فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال دوازدهم / شماره‌ی ۵۱/ زمستان ۱۳۹۵/ صفحات ۳۲-۱

تحلیل تصادفی روند منابع قابل استخراج نفت و گاز در ایران (۱۴۱۰-۱۳۵۹)

علی حسین استادزاد[1]
دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه شیراز، aostadzad@yahoo.com

ابراهیم هادیان
دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شیراز، ehadian@rose.shirazu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۵

چکیده

الگوهای پویای استخراج از منابع طبیعی و انرژی به دلایل مختلف بااطمینانی روبرو می‌باشد. با استخراج از منابع انرژی (نفت و گاز) انتظار داریم که حجم منابع قابل استخراج همواره در طول زمان در حال کاهش باشد، ولی با توج به نتایج این تحقیق در برخی از زمان‌ها به دلیل اکتشافات تصادفی (کشف چاه‌های جدید) حجم منابع قابل استخراج افزایش یافته است. نگاه غالب در مورد روند منابع قابل استخراج انرژی تجدیدناپذیر در طول زمان آنرا نزولی و در حال کاهش معرفی می‌کند، این نکته یکی از پیش فرض‌های اساسی در مدل‌های رشد که در آن منابع انرژی به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در نظر گرفته می‌شود، به شمار می‌رود. اگر چه این نکته برای تمام منابع انرژی تجدیدناپذیر (اعم از کشف شده و کشف نشده) و در یک افق نامحدود غیر قابل انکار است، اما بسط آن به منابع قابل استخراج در یک مدت زمان معین، چندان قابل دفاع نیست. در این تحقیق با استفاده از آزمون تصادفی غیرپارامتری RUNS در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داده شده که تغییرات حجم منابع مورد نظر از یک فرآیند تصادفی تبعیت می‌کند. برای این منظور ۱۶ نوع توزیع تصادفی برای این فرآیند تصادفی در سه الگوی مختلف در نظر گرفته شده است. با توجه به معیار بهترین برآورد و پیش‌بینی صورت گرفته، توزیع فوق هندسی و نرمال برای این فرآیند به‌عنوان بهترین توزیع تصادفی تایید می‌گردد. به‌منظور پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج، در ابتدا سری زمانی مقدار استخراج انرژی‌های فسیلی (نفت و گاز) و همچنین متغیر تحقیق و توسعه (متغیرهای دارای روند) با استفاده از روش هموارسازی نمایی هالت برآورد و پیش‌بینی شده است. با توجه به برآورد انجام گرفته حجم منابع قابل استخراج از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۴۱۰ دارای نرخ رشدی به‌طور متوسط ۰/۰۴- درصد باشد. این درحالی است که بین سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۳ منابع قابل استخراج سالانه دارای متوسط رشد ۳/۱ درصد بوده است. به عبارت دیگر با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته رشد حجم منابع، نرخ نزولی داشته و حجم منابع در نقطه‌ای از زمان، دیگر افزایش نیافته و نزولی خواهد شد. با توجه به بهترین الگوی در نظر گرفته شده پس از سال ۱۴۰۲ حجم منابع قابل استخراج نزولی خواهد شد. این موضوع اهمیت برنامه‌ریزی جهت استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزین برای نفت و گاز در بلندمدت را برای اقتصاد ایران نشان می‌دهد.

طبقه بندی JEL: Q47, Q33, Q16

کلید واژه‌ها: موجودی منابع انرژی تصادفی، هموارسازی نمایی هالت، اقتصاد ایران

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

حجم منابع قابل استخراج (معدنی، انرژی و ...) در هر دوره، نشان دهنده میزان ثروت غیر انسانی هر کشوری است. بنابراین برآورد و پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج برای برنامه‌ریزی‌های اقتصادی بسیار مهم خواهد بود. با توجه به مطالعه پیندایک[1] (۲۰۰۷) در مدیریت منابع طبیعی و منابع انرژی باید جنبه‌های پویایی و عدم قطعیت سیستم‌های طبیعی– انسانی به صورت ترکیبی مورد بررسی قرار گیرد. اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت در طرح سیاست‌های زیست محیطی و منابع طبیعی مدت‌هاست که به رسمیت شناخته شده و در ادبیات موضوع به صورت گسترده به این موضوع پرداخته شده است. در الگوهایی که عدم قطعیت منابع انرژی، در نظر گرفته شده نااطمینانی به وجود آمده دو دلیل دارد. ۱- محدودیت‌هایی که در شناخت پارامترهای کلیدی منابع طبیعی و اقتصادی وجود دارد و ۲- اجزای تصادفی حقیقی[2] که بر تکامل سیستم‌های مورد نظر حاکم است. این موارد می‌توانند به صورت آشفتگی‌های غیر قابل پیش‌بینی[3] در سیر تکامل یک اکو سیستم یا به صورت یک جریان در حال پیشرفت شوک‌های تصادفی کوچک[4] نمایان شوند (پیندایک[5] ۲۰۰۷، هیل[6] ۲۰۰۲).

به‌منظور بررسی انواع عدم قطعیت‌ها، روش‌های مختلف مدل‌سازی تصادفی توسعه یافته است. همچنین انواع روش‌های اندازه‌گیری به‌منظور اندازه‌گیری تأثیر سیاست‌های مختلف بر سیستم‌هایی که باید مدیریت شوند، بسط داده شده است. هدف از این تحقیق، در ابتدا برآورد معادله پویای حجم منابع قابل استخراج انرژی تصادفی در سه الگوی متفاوت برای اقتصاد ایران می‌باشد. به‌منظور برآورد معادله پویای تصادفی حجم منابع قابل استخراج از روش‌های برآورد ناپارامتریک[7] غیرخطی استفاده شده است. هدف دوم این تحقیق، پیش‌بینی حجم منابع نفت و گاز برای دوره‌های آتی است.

---

1. Pindyck
2. Genuine stochastic elements
3. Unpredictable disturbances
4. Small stochastic shocks
5. Pindyck
6. Heal
7. Nonparametric estimation

در قسمت دوم پیشینه‌ای در زمینه الگوهای منابع طبیعی و انرژی تصادفی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت معرفی انواع الگوهای منابع انرژی پایان‌پذیر تصادفی در قسمت سوم با یک مدل مدیریت منابع متعارف[1] بحث را آغاز کرده و نشان داده خواهد شد که چگونه انواع عدم قطعیت، وارد هر یک از اجزای این الگوی متعارف می‌گردد. ذکر این نکته ضرروی است که تعامل بین انواع الگوهای تصادفی، می‌تواند اثرات پیچیده جدیدی ایجاد نماید. پس از بررسی مبانی نظری در بخش چهارم به برآورد معادله پویای تصادفی منابع قابل استخراج برای اقتصاد ایران پرداخته شده و در نهایت در بخش آخر، نتایج تحقیق ارائه شده است.

۲- پیشینه‌ی پژوهش

در الگوهای مختلف استخراج منابع انرژی، عوامل تصادفی در اجزای الگو وارد می‌شود. در الگوهای با وجود قطعیت فرایند ذخیره بهینه[2] Q(.) به یک حالت پایا[3] نزدیک خواهد شد.[4] در این حالت نرخ استخراج ($R(Q)$) و نرخ تجدید منابع (q) با یکدیگر برابر خواهد بود ($R(Q)=q$)[5]. در چنین مسائلی (افق نامحدود) فرایند ذخیره مطلوب یکنواخت و بهینه می‌باشد. به‌منظور بررسی دقیق‌تر و گسترده‌تر در این زمینه به مطالعات کلارک (۱۹۷۶)[6] و دسگوبتا و هیل (۱۹۷۹)[7] مراجعه شود. که در این مطالعات استخراج بهینه و ذخیره مطلوب منبع در حالات مختلف با تاکید برمنابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به ترتیب بحث شده است.

برخی از مسائل استخراج بهینه یک زمان تکمیل طبیعی را نمی‌پذیرند، که در این مسائل افق برنامه‌ریزی بی نهایت فرض می‌شود ($T\to\infty$). در موارد دیگر استخراج باید در یک تاریخ محدود (T[8]) متوقف شود. ملاحظات مربوط به دوره‌های بعد از پایان

1. Canonical
2. Optimal stock process
3. Steady state

۴. که در این حالت یعنی نرخ رشد منابع قابل استخراج ثابت می‌گردد.

۵. فقط در حالتی که بازه زمانی مورد بررسی به بی‌نهایت میل می‌کند ($T\to\infty$).

6. Clark
7. Dasgupta and Heal

۸. در این تحقیق t زمان حال و T زمان پایان‌پذیری منابع انرژی پایان‌پذیر می‌باشد.

استخراج با تابع منفعت بعد از برنامه‌ریزی $\upsilon(Q(T))$ نشان داده خواهد شد. افق برنامه‌ریزی (T) یا به صورت برونزا[1] داده می‌شود. یا فرض می‌شود T یک متغیر تصمیم[2] است، که می‌تواند با توجه به هر سیاست استخراج تعیین گردد (فرض می‌شود که T درون‌زا تعیین می‌گردد). در این دو حالت، در مسئله استخراج بهینه هیچ عدم قطعیتی وارد نمی‌شود. البته در بسیاری از حالت‌ها T در معرض عدم قطعیت قرار می‌گیرد. به‌عنوان یک مثال مشخص، در حالتی که ذخیره اولیه نامعلوم می‌باشد، در این زمینه می‌توان به مطالعه کمپ[3] (۱۹۷۶) مراجعه نمود. در چنین مواردی T یک متغیر تصادفی[4] است که تحقق آن، زمان تهی شدن منبع را مشخص می‌کند. در زمان تهی شدن منبع (T) منفعت حاصل از استخراج به دوره‌ی بعد از برنامه‌ریزی انتقال می‌یابد. در مورد زمان تهی شدن تصادفی مطالعات لانگ[5]، (۱۹۷۵)، داسگوپتا و هیل[6]، (۱۹۷۴)، کراپر[7] (۱۹۷۶) و کمپ[8] (۱۹۷۶) مطالعاتی انجام داده‌اند.

عدم قطعیت به صورت‌های مختلف و در قسمت‌های مختلف مسئله استخراج می‌تواند اعمال گردد. از ابتدا به‌منظور بررسی مسئله عدم قطعیت در حجم منابع قابل استخراج، تشخیص و تمایز بین دو نوع عدم قطعیت بسته به منشا آن حائز اهمیت می‌باشد. نوع اول به دلیل محدودیت دانش استخراج کننده از پارامترهای خاص الگو و یا عدم آگاهی از روابط تابعی مشخص که نشان دهنده ویژگی‌های منبع و سیستم‌های اقتصادی می‌باشد به وجود می‌آید. نوع دوم، نااطمینانی در اجزای تصادفی حقیقی[9] است که اغلب هنگام پرداختن به ماهیت منبع طبیعی با آن مواجه می‌شویم.

