Archive of SID

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال نهم، شماره ۳۴، تابستان ۱۳۹۸
شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۰۶ – ۸۱

ارزیابی مبتنی بر مدل سیاست‌های کاهش وابستگی به انرژی: مدلی بر اساس رویکرد پویایی‌شناسی سیستم

مهدی باستان*، حامد شکوری گنجوی**

چکیده

تقاضای بالا و غیرمنطقی سوخت در ایران، مصرف بیش‌ازاندازه و گاهی غیرعقلانی سوخت در بخش‌های مختلف ازجمله حمل‌ونقل در کنار تأمین سوخت ارزان‌قیمت برای نیروگاه‌های تولید برق، عدم وجود استانداردهای صحیح در مصرف سوخت در بخش‌های مختلف، وابستگی شدید تأمین انرژی به سوخت‌های فسیلی را برای ایران به ارمغان آورده است. افزایش هزینه‌های تأمین انرژی با درنظرگیری روند افزایشی تقاضای انرژی، به‌ویژه شدت انرژی کشور، تهدیدی جدی برای امنیت انرژی کشور به شمار می رود. ازاین‌رو پژوهش حاضر با هدف تحلیل ساختار سیستمی مولد مسئله وابستگی به انرژی در ایران و همچنین ارزیابی مبتنی بر مدل سیاست‌ها و راهکارهای مطرح برای کاهش این وابستگی طراحی شده است. روش تحقیق حاضر مبتنی بر مراحل روش پویایی‌شناسی سیستم است. پس از ساخت مدل شبیه‌سازی و اعتبارسنجی آن، چهار سیاست تداوم وضع فعلی، افزایش عرضه انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی، افزایش عرضه از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین مدیریت سمت تقاضا روی مدل اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد اجرای توأم سیاست‌های مدیریت سمت تقاضا و توسعه ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به‌صورت هم‌زمان کاهش میزان شاخص وابستگی به انرژی و همچنین افزایش شاخص امنیت انرژی را در بلندمدت به همراه داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: وابستگی انرژی؛ امنیت انرژی؛ سوخت فسیلی؛ انرژی تجدیدپذیر؛ پویایی‌شناسی سیستم.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۰۸.

* مربی، دانشگاه ایوان‌کی، گرمسار (نویسنده مسئول).

E-mail: mbastan@eyc.ac.ir

** دانشیار، دانشگاه تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

تقاضای بالا و غیرمنطقی سوخت در ایران و مصرف بیش‌ازاندازه و بعضاً غیرعقلانی سوخت در بخش‌های مختلف ازجمله حمل‌ونقل در کنار تأمین سوخت ارزان‌قیمت برای نیروگاه‌های تولید برق، در کنار نبود استانداردهای صحیح در مصرف سوخت در بخش‌های مختلف، وابستگی شدید تأمین انرژی به سوخت‌های فسیلی را برای ایران به ارمغان آورده است. این موضوع در کنار واردات برخی مشتقات سوخت، مانند بنزین برای استفاده در بخش حمل‌ونقل و چندین عامل دیگر باعث شکل‌گیری یک فرآیند وابسته به مسیر[1] در استفاده از انرژی‌های فسیلی شده است؛ فرآیندی که در آن گذشت زمان، امکان هر گونه تغییر را دشوار، پرهزینه و حتی غیرممکن می‌کند.

مصرف بالای بنزین، ایران را به واردکننده این فرآورده تبدیل کرده است که این واردات تأثیر منفی بر موازنه مالی کشور دارد. قیمت سوخت در ایران در میان کمترین قیمت‌های انرژی سوخت در سطح جهان قرار داشت و پس از ونزوئلا، پایین‌ترین قیمت را به خود اختصاص داده بود. این موضوع موجب تشویق مصرف اضافی (هم از نظر سرانه و هم برحسب تولید ناخالص داخلی) شده بود و درنهایت منجر شد ایران از یکی از کمترین استفاده‌کنندگان انرژی در جهان در سال ۱۹۸۰ به یکی از پرمصرف‌ترین کشورهای جهان در سال ۲۰۰۹ تبدیل شود. قیمت پایین سوخت نه‌فقط موجب مصرف بدون بازدهی کافی در کشور می‌شد، بلکه فرصتی را هم برای قاچاق سوخت به کشورهای همسایه نظیر افغانستان، عراق، پاکستان و ترکیه فراهم می‌کرد. طرح هدف‌مندی یارانه‌ها با هدف بهینه‌کردن مصرف سوخت از طریق آزادکردن قیمت حامل‌های انرژی در سال ۲۰۱۰ در ایران اجرا شد. بر اساس این طرح، در مدت پنج سال یارانه بنزین، گازوئیل، گاز، نفت، برق، آب و چند کالای دیگر حذف شد و آن‌ها با قیمت بازارهای منطقه خلیج فارس عرضه می‌شدند. درنهایت این طرح نیز نتوانست مصرف بنزین در کشور را کنترل و بهینه کند.

بر اساس برآوردهای «صندوق بین‌المللی پول»، هزینه یارانه غیرمستقیم اختصاص‌یافته به نفت برای دولت ایران سالانه بیش از ۱۰ درصد تولید ناخالص داخلی ایران بود. اگر یارانه گاز طبیعی و برق نیز محاسبه می‌شد، هزینه یارانه‌ها برای دولت در فاصله سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ به‌طور متوسط به بیش از ۲۰ درصد تولید ناخالص داخلی می‌رسید. در مورد برق دولت از طریق عرضه سوخت موردنیاز نیروگاه‌ها با قیمتی بسیار پایین‌تر از هزینه‌های اقتصادی سوخت، یارانه سنگینی به مصرف‌کننده نهایی برق می‌پردازد. چالش بزرگ دیگری که ایران در بخش انرژی با آن مواجه بوده است، تأمین افزایش تقاضا برای برق است که از میزان رشد تولید ناخالص داخلی

1. Path Dependency

www.SID.ir

Archive of SID

این کشور پیشی گرفته است. مصرف برق در طول زمان به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته و به نقطه‌ای رسیده است که میزان مصرف سرانه برق در کشور ایران سه برابر میزان متوسط مصرف جهانی است. قیمت پایین برق برای مصرف‌کننده نهایی مطمئناً یکی از عوامل مؤثر در تقاضای بالا برای مصرف برق است و این نشان می‌دهد که مصرف انرژی عمدتاً بدون توجه به موضوع بهره‌وری صورت می‌گیرد.

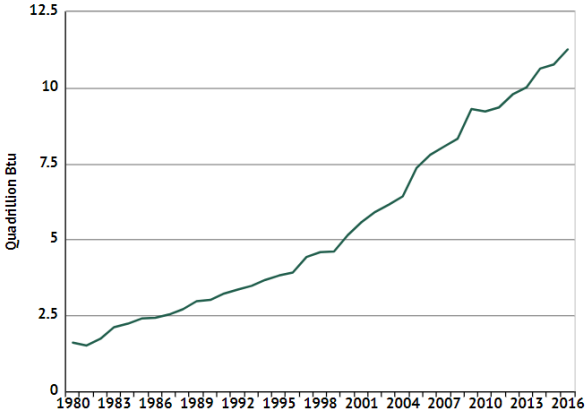
«آژانس بین‌المللی انرژی»[1] در گزارشی ایران را بزرگ‌ترین کشور یارانه‌دهنده در جهان برای مصرف سوخت‌های فسیلی معرفی و اعلام کرده است. دولت ایران در سال ۲۰۱۲ بالغ بر ۸۲ میلیارد دلار یارانه پرداخت که این رقم معادل یک‌دهم کل یارانه پرداختی در جهان بوده است. آژانس بین‌المللی انرژی در این گزارش در خصوص میزان یارانه پرداختی در جهان برای مصرف سوخت‌های فسیلی اعلام کرده بود، با وجود اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها در ایران این کشور همچنان بزرگ‌ترین کشور یارانه‌دهنده برای مصرف سوخت شناخته می‌شود. بر اساس این گزارش، در سال ۲۰۱۲ بالغبر ۵۴۴ میلیارد دلار از سوی کشورهای جهان برای مصرف سوخت‌های فسیلی اختصاص پیدا کرد. یک‌دهم این رقم یعنی ۸۲ میلیارد دلار مربوط به یارانه پرداختی از سوی دولت ایران است که این کشور را به بزرگ‌ترین کشور یارانه‌دهنده برای مصرف سوخت‌های فسیلی تبدیل کرده است.

بر اساس این گزارش، یارانه پرداختی به مصرف سوخت‌های فسیلی پنج برابر یارانه‌ای است که به مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص می‌یابد. می‌توان گفت با تداوم پرداخت یارانه سوخت‌های فسیلی به‌منظور تأمین انرژی و نیز عدم‌پرداخت یارانه مناسب برای توسعه انرژی تجدیدپذیر، در آینده پوشش هزینه‌های تأمین انرژی که خود با نرخ صعودی در حال افزایش است، امکان‌پذیر نیست و پرداختن به نحوه خروج از این وابستگی به انرژی فسیلی بیش از هر موضوع دیگر ضرورت پیدا خواهد کرد. افزایش هزینه‌های تأمین انرژی با در نظرگیری روند افزایشی تقاضای انرژی و به‌خصوص شدت انرژی[2] کشور، تهدیدی جدی برای امنیت انرژی کشور به‌شمار می‌رود. شدت انرژی یکی از شاخص‌های بررسی بهره‌وری مصرف انرژی است و نشان‌دهنده مقدار انرژی مصرف‌شده به‌ازای یک واحد تولید ناخالص داخلی اندازه‌گیری شده است [۱۰]. همان‌گونه که در شکل ۱، مشاهده می‌شود، میزان مصرف انرژی اولیه[3] به‌صورت صعودی در حال افزایش است. در بخش صنعت نیز علی‌رغم رخداد رشد اقتصادی در چند سال گذشته، میزان شدت انرژی در حال افزایش است. نمودارهای ۱ و ۲، تشدید مصرف انرژی اولیه را نشان می‌دهند.

