Archive of SID

فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی
سال نوزدهم، شماره ۷۳، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۴۵-۱

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی در ایران (رهیافت سیستم پویای قیمت انرژی-عرضه انرژی- رشد اقتصادی)

عبدالرسول قاسمی*، عاطفه تکلیف**، تیمور محمدی*** و فرشته محمدیان****

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

چکیده

هدف اصلی این مقاله ارائه و شبیه‌سازی عددی سیستم پویای قیمت انرژی-عرضه انرژی-رشد اقتصادی ایران به منظور تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی است. در این راستا، یک سیستم معادلات دیفرانسیل غیرخطی طراحی و با به کارگیری داده‌های کل تولید داخلی انرژی، تولید ناخالص داخلی بدون نفت و شاخص قیمت انرژی طی دوره ۹۳-۱۳۷۱، پارامترهای سیستم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ برآورد شدند. سپس براساس سیستم مورد اشاره چهار استراتژی (اکتشاف و توسعه انرژی‌های نو و افزایش واردات انرژی، حرکت به سمت بازار خود تعدیل‌شونده، تغییر ساختار صنعتی و اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی) بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که سه استراتژی نخست، بازار انرژی را تثبیت می‌کنند، اما استراتژی چهارم به قرار گرفتن سیستم در حالت شوک سیکلی منجر خواهد شد. در این مقاله اثرات قدرت کنترل‌های مختلف تحت استراتژی‌های انفرادی و ترکیبی بر شدت انرژی نیز بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که تحت یک قدرت کنترل منطقی، استراتژی‌ها شدت انرژی را کاهش می‌دهند، اما افزایش نسنجیده قدرت کنترل، نتیجه معکوس خواهد داد. در رابطه با وضعیت به ثبات رسیدن شدت انرژی تحت این استراتژی‌ها، کمترین شدت انرژی توسط استراتژی سوم و کمترین زمان به ثبات رسیدن شدت انرژی تحت استراتژی دوم حاصل می‌شود. نکته مهم اینکه -هم از نظر ثبات و هم از نظر کاهش شدت انرژی- به کارگیری استراتژی جامع (ترکیب سه استراتژی) بهتر از استراتژی‌های انفرادی است. بنابراین، توصیه می‌شود جهت کاهش شدت انرژی کشور بجای به کارگیری سخت گیرانه و نسنجیده یک استراتژی از استراتژی‌های جامع یا استراتژی‌های انفرادی با قدرت کنترل‌های معقول استفاده شود.

طبقه‌بندی JEL: *C61, C02, Q48,Q4.*

کلیدواژه‌ها: *قیمت انرژی، عرضه انرژی، رشد اقتصادی، استراتژی‌های کنترل، شدت انرژی.*

---

* دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، پست الکترونیکی: ghsemi.a@hotmail.com
** استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، پست الکترونیکی: at.taklif@gmail.com
*** دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، پست الکترونیکی: atmahamadi@gmail.com
**** دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران-نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: mohamadyan_f@yahoo.com

این مقاله برگرفته از رساله دکتری فرشته محمدیان در دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی است.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

شوک‌های نفتی دهه ۱۹۷۰ توجه دولت‌ها را به بهبود کارایی انرژی جلب کرد، اما تا قبل از اواسط دهه ۱۹۸۰ سیاست‌های انرژی اغلب با هدف رونق و بهبود عملکرد اقتصادی اجرا می‌شدند. اگرچه هنوز هم حفظ رشد اقتصادی یکی از اولویت‌های مهم دولت‌ها است، امروزه سیاست‌گذاران بیشتر نگران پیامدهای زیست‌محیطی و نه اقتصادی به‌کارگیری انرژی هستند. بر این اساس امروزه کارایی انرژی یک اولویت سیاستی بسیار مهم برای بسیاری از کشورهای جهان است و این موضوع به خوبی درک شده که کارایی انرژی مقرون به صرفه‌ترین و در دسترس‌ترین ابزار برای حل بسیاری از مسائل مرتبط با انرژی (شامل امنیت انرژی و آثار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی) است.

آمارها[1] نشان می‌دهد که طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۰ شدت انرژی اولیه و نهایی به صورت جهانی و در همه مناطق[2] (بجز خاورمیانه) کاهنده بوده است. در سطح جهانی، شدت انرژی اولیه از ۰/۲۲ در سال ۱۹۹۰ به ۰/۱۶ واحد[3] درسال ۲۰۱۴ رسید در حالی که در ایران طی همین دوره از ۰/۱۶ به ۰/۲۲ واحد افزایش یافته که بعد از کشورهایCIS بالاترین رقم در سطح جهانی است. همچنین شدت انرژی نهایی ایران و خاورمیانه در سال ۱۹۹۰ به ترتیب برابر با ۰/۱۱ و ۰/۰۸ بوده که در سال ۲۰۱۴ به ترتیب به ۰/۱۴ و ۰/۰۹ افزایش یافته است. در حالی که طی همین دوره متوسط جهانی شدت انرژی نهایی از ۰/۱۵ به ۰/۱۰(۳۳ درصد کاهش) رسیده است.

طی دوره ۲۰۱۴ -۱۹۹۰ شدت انرژی نهایی در کشورهای CIS به میزان ۵۰ درصد و در آسیا ۴۰ درصد کاهش یافته، اما در ایران ۲۴ درصد افزایش یافته است. در کشورهایی که موفق به کاهش شدت انرژی شده‌اند تبیین‌کننده‌های معمول این کاهش اغلب مقررات و کنترل‌های مستقیم، قیمت‌های انرژی و تجدید ساختار صنعتی است. اگر مقررات، کاهش شدت انرژی را توضیح دهد، نشان می‌دهد که سیاست‌های انرژی به خوبی عمل

1- Enerdata (2016)

۲- شامل اتحادیه اروپا، آمریکای‌شمالی، آمریکای‌لاتین، آسیا، پاسفیک، آفریقا، کشورهای CIS (روسیه، اوکراین و قزاقستان) و خاورمیانه است.

۳- واحد شدت انرژی koe/$2005ppp است.

www.SID.ir

Archive of SID

کرده اند و کشورهای موفق بدون فدا کردن رشد اقتصادی توانسته اند شدت انرژی را کاهش دهند. همچنین اگر قیمت ها کاهش شدت انرژی را توضیح دهند در این حالت سیاست های مبتنی بر بازار، یعنی وضع مالیات های متناسب با هزینه آثار خارجی، بر صنایع با شدت انرژی بالا توصیه می شود و در نهایت اگر ترکیب صنعتی کاهش در شدت انرژی را تبیین کند این نگرانی را ایجاد می کند که تفاوت های در شدت انرژی چیزی بیش از انتقال انرژی از یک منطقه به منطقه دیگر نیست، بدون اینکه ضرورتا کل مصرف انرژی یا کل آلودگی کاهش یافته باشد. بنابراین، هر تبیین کننده کاهش شدت انرژی در کشورهای موفق دنیا، اگر بخواهد برای کشورهای با شدت انرژی بالا از جمله ایران به کار گرفته شود، سیاست های کنترلی خاص خود را می طلبد. علاوه بر این، هر کدام از سیاست های موجود دارای آثار کمی اقتصادی خاصی بر قیمت های انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی است و از نظر میزان زمانبری تا رسیدن به شدت انرژی هدف نیز با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین، جهت انتخاب سیاست بهینه، بررسی آثار کمی سیاست های مختلف و میزان زمانبری آن‌ها یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است.

تحقیقات صورت گرفته در خارج از کشور در مورد قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی بیشتر با استفاده از مدل های اقتصادسنجی مانندVAR و VECM انجام شده‌اند.[۱] فقدان تجزیه و تحلیل های عمیق در این مطالعات[۲]، ممکن است به دلیل به کارگیری مدل های ساده خطی برای تجزیه و تحلیل باشد در حالی که در عمل روابط پیچیده غیرخطی، بین عرضه انرژی، رشد اقتصادی و قیمت انرژی وجود دارد.[۳] همچنین استفاده از تجزیه و تحلیل کمی برای مطالعه استراتژی های مختلف کنترلی در تحقیقات قبلی نادر است. در این زمینه تحقیقات صورت گرفته در ایران را نیز می توان در پنج دسته کلی جای داد؛ دسته اول[۴] شامل تحلیل عوامل موثر بر شدت انرژی، تجزیه شدت انرژی و بررسی رابطه بین شدت انرژی و کارایی اقتصادی است. دسته دوم[۵] به پیش بینی مصرف انرژی و

1- Tang and Tan (2013), Lee and Chiu (2011) and Mahadevan and Asafu-Adjaye (2007)
2- Odhiambo (2010) and Doroodian and Boyd (2003)
3- Berk and Yetkiner (2014) and Jin et.al (2009)
۴- منظور و نیاکان (۱۳۹۳)، محمودزاده و شاه‌بیکی (۱۳۹۰)، صادقی و سجودی (۱۳۹۰)، آرمن و تقی‌زاده (۱۳۹۲)، عبدلی و ایرانشاهی (۱۳۹۳)، بنی‌اسدی و محسنی (۱۳۹۳)، جهانگرد و تجلی (۱۳۹۰) و راسخی و سلمانی (۱۳۹۲)
۵- بابایی‌میبدی و همکاران (۱۳۹۱)، میرفخرالدینی و همکاران (۱۳۹۲) و ابریشمی و همکاران (۱۳۹۰)

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی عوامل موثر بر رشد مصرف انرژی پرداخته‌اند. دسته سوم[۱] آثار اعمال قیمت‌های حمایتی انرژی و عوامل موثر بر تقاضای نفت خام را بررسی کرده‌اند. دسته چهارم[۲] شامل بررسی تاثیر قیمت نفت و درآمدهای نفتی بر رشد اقتصادی و بررسی رابطه رشد اقتصادی و مصرف فرآورده‌های نفتی است و در نهایت دسته پنجم این مطالعات[۳] به اثرات زیست‌محیطی افزایش یا کاهش شدت انرژی، بررسی اثرات مصرف حامل‌های مختلف انرژی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و بررسی رابطه بین متغیرهای رشد مصرف انرژی، رشد اقتصادی و رشد انتشار دی‌اکسیدکربن پرداخته است.

مطالعات عنوان شده برای تعیین روابط بین رشد اقتصادی، عرضه انرژی و قیمت انرژی مدل‌های معمول اقتصادسنجی را به‌کار گرفته‌اند. این شیوه مدل‌سازی قادر به توضیح روابط پیچیده بین رشد اقتصادی، عرضه انرژی و قیمت انرژی نخواهد بود. همچنین در مطالعات پیشین، سیاست‌های کنترلی دولت یا اصلا مورد توجه قرار نگرفته یا اگر به آن‌ها اشاره شده بیشتر برمبنای تحلیل‌های توصیفی و غیرکمی است. علاوه بر این، امروزه یکی از مسائل مهم در ایران رشد پایدار اقتصادی است. موضوع مرتبط با این سیاست در بازار انرژی به کارگیری استراتژی های کنترل مختلف برای کاهش شدت انرژی است. برآوردن این هدف، نیازمند تجزیه و تحلیل کمی مزایا و معایب این استراتژی ها و یافتن موثرترین استراتژی برای ارتقای کارایی انرژی و کاهش شدت انرژی است و این مهم با طراحی و برآورد روابط پیچیده و غیرخطی بین قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی میسر می‌شود. از این رو، در این مقاله سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی براساس داده های ایران در دوره ۹۳-۱۳۷۱ استخراج، سپس وضعیت این سیستم تحت استراتژی‌های کنترل مختلف به صورت کمی تحلیل می‌شود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای سیاست‌های کنترل مختلف برای کاهش شدت انرژی به صورت کمی نیز ارائه می شود. برای این منظور ساختار مقاله به این صورت است که بخش دوم به مبانی نظری اختصاص می یابد. داده‌ها و روش پژوهش در بخش سوم ارائه می‌شود. بخش چهارم به برآورد الگو و تفسیر نتایج و بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی می‌پردازد.

۱- باستانزاد و نیلی (۱۳۸۴)و سوری و همکاران (۱۳۹۰)

۲- امامی و همکاران (۱۳۹۰)، مهرگان و همکاران (۱۳۹۲)، مهرگان و سلمانی (۱۳۹۳) و شهبازی و همکاران (۱۳۹۱)

۳- فطرس و همکاران (۱۳۹۰)، رجبی و موسوی‌حقیقی (۱۳۹۲) و نیکواقبال و همکاران (۱۳۹۱)

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مبانی نظری

سیستم انرژی، سیستمی پیچیده و تحت تاثیر فاکتورهای متعددی (از جمله قیمت انرژی، عرضه انرژی، مصرف انرژی،[1] رشد اقتصادی، انتشار کربن، شدت انرژی و کارایی انرژی،[2] واردات انرژی، ساختار انرژی کشور،[3] سیاست‌های کنترلی،[4] ذخایر اثبات‌شده، توسعه و اکتشاف انرژی‌های نو[5] و پیشرفت تکنولوژی[6]) است. به پیروی از وانگ و تیان[7] (۲۰۱۵) روابط علی بین این فاکتورها در نمودار (۱) تصویر شده است که در آن $k_i(i = 1,2,\dots 36)$ نشان‌دهنده رابطه رفتاری بین عناصر است، علامت (+) ارتباط مثبت و علامت (-) همبستگی منفی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، تغییرات عرضه انرژی تحت تاثیر GDP، واردات انرژی، تولید انرژی و سطح اولیه عرضه است. GDP از رشد اقتصادی و شدت انرژی تاثیر پذیرفته و بر مصرف انرژی و پیشرفت تکنولوژی تاثیر می‌گذارد و پیشرفت تکنولوژی به طور متقابل بر کارایی انرژی، توسعه انرژی‌های نو و میزان ذخایر اثبات‌شده اثر دارد. واردات انرژی نیز از ساختار انرژی کشور (که تحت تاثیر سیاست‌های کنترلی است) تاثیر می‌پذیرد و بر شکاف عرضه و تقاضا (مهم‌ترین متغیر تاثیرگذار بر قیمت انرژی) و وابستگی به انرژی اثر می‌گذارد. در نهایت تولید انرژی تحت تاثیر ذخایر اثبات‌شده، توسعه انرژی‌های نو و قیمت انرژی است.

