۲ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۲۹

*افزایش روز افزون مصرف نفت در جهان، به ویژه افزایش چشمگیر مصرف این منبع پایان‌پذیر در کشورهای در حال توسعه، نفت را به یک کالای استراتژیک در جهان تبدیل کرده‌است. با در نظر گرفتن این مسائل، شناخت عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضا در بازار نفت و بررسی روند قیمت در این بازار از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، مدل هتلینگ در زمینهٔ استخراج بهینه منابع تجدیدناپذیر را با در نظر گرفتن اثرات ذخیره و پیشرفت تکنولوژی مورد بررسی مجدد قرار داده‌ایم. توابع هزینه و تقاضا برای منبع تجدیدناپذیر به شکلی فرض‌شده تا حل مسأله هتلینگ به شرایط رشد پایدار در یک سیستم معادلات همزمان عرضه و تقاضا منجر شود. در این پژوهش، از داده‌های نفت اوپک در دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ برای آزمون مدل استفاده کرده و توابع عرضه و تقاضا را در یک سیستم معادلات همزمان به روش 3SLS برآورد کرده‌ایم. نتایج برآورد معادلات با استفاده از اطلاعات قیمتی نفت اپک -که نشان می‌دهد نرخ رشد قیمت بازاری نفت در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی صفر بوده است- با نتایج نظریهکی پیش‌بینی شده توسط مدل سازگار است.*

**طبقه‌بندی JEL**: L72, Q31, Q38.
**واژگان کلیدی:** نظریه هتلینگ، قیمت نفت، منابع تجدیدناپذیر، اثر تکنولوژی.

* عضو هیأت علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی emami@atu.ac.ir
** کارشناسی ارشد اقتصاد محیط زیست دانشگاه علامه طباطبایی ehsaneconomy@gmail.com
*** کارشناسی ارشد اقتصاد محیط زیست دانشگاه تهران jpakdin@ut.ac.ir

**مقدمه**

از آنجایی که کشورهای در حال توسعه امروزه یکی از مصرف‌کنندگان اصلی انرژی در جهان محسوب می‌شوند، تعیین عوامل مؤثر بر قیمت‌های انرژی در آینده بسیار مهم است. همچنین، بسیاری از کشورهای در حال توسعه به منظور تأمین منابع ارزی خود به شدت به صادرات منابع انرژی‌شان وابسته هستند. سیاست‌های دولت‌های صادرکننده انرژی تعیین می‌کند که چه میزان از منابع استخراج‌شده و چه میزان برای آینده حفظ شود. سیاست‌های نادرست این دولت‌ها در استخراج منابع می‌تواند ثروت ارزشمند این کشورها را به هدر دهد.

بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه سه برابر شده و به ۲۷ درصد کل مصرف جهان رسیده است. بر اساس پیش‌بینی‌ها، مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه، بازارهای انرژی سراسر جهان را در چند دهه آتی در اختیار خواهند گرفت.

با در نظر گرفتن این مسائل، شناخت عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضا در بازار نفت و بررسی روند قیمت در این بازار از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. رویکرد اصلی در این پژوهش، استفاده از نظریه اساسی هتلینگ در زمینه منابع پایان‌پذیر برای بررسی روند قیمت‌های نفت اوپک است.

از آنجا که اساسی‌ترین نظریه موجود در زمینه قیمت و استخراج منابع طبیعی نظریه هتلینگ بوده و از سوی دیگر، این نظریه در مواردی با مشاهدات جهان خارج همخوانی ندارد، در این پژوهش تلاش نموده‌ایم با تعمیم این نظریه، نتایجی ملموس‌تر و مطابق بر مشاهدات عینی ارائه دهیم. در واقع، در این پژوهش با در نظرگرفتن اثر ذخیره و تکنولوژی –که هتلینگ در نظریه خود در نظر نگرفته است- مدل هتلینگ را مورد نقد و بازبینی قرار داده‌ایم.

نظریه هتلینگ قیمت سایه‌ای[1] یک منبع خاص را پیش‌بینی می‌کند. این قیمت مساوی قیمت منبع منهای هزینه نهایی استخراج است. قیمت سایه‌ای یک منبع همچنین، نشان‌دهنده رانت کمیابی[2] منبع است.

قانون هتلینگ بیان می‌کند که تولیدکننده همواره با در نظرگرفتن نرخ رشد قیمت بازاری منبع و مقایسه آن با نرخ بهره به تولید و استخراج از یک منبع پایان‌پذیر می‌پردازد (هتلینگ[3]، ۱۹۳۱). در این قانون با فرض ثابت‌بودن هزینه نهایی استخراج و عدم تغییر تکنولوژی در طول زمان می‌توان نتیجه گرفت که قیمت یک منبع خاص دارای یک روند افزایشی است، در حالی که قیمت‌های جهانی منابع پایان‌پذیر معمولاً از این جریان تبعیت نمی‌کنند. چنان که مطالعات تجربی گذشته نشان داده است، قیمت منابع پایان‌پذیر در طول زمان دارای یک روند ثابت و معین همراه با شکست‌های ساختاری کم بوده است. در واقع، هرچند در دوره مورد بررسی روند قیمت نفت دارای برخی شکست‌های ساختاری و نوساناتی بوده است، اما همان طور که ذکر شد هدف اصلی این پژوهش بررسی و اثبات فرضیه ثابت‌بودن نرخ رشد قیمت نفت است. بدین معنا که هرچند در دوره مورد بررسی در برخی مواقع نوسانات قیمتی وجودداشته، اما این تکانه‌های قیمتی در کل دوره همدیگر را خنثی کرده‌اند. این مسأله

1. Shadow Price 2. Scarcity Rent 3. Hotelling

در چندین مطالعه برای انواع منابع پایان‌پذیر از جمله نفت مورد بررسی و اثبات قرار گرفته است. به عنوان مثال، بارنت و مورس[1] (۱۹۶۳) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که روند قیمت سبدی از منابع پایان‌پذیر از یک روند ایستا در بلندمدت برخوردار بوده است (برای مطالعه بیشتر مراجعه کنید به کراتکرامر[2] (۱۹۹۸)، لین[3] (۲۰۰۶) و استرازیچیچ[4] (۲۰۰۶)). به دلایل مختلفی می‌توان گفت که قانون هتلینگ راهنمای کاملی برای بررسی رفتار واقعی قیمت نفت نمی‌باشد. دو دلیل ممکن برای این امر، عدم در نظرگرفتن اثر ذخیره و تغییرات تکنولوژیکی است. استخراج تجمعی از یک منبع که به عنوان شاخص اثر ذخیره شناخته می‌شود، در طول زمان باعث افزایش هزینه استخراج‌شده و در مقابل، تغییرات تکنولوژیکی هزینه استخراج را کاهش می‌دهد.

اسلید[5] (۱۹۸۲) در مدل خود اثر هر دو پدیدهٔ تغییرات تکنولوژی و ذخیره را در توضیح روند U شکل قیمت نشان داده است. در این پژوهش مدل اسلید به وسیله برآورد توابع عرضه و تقاضا بسط داده‌شده و با در نظر گرفتن شرایط ایستا[6] به حل مدل هتلینگ می‌پردازیم؛ بدین مفهوم که با ترکیب‌کردن اثر ذخیره و تغییرات تکنولوژیکی، مدل هتلینگ را به‌گونه‌ای توسعه می‌دهیم که ثابت‌بودن رشد قیمت منابع را در یک دوره زمانی بلندمدت در نظر داشته باشد. فرضیه اصلی این پژوهش، ثابت‌بودن نرخ رشد قیمت نفت اوپک در یک دوره زمانی مشخص است که با توجه به در نظر نگرفتن اثرات ذخیره و تکنولوژی در مدل هتلینگ، بر اساس مدل اسلید (۱۹۸۲) به بررسی صحت آن پرداخته‌ایم. این مدل بر روی داده‌های سالانه نفت خام اوپک در دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ را برآورد کرده و آزمون قضایای اصلی مدل جدید را مورد بررسی قرار داده‌ایم.