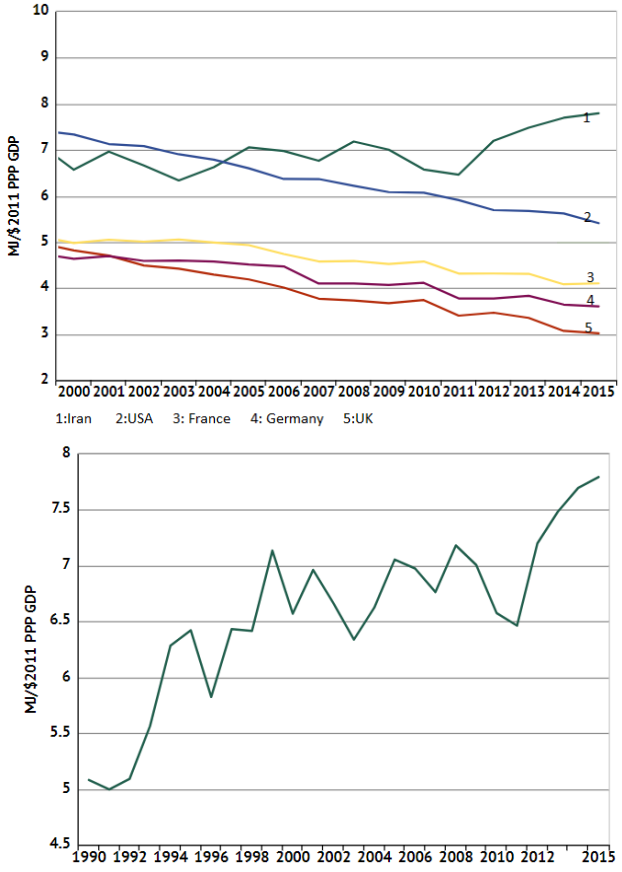
1. International Energy Agency (IEA), Available at www.iea.org/statistics
2. Energy Intensity (EI)
3. Total Primary Energy Consumption

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. رفتار پویای مصرف انرژی اولیه در ایران (داده‌های اطلس جهان[1])



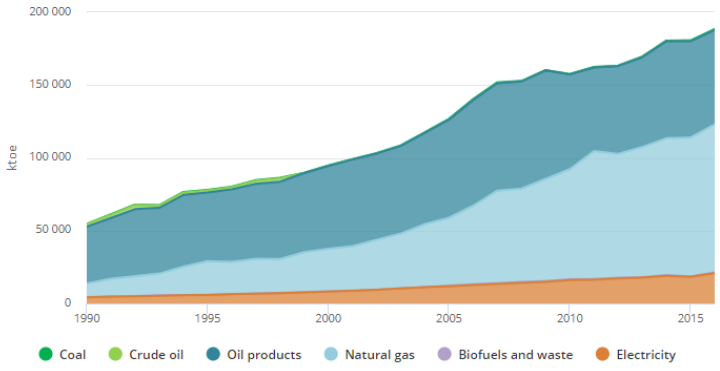
شکل ۲. رفتار پویای شدت انرژی اولیه در ایران و مقایسه آن با کشورهای توسعه‌یافته

1. Word Data Atlas, Awailable at https://knoema.com/atlas/Iran/topics/Energy

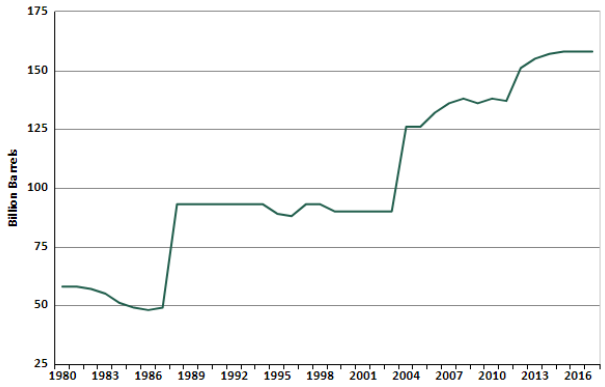
www.SID.ir

Archive of SID

نمودار ۳، سهم سوخت‌های فسیلی در مصرف انرژی را نشان می‌دهد که روند صعودی و سهم بسیار زیادی دارد. دینامیک مخازن نفتی ایران در شکل ۴، مشاهده می‌شود که علی‌رغم رشد، آهنگ کندتری نسبت به مصرف انرژی و مصرف سوخت‌های فسیلی دارد.



شکل ۳. مصرف سوخت‌های فسیلی در مصرف کل انرژی (آژانس بین‌المللی انرژی)



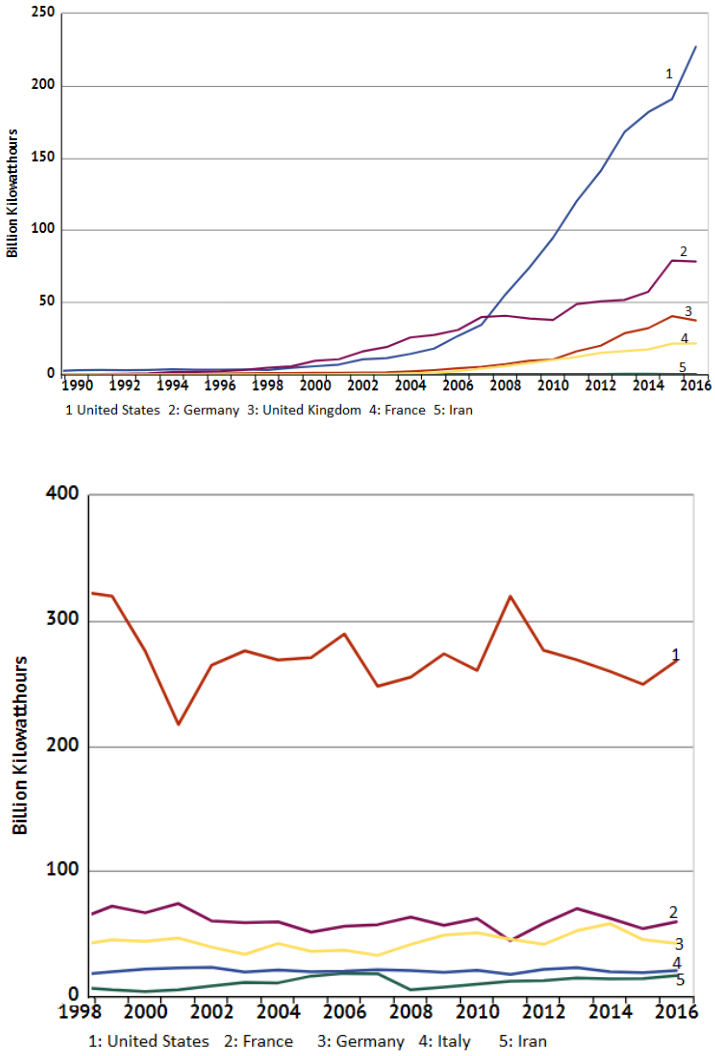
شکل ۴. مخازن نفت خام ایران (منبع: داده‌های اطلس جهان)

مسئله اصلی پژوهش حاضر را می‌توان چنین مطرح کرد که با تداوم روند صعودی تقاضا و نیز مصرف انرژی به‌صورت فزاینده و با درنظرگرفتن عدم‌روند افزایشی متناسب در منابع نفتی کشور در کنار واردات انرژی‌هایی نظیر بنزین، مسئله وابستگی به انرژی فسیلی به تشدید مشکل امنیت انرژی برای کشور در آینده منجر خواهد شد. این مشکل با در نظرگیری عدم‌توسعه مناسب انرژی تجدیدپذیر در کشور در آینده حادتر خواهد شد. در شکل ۵، روند مقادیر انرژی تولیدشده از باد و آب به‌عنوان انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرفسیلی متداول برای ایران و تعدادی از کشورهای توسعه‌یافته نشان داده شده است. در حال حاضر حدود ۸۴ درصد از انرژی کشور از منابع فسیلی، ۱۵ درصد از آب و حدود کمتر از ۱ درصد از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود؛ حال آنکه

www.SID.ir

Archive of SID

سهم انرژی فسیلی در تأمین انرژی اروپا حدود ۴۹ درصد است و ۷ درصد از محل انرژی اتمی، ۲۴ درصد انرژی آب و حدود ۲۰ درصد از محل انرژی تجدیدپذیر تأمین می‌شود[1].



