

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 دینامیک غیرخطی طراحی و با به‌کارگیری 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 نهندگ 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 سیکنی 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 -هم‌اکنون- هم‌اکنون هم‌اکنون کاهش شدت انرژی-به‌کارگیری استراتژی جامع (ترکیب سه استراتژی) بهتر از استراتژی‌های انفرادی است. بنابراین، توصیه می‌شود جهت کاهش شدت انرژی کشور بجای به‌کارگیری سخت‌گیرانه 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.

۱- مقدمه

شوکه‌های 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 به کارگیری 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^۱ نشان می‌دهد که طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۰ شدت انرژی اولیه و نهایی به صورت جهانی و در همه مناطق^۲ (بجز خاورمیانه) کاهش یافته است. در سطح جهانی، شدت انرژی اولیه از ۰/۲۲ در سال ۱۹۹۰ به ۰/۱۶ واحد^۳ در سال ۲۰۱۴ رسید در حالی که در ایران طی همین دوره از ۰/۱۶ به ۰/۲۲ واحد افزایش یافته که بعد از کشورهای CIS 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، آمریکای شمالی، آمریکای لاتین، آسیا، پاسفیک، آفریقا، کشورهای CIS (روسیه، اوکراین و قزاقستان) و خاورمیانه است.

۳- واحد شدت انرژی koe/\$2005ppp است.

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۳

کرده‌اند و کشورهای موفق بدون فدا کردن رشد اقتصادی توانسته‌اند شدت انرژی را کاهش دهند. همچنین اگر قیمت‌ها کاهش شدت انرژی را توضیح دهند در این حالت سیاست‌های مبتنی بر بازار، یعنی وضع مالیات‌های متناسب با هزینه آثار خارجی، بر صنایع با شدت انرژی بالا توصیه می‌شود و در نهایت اگر ترکیب صنعتی کاهش در شدت انرژی را تبیین کند این نگرانی را ایجاد می‌کند که تفاوت‌های در شدت انرژی چیزی بیش از انتقال انرژی از یک منطقه به منطقه دیگر نیست، بدون اینکه ضرورتاً کل مصرف انرژی یا کل آلودگی کاهش یافته باشد. بنابراین، هر تبیین‌کننده کاهش شدت انرژی در کشورهای موفق دنیا، اگر بخواهد برای کشورهای با شدت انرژی بالا از جمله ایران به کار گرفته شود، سیاست‌های کنترلی خاص خود را می‌طلبد. علاوه بر این، هر کدام از سیاست‌های موجود دارای آثار کمی اقتصادی خاصی بر قیمت‌های 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 سیاست‌های 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 مدل‌های اقتصادسنجی مانند VAR و VECM انجام شده‌اند.^۱ فقدان تجزیه و تحلیل‌های عمیق در این مطالعات^۲، ممکن است به دلیل به کارگیری مدل‌های 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 استراتژی‌های مختلف کنترلی در تحقیقات قبلی نادر است. در این زمینه تحقیقات صورت گرفته در ایران را نیز می‌توان 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 پیش‌بینی 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 شاه‌بیک (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- بابایی‌مبیدی و همکاران (۱۳۹۱)، میرفخرالدینی و همکاران (۱۳۹۲) و ابریشمی و همکاران (۱۳۹۰)

۴ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۷۳، تابستان ۱۳۹۸

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 زیست محیطی 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 دی‌اکسید کربن پرداخته است.

مطالعات عنوان شده برای تعیین روابط بین رشد اقتصادی، عرضه انرژی و قیمت انرژی مدل‌های معمول اقتصادسنجی را به کار 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 اصلاً مورد توجه قرار نگرفته یا اگر به آن‌ها اشاره شده بیشتر بر مبنای تحلیل‌های توصیفی و غیر کمی 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 استراتژی‌های کنترل مختلف برای کاهش شدت انرژی است. برآوردن این هدف، نیازمند تجزیه و تحلیل کمی مزایا و معایب این استراتژی‌ها 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 بر اساس داده‌های 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 می‌شود. برای این منظور ساختار مقاله به این صورت است که بخش دوم به مبانی نظری اختصاص می‌یابد. 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)، رجیبی و موسوی حقیقی (۱۳۹۲) و نیکواقبال و همکاران (۱۳۹۱)

۲- مبانی نظری

سیستم انرژی، سیستمی پیچیده و تحت تاثیر فاکتورهای متعددی (از جمله قیمت انرژی، عرضه انرژی، مصرف انرژی،^۱ رشد اقتصادی، انتشار کربن، شدت انرژی و کارایی انرژی،^۲ واردات انرژی، ساختار انرژی کشور،^۳ سیاست‌های کنترلی،^۴ ذخایر اثبات‌شده، توسعه و اکتشاف انرژی‌های نو^۵ و پیشرفت تکنولوژی^۶) است. به پیروی از وانگ و تیان^۷ (۲۰۱۵) روابط علی بین این فاکتورها در نمودار (۱) تصویر شده است که در آن k_i 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

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۷

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.

$$\begin{cases} \dot{x} = a_1x + a_2(c - y) + a_3(z - k_1) & (1a) \\ \dot{y} = -b_1y + b_2x - b_3z(1 - z/k_2) & (1b) \\ \dot{z} = c_1z(1 - z/L) + c_2yz & (1c) \end{cases} \quad (1)$$

که در آن:

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

k_i نشان‌دهنده رابطه رفتاری بین عناصر مختلف مدل و ضرایب a_j , b_j و c_l ($j = 1, 2, 3$ و $l = 1, 2$) 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 ($j = 1, 2, 3$ و $l = 1, 2$) 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 ($j = 1, 2, 3$ و $l = 1, 2$) و پارامترهای k_i نیست، بلکه کاربرد پارامترها بحث و بررسی اثر سیاست‌های مختلف بر ضرایب است.

۸ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۷۳، تابستان ۱۳۹۸

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.

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۹

ادامه جدول (۱) -

عنوان	شرح
C_1	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	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)، $-b_1y$ نشان می‌دهد که نرخ تغییر وابسته به زمان عرضه انرژی با تغییر عرضه انرژی کاهش می‌یابد. b_2x 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). $-b_3(1 - z/k_2)$

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.^۱

$$Y = \int_0^T \dot{y}(t) dt = \varphi_1(x, y, z, M, t), \quad \dot{y}(t) = \varphi(y, t) \quad (2)$$

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

$$z = \int_0^T \dot{z}(t) dt = \varphi_2(x, y, z, N, t) \quad (3)$$

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.