## ۱. مروری بر مطالعات پیشین

در مدل ساده هتلینگ این فرض اساسی وجود دارد که هزینه استخراج یک منبع خاص به استخراج تجمعی آن منبع بستگی ندارد. به بیان دیگر، می‌توان گفت فرض اصلی هتلینگ این است که هزینه نهایی استخراج به هیچ کدام از مقادیر نرخ استخراج و ذخیره باقی‌مانده بستگی ندارد. بسیاری از مطالعات گذشته بر اساس این‌گونه فرضیات بناشده، در حالی که تعداد اندکی از مطالعات صورت گرفته فرض کرده‌اند که هزینه نهایی استخراج یک منبع پایان‌پذیر تابعی صعودی از استخراج است، اما در عین حال از میزان ذخیره باقی‌مانده مستقل است (به عنوان مثال نگاه کنید به سوینی[7]، ۱۹۹۳).

امامی میبدی (۱۳۸۵) در پژوهشی با بررسی مدلی بر مبنای نظریه هتلینگ نشان داده است که نوسان‌های قیمت نفت خام بر اساس نظریه اقتصادی نحوه بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی پایان‌پذیر و با استفاده از نرخ بهره انتظاری و قیمت نفت خام انتظاری قابل توضیح خواهد بود. به عقیده وی تاکنون انتظارات نقش مهمی را در نوسانات قیمت نفت‌خام داشته و انتظارات در مورد نرخ بهره و قیمت

1. Barnett & Morse
2. Krautkraemer
3. Lin
4. Strazicich
5. Slade
6. Steady State
7. Sweeney

نفت‌خام دو عامل اصلی و اساسی در تغییرات رفتار عرضه و در نهایت، تغییرات رفتار واقعی نفت خام بوده است.

مشیری و فروتن (۱۳۸۳) نیز در پژوهشی که به امکان سنجی آزمون آشوب در داده‌های قیمت نفت خام می‌پردازد، در بررسی داده‌های نفت خام به این نتیجه می‌رسند که قیمت نفت دارای یک روند افزایشی یا کاهشی منظم نیست. آنها همچنین بیان می‌کنند که صرف نظر از تکانه سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰ که تغییرات شدیدی در سطح قیمت ایجاد کرده، روند کاهشی یا افزایشی خاصی برای مدت زمانی در حدود ۱۵ سال مشاهده نمی‌شود. به بیان دیگر، برای یک دوره ۱۵ ساله، قیمت نفت خام دوره‌های پرتلاطمی را پشت گذاشته، اما همیشه تمایلی به برگشت به سمت میانگین از خود نشان داده است.

تعدادی از پژوهشگران تلاش کرده‌اند که به بررسی دلایل انحراف مسیر قیمتی هتلینگ بر اساس مشخصات تابع هزینه استخراج بپردازند (سولو و وان[۱]، (۱۹۷۶)، هانسن[۲]، (۱۹۸۰) و روماست[۳]، ایزاک[۴] و و فشارکی[۵]، (۱۹۸۳)).

آنها ادعا کرده‌اند که با یک تکنولوژی مشخص و علم به اینکه ذخیره منبع ثابت باشد، منبعی که با هزینه کمتری در دسترس باشد، در ابتدا مورد استخراج قرار می‌گیرد. این بدین معناست که هزینه‌های استخراج می‌بایست در طول زمان افزایش‌یابد و این افزایش بر مسیر قیمت منبع تأثیرگذار خواهد بود (داسگوپتا[۶] و هیل[۷]، (۱۹۷۴) و (۱۹۷۹)).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری انجام شده است که تلاش کرده‌اند به طور تجربی روندهای قیمت یک منبع تجدیدناپذیر را بررسی کنند. به عنوان مثال آرنز[۸] و شارما[۹] (۱۹۹۷) با استفاده از داده‌های سری زمانی قیمت ۱۱ کالای تجدیدناپذیر در سال های ۱۸۷۰ تا ۱۹۹۰، نتیجه گرفتند که ۶ عدد از این سری‌ها حول یک روند معین ایستا هستند، در حالی که ۵ سری دیگر یک روند تصادفی از خود نشان می‌دهند، به این مفهوم که دارای یک ریشه واحد می‌باشند. در مقاله‌ای مرتبط، برک و رابرتز[۱۰] (۱۹۹۶) از زیر مجموعه‌ای از داده‌های مشابه استفاده کردند و دریافتند که روند قیمت‌ها غیر ایستا هستند. اسلید (۱۹۸۸) و آبگیگبه[۱۱] (۱۹۹۳) نیز به نتایجی مشابه مبنی بر غیر ایستا بودن روند قیمت منابع پایان‌پذیر دست یافتند. بارنت و مورس (۱۹۶۳) در پژوهش خود به این نتیجه رسیده‌اند که کمیابی منابع پایان‌پذیر یک مشکل واقعی نبوده و بر خلاف نظر هتلینگ که تحت شرایط خاص قیمت یک منبع پایان‌پذیر با سرعت نرخ بهره افزایش خواهد یافت، قیمت نسبی این منابع در بلندمدت کاهش یافته است. آنها بیان می‌کنند که با تغییر و تعدیل مدل ساده هتلینگ می‌توان سقوط و رکود قیمت این منابع را پیش‌بینی کرد. اشمیت[۱۲] (۱۹۸۸) معتقد است که بر اساس شواهد، مدل‌های کشش قیمتی، عرضه و تقاضای منابع پایان‌پذیر را کمتر از واقع برآورد کرده‌اند؛ وی همچنین بیان می‌کند که به رغم

1. Solow & Wan
2. Hanson
3. Roumasset
4. Isaak
5. Fesharaki
6. Dasgupta
7. Heal
8. Ahrens
9. Sharma
10. Berck & Roberts
11. Abgeyegbe
12. Schmidt

افزایش مصرف، موجودی ذخایر (در اثر اکتشاف) نیز به صورتی افزایش‌یافته که مانع افزایش قیمت‌های حقیقی منبع شده است.

## ۲. مدل نظری استخراج منابع

### ۲-۱. مدل اساسی هتلینگ

در این بخش، ابتدا مدل نظری استخراج بهینه منابع تجدیدناپذیر در حالت رقابت کامل را ارائه می‌کنیم. در این قسمت، مسأله موجودی کالا[1] را در نظر نگرفته و فرض می‌کنیم که بازار منابع رقابتی باشد. همچنین، از وجود مسأله دسترسی مشترک[2] که ممکن است در حالت رقابت کامل پدید آید، چشم-پوشی می‌کنیم. در این مقاله همانند مقاله پیندیک[3] (۱۹۷۸) فرض می‌کنیم که بیشتر واحدهای اقتصادی در بازار، گیرنده قیمت هستند. این فرض معادل این است که یک سیاست‌گذار و یا به بیان دیگر انحصارگر دولتی، تنها تولیدکننده باشد و قیمت رقابتی را در بازار تعیین کند. هر چند فرض رقابت کامل برای برخی منابع پایان‌پذیر از قبیل نفت تا حدی واقع‌گرایانه نیست. با این حال، ساختار بازار انحصاری و انحصار چند جانبه مانعی در مقابل حفظ و نگهداری منابع پایان‌پذیر می‌باشد. در این مدل $t \in [\circ, \infty]$ را به عنوان شاخص زمان در نظر گرفته، همچنین، در یک نقطه از زمان (t) عرضه نفت را به صورت E(t) در نظر می‌گیریم. کل نفت استخراج شده از ذخایر اوپک از ابتدا تاکنون را به عنوان استخراج تجمعی بیان نموده و به عنوان شاخص اثر ذخیره با X(t) نمایش داده‌ایم.