شکل ۵. میزان تولید انرژی بادی و برق‌آبی در ایران و چند کشور

راهکارهای متفاوتی برای مدیریت مسئله کاهش وابستگی به انرژی مطرح است؛ اما نکته مهم، دستیابی به یک سیستم پشتیبان تصمیم برای ارزیابی اثرات کمّی هر یک از سیاست‌ها و

1. www.worlddata.info

www.SID.ir

Archive of SID

میزان کارآمدی آن‌ها در کاهش وابستگی به انرژی است که بررسی آن با بهره‌مندی نگاه سیستمی، هدف اصلی پژوهش حاضر است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

امنیت انرژی ارتباط بین امنیت ملّی و دردسترس‌بودن منابع طبیعی برای مصرف انرژی است. امنیت انرژی از منظر «اتحادیه اروپا»، توانایی مطمئن‌شدن از نیازهای آینده انرژی هم در بخش استفاده از منابع داخلی در چارچوب ضوابط اقتصادی و یا ذخایر استراتژیک و هم در بخش خارجی به‌صورت دسترسی به مبادی عرضه باثبات است [۱۶]. بارتون[1] (۲۰۰۴)، معتقد است امنیت انرژی شرایطی است که تمامی یک ملت و یا اکثریت آن‌ها می‌توانند دسترسی مناسب به منابع انرژی با قیمت‌های معقول در حال حاضر و آینده فارغ از احتمال قطع و ریسک بالا داشته باشند [۵].

واژه امنیت انرژی به عرضه مداوم و مطمئن با قیمت‌های معقول در حامل‌های انرژی بازمی‌گردد. به مفهوم امنیت انرژی باید به شکل یک حلقه نگریست. در یک سمت امنیت تقاضا مطرح است که برای تولیدکنندگان اهمیت دارد، در سمت دیگر امنیت عرضه برای مصرف‌کنندگان امری مهم محسوب می‌شود [۱۹]. امنیت انرژی به مسائل مختلفی بستگی دارد. از ساده‌بودن و یا پیچیدگی در کشف یک منبع در کشورهای تولیدکننده تا بی‌ثباتی و شورش یا آرامش و توسعه در کشور نفت‌خیز تا انتقال به‌وسیله خطوط لوله و یا کشتی تا دزدی دریایی و یا حمله‌ای به زیرساخت‌ها و لوله‌ها تا کمبود عرضه و افزایش تقاضا تا قیمت‌گذاری نفت خام همه و همه در امنیت انرژی مطرح هستند. امنیت انرژی تضمین توانایی دسترسی به منابع موردنیاز انرژی برای توسعه پایدار امنیت ملّی است. به بیانی واضح‌تر، امنیت انرژی به‌معنای «تدارک عرضه مقرون‌به‌صرفه، قابل‌اعتماد، دردسترس و قابل‌پذیرش[2] انرژی» است [۱۰].

روش‌های کمّی از دیرباز در مورد تعیین وضعیت امنیت انرژی مدنظر بوده و برای امنیت انرژی شاخص‌ها و راهنماهای متعددی تهیه شده است [۱۷]. وابستگی انرژی[3]، برآورد منابع[4]، نسبت ذخیره به تولید[5]، تنوع منابع و وابستگی به واردات از جمله شاخص‌های ساده امنیت انرژی هستند [۲۳]. شاخص شانون[6]، هرفیندال ـ هیرشمن[7] نیز از شاخص‌های تجمعی[8] امنیت انرژی هستند [۲۰]. یک شاخص ساده از امنیت انرژی، شاخص شدت انرژی[9] است. شدت مصرف

1. Barton, 2004)
2. Availability, Accessibility, Affordability, and Acceptability (fourAs)
3. Energy dependency
4. Resource estimates
5. Reserves-to-Production Ratios
6. Shannon-Wiener Index (SWI)
7. Herfindahl-Hirschman Index (HHI)
8. Composite (aggregated)
9. Energy intensity

www.SID.ir

Archive of SID

انرژی یکی از شاخص‌های بررسی کارایی مصرف انرژی است که این شاخص با تقسیم واحدی از انرژی بر واحدی از تولید ناخالص داخلی به‌دست می‌آید [۲].

انرژی‌تجدید پذیر به انواعی از انرژی می‌گویند که منبع تولید آن نوع انرژی، بر خلاف انرژی‌های تجدید ناپذیر (فسیلی)، قابلیت آن را دارد که توسط طبیعت در یک بازه زمانی کوتاه مجدداً به‌وجود آمده یا به‌عبارتی تجدید شود [۱۱]. منابع انرژی تجدیدپذیر به علل مختلف که مهم‌ترین آن، عامل اقتصادی است، هنوز مورد بهره‌برداری مؤثر قرار نگرفته است؛ در صورتی که بیشتر آن‌ها هیچ‌گونه آلودگی ایجاد نکرده و برخی می‌توانند کل انرژی موردنیاز و مصرف جهان را تأمین کنند. انرژی‌های تجدیدپذیر هرچند هم‌اکنون در تأمین انرژی جهان نقش چندانی ندارند؛ اما در دهه‌های آینده نقش خیلی بارزتری خواهند یافت؛ تا جایی که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، حالت عمومی پیدا کنند و در آغاز نیمه دوم قرن جاری، جایگزین اصلی سوخت‌های فسیلی و دیگر انرژی‌های تجدیدناپذیر شوند.

از میان تمام انرژی‌های تجدیدپذیر، پنج نوع انرژی هیدروالکتریک یا انرژی برق‌آبی، انرژی خورشیدی، زمین‌گرمایی[1] انرژی بادی و انرژی زیست‌توده، مهم‌ترین انرژی‌های قابل‌بهره‌برداری در ایران هستند.

پژوهش‌های پیشین در حوزه مسئله پژوهش را در یک دسته‌بندی کلان می‌توان در دو دسته ۱. پویایی‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر و ۲. پویایی‌های مربوط به امنیت انرژی تقسیم‌بندی کرد.

هسو[2] (۲۰۱۲)، اثر یارانه‌ها و سرمایه بر تعرفه تأسیسات سلول‌های خورشیدی و رسیدن به هدف ملّی چون کاهش انتشار گازکربنیک را بررسی کرد. دولت تایوان قصد دارد با به‌کارگیری سیاست‌هایی مانند یارانه و سرمایه‌گذاری، به جذب مردم و همچنین تشویق سرمایه‌گذاری در به‌کارگیری از سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک اقدام کند که بودجه عظیمی برای اجرای این سیاست‌ها برای دولت لازم است. ترویج برنامه‌های کاربردی سلول‌های خورشیدی می‌تواند بیشترین سود اقتصادی را داشته باشد. در این پژوهش از شبیه‌سازی رویکرد پویایی‌شناسی سیستم به‌منظور توسعه و ارزیابی این سیاست‌ها استفاده شده است. با استفاده از این سیستم شبیه‌سازی، سیاست‌گذاران قادر به انجام تجزیه‌وتحلیل هزینه ـ سود و ترکیب‌های مختلف از آن هستند. اهداف طرح، سیاست‌های کاهش انتشار گازکربنیک و محدودیت‌های بودجه است. دوره شبیه‌سازی از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۳۰ انتخاب شد و نتایج نشان می‌دهد در صورتی که نرخ بازگشت سرمایه ثابت باشد با افزایش میزان یارانه‌ها کمک زیادی به کاهش انتشار گازکربنیک خواهد شد [۱۳].

1. Geothermal
2. Hsu (2012)

www.SID.ir

Archive of SID

اصلانی و وانگ[1] (۲۰۱۴)، در به ارزیابی هزینه‌های مختلف استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌منظور تولید برق برای ایالات متحده آمریکا پرداختند. نگرانی‌های مربوط به این انرژی‌ها از قبیل امنیت عرضه انرژی، محدودیت‌ها و نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی و تهدید به تغییرات آب‌وهوا، سیاست‌گذاران ایالات‌متحده را به بحث و فکر در مورد تنوع استراتژی در تأمین انرژی و ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر وادار کرد و این پژوهش تلاش دارد ابتکار عملی برای استفاده از این انرژی‌ها در طول سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ فراهم آورد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد درحالی‌که هزینه انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۰ در یک بازار نزدیک به ۱۰ میلیارد دلار (در سطح هزینه) باشد، در سال ۲۰۳۰ ارزش کل ایجاد ارتقای انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌برداری در ایالات‌متحده بیش از ۱۷۰ میلیارد دلار (در سطح هزینه‌ها) خواهد بود [۴].

اصلانی و همکاران[2] (۲۰۱۴)، در پژوهش دیگری نقش سیاست‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در در وابستگی به انرژی کشور فنلاند با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم را بررسی کردند و در آن سه سناریو مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در فنلاند تا سال ۲۰۲۰ را موردبررسی قرار دادند. سناریوهای سه‌گانه دینامیک‌های مختلف کاهش وابستگی به انرژی و مقادیر مختلف صرفه‌جویی بود. نتایج نشان می‌دهد با وجود اینکه میزان مصرف برق و انرژی برای گرمایش تا سال ۲۰۲۰ به میزان هفت درصد رشد خواهد داشت، میزان وابستگی به منابع وارداتی بین یک تا هفت درصد در سناریوهای تحت بررسی، کاهش خواهد یافت [۳].

احمد و مات طاهر[3] (۲۰۱۴)، با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم به بررسی ارزیابی ظرفیت انرژی تجدیدپذیر در مالزی به‌منظور تولید برق پرداختند. تولید برق در مالزی به‌شدت به مصرف سوخت‌های فسیلی وابسته بود و سیاست تنوع‌بخشی به سوخت‌های مصرفی از سال ۲۰۱۰ در دستور کار دولت قرار گرفت. آن‌ها توسعه ظرفیت انرژی را در سه دوره کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مدنظر قرار دادند و نتایج نشان داد برق فتوولتایی و زیست‌توده به‌ترتیب به بیشترین ظرفیت فناوری نیاز دارند [۱]. در جدول ۱ جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مبانی نظری پژوهش به‌صورت خلاصه آورده شده است.