$$U = \varphi_1(x, y, z, M, t) / \varphi_2(x, y, z, N, t) \quad (4)$$

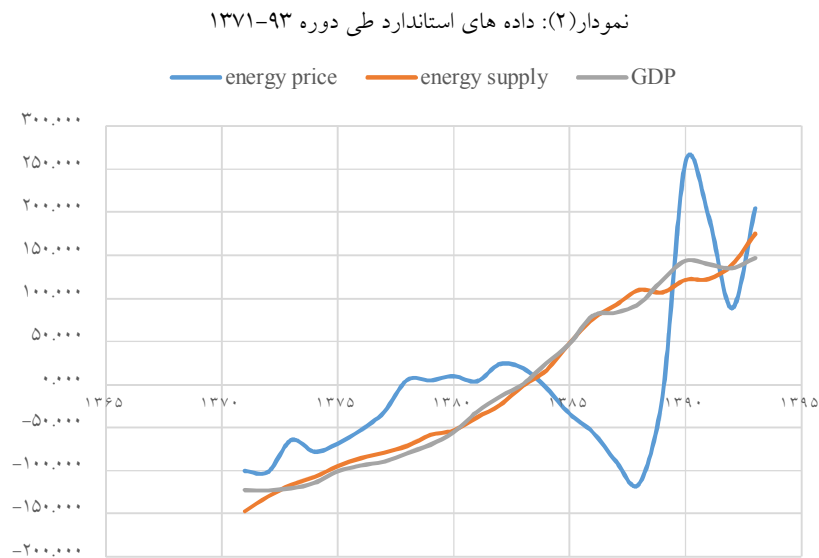
با استفاده از سیستم قیمت‌های انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی فرایند تغییر شدت انرژی در یک دوره خاص را می‌توان به وضوح توصیف کرد.

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

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۱۱

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 علامت گذاری می‌کنیم. از آنجا که واحدهای متغیرهای انتخاب شده متفاوت است، ابتدا داده‌ها استاندارد می‌شوند. داده‌های استاندارد در نمودار (۲) نشان داده شده‌اند.



برای تخمین پارامترهای این سیستم از الگوریتم‌های فراابتکاری^۱ استفاده می‌شود. محبوبیت این الگوریتم‌ها در کاربردهای اقتصادی و مهندسی رو به افزایش است، چراکه مبتنی بر مفاهیم ساده‌تری هستند و اجرای آن‌ها آسان است، به اطلاعات گرادینان 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

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 لويس^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 پر تو (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)

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۱۳

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

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (۵)$$

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

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 تا کنون، \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.

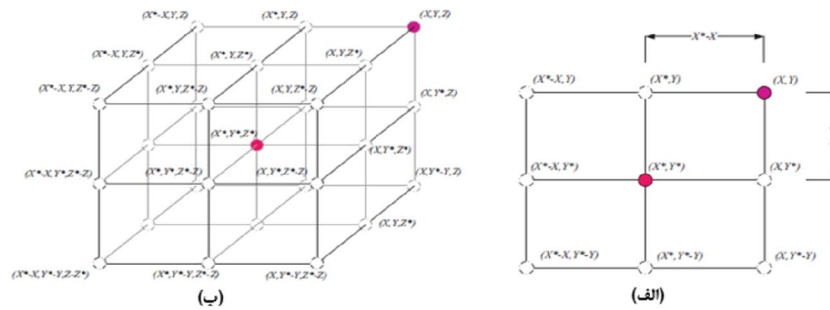
$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (۷)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r} \quad (۸)$$

که در آن مقدار \vec{a} طی فرایند تکرار از ۲ تا صفر به صورت خطی (در هر دو مرحله کاهش و استخراج) کاهش می‌یابد و \vec{r} یک بردار تصادفی در بازه [0,1] 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) قرار گرفته، دسترسی پیدا کرد. بنابراین، معادله (۷) امکان می‌دهد که هر عامل جست‌وجویی موقعیتش را در همسایگی بهترین جواب کنونی بروزرسانی کند و محاصره شکار شیبه‌سازی شود.

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 گورژپشت با استراتژی تورجبابی نیز به شکار حمله می‌کنند. برای مدل‌سازی رفتار تورجبابی در نهنگ‌های گورژپشت، 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: همانطور که در نمودار (۴-ب) قابل مشاهده است، این رویکرد ابتدا فاصله بین نهنگ قرار گرفته در موقعیت (X, Y) و شکار قرار گرفته در موقعیت (X^*, Y^*) را محاسبه می‌کند. سپس یک معادله مارپیچی بین موقعیت نهنگ و شکار ایجاد می‌شود تا جابجایی حلزونی شکل نهنگ گورژپشت را به صورت رابطه (۹) شبیه‌سازی کند.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (9)$$

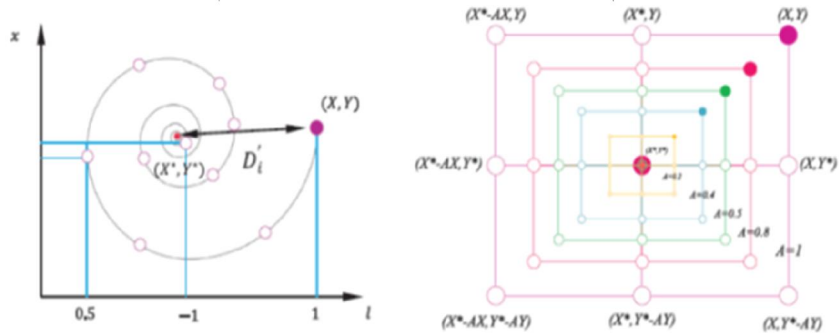
تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۱۵

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

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

$$\bar{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \bar{A} \cdot \vec{D} & \text{if } p < 0.5 \\ \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

نمودار (۴): مکانیزم جست‌وجوی تور حبابی اجرا شده در الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ



(ب) موقعیت بروزشونده مارپیچی

(الف) مکانیزم محاصره تنگ شونده

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

علاوه بر روش تور حبابی، 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 \bar{A} را می‌توان برای جست‌وجوی شکار (کاوش) به کار گرفت. در حقیقت نهنگ‌های گوژپشت شکار را نسبت به موقعیت همدیگر به صورت

تصادفی جست و جو می کنند. بنابراین، \bar{A} را با مقادیر تصادفی بزرگ تر از ۱ یا کوچک تر از ۱- به کار می گیریم تا عامل جست و جو را وادار کنیم جایی دورتر از یک نهنگ مرجع حرکت کند. برخلاف مرحله استخراج، بروزرسانی موقعیت عامل جست و جو در مرحله کاوش بجای بهترین عامل پیدا شده تاکنون، مطابق یک عامل جست و جوی منتخب تصادفی صورت می گیرد. این مکانیزم و عبارت $|\bar{A}| > 1$ روی کاوش تاکید کرده و به الگوریتم بهینه سازی نهنگ امکان جست و جوی سراسری را می دهد. مدل ریاضی آن نیز به صورت رابطه (۱۱) و (۱۲) است.