در ادبیات موضوع عدم قطعیت‌های نوع اول، عدم قطعیت بر اثر عدم شناسایی (درونی)[10] و نوع دوم عدم قطعیت خارجی[11] نامیده می‌شود[1]. به‌عنوان مثال منفعت

1. Exogenously
2. Decision variable
3. Kemp
4. Random variable
5. Long
6. Dasgupta and Heal
7. Cropper
8. Kemp
9. Genuine random elements
10. Ignorance uncertainty
11. Exogenous uncertainty

لحظه‌ای ($u(.)$) یا باز تولید مجدد منبع ($R(.)$) زمانی که ذخیره منبع از یک حد آستانه[۲] خاص می‌گذرد، دستخوش یک تغییر ناگهانی در زمان می‌شود، اما موقعیت دقیق این آستانه مشخص نیست. در پارامتر آستانه، تنها مقدار آستانه برای برنامه‌ریز نامعلوم است. در نتیجه این عدم قطعیت دورنی است. البته اگر دلیل تغییر ناگهانی ذخیره قابل استخراج، عوامل زیست محیطی خارجی، از قبیل حوادث طبیعی باشد، آنگاه وقوع آن به‌طور حقیقی تصادفی بوده و اینگونه عدم قطعیت‌ها با توجه به انتقال ناگهانی، خارجی است. در زمینه عدم قطعیت درونی می‌توان به مطالعات تزار و زمبل (۱۹۹۶)، نایودال[۳] (۲۰۰۶)، تزار و زمبل[۴]، (۱۹۹۵) اشاره کرد. نرخ مخاطره در این حالت، احتمال عبور از مقدار آستانه‌ای (ریسک نابودی) در دوره‌های بعد را نشان می‌دهد. اگر موجودی منبع کاهش نیابد (نرخ استخراج از نرخ بازتولید کمتر باشد) یا اگر فرایند موجودی در گذشته بسیار پایین‌تر از سطح فعلی بوده باشد، ریسک عبور از حد آستانه‌ای از بین رفته و نرخ مخاطره برابر صفر خواهد بود. بالعکس در صورتی که فرآیند استخراج باعث کاهش موجودی شود، نرخ مخاطره مخالف صفر بوده و احتمال عبور از حد آستانه وجود خواهد داشت.

عدم قطعیت خارجی باعث بروز شرایط تصادفی حقیقی می‌شود و احتمال وقوع در دوره‌های بعدی با نرخ مخاطره[۵] اندازه‌گیری می‌شود (لانگ[۶] ۱۹۷۵- کراپر[۷] ۱۹۷۶- هییل[۸] ۱۹۸۴). نرخ مخاطره در این مورد به گذشته فرایند[۹] و روند آن (کاهشی یا افزایشی بودن سطح منبع) بستگی ندارد، در نتیجه لازم نیست مسئله عدم قطعیت به دو مسئله فرعی متمایز تقسیم شود[۱۰]. نرخ مخاطره می‌تواند به موجودی منبع جاری و

۱. از این پس در این مطالعه عدم قطعیت نوع اول را عدم قطعیت درونی و عدم قطعیت نوع دوم را خارجی یا بیرونی نامیده می‌شود

2. Threshold
3. Naevdal
4. Tsur and Zemel
5. Hazard rate
6. Long
7. Cropper
8. Heal
9. History of the process

۱۰. تحت عدم قطعیت درونی در نظر گرفتن کاهشی و یا افزایشی بودن حجم منابع باعث به‌وجود آمدن بازه تعادلی به جای نقطه تعادلی می‌شود.

نرخ استخراج بستگی داشته باشد. با تنظیم سیاست استخراج، برنامه‌ریز امکان تأثیرگذاری و مدیریت ریسک در آینده را خواهد داشت. این نوع از پیش آمدهای تصادفی در انواع الگوهای منابع انرژی پایان‌پذیر در نظر گرفته شده است.

دشموخ و پلیسکا[1] (۱۹۸۵) به مطالعه استخراج و اکتشاف تصادفی منابع تجدیدناپذیر پرداخته‌اند. در مطالعه رید و هراس[2] (۱۹۹۲) به بررسی منابع بیولوژیکی آسیب پذیر و ریسک این نوع منابع نسبت به یک سقوط فاجعه‌بار پرداخته شده است. مطالعات کلارک و رید[3] (۱۹۹۴) و تسور و زمل[4] (۱۹۹۸) کنترل آلودگی تصادفی و مطالعات کراپر[5] (۱۹۷۶) و ارونسون و همکاران[6] (۱۹۹۸) ریسک حوادث و مخاطرات هسته‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. مطالعات جرد و همکاران[7] (۱۹۹۹)، هوری و مورسینو[8] (۲۰۰۶) و باهن و همکاران[9] (۲۰۰۸) در زمینه سیاست‌های آب و هوایی تحت تحت ریسک حوادث زیست محیطی می‌باشد.

تسور و زمل[10] (۱۹۹۸) بین وقوع اتفاق واحد و وقوع پیش‌آمدهای تکرارشونده[11] تمایز قائل می‌شوند. در صورتی که حالت دوم رخ دهد، در هر زمان که اتفاق واقع شود، جرائم جداگانه‌ای در مطالوبیت به دنبال خواهد داشت. برای توابع جریمه‌ای که با افزایش موجودی منبع کاهش می‌یابند، هر دو نوع پیش‌آمد به معنای استخراج محافظه کارانه‌تر نسبت به یک سیاست بدون ریسک می‌باشد. اتفاقات تصادفی که بر منابع انرژی تأثیر می‌گذارند اغلب تغییرات ناگهانی در سیستم‌های پویا را به دنبال خواهند داشت. وقتی تغییر در یک سیستم پویا باعث ایجاد زیان شود (به‌عنوان مثال نرخ طبیعی بازتولید منابع کاهش یابد)، سیاست استخراج تحت عدم قطعیت محافظه کارانه‌تر از حالت بدون ریسک می‌باشد[12].

1. Deshmukh and Pliska
2. Reed and Heras
3. Clarke and Reed
4. Tsur and Zemel
5. Cropper
6. Aronsson et al.
7. Gjerde et al.
8. Haurie and Moresino
9. Bahn et al.
10. Tsur and Zemel
11. Recurrent events

۱۲. برای اطلاع بیشتر به مطالعات پولاسکی و همکاران ۲۰۱۱ مراجعه شود.

بحث ما تاکنون بر وقوع پیش‌آمدهای نامطلوب از قبیل حوادث زیست محیطی تمرکز داشته است. رویدادهای مطلوب به‌عنوان مثال موفقیت‌های فناوری[1] می‌توانند به شیوه مشابه مدل‌سازی شوند. تحقیقات گذشته در مورد ورود نامعین یک جانشین برای منابع تجدیدناپذیر همراه با تلاش‌های R&D می‌باشد. در این زمینه می‌توان به مطالعات داسگوبتا[2] (۱۹۷۷)، کامین و شوارتز[3] (۱۹۷۸) و دیویدسون[4] (۱۹۷۸) اشاره نمود. بان و همکاران[5] (۲۰۰۸) وقوع چنین رویدادهایی را در یک منبع تجدیدپذیر به یک سیاست زیست محیطی مربوط دانسته‌اند که شامل اقدامات R&D برای توسعه‌ی فناوری‌های انرژی پاک می‌شود.

بروزویچ و اسکلنکر[6] (۲۰۱۱) حالتی را بررسی قرار کرده اند که پویایی‌های موجودی تصادفی با ریسک یک تغییر ناگهانی در پویایی‌های اکوسیستم ترکیب می‌شود. نتیجه مشابه با نتایج تحقیق ستی (۲۰۰۵) بوده است. این الگوها به برنامه‌ریز امکان تغییر مسیر بهینه در نقاط زمانی مجزا را می‌دهند. همچنین تغییرات و افزایش واریانس تعامل و تقابل بین کاهش احتمال گذار در مقابل هزینه‌های احتیاطی رفتار غیر یکنوا را به‌وجود خواهد آورد.

لیزاروویچ و تسور[7] (۲۰۱۲) به مطالعه مدیریت بهینه یک منبع دوباره تجدیدشده تصادفی (یا رشد ذخیره تصادفی)[8] که در معرض وقوع یک حادثه ناگهانی قرار دارد، پرداخته‌اند. در این مطالعه فضای حالت و زمان، گسسته در نظر گرفته شده است. وقوع حادثه ناگهانی، عامل تنزیل تک دوره‌ای[9] را به سیاست اتخاذ شده وابسته می‌کند و در نتیجه عامل تنزیل ترکیبی، به دوره‌ی تاریخی مورد بررسی وابسته می‌شود. لیزاروویچ و تسور (۲۰۱۲) به بررسی این موضوع پرداخته‌اند که آیا یک سیاست ایستا و قطعی مارکوفی[10] بهینه برای این مسئله وجود دارد یا خیر؟ نتایج به‌دست آمده به این سوال،

1. Technological breakthroughs
2. Dasgupta et al.
3. Kamien and Schwartz
4. Davison
5. Bahn et al.
6. Brozovic and Schlenker
7. Leizarowitz and Tsur
8. از قبیل انباشتگی آب در دریاچه‌های کم عمق و یا سقوط اکوسیستم
9. Ssingle-period discount factor
10. Markovian-Deterministic stationary

پاسخ مثبت داده و حاکی از آن است که فرایند حالت بهینه به یک توزیع حالت یکنوا[1] نزدیک می‌شود. آنها حالت‌هایی را شناسایی کردند که در این موارد توزیع حالت پایا معین است و حادثه در نهایت با احتمال یک رخ خواهد داد و از طرفی موضوع را با مواردی مقایسه نمودند که حادثه ناگهانی هرگز رخ نخواهد داد.

در ادامه به بررسی مبانی نظری الگوی برآورد شده حجم منابع قابل استخراج تصادفی می‌پردازیم.

۳- مبانی نظری

در این قسمت در ابتدا به بررسی یک الگوی متعارف استخراج منابع و برآورد سطح بهینه منابع قابل استخراج پرداخته شده و پس از آن اهمیت برآورد معادله حرکت حجم منابع تصادفی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- الگوی متعارف منابع بهینه[2]

در این قسمت به بررسی الگویی پایه‌ای برای ذخیره منابع بدون در نظر گرفتن عوامل تصادفی پرداخته شده است. یک منبع انرژی معمولی با ذخیره اولیه Q_0 در نظر گرفته و فرض می‌شود که از این منبع باید در افق برنامه‌ریزی $t \in [0,T]$ بهره‌برداری شود، که در آن t مدت زمان اجزا استخراج و T پایان دوره‌ی برنامه‌ریزی است[3] (لیزاروویچ و تسور (۲۰۱۲)).

در هر لحظه زمانی، مقدار باقی مانده منابع[4] با $Q(t)$ نشان داده شده و فرض می شود نرخ استخراج[5] در هر دوره $q(t)$ می‌باشد، منفعت لحظه‌ای[6] استفاده از منابع $u(Q(t),q(t),t)$ می‌باشد و $Q(t)$ حجم باقی مانده منابع با استفاده از رابطه‌ی (۱) تغییر می‌کند.