شکل ریاضی استخراج تجمعی نفت از ذخایر در واحد زمان را به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$X(t) = X(\circ) + \int_{\circ}^{t} E(\tau)d\tau \qquad (۱)$$

در این رابطه، میزان ذخیره اولیه استخراج شده، به صورت یک مقدار معین با X(0) نمایش داده می‌شود. بر خلاف مدل هتلینگ در این مدل برای کل ذخایر در دسترس یک مقدار ثابت در نظر گرفته نشده، این فرض به این دلیل است که ذخایر محدودی که از نظر اقتصادی قابل بازیافت است، وجود داشته که در طول زمان کشف خواهد شد؛ در واقع، در نظر گرفتن این فرض در مقایسه با فرض مدل هتلینگ به واقعیت نزدیک‌تر است.

قیمت بازاری نفت در واحد زمان با P(t) نمایش داده می‌شود، همچنین، میزان تقاضا برای نفت با توجه به قیمت بازاری این کالا در واحد زمان به صورت D(P(t),t) تعیین می‌شود، تقاضا ممکن است در طول زمان با تغییر شرایط و فروض در نظر گرفته‌شده کاهش و یا افزایش یابد، به عنوان مثال، در اثر رشد جمعیت یا افزایش درآمد منحنی تقاضا به سمت بالا جابجا می‌شود و یا در اثر تغییرات تکنولوژیکی به دلیل اینکه مصرف‌کنندگان می‌توانند با پیشرفت تکنولوژی به صورت بهینه‌تری از منابع استفاده کنند، منحنی تقاضا به سمت پایین جابجا می‌شود.

نقطه تعادل میان عرضه و تقاضا قیمت نفت P(t) را در بازار تعیین می‌کند، به طوری که:

1. Inventories 2. Common Access 3. Pindyck

$$E(t) = D(P(t), t) \qquad \forall t \qquad (۲)$$

منافع کل که از مصرف نفت در زمان t به دست می‌آید، مکان هندسی نقاط زیر منحنی تقاضا است و به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$U(E(t), t) = \int_{0}^{E(t)} D^{-1}(x; t)dx \qquad (۳)$$

که در این رابطه، $D^{-1}(X, t)$ تابع معکوس منحنی تقاضا نسبت به قیمت است. ناحیه زیر منحنی تقاضا میزان ناخالص مازاد مصرف‌کننده، همچنین، میزان تمایل به پرداخت[1] مصرف‌کننده برای یک منبع خاص را نشان می‌دهد. با توجه به این مباحث، در یک بازار رقابت کامل مطلوبیت کل و یا آنچه که هتلینگ آن را ارزش اجتماعی منابع نامیده، حداکثر می‌شود و در بازارهای دیگر مقداری رفاه یا مطلوبیت از دست رفته وجود خواهدداشت. در ادامه بحث، به بررسی تابع عرضه نفت و عوامل مؤثر بر عرضه نفت می‌پردازیم.

C(X, E, t) تابع هزینه استخراج نفت از مخازن نفتی در واحد زمان و با توجه به میزان استخراج (E بشکه) را نمایش می‌دهد. همچنین، سولو و وان[2] (۱۹۷۶) همانند سورزبنسکی و مندرسون[3] (۱۹۸۹) شیوه‌هایی را برای جمع زدن چند ذخیره از یک منبع پایان‌پذیر با هزینه‌های استخراج متفاوت مورد بررسی قرار داده و نشان می‌دهد که اگر در طول زمان اکتشافات جدیدی رخ ندهد، همچنین، تولیدکنندگان ابتدا از ذخایر با هزینه استخراج کمتر شروع به بهره‌برداری نمایند و در صورتی که بازدهی ثابت نسبت به مقیاس نیز وجود داشته باشد، می‌توان تابع هزینه را بر اساس میزان استخراج تجمعی بیان کرد.

در این جا از اثر ذخیره برای نشان‌دادن وابستگی هزینه استخراج به میزان ذخایر استخراج شده $(X_i)$ استفاده کرده، که بر اساس مطالعات گذشته می‌توان گفت که یک رابطه مثبت میان این دو متغیر وجود دارد (به عنوان مثال نگاه کنید به هیل[4] (۱۹۷۶)، هانسن (۱۹۸۰) و سولو و وان (۱۹۷۶)).

P(t) قیمت سایه‌ای منبع در زمان t را که هنوز استخراج نشده‌است، نشان می‌دهد، این قیمت سایه ای به وسیلهٔ مقادیر مختلفی از قبیل هزینه نهایی مصرف‌کننده،[5] میزان ارزش نفت درجا[6]، رانت کمیابی، رانت پویا[7] و رانت منبع[8] شناخته می‌شود.

منافع خالصی که به وسیله استخراج E بشکه منبع مورد نظر در واحد زمان به دست می‌آید از طریق کسر هزینه کل از منافع کل حاصل می‌شود و به صورت :

$$G(X, E, t) = U(E, t) - C(X, E, t) \qquad (۴)$$

نمایش داده می‌شود.

1. Willingness To Pay
2. Solow & Wan
3. Swierzbinski & Mendelsohn
4. Heal
5. Marginal User Cost
6. Oil In Place
7. Dynamic Rent
8. Resource Rent

با توجه به رابطه بالا، تولیدکننده برنامهٔ استخراجش را به نحوی انتخاب می‌کند که ارزش حال منافع خالص خود را با در نظر گرفتن ذخیره اولیه X(0) و رابطهٔ بین X(t) و E(t) حداکثر کند.
فرایند حداکثرسازی منافع تولیدکننده را به صورت زیر می‌توان نمایش داد[1]:

$$\int_{\circ}^{\infty}(U(Et),t)-C(X(t),E(t),t))e^{-n}dt \qquad (۵)$$

$$s.t. \qquad \dot{X}=E(t):q(t), \quad E(t)\geq \circ, \quad X(\circ)=X_{\circ}$$

که در این رابطه، $q(t)\leq \circ$ متغیر وضعیت[2] مرتبط با کل ذخیره استخراج‌شده‌است. $|q(t)|$ نشان‌دهندهٔ قیمت سایه‌ای منبعی که هنوز استخراج نشده می‌باشد.

$$P(t)=|\,q(t)\,| \qquad (۶)$$

بدون در نظر گرفتن اثر ذخیره یعنی $\left(\frac{\partial C}{\partial X}(\circ,\circ,\circ)=\circ\right)$، پاسخ حل مسأله کنترل بهینه، قانون هتلینگ یعنی تساوی نرخ رشد قیمت با نرخ بهره است:

$$\frac{\dot{p}(t)}{p(t)}=\frac{\frac{d}{dt}\left(P(t)-\frac{\partial C}{\partial E}(X(t),E(t),t)\right)}{P(t)-\frac{\partial C}{\partial E}(X(t),E(t),t)}=r \qquad (۷)$$

با توجه به رابطه بالا اگر اثر ذخیره را در نظر نگیریم و هزینه نهایی استخراج را ثابت در نظر بگیریم، در نتیجه، قیمت بازار در طول زمان افزایش خواهد یافت؛ همچنین، در صورتی که هزینه نهایی استخراج را صفر در نظر بگیریم رشد قیمت هر منبع در طول زمان همچنان مساوی نرخ بهره خواهد بود.