بحث فوق نشان می‌دهد که سیستم انرژی به صورت کلان تحت تاثیر سه عامل اصلی تغییرات قیمت انرژی، تغییرات عرضه انرژی و رشد اقتصادی است و سایر متغیرهای سیستم در تعاملی دوجانبه با این سه فاکتور اصلی قرار دارند. به عنوان مثال، از نمودار(۱)، می‌توان دید برخی عوامل مثل مصرف انرژی و کمبود عرضه انرژی در بازار منجر به افزایش قیمت انرژی می‌شوند. اثر این نوع از افزایش قیمت گام به گام در تولید انرژی و عرضه انرژی ظاهر می‌شود. پس از آن، کمبود عرضه انرژی کوچک شده در نتیجه، قیمت انرژی کاهش می‌یابد. در عین حال با افزایش تولید و مصرف انرژی در بازار، انتشار کربن تشدید

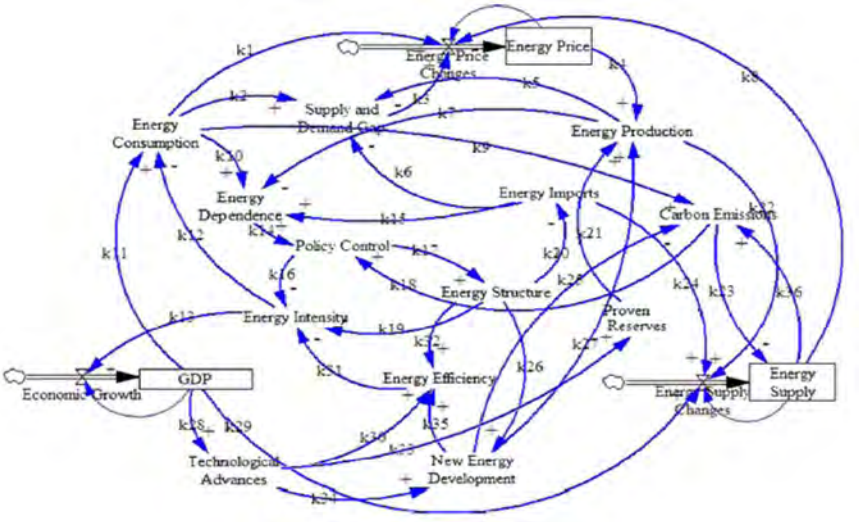
1- Sun, *et. al* (2007)
2- Fang,*et. al* (2014)
3- Zeng, *et. al* (2014)
4- Zheng and Tian (2017)
5- Fang, *et. al* (2011)
6- Li, *et. al* (2013)
7- Wang and Tian

www.SID.ir

Archive of SID

خواهد شد. پس دولت ساختار انرژی را بر این اساس تعدیل می‌کند. تعدیل، شدت انرژی را کاهش و کارایی استفاده از انرژی را بهبود می‌بخشد. سپس، ممکن است اقتصاد را به سرعت به سمت توسعه سوق دهد که مصرف انرژی و کمبود عرضه انرژی را افزایش می‌دهد. در عین حال، توسعه سریع اقتصاد می‌تواند به ارتقای پیشرفت علم و فناوری کمک کند. راه‌حل‌های فنی نوآورانه می‌تواند به بهره‌برداری بیشتر منابع انرژی و افزایش تولید و در نتیجه به بهبود عرضه انرژی کمک کند. علاوه بر این، توسعه فناوری می‌تواند به بهره‌برداری از انرژی‌های نو کمک کند که می‌تواند انتشار کربن را کاهش دهد. به طور مشابه، می‌تواند کارایی استفاده از انرژی‌ها را بهبود داده و شدت انرژی را به طور موثری کاهش دهد. بنابراین، اقتصاد به خوبی توسعه خواهد یافت. در نتیجه، برخی روابط غیرخطی مستقیم یا غیرمستقیم، بین قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی وجود دارد.

نمودار(۱): رابطه علی بین متغیرهای سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی



منبع: Wang and Tian (2015)

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور درک بهتر نمودار (۱) و برای توصیف کمی رابطه میان قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی از سیستم معادلات دیفرانسیلی غیرخطی استفاده می‌شود. مطابق روابط ارائه شده در نمودار (۱) و با فرض اینکه x(t) قیمت انرژی، y(t) عرضه انرژی، z(t) رشد اقتصادی باشند، سیستم نمایش داده شده در نمودار (۱) به صورت رابطه (۱) است.

$$\begin{cases} \dot{x} = a_1 x + a_2(c-y) + a_3(z-k_1) & (1a) \\ \dot{y} = -b_1 y + b_2 x - b_3 z(1-z/k_2) & (1b) \\ \dot{z} = c_1 z(1-z/L) + c_2 yz & (1c) \end{cases} \qquad (۱)$$

که در آن:

$$\begin{cases} a_1 = \Re(k_1, k_2, k_5, k_6, k_3) \\ a_2 = \Re(k_8, k_{36}, k_{18}, k_{16}, k_{12}, k_1) \\ a_3 = \Re(k_{11}, k_{28}, k_{30}, k_{31}, k_{12}, k_1) \\ b_1 = \Re(k_{21}, k_{22}, k_9, k_{23}) \\ b_2 = \Re(k_4, k_{22}, k_7, k_{14}, k_{17}, k_{20}, k_{24}) \\ b_3 = \Re(k_{11}, k_9, k_{18}, k_{17}, k_{20}, k_{24}, k_{23}, k_{29}, k_{28}, k_{34}, k_{27}, k_{22}, k_{25}, k_{33}, k_{21}) \\ c_1 = \Re(k_{28}, k_{30}, k_{31}, k_{13}, k_{34}, k_{25}, k_{18}, k_{17}, k_{19}, k_{11}, k_{10}, k_{14}, k_{16}) \\ c_2 = \Re(k_{36}, k_{18}, k_{17}, k_{26}, k_{32}, k_{35}, k_{31}, k_{13}, k_{20}, k_{15}, k_{14}) \end{cases}$$

$k_i (i = 1,2,\dots 36)$ نشان‌دهنده رابطه رفتاری بین عناصر مختلف مدل و ضرایب a_j، b_j و c_l $\left(l = 1,2 \text{ و } j = 1,2,3\right)$ توابعی از پارامترهای k_i هستند. k_1، k_2، c و l مقادیر ثابت و مثبتی هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند. L عطف رشد اقتصادی، c آستانه تاثیر عرضه انرژی بر قیمت انرژی و k_2 و k_1 آستانه تاثیر رشد اقتصادی بر قیمت انرژی و عرضه انرژی هستند. k_1، k_2، C و L می‌توانند با توجه به تغییر سیاست‌های کنترل تغییر کنند.

همانطور که جدول(۱) نیز نشان می‌دهد ضرایب a_j، b_j و c_l $\left(l = 1,2 \text{ و } j = 1,2,3\right)$ با تغییر پارامترهای k_i تغییر می‌کنند. این دو یک رابطه غیرخطی پیچیده با یکدیگر دارند. هدف این تحقیق بررسی رابطه میان ضرایب a_j، b_j و c_l $\left(l = 1,2 \text{ و } j = 1,2,3\right)$ و پارامترهای k_i نیست، بلکه کاربرد پارامترها بحث و بررسی اثر سیاست‌های مختلف بر ضرایب است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱): شرح پارامترهای سیستم

عنوان		شرح
a_1	ضریب رشد درونی قیمت انرژی	تابع، k_1 (اثر مصرف انرژی بر قیمت‌های انرژی)، k_2، k_5 و k_6 (به ترتیب نشان‌دهنده اثر مصرف، تولید و واردات انرژی بر کمبود عرضه انرژی) و k_3 (اثر کمبود عرضه بر قیمت انرژی) است.
a_2	ضریب تاثیر تغییر عرضه انرژی بر قیمت انرژی	تابع، k_8 (اثر مستقیم عرضه انرژی بر قیمت)، k_{36} (اثر عرضه انرژی بر انتشار کربن)، k_{18} (اثر انتشار کربن بر سیاست کنترل)، k_{16} (اثر سیاست کنترل بر شدت انرژی)، k_{12} (اثر شدت انرژی بر مصرف انرژی) و k_1 (اثر مصرف انرژی بر قیمت انرژی) است.
a_3	ضریب تاثیر رشد اقتصادی بر قیمت انرژی	تابع، k_{11} (اثر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی)، k_{28} (اثر رشد اقتصادی بر پیشرفت تکنولوژی)، k_{30} (اثر پیشرفت تکنولوژی بر کارایی انرژی)، k_{31} (اثر کارایی انرژی بر شدت انرژی)، k_{12} (اثر شدت انرژی بر مصرف انرژی) و k_1 (اثر مصرف انرژی بر قیمت‌های انرژی) است.
b_1	ضریب تنوع رشد عرضه انرژی	تابع، k_{21} (اثر ذخایر اثبات‌شده بر تولید انرژی)، k_{22} (اثر تولید انرژی بر عرضه انرژی)، k_9 (تاثیر مصرف انرژی بر انتشار کربن) و k_{23} (اثر انتشار کربن بر عرضه انرژی) است.
b_2	ضریب تاثیر تغییر قیمت انرژی بر عرضه انرژی	تابع، k_4 (اثر قیمت انرژی بر تولید انرژی)، k_{22} (اثر تولید انرژی بر عرضه انرژی)، k_7 (اثر تولید انرژی بر وابستگی به انرژی)، k_{14} (اثر وابستگی به انرژی بر سیاست کنترل)، k_{17} (اثر سیاست کنترل بر ساختار انرژی)، k_{20} (اثر ساختار انرژی بر واردات انرژی) و k_{24} (اثر واردات انرژی بر عرضه انرژی) است.
b_3	ضریب تاثیر رشد اقتصادی بر عرضه انرژی	تابع، k_{11} (اثر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی)، k_9 (تاثیر مصرف انرژی بر انتشار کربن)، k_{18} (اثر انتشار کربن بر سیاست کنترل)، k_{17} (اثر سیاست کنترل بر ساختار انرژی)، k_{20} (اثر ساختار انرژی بر واردات انرژی)، k_{24} (اثر واردات انرژی بر عرضه انرژی)، k_{23} (اثر انتشار کربن بر عرضه انرژی)، k_{29} (اثر رشد اقتصادی بر عرضه انرژی)، k_{28} (اثر رشد اقتصادی بر پیشرفت تکنولوژی)، k_{34} (اثر پیشرفت تکنولوژی بر توسعه انرژی‌های نو)، k_{27} (اثر توسعه انرژی‌های نو بر تولید انرژی)، k_{22} (اثر تولید انرژی بر عرضه انرژی)، k_{25} (اثر توسعه انرژی‌های نو بر انتشار کربن)، k_{33} (اثر پیشرفت تکنولوژی بر ذخایر اثبات‌شده)، k_{21} (اثر ذخایر اثبات‌شده بر تولید انرژی) است.

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول (۱)-

	عنوان	شرح
c_1	ضریب تاثیر رشد اقتصاد بر رشد اقتصادی	تابع، k_{28} (اثر رشد اقتصادی بر پیشرفت تکنولوژی)، k_{30} (اثر پیشرفت تکنولوژی بر کارایی انرژی)، k_{31} (اثر کارایی انرژی بر شدت انرژی)، k_{13} (اثر شدت انرژی بر مصرف انرژی)، k_{34} (اثر پیشرفت تکنولوژی بر توسعه انرژی‌های نو)، k_{25} (اثر توسعه انرژی‌های نو بر انتشار کربن)، k_{18} (اثر انتشار کربن بر سیاست کنترل)، k_{17} (اثر سیاست کنترل بر ساختار انرژی)، k_{19} (اثر ساختار انرژی بر شدت انرژی)، k_{11} (اثر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی)، k_{10} (اثر مصرف انرژی بر وابستگی به انرژی)، k_{14} (اثر وابستگی به انرژی بر سیاست کنترل) و k_{16} (اثر سیاست کنترل بر شدت انرژی) است.
c_2	ضریب تاثیر عرضه انرژی بر رشد اقتصادی	تابع، k_{36} (اثر عرضه انرژی بر انتشار کربن)، k_{18} (اثر انتشار کربن بر سیاست کنترل)، k_{17} (اثر سیاست کنترل بر ساختار انرژی)، k_{26} (اثر ساختار انرژی بر توسعه انرژی‌های نو)، k_{32} (اثر ساختار انرژی بر کارایی انرژی)، k_{35} (اثر توسعه انرژی‌های نو بر کارایی انرژی)، k_{31} (اثر کارایی انرژی بر شدت انرژی)، k_{13} (اثر شدت انرژی بر رشد اقتصادی)، k_{20} (اثر ساختار انرژی بر واردات انرژی)، k_{15} (اثر واردات انرژی بر وابستگی به انرژی)، k_{14} (اثر وابستگی به انرژی بر سیاست کنترل) است.

در رابطه با استدلال نظری مرتبط با شکل تبعی مدل (۱)، معادله(1a) نشان می‌دهد وقتی که $y < C$(یعنی $(C - y) > 0$) عرضه انرژی کوچک‌تر از آستانه C تقاضای انرژی در بازار انرژی است. در نتیجه قیمت انرژی افزایش می‌یابد که متعاقب آن تمایل به افزایش عرضه انرژی ایجاد شده و شدت افزایش قیمت انرژی تضعیف می‌شود. وقتی، $y > C$ یعنی $(C - y) < 0$ عرضه انرژی بیش از آستانه C تقاضای انرژی در بازار انرژی است که نتیجه آن کاهش قیمت انرژی است. $a_3(z - k_1)$ نشان می‌دهد توسعه اقتصاد مصرف انرژی را افزایش خواهد داد. وقتی نرخ رشد اقتصادی کم است، یعنی $(z - k_1) < 0$ تقاضای انرژی بازار بزرگ نیست که یک سطح پایین قیمت انرژی را حفظ می‌کند، اما زمانی که نرخ رشد اقتصادی به درجه خاصی رسید، یعنی $(z - k_1) > 0$ به افزایش تقاضای انرژی و در نتیجه افزایش قیمت انرژی منجر خواهد شد. در معادله (1b) ، $-b_1 y$ نشان می‌دهد که نرخ تغییر وابسته به زمان عرضه انرژی با تغییر عرضه انرژی کاهش می‌یابد. $b_2 x$ نشان می‌دهد که افزایش قیمت انرژی، افزایش عرضه انرژی را ارتقا خواهد بخشید (افزایش قیمت انرژی در اینجا از افزایش قیمت ناشی از رویدادهای مهم بین‌المللی مثل جنگ مستثنی است). $-b_3(1 - z/k_2)$

www.SID.ir

Archive of SID

نشان‌دهنده تاثیر رشد اقتصادی بر عرضه انرژی است. زمانی که $(1-z/k_2)>0$ توسعه سریع اقتصاد مقدار زیادی انرژی را مصرف خواهد کرد و منجر به کمبود عرضه انرژی در بازار انرژی می‌شود، حال آنکه سطح بالاتر رشد اقتصادی به معنی افزایش اکتشافات و توسعه منابع مختلف انرژی و یا واردات انرژی است، نتیجه آن افزایش عرضه در بازار انرژی است. در معادله (1c)، $c_1 z(1-z/l)$ نشان‌دهنده اثر خود بازدارندگی رشد اقتصادی است. هنگامی که سطح رشد اقتصادی بالا است، مقیاس رشد اقتصادی کاهش می‌یابد. $c_2 yz$ نشان‌دهنده اثر ارتقای عرضه انرژی بر رشد اقتصادی است.

با فرض عرضه انرژی برابر با مصرف انرژی از سیستم پویای ارائه شده در رابطه (۱)، می‌توان مقدار مصرف انرژی در یک دوره خاص را به صورت رابطه (۲) استنباط کرد.[1]

$$Y=\int_0^T \dot{y}(t)\,dt=\varphi_1(x,y,z,M,t),\quad \dot{y}(t)=\varphi(y,t) \qquad (۲)$$

تولید ناخالص داخلی در این دوره اقتصادی نیز به صورت رابطه (۳) است.

$$z=\int_0^T \dot{z}(t)\,dt=\varphi_2(x,y,z,N,t) \qquad (۳)$$

که در آن T طول دوره داده شده و M ثابت است. بنابراین، شدت انرژی در این دوره را می‌توان به صورت رابطه (۴) نشان داد.

$$U=\varphi_1(x,y,z,M,t)/\varphi_2(x,y,z,N,t) \qquad (۴)$$

با استفاده از سیستم قیمت‌های انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی فرایند تغییر شدت انرژی در یک دوره خاص را می‌توان به وضوح توصیف کرد.