1. Aslani and Wong (2014)
2. Aslani, Helo, and Naaranoja (2014)
3. Ahmad and bin Mat Tahar (2014)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. خلاصه پژوهش‌های پیشین در حوزه مبانی نظری پژوهش

پژوهشگران	موضوع پژوهش	روش	مزایا و قابلیت
Hsu (2012), [13]	ترویج برنامه‌های کاربردی سلول‌های خورشیدی و دنبال کردن هدف ملّی کاهش انتشار CO_2	پویایی‌شناسی سیستم	ارتباط بین یارانه‌ها و تعرفه سلول‌های خورشیدی، نتیجه رشد اقتصادی
Richter (2012), [24]	راهکارهایی برای مدل‌های کسب‌وکار بر محور خدمات شهری دردسترس هستند؛ درحالی‌که مدل‌های کسب‌وکار مشتری‌محور در مراحل اولیه توسعه هستند.	مطالعاتی	تشریح کامل مدل‌های کسب‌وکار انرژی‌های تجدیدپذیر
Aslani et al. (2014), [4]	ارزیابی هزینه‌های مختلف استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ایالات متحده تا سال ۲۰۳۰	پویایی‌شناسی سیستم	چگونگی سیاست‌گذاری و بهره‌وری انرژی نو در ایالات متحده آمریکا
Aslani et al. (2014), [3]	ارزیابی سه سناریو مختلف سیاست‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در فنلاند به منظور کاهش وابستگی به انرژی	پویایی‌شناسی سیستم	سناریوسازی و تشریح نمودار علّی حلقوی در حوزه انرژی نو
Baños et al. (2011), [9]	بهینه‌سازی بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار	مطالعاتی	تشریح متغیرهای محرک اصلی استفاده از انرژی‌های نو
Wu and Xu (2013), [27]	استفاده از مدل پویای فازی، برنامه‌ریزی چندهدفه فازی برای پیش‌بینی مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای CO_2	پویایی‌شناسی سیستم و برنامه‌ریزی چندهدفه فازی	تلفیق مدل فازی و پویایی سیستم برای پیش‌بینی انرژی
Jebaselvi and Paramasivam (2013), [14]	تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر برای گرفتن توان خروجی مطلوب	مطالعاتی	بررسی مدیریت تقاضای انرژی و تغییرات آب‌وهوایی
Ruhul et al., (2014), [25]	بررسی رابطه پویا بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[1]	شبیه‌سازی	مقایسه مصرف انرژی نو و انرژی غیرتجدیدپذیر و تأثیر رشد ناخالص داخلی

1. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

www.SID.ir

Archive of SID

با جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده پیشین می‌توان نتیجه گرفت که ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم برای ارزیابی سیستمی اثربخشی سیاست‌های مدیریت وابستگی به انرژی کشور، به‌عنوان شکاف پژوهشی مطرح بوده و پژوهش حاضر با هدف تحلیل ساختار سیستمی این مسئله و معرفی سیاست‌ها و راهکارهای اثربخش انجام شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش حاضر مبتنی بر مراحل روش پویایی‌شناسی سیستم[1] است. روش پویایی‌شناسی سیستم با بهره‌گیری از رویکرد سیستمی در تحلیل یک سیستم و نیز با قابلیت درنظرگیری متغیرهای انباشت، جریان و نیز تأخیرها، امکان یادگیری از عملکرد و رفتار یک سیستم پیچیده را مهیا می‌سازد [۶].

در این روش فرض اساسی بر این است که رفتار یک سیستم پیچیده ناشی از ساختار علّی حاکم بر آن است و چنانچه بتوان این ساختار را بازنمایی کرد، پیش‌بینی رفتار آینده متغیرهای سیستم امکان‌پذیر خواهد بود [۷]؛ همچنین با داشتن ساختار علّی مولد رفتار می‌توان با انجام تحلیل‌های چه می‌شود اگر یادگیری از سیستم داشته و بینشی عمیق از نحوه کارکرد سیستم به دست آورد. به کمک چنین بینشی می‌توان رفتار سیستم را به سمت رفتار مطلوب و هدف از طریق سیاست‌های اثربخش سوق داد [۸].

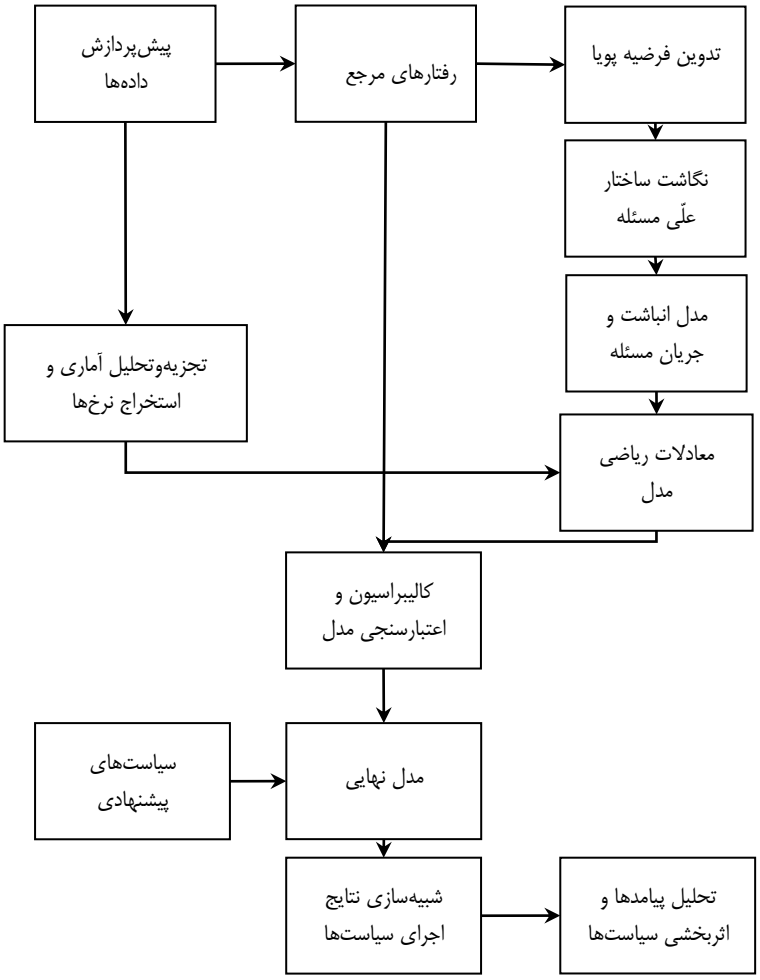
کاربردهای متعددی از استفاده این رویکرد برای حل مسائل پیچیده اقتصادی، اجتماعی گزارش شده است [۱۵، ۲۱، ۲۲، ۲۶]. حل مسئله توسط این روش‌شناسی مطابق فرآیندی که در شکل ۶، نشان داده شده است، صورت گرفت.

.

1. System Dynamics

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. روش‌شناسی پژوهش، فرآیند ساخت مدل و ارزیابی مبتنی بر مدل سیاست‌ها [۲۸]

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

اجرای روش و ساخت مدل

فرضیه پویا. مصرف برق و مصرف سوخت دو بخش عمده مصرف کل انرژی در ایران را تشکیل می‌دهند. مصرف برق هم در بخش خانگی و عمومی با مقدار سرانه خود و هم در بخش صنعت و خدمات با مقدار سرانه متفاوت محاسبه می‌شود. مصرف سوخت هم توسط جمعیت برای مصارف عمومی و حمل‌ونقل و هم به‌منظور تولید انرژی موردنیاز انجام می‌پذیرد. با افزایش مصرف کل شامل سوخت و برق، شدت انرژی کشور افزایش می‌یابد و این مسئله وابستگی به انرژی را تشدید می‌کند و امنیت انرژی را کاهش می‌دهد. افزایش شدت انرژی، پس از مدتی