### ۲-۲. شرایط رشد پایدار

حال، دو شکل تبعی فرضی برای توابع تقاضا D(P, t) و عرضه C(X, E, t ) در نظر می‌گیریم به طوری که پاسخ حل مسأله هتلینگ، نرخ رشد ثابت برای قیمت نفت باشد.
شکل تبعی هزینه را به صورت:

$$C(X,E,t)=\Psi(X)Ee^{-\gamma t} \qquad (۸)$$

در نظر می گیریم.
در رابطه بالا، $\gamma$ نرخ رشد تغییرات تکنولوژیکی و $\psi(\circ)$ شاخص اثر ذخیره با کشش ثابت است که به صورت :

$$\Psi(X)\equiv\Psi_{\circ}X^{b} \qquad b\geq\circ \qquad (۹)$$

نشان داده می‌شود.

۱. احمدیان، مجید.(۱۳۷۰).نظریه قیمت در اقتصاد منابع پایان‌پذیر.انتشارات دانشگاه تهران.

2. Co-state

رابطه بالا نشان می‌دهد که یک درصد افزایش در استخراج از ذخایر نفت به میزان b درصد هزینه‌های استخراج را افزایش خواهدداد. بنابراین، هرچه میزان استخراج تجمعی از منابع نفتی افزایش یابد، در نتیجه، هزینه‌های استخراج نیز افزایش خواهدیافت. از سوی دیگر، هزینه نهایی استخراج که مساوی هزینه متوسط نیز می‌باشد به صورت:

$$\frac{\partial C(X,E,t)}{\partial E}=\frac{C(X,E,t)}{E}=\Psi(X)e^{-\gamma t}=\Psi_0 X^{b}e^{-\gamma t} \qquad (۱۰)$$

نشان داده می‌شود، که با در نظر گرفتن نرخ استخراج ثابت در یک نقطه زمانی مشخص، مقدار ثابتی خواهد بود.

به دلیل اینکه استخراج تجمعی در طول زمان افزایش می‌یابد، این مسأله باعث افزایش هزینه‌ها طی زمان خواهد شد، از سوی دیگر تغییرات تکنولوژیکی باعث کاهش هزینه کل و هزینه نهایی می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت اثر ذخیره و تغییرات تکنولوژیکی دارای اثری خلاف جهت بر روی هزینه هستند.

در ادامه، به بررسی تابع تقاضای نفت و عوامل مؤثر بر آن می‌پردازیم.

تابع تقاضا به صورت:

$$D(P,t)=AP^{-\frac{1}{\eta}}e^{\frac{a}{\eta}t} \qquad (۱۱)$$

نشان داده می‌شود. در رابطه بالا متغیر $\eta$ معکوس قدرمطلق کشش تقاضاست. در صورتی که $a \geq 0$ باشد، تقاضا طی زمان افزایش و در غیر این صورت کاهش می‌یابد. با توجه به منحنی تقاضا، منافع کل حاصل از استخراج منبع در یک نقطه زمانی مشخص مساوی مساحت زیر منحنی تقاضاست، و رابطه آن به صورت:

$$U(E,t)=\varphi(E)e^{at} \qquad (۱۲)$$

نشان داده می‌شود.

$\varphi(E)$ در رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\varphi(E)=A^{\eta}\frac{E^{1-\eta}}{1-\eta} \qquad (۱۳)$$

همچنین، قیمت نفت در واحد زمان P(t) بر اساس رابطه ۳ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P(t)=\varphi'(E(t))e^{at} \qquad (۱۴)$$

حل مسأله کنترل بهینه با فرض این شکل‌های تبعی برای توابع عرضه و تقاضا به یک رابطه خطی میان میزان استخراج E(t) و ذخیره X(t) منجر می‌شود[1]. در این مدل، ثابت‌بودن نسبت میزان استخراج به میزان ذخیره استخراج شده مستلزم ثابت بودن نرخ رشد قیمت‌ها می‌باشد.

هارتویک[2] (۱۹۷۷) یک مدل رشد پایدار در زمینه منابع طبیعی ارائه داده‌است. در این مدل وی بیان کرده است در صورتی که یک اقتصاد تمامی منافعی را که از استخراج منابع پایان‌پذیر به دست می‌آورد

۱. برای روشن شدن این بحث به قضیه شماره ۱ در پیوست مقاله مراجعه شود.

2. Hartwick

بر روی سرمایه‌های قابل تولید از قبیل ماشین‌آلات سرمایه‌گذاری کند، می‌تواند سرمایه سرانه پایدار و ثابتی را داشته باشد. بنابراین، مدل هارتویک شرایط رشد پایداری را ارائه می‌دهد که در آن مصرف ثابت و قیمت منابع فزاینده است.

دو تفاوت اساسی مدل ارائه‌شده در این پژوهش با مدل هارتویک این است که اولاً قیمت نفت را ثابت در نظر گرفته و ثانیاً در شرایط رشد پایدار مصرف دارای نرخ رشد ثابت بالقوه‌ای می‌باشد.

در ادامه، به بررسی شرایط ثابت‌بودن قیمت نفت در طول زمان با در نظرگرفتن پارامترهای دیگر موجود در مدل می‌پردازیم. بر اساس پارامترهای موجود در مدل در شرایط رشد پایدار می‌توان بیان نمود:

در صورتی که نرخ رشد استخراج به صورت $g = \frac{a}{\eta}$ باشد آنگاه قیمت بازاری نفت ثابت خواهد بود. این رابطه را به صورت زیر نیز می‌توان بیان نمود :

$$\frac{\gamma}{b} = \frac{a}{\eta} \qquad (۱۵)$$

سمت چپ رابطه بالا نشان‌دهنده تغییرات تکنولوژیکی و اثر ذخیره در زمینه عرضه نفت و سمت راست رابطه نشان‌دهندهٔ تغییرات تقاضا در طول زمان و همچنین کشش تقاضاست. تعادل در مسیر توسعه نیازمند تساوی بین دو اثر بیان شده است. بنابراین، برای ثابت، بودن قیمت نفت طی زمان باید نسبت تغییرات تکنولوژیکی به اثر ذخیره دقیقاً رشد برونزا در تقاضا را جبران کند.

## ۳. روش جمع‌آوری اطـلاعات متغیرها

در این پژوهش از داده‌های سری زمانی در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ برای کشورهای عضو اوپک استفاده کرده‌ایم. مهم‌ترین دلیل انتخاب این مقطع زمانی، نبود شکست ساختاری شدید در بازار نفت و شوک‌های نفتی در این دوره زمانی است.

داده‌های مورد استفاده عبارتند از: قیمت سبد نفت اوپک (PRICE)، تولید سالانه نفت اوپک (EXTRACT)، استخراج تجمعی نفت اوپک (RESERVE)، هزینه متوسط استخراج نفت (AC)، تولید ناخالص داخلی جهان در واحد انرژی ($GDP_w$)، مصرف داخلی نفت کشورهای عضو اوپک (CONS). در ادامه، به تشریح متغیرهای استفاده شده می‌پردازیم.