۳- داده‌ها و روش‌شناسی پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل کل تولید داخلی انرژی، تولید ناخالص داخلی و شاخص قیمت انرژی (میانگین موزون قیمت برق، گاز و نفت) ایران بین سال‌های ۹۳-۱۳۷۱ است که از ترازنامه انرژی و پایگاه داده بانک مرکزی ایران به دست آمده‌اند. به

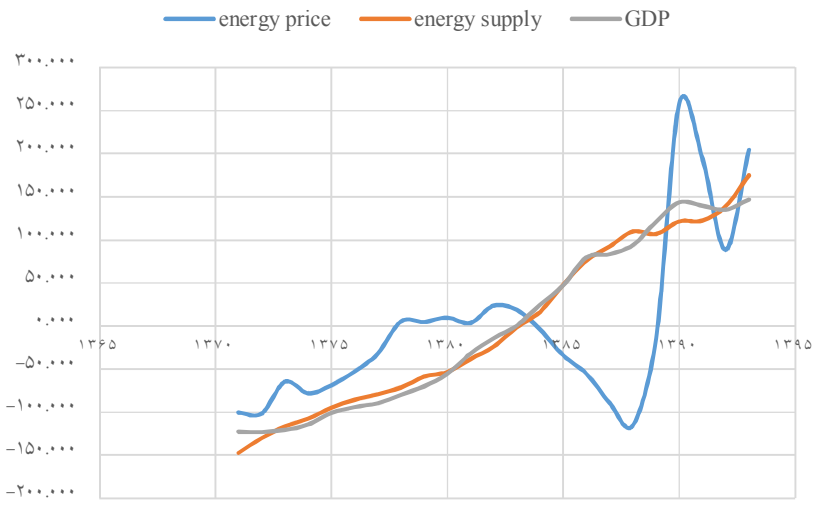
1- Wang and Tian (2015)

www.SID.ir

Archive of SID

منظور سازگاری با سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی، داده‌های قیمت انرژی، تولید کل انرژی و تولید ناخالص داخلی را به ترتیب به صورت X ، Y و Z علامت‌گذاری می‌کنیم. از آنجا که واحدهای متغیرهای انتخاب شده متفاوت است، ابتدا داده‌ها استاندارد می‌شوند. داده‌های استاندارد در نمودار (۲) نشان داده شده‌اند.

نمودار(۲): داده های استاندارد طی دوره ۹۳-۱۳۷۱



برای تخمین پارامترهای این سیستم از الگوریتم‌های فراابتکاری[1] استفاده می‌شود. محبوبیت این الگوریتم‌ها در کاربردهای اقتصادی و مهندسی رو به افزایش است، چراکه مبتنی بر مفاهیم ساده تری هستند و اجرای آن‌ها آسان است، به اطلاعات گرادیان نیازی ندارند، در نقاط بهینه محلی گرفتار نمی‌شوند و می‌توان از آن‌ها در گستره وسیعی از مسائل در رشته‌های گوناگون استفاده کرد. این الگوریتم‌ها را می‌توان در سه دسته اصلی

1- Metaheuristic Algorithms

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های تکاملی[۱]، فیزیکی[۲] و ازدحامی[۳] طبقه‌بندی کرد. روش‌های تکاملی از قوانین تکامل طبیعی الهام گرفته‌اند. روش‌های فیزیکی از قوانین فیزیکی جهان پیروی می‌کنند و در نهایت تکنیک‌های ازدحامی رفتار اجتماعی گروه‌های حیوانات را تقلید می‌کنند. در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری نوینی بنام الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ[۴] استفاده می‌شود که از رفتار شکار نهنگ گوژپشت تقلید می‌کند. تفاوت اصلی این الگوریتم و روش‌های اشاره شده، شبیه‌سازی رفتار شکار با عامل تصادفی یا بهترین عامل جست‌وجو برای تعقیب شکار و استفاده از یک مارپیچ برای شبیه‌سازی مکانیزم حمله تورحبابی توسط نهنگ‌های گوژپشت است. کارایی الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ به وسیله میرجلیلی و لویس[۵] (۲۰۱۶) با حل ۲۹ مساله بهینه‌سازی ریاضی و شش مساله بهینه‌سازی ساختاری ارزیابی شده است. نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ با پیشرفته‌ترین روش‌های بهینه‌سازی رقابت می‌کند.

نهنگ‌های گوژپشت می‌توانند محل شکار را شناسایی کرده و آن‌ها را محاصره کنند. فرایند جست‌وجو به دو مرحله کاوش و استخراج تقسیم می‌شود.[۶] از آنجا که موقعیت جواب بهینه در فضای جست‌وجو از پیش معلوم نیست، الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ فرض می‌کند که بهترین کاندیدای جواب کنونی، شکار هدف بوده و یا نزدیک به جواب بهینه است. پس از اینکه بهترین عامل جست‌وجو تعریف شد، سایر عوامل جست‌وجو سعی

۱- متداول‌ترین تکنیک تکاملی، الگوریتم‌های ژنتیک (GA) است که تکامل داروینی را شبیه‌سازی می‌کند. دیگر الگوریتم‌های متداول شامل استراتژی تکاملی (ES)، یادگیری افزایشی آماری (PBIL)، برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) و بهینه‌سازی بیوگرافیک (BBO) هستند.

۲- متداول‌ترین الگوریتم‌های فیزیکی شامل تبرید شبیه‌سازی شده (SA)، الگوریتم جست‌وجوی گرانشی محلی (GLSA)، انفجار بزرگ (BBBC)، الگوریتم جست‌وجوی گرانشی (GSA)، سیستم جست‌وجوی ذرات باردار (CSS)، بهینه‌سازی نیروی مرکزی (CFO)، الگوریتم بهینه‌سازی واکنش شیمیایی مصنوعی (ACROA)، الگوریتم سیاه‌چاله (BH)، الگوریتم بهینه‌سازی پرتو (RO)، الگوریتم بهینه‌سازی جهان کوچک (SWOA)، الگوریتم جست‌وجوی کیهانی (GBSA) و بهینه‌سازی فضای خمیده (CSO) هستند.

۳- متداول‌ترین الگوریتم ازدحامی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ای است.

4- Whale Optimization Algorithm (WOA)

5- Mirjalili and Lewis

6- Olorunda and Engelbrecht (2008), Alba and Dorronsoro (2005) and Lin and Gen (2009)

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کنند موقعیت‌شان را به سمت بهترین عامل جست‌وجو بروزرسانی کنند. این رفتار با دو رابطه (۵) و (۶) تعریف می‌شود.

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\vec{X}^{*}(t) - \vec{X}(t)\right| \qquad (۵)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^{*}(t) - \vec{A}.\vec{D} \qquad (۶)$$

که در آن، t نشان‌دهنده تکرار کنونی، $\vec{A}$ و $\vec{C}$ بردارهای ضریب، $\vec{X}^{*}$ بردار موقعیت مربوط به بهترین جواب به دست آمده تاکنون، $\vec{X}$ بردار موقعیت، «| |» نشانگر مقدار مطلق و «.» نشانگر ضرب عنصر به عنصر است. در صورت وجود یک جواب بهتر، X^{*} باید در هر تکرار بروزرسانی شود. بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{C}$ نیز به صورت رابطه‌های (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند.

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\vec{r} - \vec{a} \qquad (۷)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r} \qquad (۸)$$

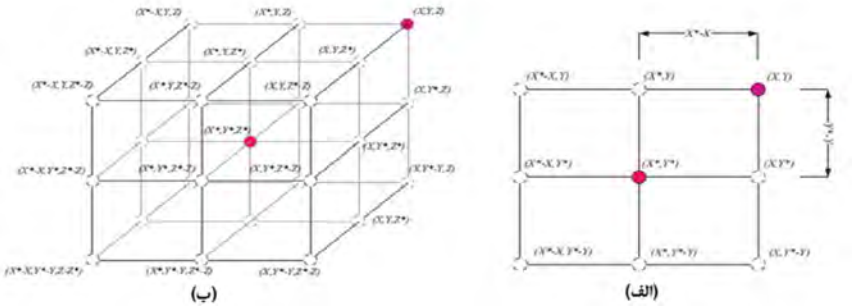
که در آن مقدار $\vec{a}$ طی فرایند تکرار از ۲ تا صفر به صورت خطی (در هر دو مرحله کاوش و استخراج) کاهش می‌یابد و $\vec{r}$ یک بردار تصادفی در بازه $[1,0]$ است.

نمودار (۳-الف) منطق رابطه (۷) را برای یک مساله دوبعدی نشان می‌دهد. موقعیت (X,Y) یک عامل جست‌وجو می‌تواند مطابق با موقعیت بهترین رکورد کنونی (X^{*},Y^{*}) بروزرسانی شود. مکان‌های مختلف پیرامون بهترین عامل با توجه به موقعیت کنونی و با تنظیم مقدار بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{C}$ قابل دسترسی است. موقعیت بروز ممکن برای یک عامل جست‌وجو در فضای سه‌بعدی در نمودار(۳-ب) نشان داده شده است. باید توجه کرد که با تعریف بردار تصادفی $\vec{r}$ می‌توان به هر موقعیتی در فضای جست‌وجو که بین نقاط کلیدی نشان داده شده در نمودار (۳) قرارگرفته، دسترسی پیدا کرد. بنابراین، معادله (۷) امکان می‌دهد که هر عامل جست‌وجویی موقعیتش را در همسایگی بهترین جواب کنونی بروزرسانی کند و محاصره شکار شبیه‌سازی شود.

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار (۳): بردارهای موقعیت دوبعدی و سه‌بعدی و موقعیت ممکن بعدی آن‌ها



- : X^* بهترین جواب به دست آمده تاکنون است.

مفهوم مشابهی را می‌توان به یک فضای جست‌وجوی n بعدی گسترش داد و عوامل جست‌وجو در ابرمکعب‌هایی اطراف بهترین جواب به دست آمده تاکنون حرکت خواهند کرد. همانطور که در بخش قبلی گفته شد، نهنگ‌های گوژپشت با استراتژی تورحبابی نیز به شکار حمله می‌کنند. برای مدل‌سازی رفتار تورحبابی در نهنگ‌های گوژپشت، دو رویکرد به صورت زیر طراحی شده است.

۱- مکانیزم محاصره تنگ‌شونده: این رفتار با کاهش مقدار $\vec{a}$ در رابطه (۸) حاصل می‌شود. توجه کنید که گستره تلاطم $\vec{A}$ نیز بسته به $\vec{a}$ کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، $\vec{A}$ یک مقدار تصادفی در بازه $[-a,a]$ است که در آن مقدار a طی فرایند تکرار از ۲ به صفر کاهش می‌یابد. با تنظیم مقادیر تصادفی $\vec{A}$ در بازه $[-1,1]$، موقعیت جدید یک عامل جست‌وجو می‌تواند در هر جایی بین موقعیت اولیه آن و موقعیت بهترین عامل کنونی تعریف شود. نمودار (۴-الف) موقعیت‌های ممکن از (X,Y) به سمت (X^*,Y^*) را نشان می‌دهد که می‌توانند با $0 \leq A \leq 1$ در یک فضای دوبعدی حاصل شوند.

۲- موقعیت بروزشونده مارپیچی: همانطورکه در نمودار (۴-ب) قابل مشاهده است، این رویکرد ابتدا فاصله بین نهنگ قرارگرفته در موقعیت (X,Y) و شکار قرارگرفته در موقعیت (X^*,Y^*) را محاسبه می‌کند. سپس یک معادله مارپیچی بین موقعیت نهنگ و شکار ایجاد می‌شود تا جابجایی حلزونی‌شکل نهنگ گوژپشت را به صورت رابطه (۹) شبیه‌سازی کند.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}.\, e^{bl}.\cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \qquad (۹)$$

www.SID.ir

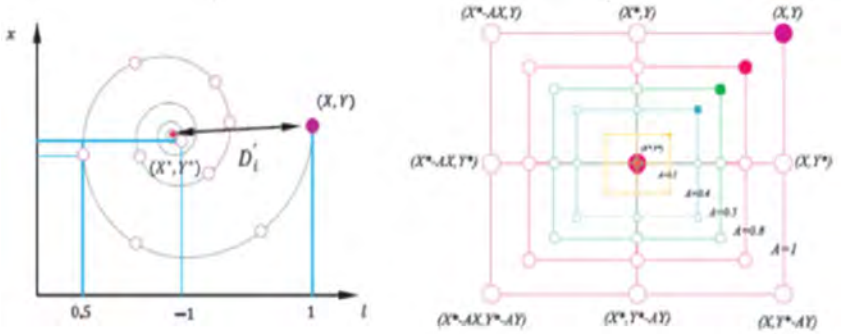
Archive of SID

که در آن، $\vec{D} = |\vec{X}^*(t) - \bar{X}(t)|$ فاصله نهنگ iام را تا شکار (بهترین جواب به دست آمده تاکنون) نشان می‌دهد، b ثابتی برای تعریف شکل مارپیچ لگاریتمی، l یک عدد تصادفی دربازه $[-1,1]$ و «.» نشانگر ضرب عنصر به عنصر است.

توجه داشته باشید که نهنگ‌های گوژپشت در اطراف شکار و درون یک دایره تنگ‌شونده و همزمان در امتداد مسیری مارپیچی‌شکل شنا می‌کنند. برای مدل‌سازی این رفتار همزمان، فرض می‌کنیم که احتمال انتخاب مکانیزم محاصره تنگ‌شونده و یا مدل مارپیچی برای بروزرسانی موقعیت نهنگ‌ها طی فرایند بهینه‌سازی ۵۰ درصد است. مدل ریاضی آن به صورت رابطه (۱۰) خواهد بود که درآن p عددی تصادفی در بازه $[0,1]$ است.

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A}.\vec{D} & if\ p < 0.5 \\ \vec{D}.e^{bl}.\cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & if\ p \geq 0.5 \end{cases} \qquad (۱۰)$$

نمودار (٤): مکانیزم جست‌وجوی تور حبابی اجرا شده در الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ



ب) موقعیت بروزشونده مارپیچی

الف) مکانیزم محاصره تنگ‌شونده

-: X^* بهترین جواب به دست آمده تاکنون است.

علاوه بر روش تورحبابی، نهنگ‌های گوژپشت جست‌وجو برای شکار را به صورت تصادفی انجام می‌دهند. مدل ریاضی این جست‌وجو به این صورت است که همان رویکرد مبتنی بر تغییر بردار $\vec{A}$ را می‌توان برای جست‌وجوی شکار (کاوش) به‌کار گرفت. در حقیقت نهنگ‌های گوژپشت شکار را نسبت به موقعیت همدیگر به صورت

www.SID.ir

Archive of SID

تصادفی جست‌وجو می‌کنند. بنابراین، $\vec{A}$ را با مقادیر تصادفی بزرگ‌تر از ۱ یا کوچک‌تر از ۱- به‌کار می‌گیریم تا عامل جست‌وجو را وادار کنیم جایی دورتر از یک نهنگ مرجع حرکت کند. برخلاف مرحله استخراج، بروزرسانی موقعیت عامل جست‌وجو در مرحله کاوش بجای بهترین عامل پیداشده تاکنون، مطابق یک عامل جست‌وجوی منتخب تصادفی صورت می‌گیرد. این مکانیزم و عبارت $|\vec{A}| > 1$ روی کاوش تاکید کرده و به الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ امکان جست‌وجوی سراسری را می‌دهد. مدل ریاضی آن نیز به صورت رابطه (۱۱) و (۱۲) است.

$$\vec{D} = |\vec{C}.\vec{X}_{rand} - \vec{X}| \qquad (۱۱)$$

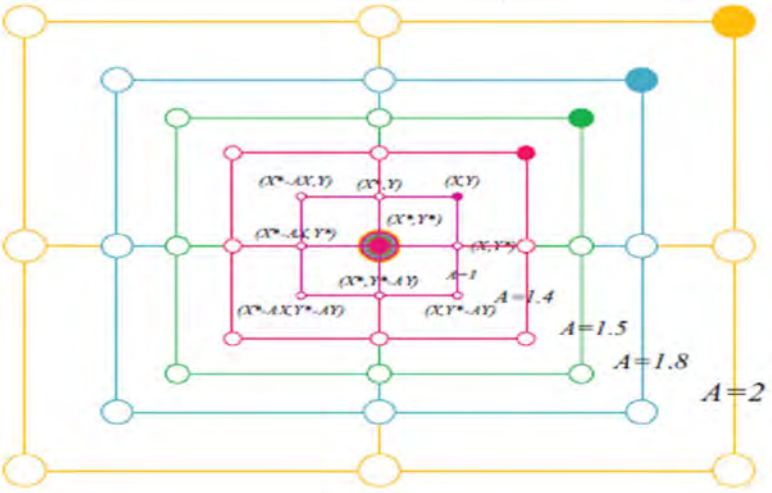
$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A}.\vec{D} \qquad (۱۲)$$

که در آن $\vec{X}_{rand}$ یک بردار موقعیت تصادفی (یک نهنگ تصادفی) منتخب از جمعیت حاضر است. بعضی از موقعیت‌های ممکن در اطراف یک راه‌حل خاص با $|\vec{A}| > 1$ در نمودار (۵) نشان داده شده‌اند. الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ با مجموعه‌ای از جواب‌های تصادفی شروع می‌شود. در هر تکرار، عوامل جست‌وجو موقعیت‌شان را با توجه به یک عامل جست‌وجوی منتخب تصادفی یا بهترین جواب به دست آمده تاکنون بروزرسانی می‌کنند. پارامتر a از ۲ تا صفر کاهش می‌یابد تا به ترتیب فرایند کاوش و استخراج را فراهم کند. یک عامل جست‌وجوی تصادفی هنگامی انتخاب می‌شود که $|\vec{A}| > 1$ باشد، درحالی‌که برای بروزرسانی موقعیت عوامل جست‌وجو، بهترین جواب هنگامی انتخاب می‌شود که $|\vec{A}| < 1$ است. الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ می‌تواند بسته به مقدار p بین یک حرکت مارپیچی یا دایره‌ای تغییر کند. درنهایت، الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ با برآورده‌شدن یک معیار رضایت‌بخش پایانی به انتها می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار (۵): مکانیزم کاوش اجرا شده در الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ



:- X^* عامل جست‌وجوی منتخب تصادفی است.