www.SID.ir

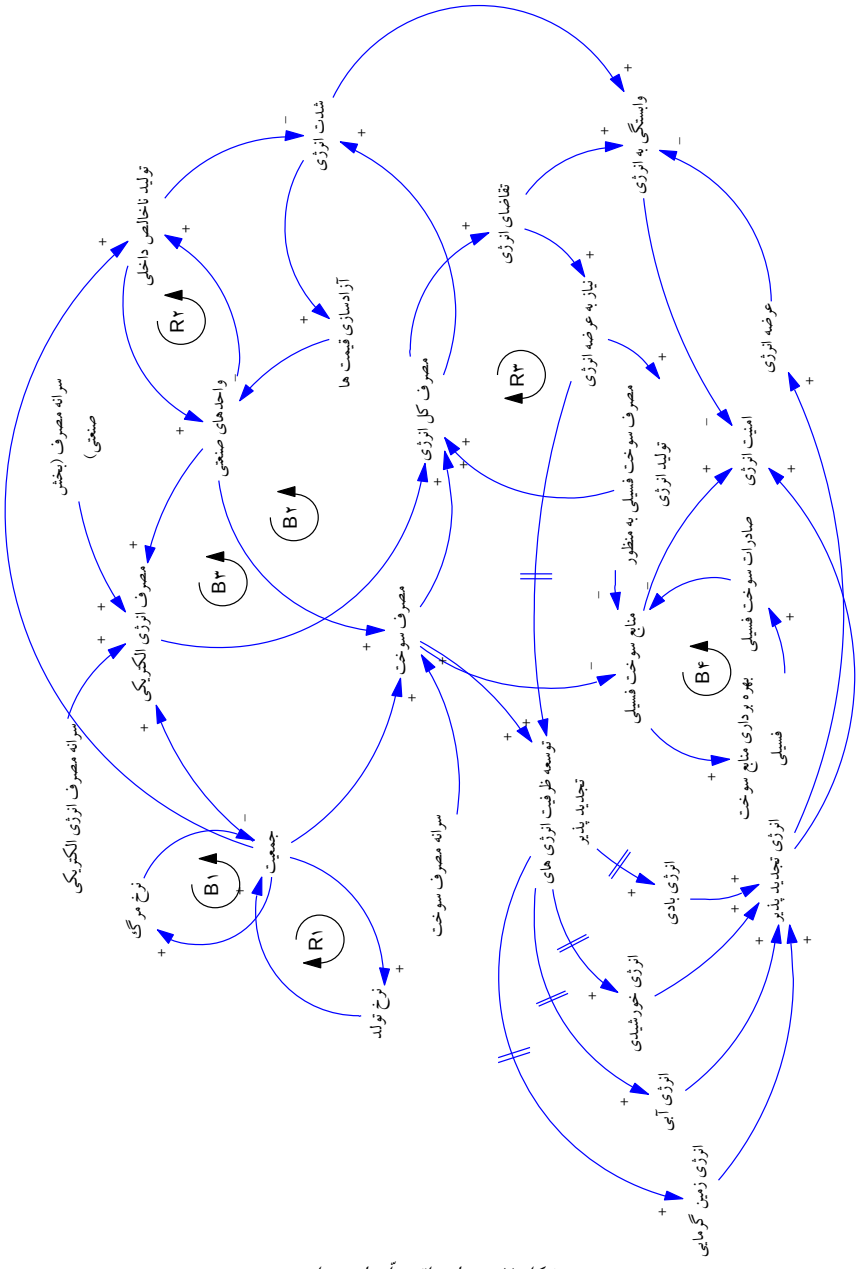
Archive of SID

سیاست آزادسازی قیمت‌های انرژی را در پی خواهد داشت که این امر می‌تواند به کاهش تعداد بنگاه‌های تولیدی، به‌علت افزایش هزینه‌های تولید بیانجامد که در نتیجه این امر، تولید ناخالص داخلی کشور کاهش یافته و مجدداً شدت انرژی افزایش می‌یابد و این موضوع یک حلقه معیوب برای شدت انرژی ایجاد خواهد کرد. افزایش مصرف، افزایش تقاضا را در پی خواهد داشت و به‌منظور پوشش تقاضا، نیاز به عرضه انرژی به‌وجود می‌آید و عرضه از دو مکانیزم قابل‌ارائه است: یکی تأکید بر مصرف انرژی‌های فسیلی به‌منظور تولید انرژی که خود در کنار بهره‌برداری از منابع فسیلی و صادرات انرژی، به کاهش ذخایر انرژی کشور منجر خواهد شد و این امر تضعیف امنیت انرژی را در پی خواهد داشت. مکانیزم دوم، تأکید بر انرژی‌های تجدیدپذیر است که در حال حاضر نقش بسیار کمرنگی در عرضه انرژی ایران دارند. انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش آن‌ها نقش مثبت در امنیت انرژی دارد و کاهش منابع فسیلی و وابستگی انرژی، تأثیرات منفی بر آن اعمال خواهند کرد.

مدل علّی. با درنظرگرفتن فرضیه پویا فرموله‌شده، مدل علّی از مسئله به‌صورت شکل ۷، است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. نمودار حلقه علّی از مسئله

www.SID.ir

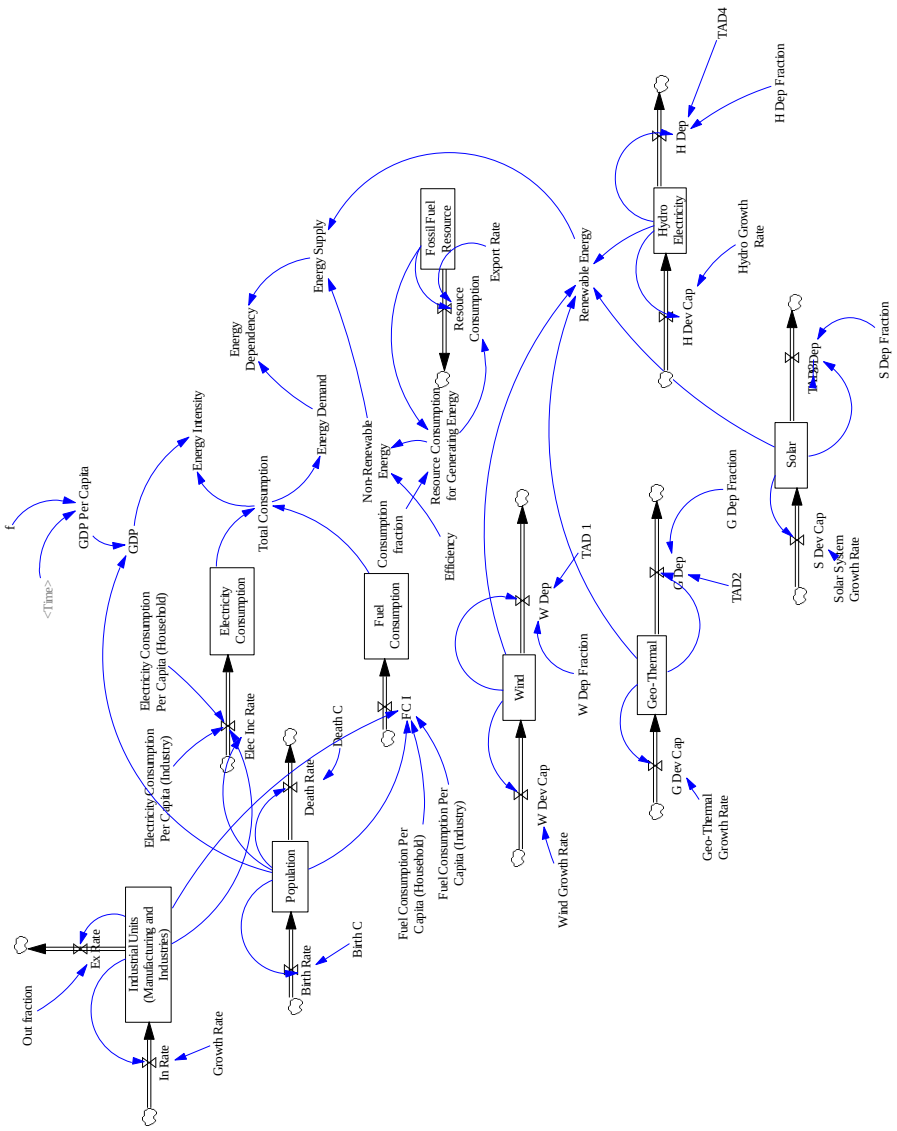
Archive of SID

تشریح حلقه‌های بازخوردی. حلقه‌های R1 و B1، حلقه‌های معروف رشد و تنظیم جمعیت هستند و پویایی جمعیت کشور ناشی از تعامل این دو حلقه است. حلقه‌های B2 نشان‌دهنده این واقعیت است که افزایش مصرف باعث افزایش شدت انرژی می‌شود و در نتیجه این افزایش، دولت طرح آزادسازی قیمت واقعی حامل‌های انرژی را اجرا خواهد کرد. با آزادسازی قیمت‌ها، هزینه‌های تولید برای واحدهای صنعتی بالاتر از ۱۰ نفر افزایش می‌یابد و عمدتاً تعداد زیادی از این واحدها در طول زمان تعطیل می‌شوند که این امر کاهش تولید ناخالص داخلی را در پی خواهد داشت و این موضوع با حلقه R4 موجب تشدید مشکل افزایش شدت انرژی می‌شود. حلقه B3 نیز تأثیر مصرف برق بر کل مصرف را نشان می‌دهد. حلقه R2 حلقه مثبت حضور واحدهای صنعتی در افزایش تولید ناخالص داخلی کشور را نمایش می‌دهد. حلقه R3 حلقه تشدیدی مصرف انرژی و نیاز به عرضه و درنتیجه مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی موردنیاز بخش تقاضا است. با توجه به اقتصاد مبتنی بر نفت کشور، خود منابع فسیلی به‌واسطه فروش و صادرات، با حلقه تعادلی B4 در حال کاهش است.