- **قیمت سبد نفت اوپک**: این متغیر شامل داده‌های منتشرشده توسط سازمان اوپک در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ در بولتن سالانه اوپک ASB[1] است. این اطلاعات بر اساس قیمت ماهانه نفت اوپک در هر بشکه به دلار برای کشورهای عضو محاسبه شده و در پایان هر سال به صورت میانگین سالانه منتشر می شود.

1. Annual Statistic Bulletin

- **تولید سالانه نفت اوپک:** این متغیر نیز شامل داده‌های منتشرشده توسط سازمان اوپک در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ در بولتن سالانه اوپک است. این اطلاعات بر اساس مجموع نفت استخراج شده از ذخایر نفتی کشورهای عضو اوپک بر حسب بشکه در هر سال می‌باشد.
- **استخراج تجمعی نفت اوپک:** این متغیر نیز شامل داده‌های منتشرشده توسط سازمان اوپک در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ در بولتن سالانه اوپک است. این اطلاعات بر اساس مجموع کل نفت تولیدشده بر حسب بشکه از اولین روز استخراج از ذخایر نفتی تاکنون محاسبه شده که شاخص اثر ذخیره در الگوی نظری ما می‌باشد.
- **مصرف نفت کشورهای عضو اوپک:** این متغیرشامل داده‌های منتشرشده توسط سازمان اوپک در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ در بولتن سالانه اوپک است. این اطلاعات به وسیله کسر کردن میزان صادرات از کل تولید کشورهای اوپک به دست آمده و بر حسب بشکه است. این متغیر به منظور نشان دادن جابجایی منحنی عرضه نفت مورد استفاده قرار گرفته است.
- **تولید ناخالص داخلی جهان در واحد انرژی:** این متغیر که اطلاعات آن از داده‌های منتشرشده توسط بانک جهانی استخراج‌شده به صورت تقسیم تولید ناخالص داخلی بر مصرف انرژی جهان در واحد نفت است. این متغیر بر حسب دلار بر کیلوگرم نفت می‌باشد. این متغیر هم به عنوان شاخص رشد اقتصادی و هم به عنوان شاخص کارایی انرژی به منظور نشان‌دادن جابجایی منحنی تقاضا مورد استفاده قرار گرفته است.
- **هزینه متوسط استخراج نفت:** این متغیر که اطلاعات آن از داده‌های منتشر شده بانک جهانی استخراج‌شده از طریق رابطه $rent = E(t) \times (P(t) - AC)$ مورد محاسبه قرار گرفته‌است. در این رابطه، تمام اطلاعات در مورد اشکال مختلف رانت حاصل از استخراج نفت، قیمت نفت و میزان استخراج نفت از داده‌های بانک جهانی استخراج‌شده و پس از آن به محاسبه هزینه متوسط پرداخته شده است.

در ادامه، پس از معرفی متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش به تشریح روش برآورد و تحلیل نتایج می‌پردازیم.

## ۴. روش تحقیق

در بخش پیشین به بررسی الگوی نظری عرضه و تقاضای نفت و عوامل مؤثر بر آن پرداختیم. بر اساس این الگوی نظری، توابع عرضه و تقاضا را می‌توان استخراج نمود. در این بخش با توجه به روابط ۱۰ و ۱۱ (به پیوست ۳ مراجعه شود) شکل تبعی عرضه و تقاضا در بازار نفت را به صورت لگاریتمی در نظر گرفته و این شکل‌های تبعی عرضه و تقاضا را به عنوان مدل اساسی این پژوهش برای برآورد و تحلیل نتایج در نظر می‌گیریم. این توابع را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\ln MC = \ln AC = \ln \Psi_{\circ} + b \ln X - \gamma t \qquad (۱۶)$$

$$\ln P = \ln A - \eta \ln E + at \qquad (۱۷)$$

در رابطه ۱۶، $\ln \Psi_{\circ}$ شاخص جابجایی منحنی عرضه در طول زمان است، همچنین $\ln X$ که تغییرات در ذخایر نفتی کشورهای عضو اوپک را نشان می‌دهد. شاخص اثر ذخیره در تابع عرضه نفت می‌باشد، همان طور که پیشتر نیز بیان شد، باعث افزایش هزینه نهایی استخراج و کاهش عرضه نفت می‌شود. $t$ نیز شاخص تغییرات تکنولوژی است که هزینه نهایی استخراج را کاهش و میزان عرضه نفت را افزایش می‌دهد.

در رابطه ۱۷، $\ln A$ شاخص جاجایی منحنی تقاضاست که می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از قبیل رشد اقتصادی کشورها و بسیاری از عوامل اقتصادی دیگر باشد. $\ln E$ نیز نشان‌دهندهٔ رشد تولید نفت در طول زمان است که باعث کاهش قیمت نفت در بازارهای جهانی شده و تقاضا را افزایش خواهد داد. $t$ نیز شاخص تغییرات تکنولوژی است که تقاضا برای نفت و قیمت این منبع را افزایش می‌دهد.

روش کار در این پژوهش شامل دو مرحله است: در مرحله اول ابتدا به برآورد معادلات همزمان ۱۶ و ۱۷ به وسیله نرم‌افزار Eviews5 می‌پردازیم. برای برآورد معادلات همزمان عرضه و تقاضا از روش حداقل مربعات سه مرحله‌ای (3SLS) استفاده کرده‌ایم. همچنین، به منظور استفاده از این روش، متغیر مصرف نفت کشورهای اوپک (CONS) که شاخص جابجایی منحنی عرضه است و تولید ناخالص داخلی جهان در واحد انرژی (GDPw) که نشان‌دهندهٔ جابجایی منحنی تقاضاست، به عنوان متغیرهای ابزاری[1] مورد استفاده قرار داده‌ایم.

در مرحله دوم پس از برآورد مدل و مشخص‌شدن ضرایب پارامترها برای آزمون فرضیه ثابت‌بودن روند قیمت نفت با توجه به رابطه ۱۵، با استفاده از آزمون Wald به بررسی این فرضیه و آزمون رابطه ۱۵ می‌پردازیم. در ادامه، پس از مشخص‌شدن نتایج برآورد به تحلیل و نتیجه‌گیری با توجه به نتایج به دست آمده می‌پردازیم.

## ۵. نتایج و بحث

هدف اصلی در این بخش برآورد همزمان سیستم معادلات عرضه و تقاضای نفت و تحلیل نتایج به‌دست آمده است. پس از برآورد معادلات و مشخص‌شدن ضرایب پارامترها در مرحله بعد به آزمون فرضیه ثابت‌بودن روند قیمتی نفت می‌پردازیم.

داده‌هایی که مورد استفاده قرارگرفته‌اند داده‌های سری زمانی است. در تحلیل سری‌های زمانی، پژوهشگران در بیشتر موارد $R^2$ بالایی را مشاهده می‌کنند، هرچند ممکن است رابطه معناداری میان متغیرها وجود نداشته باشد. این $R^2$ بالا ناشی از وجود روند زمانی هم‌جهت در متغیرهاست و نه به دلیل وجود ارتباط حقیقی بین متغیرها[2].