یک شبه کد برای الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ در نمودار(۶) ارائه شده‌است. از نظر تئوری، الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ را می‌توان یک بهینه‌ساز سراسری درنظر گرفت، چراکه دارای توانایی کاوش/ استخراج است. به علاوه، مکانیزم ابرمکعب پیشنهادی، یک فضای جست‌وجو را در همسایگی بهترین جواب تعریف می‌کند و امکان می‌دهد که سایر عوامل جست‌وجو، بهترین رکورد حاضر درون دامنه را استخراج کنند. تغییر تطبیقی بردار A به الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ امکان می‌دهد تا به صورتی هموار بین کاوش و استخراج جابه‌جا شود با کاهش A، بعضی از تکرارها به کاوش ($|\vec{A}| \geq 1$) و مابقی به استخراج ($|\vec{A}| < 1$) تخصیص می‌یابند. نکته قابل توجه اینکه الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ تنها دو پارامتر داخلی (A و C) برای تنظیم دارد. می‌توانستیم جهش و دیگر عملگرهای تکاملی را در فرمول‌بندی الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ بگنجانیم تا رفتار نهنگ گوژپشت به طور کامل بازتولید شود، اما سعی شد که میزان استفاده از روش‌های هیوریستیک و تعداد پارامترهای داخلی را حداقل کنیم و نسخه‌ای بسیار اولیه از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ را اجرا کنیم.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲): پارامترهای سیستم

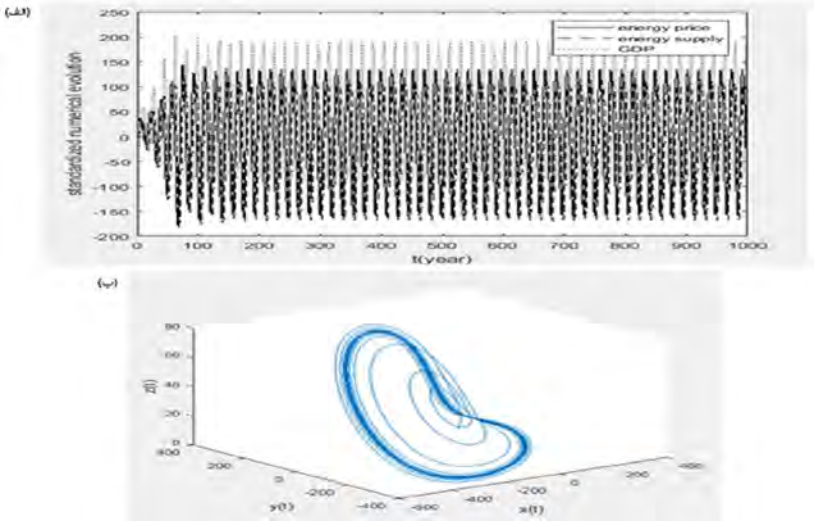
پارامتر	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	k_1	k_2	c_1	c_2	C	L
مقدار	۰/۲۳۸	۰/۵۶	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۲۳	۲۵	۱۰/۵	۰/۳۵	۰/۰۰۴۵	۲۴	۲۲

با جایگذاری پارامترهای فوق در سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی، سیستم واقعی به صورت رابطه (۱۴) حاصل می‌شود.

$$\begin{cases} \dot{X} = 0.238\,X + 0.56\,(24 - Y) + 0.11(Z - 25) \\ \dot{Y} = 0.43\,X - 0.38\,Y - 0.23\,Z(1 - Z/10.5) \\ \dot{Z} = 0.35\,Z(1 - Z/22) + 0.0045YZ \end{cases} \qquad (۱۴)$$

با استفاده از سیستم رابطه (۱۴)، می‌توان رابطه بین قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی را تجزیه و تحلیل کرد. با انتخاب داده‌های استاندارد کل تولید داخلی انرژی، قیمت انرژی و شاخص تولید ناخالص داخلی ایران در سال ۱۳۹۳ به عنوان مقادیر اولیه و حل عددی سیستم می‌توان دریافت که در این سیستم روابط بین قیمت‌های انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی ناپایدار است و سیستم آشوبگونه است، همانطور که در نمودار (۷) نشان داده شده است.

نمودار (۷): وضعیت آشوبگونه سیستم



www.SID.ir

Archive of SID

می‌توان از مدل ارائه شده در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل سیر تکاملی اثرات تعدیل و کنترل تحت استراتژی‌های مختلف استفاده کرد. کنترل دولت بر بازار انرژی به سیاست‌های مختلف تعدیل و کنترل از جانب دولت اشاره دارد که هدف آن حفظ پایداری و ثبات بازار انرژی به منظور توسعه پایدار اقتصادی است. در ادامه استراتژی‌های کنترل، اثرات تعدیلی استراتژی های کنترل بر قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی، رابطه استراتژی‌های کنترل و شدت انرژی و اثرات تعدیلی استراتژی‌های کنترل بر شدت انرژی بررسی می‌شود.

٤-١- بررسی و تحلیل استراتژی‌های کنترل

سیاست گذاری انرژی از طریق تدوین استراتژی های ملی انرژی یکی از مباحث مطرح در پژوهش‌های امروزی است.[1] از نظر آروای[2] (۲۰۱۲) یک استراتژی ملی انرژی، چارچوبی بلندمدت و انعطاف‌پذیر برای هدایت تصمیمات درخصوص توسعه و توزیع انرژی فراتر از ارائه صرف منوهای عرضه انرژی است. او معتقد است این امر یک فرآیند مشورتی است که مشارکت همه ذی‌نفعان را موجب می‌شود. تارین[3] (۲۰۱۴) نیز تاکید می کند که هنگام بحث در مورد استراتژی ملی انرژی، نیاز واقعی این است که مکانیسمی برای ایجاد مجموعه‌ای از انتخاب‌های دشوار و وابسته به هم در زمان ایجاد شود و تنها از طریق این رویکرد می‌توان از آشوب ناشی از تصمیم‌گیری بر اساس الگوهای هنجاری پرهیز کرد.

به طور کلی می‌توان اظهار داشت که استراتژی ملی انرژی یک بیانیه در زمینه تعهد و حمایت صنعت انرژی و دادن اطمینان به شرکای انرژی است که با وجود همه تغییرات سیاسی در این حوزه، مسیر انتخاب شده تغییر نخواهد کرد. این تعریف استراتژی ملی انرژی دارای معانی گسترده‌ای است به طوری‌که در برخی کشورها به معنی داشتن یک اقتصاد قوی، با حداقل کردن آثار نامناسب انرژی بر محیط‌زیست و سلامت انسان، محرک ایجاد مشاغل جدید و انتقال تدریجی سیستم انرژی از حالت مسلط مبتنی بر

1- Konadu, *et. al* (2015) and Hall, *et. al* (2016)

2- Arvai

3- Tarean

www.SID.ir

Archive of SID

سوخت‌های فسیلی به وضعیت مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر است.[۱] در برخی دیگر از کشورها، مصرف بالا و پتانسیل گسترده برای صرفه‌جویی، بخش صنعت را به هدفی جذاب برای بهبود امنیت انرژی و محیط‌زیست از طریق افزایش کارایی انرژی تبدیل کرده و برای برآوردن آن بر تجدید ساختار صنعتی تاکید می‌شود.[۲] در طیف گسترده‌ای از کشورها نیز به معنی داشتن یک بازار انرژی یکپارچه داخلی بدون موانع نظارتی و فنی است که هدف آن رقابت آزادانه و ارائه سیگنال‌های قیمتی است که رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست را تضمین کند.[۳] در نهایت نگرانی‌های مرتبط با امنیت ملی و گاهی عدالت اجتماعی باعث شده تا در برخی کشورها شاهد دخالت گسترده و مستقیم دولت‌ها در سیستم‌های انرژی باشیم.[۴]

بحث فوق نشان می‌دهد برای تدوین استراتژی ملی انرژی در منابع مختلف بر چهار محور، اول؛ حداقل کردن آثار نامناسب انرژی بر محیط‌زیست و انتقال تدریجی سیستم انرژی از حالت مسلط مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، دوم؛ تجدید ساختار صنعتی، سوم؛ داشتن یک بازار انرژی یکپارچه داخلی بدون موانع نظارتی و فنی و چهارم؛ افزایش نقش دولت‌ها و نهادهای عمومی در زمینه تنظیم بیشتر فعالیت‌ها در صنعت انرژی تاکید شده است.

در این پژوهش به پیروی از پورتر[۵] (۱۹۸۰) که جهت ایجاد مزیت رقابتی سه استراتژی عمومی[۶] برای بنگاه‌ها ارائه کرد، جهت تدوین استراتژی‌های ملی انرژی، چهار

1- Dineen, *et. al* (2014) and IEA (2015)
2- Tanaka (2011)
3- Navarro, *et. al* (2013)
4- Spulber (1989)
5- Porter

۶- استراتژی عمومی (Generic Strategies): پورتر (۱۹۸۰) معتقد است که بنگاه‌ها برای ایجاد مزیت رقابتی سه نوع استراتژی عمومی می‌توانند انتخاب کنند، اول، رهبری هزینه (Cost Leadership) که هدف آن کسب برتری در رقابت از طریق تولید محصول با کمترین هزینه ممکن نسبت به رقبا است. دوم، متمایزسازی (Differentiation) که مطابق این استراتژی، محصولات و خدماتی عرضه می‌شوند که در صنعت مورد نظر به عنوان محصول یا خدمتی منحصر به فرد تلقی می‌شوند. سوم، تمرکز (Focus) روی یک یا چند محصول یا خدمت خاص (یا خریدار) دارد، منطق این روش بر این اساس بنا نهاده شده است که توجه روی یک بازار و یا یک محصول، نسبت به شرکت‌هایی با بازارهای متعدد، باعث سرویس‌دهی بیشتر و دقیق‌تر خواهد شد.

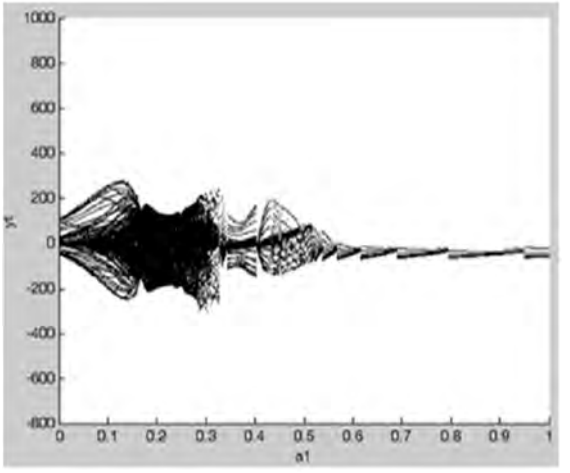
www.SID.ir

Archive of SID

استراتژی عمومی با عناوین توسعه انرژی‌های نو، تجدید ساختار صنعتی، مکانیسم بازار خودتعدیل‌شونده و سیاست‌های قیمت و مقدار انرژی معرفی می‌شود که در ادامه با جزییات بیشتری مورد بحث قرار می‌گیرند. این استراتژی‌ها و اقدامات مرتبط با آن‌ها به تنهایی به‌کار گرفته نمی‌شوند، بلکه بخشی از بسته سیاست‌گذاری هستند به این معنی که می‌توان با ترکیبات دو به دو، سه تایی و یا ترکیب چهار استراتژی، استراتژی‌های جامع را تعریف کرد.

استراتژی اول (اکتشاف و توسعه انرژی‌های نو و افزایش واردات انرژی): اکتشاف منابع جدید و افزایش واردات انرژی پارامترهای a_1 و b_1 سیستم را کاهش خواهد داد، زیرا اکتشاف منابع جدید انرژی و انرژی‌های وارداتی عرضه انرژی را (نه فقط با تکیه بر تولید داخلی انرژی موجود) متنوع‌تر می‌سازد که این امر باعث کاهش ضریب a_1 و b_1 و محدود شدن رشد عرضه انرژی می‌شود. دیاگرام انشعاب مربوط به عرضه انرژی (y) با توجه به پارامترهای a_1 و b_1 در نمودارهای (۸) و (۹) نشان داده شده است. نمودار (۸) نشان می‌دهد که وقتی a_1 درون محدوده خاص (۰/۱۳ و ۰) کاهش می‌یابد در حالی‌که دیگر پارامترها بدون تغییر باقی می‌مانند، عرضه انرژی تمایل خواهد داشت که باثبات شود. نمودار (۹) نشان می‌دهد زمانی که مقدار b_1 در محدوده (۰/۳ ، ۰) است، وضعیت بی‌ثبات عرضه انرژی به طور موثری کاهش می‌یابد.

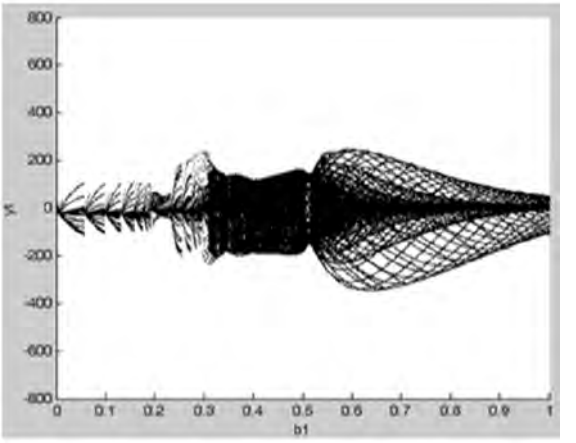
نمودار (۸): دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر a_1



www.SID.ir

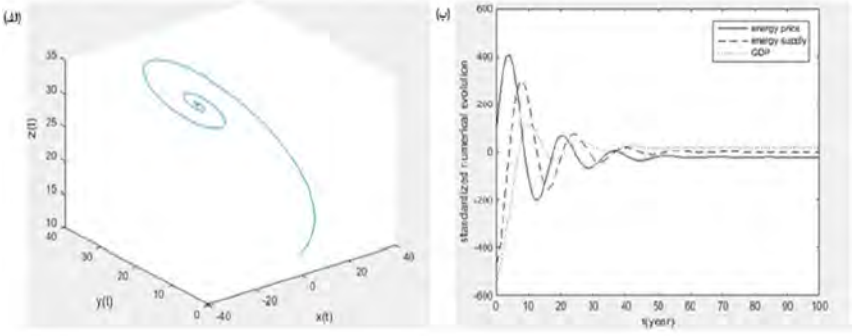
Archive of SID

نمودار (۹): دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر b_1



به عنوان مثال، اگر پارامتر a_1 از ۰/۲۳۸ به سمت ۰/۱۳ و پارامتر b_1 از ۰/۳۸ به سمت ۰/۳ کاهش یابند و دیگر پارامترها را بدون تغییر در نظر بگیریم و نتایج تکامل را به دست آوریم، همانطور که در نمودار (۱۰-الف) نشان داده شده است، می‌بینیم که اکتشاف منابع جدید انرژی و بهبود واردات انرژی می‌تواند در سیستم قیمت‌های انرژی ثبات ایجاد کند. از نمودار (۱۰-ب) می‌بینیم که تحت استراتژی اول، قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی در یک وضعیت نوسان ناپایدار هستند. بنابراین، در این زمان، سیاست‌های تعدیل برای اثرگذاری آغاز خواهند شد. شوک‌های ناشی از متغیرهای موجود در سیستم در حد کاهش خواهد یافت و از ۴۰ سال به بعد گرایش به ثبات دارند.

