مدلسازی تاثیر تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت بر شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی با روش پویایی‌شناسی سیستمی

محمد هاشم موسوی حقیقی[1] احمد رجبی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۷

چکیده

در این پژوهش با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستمی، تاثیر تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت بر شاخص‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در افق چشم انداز سال۱۴۰۴ بررسی شده است. به این منظور، ابتدا با توجه به رفتار متغیرهای کلیدی و با استفاده از داده‌های سال‌های ۸۸-۱۳۷۹، الگوی سیستمی مورد نظر مدلسازی و شبیه‌سازی شده و سپس سیاست‌گذاری‌های لازم براساس نتایج حاصل، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که شاخص شدت انرژی بخش صنعت در طول دوره مورد بررسی نه تنها بهبود نداشته، بلکه از ۲/۶۷ در سال ۱۳۷۹ به ۲/۷۰۴ در سال ۱۴۰۴ افزایش یافته است. بطوریکه این بخش به ازاء مصرف ۵۴۰ میلیون بشکه نفت‌خام در افق ۱۴۰۴، ۴۹۰۶۲۷ میلیارد ریال ارزش افزوده ایجاد خواهد کرد. با توجه به این وضعیت، میزان تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی این بخش از ۵۹ میلیون تن به ۲۶۷ میلیون‌تن در افق مورد نظر افزایش خواهد یافت و هزینه‌های اجتماعی تولید این آلاینده‌ها برابر با ۶۷۴۴۹ میلیارد ریال خواهد بود. این موضوع نشان می‌دهد که: الف- با توجه به محدودیت تولید و افزایش هزینه‌های تامین انرژی در دوره‌های آینده، جهت‌گیری سیاستی صنایع کشور باید به سمت افزایش کارآیی مصرف انرژی از طریق بهبود تکنولوژی سوق داده شود؛ ب- به دلیل افزایش هزینه‌های زیست‌محیطی در مقایسه با ارزش‌افزوده، ادامه فعالیت صنایع انرژی بر در وضعیت فعلی منطقی نیست و تداوم این شرایط اثرات مخرب زیادی بر محیط‌زیست و جامعه خواهد گذاشت که هزینه‌های آن در آینده غیرقابل جبران خواهد بود.

---

۱. استادیار موسسه تحقیقات جهاد کشاورزی استان فارس، Email: moosavee@yahoo.com

۲. دانشجوی دکتری مدیریت سیستم‌ها دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه شیراز، Email: araiabi53@yahoo.co.uk

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

واژگان کلیدی: شدت انرژی، پویایی‌شناسی سیستم، آلودگیهای زیست‌محیطی، ارزش‌افزوده.

JEL: C32, C53, C61, Q48, Q53, Q52.

۱. مقدمه

کارآیی مصرف انرژی که براساس شاخص "شدت انرژی"[۱] اندازه‌گیری می‌شود، نشان می‌دهد که این شاخص در کشور ما در سالهای گذشته نسبت به سایر کشورها در حد مطلوبی نبوده است و لذا ایران جزء کشورهای با شدت انرژی بالا محسوب می‌شود. بطوریکه از این حیث ایران در سال ۱۳۸۹ در بین ۱۸۹ کشور دنیا دارای رتبه ۲۹ بوده است. شدت انرژی در کشور ما ۴/۷ برابر متوسط سطح دنیا، ۷/۲برابر ژاپن، ۸/۲ برابرکشورهای توسعه‌یافته و ۲/۶۷ برابر سایر کشورهای منطقه است. بر این اساس، شدت انرژی کشور نه تنها نسبت به کشورهای نفت‌خیز، بلکه از برخی از مناطق نظیر آمریکای شمالی، آفریقا و خاورمیانه نیز بیشتر است. روند تغییرات این شاخص نیز نشان‌دهنده وضعیت افزایشی آن طی سالهای گذشته است. بطوریکه متوسط شاخص شدت انرژی کشور از ۱/۸۵ بشکه نفت‌خام به میلیون‌ریال در سال ۱۳۷۷ به ۱/۹۴ در سال ۱۳۸۹ افزایش داشته است. بطوریکه حتی با اجرای طرح هدفمندی حاملهای انرژی در سال ۱۳۸۹ این شاخص صرفاً ۱/. بهبود داشته است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۹).