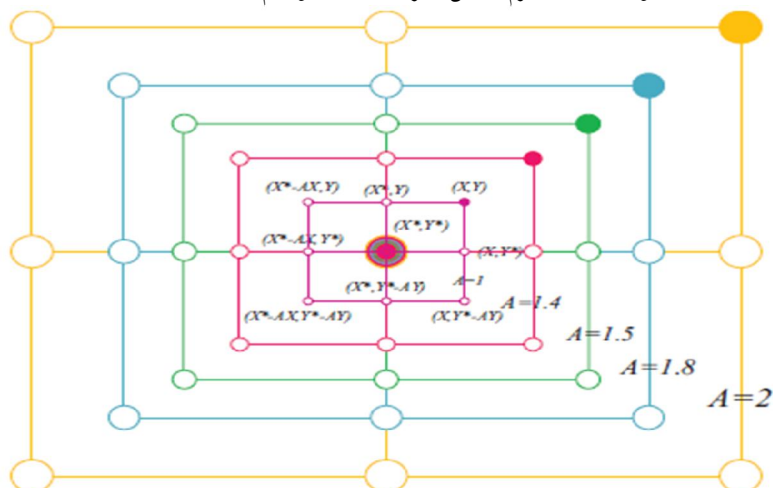
$$\bar{D} = |\bar{C}. \bar{X}_{rand} - \bar{X}| \quad (۱۱)$$

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

که در آن \bar{X}_{rand} یک بردار موقعیت تصادفی (یک نهنگ تصادفی) منتخب از جمعیت حاضر است. بعضی از موقعیت های ممکن در اطراف یک راه حل خاص با $|\bar{A}| > 1$ در نمودار (۵) نشان داده شده اند. الگوریتم بهینه سازی نهنگ با مجموعه ای از جواب های تصادفی شروع می شود. در هر تکرار، عوامل جست و جو موقعیت شان را با توجه به یک عامل جست و جوی منتخب تصادفی یا بهترین جواب به دست آمده تاکنون بروزرسانی می کنند. پارامتر a از ۲ تا صفر کاهش می یابد تا به ترتیب فرایند کاوش و استخراج را فراهم کند. یک عامل جست و جوی تصادفی هنگامی انتخاب می شود که $|\bar{A}| > 1$ باشد، در حالی که برای بروزرسانی موقعیت عوامل جست و جو، بهترین جواب هنگامی انتخاب می شود که $|\bar{A}| < 1$ است. الگوریتم بهینه سازی نهنگ می تواند بسته به مقدار p بین یک حرکت مارپیچی یا دایره ای تغییر کند. در نهایت، الگوریتم بهینه سازی نهنگ با برآورده شدن یک معیار رضایت بخش پایانی به انتها می رسد.

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۱۷

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 شده است. از نظر تئوری، الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ را می‌توان یک بهینه‌ساز سراسری در نظر 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.

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۱۹

جدول (۲): پارامترهای سیستم

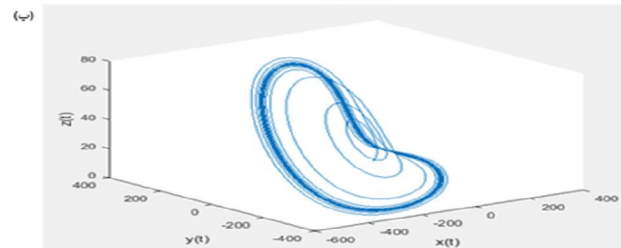
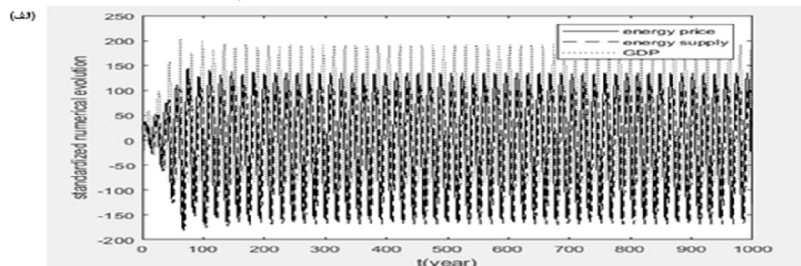
L	C	c_2	c_1	k_2	k_1	b_3	b_2	b_1	a_3	a_2	a_1	پارامتر مقدار
۲۲	۲۴	۰/۰۰۴۵	۰/۳۵	۱۰/۵	۲۵	۰/۳۳	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۵۶	۰/۲۳۸	

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

$$\begin{cases} \dot{X} = 0.238 X + 0.56 (24 - Y) + 0.11(Z - 25) \\ \dot{Y} = 0.43 X - 0.38 Y - 0.23 Z(1 - Z/10.5) \\ \dot{Z} = 0.35 Z(1 - Z/22) + 0.0045YZ \end{cases} \quad (14)$$

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



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 استراتژی‌های 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.

۴-۱- بررسی و تحلیل استراتژی‌های کنترل

سیاست گذاری انرژی از طریق تدوین استراتژی‌های ملی انرژی یکی از مباحث مطرح در پژوهش‌های امروزی است.^۱ از نظر آروای^۲ (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^۳ (۲۰۱۴) نیز تاکید می‌کند 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 طوری که 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

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۲۱

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)

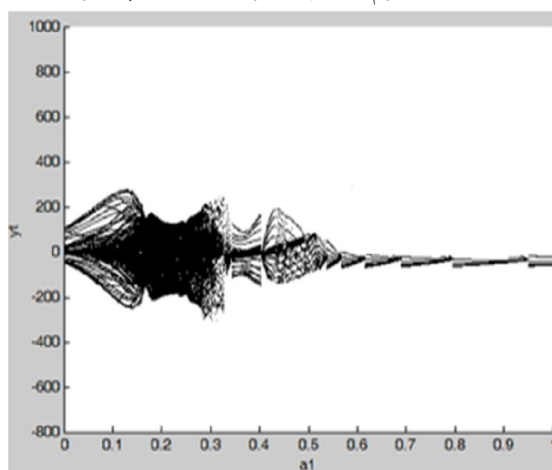
5- Porter

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 رقبای 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، منطبق 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.

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 جزئیات بیشتری مورد بحث قرار می‌گیرند. این استراتژی‌ها و اقدامات مرتبط با آن‌ها به تنهایی به کار 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.

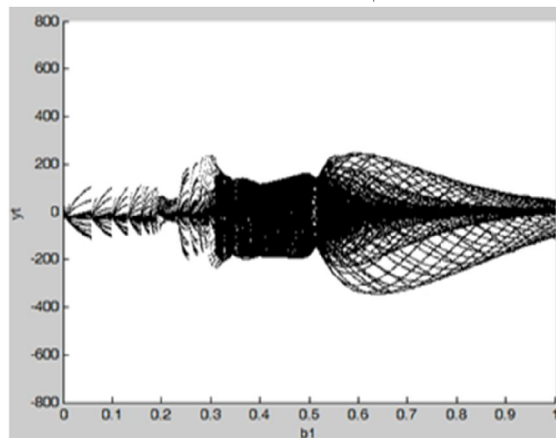
استراتژی اول (اکتشاف و توسعه انرژی‌های نو و افزایش واردات انرژی): اکتشاف منابع جدید و افزایش واردات انرژی پارامترهای a_1 و b_1 سیستم را کاهش خواهد داد، زیرا اکتشاف منابع جدید انرژی و انرژی‌های وارداتی عرضه انرژی را (نه فقط با تکیه بر تولید داخلی انرژی موجود) متنوع‌تر می‌سازد که این امر باعث کاهش ضریب a_1 و b_1 و محدود شدن رشد عرضه انرژی می‌شود. دیاگرام انشعاب مربوط به عرضه انرژی (۷) 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 حالی که 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 γ با توجه به پارامتر a_1