نمودار (۱۰): نتایج تکامل سیستم با استراتژی اول



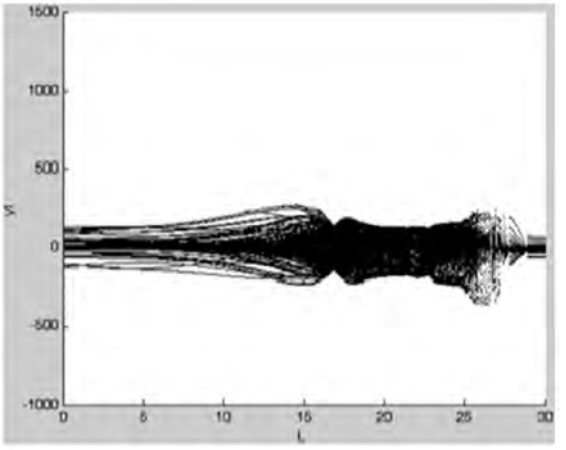
www.SID.ir

Archive of SID

استراتژی دوم (حرکت به سمت بازار خود تعدیل شونده): این استراتژی افزودن عملکرد خود تعدیل‌شونده بازار و ایجاد یک بازار مستقل خودکار است که می‌تواند به طور خودکار و حساس به عرضه و تقاضای انرژی پاسخ دهد. در سیستم قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی، این اقدام به معنی کاهش آستانه C و L است، بنابراین قیمت انرژی را قادر می‌سازد به طور خودکار و حساس به عرضه انرژی در بازار پاسخ دهد و عملکرد خودکار بازار را ارتقا می‌دهد. دیاگرام انشعاب مربوط به عرضه انرژی (y) با توجه به پارامترهای C و L در نمودارهای (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. نمودار (۱۲) نشان می‌دهد کاهش پارامتر C در حالی که دیگر پارامترها بدون تغییر باقی می‌مانند، عرضه انرژی را باثبات نخواهد کرد، اما زمانی که C در محدوده [۰,۵] است، می‌تواند درجه بی‌ثباتی بازار را کاهش دهد. با این حال، هنگامی که L در داخل محدوده [۰,۱۵] است، عرضه انرژی گرایش به ثبات دارد.

اگر پارامتر C را از ۲۴ به ۵ و پارامتر L را از ۲۲ به ۱۵ کاهش دهیم در حالی که دیگر پارامترها بدون تغییر باقی می‌مانند، نتایج تکامل سیستم به شرح نمودار (۱۳) خواهد بود. نمودار (۱۳) نشان می‌دهد که حرکت به سمت بازار خود تعدیل‌شونده نیز برای نگه داشتن سیستم قیمت انرژی در وضعیت باثبات خوب است به طوری که با توجه به نمودار (۱۳-ب) بعد از ۳۰ سال شوک‌های ناشی از متغیرهای موجود در سیستم در حد کاهش خواهد یافت و سیستم گرایش به ثبات دارد.

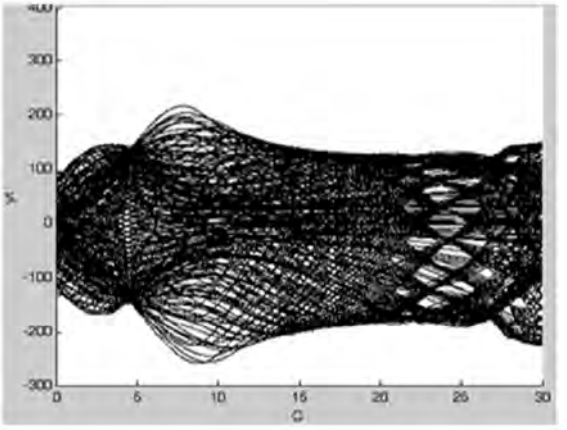
نمودار (۱۱): دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر L



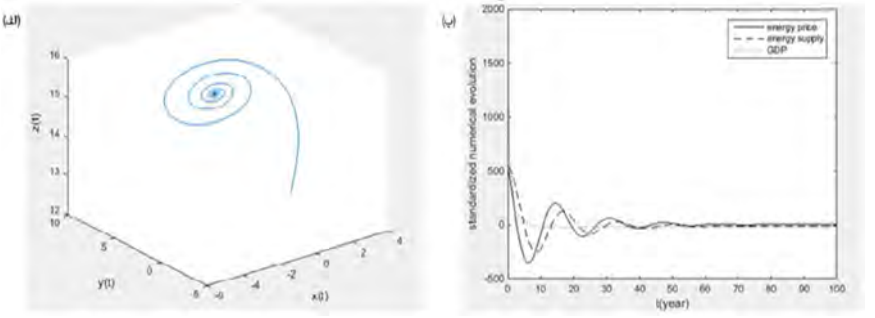
www.SID.ir

Archive of SID

نمودار (۱۲): دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر C



نمودار (۱۳): نتایج تکامل سیستم با استراتژی دوم



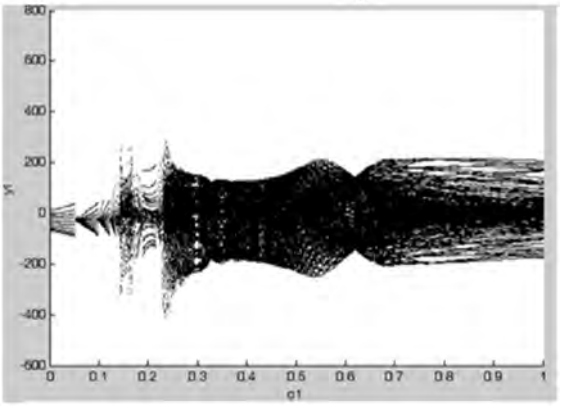
استراتژی سوم (تغییر ساختار صنعتی): تغییر ساختار صنعتی، تعدیل رشد اقتصادی، تقویت نظام‌مند بخش انرژی و مدیریت علمی، استراتژی‌های موثر برای برقراری ثبات قیمت‌ها در بازار انرژی هستند. تغییر ساختار صنعتی، یعنی تبدیل ساختار صنعتی از «مصرف بالا، آلودگی بالا و کارایی پایین» به «مصرف کم، آلودگی کم و راندمان بالا». انتقال از مصرف انرژی بالا به مصرف انرژی کم به صورت کاهش ضریب c_2، تاثیری که کاهش عرضه انرژی بر رشد اقتصادی دارد را آشکار می‌کند. تعدیل رشد اقتصادی به صورت افزایش ضریب c_1 تاثیر خودبازدارندگی رشد اقتصادی را آشکار می‌کند. هنگامی که مقادیر پارامترهای c_1 و c_2 تغییر کند و مقادیر دیگر پارامترها به گونه‌ای باشد که در جدول (۱)

www.SID.ir

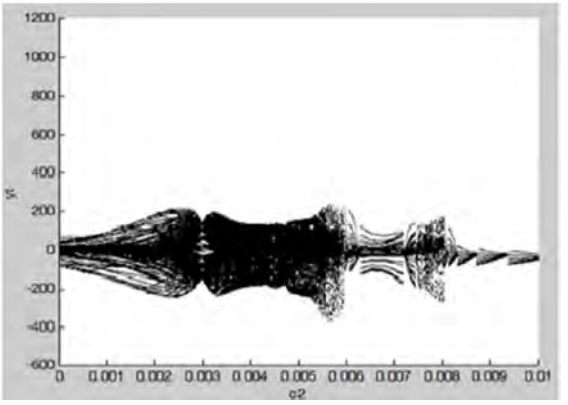
Archive of SID

نشان داده شد، آنگاه دیاگرام انشعاب مربوط به متغیر (y) با توجه به پارامترهای c_1 و c_2 به صورت نمودارهای (۱۴) و (۱۵) خواهد بود.

نمودار (۱٤): دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر c_1



نمودار (۱۵): دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر c_2



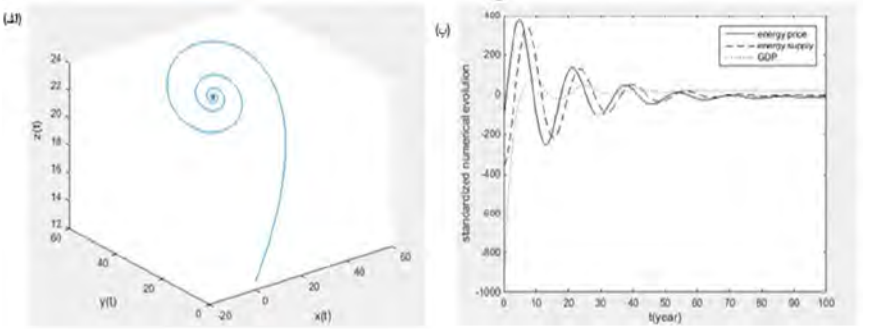
نمودارهای (۱۴) و (۱۵) نشان می‌دهند که افزایش ضریب c_1 یا کاهش ضریب c_2 در حالی‌که دیگر پارامترها بدون تغییر باقی می‌مانند، هر دو، عرضه انرژی را وادار خواهند کرد که گرایش به ثبات داشته باشد. به عنوان مثال اگر پارامتر c_1 را از ۰/۳۵ به ۰/۷ افزایش و پارامتر c_2 را از ۰/۰۰۴۵ به ۰/۰۰۳ کاهش دهیم، اما دیگر پارامترها بدون تغییر

www.SID.ir

Archive of SID

باقی بمانند، نتایج تکامل سیستم به شرح نمودارهای (۱۶-الف) و (۱۶-ب) خواهد بود. نمودار (۱۶-الف) نشان می‌دهد که تغییر ساختار صنعتی و کاهش مناسب رشد اقتصادی، برای نگه داشتن سیستم قیمت انرژی در وضعیت باثبات مناسب است.

نمودار (١٦) : نتایج تکامل سیستم با استراتژی سوم



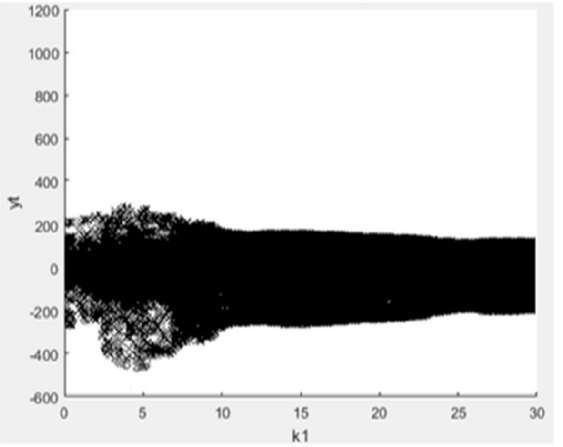
استراتژی چهارم (اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی): از اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی آستانه تنظیم قیمت انرژی به صورت k_1 و آستانه تولید انرژی k_2 آشکار می‌شود. تاثیر این امر چنین است که ثبات عرضه انرژی را از طریق یارانه‌های دولتی یا سیاست‌های مربوط به شرکت‌های تولید انرژی تضمین می‌کند. اگر مقادیر پارامترهای k_1 و k_2 را تغییر دهیم و مقادیر دیگر پارامترها به شرح جدول (۱) باشد، آنگاه دیاگرام انشعاب مربوط به متغیر (y) با توجه به پارامترهای k_1 و k_2 به صورت نمودارهای (۱۷) و (۱۸) خواهد بود. این نمودارها نشان می‌دهند تا زمانی که پارامترهای دیگر بدون تغییر باقی می‌مانند، نه افزایش k_1 و نه افزایش k_2 نمی‌توانند عرضه انرژی را کاملا باثبات سازند، اما هر دو می‌توانند درجه آشوبگونه عرضه انرژی را کاهش دهند.

به عنوان مثال، اگر پارامتر k_1 را از ۲۵ به ۳۰ و پارامتر k_2 را از ۱۰/۵ به ۲۰ افزایش دهیم، اما دیگر پارامترها بدون تغییر باقی بمانند، نتایج تکامل سیستم به شرح نمودار (۱۹-الف) خواهد بود. نمودارهای (۱۹-الف) و (۱۹-ب) نشان می‌دهد که اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی می‌تواند سیستم آشوبگونه را در وضعیت شوک‌های سیکلی نگه دارد.

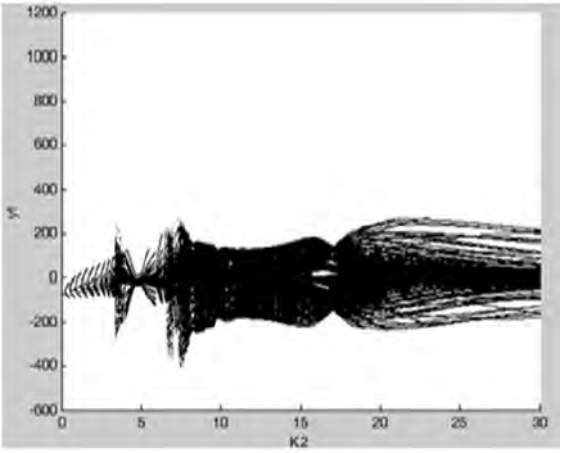
www.SID.ir

Archive of SID

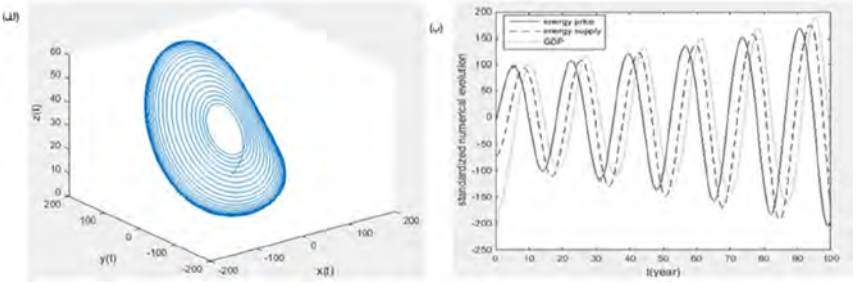
نمودار (۱۷):دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر k_1



نمودار (۱۸):دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر k_2



نمودار (۱۹): نتایج تکامل سیستم واقعی با استراتژی چهارم



www.SID.ir

Archive of SID

از تجزیه و تحلیل بالا، می‌بینیم که استراتژی اول، دوم و سوم می‌توانند سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی را از وضعیت آشوبگونه به وضعیت باثبات تعدیل کنند. با این حال، استراتژی چهارم نمی‌تواند سیستم را از وضعیت آشوبگونه به وضعیت باثبات تعدیل کند و فقط سیستم آشوبگونه را در وضعیت شوک‌های سیکلی نگه می‌دارد.