مدل انباشت و جریان و معادلات سیستم. با توجه به ساختار علّی بازنمایی‌شده، مدل انباشت و جریان طراحی و معادلات مدل مطابق شکل ۸، استخراج شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. مدل انباشت و جریان

www.SID.ir

Archive of SID

معادلات مدل

(01) Birth C=0.0129
(02) Birth Rate=Population*Birth C
(03) Death C=0.0002
(04) Death Rate=Death C*Population
(05) Elec Inc Rate= (Population*"Electricity Consumption per Capita (Household)") + ("Industrial Units (Manufacturing and Industries)" *"Electricity Consumption per Capita (Industry)")
(06) Electricity Consumption= INTEG (Elec Inc Rate, 2.18983e+012)
(07) "Electricity Consumption Per Capita (Household)"= 0.02805
(08) "Electricity Consumption Per Capita (Industry)"=1.14033
(09) Energy Demand=1.1*Total Consumption
(10) Energy Dependency=Energy Demand/Energy Supply
(11) Energy Intensity=Total Consumption/GDP
(12) Energy Supply=Renewable Energy + Fossil Fuel Resource
(13) Ex Rate= "Industrial Units (Manufacturing and Industries)"*Out fraction
(14) Export Rate=0.015
(15) f= look up (GDP Per Capita on Years)
(16) FC I= (Population*"Fuel Consumption per Capita (Household)") + ("Industrial Units (Manufacturing and Industries)" *"Fuel Consumption per Capita (Industry)")
(17) FINAL TIME = 2030
(18) Fuel Consumption= INTEG (FC I, 8.97917e+012)
(19) "Fuel Consumption Per Capita (Household)"= 8.47
(20) "Fuel Consumption Per Capita (Industry)"= 1.34417
(21) Fuel Price Relaxation=0.0015
(22) Fossil Fuel Resource= INTEG (-Resource Consumption, 1.18778e+015)
(23) G Dep="Geo-Thermal"*G Dep Fraction/TAD2
(24) G Dep Fraction=0.03
(25) G Dev Cap= ("Geo-Thermal")*"Geo-Thermal Growth Rate"
(26) GDP=GDP Per Capita*Population
(27) GDP Per Capita= f (Time) Units: US Dollar
(28) "Geo-Thermal Growth Rate"=0.05
(29) "Geo-Thermal"= INTEG (G Dev Cap-G Dep, 80)
(30) Growth Rate=0.09
(31) H Dep=Hydroelectricity*H Dep Fraction/TAD4
(32) H Dep Fraction=0.035
(33) H Dev Cap= (Hydroelectricity)*Hydro Growth Rate
(34) Hydro Growth Rate=0.07
(35) Hydroelectricity= INTEG (H Dev Cap-H Dep, 28852)
(36) In Rate=Growth Rate*"Industrial Units (Manufacturing and Industries)"

www.SID.ir

Archive of SID

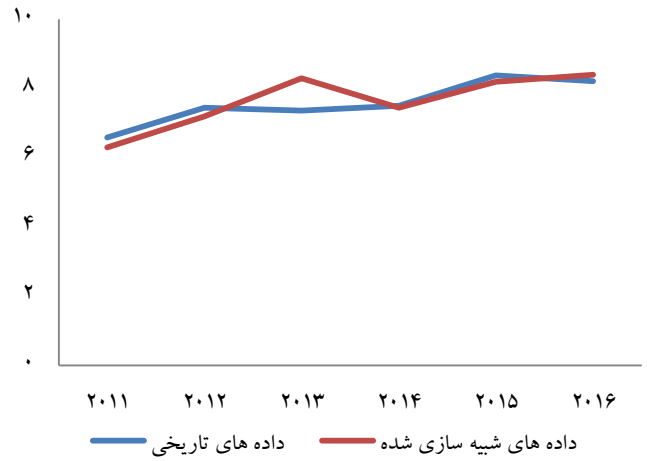
(37) "Industrial Units (Manufacturing and Industries)"= INTEG (In Rate-Ex Rate, 33000)
(38) INITIAL TIME = 2011 Units: Year
(39) "Non-Renewable Energy"=Efficiency*Resource Consumption for Generating Energy
(40) Out fraction=0.003
(41) Population= INTEG (Birth Rate-Death Rate, 7.80687e+007)
(42) Renewable Energy=Wind + "Geo-Thermal"+ Hydroelectricity + Solar
(43) Resource Consumption= (Fossil Fuel Resource*Export Rate) + Resource Consumption for Generating Energy
(44) Resource Consumption for Generating Energy=1e-009*Fossil Fuel Resource
(45) S Dep=Solar*S Dep Fraction/TAD3
(46) S Dep Fraction= 0.07
(47) S Dev Cap= (Solar)*Solar System Growth Rate
(48) SAVEPER = TIME STEP
(49) Solar= INTEG (S Dev Cap-S Dep, 225)
(50) Solar System Growth Rate=0.09
(51) Supply="Non-Renewable Energy"+ Renewable Energy
(52) TAD 1=30
(53) TAD2=20
(54) TAD3=15
(55) TAD4=35
(56) TIME STEP = 0.015625
(57) Total Consumption=
(58) W Dep=Wind*W Dep Fraction/TAD 1
(59) W Dep Fraction=0.01
(60) W Dev Cap= (Wind)*Wind Growth Rate
(61) Wind= INTEG (W Dev Cap-W Dep, 40)
(62) Wind Growth Rate=0.03
(63) Efficiency=0.65

اعتبارسنجی مدل. پیش از طراحی سیاست و اجرای سناریوهای مختلف روی مدل، باید از اعتبار مدل اطمینان حاصل شود. در این خصوص آزمون‌های بازتولید رفتار[1] و منطق معادلات[2] انجام شده است. در آزمون بازتولید رفتار، رفتار متغیرهای اصلی مدل با توجه به داده‌های تاریخی و پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط مدل مقایسه شده و در صورت تطابق این دو رفتار از اعتبار مدل در پیش‌بینی اطمینان حاصل می‌شود. در شکل ۹، نتایج اجرای این آزمون روی متغیر شدت انرژی نشان داده شده است.

1. Behavior Reproduction Test
2. Model Equations Logic Test

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. بازتولید رفتار تاریخی برای متغیر شدت انرژی

این آزمون برای متغیرهای مصرف سوخت و انرژی الکتریکی نیز اجرا شد و نتایج آن مانند متغیر شدت انرژی نشان‌دهنده توانایی مدل در تولید داده‌های تاریخی مربوط به این متغیرها است. آزمون‌های کفایت مرز و سازگاری ابعاد نیز از طریق مصاحبه با چند تَن از خبرگان حوزه انرژی موردبررسی قرار گرفت و اشباع نظری در خصوص صحت این آزمون‌ها حاصل شد. درمجموع با انجام این آزمون‌ها مدل شبیه‌سازی کالیبره می‌شود و در گام بعدی، با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ونسیم[1] نتایج اعمال سیاست‌های مختلف تحست عنوان سناریوهای مختلف روی مدل موردارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد.

سیاست‌های بهبود. به‌منظور ارزیابی سیاست‌های مختلف امنیت و وابستگی انرژی، چهار سیاست در قالب چهار سناریو مطرح می‌شود. سناریو نخست نشان‌دهنده عدم‌تغییر در شرایط فعلی و تداوم روند موجود است. این سناریو مبنای مقایسه سیاست‌ها قرار داده می‌شود. سناریو دوم افزایش عرضه انرژی از محل افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی است. با توجه به تعریف شاخص مورداستفاده برای نمایش وابستگی انرژی، به‌منظور افزایش آن باید یا تقاضای انرژی کاهش یافته و یا عرضه آن افزایش یابد. در سناریو دوم عرضه انرژی افزایش خواهد یافت و با توجه به سهم ۹۸ درصدی سوخت‌های فسیلی در عرضه انرژی، طبیعتاً باید مصرف سوخت فسیلی در این سناریو افزایش یابد. در سناریو سوم با سرمایه‌گذاری و صرف زمان، زیرساخت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش می‌یابد و بدون مصرف اضافی سوخت‌های فسیلی، عرضه انرژی افزایش خواهد یافت. در سناریو چهارم با مدیریت سمت تقاضا، تنها میزان مصرف انرژی تغییر می‌کند و

1. Vensim

www.SID.ir

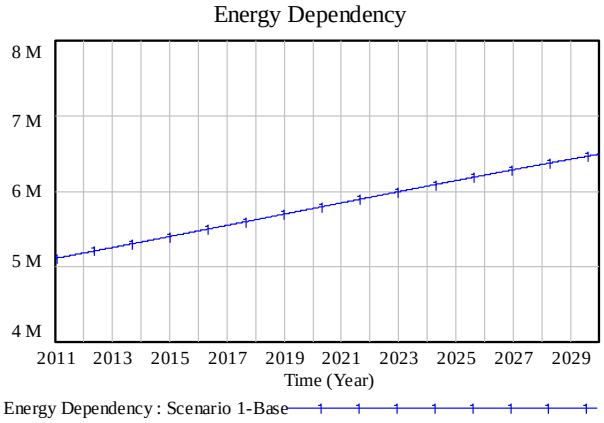
Archive of SID

تغییری در عرضه صورت نمی‌گیرد. توضیحی از وضعیت سناریوها و نحوه اجرای آن‌ها روی مدل در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۲. سیاست‌های موردارزیابی به همراه نحوه اجرای آن‌ها روی مدل

سیاست	توضیح	متغیر تحت تأثیر		
		نام متغیر	مقدار قدیم	مقدار جدید
۱	تداوم وضع فعلی	–	–	–
۲	افزایش عرضه از طریق مصرف سوخت فسیلی	Consumption fraction	1e-009	1e-008
۳	افزایش عرضه از طریق انرژی تجدید پذیر	Geo-Thermal Growth Rate	۰/۰۵	۰/۲۱
		Hydro Growth Rate	۰/۰۷	۰/۱۴
		Wind Growth Rate	۰/۰۳	۰/۰۶
		Solar System Growth Rate	۰/۰۹	۰/۰۱۸
۴	مدیریت مصرف از طریق مدیریت سمت تقاضا	Electricity Consumption Per Capita (Industry)	۰/۱۴۰۳۳	۰/۱۴
		Electricity Consumption Per Capita (Household)	۰/۰۲۸۲۵	۰/۰۲۶۲۵
		Fuel Consumption Per Capita (Industry)	۱/۳۴۴۱۷	۱/۳۳۴۱۷
		Fuel Consumption Per Capita (Household)	۸/۴۷	۶/۴۷

شبیه‌سازی نتایج اجرای سناریوها. در شکل‌های زیر نتایج اجرای سیاست‌های مختلف تصمیم در قالب سناریوهای مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۰، در سیاست نخست با تداوم وضع موجود، شاخص وابستگی انرژی روندی صعودی خواهد داشت. این افزایش به‌دلیل تداوم روند افزایشی تقاضای انرژی است.