اگرچه شاخص شدت انرژی در کشور ما در کلیه بخشها نسبتا زیاد است، اما وضعیت این شاخص در بخش صنعت نسبت به سایر بخشها نامطلوب‌تر به نظر می‌رسد. بخش صنعت به‌عنوان یکی از بخشهای مهم اقتصادی در سال ۱۳۸۸، ۲۱٪ ارزش‌افزوده و ۲۵٪ مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. اطلاعات مصرف انرژی نشان می‌دهد که متوسط شدت انرژی در بخشهای کشور طی سالهای ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۸ برابر با ۱/۶۷ بشکه نفت خام به میلیون‌ریال بوده است، در حالی که این شاخص در بخش صنعت ۲/۲۸ بوده است که تقریباً ۱/۳۶ برابر سایر بخشها است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۹).

مصرف بالای انرژی در این بخش، علاوه‌بر اینکه حجم قابل توجهی از منابع انرژی را هدر می‌دهد، موجب ایجاد آلاینده‌های متعدد زیست‌محیطی نیز می‌شود. در بیشتر تصمیم‌گیری‌ها به هزینه‌های جانبی ناشی از مصرف انرژی توجهی نمی‌شود، بلکه کارآیی مصرف انرژی بر مبنای ارزش‌افزوده در مقایسه با انرژی مصرف شده، محاسبه می‌شود. اما باید توجه داشت که اثرات مصرف انرژی صرفاً به شاخص ارزش‌افزوده و هزینه انرژی مصرفی محدود

۱. این شاخص نشان می‌دهد که به ازاء ارزش ریالی تولید کالا و خدمات چه مقدار انرژی مصرف شده است و مبنای محاسبه آن بشکه نفت‌خام به میلیون‌ریال است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

نبوده، بلکه اثرات جانبی که به مرور زمان بر محیط‌زیست و هزینه‌های سلامت جامعه خواهد گذاشت، بسیار مهمتر از سایر عوامل است که متأسفانه بدلیل عدم شفافیت این پیامدها و طولانی بودن عواقب حاصل، تابحال به آن توجه جدی نشده است. بنابراین برای درک صحیح و منطقی از اثرات مصرف انرژی باید با بکارگیری الگوی مناسب به بررسی ابعاد همه جانبه این موضوع پرداخت. نگرش سیستمی بدلیل جامع بودن و قابلیتهای مطلوبی که در این رابطه دارد، می‌تواند در دستیابی به این هدف موثر باشد. برای این منظور در این مقاله با توجه به داده‌های سال ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۸و بکارگیری روش پویایی‌شناسی سیستمی، اثرات مصرف انرژی بر متغیرهای کلیدی بخش صنعت و آلاینده‌های زیست‌محیطی تا افق ۱۴۰۴ شبیه‌سازی شده و بر این اساس، سیاست‌گذاری‌های لازم جهت بهبود این وضعیت پیشنهاد می‌شود.

برای این منظور در قسمت دوم مقاله، پیشینه موضوع تحقیق در حوزه مصرف انرژی و تبعات آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از آن مطرح می‌شود. در قسمت سوم، مبانی‌نظری روش پویایی‌شناسی سیستمی و کاربردهای آن در موضوع تحقیق بیان می‌شود. در قسمت چهارم نیز با توجه به روش تحقیق، وضعیت متغیرهای کلیدی بکار گرفته شده در این تحقیق با روش پویایی شناسی سیستمی ارزیابی و شبیه‌سازی می‌شود و در نهایت نتایج حاصل از کاربرد روش پیشنهادی بر حسب متغیرهای مورد بررسی در افق ۱۴۰۴ تشریح می‌شود. قسمت پایانی تحقیق نیز به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات اختصاص دارد.

۲. پیشینه تحقیق

با توجه به تقاضای روزافزون انرژی در سالهای اخیر، افزایش کارآیی مصرف انرژی و ارزیابی اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی آن همواره یکی از مسائل مهم و مورد توجه دولتها بوده است. بطوریکه بیشتر اقتصاددانان ارتباط قوی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را تایید می‌کنند. حتی برخی اقتصاددانان مانند نایر و آیرس[1] (۲۰۰۰) انرژی را مهمترین عامل رشد اقتصادی کشورها می‌دانند (Stern, 2004). با این حال همه صاحبنظران بر این باورند که مصرف بی‌رویه انرژی برای تحقق اهداف اقتصادی توام با عدم‌کارآیی مطلوب از آن، موجب ایجاد صدمات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست خواهد شد (Alam, 2007). این موضوع در حال حاضر نیز بدلیل اهمیت حفظ شرایط زیست‌محیطی توجه محققان زیادی را در کشورهای مختلف به خود جلب کرده است.