پیش از برآورد مدل به روش حداقل مربعات، باید از پایایی متغیرها اطمینان حاصل کرد. برای بررسی پایایی متغیرهای مورد استفاده در الگو از آزمون ریشه واحد استفاده کرده‌ایم. بدین منظور آزمون

1. Instrumental Variable

۲. نوفرستی، محمد.(۱۳۷۸). ریشه واحد و همجمعی دراقتصاد سنجی. انتشارات رسا.

دیکی فولر تعمیم یافته[1](ADF) مورد استفاده قرار گرفته که نتایج آن را در جدول ۱ آورده‌ایم. همان طور که مشاهده می‌شود تمامی متغیرهای مورد استفاده در سطح و در سطح اطمینان ۵ درصد نامانا هستند، اما با یک بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند. آزمون انجام‌شده با درنظر گرفتن عرض از مبدأ و روند زمانی بوده است.

**جدول ۱. نتایج آزمون ریشه واحد**

| متغیرها | آزمون ADF در سطح | | آزمون ADF با اولین تفاضل | |
|---|---|---|---|---|
| | مقدار آماره t | مقدار بحرانی | مقدار آماره t | مقدار بحرانی |
| PRICE | ۰/۷۸۰۶ | -۳/۵۹۵۰ | -۴/۸۰۵۲ | -۳/۶۰۳۲ |
| EXTRACT | -۰/۳۲۰۵ | -۲/۹۸۱۰ | -۴/۱۸۲۳ | -۳/۶۰۳۲ |
| ESERVE | -۳/۲۸۹۱ | -۳/۶۵۸۴ | -۴/۰۰۴۵ | -۳/۶۰۳۲ |
| INTENS | -۰/۵۱۵۴ | -۳/۵۹۵۰ | -۴/۴۱۳۸ | -۳/۶۰۳۲ |
| AC | -۴/۴۲۲۹ | -۴/۵۹۵۰ | -۸/۰۸۴۵ | -۳/۶۰۳۲ |
| CONS | -۳/۴۹۱۸ | -۳/۵۹۵۰ | -۸/۹۱۲۰ | -۳/۶۰۳۲ |
| RESID | -۵/۸۸۴۳ | -۳/۶۱۲۱ | *** | *** |

مأخذ: نتایج به دست آمده در این پژوهش.

با توجه به نتایج آزمون ریشه واحد برای برآورد مدل به روش 3SLS، هم‌انباشتگی متغیرها به وسیله آزمون ریشه واحد پسماندهای الگو را مورد بررسی قرار داده‌ایم. نتایج آزمون نشان‌می‌دهد که پسماندهای مدل اولیه برآوردشده به روش 3SLS در سطح اطمینان ۵ درصد پایا هستند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای مدل هم‌انباشته بوده و برآوردهای روش 3SLS معتبر است[2]. نتایج برآورد معادلات عرضه و تقاضا در جدول‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

همان طور که مشاهده می‌شود در جدول ۲، نتایج برآورد مدل تقاضا برای نفت آمده است. با توجه به ضرایب به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که میزان استخراج به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر قیمت نفت در بازارهای جهانی، اثر منفی بر قیمت نفت اوپک داشته است. این نتیجه مطابق با الگوی نظری، مورد انتظار است. با توجه به ضریب به دست آمده، یک درصد افزایش در میزان استخراج نفت، ۱/۷۲۲۰ درصد قیمت نفت را کاهش می‌دهد. افزون بر این، ضریب به دست‌آمده در مورد متغیر (Trend) که در این پژوهش به عنوان شاخص تغییرات تکنولوژی در نظر گرفته‌ایم، نشان می‌دهد که بهبود تکنولوژی و روند تغییرات آن باعث کاهش تقاضا شده‌است. این نتیجه نیز منطبق بر نتایج پژوهش‌های پیشین (به عنوان مثال: اسلید، ۱۹۸۲) است، همان طور که پیشتر نیز بیان شد، این تغییر تکنولوژی در مدل اساسی هتلینگ در نظر گرفته نشده بود. از سوی دیگر، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد که در طول

1. Augmented Dicky Fuller

۲. گجراتی، د. (۱۳۷۸). مبانی اقتصاد سنجی. ترجمه: حمید ابریشمی. انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۹۲۱- ۹۲۶.

زمان بهبود تکنولوژی‌های به کار رفته در زمینه تبدیل و مصرف انرژی به ویژه نفت خام، باعث می‌شود که تقاضای نفت خام به طور معناداری کاهش یابد.

**جدول ۲. نتایج برآورد مدل تقاضای نفت**

| متغیر | ضرایب | انحراف معیار | آماره t |
|---|---|---|---|
| ضریب ثابت | ۱۸/۲۵۹۱ | ۹/۸۹۸۸ | ۱/۸۴۴۵ |
| Log(EXTRACT) | -۱/۷۲۲۰ | ۰/۹۷۳۲ | -۱/۷۶۹۳ |
| Trend | -۰/۱۳۳۲ | ۰/۰۵۴۵ | ۲/۴۴۲۶ |
| R-squared | ۰/۷۱۲۰ | | |
| Adjusted R-squared | ۰/۶۷۲۸ | | |
| Durbin-Watson | ۱/۷۹۳۲ | | |
| S.E of Regress | ۰/۲۲۴۷ | | |

مأخذ: نتایج به دست آمده در این پژوهش.

جدول ۳، نتایج برآورد مدل عرضه نفت را نشان می‌دهد. با توجه به ضرایب به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که متغیر RESERVE به عنوان شاخص اثر ذخیره دارای اثر افزایشی بر روی هزینه متوسط استخراج است، به طوری که یک درصد افزایش در میزان استخراج تجمعی به میزان ۳/۹۴۵۶ درصد هزینه متوسط استخراج را افزایش‌می‌دهد که این مسأله دقیقاً مطابق مباحث بیان شده در بخش الگوی نظری است. به بیان دیگر، این نتیجه منطبق بر نتایج مطالعات تجربی پیشین (به عنوان مثال نگاه‌کنید به هیل (۱۹۷۶)، هانسن (۱۹۸۰) و سولو و وان (۱۹۷۶)) است که در نقاط مختلف و برای دوره‌های زمانی متفاوت انجام شده است. با این حال، این نتیجه با فرض مدل اولیه هتلینگ که هزینه نهایی استخراج ثابت می‌باشد، متفاوت است. این تفاوت را می‌توان ناشی از در نظر گرفتن اثر تکنولوژی دانست که طبق نتایج برآورد در دوره مورد بررسی اثر منفی بر میزان عرضه داشته‌است. در حالی که هتلینگ در مدل اساسی خود اثر تکنولوژی را در نظر نگرفته بود. همچنین، ضریب متغیر روند (Trend) که شاخصی برای تغییرات تکنولوژی در استخراج نفت است، نشان می‌دهد که بهبود تکنولوژی باعث کاهش هزینه استخراج می‌شود. این نتیجه نیز منطبق با نتایج برخی پژوهش‌های پیشین است (به عنوان مثال: سوینی، ۱۹۹۳). گفتنی است که معمولاً از سال‌های ابتدایی استخراج نفت تاکنون تغییرات تکنولوژی شگرفی صورت نگرفته و به دلایل متعددی از قبیل ویژگی‌های مخازن نفتی که یک ویژگی طبیعی است، تکنولوژی و تغییرات آن تأثیر زیادی بر روی میزان عرضه و هزینه استخراج نخواهد داشت[۱]، به طوری که آماره t این متغیر به دلیل معناداری پایین‌تر آن نسبت به متغیرهای دیگر تا حدودی این مسأله را مورد تأیید قرار می‌دهد.