---

1. Steady state distribution
2. Canonical resource model
۳. پایان دوره برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری از منابع، می‌تواند از قبل تعیین شده باشد یا نباشد.
4. Remaining stock
5. Exploitation rate
6. Instantaneous benefit

$$\dot{Q}(t) \equiv \frac{dQ(t)}{dt} = G\big(Q(t), q(t), t\big) \qquad (۱)$$

یک مثال ساده از یک فرایند پویای تغییر حجم منابع[1] را می‌توان با استفاده از رابطه $G(.) = R(Q) - q$ به‌دست آورد. که در آن $R(.)$ بیانگر نرخ باز تولید مجدد منابع[2] (رشد تجدید پذیری) و q نرخ استفاده از منابع می‌باشد. برای منابع تجدیدناپذیر، مثلا مواد معدنی، $R(.)$ در تمامی زمان‌ها از بین می‌رود و خواهیم داشت: $G(.) = -q$.

با فرض یک سیاست استخراج[3] به صورت $\{T, q(t), t \in [0,T]\}$، منفعتی که در نتیجه استخراج در طول زمان به‌دست می‌آوریم با استفاده از رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه است.

$$\int_0^T u\big(Q(t), q(t), t\big) e^{-\rho t} dt + e^{-\rho T} \upsilon\big(Q(T)\big) \qquad (۲)$$

که در آن ρ نرخ تنزیل زمانی[4] و $\upsilon(.)$ ارزش منفعت منابع بعد از زمان برنامه‌ریزی ($t > T$)[5] می‌باشد. محاسبه سیاست‌گذاری بهینه در صورتی امکان‌پذیر است که محدودیت‌هایی خاص بر T و همچنین عوامل مؤثر بر سیاست‌گذاری $\{T, q(t), t \in [0,T]\}$ اعمال شود. به‌طور مثال T در یک دامنه خاص محدود شده و تا بینهایت ادامه نداشته باشد، یا به‌عنوان مثالی دیگر، میزان حجم منابع در هر دوره ($Q(t)$) مثبت است و یا در دامنه خاص مثبتی محدود می‌شود و $q(t) \geq 0$ برای تمام دوره‌های استخراج ($t \in [0,T]$) برقرار است.

در ادامه مجموعه تمام سیاست‌های ممکن را با Γ نشان می‌دهیم. با این فرض که مقدار اولیه حجم منابع داده شده باشد ($Q(t=0) = Q_0$)، سیاست بهینه[6]، سیاستی است که معادله (۲) را با توجه به محدودیت رابطه‌ی (۱) حداکثر کند. مقدار به‌دست آمده از رابطه‌ی (۲) بر اساس سیاست مطلوب (بهینه) با $V(Q_0, \Gamma)$ نشان داده می‌شود و به آن تابع ارزش[7] گفته می‌شود. در دنیای واقعی احتمالا عدم قطعیت در هر یک از اجزای

1. Stock dynamic process
2. Natural recharge
3. Exploitation policy
4. Time rate of discount
5. Post-planning
6. Optimal policy
7 Value function

(متغیرهای) مسئله مطرح شده وجود دارد. به‌عبارت دیگر می‌توان عدم قطعیت در اجزای زیر را انتظار داشت: افق برنامه‌ریزی T، مطلوبیت لحظه‌ای $u(.,.,.)$، نرخ تنزیل ρ، ارزش منابع بعد از دوره برنامه‌ریزی $\upsilon(.,.)$، فرایند تجدید پذیری و بازتولید $R(.,.)$، حفظ ذخیره اولیه Q_0، ویژگی محدودیت‌های امکان‌پذیری. در ادامه به‌منظور بررسی عدم قطعیت‌های مختلف در تئوری‌های ذخیره منابع به بیان رویکردهای مختلف می‌پردازیم.

۳-۲- پویایی‌های ذخیره قابل استخراج تصادفی[1]

پویایی‌های موجودی منابع قابل استخراج انرژی و همچنین منابع طبیعی اغلب به متغیرهای تصادفی وابسته است. به‌عنوان مثال: رشد زیست توده[2] با توجه به شوک‌های تصادفی[3]، پرشدن سفره‌های آب‌های زیر زمینی تحت بارش‌های نامعین، کم شدن آلودگی جوی با تغییر شرایط آب و هوایی و ذخایر نفتی و معدنی که با توجه به کشفیات نامعین صورت می‌گیرد. شوک‌های تصادفی را می‌توان به شکل یک جریان در حال پیشرفت با نوسانات کوچک[4] در نظر گرفت. این شوک‌ها به صورت حوادث ناگهانی و اساسی مجزا می‌باشند. مورد دوم زمانی نمایان می‌شود که مسیر تکامل استخراج از منبع دستخوش یک تغییر برنامه[5] می‌شود. این حالت سناریو T نامعین را به دنبال خواهد داشت[6]. به‌منظور بررسی این حالت جریان پیوسته، نوسانات کوچک در نظر گرفته می‌شود که این نوسانات کوچک منجر به یک فرایند انتشار و یا فرآیند گام تصادفی[7] می‌گردند. همانند قبل، عدم قطعیت در خصوص تکامل موجودی می‌تواند به دلیل شوک‌های تصادفی زیست محیطی حقیقی[8] و یا به دلیل اطلاعات ناقص باشد. (رییدِ[9] ۱۹۷۰، پیندایک[10] ۱۹۸۴). به‌عنوان مثال، صاحبان منبع ممکن است نتوانند

1. Stochastic stock dynamics
2. Biomass growth
3. Random shocks
4. Small fluctuations
5. Regime shift
6. Uncertain T scenario
7. Random walk
8. Random environmental shocks
9. Reed
10. Pindyck

موجودی فعلی را به‌طور دقیق اندازه‌گیری کنند (خطا در اندازه‌گیری موجودی فعلی) و یا به‌طور دقیق نتوانند قانون استخراج بهینه را دنبال نمایند. هر دوی این خطاها به دلیل اطلاعات ناقص است که منجر به خطا در پیش‌بینی موجودی دوره‌ی بعدی می‌گردد (کلارک و کیرک وود[1] ۱۹۸۶، روگ‌گاردن و اسمیت[2] ۱۹۹۶).

رییدِ (۱۹۷۴، ۱۹۷۹) موجودی زیست توده[3] Q_t را با توجه به اصل رشد طبیعی و فرض زمان گسسته[4] در نظر گرفته است. (رابطه‌ی ۳)

$$Q_{t+1} = Z_t \times R\left(Q_t\right) \tag{۳}$$

که در آن $R(.)$ بازتولید موجودی انتظاری و Z_t میانگین همه متغیرهای تصادفی است، که به صورت یکسان و مستقل[5] توزیع شده و بیانگر شوک‌های تصادفی می‌باشد. این شوک‌های تصادفی در هر دوره می‌توانند بر رشد حجم منبع تأثیر گذاشته و سبب کاهش و یا افزایش حجم منبع به صورت تصادفی گردند. موجودی منبع پس از تحقق Z_t آشکار می‌شود، با این وجود سیر تکامل فرآیند موجودی در آینده نمی‌تواند پیش‌بینی شود (زیرا کاملا تصادفی است و در آینده هر اتفاقی پیش خواهد آمد). در حالت کلی در این نوع از الگوهای تصادفی، مفهوم حالت پایا باید با مفهوم توزیع حالت پایا[6] جایگزین شود. البته اگر تحقق شوک‌های تصادفی قبل از گرفتن تصمیمات استخراج مشاهده شوند، در بررسی سیاست بهینه به‌منظور در نظر گرفتن وقوع این شوک‌ها یک مقدار ثابت در الگو در نظر گرفته می‌شود. یعنی توزیع بهینه حالت پایا تبدیل به یک ثابت می‌گردد (رییدِ ۱۹۷۹). این اصل را قانون گریز ثابت[7] گویند. وقتی عدم قطعیت‌های دیگری به الگو اضافه می‌شوند (به‌عنوان مثال خطا در اندازه‌گیری ذخیره منبع جاری) اصل گریز ثابت دیگر برقرار نمی‌باشد.

پیندایک (۱۹۸۴)، مسئله استخراج بهینه از منبع را تحت تکامل موجودی تصادفی در زمان پیوسته الگوسازی کرده است. در این مدل‌سازی پیندایک از حساب تصادفی

1. Clark and Kirkwood
2. Roughgarden and Smith
3. Biomass stock
4. Discrete-time natural growth rule
5. Independently and identically
6. Steady state distribution
7. Constant escapement rule

ایتو[1] استفاده کرده است. تکامل موجودی منبع تابع یک فرایند انتشار است که طبق معادله دیفرانسیل تصادفی زیر تکامل می‌یابد. (رابطه‌ی ۴)

$$dQ = \left[R(Q) - q\right]dt + \sigma(Q)dz \qquad (۴)$$

که در این رابطه در اکثر مطالعات Z یک فرایند وینر استاندارد[2] و $\sigma^2(.)$ واریانس ذخیره قابل استخراج منبع در دوره‌ی مورد بررسی می‌باشد. با فرض $\sigma(Q) = \sigma Q$ که در آن σ ثابت فرض شده و تابعی از زمان نمی‌باشد، معادله حرکت ذخیره انرژی (رابطه‌ی ۴) دارای حرکت هندسی براونی[3] می‌گردد و آنالیز و بررسی بهینه‌سازی را تسهیل می‌نماید. مجددا به‌منظور بهینه‌سازی میزان استخراج، منفعت خالص کل انتظاری (رابطه‌ی ۲) به‌عنوان تابع هدف با توجه به معادله حرکت تصادفی (رابطه‌ی ۴) در نظر گرفته می‌شود، سپس از روش برنامه‌ریزی پویای تصادفی[4] برای به دست آوردن استخراج مطلوب $q(Q)$ و توزیع حالت پایای مربوطه استفاده خواهد شد.

برای این نوع عدم قطعیت مفهوم احتیاط مجددا مبهم می‌باشد و به ویژگی‌های توابع بازتولید مجدد و منفعت (استفاده از منابع) بستگی دارد. در مطالعه پیندایک (۱۹۸۴) قواعد استخراج بهینه $q(Q)$ با توجه به ثابت بودن σ و همچنین کاهشی یا افزایشی بودن این پارامتر بسط داده شده است. در زمینه استخراج بهینه، تحت پویایی‌های موجودی تصادفی می‌توان به مطالعات پلوردی و یانگ[5] (۱۹۸۹)، کناپ و اولوسن[6] (۱۹۹۵) و ویرل[7] (۲۰۰۶) نیز اشاره نمود.

هدف این تحقیق برآورد معادله (۴) برای منابع انرژی‌های تجدید ناپذیر (نفت و گاز) می‌باشد. با توجه به اینکه نرخ تولید مجدد این منابع صفر است، بنابراین باید برای این منابع معادله $dQ = -qdt + \sigma(Q, A)dz$ برآورد گردد.