1. Nayr & Aires

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

در میان نظریات اقتصاد محیط‌زیست، منحنی زیست‌محیطی کوزنتس[1] (۱۹۵۵) که رابطه رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست را بصورت U وارونه تشریح می‌کند، نسبت به دیگر نظریات کارآیی و شهرت بیشتری پیدا کرد. براساس این نظریه در بیشتر کشورهای توسعه‌یافته در ابتدای فرآیند توسعه بدلیل مصرف انرژی بیشتر، تخریب محیط‌زیست افزایش می‌یابد اما با توجه به روند توسعه و افزایش رشد اقتصادی، میزان تخریب کاهش خواهد یافت. بکرمن[2] (۱۹۹۲) نیز با ارائه شواهد تجربی رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست را در کشور آلمان با استفاده از منحنی کوزنتس را به اثبات رساند. کارلوس[3] (۲۰۰۷) و روزا[4] (۲۰۰۰) نیز صحت فرضیه کوزنتس در کشور اسپانیا را به اثبات رساندند.

مایر و کنت[5] (۲۰۰۰) معتقدند که مصرف انرژی و آلودگی محیط ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند و بخش انرژی بیشترین تاثیر را بر شرایط زیست‌محیطی دارد (Shim, 2006).

چونگ و ری[6] (۲۰۰۱) با استفاد از روشهای اقتصادسنجی و تفکیک تغییرات شدت انرژی به اثرات ساختاری و شدتی، تغییرات شاخص شدت انرژی و میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را در صنایع کشور سنگاپور از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان دهنده ارتباط مستقیم بین رشد صنعتی با شاخص مصرف انرژی و انتشار گازهای آلاینده بود.

آنگ[7] (۲۰۰۳) در مطالعه خود شدت انرژی و اثرات زیست‌محیطی آن را در صنایع کشورتایوان و سنگاپور با استفاده از شاخص دیوژیا[8] طی سالهای ۱۹۷۱-۱۹۹۰ مورد بررسی قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که با توجه به فرآیند بهبود شاخص مصرف، شدت انرژی در صنایع این دو کشور همواره رو به کاهش بوده است. در نتیجه میزان تولید آلاینده‌های محیطی نسبت به قبل نیز کاهش یافته است. وی همچنین رابطه رشد اقتصادی کشور فرانسه و میزان آلایندگی را در سال ۲۰۰۷ مورد تحلیل قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که رشد اقتصادی علت اصلی مصرف انرژی و ایجاد آلودگی در این کشور بوده است.

1. Environment Kuznets Curve
2. Bekerman
3. Carlos
4. Rosa
5. Mayer & Kent
6. Chung & Rhee
7. Ang
8. Divisia Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

عالم(۲۰۰۷) عوامل اثرگذار بر آلودگی کشور پاکستان طی سالهای ۲۰۰۵-۱۹۷۱ را مورد تحلیل قرار داد و به این نتیجه‌گیری می‌رسد که شدت بالای انرژی‌های فسیلی در این کشور علت اصلی ایجاد آلایندگی‌های زیست‌محیطی بوده است.

در مطالعه دیگری که توسط اوغلو[1](۲۰۰۹) در کشور ترکیه انجام شده است. روابط علّی و پویا بین انتشار کربن، مصرف انرژی، درآمد و تجارت خارجی این کشور با استفاده از داده‌های سری زمانی و رابطه علیت گرنجر[2] طی دوره ۲۰۰۵–۱۹۶۰ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که انتشار کربن در درازمدت براساس متغیر مصرف انرژی، درآمد و تجارت خارجی تعیین می‌شود. بر این اساس مهم‌ترین متغیر در انتشار کربن در کشور ترکیه تلاش دولت برای افزایش درآمدهای ملی است که مصرف انرژی و افزایش تجارت خارجی را بدنبال خواهد داشت. این مطالعه در نهایت ضمن حفظ سطح در آمد کشور یک مجموعه از سیاستهای حمایتی را برای حفظ شرایط زیست‌محیطی در این کشور توصیه می‌کند.

تالکدار و میسنی[3](۲۰۱۲) ارتباط بین نوع مالکیت بخش صنعت، رشد اقتصادی و آلودگیهای زیست‌محیطی این بخش را در ۴۴ کشور در حال توسعه در سالهای ۱۹۹۵-۱۹۸۷ با استفاده از الگوهای رگرسیون چند متغیره مورد بررسی قرار داده‌اند. متغیرهای مورد بررسی در این مطالعه، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، رشد اقتصادی و روند خصوصی‌سازی در بخش صنعت بوده است. نتایج این الگو نشان‌دهنده ارتباط بالای بین توسعه بخش خصوصی با رشد اقتصادی و حجم پایین آلودگی محیط‌زیست بوده است. به‌عبارتی دیگر با توسعه بخش خصوصی بدلیل لزوم کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در مصرف انرژی وهمچنین افزایش بهره‌وری، آلودگی کمتری در محیط‌زیست ایجاد شده است.