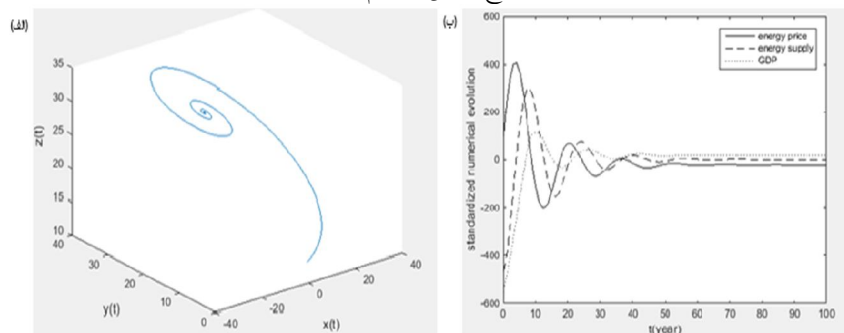
تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۲۳

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



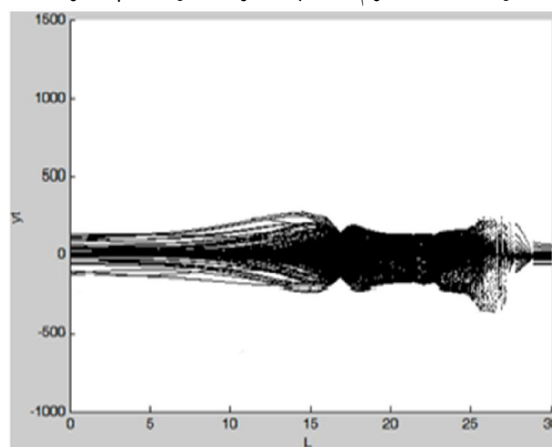
به عنوان مثال، اگر پارامتر a_1 از 0.238 به سمت 0.13 و پارامتر b_1 از 0.38 به سمت 0.3 کاهش یابند و دیگر پارامترها را بدون تغییر در نظر بگیریم و نتایج تکامل را به دست آوریم، همانطور که در نمودار (۱۰-الف) نشان داده شده است، می‌بینیم که اکتشاف منابع جدید انرژی و بهبود واردات انرژی می‌تواند در سیستم قیمت‌های 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



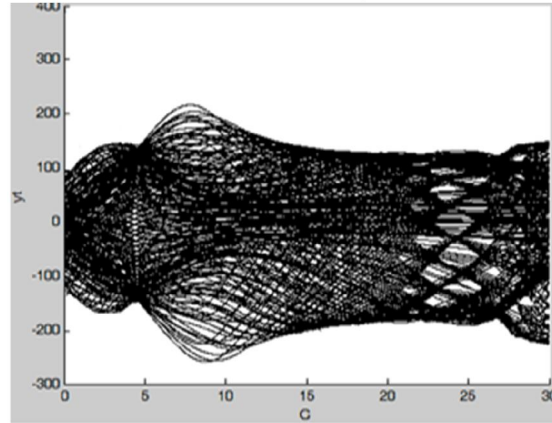
استراتژی دوم (حرکت به سمت بازار خود تعدیل شونده): این استراتژی افزودن عملکرد خود تعدیل شونده بازار و ایجاد یک بازار مستقل خود کار است که می تواند به طور خود کار و حساس به عرضه و تقاضای انرژی پاسخ دهد. در سیستم قیمت انرژی، عرضه انرژی و رشد اقتصادی، این اقدام به معنی کاهش آستانه C و L است، بنابراین قیمت انرژی را قادر می سازد به طور خود کار و حساس به عرضه انرژی در بازار پاسخ دهد و عملکرد خود کار بازار را ارتقا می دهد. 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 می دهد کاهش پارامتر C در حالی که دیگر پارامترها بدون تغییر باقی می مانند، عرضه انرژی را باثبات نخواهد کرد، اما زمانی که C در محدوده [۰, ۵] است، می تواند درجه بی ثباتی 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 می مانند، نتایج تکامل سیستم به شرح نمودار (۱۳) خواهد بود. نمودار (۱۳) نشان می دهد که حرکت به سمت بازار خود تعدیل شونده 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 شوک های 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

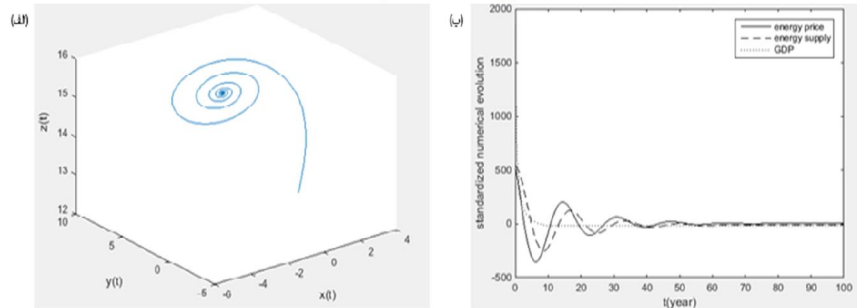


تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۲۵

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



نمودار (۱۳): نتایج تکامل سیستم با استراتژی دوم

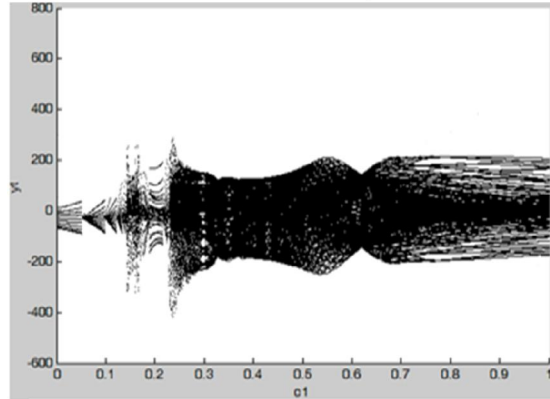


استراتژی سوم (تغییر ساختار صنعتی): تغییر ساختار صنعتی، تعدیل رشد اقتصادی، تقویت نظام‌مند بخش انرژی و مدیریت علمی، استراتژی‌های موثر برای برقراری ثبات قیمت‌ها در بازار انرژی هستند. تغییر ساختار صنعتی، یعنی تبدیل ساختار صنعتی از «مصرف بالا، آلودگی بالا و کارایی پایین» به «مصرف کم، آلودگی کم و راندمان بالا». 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)

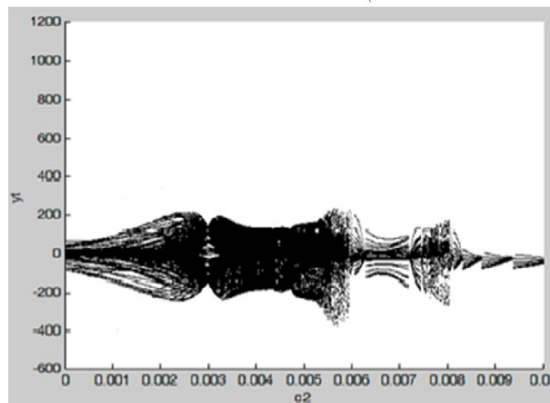
۲۶ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۷۳، تابستان ۱۳۹۸