با توجه به این موضوع تا پارامترهای معادله پویای $dQ = -qdt + \sigma(Q, A)dz$ برآورد نگردد، نمی‌توان به بررسی مسئله استخراج پرداخت. در ادامه به برآورد شکل

1. Ito's stochastic calculus
2. Standard Wiener process
3. Geometric Brownian motion
4. Stochastic Dynamic Programming
5. Plourde and Yeung
6. Knapp and Olson
7. Wirl

تابعی معادله پویای استخراج تصادفی و همچنین نوع فرآیند تصادفی این متغیر خواهیم پرداخت.

۴- برآورد معادله حرکت منابع قابل استخراج برای اقتصاد ایران

در این قسمت در ابتدا با استفاده از آزمون آماری RUN به بررسی این موضوع بررسی می‌شود که آیا تغییرات حجم منابع (dQ) یک فرآیند تصادفی و یا یک فرآیند قطعی است. پس از آن با در نظر گرفتن فرآیندهای تصادفی و توزیع‌های آماری مختلف برای dz_t به برآورد رابطه‌ی $dQ = -qdt + \sigma(Q, A)dz$ پرداخته می‌شود. در این معادله حرکت شکل تابعی $\sigma(Q, A)$ برای اقتصاد ایران مشخص نمی‌باشد. با در نظر گرفتن دو نوع تابع کاب داگلاس تعمیم یافته و همچنین تابع CES برای این متغیر، برآورد سری زمانی مناسب برای واریانس حجم منابع قابل استخراج صورت گرفته است. پس از برآورد شکل تابعی مناسب برای این معادله حرکت و همچنین تابع توزیع تصادفی مناسب برای جزء تصادفی، به پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج تا سال ۱۴۱۰ پرداخته شده است.

۴-۱- آزمون *RUN*

بر اساس مطالعه جیبانس[1] (۱۹۹۲) الگوهای سری زمانی، اغلب رفتار گذشته متغیر را مبنای پیش‌بینی آینده قرار می‌دهند، اما قبل از استفاده از این الگوها باید تصادفی یا غیرتصادفی بودن داده‌ها بررسی شود، زیرا اگر داده‌ها تصادفی (نامنظم) باشند، نمی‌توان از این مدل‌ها استفاده نمود. در این تحقیق از آزمون غیر پارامتریک گردش (Runs) استفاده می‌شود. در آزمون Runs با استفاده از آماره توزیع نرمال Z و مقدار معنی داری آزمون Runs دوطرفه، ادعای تصادفی بودن متغیر آزمون می‌شود، چنانچه مقدار Z_N بیشتر از مقدار بحرانی به‌دست آمده از جدول توزیع نرمال باشد، فرض صفر مبنی بر تصادفی بودن سری رد می‌شود و به عبارتی دیگر آزمون معنی دار خواهد بود و می‌توان

1. Gibbons

ادعا نمود که سری غیرتصادفی است. مقدار آماره آزمون Z_N از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_N = \frac{R-E(R)}{\sqrt{V(R)}} \approx N(0\,,1) \qquad (۵)$$

که در آن R تعداد گردش مشاهده شده، E(R) و V(R) به ترتیب میانگین و واریانس مربوط به R می‌باشند که از طریق روابط زیر به‌دست می‌آیند:

$$E(R) = \frac{T+2T_AT_B}{T} \qquad (۶)$$

$$V(R) = \frac{2T_AT_B(2T_AT_B-T)}{T^2(T-1)} \qquad (۷)$$

در آن T تعداد کل مشاهدات، T_A تعداد مشاهدات برابر یا بیشتر از میانگین و T_B تعداد مشاهدات کمتر از میانگین است. برای اطلاعات بیشتر در مورد این آزمون به وانگ (۲۰۰۳) مراجعه شود.

این آزمون برای داده‌های تغییرات سطح قابل استخراج (ΔQ) برای اقتصاد ایران طی دوره‌ی ۱۳۹۳- ۱۳۵۹ در نرم افزار متلب انجام شده است. نتایج این آزمون در جدول (۱) قابل مشاهده است. با توجه به این نتایج در سطح اطمینان بالایی تغییرات حجم منابع قابل استخراج، فرآیندی تصادفی است. مقدار $h_1 = 0$ که توسط نرم افزار گزارش شده، نشان دهنده این موضوع است که فرآیند تغییرات حجم منابع انرژی یک فرآیند تصادفی است.

جدول ۱. نتایج آزمون RUN در نرم افزار متلب

آماره	مقدار	آماره	مقدار	آماره	مقدار
h_1	۰	E(R)	۱۷	T_B	۲۵
P_1	۰/۶۵۲۷	T_A	۱۰	Z_N	۰/۵۱۳۹

منبع: یافته‌های تحقیق

۴-۲- *برآورد الگو برای اقتصاد ایران*

به‌منظور برآورد معادله حالت رابطه‌ی (۸) برای اقتصاد ایران باید شکل تابعی نرخ بازتولید مجدد ($R(Q)$) و همچنین واریانس منابع تصادفی ($\sigma(Q,A)$) را برآورد نمود. از طرفی باید توزیع احتمال (dz) را نیز به‌دست آورد.

$$dQ = -qdt + \sigma(Q, A)\,dz \tag{۸}$$

با ساده‌سازی رابطه‌ی (۸) رابطه‌ی زیر را برای حجم منابع قابل استخراج خواهیم داشت.

$$\Delta Q = -q\Delta t + \sigma(Q, A)\,\Delta z \Rightarrow Q_t = Q_{t-1} - q_{t-1} + \sigma(Q_{t-1}, A_{t-1})\,\Delta z \tag{۹}$$

به‌منظور برآورد رابطه‌ی (۹) سه الگوی مختلف به صورت زیر تعریف شده است. در الگوی اول مقدار نوسانات حجم منابع ثابت در نظر گرفته شده است. پس اولین رابطه‌ای که باید برآورد گردد رابطه‌ی (۱۰) خواهد بود:

$$Q_t = Q_{t-1} - q_{t-1} + \sigma\Delta z_t \tag{۱۰}$$

در الگوی دوم واریانس حجم منابع مانند الگوی (۱) ثابت نیست، بلکه تابعی به صورت کاب داگلاس تعمیم یافته از حجم منابع قابل استخراج (Q_t) و سطح دانش (A_t) برای اقتصاد ایران در نظر گرفته شده است ($\sigma_t = B_2 Q_{t-1}^{\gamma} A_{t-1}^{\theta}$). بنابراین در الگوی (۲) هدف برآورد رابطه‌ی (۱۱) خواهد بود.

$$Q_t = Q_{t-1} - q_{t-1} + \left(B_1 Q_{t-1}^{\gamma} A_{t-1}^{\theta}\right)\Delta z_t \tag{۱۱}$$

الگوی (۳) مانند الگوی (۲) است. با این تفاوت که در الگوی (۳) واریانس حجم منابع به شکل تابعی $\sigma_t = B_1\left[\gamma Q_{t-1} + \vartheta A_{t-1}\right]^{\beta}$ (به شکل تابعی CES) در نظر گرفته شده است. بنابراین در الگوی (۳) به دنبال برآورد رابطه‌ی (۱۲) می‌باشیم.

$$Q_t = Q_{t-1} - q_{t-1} + \left(B_1\left[\gamma Q_{t-1} + \vartheta A_{t-1}\right]^{\beta}\right)\Delta z_t \tag{۱۲}$$

در روابط ۱۰ تا ۱۲ فرآیند تصادفی Δz_t مشخص نمی‌باشد. به‌منظور برآورد پارامترهای این روابط در ابتدا باید نوع و پارامترهای توزیع فرآیند تصادفی Δz_t مشخص گردد. در این تحقیق ۱۶ نوع توزیع تصادفی برای هر یک از الگوها در نظر گرفته شده است. در جدول (۲) توزیع‌های در نظر گرفته شده و همچنین پارامترهای مورد نیاز برای هر توزیع آورده شده است. به‌عنوان مثال یکی از توزیع‌های در نظر گرفته شده، توزیع لجستیک با میانگین μ و انحراف معیار σ می‌باشد که باید برآورد گردند. با توجه به روابط ۱۰ تا ۱۲ این روابط کاملا غیر خطی و با توجه به وجود Δz_t، تصادفی می‌باشند. بنابراین برای برآورد پارامترهای این روابط غیرخطی تصادفی از روش

غیرپارامتریک استفاده شده است. به‌منظور بهینه‌سازی و به‌دست آوردن حداقل خطای انحراف از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

در ادامه اجزای سازنده الگوریتم ژنتیک پیوسته به‌منظور برآورد سه الگوی بسط داده شده مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور برآورد پارامترهای الگو در حل مسئله بهینه‌سازی، هدف ما حداقل سازی مجموع مقدار مطلق انحرافات می‌باشد (رابطه‌ی ۱۳). که در این رابطه‌ی $\widehat{Q_t}$ و Q_t به ترتیب مقدار برآورد شده توسط الگو و مقدار تحقق یافته حجم منابع قابل استخراج است.

$$LAD = \sum_{t=1359}^{1388} \left| Q_t - \widehat{Q_t} \right| \qquad (۱۳)$$

در این تابع هدف مقادیر مختلف LAD[1] به ازای مقادیر مختلف پارامترهای هر الگو مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. به صورت چرخه‌ای الگوریتم ادامه پیدا می‌کند تا مقدار حداقل مطلق انحرافات محاسبه شود.

به‌منظور آغاز فرآیند تنظیم متغیرها توسط الگوریتم ژنتیک، یک کروموزوم را به صورت آرایه‌ای از مقادیر متغیرها (در اینجا پارامترهای تابع تصادفی حجم منابع قابل استخراج می‌باشد) که تابع هدف بهینه بر اساس این متغیرها باید بهینه شود، تعریف می‌کنیم. بنابراین کروموزوم‌های مسئله مورد بررسی این مطالعه برای الگوی ۱ (σ)، برای الگوی ۲ (B_1, γ, θ) و برای الگوی ۳ ($B_1, \gamma, \vartheta, \beta$) می‌باشد.

1. Least absolute deviations (LAD)

جدول ۲- توزیع‌های آماری در نظر گرفته شده در این تحقیق

Distribution	پارامتر ورودی C	پارامتر ورودی B		پارامتر ورودی A		نام توزیع
Beta Distribution	-	پارامتر مقیاس	b	پارامتر شکل	a	بتا
Binomial	-	احتمال موفقیت برای هر آزمایش[1]	p	تعداد آزمایشات	n	دو جمله ای
Chi-Square	-	-	-	درجه آزادی	ν	چی ۲ (χ^2)
Exponential	-	-	-	میانگین	μ	نمایی
Extreme Value	-	پارامتر مقیاس	σ	پارامتر مکان[2]	μ	ارزش حداکثر
F Distribution	-	درجه آزادی مخرج[4]	ν_2	درجه آزادی صورت کسر[3]	ν_1	F
Gamma	-	پارامتر مقیاس	b	پارامتر شکل	a	گاما
Inverse Gaussian	-	میانگین	λ	میانگین	μ	گاوسی معکوس
Hypergeometric	n: تعداد نمونه گرفته شده[6]	تعداد موارد با ویژگی مطلوب در جامعه[5]	K	اندازه جمعیت	M	فوق هندسی
Logistic	-	انحراف معیار	σ	میانگین	μ	لجستیک
Loglogistic	-	انحراف معیار	σ	میانگین	μ	لجستیک لگاریتمی
Negative Binomial	-	احتمال موفقیت در یک آزمایش منفرد[7]	p	تعداد موفقیت	r	دو جمله‌ای منفی
Normal	-	انحراف معیار	σ	میانگین	μ	نرمال
Poisson	-	-	-	میانگین	λ	پواسون
Uniform	-	-	-	حداکثر مقدار قابل مشاهده[8]	N	یکنواخت
Weibull	-	پارامتر مقیاس	b	پارامتر مقیاس	a	وایبل

منبع: یافته‌های تحقیق

1. Probability of success for each trial
2. Location parameter
3. Numerator degrees of freedom
4. Denominator degrees of freedom
5. Number of items with the desired characteristic in the population
6. Number of samples drawn
7. Probability of success in a single trial
8. Maximum observable value

ضریب تشخیص (R^2) که میزان خوبی برازش را نشان می‌دهد توسط رابطه‌ی ۱۴ قابل محاسبه است.