برای درک چرایی تثبیت یا عدم تثبیت بازار انرژی تحت این استراتژی‌ها، توجه به دو نکته ضروری است؛ یکی واقعیت های اقتصاد ایران در حوزه انرژی و دیگری الزامات هر استراتژی است. در زمینه واقعیت‌های بخش انرژی، بر اساس گزارش مرکز پژوهش های مجلس، بخش انرژی کشور در حوزه سیاست‌گذاری با چالش های فقدان متولی مشخص، سیاست‌زدگی برنامه‌ریزی انرژی و در دسترس نبودن آمار و ارقام صحیح و یکپارچه جهت تدوین سیاست های جامع انرژی کشور مواجه است[۱] و تمرکز اصلی سیاست‌گذاری بر تنوع‌بخشی به حامل های انرژی و امنیت عرضه انرژی بوده و سیاست‌های بهبود کارایی انرژی و زیست‌محیطی چندان مورد توجه قرار نگرفته است.[۲] شرایط کنونی مطابق با سند ملی راهبرد انرژی کشور نیز بیانگر محدودیت دسترسی به تکنولوژی های نوین، ورود و تولید محصولات کم‌بازده و پرمصرف انرژی و سهم ناچیز انرژی های پاک در سبد انرژی کشور است.[۳] بر این اساس، جهت موفقیت سیاست هایی انرژی (ایجاد ثبات در بازار انرژی) این سیاست‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که به پویایی سیستم انرژی و چند وجهی بودن صنعت انرژی توجه کرده و از دخالت‌های مستقیم و تک بعدی اجتناب کنند.

در مورد الزامات استراتژی‌ها نیز اجرای هر استراتژی نیازمند یک سری شرایط مقدماتی است. در رابطه با استراتژی نخست، توسعه انرژی های نو نیازمند شدت بخشیدن به تحقیق و توسعه و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها است برای انجام این مهم باید برنامه‌ریزی جامع برای همه بخش‌ها و با همکاری همه گروه‌های ذی‌نفع از طریق گفت‌وگوی تنگاتنگ بین بخش خصوصی و دولت صورت پذیرد. در استراتژی دوم، برای حرکت به سمت بازار خود تنظیم شونده باید حقوق مصرف‌کنندگان را تقویت کرد، فقر انرژی را مورد توجه قرار داد، نقش‌ها و مسئولیت‌های مشارکت‌کنندگان در بازار و مقررات تنظیمی را مشخص

۱- طرح ارزیابی علل ناکامی‌های مربوط به تدوین سیاست‌های جامع انرژی در کشور (۱۳۹۵)

۲- عرب و براتی ملایری (۱۳۸۸)

۳- سند ملی راهبرد انرژی کشور (۱۳۹۵)

www.SID.ir

Archive of SID

کرد و امنیت تامین انرژی و همچنین توسعه شبکه انرژی درون کشور برای انتقال برق و گاز مورد توجه قرار گیرد که این امر نیازمند حذف بسیاری از موانع در زمینه حقوق مالکیت و مبادله انرژی، تقویت سیاست های مالیاتی و قیمت گذاری و اقداماتی در زمینه هنجارها، استانداردها، محیط زیست و سلامت است. در استراتژی سوم نیز بهبود شدت انرژی در بخش صنعت نیازمند ایجاد انگیزه لازم برای بهبود تکنولوژی است. در این زمینه سه دسته از اقدامات باید مورد توجه قرار گیرند؛ اول، مقررات تفصیلی، ابزارهای مالی هدفمند و توافق‌نامه‌ها با صنعت که ابزارهای این اقدام شامل مالیات های انرژی، مالیات کربن و تبادل انتشار است. دوم، انجمن‌های صنعتی یا فدراسیون‌ها که به عنوان واسطه بین دولت‌ها و کمپانی‌های صنعتی عمل می کنند. سوم، سایر سیاست‌ها (به عنوان مثال، آموزش) که محیطی را برای صنعت فراهم می کنند تا صرفه‌جویی انرژی را بهبود بخشد. در استراتژی چهارم استدلال‌های معمول برای دخالت دولت در بازار انرژی شامل قیمت‌های بالای انرژی[1]، نیاز به صرفه‌جویی انرژی،[2] پیک نفت،[3] نیاز به سرمایه‌گذاری در انرژی های نو و شکست بازارهای انرژی[4] است. به عبارت دیگر، هدف اصلی این استراتژی اصلاح موارد شکست بازار است. بنابراین، تکیه صرف بر چند مورد محدود (کنترل قیمت و مقدار) به صورت دخالت‌های مستقیم قادر نخواهد در بازار انرژی ثبات ایجاد کند.

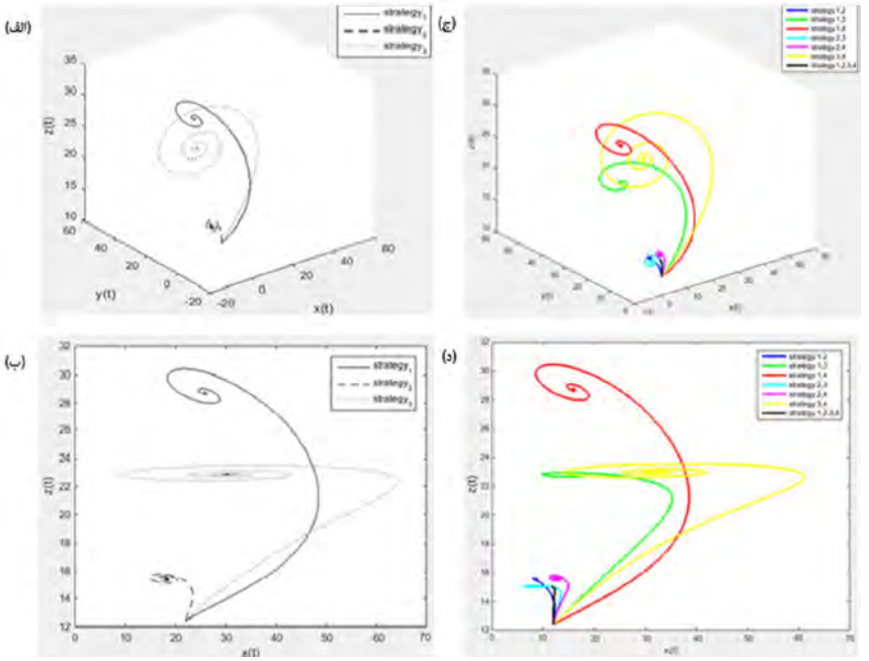
تاکنون سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی با استراتژی‌های کنترل متفاوت تعدیل شد. تصاویر تکاملی این سیستم تحت سه سیاست کنترل مختلف به ترتیب در هر دو فضای سه‌بعدی و دوبعدی در نمودارهای (۲۰-الف) و (۲۰-ب) آمده است. تحت استراتژی‌های کنترل جامع نیز، تصاویر تکاملی سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی در هر دو فضای سه‌بعدی و دوبعدی به شرح نمودارهای (۲۰-ج) و (۲۰-د) است.

1- Cowen and Crampton (2003)
2- Metcalf Gilbert (2006)
3- Hamilton (2008)
4- Spulber (1989)

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار (۲۰): تصاویر تکاملی سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی تحت استراتژی‌های کنترل مختلف



از نمودار (۲۰) می‌توان دریافت که سیستم قیمت انرژی-عرضه انرژی-رشد اقتصادی تحت استراتژی‌های اول، دوم، سوم و استراتژی‌های کنترل جامع به یک وضعیت تعادل پایدار می‌رسد، اما سیستم زمان‌های مختلفی را برای رسیدن به آن وضعیت صرف خواهد کرد. از بین استراتژی‌های کنترل (نمودار(۲۰))، سیستم کوتاه‌ترین زمان برای رسیدن به حالت تعادل را در استراتژی دوم صرف می‌کند و از دیدگاه رشد اقتصادی، استراتژی اول می‌تواند سیستم را وادار به رسیدن به بالاترین درجه رشد کند. علاوه بر این، مطابق نمودار (۱۲) برای رسیدن به حالت تعادل پایدار، تحت سیاست‌های کنترل جامع، زمان کوتاه‌تری صرف خواهد شد.

٤-۲- بررسی و تحلیل رابطه استراتژی‌های کنترل و شدت انرژی

کل مصرف انرژی ایران در سال ۱۳۹۳، ۱۷۶۸/۲میلیون بشکه معادل نفت خام است و تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال۱۳۸۳ برابر ۱۸۲۳۴۰۶ میلیارد ریال است. بنابراین، شدت

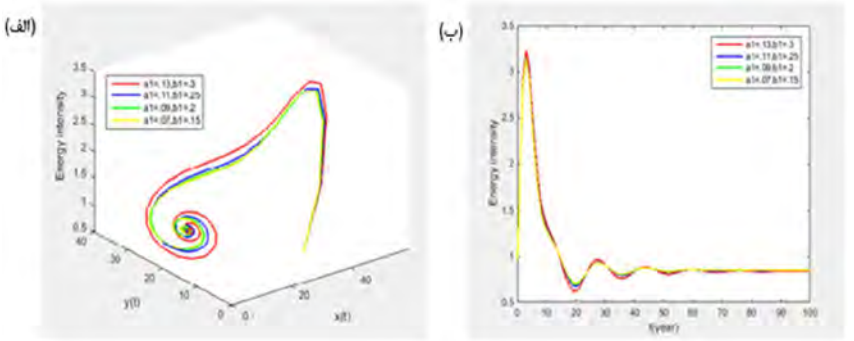
www.SID.ir

Archive of SID

انرژی ایران در سال ۱۳۹۳ معادل ۰/۹۶۹۷ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال است. با استفاده از این عدد به عنوان مقدار اولیه و سیستم مطرح شده، فرآیند تکامل شدت انرژی در سطوح مختلف قدرت کنترل و تحت سیاست‌های مختلف شبیه‌سازی می‌شود.

اثرات قدرت کنترل بر شدت انرژی: برای استراتژی اول، افزایش قدرت کنترل به این معنی است که دولت منابع انسانی، مواد و منابع مالی بیشتری برای اکتشاف و توسعه انرژی‌های جدید سرمایه‌گذاری کند. مدل‌ها برای شبیه‌سازی فرآیند تکامل شدت انرژی با افزایش تدریجی قدرت کنترل به‌کار می‌روند. پارامتر a_1 به ترتیب مقادیر ۰/۱۳، ۰/۱۱، ۰/۰۹ و ۰/۰۷ و پارامتر b_1 به ترتیب مقادیر ۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۲ و ۰/۱۵ را اختیار می‌کند. با مقدار کوچک‌تر پارامتر a_1 و b_1 قدرت کنترل بزرگ‌تر است. بنابراین، تصاویر تکاملی سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی در فضای سه‌بعدی تحت استراتژی اول استخراج می‌شود (نمودار (۲۱-الف)). همچنین با گذشت زمان، شدت انرژی به خاطر قدرت کنترل مختلف تحت استراتژی اول تکامل خواهد یافت (نمودار (۲۱-ب)).

نمودار (۲۱): روند تکاملی شدت انرژی در سطوح مختلف قدرت کنترل تحت استراتژی اول



از نمودار (۲۱-الف) می‌توان دریافت که تحت استراتژی اول، سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی در نهایت به سمت ثبات میل می‌کند. مطابق نمودار (۲۱-ب)، تحت چهار قدرت کنترل مختلف توسط استراتژی اول، شدت انرژی به ترتیب به مقادیر ۰/۸۳۷۵، ۰/۸۴۵۶، ۰/۸۴۹۶ و ۰/۸۵۱۶ گرایش دارد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قدرت کنترل، مقدار نهایی شدت انرژی تغییر قابل ملاحظه‌ای نکرده، اما زمان تثبیت شدت انرژی کوتاه‌تر

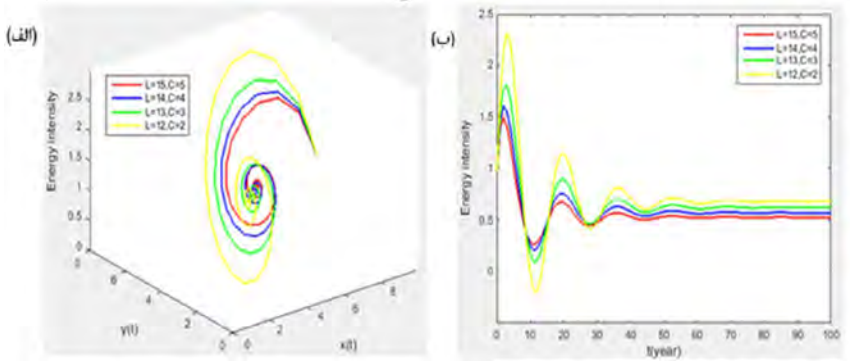
www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. به این معنا که وقتی دولت برای استفاده از منابع جدید انرژی و کاهش شدت انرژی با تنوع عرضه انرژی وارد می‌شود، حفظ افزایش سرمایه‌گذاری انسانی، مواد و منابع مالی ایده خوبی است. در عوض، ایجاد یک طرح کنترل چند ۱۰ ساله با ملاحظات جامع از شرایط بازار و رشد اقتصادی لازم است. افزایش نسنجیده سرمایه‌گذاری فقط باعث اتلاف عظیم منابع می‌شود، و نمی‌تواند به طور موثری شدت انرژی را کاهش دهد.

برای استراتژی دوم، افزایش قدرت کنترل به معنی رها کردن کنترل های بازار و اجرای عملکرد تعدیل اقتصاد بازار است. با افزایش تدریجی قدرت کنترل، مدل ها برای شبیه‌سازی فرآیند تکامل شدت انرژی به کار می‌*روند*. پارامتر C به ترتیب مقادیر ۵، ۴، ۳ و ۲ و پارامتر L به ترتیب مقادیر ۱۵، ۱۴، ۱۳ و ۱۲را اختیار می کند. با مقدار کوچک‌تر پارامتر L، قدرت کنترل بیشتر است. بنابراین، تصاویر تکاملی سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی در فضای سه‌بعدی تحت استراتژی دوم استخراج می‌شود (نمودار (۲۲-الف)). همچنین، با گذشت زمان، شدت انرژی به خاطر قدرت کنترل مختلف تحت استراتژی دوم تکامل خواهد یافت (نمودار (۲۲-ب)).

نمودار (۲۲): روند تکاملی شدت انرژی در سطوح مختلف قدرت کنترل تحت استراتژی دوم



از نمودار (۲۲-الف) می توان دریافت که تحت استراتژی دوم، سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی در نهایت به سمت ثبات میل می کند. مطابق نمودار (۲۲-ب)، تحت چهار قدرت کنترل مختلف توسط استراتژی دوم، شدت انرژی به ترتیب به مقادیر ۰/۵۲۷۴، ۰/۵۷۱۲، ۰/۶۱۹۶ و ۰/۶۷۹۴ میل می کند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قدرت کنترل،

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار نهایی شدت انرژی بزرگ‌تر و بزرگ‌تر خواهد شد. بنابراین، افزایش کنترل بازار در کاهش شدت انرژی شکست خورده و شدت انرژی افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به وضعیت فعلی واقعی در ایران نباید در سیاست اقتصاد آزاد، نسنجیده عمل کنیم به این معنا که تکیه کامل بر عمکرد بازار و نادیده گرفتن دخالت دولت مناسب نیست، بلکه به مقررات موثر نیاز داریم و فقط به این روش، یعنی تکیه بر عملکرد بازار در ترکیب با مقررات منطقی، می‌توان در نهایت به کاهش موثر شدت انرژی دست یافت.