۱. درخشان، مسعود.(۱۳۸۱). منافع ملی و سیاست‌های بهره برداری از منابع نفت و گاز. مجلس و پژوهش، سال نهم، شماره ۳۴.

**جدول ۳. نتایج برآورد مدل عرضه نفت**

| متغیر | ضرایب | انحراف معیار | آماره t |
|---|---|---|---|
| ضریب ثابت | -۷۱/۷۷۰۳ | ۳۹/۴۶۳۴ | -۱/۸۱۸۶ |
| Log(RESERVE) | ۳/۹۴۵۶ | ۰/۹۷۳۲ | ۱/۹۰۹۱ |
| TREND | -۰/۰۹۵۷ | ۰/۰۶۱۰ | -۱/۵۶۸۵ |
| R-squared | ۰/۹۶۹۷ | | |
| Adjusted R-squared | ۰/۹۶۵۲ | | |
| Durbin-Watson | ۱/۵۱۸۷ | | |
| S.E of Regress | ۰/۰۳۰۴ | | |

مأخذ: نتایج به دست آمده در این پژوهش.

حال، پس از برآورد مدل و مشخص‌شدن ضرایب متغیرها به آزمون فرضیه رشد پایدار و به عبارتی صفربودن نرخ رشد قیمت نفت بر اساس رابطه ۱۵ با استفاده از آزمون Wald می‌پردازیم.

فرضیه صفر آزمون Wald بیان می‌کند که رابطه $\gamma / b = a / \eta$ برقرار است. البته از آنجا که این رابطه به صورت غیرخطی بیان شده است، بهتر آن است که رابطه را به صورت خطی آزمون کنیم. تجربه نشان داده است که آزمون رابطه به صورت خطی به پاسخ‌های مثبت بیشتر منجر می‌شود. از این رو رابطه آزمون را به صورت $\gamma = ab / \eta$ تغییر داده و پس از آن آزمون Wald را برای بررسی صحت این رابطه به کار می‌گیریم.

**جدول ۴. نتایج آزمون Wald**

| آماره آزمون | Value | Prob. |
|---|---|---|
| $\chi^2$ | ۱/۱۲۶۳ | ۰/۲۸۸۵ |

مأخذ: نتایج به دست آمده در این پژوهش.

مقدار بحرانی آماره $\chi^2$ آزمون Wald در سطح معناداری ۱ درصد برابر ۶/۶۳ است. بر اساس نتایج به دست آمده که در جدول ۴ آورده‌ایم، فرضیه صفر بودن نرخ رشد قیمت را در سطح معناداری ۱ درصد نمی‌توان رد کرد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که قیمت سبد نفت اوپک در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ در سطح معناداری ۱ درصد از رشد صفر برخوردار بوده‌است. این نتیجه به گونه‌ای دیگر و با اثبات پایایی نرخ رشد قیمت (که در پیوست ۱ ارائه شده است) تأیید می‌شود. به بیان دیگر، با در نظر گرفتن اثر ذخیره و تکنولوژی در طول این سال‌ها قیمت سبد نفت اوپک افزایش معناداری نداشته است.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل استاندارد هتلینگ در مورد استخراج منابع طبیعی را با در نظر گرفتن اثرات ذخیره و تکنولوژی مورد بازبینی قرار دادیم. این مسأله ما را قادر ساخت تا مسیر رشد متوازنی را به دست آورده و توابع عرضه و تقاضای نفت اوپک را برآورد نماییم. در ادامه، مدل با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ برآورد شد. نتایج آزمون مدل نشان داد که فرضیه صفربودن نرخ رشد قیمت نفت اوپک در طول این دوره ۲۷ ساله را در سطح معناداری ۱ درصد نمی‌توان رد کرد. بنابراین، فرضیه ارائه شده، مورد تأیید قرار گرفت.

بر اساس نتایج این مدل می‌توان ادعا کرد که به طور کلی ثبات قیمت نفت در این دوره ۲۷ ساله به دلیل پیشرفت تکنولوژی در بخش عرضه و تقاضا بوده که توانسته اثر ذخیره بر روی قیمت را جبران کند. البته، یک توضیح احتمالی دیگر برای این امر که در این نوشته مورد بررسی قرار نگرفته است، می‌تواند کشف ذخایر جدید باشد که باعث شده قیمت نفت کاهش یابد. با توجه به استخراج روز افزون از ذخایر نفتی و پایان‌پذیری آنها این مسأله می‌تواند تهدیدی برای تمامی کشورها محسوب شود. بدیهی است که این وضعیت به دلیل ذخایر نفتی محدود کشورها نمی‌تواند برای همیشه ادامه یابد. از سوی دیگر، این ثبات رشد قیمت می‌تواند دلیلی برای کم‌بودن سرمایه‌گذاری در جهت استفاده بهینه‌تر از منابع نفتی در کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت باشد. از این رو می‌توان پیشنهادکرد که کشورهای صادرکننده نفت به ویژه اوپک تلاش‌های خود در جهت افزایش معقول قیمت‌های نفت متمرکز کنند تا علاوه بر افزایش درآمد خود، انگیزه تلاش برای بهبود کارایی را در مصرف‌کنندگان افزایش دهند. بدین منظور کشورهای عضو می‌بایست با افزایش هماهنگی در تصمیم‌ها، زمینه و انتظارات را برای افزایش قیمت فراهم‌کنند. به طور کلی می‌توان با شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر بازار نفت، زمینه را به گونه‌ای فراهم‌کرد که کشورهای عضو تعیین‌کننده قیمت در بازار جهانی بوده و به این قدرت تعیین در بازار استمرار بخشند. برای تقویت بازار نفت ضروری است تصمیم‌گیری در امر تولید و قیمت‌گذاری نفت به طور کامل در اختیار کشورهای تولیدکننده نفت قرار گیرد و در واقع، کارتل بازار نفت که تقریباً در اختیار کشورهای اوپک است، تقویت شده و باعث افزایش درآمددهی حاصل از فروش نفت این کشورها شود.

با این همه از سال ۲۰۰۵ قیمت نفت جهش چشمگیری در بازارهای جهانی داشته است. یک دلیل احتمالی برای این امر، این است که این افزایش یک جهش موقتی به دلایل سیاسی و یا به دلیل ترس کشورهای اوپک و جهان از کاهش ذخایر نفتشان می‌باشد و با پیشرفت تکنولوژی (و یا کشف ذخایر جدید) بار دیگر قیمت‌ها کاهش پیدا خواهدکرد. این احتمال نیز وجوددارد که تکنولوژی در فاصله‌های نامنظم به شدت پیشرفت‌کرده و باعث شکست ساختاری و تغییرات شدید قیمت شود. به هر حال، با توجه به ماهیت پایان‌پذیری منابع (در اینجا نفت خام) صفربودن نرخ رشد قیمت نمی‌تواند تا بینهایت ادامه پیدا کند. از این رو برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود مدل به گونه‌ای توسعه یابد که پایان‌پذیری منابع و افزایش قیمت بعد از یک دوره مشخص را نیز در نظر بگیرد.

## منابع

درخشان، مسعود. (۱۳۸۱). منافع ملی و سیاست‌های بهره برداری از منابع نفت و گاز. مجلس و پژوهش، سال نهم، شماره ۳۴.

گجراتی، دامودار. (۱۳۸۵). مبانی اقتصاد سنجی. ترجمه: حمید ابریشمی. انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۱۶۳.