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} = 1 - \sum_{i=1359}^{1388} \frac{(Q_i - \widehat{Q_i})^2}{(Q_i - \overline{Q})^2} \qquad (۱۴)$$

که در این رابطه‌ی $RSS = \sum_{i=1359}^{1388}(Q_i - \widehat{Q}_i)^2$ مجموع مربعات خطا و $TSS = \sum_{i=1357}^{1382}(Q_i - \overline{Q})^2$ مجموع انحرافات از میانگین می‌باشد. $\overline{Q}$ میانگین متغیر وابسته (حجم منابع قابل استخراج) در طول دوره‌ی مورد بررسی طی سال‌های ۱۳۵۹ الی ۱۳۸۸ می‌باشد.

برای شروع کار با الگوریتم ژنتیک، یک جمعیت اولیه m تایی تعریف می‌کنیم. در این مطالعه به‌منظور بررسی کل رویه توسط الگوریتم جمعیت اولیه را ۱۰۰۰ کروموزوم در نظر می‌گیریم. s (نرخ تغییر نسل) برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است[۱]. یعنی در هر مرحله ۵۰ درصد از جمعیت پایینی کروموزوم‌ها حذف و ۵۰ درصد بالایی انتخاب می‌شوند.

تعداد کروموزوم‌هایی که برای ادغام مناسب ترند از ضرب نرخ تغییر نسل در جمعیت اولیه به دست می‌آید. بنابراین ($S = s \times m$). پس $S = 500$ (هاپت، ۱۹۹۶). نرخ جهش برابر ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه سه الگوی بسط داده شده برای منابع قابل استخراج به کمک روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک پیوسته با استفاده از برنامه نویسی در نرم افزار متلب برآورد شده است. داده‌های حجم منابع قابل استخراج نفت و گاز[۲] طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۵۹ بر حسب واحد میلیون تن معادل نفت خام در نظر گرفته شده است. داده‌های سری

---

۱. نرخ تغییر نسل می‌تواند مقادیر مختلف دیگری بین صفر و یک داشته باشد. در تعدادی از مطالعات به پیدا کردن مقدار بهینه نرخ تغییر نسل پرداخته شده است. در این مطالعه با توجه به تصحیح و خطا نرخ‌های تغییر نسل متفاوتی آزمایش شد. در نتیجه نهایی تغییری حاصل نشد، تنها سرعت همگرایی رسیدن به جواب تغییر کرد.

۲. منبع: وزارت نیرو، ترازنامه‌ی انرژی سال‌های مختلف و مجموعه داده‌های آژانس بین المللی انرژی www.iea.gov

زمانی سطح دانش بر حسب میلیارد ریال در نظر گرفته شده است[1]. میزان استخراج نفت و گاز طی دوره‌ی ۱۳۹۳-۱۳۵۹[2] یکی دیگر از داده‌های مستقل این مطالعه است.

برای هر الگو (روابط ۱۰ تا ۱۲) ابتدا بر اساس داده‌های سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۵۹پارامترهای مناسب با توجه به توزیع‌های مختلف برای Δz_t برآورد شده است. جدول (۳-۵) پارامترهای برآورد شده برای هر الگو را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۳) بالاترین ضریب تشخیص برای الگوی (۱) مربوط به توزیع نرمال با ضریب تشخیص ۹۳ درصد می‌باشد. از طرفی پارامترهای بهینه توزیع نرمال، میانگین ۶/۱۶ و انحراف معیار ۰/۳ می‌باشد. با توجه به جدول (۴) بهترین توزیع برای الگوی ۲، توزیع فوق هندسی با پارامترهای بهینه ۹۱۵، ۶۱ و ۹ به ترتیب برای اندازه جمعیت، تعداد موارد با ویژگی مطلوب در جامعه آماری و تعداد نمونه گرفته شده، با ضریب تشخیص ۹۵ درصد می‌باشد. از طرفی با توجه به جدول (۵) بهترین توزیع برای الگوی ۳، نیز توزیع فوق هندسی با پارامترهای بهینه ۱۳۴۹، ۷۵ و ۱۱ با ضریب تشخیص ۹۵ درصد می‌باشد.

پس از تعیین بهترین توزیع برای هر الگو و برآورد پارامترهای الگوی مورد نظر، مقادیر متغیرهای مستقل را برای سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹ در بهترین معادله حرکت حجم منابع قابل استخراج (روابط ۱۰ تا ۱۲) برای هر توزیع بهینه احتمال مشخص قرار داده‌ایم. به‌منظور محاسبه خطای پیش‌بینی برای سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳ از رابطه‌ی ۱۵ استفاده شده است، که هر چه خطای پیش‌بینی مقدار کمتری داشته باشد، الگوی مورد نظر برای پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج مناسب‌تر است. جدول‌های ۳ تا ۵ مقادیر خطای پیش‌بینی (بر اساس داده سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۳) را نشان می‌دهد.

$$\mathrm{LAD_{PR}} = \sum_{i=1389}^{1393} \left| Q_i - \hat{Q}_i \right| \qquad (۱۵)$$

مقادیر برازش هر معادله را با توجه به مقدار واقعی در طول زمان در نمودارهای شکل (۳) برای سه الگو به ترتیب با توزیع‌های بهینه نرمال، فوق هندسی و فوق هندسی رسم شده است. همان گونه که در این نمودارها مشاهده می‌شود داده‌های سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳ جهت پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته و در برآورد توابع تولید داده‌های این سال‌ها در نظر گرفته نشده است.

---

۱. منبع: محاسبه نویسندگان

۲. وزارت نیرو، ترازنامه‌ی انرژی سال‌های مختلف و مجموعه داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی

جدول ۳. مقادیر برآورد شده در الگوی ۱

توزیع	پارامترهای برآورد شده توزیع			پارامترهای رابطه (۱۰)	ضریب تشخیص	ضریب تشخیص تعدیل شده	خطای پیشبینی
	a	b	c	σ	R^2	$Adj-R^2$	ADF
بتا	۰/۷۵	۰/۷۵	-	۱۴۷۵	۰.۸۸	۰.۸۰	۳۹۰۴۲
دو جمله ای	۰.۰۸	۱۰۰۰۰۰	-	۹۵۵	۰.۸۵	۰.۷۸	۴۳۴۳۵
چی ۲ (χ^2)	۲۷	-	-	۱۱۵۱	۰.۹۰	۰.۸۳	۱۴۳۷۹
نمایی	۳۸۶۶۲	-	-	۱۶۲۴	۰.۸۸	۰.۸۰	۵۸۸۵۸
ارزش حداکثر	۲۸۷۱۹	۷۷۸۳	-	۱۲۲۷	۰.۹۱	۰.۸۴	۷۱۱۱
F	۱۶	۲	-	۳۳۰۳	۰.۸۲	۰.۷۵	۲۴۱۳۷۱
گاما	۵	۳	-	۱۲۷۱	۰.۹۲	۰.۸۴	۸۸۱۰
فوق هندسی	۹۵۱	۶۵	۹	۱۳۵۳	۰.۹۱	۰.۸۳	۶۶۴۲۶
گاوسی معکوس	۲۱۶۶	۸۵	-	۴۰۳۹	۰.۸۷	۰.۷۹	۲۲۲۹۵۵
لجستیک	۳۳۲۹۰	۸۰۴۴	-	۱۲۲۶	۰.۹۱	۰.۸۳	۶۹۳۳
لجستیک لگاریتمی	۹.۸۳	۰.۳۸	-	۱۵۸۱	۰.۹۲	۰.۸۴	۳۰۸۱۱
دو جمله‌ای منفی	۱۵۶۰۹	۶۰۲۵	-	۱۲۰۸	۰.۹۲	۰.۸۴	۷۶۷۷
نرمال	۶.۱۶	۰.۳۰	-	۱۲۵۰	۲۰.۹	۰.۸۴	۷۹۸۱
پواسون	۵	-	-	۱۲۸۷	۰.۹۲	۰.۸۴	۱۰۸۹۹
یکنواخت	۸	-	-	۱۲۳۲	۰.۹۲	۰.۸۴	۸۴۰۸
وایبل	۱	۴	-	۱۱۲۴	۰.۸۹	۰.۸۲	۱۷۴۷۹

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۴. مقادیر برآورد شده در الگوی ۲