برای استراتژی سوم، افزایش قدرت کنترل به معنی سرعت بخشیدن به تعدیل ساختار صنعتی است، یعنی سرمایه‌گذاری بیشتر منابع انسانی، مواد، منابع مالی و حتی استفاده قوی از مداخلات اجرایی برای تغییر ساختار صنعتی است. با افزایش تدریجی قدرت کنترل، مدل‌ها برای شبیه‌سازی فرآیند تکاملی شدت انرژی به کار می‌رود. پارامتر c_1 به ترتیب مقادیر ۰/۷، ۰/۷۵، ۰/۸ و ۰/۸۵ و پارامتر c_2 به ترتیب مقادیر ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۲۵، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۱۵ را اختیار می‌کند. با مقدار کوچک‌تر پارامتر c_2، شدت مقررات بیشتر است. بنابراین، تصاویر تکاملی سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی در فضای سه‌بعدی تحت استراتژی سوم استخراج می‌شود (نمودار (۲۳-الف)). همچنین با گذشت زمان، شدت انرژی به خاطر قدرت کنترل مختلف تحت استراتژی سوم تکامل خواهد یافت (نمودار (۲۳-ب)). از نمودار (۲۳-الف) می‌توان دریافت که تحت استراتژی سوم سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی در نهایت به سمت ثبات میل می‌کند. مطابق نمودار (۲۳-ب) تحت چهار قدرت کنترل مختلف توسط استراتژی سوم، شدت انرژی به ترتیب به سمت مقادیر نهایی ۰/۴۴۱۳، ۰/۴۷۱۹، ۰/۵۰۳۱ و ۰/۵۳۵۷ میل می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قدرت کنترل، مقدار نهایی شدت انرژی سیر صعودی را حفظ خواهد کرد. بنابراین، افزایش کنترل ساختار صنعتی در کاهش شدت انرژی شکست خورده و شدت انرژی افزایش می‌یابد.

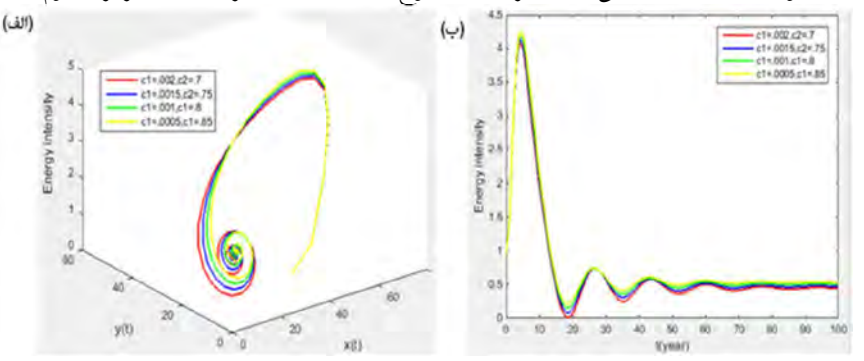
نتایج نشان می دهد که با توجه به وضعیت فعلی واقعی ایران، تغییر ساختار صنعتی می تواند به طور موثری شدت انرژی را کاهش دهد، اما قدرت تعدیل باید معقول و منطقی باشد و تعدیل بزرگ‌تر لزوماً بهتر نیست. با توجه به روند تکامل، استفاده از تغییر ساختار صنعتی به منظور کاهش شدت انرژی، بیش از ۴۰ سال زمان خواهد برد. البته در این مدت شدت انرژی به بیش از نصف مقدار کنونی کاهش خواهد یافت. بنابراین، به جای

www.SID.ir

Archive of SID

کورکورانه دنبال کردن سرعت توسعه باید وضعیت واقعی فعلی ایران را در نظر گرفته و یک مسیر منطقی برای تغییر ساختار صنعتی طراحی کنیم در غیر این صورت به نتیجه مطلوب کاهش موثر شدت انرژی دست نخواهیم یافت.

نمودار (۲۳): روند تکاملی شدت انرژی در سطوح مختلف قدرت کنترل تحت استراتژی سوم



به طور خلاصه، در مقایسه با شدت انرژی ۰/۹۶۹۷ در سال ۱۳۹۳، هرسه این استراتژی‌ها می‌توانند شدت انرژی را کاهش دهند، اما به این معنا نیست که قدرت کنترل بزرگ‌تر نتیجه بهتری می دهد. برای استراتژی اول، افزایش نسنجیده قدرت کنترل برای کاهش شدت انرژی به نتایج روشنی دست نخواهد یافت، بلکه در عوض باعث اتلاف عظیم منابع خواهد شد. برای استراتژی دوم و سوم، افزایش نسنجیده قدرت کنترل شدت انرژی را کاهش نخواهد داد. همچنین ممکن است منجر به یک بازار ناپایدار (بی ثبات) شود.

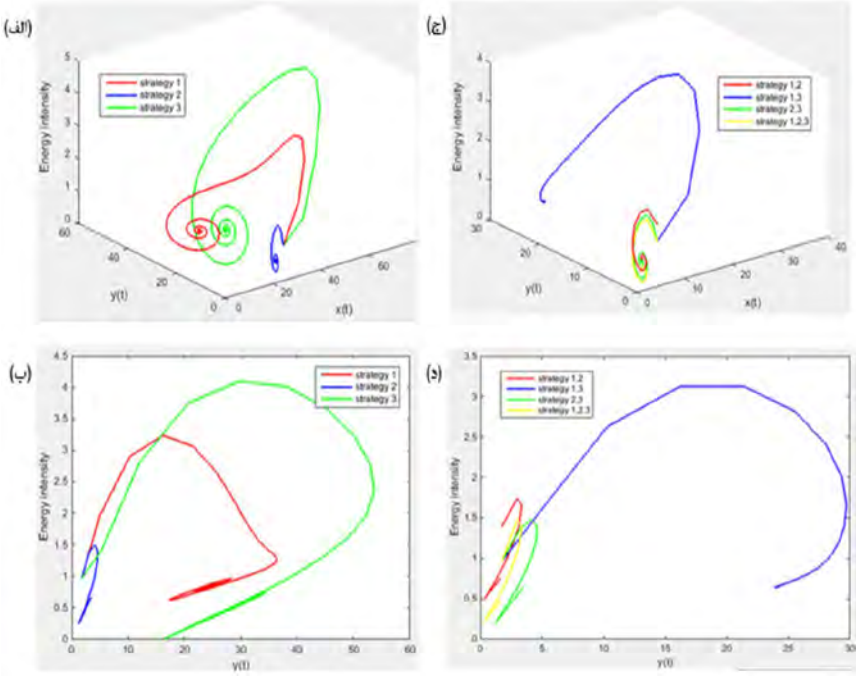
تاکنون اثرات استراتژی های کنترل بر کاهش شدت انرژی را تحت قدرت کنترل های مختلف نشان دادیم. در ادامه ابتدا تصاویر تکاملی سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی تحت سه سیاست کنترل انفرادی در هر دو فضای سه‌بعدی و دوبعدی استخراج می‌شود (نمودارهای (۲۴-الف) و(۲۴-ب)). به همین ترتیب تصاویر تکاملی سیستم تحت سیاست‌های کنترل جامع نیز حاصل می‌شود (نمودارهای (۲۴-ج) و (۲۴-د)). از نمودار (۲۴)، می توان دریافت که تحت استراتژی اول، دوم، سوم و استراتژی های کنترل جامع، سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی می تواند به ثبات برسد. مدت زمانی که سیستم برای

www.SID.ir

Archive of SID

رسیدن به ثبات صرف می کند و درجه توسعه یافتگی آن، مشابه تجزیه و تحلیل سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی است. بنابراین، تجزیه و تحلیل دقیق لازم نیست. نکته کلیدی این است که تحت استراتژی‌های کنترل مختلف، چگونه شدت انرژی با گذشت زمان تکامل می‌یابد و اثر سیاست‌ها برای کاهش شدت انرژی چگونه است.

نمودار (۲٤): تصاویر تکاملی سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی تحت استراتژی‌های کنترل مختلف

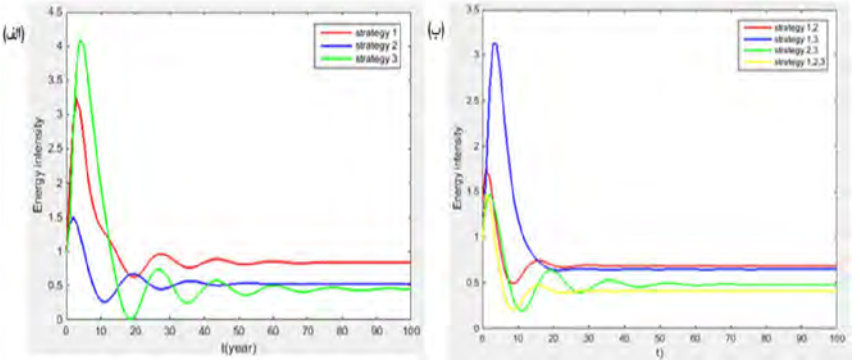


از نمودار(۲۴)، تصاویر تکاملی شدت انرژی را تحت سه سیاست کنترل انفرادی می توان به دست آورد (نمودار (۲۵-الف)). همین طور تصاویر تکاملی تحت سیاست‌های کنترل جامع نیز حاصل می شود (نمودار (۲۵-ب)). نمودار (۲۵-الف) وضعیت به ثبات رسیدن شدت انرژی را تحت این سه استراتژی را نشان می‌دهد بر این اساس، کمترین شدت انرژی توسط استراتژی سوم حاصل می‌شود و در مقابل کمترین زمان به ثبات رسیدن شدت انرژی تحت استراتژی دوم رخ خواهد داد.

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار (۲۵): روند تکاملی شدت انرژی تحت استراتژی‌های مختلف



استراتژی های جامع به تصویر کشیده شده در نمودار (۲۵-ب) بیانگر آن است که هم از نظر ثبات و هم از نظر کاهش شدت انرژی به کارگیری استراتژی جامع (هر سه استراتژی به صورت همزمان) بهتر از سایر استراتژی ها است. بر اساس نمودار (۲۵-الف) تحت کمترین قدرت کنترل براساس استراتژی های اول، دوم و سوم شدت انرژی به ترتیب از شدت انرژی اولیه، یعنی مقدار ۰/۹۶۹۷ به ۰/۸۳۷۵، ۰/۵۲۷۴ و ۰/۴۴۱۳ خواهد رسید. در حالی که ترکیب استراتژی اول با استراتژی های دوم و سوم به ترتیب شدت انرژی را به مقادیر ۰/۶۸۸۶و۰/۶۴۷۷ کاهش می‌دهد و ترکیب استراتژی‌های دوم و سوم شدت انرژی ۰/۴۸۳۱را نتیجه می دهد و در نهایت بر اساس استراتژی جامع یعنی ترکیب سه استراتژی، شدت انرژی به ۰/۴۰۹۱ کاهش خواهد یافت.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

صنعت انرژی کشور دارای شرایط خاصی است. مسائل متعدد چند وجهی در صنعت انرژی ایران راهکارهایی جامع و چند وجهی می طلبند. از یک سو براساس گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس بخش انرژی کشور در حوزه سیاست گذاری با چالش‌های فقدان متولی مشخص، سیاست‌زدگی برنامه‌ریزی انرژی و در دسترس نبودن آمار و ارقام صحیح و یکپارچه جهت تدوین سیاست‌های جامع انرژی مواجه است و تمرکز اصلی سیاست گذاری بر تنوع‌بخشی به حامل های انرژی و امنیت عرضه انرژی بوده و سیاست های

www.SID.ir

Archive of SID

بهبود کارایی انرژی و زیست‌محیطی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. شرایط کنونی مطابق با سند ملی راهبرد انرژی کشور نیز بیانگر محدودیت دسترسی به تکنولوژی های نوین، ورود و تولید محصولات کم‌بازده و پرمصرف انرژی و سهم ناچیز انرژی‌های پاک در سبد انرژی کشور است. از سوی دیگر، سیستم انرژی یک سیستم پیچیده شامل فاکتورهای متعدد است. در تحقیقات پیشین، تعامل بین فاکتورهای مختلف سیستم انرژی کمتر مورد توجه قرار گرفته و بررسی سیاست‌های کنترلی دولت بیشتر بر مبنای تحلیل‌های توصیفی و غیرکمی بوده است. بنابراین، توضیح این روابط پیچیده و تجزیه و تحلیل کمی آن تحت استراتژی‌های مختلف، نیازمند به‌کارگیری مدل‌های پویا و غیرخطی است.

در این مقاله سیستم معادلات دیفرانسیل غیرخطی قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی طراحی شد، سپس با به‌کارگیری داده‌های کل تولید داخلی انرژی، تولید ناخالص داخلی بدون نفت و شاخص قیمت انرژی طی دوره ۹۳-۱۳۷۱ پارامترهای این سیستم با استفاده از الگوریتم بهینه سازی فراابتکاری نوینی بنام الگوریتم بهینه سازی نهنگ برآورد شدند و براساس این سیستم چهار استراتژی، اول؛ اکتشاف و توسعه انرژی‌های نو و افزایش واردات انرژی، دوم؛ حرکت به سمت بازار خود تنظیم شونده، سوم؛ تغییر ساختار صنعتی و چهارم؛ اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی مورد بررسی قرار گرفت.

اجرای هر استراتژی نیازمند یکسری شرایط مقدماتی است. در رابطه با استراتژی نخست، برای توسعه انرژی‌های نو باید به افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها توجه شود که مستلزم شدت بخشیدن به تحقیق و توسعه و تدوین و اجرای برنامه‌ریزی است. برنامه‌ریزی باید برای همه بخش‌ها و با همکاری گروه‌ها و وزارتخانه‌های مختلف دولتی انجام شود و طراحی سیاست‌ها باید با گفت‌وگوی تنگاتنگ بین بخش خصوصی و دولت صورت پذیرد. در استراتژی دوم، هدف از حرکت به سمت بازار خود تنظیم شونده ایجاد بازاری رقابتی، مشتری‌محور، انعطاف‌پذیر و غیرتبعیض‌آمیز برای همه مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان و در نهایت با قیمت‌های مبتنی بر بازار است. برای انجام این مهم باید حقوق مصرف‌کنندگان را تقویت کرد، فقر انرژی را مورد توجه قرار داد، نقش‌ها و مسئولیت‌های مشارکت‌کنندگان در بازار و مقررات تنظیمی را مشخص کرد و امنیت تامین انرژی و همچنین توسعه شبکه انرژی درون کشور برای انتقال برق و گاز مورد توجه قرار گیرد. همچنین ایجاد بازار انرژی نیازمند حذف بسیاری از موانع در

www.SID.ir

Archive of SID

زمینه حقوق مالکیت و مبادله انرژی، تقویت سیاست‌های مالیاتی و قیمت‌گذاری و اقداماتی در زمینه هنجارها، استانداردها، محیط‌زیست و سلامت است. در استراتژی سوم نیز بهبود شدت انرژی در بخش صنعت بسته به این است که این سیاست‌ها چگونه قادرند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم انگیزه لازم برای بهبود تکنولوژی را ایجاد کنند. در این راستا دولت‌ها باید از رویکردهای سیاستی برای تشویق بخش صنعت جهت بهبود کارایی انرژی استفاده کنند. رویکردهای کلی شامل اقدامات مشخص در سطح کمپانی‌ها یا بخش‌های صنعتی و اقدامات گسترده در سطح کلی اقتصاد یا صنعت با تمرکز بر شرایط اجتماعی و زیست‌محیطی فعالیت شرکت‌ها است. اقدامات شامل ۱- مقررات تفصیلی، ابزارهای مالی هدفمند و توافق‌نامه‌ها با صنعت که ابزارهای این اقدام شامل مالیات‌های انرژی، مالیات کربن و تبادل انتشار است. ۲- انجمن‌های صنعتی یا فدراسیون‌ها که به عنوان واسطه بین دولت‌ها و کمپانی‌های صنعتی عمل می‌کنند. ۳- سایر سیاست‌ها (به عنوان مثال، آموزش) که محیطی را برای صنعت فراهم می‌کنند تا صرفه‌جویی انرژی را بهبود بخشد. برای استراتژی چهارم استدلال‌های معمول برای دخالت دولت در بازار انرژی شامل قیمت‌های بالای انرژی، نیاز به صرفه‌جویی انرژی، پیک نفت، نیاز به سرمایه‌گذاری در انرژی‌های نو و شکست بازارهای انرژی است. اما پیش از اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی باید بررسی شود که آیا دخالت دولت برای مدیریت بازار و بهبود شدت انرژی می‌تواند موثر باشد؟

نتایج نشان می دهد که سه استراتژی نخست بازار انرژی را تثبیت می‌کنند، اما استراتژی چهارم به قرار گرفتن سیستم در حالت شوک سیکلی منجر خواهد شد. باید توجه داشت که سیاست‌ها و اقدامات مرتبط با کارایی انرژی نباید به تنهایی به‌کار گرفته شوند، بلکه بخشی از بسته سیاست‌گذاری هستند. علاوه بر این، معرفی یک سیاست لزوما به معنی رها کردن سیاست‌های موجود قبلی که در سطح همان واحد به‌کار می‌رفتند، نیست. این جنبه‌ها باید مورد توجه قرار گیرند تا کارایی کلی و هزینه‌ای اجرای سیاست‌ها حفظ شود. از این رو، در این مقاله اثرات قدرت کنترل‌های مختلف تحت استراتژی‌های انفرادی و ترکیبی بر شدت انرژی نیز بررسی شد. نتایج بیانگر آن است که تحت یک قدرت کنترل منطقی، استراتژی های اول، دوم و سوم همگی می توانند شدت انرژی را کاهش دهند، اما افزایش نسنجیده قدرت کنترل نتیجه معکوس خواهد داد. در استراتژی اول، افزایش قدرت کنترل

www.SID.ir

Archive of SID

برای کاهش شدت انرژی نتایج روشنی نمی‌دهد و باعث اتلاف منابع خواهد شد. در استراتژی دوم و سوم، افزایش نسنجیده قدرت کنترل شدت انرژی را کاهش نداده و ممکن است منجر به یک بازار بی‌ثبات شود. وضعیت به ثبات رسیدن شدت انرژی تحت این سه استراتژی به این صورت است که کمترین شدت انرژی توسط استراتژی سوم و کمترین زمان به ثبات رسیدن شدت انرژی تحت استراتژی دوم حاصل می‌شود.