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



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

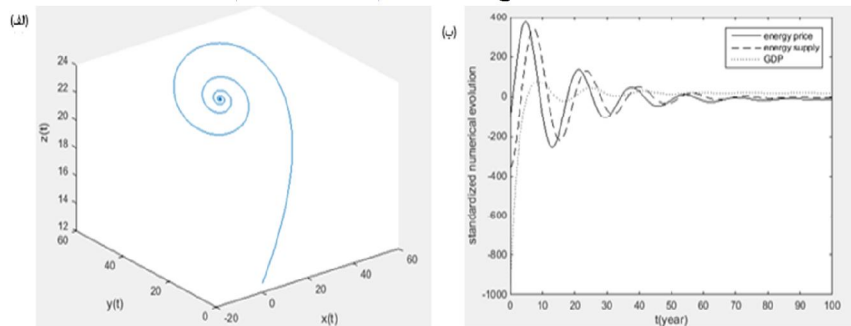


نمودارهای (۱۴) و (۱۵) نشان می‌دهند که افزایش ضریب c_1 یا کاهش ضریب c_2 در حالی که دیگر پارامترها بدون تغییر باقی می‌مانند، هر دو، عرضه انرژی را وادار خواهند کرد که گرایش به ثبات داشته باشد. به عنوان مثال اگر پارامتر c_1 را از ۰/۳۵ به ۰/۷ افزایش و پارامتر c_2 را از ۰/۰۴۵ به ۰/۰۰۳ کاهش دهیم، اما دیگر پارامترها بدون تغییر

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۲۷

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 (۱۶): نتایج تکامل سیستم با استراتژی سوم

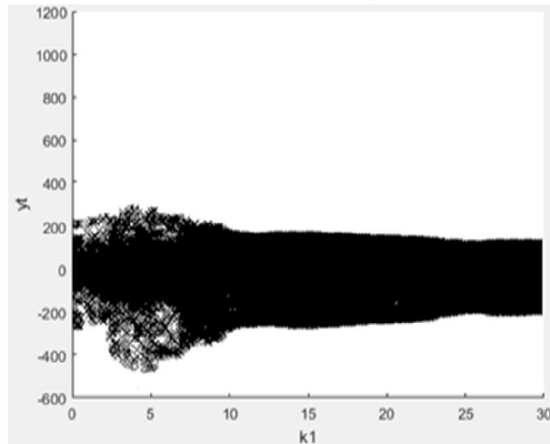


استراتژی چهارم (اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی): از اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی آستانه تنظیم قیمت انرژی به صورت k_1 و آستانه تولید انرژی k_2 آشکار می‌شود. تاثیر این امر چنین است که ثبات عرضه انرژی را از طریق یارانه‌های دولتی یا سیاست‌های مربوط به شرکت‌های تولید انرژی تضمین می‌کند. اگر مقادیر 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 نمی‌تواند عرضه انرژی را کاملاً باثبات سازند، اما هر دو می‌توانند درجه آشوبگونه عرضه انرژی را کاهش دهند.

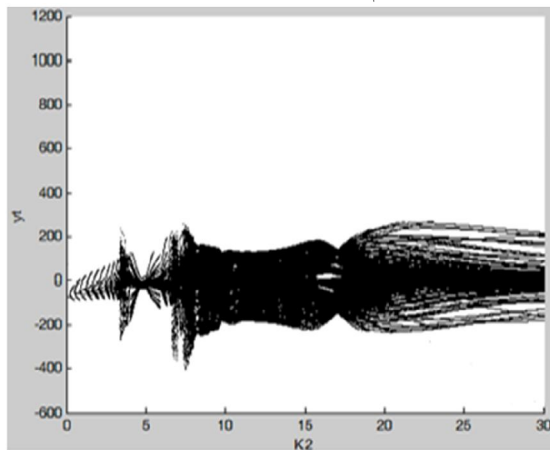
به عنوان مثال، اگر پارامتر k_1 را از ۲۵ به ۳۰ و پارامتر k_2 را از ۱۰/۵ به ۲۰ افزایش دهیم، اما دیگر پارامترها بدون تغییر باقی بمانند، نتایج تکامل سیستم به شرح نمودار (۱۹-الف) خواهد بود. نمودارهای (۱۹-الف) و (۱۹-ب) نشان می‌دهد که اتخاذ سیاست‌های تولید و قیمت انرژی می‌تواند سیستم آشوبگونه را در وضعیت شوک‌های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

۲۸ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۷۳، تابستان ۱۳۹۸

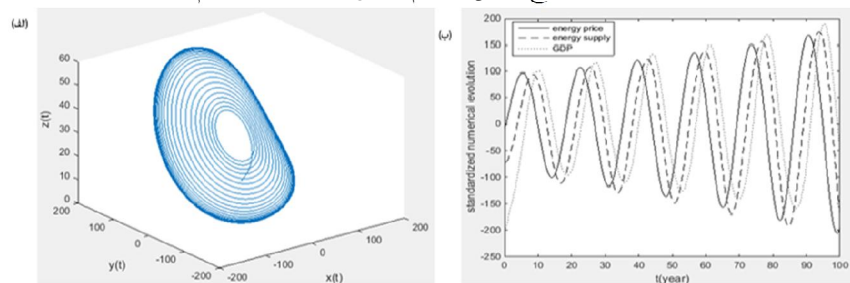
نمودار (۱۷): دیاگرام انشعاب متغیر y با توجه به پارامتر k_1



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



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



تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۲۹

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 واقعیت‌های اقتصاد ایران در حوزه انرژی و دیگری الزامات هر استراتژی است. در زمینه واقعیت‌های بخش انرژی، بر اساس گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس، بخش انرژی کشور در حوزه سیاست‌گذاری با چالش‌های فقدان متولی مشخص، سیاست‌زدگی برنامه‌ریزی انرژی و در دسترس نبودن آمار و ارقام صحیح و یکپارچه جهت تدوین سیاست‌های جامع انرژی کشور مواجه است^۱ و تمرکز اصلی سیاست‌گذاری بر تنوع‌بخشی به حامل‌های 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 تکنولوژی‌های نوین، ورود و تولید محصولات کم‌بازده و پرمصرف انرژی و سهم ناچیز انرژی‌های پاک در سبد انرژی کشور است.^۳ بر این اساس، جهت موفقیت سیاست‌هایی 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 انرژی‌های 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)

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 توافق نامه ها با صنعت که ابزارهای این اقدام شامل مالیات های انرژی، مالیات کربن و تبادل انتشار است. دوم، انجمن های صنعتی یا فدراسیون ها که به عنوان واسطه بین دولت ها و کمپانی های صنعتی عمل می کنند. سوم، سایر سیاست ها (به عنوان مثال، آموزش) که محیطی را برای صنعت فراهم می کنند تا صرفه جویی انرژی را بهبود بخشد. در استراتژی چهارم استدلال های معمول برای دخالت دولت در بازار انرژی شامل قیمت های بالای انرژی^۱، نیاز به صرفه جویی انرژی^۲، پیک نفت^۳، نیاز به سرمایه گذاری در انرژی های نو و شکست بازارهای انرژی^۴ 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 دخالت های مستقیم قادر نخواهد در بازار انرژی ثبات ایجاد کند. تاکنون سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی با استراتژی های کنترل متفاوت تعدیل شد. تصاویر تکاملی این سیستم تحت سه سیاست کنترل مختلف به ترتیب در هر دو فضای سه بعدی و دوبعدی در نمودارهای (۲۰-الف) و (۲۰-ب) آمده است. تحت استراتژی های کنترل جامع نیز، تصاویر تکاملی سیستم قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی در هر دو فضای سه بعدی و دوبعدی به شرح نمودارهای (۲۰-ج) و (۲۰-د) است.