توزیع	پارامترهای برآورد شده توزیع			پارامترهای رابطه (۱۱)			ضریب تشخیص	ضریب تشخیص تعدیل شده	خطای پیشبینی
	a	b	c	B_1	γ	θ	R^2	$Adj-R^2$	ADF
بتا	۰.۷۵	۰.۷۵	-	۳۲۰۹۹.۱۸	-۰.۶۶	۰.۲۹	۰.۹۲	۰.۸۴	۱۰۷۹۹
دو جمله ای	۰.۷۶	۱۰۰۰۰۰	-	۰.۱۵	۰.۸۶	-۰.۰۱	۰.۸۹	۰.۸۲	۱۲۴۶۹
چی ۲ (χ^2)	۵۶	-	-	۳.۵۰	-۰.۱۳	۰.۵۴	۰.۹۰	۰.۸۲	۱۶۶۸۳
نمایی	۳۸۶۳	-	-	۵۵۲۹۳.۷۳	-۱.۱۸	۰.۷۱	۰.۹۰	۰.۸۲	۱۶۷۳۶
ارزش حداکثر	۳۱۷۷۱	۱۹۱۱	-	۲۴۲۹۳.۰۹	۰.۹۹	-۱.۰۱	۰.۰۷	۰.۰۷	۱۳۵۹۵۱
F	۳۲	۰.۵۹	-	۴۷۷۶۷.۶۶	-۹.۶۹	۷.۹۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۳۴۲۱۸۶۲
گاما	۱۳	۶	-	۶۴۷۵۱.۶۶	۲.۶۱	-۲.۲۵	۰.۹۱	۰.۸۳	۴۷۹۹۳
فرق هندسی	۹۱۵	۶۱	۹	۶۵۸۳۶.۴۹	-۲.۵۷	۱.۶۱	۰.۹۵	۰.۸۷	۱۳۹۴۱
گاوسی معکوس	۲۱۶۶۴	۵۱	-	۲۰۶۳۷.۹۴	-۵.۷۶	۴.۲۵	۰.۸۷	۰.۸۰	۵۴۶۱۶
لجستیک	۱۳۵۶	۵۹	-	۵۹۸۰۲.۱۹	۰.۷۲	-۰.۸۶	۰.۴۲	۰.۳۹	۱۱۱۱۶۹
لجستیک لگاریتمی	۴	۰.۸۵	-	۵۴۵۴۶.۲۲	-۵.۶۹	۴.۰۹	۰.۸۶	۰.۷۹	۴۱۴۷۵
دو جمله‌ای منفی	۶	۰.۴۱	-	۴۴۹۱۰.۵۰	-۱.۲۷	۰.۶۷	۰.۸۹	۰.۸۲	۳۲۵۷۱
نرمال	۲۶۱۸۰	۳۴۸۰	-	۳۱۰۳۱.۴۱	۰.۶۶	-۰.۷۵	۰.۸۷	۰.۷۹	۴۸۸۳۳
پواسون	۳۰	-	-	۳۱۰۸۴.۲۴	۰.۹۴	-۰.۹۵	۰.۹۰	۰.۸۲	۲۹۶۹۴
بکتراحت	۷	-	-	۶۳۶۴۵.۰۲	-۳.۷۴	۲.۴۹	۰.۹۱	۰.۸۳	۲۱۱۴۲
وایبل	۰.۲۷	۲۰	-	۰.۹۷	۱.۴۳	-۰.۵۶	۰.۹۱	۰.۸۳	۱۸۱۴۶

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. مقادیر برآورد شده در الگوی ۳

توزیع	پارامترهای برآورد شده توزیع			پارامترهای رابطه (۱۲)				ضریب تشخیص	ضریب تشخیص تعدیل شده	خطای پیشینی
	a	b	c	B_2	γ	ϑ	β	R^2	$Adj-R^2$	ADF
بتا	۰.۷۵	۰.۷۵	-	۵۲۴۲۹.۶۴	۰.۹۹	۰.۰۰	-۰.۳۳	۰.۷۹	۰.۷۲	۳۷۷۷۷
دوجمله ای	۰.۰۶	۱۰۰۰۰۰	-	۰.۵۷	۰.۰۰	۰.۱۵	۰.۶۳	۰.۸۸	۰.۸۱	۲۱۲۲۹
چی ۲ (χ^2)	۵۷	-	-	۰.۶۴	۰.۰۰	۰.۴۶	۰.۵۹	۰.۹۰	۰.۸۲	۱۴۵۰۴
نمایی	۷۵۳۱	-	-	۳۱۹۵۷.۱۴	۰.۹۹	۰.۰۱	-۰.۱۸	۰.۸۳	۰.۷۵	۱۸۸۲۱
ارزش حداکثر	۲۴۲۹۳	۵۱۱۳	-	۹۶۴۱.۹۷	۰.۹۹	۰.۰۰	-۰.۲۱	۰.۹۰	۰.۸۳	۲۳۴۵۹
F	۱۶	۳	-	۶۶۲۱۶.۵۹	۰.۹۹	۰.۰۷	-۰.۳۱	۰.۹۱	۰.۸۳	۶۹۱۱۹
گاما	۵	۸	-	۳۳۸۴۲.۹۷	۰.۹۸	۰.۰۶	-۰.۲۹	۰.۹۱	۰.۸۳	۱۱۴۱۵
فوق هندسی	۱۳۴۹	۷۵	۱۱	۶۳۱۰۲.۱۸	۰.۰۲	۰.۰۰	-۰.۶۳	۰.۹۵	۰.۸۷	۷۵۰۵۳
گاوسی معکوس	۴۱۴۳۷	۲۲	-	۶۲۴۴۷.۷۷	۰.۱۵	۰.۰۲	-۰.۲۳	۰.۷۳	۰.۶۶	۳۶۴۹۵۲
لجستیک	۳۳۷۴۲	۶۰۹۲	-	۱۰۳۵۸.۵۱	۱.۰۰	۰.۰۰	-۰.۲۱	۰.۹۰	۰.۸۲	۱۹۸۱۲
لجستیک لگاریتمی	۵۸۲	۰.۳۲	-	۴۹۰۴۱.۸۲	۰.۳۹	۰.۰۰	-۰.۴۰	۰.۹۱	۰.۸۴	۱۲۳۷۶
دوجمله‌ای منفی	۷	۰.۱۵	-	۶۱۰۵۳.۵۳	۰.۶۰	۰.۰۰	-۰.۴۳	۰.۷۷	۰.۷۰	۶۰۱۶۱
نرمال	۲۴۶۹۲	۱۱۱۱۴	-	۱۱۲۰۲.۴۷	۱.۰۰	۱.۰۰	-۰.۱۶	۰.۹۱	۰.۸۴	۱۳۵۱۳
پواسون	۱۰	-	-	۵۱۹۸۷.۳۹	۱.۰۰	۰.۰۳	-۰.۳۵	۰.۹۰	۰.۸۲	۲۳۲۵۵
بکنراخت	۹	-	-	۶۳۱۸۶.۷۵	۱.۰۰	۰.۰۱	-۰.۳۹	۰.۷۷	۰.۷۱	۴۴۰۱۸
وایبل	۰.۴۹	۷۰۰	-	۵۴۱۴۵.۴۳	۱.۰۰	۰.۰۳	-۰.۴۵	۰.۸۸	۰.۸۱	۲۰۳۲۳

منبع: یافته‌های تحقیق

۴-۳ پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج

در قسمت قبل مشاهده شد که بهترین توزیع برای جزء تصادفی dz، برای سه الگوی در نظر گرفته شده به ترتیب توزیع نرمال، فوق هندسی و فوق هندسی می‌باشد. از طرفی پارامترهای هر الگوی بهینه نیز محاسبه گردیده است. در این قسمت به دنبال پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج برای اقتصاد ایران می‌باشیم. به‌منظور پیش‌بینی حجم منابع در ابتدا باید متغیرهای مستقل الگو یعنی میزان استخراج و همچنین سطح دانش را برای اقتصاد ایران پیش‌بینی نمود. به‌منظور پیش‌بینی از روش‌های سری زمانی هموارسازی نمایی استفاده شده است.

۴-۳-۱- پیش‌بینی متغیرهای مستقل الگو

در این قسمت ابتدا به بررسی روش‌های هموارسازی نمایی پرداخته شده، پس از آن با استفاده از این روش به برآورد متغیرهای مستقل الگو (سطح استخراج و سطح دانش) پرداخته‌ایم.

۴-۳-۱-۱- روش هموارسازی نمایی ساده[1]

در این روش با هدف به صفر رساندن خطای پیش‌بینی، در صورتی که خطای پیش‌بینی مثبت یا منفی باشد، مقادیر پیش‌بینی شده به ترتیب افزایش یا کاهش خواهند یافت. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود که خطا به سمت صفر میل کند. بدین ترتیب پیش‌بینی جدید برابر با پیش‌بینی قدیم به‌علاوه کسری از خطا می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_t = \alpha y_t + (1-\alpha).F_{t-1}, \quad (۰<\alpha<۱) \qquad (۱۶)$$

که در آن F_t مقدار پیش‌بینی شده سری در دوره‌ی t، y_t مقدار واقعی سری در دوره‌ی t، F_{t-1} مقدار پیش‌بینی شده سری برای دوره‌ی $t-1$، F_{t+h} مقدار پیش‌بینی شده سری برای دوره‌ی $t+h$ و α ضریب ثابت هموارسازی نمایی است.

1. Single Exponential Smoothing (SES)

۴-۳-۱-۲- هموارسازی نمایی دوگانه[1]

روش هموارسازی نمایی دوگانه همانند روش هموارسازی نمایی ساده است با این تفاوت که روند زمانی نیز به آن اضافه شده است. این روش از طریق سه رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$F_t = \alpha y_t + (1-\alpha).F_{t-1} \quad (۱۷)$$

$$F'_t = \alpha(F_t - F_{t-1}) + (1-\alpha).F'_{t-1} \quad (۱۸)$$

$$F_{(t+h)} = F_t + F'_t[(h-1) + 1/\alpha)] \quad (۱۹)$$

که در آن F_t پیش‌بینی با استفاده از روش هموارسازی نمایی ساده، F'_t پیش‌بینی با استفاده از روش هموارسازی نمایی دوگانه و $F_{(t+h)}$ مقدار پیش‌بینی شده برای h دوره به جلو متغیر مورد نظر است.

۴-۳-۱-۳- هموارسازی نمایی هالت - وینترز[2]

یکی دیگر از انواع روش‌های پیش‌بینی هموارسازی نمایی، هالت - وینترز است. این روش برای سری‌هایی با یک روند زمانی و بدون تغییرات فصلی مناسب می‌باشد. تفاوت این روش با روش‌های هموارسازی نمایی ساده و دوگانه این است که از دو پارامتر α و β در معادله استفاده شده است. این روش دارای سه معادله و دو ضریب ثابت هموارسازی به صورت زیر است:

$$(۰< \alpha <۱) L_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad , \quad (۲۰)$$

$$(۰< \beta <۱) b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1} \quad , \quad (۲۱)$$

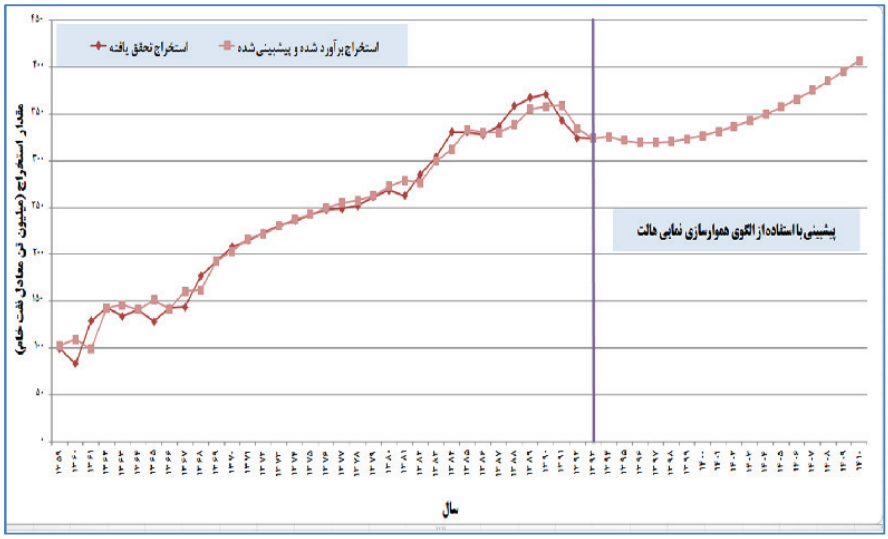
$$F_{(t+h)} = L_t + hb_t \quad (۲۲)$$

که در آن L_t برآورد میزان سری در دوره‌ی t، α ضریب ثابت هموارسازی نمایی برای داده‌ها، β ضریب ثابت هموارسازی نمایی برای برآورد روند، b_t برآورد شیب سری در دوره‌ی t و F_{t+h} مقدار پیش‌بینی سری برای دوره‌ی t+h است[3].