بررسی نتایج حاصل از ترکیب استراتژی‌های مختلف نشان می‌دهد که هم از نظر ثبات و هم از نظر کاهش شدت انرژی به کارگیری همزمان هر سه استراتژی بهتر از سایر استراتژی ها است. تحت کمترین قدرت کنترل بر اساس استراتژی های اول، دوم و سوم شدت انرژی به ترتیب از شدت انرژی اولیه ۰/۹۶۹۷ در سال ۱۳۹۳به ۰/۸۳۷۵، ۰/۵۲۷۴ و ۰/۴۴۱۳ خواهد رسید. در حالی که بر اساس استراتژی جامع، یعنی ترکیب سه استراتژی، شدت انرژی به ۰/۴۰۹۱کاهش خواهد یافت. براساس نتایج حاصل جهت کاهش شدت انرژی و تثبیت آن در ایران بجای به کارگیری نسنجیده بازار خود تعدیل شونده، اجرای سخت‌گیرانه تجدید ساختار صنعتی، اختصاص منابع عظیم در دوره‌ای محدود به انرژی‌های نو و یا کنترل‌های قیمتی و غیرقیمتی بر بازار انرژی، توصیه می‌شود از استراتژی‌های جامع یا استراتژی‌های انفرادی با قدرت کنترل‌های منطقی استفاده شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

الف- فارسی

آرمن، سیدعزیز و سمیرا تقی‌زاده (۱۳۹۲)، «بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران»، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال دوم، شماره ۸.

ابریشمی، حمید، محسن مهرآرا و محمدهادی سبحانیان (۱۳۹۰)، «اثرات غیرخطی رشد اقتصادی بر رشد مصرف انرژی در کشورهای عضو اوپک و عضو بریک با استفاده از روش حد آستانه»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال شانزدهم، شماره ۴۹.

امامی، کریم، سمانه شهریاری و سمن دربانی (۱۳۹۰)، «اثر شوک‌های نفتی بر رشد اقتصادی برخی کشورهای واردکننده و صادرکننده نفت»، *فصلنامه علوم اقتصادی*، سال پنجم، شماره شانزدهم.

بابایی‌میبدی، حمید، محمدحسین طحاری‌مهرجردی و روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی (۱۳۹۱)، «بررسی کارایی مدل‌های نروفازی، شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره در پیش‌بینی مصرف انرژی کشور»، *فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی(رویکرد اسلامی- ایرانی)*، سال دوازدهم، شماره ۴۶.

باستانزاد، حسین و فرهاد نیلی (۱۳۸۴)، «اهداف سیاستی قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی در ایران»، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۶۸.

بنی‌اسدی، مصطفی و رضا محسنی (۱۳۹۳)، «اثر شوک‌های دائمی و موقت بهره‌وری بر شدت مصرف انرژی در ایران (کاربرد روش بلانچارد-کوا)»، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال سوم، شماره ۱۰.

بهبودی، داود، نسیم مهین‌اصلانی‌نیا و سکینه سجودی (۱۳۸۹)، «تجزیه شدت انرژی و بررسی عوامل موثر بر آن در اقتصاد ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هفتم، شماره ۲۶.

جهانگرد، اسفندیار و هدیه تجلی (۱۳۹۰)، «تجزیه‌ی شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هشتم، شماره ۳۱.

راسخی، سعید و پروین سلمانی (۱۳۹۲)، «رابطه شدت انرژی و کارایی اقتصادی در کشورهای منتخب با استفاده از الگوی گشتاور تعمیم‌یافته: کاربردی از تحلیل پنجره‌ای پوششی داده‌ها»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، سال بیست و یکم، شماره ۶۸ .

www.SID.ir

Archive of SID

رجبی، احمد و محمدهاشم موسوی‌حقیقی (۱۳۹۲)، «مدلسازی تاثیر تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت بر شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی با روش پویایی‌شناسی سیستمی»، *فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، شماره ۱۲.

سند ملی راهبرد انرژی کشور (۱۳۹۵)، شورای عالی انرژی.

سوری، امیررضا، محمدحسن صبوری‌دیلمی و جواد عطاران (۱۳۹۰)، «تحلیل رابطه تقاضای نفت‌خام و رشد اقتصادی در کشورهای خاورمیانه»، *فصلنامه مدلسازی اقتصادی*، سال پنجم، شماره ۲ « پیاپی ۱۴ ».

شهبازی، کیومرث، حسین اصغرپور و کریم محرم‌زاده، کریم (۱۳۹۱)، «تاثیر مصرف فرآورده‌های نفتی بر رشد اقتصادی در استان‌های کشور»، *فصلنامه مدلسازی اقتصادی*، سال ششم، شماره ۱«پیاپی ۱۷».

صادقی، سیدکمال و سکینه سجودی (۱۳۹۰)، «مطالعه عوامل موثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هشتم، شماره ۲۹.

طرح ارزیابی علل ناکامی‌های مربوط به تدوین سیاست‌های جامع انرژی در کشور (۱۳۹۵)، مرکز پژوهش‌های مجلس، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور مجلس، دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن.

عبدلی، قهرمان و زینب ایرانشاهی (۱۳۹۲)، «تحلیل اقتصادسنجی عوامل کلیدی مؤثر بر بهبود شدت انرژی در صنایع فعال دربورس اوراق بهادار تهران»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، سال بیست و دوم، شماره ۷۱ .

عرب، قاسم و عقیل براتی‌ملایری (۱۳۸۸)، مقایسه تطبیقی سیاست‌های انرژی ایران با سیاست‌های انرژی در کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی، هفتمین همایش ملی انرژی.

فطرس، محمدحسن، مهدی فردوسی و حسین مهرپیما (۱۳۹۰)، «بررسی تاثیر شدت انرژی و گسترش شهرنشینی بر تخریب محیط‌زیست در ایران(تحلیل هم‌جمعی)»، *مجله محیط‌شناسی*، سال سی و هفتم، شماره ۶۰ .

کاظمی، عالیه، محمدرضا مهرگان و حامد شکوری‌گنجوی (۱۳۹۱)، «ارائه مدل عرضه انرژی ایران با هدف کاهش گازهای گلخانه‌ای»، *نشریه تخصصی مهندسی صنایع*، دوره ۴۶ ، شماره ۱.

www.SID.ir

Archive of SID

محمودزاده، محمود و احمد شاه‌بیکی (۱۳۹۰)، «آثار فناوری اطلاعات و ارتباطات بر شدت انرژی در کشورهای در حال توسعه»، *فصلنامه اقتصاد و تجارت نوین*، شماره ۲۳ و ۲۴.

منظور، داوود و لیلی نیاکان (۱۳۹۳)، «رابطه توسعه اقتصادی و شدت انرژی در کشورهای عضو اکو: مدل رگرسیون داده‌های تابلویی آستانه‌ای یکنواخت»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، سال بیست و دوم، شماره ۶۹.

میرفخرالدینی، سیدحیدر، حمید بابایی‌میبدی و علی مروتی‌شریف‌آبادی (۱۳۹۲)، «پیش‌بینی مصرف انرژی در ایران با استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با الگوهای سنتی»، *پژوهش‌های مدیریت در ایران*، دوره ۱۷، شماره ۲.

مهرگان، نادر و یونس سلمانی (۱۳۹۳)، «شوک‌های قیمتی پیش‌بینی نشده نفت و رشد اقتصادی در ایران: کاربردی از مدل‌های چرخشی مارکف»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال سوم، شماره ۱۲.

مهرگان، نادر، پرویز محمدزاده، محمود حقانی و یونس سلمانی (۱۳۹۲)، «بررسی الگوی چندرفتاری رشد اقتصادی در واکنش به نوسانات قیمت نفت خام: کاربردی از مدل‌های GARCH و رگرسیون چرخشی مارکف»، *فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، شماره ۱۲.

نیکواقبال، علی‌اکبر، آزاده اختری، محبوبه امینی اسفیدواجانی و مریم عطارکاشانی (۱۳۹۱)، «رشد اقتصادی، رشد مصرف انرژی و رشد انتشار دی‌اکسیدکربن بررسی رابطه علیت با رویکرد داده‌های تلفیقی پویا»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال نهم، شماره ۳۳.

ب- انگلیسی

Alba E, Dorronsoro B. (2005), "The Exploration/Exploitation Trade off in Dynamic Cellular Genetic Algorithms", *IEEE Trans Evol Comput*; 9:126–42.

Arvai Joseph (2012), What is a National Energy Strategy? Institute for Sustainable Energy, Environment and Economy at university of Calgary, https://www.theglobeandmail.com.

Berk Istemi, Yetkiner Hakan (2014), "Energy Prices and Economic Growth in the Long Run: Theory and Evidence", *Renew Sustain Energy Rev*; 36:228–35.

Cowen, Tyler and Crampton, Eric (2003), Market Failure or Success: The New Debate, (Cheltenham and Northampton, UK: Edgar Elgar for the Independent Institute).

www.SID.ir

Archive of SID

Dineen, D.; Howley, M. and Holland, M. (2014), Energy in Transport—2014 Report; Energy Policy Statistical Support Unit, Sustainable Energy Authority of Ireland: Dublin, Ireland.

Doroodian K, Boyd R (2003), "The Linkage Between Oil Price Shocks and Economic Growth with Inflation in the Presence of Technological Advances: A CGE Model", *Energy Policy*; 31:989–1006.

Fang, Guochang, Tian, Lixin, Fu, Min and Sun, Mei (2014), "Government Control or Low Carbon Lifestyle? –Analysis and Application of a Novel Selective– Constrained Energy-saving and Emission-reduction Dynamic Evolution System", *Energy Policy*; 68:495–507.

Fang, Guochang, Tian, Lixin, Sun, Mei and Fu, Min (2011), "Analysis and Application of a Novel Three-dimensional Energy-saving and Emission-reduction Dynamic Evolution System", *Energy*; 40:291–9.

Hall, S.; Foxon, T.J. and Bolton, R. (2016), "Financing the Civic Energy Sector: How Financial Institutions Affect Ownership Models in Germany and the United Kingdom", *Energy Res. Soc. Sci*. 12, 5–15.

Hamilton James (2008), "Understanding Crude Oil Prices", Energy Policy and Economics Working Paper no. 023, University of California Energy Institute.

International Energy Agency (2015), *Energy and Climate Change; World Energy Outlook Special Report*; International Energy Agency: Wien, Austria

Jin Jang C., Choi Jai-Young, Yu Eden S.H (2009), "Energy Prices, Energy Conservation, and Economic Growth: Evidence from the Postwar United States", *International Review of Economics and Finance*; 18: 691–699.

Konadu, D.D.; Mourão, Z.S.; Allwood, J.M.; Richards, K.S.; Kopec, G.; McMahon, R. and Fenner, R. (2015), "Land use Implications of Future Energy System Trajectories -The Case of the UK 2050 Carbon Plan", *Energy Policy*, 86, 328–337.

Lee Chien-Chiang, Chiu Yi-Bin (2011), "Nuclear Energy Consumption, Oil Prices, and Economic Growth: Evidence from Highly Industrialized Countries". *Energy Economics 2011*; 33: 236–248.

Li, Yi, Sun, Linyan, Feng, Taiwen and Zhu, Chunyan (2013), "How to Reduce the Energy Intensity in China: A Regional Comparison Perspective", *Energy Policy*; 61:513–22.

Lin L, Gen M. (2009), "Auto-tuning Strategy for Evolutionary Algorithms: Balancing Between Exploration and Exploitation", *Soft Comput*; 13:157–68.

Mahadevan Renuka, Asafu-Adjaye John (2007), "Energy Consumption, Economic Growth and Prices: A Reassessment

www.SID.ir

Archive of SID

Using Panel VECM for Developed and Developing Countries", *Energy Policy*; 35:2481–90.

Metcalf Gilbert (2006), "Energy Conservation in the United States: Understanding Its Role in Climate Policy, National Bureau of Economic Research", Working Paper no. 12272, p. 2.

Mirjalili S, Lewis A. (2016), "The Whale Optimization Algorithm", *Adv Eng Softw*; 95:51–67.

Navarro, A.M. and Sambodo, M.T. (2013), *The Pathway to ASEAN Energy Market Integration; Philippine Institute for Development Studies*, Discussion Paper Series; Philippine Institute for Development Studies: Quezon, Philippines.

Odhiambo Nicholas M (2010), "Energy Consumption, Prices and Economic Growth in Three SSA Countries: A Comparative Study", *Energy Policy*; 38:2463–9.

Olorunda O, Engelbrecht AP. (2008), "Measuring Exploration/Exploitation in Particle Swarms Using Swarm Diversity", In: Proceedings of the 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC (IEEE World Congress on Computational Intelligence); p. 1128–34.

Porter, Michael E. (1980), *Competitive Strategy*, The Free Press, New York.

Spulber, Daniel F. (1989), *Regulation and Markets*, (Cambridge MA: MIT Press).

Sun, Mei, Tian, Lixin and Fu, Ying (2007), "An Energy Resources Demand-supply System and its Dynamical Analysis", *Chaos, Solitons Fractals*; 32:168–80.

Tanaka Kanako (2011), "Review of Policies and Measures for Energy Efficiency in Industry Sector", *Energy Policy* 39, 6532–6550.

Tang Chor Foon, Tan Eu Chye (2013), Exploring the Nexus of Electricity Consumption, Economic Growth, Energy Prices and Technology Innovation in Malaysia", *Appl Energy*; 104:297–305.

Tarean Cristina (2014), "Long Term Energy Strategies and Policies: Challenges", *Procedia Technology*; 19:631 – 636.

Wang, Minggang abd Tian, Lixin (2015), "Regulating Effect of the Energy Market Theoretical and Empirical Analysis Based on a Novel Energy Prices–energy Supply–economic Growth Dynamic System", *Applied Energy*; 155:526–546.

Zeng, Lin, Xu, Ming, Liang, Sai, Zeng, Siyu and Zhang, Tianzhu (2014), "Revisiting Drivers of the Energy Intensity in China During1997–2007: A Structural Decomposition Analysis", *Energy Policy*; 67:640–7.

www.SID.ir