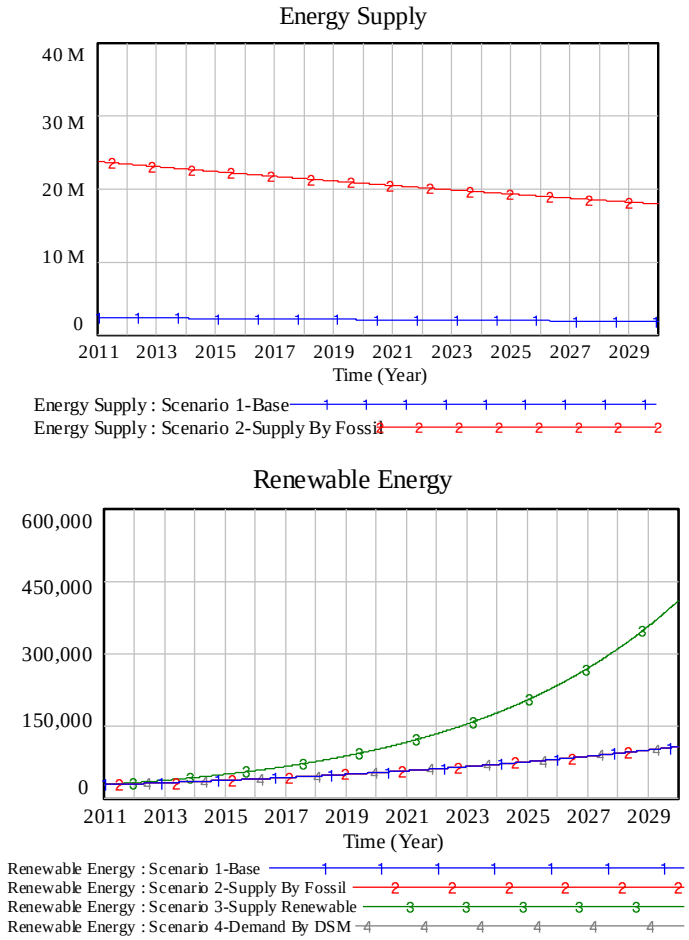


شکل ۱۰. شبیه‌سازی شاخص وابستگی انرژی در اجرای سیاست نخست، تداوم وضع موجود

www.SID.ir

Archive of SID

در خصوص سیاست‌های دوم و سوم، شکل ۱۱، افزایش عرضه انرژی از محل مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین افزایش عرضه از محل انرژی‌های تجدیدپذیر را نشان می‌دهد.

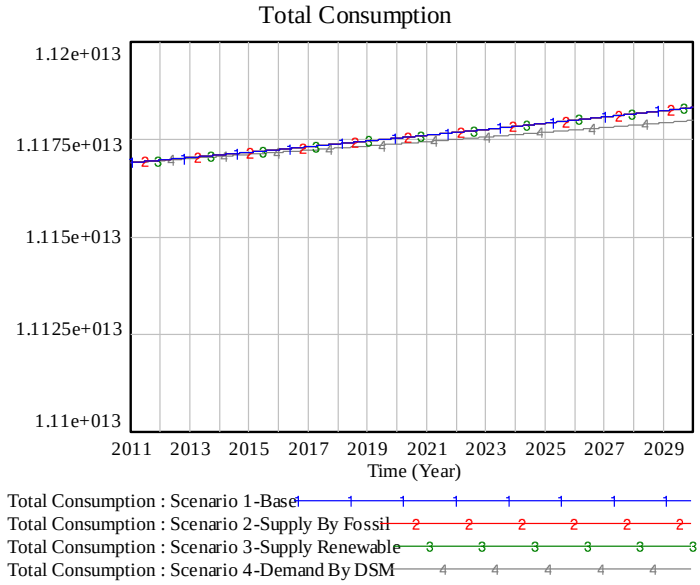


شکل ۱۱. افزایش عرضه از محل سوخت‌های فسیلی (سیاست دوم) و افزایش عرضه از طریق انرژی تجدیدپذیر (سیاست سوم)

سیاست چهارم، مدیریت سمت تقاضا است که نتایج اجرای آن روی مصرف کل انرژی کشور در شکل ۱۲، شبیه‌سازی شده است.

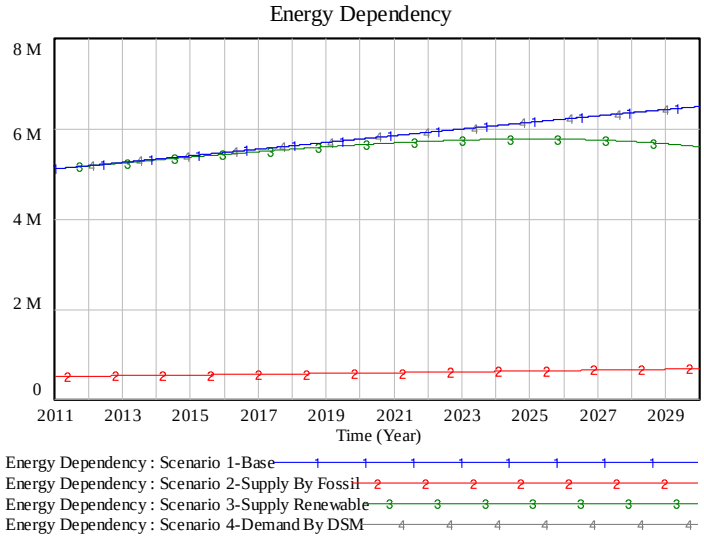
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲. رفتار مصرف کل انرژی در سیاست‌های چهارگانه

همان‌طور که مشاهده می‌شود، سیاست مدیریت سمت تقاضا در بلندمدت باعث کاهش مصرف انرژی خواهد شد. مقایسه پیامدهای سیاست‌های چهارگانه در شکل ۱۳، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص وابستگی به انرژی با عرضه انرژی از محل سوخت‌های فسیلی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۳. رفتار شاخص وابستگی انرژی در سیاست‌های مختلف تصمیم

www.SID.ir

Archive of SID

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

حفظ زنجیره انرژی یکی از عوامل مؤثر در سیاست‌های دولت است. امنیت انرژی به یک سیستم انعطاف‌پذیر اشاره دارد که با عرضه مداوم و مطمئن، قادر به تحمل تهدیدها با تمرکز بر زیرساخت‌های حیاتی است. امنیت انرژی به قیمت‌های معقول در حامل‌های انرژی می‌پردازد و تلاش می‌کند تهدیدهای ژئوپلیتیکی، اقتصادی، تکنیکی، زیست‌محیطی و روانی ناظر بر بازارهای انرژی را کاهش دهد. امنیت انرژی از دیدگاه مصرف‌کنندگان به‌معنای آن است که نخست، دسترسی آسان و بدون احتمال خطر به منابع نفت و گاز جهانی وجود داشته باشد؛ دوم، این منابع به‌صورت منطقی دارای تنوع و گوناگونی از لحاظ منطقه جغرافیایی منابع و همچنین مسیرهای انتقالی باشند و سوم، جریان نفت و گاز عموماً از نقاطی تأمین شود که احتمال ثبات و عدم‌تغییر در حکومت‌های آنان درازمدت و طولانی باشد. در زمینه امنیت انرژی عدم‌آشنایی و سوءتفاهم به مقدار زیاد وجود دارد. در کشورهای مصرف‌کننده، عمدتاً امنیت انرژی را معادل استقلال انرژی حاصل از واردات کشورهای دیگر تلقی می‌کنند و امنیت انرژی معادل امنیت عرضه با تکیه بر تولید داخلی معنا می‌شود.

وابستگی کشورها به منابع سوخت‌های فسیلی در تأمین انرژی موردنیاز آن‌ها، با درنظرگرفتن روند کاهشی این منابع و نیز روند افزایشی تقاضای مصرف انرژی به دلایلی نظیر افزایش جمعیت و رشد تولیدات ناخالص داخلی کشور، می‌تواند امنیت انرژی کشور را تحت تأثیر جدی قرار دهد.

مسئله تقاضا برای نفت در آینده نه‌چندان دور یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در سیاست‌گذاری‌های انرژی در سطح جهانی است؛ بنابراین نگرانی‌هایی همچون افزایش تقاضای انرژی، محدودیت سوخت‌های فسیلی، تهدیدهای گرم‌شدن جهانی زمین درنتیجه انتشار گازکربنیک موجب شده است که سیاست‌گذاران و دولت نقش تنوع و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را در سیاست‌گذاری‌های انرژی خود مطرح کنند.