به منظور برآورد پارامترها و پیش‌بینی میزان استخراج و همچنین سطح دانش برای اقتصاد ایران با استفاده از روش هموارسازی از نرم افزار متلب استفاده شده است. شکل

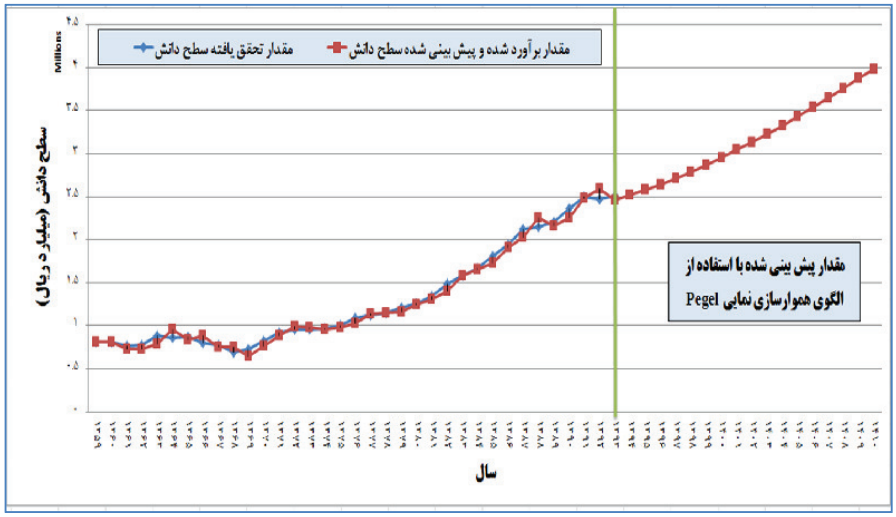
1. Double Exponential Smoothing (DES)
2. Holt-Winters Exponential Smoothing (HWES)
۳. برای اطلاع بیشتر در مورد روش‌های برآورد هموارسازی نمایی به وانگ (۲۰۰۶) مراجعه شود.

۱ و ۲ مقادیر شبیه‌سازی شده (۱۳۹۲-۱۳۵۹) و پیش‌بینی (۱۴۱۰-۱۳۹۳) را به‌ترتیب برای میزان استخراج و همچنین سطح دانش برای اقتصاد ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱. مقادیر شبیه‌سازی و پیش‌بینی شده میزان استخراج

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۲. مقادیر شبیه‌سازی و پیش‌بینی شده سطح دانش

منبع: یافته‌های تحقیق

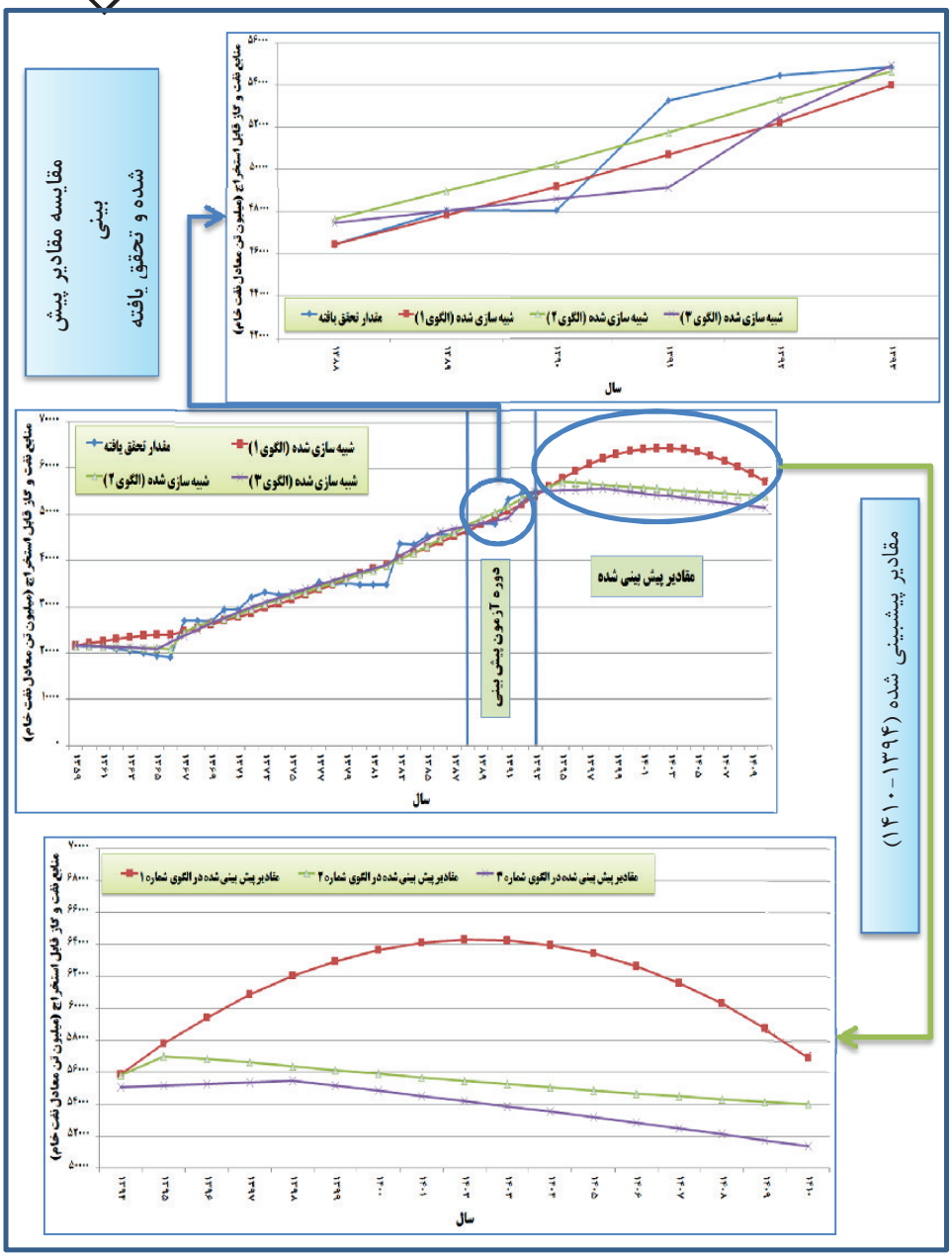
با توجه به این نمودارها و پیش‌بینی صورت گرفته میزان استخراج و سطح دانش برای اقتصاد ایران بین سال‌های ۱۳۹۳-۱۴۱۰ به ترتیب دارای نرخ رشد ۱/۳ و ۲/۹ درصد می‌باشد.

۴-۳-۲- پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج

با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته در سه الگوی مختلف نمودارهای مقدار تحقق یافته و شبیه‌سازی شده در این الگوها با توجه به پارامترهای بهینه به‌دست آمده در نمودار شکل (۳) رسم شده است. این نمودار به سه قسمت مختلف تقسیم شده است. داده‌های سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۵۹ جهت برآورد پارامترهای بهترین الگو مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹ جهت این موضوع استفاده شده است که آیا این بهترین الگو از قدرت پیش‌بینی خوبی نسبت به داده‌های تحقق یافته برخوردار است یا خیر؟ داده‌های ۱۴۱۰- ۱۳۹۴ پیش‌بینی بهترین الگوها می‌باشد. با توجه به این نمودارها هر سه الگو روند و همچنین نقاط بازگشت داده‌های تحقق یافته را به خوبی دنبال می‌کنند.

با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته در هر سه الگو، این نتیجه حاصل شده است که حجم منابع تا یک سال مشخص دارای روندی صعودی است و پس از آن سال دارای روند نزولی خواهد بود. نقطه بازگشت برای الگوهای ۱ تا ۳ به ترتیب سال‌های ۱۴۰۲، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ خواهد بود.

از طرفی با توجه به این نمودار حجم منابع قابل استخراج در طول زمان دارای شکلی شبیه به U معکوس (شبیه به منحنی‌های کوزنتس) خواهد داشت. از طرفی در سه الگوی فوق نرخ رشد پیش‌بینی شده حجم منابع قابل استخراج بین سال‌های ۱۴۱۰-۱۳۹۴ به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۰۶- و ۰/۳۹- محاسبه شده است. بنابراین به صورت میانگین با توجه به سه الگوی بهینه فوق نرخ رشد منابع انرژی (نفت و گاز) قابل استخراج دارای رشد ۰/۰۴- درصد خواهد بود.



شکل ۳. مقادیر شبیه‌سازی و پیش‌بینی شده حجم منابع قابل استخراج برای الگوهای مختلف بسط داده شده

منبع: یافته‌های تحقیق

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق برآورد و پیش‌بینی تصادفی منابع قابل استخراج انرژی برای ایران بین سال‌های ۱۴۱۰- ۱۳۵۹ بوده است. حجم منابع قابل استخراج (معدنی، انرژی و ...) در هر دوره برای هر کشوری نشان دهنده میزان ثروت غیرانسانی برای آن کشور است. بنابراین برآورد و پیش‌بینی حجم منابع قابل استخراج (سطح ثروت) می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های اقتصادی بسیار مهم باشد. به‌منظور بررسی انواع عدم قطعیت‌ها، انواع روش‌های مدل‌سازی تصادفی توسعه یافته است. همچنین انواع روش‌های اندازه‌گیری به‌منظور اندازه‌گیری تأثیر سیاست‌های مختلف بر سیستم‌هایی که باید مدیریت شوند، بسط داده شده است. هدف از این تحقیق، در ابتدا برآورد معادله پویای حجم منابع قابل استخراج انرژی تصادفی در سه الگوی متفاوت برای اقتصاد ایران بوده است. به‌منظور برآورد معادله پویای تصادفی حجم منابع قابل استخراج از روش‌های برآورد ناپارامتریک[1] غیرخطی استفاده شده است. هدف دوم این تحقیق پس از برآورد معادله پویای حجم منابع قابل استخراج انرژی پیش‌بینی سطح این منابع برای دوره‌های آتی (۱۴۱۰-۱۳۹۴) بوده است.

با استفاده از آزمون آماری RUN این موضوع بررسی شده است که آیا تغییرات حجم منابع یک فرآیند تصادفی است و یا یک فرآیند قطعی؟ این آزمون برای داده‌های تغییرات حجم منابع قابل استخراج (ΔQ) برای اقتصاد ایران طی دوره‌ی ۱۳۵۹-۱۳۹۳ در نرم افزار متلب انجام شده است. با توجه به این نتایج در سطح اطمینان بالایی تغییرات حجم منابع قابل استخراج فرآیندی تصادفی است.