1- Cowen and Crampton (2003)

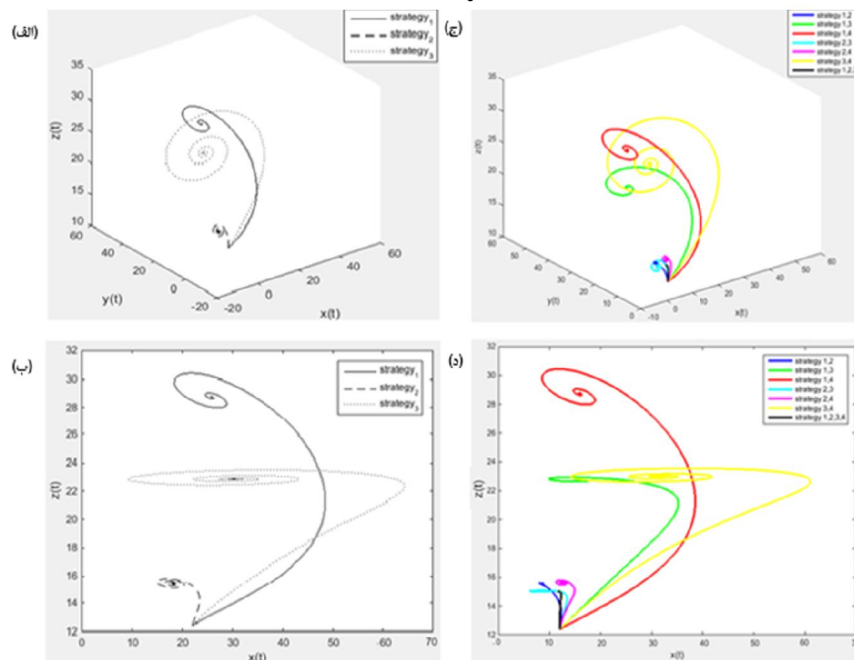
2- Metcalf Gilbert (2006)

3- Hamilton (2008)

4- Spulber (1989)

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۳۱

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.

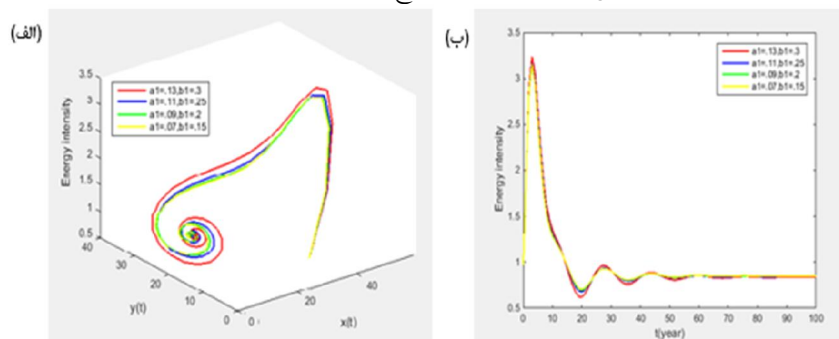
۴-۲- بررسی و تحلیل رابطه استراتژی‌های کنترل و شدت انرژی

کل مصرف انرژی ایران در سال ۱۳۹۳، ۱۷۶۸/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام است و تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ برابر ۱۸۲۳۴۰۶ میلیارد ریال است. بنابراین، شدت

۳۲ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۷۳، تابستان ۱۳۹۸

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 به کار می‌روند. پارامتر a_1 به ترتیب مقادیر 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



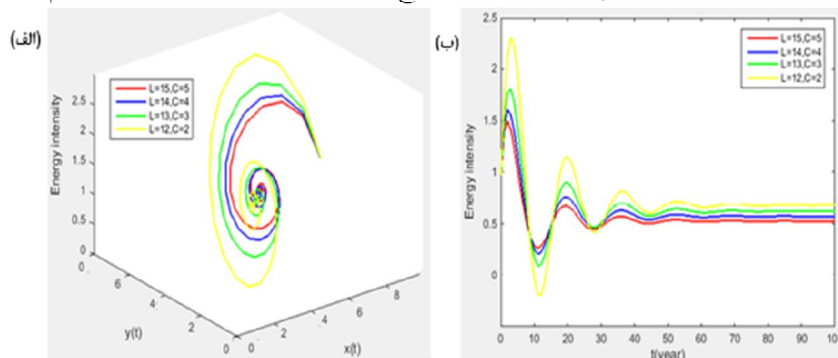
از نمودار (۲۱-الف) می‌توان دریافت که تحت استراتژی اول، سیستم قیمت-عرضه-شدت انرژی در نهایت به سمت ثبات میل می‌کند. مطابق نمودار (۲۱-ب)، تحت چهار قدرت کنترل مختلف توسط استراتژی اول، شدت انرژی به ترتیب به مقادیر ۰/۸۳۷۵، ۰/۸۴۵۶، ۰/۸۴۹۶ و ۰/۸۵۱۶ گرایش دارد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قدرت کنترل، مقدار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

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۳۳

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 کنترل‌های بازار و اجرای عملکرد تعدیل اقتصاد بازار است. با افزایش تدریجی قدرت کنترل، مدل‌ها برای شبیه‌سازی فرآیند تکامل شدت انرژی به کار می‌روند. پارامتر C به ترتیب مقادیر ۵، ۴، ۳ و ۲ و پارامتر L به ترتیب مقادیر ۱۵، ۱۴، ۱۳ و ۱۲ را اختیار می‌کند. 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) می‌توان دریافت که تحت استراتژی دوم، سیستم قیمت-عرضه-شدت انرژی در نهایت به سمت ثبات میل می‌کند. مطابق نمودار (۲۲-ب)، تحت چهار قدرت کنترل مختلف توسط استراتژی دوم، شدت انرژی به ترتیب به مقادیر $0/5712$ ، $0/6196$ و $0/6794$ میل می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قدرت کنترل،

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 عملکرد 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.