نوفرستی، محمد. (۱۳۷۸). ریشه واحد وهمجمعی دراقتصاد سنجی. انتشارات رسا.

احمدیان، مجید. (۱۳۷۸). نظریه قیمت در اقتصاد منابع پایان‌پذیر. انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۱۰۷.

امامی میبدی، علی. (۱۳۸۵). تحلیل عوامل مؤثر بر قیمت نفت خام. فصلنامه پژوهشهای اقتصادی ایران،سال هشتم، شماره ۲۸، صص ۱۰۷-۱۲۲.

Berck, P., M. Roberts. (1996). Natural resource prices: will they ever turn up?. Journal of Environmental Economic Management, No. 31 (1) pp 65–78.

Dasgupta, P. S., and G. M. Heal, (1974). The optimal depletion of exhaustible resources. Review of economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, No.2, pp 3-28.

Farzin, H., (1992). The time path of scarcity rent in the theory of exhaustible resources. Economic Journal. 102 pp 841–851.

Hanson, D.A., (1980). Increasing extraction costs and resource prices: some further results. Bell Journal of Economics. No. II (Spring), pp 335–342.

Hartwick, J.M., (1977). Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. American Economic Review. No. 67 (5) pp 972–974.

Heal, G.M., (1976). The relationship between price and extraction cost for a resource with a backstop technology. Bell Journal of Economics. No. 7 (Autumn) pp 371–378.

Hotelling, H., (1931). The economics of exhaustible resources. Journal of Political Economy. No. 39 (2) pp 137–175.

Krautkraemer, J.A., (1998). Nonrenewable resource scarcity. Journal of Economic Literature. No. 36 (4) pp 2065–2107.

Lee, J., J.A. List, M.C. Strazicich, (2006). Non-renewable resource prices: deterministic or stochastic trends?. Journal of Environmental Economic Management. No. 51 pp 354–370.

Lin, Y.C., (2006). Estimating supply and demand in the world oil market. Working Paper. University of California at Davis.

Lin, Y.C., (2006). Optimal world oil extraction and the limits to the Hotelling model. Working Paper, University of California at Davis.

Pindyck, R.S., (1978). The optimal exploration and production of nonrenewable resources. Journal of Political Economy. No. 86 (5) pp 841–861.

Pindyck, R.S., (1999). The long-run evolution of energy prices. Energy Journal. No. 90 (2) pp 841–861.

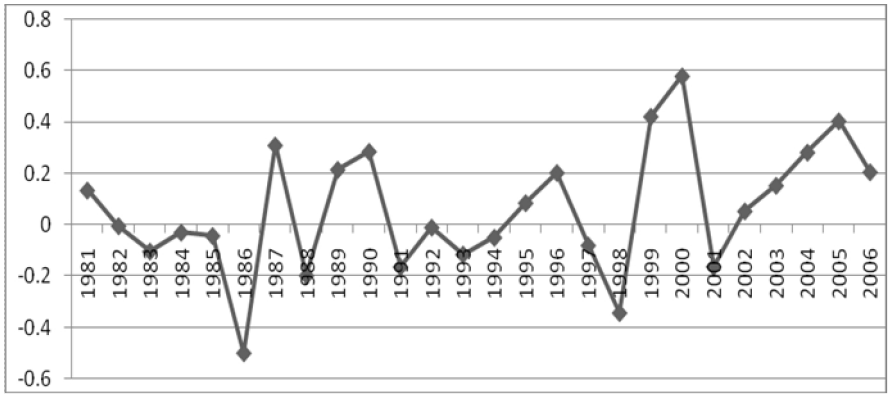
Roumasset, J., D. Isaak, and Fereidun Fesharaki, (July 1983). Oil prices without OPEC: A walk on the supply side. Energy Economics. No. 5, pp 164-70.

Schmidt, R. H., (1988). Hotelling's rule repealed? An examination of exhaustible resource pricing. Economic review. No.4, P. 41.
Solow, R.M., F.Y. Wan, (1976). Extraction costs in the theory of exhaustible resources. Bell Journal of Economics. No. 7, pp 359–370.
Sweeney, J.L., (1993). Economic theory of depletable resources: an introduction. in: A. Kneese, J. Sweeney (Eds.), Handbook of Natural Resource and Energy Economics. Elsevier, London, pp 759–854.
Swierzbinski, J., R. Mendelsohn, (1989). Exploration and exhaustible resources: the microfoundations of aggregate models. International Economic Review. No. 30 pp 175–186.

**پیوست ۱**

نمودار زیر نرخ رشد قیمت نفت اوپک در دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ را نشان می‌دهد. نتایج آزمون ADF نشان می‌دهد که نرخ رشد در طول این دوره در سطح معناداری ۱ درصد پایا است:

**نرخ رشد قیمت نفت اوپک در دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶**




**نتایج آزمون پایایی نرخ رشد قیمت سبد نفت اوپک در دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶**

| توضیحات | آزمون ADF در سطح | |
|---|---|---|
| | مقدار آماره t | مقدار بحرانی |
| Growth Rate of Price | -۴/۸۱ | -۳/۷۲ |

**مشخصات آماری داده‌های قیمت سبد نفت اوپک در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶.**

| توضیحات | میانگین | انحراف معیار | Skewness | Kurtosis | Jarque-bera |
|---|---|---|---|---|---|
| قیمت نفت اپک در دوره دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ | ۲۴/۷۵ | ۱۱/۱۲ | ۱/۶۹ | ۵/۹۹ | ۲۳/۰۱ |

**پیوست ۲**

**قضیه ۱:** با در نظر گرفتن تابع هزینه با کشش ثابت (۸) و تابع تقاضا متغیر در طول زمان با کشش ثابت (۱۱)، نرخ استخراج بهینه از ذخایر نفتی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$E(t) = gX(t)$$

همچنین، نرخ رشد قیمت ثابت و به صورت زیر است:

$$\frac{\dot{P}(t)}{P(t)} = -\eta g + a$$

که در آن، g برابر است با:

$$g = \frac{\gamma + a}{b + \eta}$$

پارامترهای بیان شده در این مدل در این رابطه صدق می‌کنند:

$$\lim_{t\to\infty}(A^{\eta}(gX_{\circ})^{-\eta}e^{(-\eta g+a)t} - \Psi_{\circ}X_{\circ}^{b}e^{(gb-\gamma)t})X_{\circ}e^{(g-r)t} = \circ$$

همچنین، ضریب اثر ذخیره ( $\Psi_{\circ}$ ) در تابع هزینه به صورت زیر است:

$$\Psi_0 = \frac{(\eta g + r - a)A^{\eta}(gX_0)^{-\eta}}{(\gamma + r)X_0^{b}}$$

**پیوست ۳**

با گرفتن لگاریتم طبیعی از رابطه ۱۰، به سادگی رابطه ۱۶ به دست می‌آید. برای به دست آوردن رابطه ۱۷ با توجه به رابطه ۲ در حالت تعادل داریم:

$$E(t) = D(P(t), t) \qquad \forall t$$

بنابراین، رابطه ۱۱ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$E = AP^{\frac{1}{\eta}}e^{\frac{a}{\eta}t}$$

با گرفتن لگاریتم طبیعی از رابطه بالا داریم:

$$\ln(E) = \ln(A) + \frac{1}{\eta}\ln(P) + \frac{a}{\eta}t$$

با ضرب کردن طرفین رابطه در $\eta$ رابطه ۱۷ به دست می‌آید:

$$\ln(P) = \ln(A) - \ln(E) + at$$