به‌منظور برآورد معادله حالت حجم منابع برای ایران سه الگو بسط داده شده است. در الگوی اول مقدار نوسانات حجم منابع ثابت در نظر گرفته شده است. در الگوی دوم واریانس حجم منابع مانند الگوی (۱) ثابت نیست، بلکه تابعی به صورت کاب داگلاس تعمیم یافته از حجم منابع قابل استخراج و سطح دانش در نظر گرفته شده است. الگوی (۳) مانند الگوی (۲) است، با این تفاوت که در الگوی (۳) واریانس حجم منابع به شکل تابع CES در نظر گرفته شده است.

1. Nonparametric estimation

فرآیند تصادفی معادله حرکت حجم منابع قابل استخراج مشخص نمی‌باشد. به‌منظور برآورد پارامترهای این معادله در ابتدا باید نوع و پارامترهای توزیع فرآیند تصادفی مشخص گردد. در این تحقیق ۱۶ نوع توزیع تصادفی برای هر یک از الگوها در نظر گرفته شده است. برای هر الگو ابتدا بر اساس داده‌های سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۵۹پارامترهای مناسب با توجه به توزیع‌های مختلف برای Δz_t برآورد شده است. بالاترین ضریب تشخیص برای الگوی (۱) مربوط به توزیع نرمال با ضریب تشخیص ۹۳ درصد می‌باشد. از طرفی پارامترهای بهینه توزیع نرمال دارای میانگین ۶/۱۶ و انحراف معیار ۰/۳ می‌باشد. بهترین توزیع برای الگوی ۲، توزیع فوق هندسی با پارامترهای بهینه ۹۱۵، ۶۱ و ۹ به ترتیب برای اندازه جمعیت، تعداد موارد با ویژگی مطلوب در جامعه آماری و تعداد نمونه گرفته شده، با ضریب تشخیص ۹۵ درصد می‌باشد. از طرفی بهترین توزیع برای الگوی ۳، نیز توزیع فوق هندسی با پارامترهای بهینه ۱۳۴۹، ۷۵ و ۱۱ با ضریب تشخیص ۹۵ درصد می‌باشد. داده‌های سال‌های۱۳۸۸ -۱۳۵۹ جهت برآورد پارامترهای بهترین الگو مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹ جهت این موضوع استفاده شده است که آیا این بهترین الگو از قدرت پیش‌بینی خوبی نسبت به داده‌های تحقق یافته برخوردار است یا خیر؟ داده‌های ۱۴۱۰-۱۳۹۴ پیش‌بینی بهترین الگوها می‌باشد. با توجه به این نمودارها هر سه الگو روند و همچنین نقاط بازگشت داده‌های تحقق یافته را به خوبی دنبال می‌کنند.

با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته در هر سه الگو این نتیجه حاصل شده است که حجم منابع تا یک سال مشخص، دارای روند صعودی است و پس از آن سال دارای روند نزولی خواهد بود. نقطه بازگشت برای الگوهای ۱ تا ۳ به ترتیب سال‌های ۱۴۰۲، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ خواهد بود. از طرفی با توجه به این نمودار حجم منابع قابل استخراج در طول زمان دارای شکلی شبیه به U معکوس (شبیه به منحنی‌های کوزنتس) خواهد داشت. از طرفی در سه الگوی فوق نرخ رشد پیش‌بینی شده حجم منابع قابل استخراج بین سال‌های ۱۴۱۰-۱۳۹۴ به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۰۶- و ۰/۳۹- محاسبه شده است. بنابراین به‌صورت میانگین با توجه به سه الگوی بهینه فوق نرخ رشد قابل استخراج دارای رشد ۰/۰۴- درصد خواهد بود.

در این مقاله معادلاتی برای استخراج منابع به صورت تصادفی با توجه به تابع توزیع‌های مختلف برآورد شد. در اکثر الگوهای کنترل بهینه با وجود منابع، معادله استخراج قطعی در نظر گرفته شده است. پیشنهاد می‌شود برای تکمیل مطالعات پیشین و بررسی نتایج دقیق‌تر از الگوهای تصادفی با وجود منابع تصادفی استفاده گردد.

منابع

Aronsson T, Backlund K, L¨ofgren K.G. (1998) Nuclear power, externalities and non-standard pigouvian taxes: A dynamic analysis under uncertainty. *Environmental and Resource Economics*, 11, 177–195.

Bahn O., Haurie A., Malham´e, R. (2008) A stochastic control model for optimal timing of climate policies, *Automatica*, 44, 1545–1558.

Brozovi´c N, Schlenker W. (2011) Optimal management of an ecosystem with an unknown threshold. *Ecological Economics*, 70, 627–640.

Clark C.W. (1976) *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*, Wiley, New York.

Clark C.W., Kirkwood G.P. (1986) On uncertain renewable resource stocks: Optimal harvest policies and the value of stock surveys, *Journal of Environmental Economics and Management*, 13, 235–244.

Clarke, HR, Reed J. (1994) Consumption/pollution tradeoffs in an environment vulnerable to pollution-related catastrophic collapse, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18, 991–1010.

Cropper L. (1976) Regulating activities with catastrophic environmental effects, *Journal of Environmental Economics and Management*, 3, 1–15.

Dasgupta P, Heal G, Majumdar M. (1977) *Resource depletion and research and development*. In: Intriligator MD, Frontiers of Quantitative Economics, vol. III B, North-Holland, Amsterdam.

Dasgupta P, Heal G. (1974) The optimal depletion of exhaustible resources, *The Review of Economic Studies,* 41, 3–28.

Dasgupta P, Heal, G. (1979) *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge Univeristy Press, Cambridge.

Davison R. (1978) Optimal depletion of an exhaustible resource with research and development towards an alternative technology. *The Review of Economic Studies*, 45, 355–367.

Deshmukh SD, Pliska S.R. (1985) A martingale characterization of the price of a nonrenewable resource with decisions involving uncertainty. *Journal of Economic Theory* 35, 322–342.

Gibbons J. D, Chakraborti S. (1992), *Nonparametric statistical inference*. New York: Marcel Dekker.

Gjerde J, Grepperud S, Kverndokk S. (1999) Optimal climate policy under the possibility of a catastrophe. *Resource and Energy Economics,* 21, 289–317.

Haurie A, Moresino F. (2006) A stochastic control model of economic growth with environmental disaster prevention. *Automatica*, 42, 1417–1428.

Heal G, Kristrom B. (2002) Uncertainty and climate change. *Environmental and Resource Economics*, 22, 3–39.

Heal G. (1984) Interactions between economy and climate: A framework for policy design under uncertainty. *Advances in Applied Microeconomics*, 3, 151–168.

Kamien MI, Schwartz N.L. (1978) Optimal exhaustible resource depletion with endogenous technical change. *The Review of Economic Studies*, 45, 179–196.

Karp L, Tsur Y. (2011) Time perspective and climate change policy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 62, 1–14.

Kemp M.C. (1976) *How to eat a cake of unknown size*, In: Kemp MC, Three Topics in the Theory of International Trade, North-Holland.

Knapp K, Olson L. (1995) The economics of conjunctive groundwater management with stochastic surface supplies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 28, 340–356.

Leizarowitz A, Tsur Y. (2012) Resource management with stochastic recharge and environmental threats. *Journal of Economic Dynamics and Control*, (in press).

Long N.V. (1975) Resource extraction under the uncertainty about possible nationalization, *Journal of Economic Theory*, 10, 42–53.

Pindyck R. S. (2007) Uncertainty in environmental economics. *Review of Environmental Economics and Policy*, 1, 45–65.

Pindyck R.S. (1984) Uncertainty in the theory of renewable resource markets. *Review of Economic Studies*, 51, 289–303.

Plourde C, Yeung D. (1989) A model of industrial pollution in a stochastic environment, *Journal of Environmental Economics and Management*, 16, 97–105.

Polasky S, de Zeeuw A, Wagener F. (2011) Optimal management with potential regime shifts, *Journal of Environmental Economics and Management*, 62, 229–240.

Reed W, Heras H. (1992) The conservation and exploitation of vulnerable resources, *Bulletin of Mathematical Biology*, 54, 185–207.

Reed W.J. (1984) The effect of the risk of fire on the optimal rotation of a forest, *Journal of Environmental Economics and Management*, 11, 180–190.

Roughgarden J, Smith F. (1996) Why fisheries collapse and what to do about it. *Procces Natural Academic Science,* 93, 5078–5083.

Tsur Y, Zemel A. (1995) Uncertainty and irreversibility in groundwater resource management. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 149–161.

Tsur Y, Zemel A. (1996) Accounting for global warming risks: Resource management under event uncertainty, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 20, 1289–1305.

Tsur Y, Zemel A. (1998) Pollution control in an uncertain environment, *Journal of Economic Dynamics and Control,* 22, 967–975.

Tsur Y, Zemel A. (2004) Endangered aquifers: Groundwater management under threats of catastrophic events, *Water Resources Research*, 40, 6-20.

Tsur Y, Zemel A. (2006) Welfare measurement under threats of environmental catastrophes. *Journal of Environmental Economics and Management*, 52, 421–429.

Wang S. (2006) *Exponential Smoothing for Forecasting and Bayesian Validation of Computer Models*, A Thesis Presented to the Academic Faculty, Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology.

Wang Y. (2003) Nonparametric Tests for Randomness, ECE 461 Project Report.

Wirl F. (2006) Consequences of irreversibilities on optimal CO_2 emission policies under uncertainty. *Resource and Energy Economics*, 28, 105–123.

Zemel A. (2012) Precaution under mixed uncertainty: Implications for environmental management. *Resource and Energy Economics,* 34, 188–197.

Estimation and Prediction Time Series of Energy Resources Extraction for Iranian Economy (1980-2031)

Ali Hussein Ostadzad[1]
Ph.D. Student of Economics, Shiraz University, aostadzad@yahoo.com

Ebrahim Hadian
Associate Professor of Economics, Shiraz University, ehadian@rose.shirazu.ac.ir
Received: 2015/10/11 Accepted: 2016/11/15

Abstract

By extraction of energy resources (oil and gas), we expect the extractive resource is always be decrease over time. But study by authors shows, because of random exploration in the specific time, we have increased in the levels of extractable resources. We indicated (using non-parametric random RUNS test) that change in the level of resources follows a random process at 95 percent significant. In this study we considered sixteen random distributions for this stochastic process in three different models. According to criteria of best Estimation and prediction, hyper geometric and normal distribution is confirmed for this stochastic process as the random distribution of resources. According to the best estimations for extractive resources from 2015 to 2031 the averaging growth rate is predicted -0.4 percent per year. While, average annual growth rate of extractive resources have been 3.1 percent between years 1980 to 2014. According to the forecast, the growth rate for the years of this study (2015-2031) is negative, so the stock of resource will not increase over time. Result of the best model is considered before 2023 the stocks of extractive resources are increasing, but after 2023 the level of resources that can be extracted will be decreasing.

JEL Classification: Q47, Q33, Q16

Keywords: Random stock of resources, Holt's exponential smoothing, Iranian economy

1- Corresponding Author