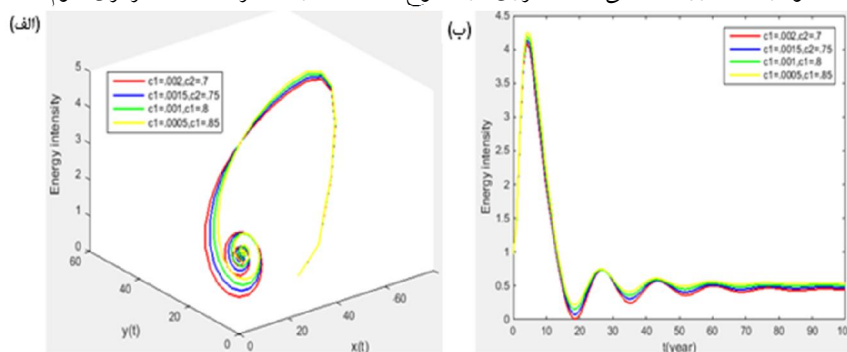
برای استراتژی سوم، افزایش قدرت کنترل به معنی سرعت بخشیدن به تعدیل ساختار صنعتی است، یعنی سرمایه‌گذاری بیشتر منابع انسانی، مواد، منابع مالی و حتی استفاده قوی از مداخلات اجرایی برای تغییر ساختار صنعتی است. با افزایش تدریجی قدرت کنترل، مدل‌ها برای شبیه‌سازی فرآیند تکاملی شدت انرژی به کار می‌رود. پارامتر C_1 به ترتیب مقادیر $0/7$ ، $0/75$ ، $0/8$ و $0/85$ و پارامتر C_2 به ترتیب مقادیر $0/003$ ، $0/0025$ ، $0/002$ و $0/015$ 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 $0/4413$ ، $0/4719$ ، $0/5031$ و $0/5357$ 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 می‌دهد که با توجه به وضعیت فعلی واقعی ایران، تغییر ساختار صنعتی می‌تواند 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

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۳۵

کور کورانه 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

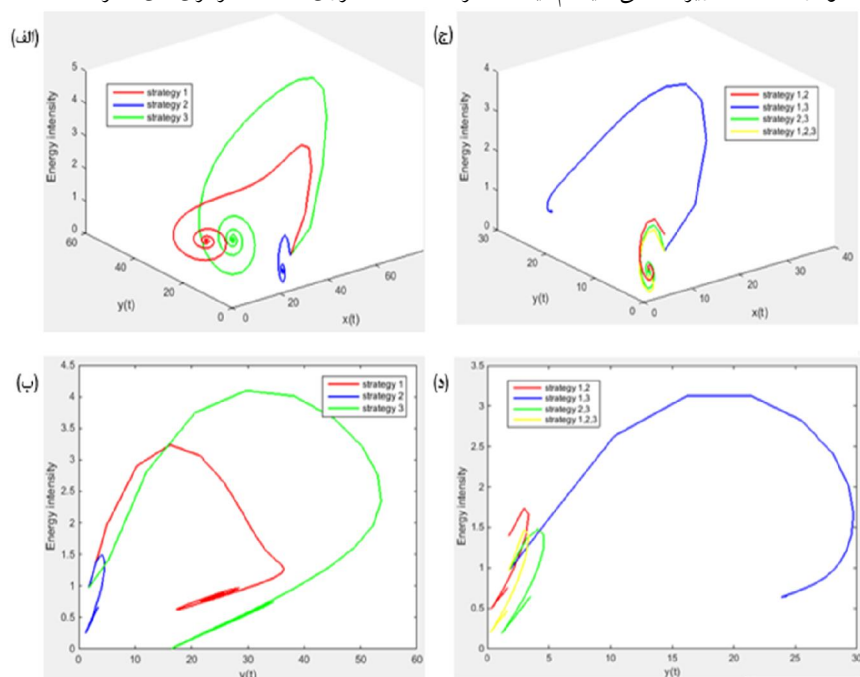


به طور خلاصه، در مقایسه با شدت انرژی ۰/۹۶۹۷ در سال ۱۳۹۳، هر سه این استراتژی‌ها می‌توانند شدت انرژی را کاهش دهند، اما به این معنا نیست که قدرت کنترل بزرگ‌تر نتیجه بهتری می‌دهد. برای استراتژی اول، افزایش نسبی قدرت کنترل برای کاهش شدت انرژی به نتایج روشنی دست نخواهد یافت، بلکه در عوض باعث اتلاف عظیم منابع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

تاکنون اثرات استراتژی‌های کنترل بر کاهش شدت انرژی را تحت قدرت کنترل‌های 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 (الف-۲۴) و (ب-۲۴)). به همین ترتیب تصاویر تکاملی سیستم تحت سیاست‌های کنترل جامع نیز حاصل می‌شود (نمودارهای (ج-۲۴) و (د-۲۴)). از نمودار (۲۴)، می‌توان دریافت که تحت استراتژی اول، دوم، سوم و استراتژی‌های کنترل جامع، سیستم قیمت-عرضه-شدت انرژی می‌تواند به ثبات برسد. مدت زمانی که سیستم برای

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 استراتژی های کنترل مختلف، چگونه شدت انرژی با گذشت زمان تکامل می یابد و اثر سیاست ها برای کاهش شدت انرژی چگونه است.

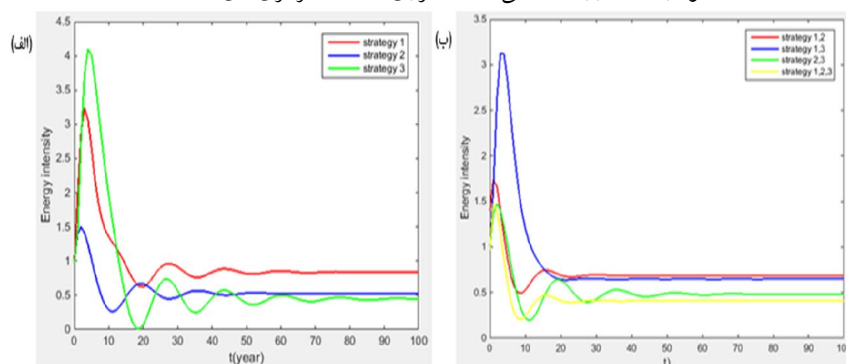
نمودار (۲۴): تصاویر تکاملی سیستم قیمت- عرضه- شدت انرژی تحت استراتژی های کنترل مختلف



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 سیاست های 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 می دهد بر این اساس، کمترین شدت انرژی توسط استراتژی سوم حاصل می شود و در مقابل کمترین زمان به ثبات رسیدن شدت انرژی تحت استراتژی دوم رخ خواهد داد.

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۳۷

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



استراتژی‌های 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 استراتژی‌ها است. بر اساس نمودار (۲۵-الف) تحت کمترین قدرت کنترل براساس استراتژی‌های 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 استراتژی‌های دوم و سوم به ترتیب شدت انرژی را به مقادیر ۰/۶۸۸۶ و ۰/۶۴۷۷ کاهش می‌دهد و ترکیب استراتژی‌های دوم و سوم شدت انرژی را ۰/۴۸۳۱ را نتیجه می‌دهد 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 می‌طلبند. از یک سو براساس گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس بخش انرژی کشور در حوزه سیاست‌گذاری با چالش‌های فقدان متولی مشخص، سیاست‌زدگی برنامه‌ریزی انرژی و در دسترس نبودن آمار و ارقام صحیح و یکپارچه جهت تدوین سیاست‌های جامع انرژی مواجهه است و تمرکز اصلی سیاست‌گذاری بر تنوع‌بخشی به حامل‌های انرژی و امنیت عرضه انرژی بوده و سیاست‌های

بهبود کارایی انرژی و زیست محیطی 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 کم بازده و پرمصرف انرژی و سهم ناچیز انرژی های 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 سیاست های کنترلی دولت بیشتر بر مبنای تحلیل های توصیفی و غیر کمی بوده است. بنابراین، توضیح این روابط پیچیده و تجزیه و تحلیل کمی آن تحت استراتژی های مختلف، نیازمند به کارگیری مدل های پویا و غیر خطی است.