با تداوم پرداخت یارانه سوخت‌های فسیلی به‌منظور تأمین انرژی و نیز عدم‌پرداخت یارانه مناسب برای توسعه انرژی تجدیدپذیر، در آینده پوشش هزینه‌های تأمین انرژی که خود با نرخ صعودی در حال افزایش است، امکان‌پذیر نیست و پرداختن به نحوه خروج از این وابستگی به انرژی فسیلی بیش از هر موضوع دیگر ضرورت پیدا خواهد کرد. با تداوم روند صعودی تقاضا و نیز مصرف انرژی به‌صورت فزاینده، و با درنظرگرفتن عدم‌روند افزایشی متناسب در منابع نفتی کشور در کنار واردات انرژی‌هایی نظیر بنزین، مسئله وابستگی به انرژی فسیلی به تشدید مشکل امنیت انرژی برای کشور در آینده منجر خواهد شد. راهکارهای متفاوتی برای مدیریت مسئله کاهش وابستگی به انرژی مطرح شده است؛ اما نکته مهم، دستیابی به یک سیستم پشتیبان تصمیم برای ارزیابی اثرات کمّی هر یک از سیاست‌ها و میزان کارآمدی آن‌ها در کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

وابستگی به انرژی است که بررسی دقیق اثربخشی هر یک، مستلزم بهره‌گیری از تحلیل‌های سیستمی و همه‌جانبه‌نگرانه به مسئله است که در پژوهش حاضر به آن پرداخته شد.

در این پژوهش، پس از ساخت مدل شبیه‌سازی و اعتبارسنجی آن، چهار سیاست تداوم وضع فعلی، افزایش عرضه انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی، افزایش عرضه از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین مدیریت سمت تقاضا روی مدل اجرا شد.

از مقایسه چهار سیاست آزمون‌شده روی مدل می‌توان نتیجه گرفت که با تداوم وضع فعلی وابستگی به انرژی در حال افزایش است. با اجرای سیاست دوم و افزایش عرضه انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی، شاخص وابستگی انرژی به‌دلیل افزایش عرضه کاهش می‌یابد؛ اما با درنظرگرفتن کاهش شدیدتر منابع سوخت فسیلی، امنیت انرژی کشور دچار تضعیف خواهد شد.

در سیاست سوم با افزایش عرضه از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر، میزان شاخص وابستگی انرژی کاهش می‌یابد و شاخص امنیت انرژی نیز تغییری نمی‌کند. درنهایت در سیاست آخر با مدیریت سمت تقاضا و کاهش تقاضای انرژی، شاخص وابستگی انرژی کاهش می‌یابد و این میزان نسبت به توسعه ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر است و ازنظر شاخص وابستگی انرژی، سیاست کارآمدتری است؛ اما با توجه به اینکه بخش اعظم عرضه انرژی در این حالت نیز از طریق سوخت‌های فسیلی صورت گرفته و منابع آن‌ها رو به پایان است، این سیاست دارای پایداری لازم در بلندمدت نیست و توصیه می‌شود سیاست مدیریت سمت تقاضا و توسعه ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر به‌منظور کاهش میزان وابستگی به انرژی و افزایش امنیت انرژی توأم با هم اجرا شود.

در خصوص توسعه پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود در زیرسیستم انرژی، متغیرهای مصرف بخش خانگی و نیز صنعتی با نگاهی جزئی‌تر بررسیث شود؛ همچنین با درنظرگرفتن متغیرهای اقتصادی مربوطه به امکان‌سنجی سیاست‌ها، درآمدها و هزینه‌های اجرای سیاست‌های مطرح‌شده در مدل اعمال شود تا امکان تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای اقتصادی در کنار معیارهای فنی و سیاسی امکان‌پذیر باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Ahmad, S., & bin Mat Tahar, R. (2014). Using system dynamics to evaluate renewable electricity development in Malaysia. *Kybernetes*, *43(1)*, 24-39.
2. Ang, B. W., Choong, W., & Ng, T. (2015). Energy security: Definitions, dimensions and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 1077-1093.
3. Aslani, A., Helo, P., & Naaranoja, M. (2014). Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach. *Applied energy*, *113*, 758-765.
4. Aslani, A., & Wong, K.-F. V. (2014). Analysis of renewable energy development to power generation in the United States. *Renewable Energy*, *63*, 153-161.
5. Barton, B. (2004). Energy security: managing risk in a dynamic legal and regulatory environment: *Oxford University Press on Demand*.
6. Bastan, M., Akbarpour, S., Ahmadvand, A. (2016). Business Dynamics of Iranian Commercial Banks, The 34th International Conference of the System Dynamics Society. Delft, the Netherlands (in Persian).
7. Bastan, M., Akbarpour, S., Ahmadvand, A., Shakouri G., H. (2019). Making the Profitability Paradox of Bad Banks: A System Dynamics Approach. *The 3rd IEOM European Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Pilsen, Czech Republic.
8. Bastan, M., Ramazani K., R., Delshad S., S., Ahmadvand, A. (2018). Sustainable development of agriculture: a system dynamics model. *Kybernetes*, *47(1)*, 142-162.
9. Banos, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A., & Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. Renewable and sustainable energy reviews, 15(4), 1753-1766.
10. Cherp, A., & Jewell, J. (2014). The concept of energy security: Beyond the four As. *Energy Policy*, *75*, 415-421.
11. Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
12. Farajzadeh, Z. (2016). Energy Intensity in the Iranian Economy: Components and Determinants. *Iranian Energy Economics, 4(15)*, 55-98. doi: 10.22054/jiee.2016.1880 (in Persian)
13. Hsu, C.-W. (2012). Using a system dynamics model to assess the effects of capital subsidies and feed-in tariffs on solar PV installations. *Applied energy*, 100, 205-217.
14. Jebaselvi, G. A., & Paramasivam, S. (2013). Analysis on renewable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28, 625-634.
15. Khoshneshin, F., Bastan, M. (2014). Analysis of dynamics of crisis management in the earthquake and performance Improvement using system dynamics methodology, The 10th International Conference on Industrial Engineering (IIEC 2014), Tehran, Iran (in Persian).
16. Kovačovská, L. (2007). European Union's energy (in) security: dependence on Russia. *Def Strateg*, 2, 5-21.
17. Kruyt, B., van Vuuren, D. P., de Vries, H. J., & Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy Policy*, 37(6), 2166-2181.

www.SID.ir

Archive of SID

18. Lean, H. H., & Smyth, R. (2013). Are fluctuations in US production of renewable energy permanent or transitory? *Applied energy*, 101, 483-488.
19. Maleki, A. (2007). Energy security and lessons for Iran, *Development Strategy*, 4(12), 206-222 (in Persian)
20. Månsson, A., Johansson, B., & Nilsson, L. J. (2014). Assessing energy security: An overview of commonly used methodologies. *Energy*, 73, 1-14.
21. Mohaghar, A., Hashemi Petrodi, S., Talaei, H. (2017). Dynamic Modeling of a New Product Supply Chain using System Dynamics Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 6(4), 9-36 (in Persian).
22. Rabieh, M., Salari, H., Karami, M., Ziyaei, M., Yasoubi, A. (2017). Causal Loop Model for Problem of Traffic Accident: The System Dynamics Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 7(1), 115-143 (in Persian).
23. Radovanović, M., Filipović, S., & Pavlović, D. (2017). Energy security measurement–A sustainable approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1020-1032.
24. Richter, M. (2012). Utilities' business models for renewable energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 2483-2493.
25. Ruhul, S., Rafiq, S., & Hassan, A. K. (2008). Causality and dynamics of energy consumption and output: Evidence from non-OECD Asian countries. Journal of Economic Development, 33(2), 1-26.
26. Soltanian Telkabadi, H., Mohaghar, A., Sadeghi Moghadam, M. (2016). Pricing-Policy Analysis of Petrochemical Feed-Stock through Dynamic Systems Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 5(4), 59-78 (in Persian).
27. Wu, Z., & Xu, J. (2013). Predicting and optimization of energy consumption using system dynamics-fuzzy multiple objective programming in world heritage areas. Energy, 49, 19-31.
28. Zadfallah, E., Bastan, M., Ahmadvand, A. (2017). A Qualitative System Dynamics Approach to Clinical Risk Management, *The 13th International Conference on Industrial Engineering (IIEC2017)*, Babolsar, Iran (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Model-Based Assessment of Energy Dependency Policies: A System Dynamics Approach

Mahdi Bastan[*], Hamed Shakouri Ganjavi[**]

Abstract

The high and unreasonable demand for fuel in Iran, and also the excessive and irrational consumption of fuel in various sectors, including transportation along with cheap fuel for power generation plants, the lack of proper standards for fuel consumption in different sectors, has brought the high dependency on fossil fuels energy supply for Iran. This problem is a serious threat to the country's energy security, in light of the increasing trend in energy demand and in particular the energy intensity of the country's energy supply. Understanding the system structure of this dependency is the main objective of the present research. The research methodology is based on the system dynamics approach. A stock and flow model of energy dependency was developed and four scenarios have tested on it. From the comparison of the four scenarios, it can be said that the current energy dependency on is continuing to increase. Based on the results, it is recommended that the demand-side management policy and the development of renewable energy capacities reduce energy dependency and increase energy security together.

Keywords: Energy Dependency; Energy Security; Fossil Fuel; Renewable Energy; System Dynamics.

Received: May 31, 2019, Accepted: August 30, 2019.
* Lecturer, University of Eyvanekey, Garmsar (Corresponding author).
E-mail: mbastan@eyc.ac.ir
** Associated Professor, University of Tehran.

www.SID.ir