در این مقاله سیستم معادلات دیفرانسیل غیر خطی قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی طراحی شد، سپس با به کارگیری داده های 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 انرژی های نو و افزایش واردات انرژی، دوم؛ حرکت به سمت بازار خود تنظیم شونده، سوم؛ تغییر ساختار صنعتی و چهارم؛ اتخاذ سیاست های تولید و قیمت انرژی مورد بررسی قرار گرفت.

اجرای هر استراتژی نیازمند یکسری شرایط مقدماتی است. در رابطه با استراتژی نخست، برای توسعه انرژی های نو باید به افزایش سرمایه گذاری در زیرساخت ها توجه شود که مستلزم شدت بخشیدن به تحقیق و توسعه و تدوین و اجرای برنامه ریزی است. برنامه ریزی باید برای همه بخش ها و با همکاری گروه ها و وزارتخانه های مختلف دولتی انجام شود و طراحی سیاست ها باید با گفت و گوی تنگاتنگ بین بخش خصوصی و دولت صورت پذیرد. در استراتژی دوم، هدف از حرکت به سمت بازار خود تنظیم شونده ایجاد بازاری رقابتی، مشتری محور، انعطاف پذیر و غیر تبعیض آمیز برای همه مصرف کنندگان و تولید کنندگان و در نهایت با قیمت های مبتنی بر بازار است. برای انجام این مهم باید حقوق مصرف کنندگان را تقویت کرد، فقر انرژی را مورد توجه قرار داد، نقش ها و مسئولیت های مشارکت کنندگان 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

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۳۹

زمینه حقوق مالکیت و مبادله انرژی، تقویت سیاست‌های 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 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 زیست محیطی 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 می‌دهد که سه استراتژی نخست بازار انرژی را تثبیت می‌کنند، اما استراتژی چهارم به قرار گرفتن سیستم در حالت شوک سیکنی منجر خواهد شد. باید توجه داشت که سیاست‌ها و اقدامات مرتبط با کارایی انرژی نباید به تنهایی به کار گرفته شوند، بلکه بخشی از بسته سیاست‌گذاری هستند. علاوه بر این، معرفی یک سیاست لزوماً به معنی رها کردن سیاست‌های موجود قبلی که در سطح همان واحد به کار 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، استراتژی‌های اول، دوم و سوم همگی می‌توانند شدت انرژی را کاهش دهند، اما افزایش نسبی قدرت کنترل نتیجه معکوس خواهد داد. در استراتژی اول، افزایش قدرت کنترل

برای کاهش شدت انرژی نتایج روشنی نمی دهد 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 بی ثبات 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 می شود.

بررسی نتایج حاصل از ترکیب استراتژی های مختلف نشان می دهد 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 ۱۳۹۳ به ۰/۸۳۷۵، ۰/۵۲۷۴ و ۰/۴۴۱۳ خواهد رسید. در حالی که بر اساس استراتژی جامع، یعنی ترکیب سه استراتژی، شدت انرژی به ۰/۴۰۹۱ کاهش خواهد یافت. بر اساس نتایج حاصل جهت کاهش شدت انرژی و تثبیت آن در ایران بجای به کارگیری نسنجیده بازار خود تعدیل شونده، اجرای سخت گیرانه تجدید ساختار صنعتی، اختصاص منابع عظیم در دوره ای محدود به انرژی های نو و یا کنترل های قیمتی و غیر قیمتی بر بازار انرژی، توصیه می شود از استراتژی های جامع یا استراتژی های انفرادی با قدرت کنترل های منطقی استفاده شود.

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 دریانی (۱۳۹۰)، «اثر شوک‌های نفتی بر رشد اقتصادی برخی کشورهای واردکننده و صادرکننده نفت»، *فصلنامه علوم اقتصادی*، سال پنجم، شماره شانزدهم.
- بابایی‌مبیدی، حمید، محمدحسین طحاری مهرجردی 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 بلاچارد-کوا)»، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال سوم، شماره ۱۰.
- بهبودی، داود، نسیم مهین‌اصلانی‌نیا و سکینه سجودی (۱۳۸۹)، «تجزیه شدت انرژی و بررسی عوامل مؤثر 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.

۴۲ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۷۳، تابستان ۱۳۹۸

- رجبی، احمد و محمدهاشم موسوی حقیقی (۱۳۹۲)، «مدلسازی تاثیر تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت بر شاخص های اقتصادی و زیست محیطی با روش پویایی شناسی سیستمی»، فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی، شماره ۱۲.
- سند ملی راهبرد انرژی کشور (۱۳۹۵)، شورای عالی انرژی.
- سوری، امیررضا، محمدحسن صبوری دیلمی و جواد عطاران (۱۳۹۰)، «تحلیل رابطه تقاضای نفت خام 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 فرآورده های نفتی بر رشد اقتصادی در استان های کشور»، فصلنامه مدلسازی اقتصادی، سال ششم، شماره ۱ «پیاپی ۱۷».
- صادقی، سیدکمال و سکینه سجودی (۱۳۹۰)، «مطالعه عوامل موثر بر شدت انرژی در بنگاه های صنعتی ایران»، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره ۲۹.
- طرح ارزیابی علل ناکامی های مربوط به تدوین سیاست های جامع انرژی در کشور (۱۳۹۵)، مرکز پژوهش های مجلس، معاونت پژوهش های 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 در بورس اوراق بهادار تهران»، فصلنامه پژوهش ها و سیاست های اقتصادی، سال بیست و دوم، شماره ۷۱.
- عرب، قاسم و عقیل براتی ملایری (۱۳۸۸)، مقایسه تطبیقی سیاست های انرژی ایران با سیاست های انرژی در کشورهای عضو آژانس بین المللی انرژی، هفتمین همایش ملی انرژی.
- فطرس، محمدحسن، مهدی فردوسی و حسین مهریما (۱۳۹۰)، «بررسی تاثیر شدت انرژی و گسترش شهرنشینی بر تخریب محیط زیست در ایران (تحلیل هم جمعی)»، مجله محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۶۰.
- کاظمی، عالی، محمدرضا مهرگان و حامد شکوری گنجوی (۱۳۹۱)، «ارائه مدل عرضه انرژی ایران با هدف کاهش گازهای گلخانه ای»، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۶، شماره ۱.

تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی ... ۴۳

محمودزاده، محمود و احمد شاه‌بیک (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 مروّتی‌شریف‌آبادی (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)، «شوگ‌های 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.

نیکوآقبال، علی‌اکبر، آزاده اختری، محبوبه امینی اسفیدواجانی و مریم عطارکاشانی (۱۳۹۱)، «رشد اقتصادی، رشد مصرف انرژی و رشد انتشار دی‌اکسید کربن 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).

- 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

- 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 and 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 During 1997–2007: A Structural Decomposition Analysis”, *Energy Policy*; 67:640–7.