در داخل کشور نیز مطالعات متعددی در زمینه مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی آن انجام شده است. از جملهٔ این مطالعات که بر پایهٔ آزمون تجربی فرضیهٔ منحنی کوزنتس زیست‌محیطی بنا شده است، می‌توان به پژویان و مرادحاصل(۱۳۸۶)، بهبودی و برقی‌گلعذانی(۱۳۸۷)، صالح و همکاران(۱۳۸۸)، نصراللهی و غفاری(۱۳۸۸)، فطرس و همکاران(۱۳۸۹)، صادقی و فشاری(۱۳۸۹) و پژویان و لشکری‌زاده(۱۳۸۹) اشاره کرد(به نقل از هراتی و همکاران ۱۳۹۱).

1. Oglu
2. Granger Causality
3. Talukdar and Meisne

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

شریفی و همکاران(۱۳۸۷) نیز شدت انرژی صنایع کشور را در سالهای ۱۳۷۴ الی ۱۳۸۳ با استفاده از شاخص فیشر[1] و تکنیک ضرب‌پذیری مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که در بیشتر صنایع کشور، سهم اثرات ساختاری نسبت به اثرات شدتی در کاهش مصرف انرژی بسیار پایین بوده است و بهبود مصرف انرژی بیشتر ناشی از اثرات شدتی بوده است.

بهبودی و همکاران(۱۳۸۹) نیز رابطه بین شدت استفاده از انرژی، رشد اقتصادی و انتشار کربن در ایران را در سالهای ۱۳۸۳-۱۳۴۶ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده رابطه مثبت بین مصرف انرژی، رشد اقتصادی و انتشار کربن است. همچنین بهبودی و همکاران(۱۳۹۰) رابطه بین انتشار دی‌اکسیدکربن، ارزش‌افزوده بخش صنعت را با استفاده از روش علیت گرنجر مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که مصرف انرژی با انتشار دی‌اکسیدکربن و ارزش‌افزوده بخش صنعت رابطه علی و معلولی دارد.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که عمده تحقیقات انجام شده در حوزه مصرف انرژی و هزینه‌های زیست‌محیطی، مخصوصاً در کشور ما مبتنی بر روشهای اقتصادسنجی بوده است. با توجه به گستردگی تبعات ناشی از مصرف انرژی، این روشها بدلیل جزئی نگری بطور کامل قادر به ارزیابی و محاسبه این پیامدها نمی‌باشند. اما روش پویایی‌شناسی سیستمی با توجه به جامعیت و نگرش سیستمی آن، در این رابطه می‌تواند مفید باشد. این روش اولین بار توسط فارستر[2](۱۹۷۸) برای شناسایی و تبیین رفتار سیستم‌های پیچیده و چگونگی تعامل آنها با یکدیگر مطرح شد. وی معتقد بود که پویایی شناسی سیستمی با تمرکز بر فرآیند بازخور و روابط علّی و معلولی قادر به شناخت و تبیین روابط بین سیستم‌های مختلف است و نسبت به دیگر روشها جامع‌تر است. این روش طی دهه‌های گذشته کاربردهای زیادی در حوزه محیط‌زیست و انرژی داشته و الگوهای متعددی بر این اساس طراحی و بکار گرفته شده است.

اولین کاربرد روش پویایی‌شناسی سیستمی در بخش انرژی در اوایل دهه۷۰ در دانشگاه MIT [3] توسط فارستر به منظور بررسی وضعیت جهان و چالشهای پیش روی آن انجام شد. علاوه بر این، بکاوس[4](۱۹۹۶)

1. Fisher Index
2. Forrester
3. Massachusetts Institute of Technology
4. Backus

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

بان[1](۱۹۹۷)، فورد[2](۱۹۹۰) و نیل[3](۱۹۷۷) از الگوی پویایی‌شناسی سیستمی برای بررسی اثرات مصرف انرژی و تغییرات زیست‌محیطی استفاده کردند.

لانگ‌بین[4](۲۰۰۷) با استفاده از الگوی پویایی‌شناسی سیستمی، وضعیت مصرف انرژی در صنعت فولاد کشور چین را از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۱۰۰ را شبیه‌سازی کرد. براساس نتایج این مطالعه، حداکثر مصرف انرژی در این بخش در سال ۲۰۲۵ خواهد بود. با توجه به این سطح مصرف انرژی، میزان تولید گازهای آلاینده در این سال به ۱ میلیارد تن خواهد رسد. نتایج این تحقیق نشان داد که در انتخاب تکنولوژی مناسب، الگوی مطلوب مصرف انرژی و رعایت شرایط زیست‌محیطی باید همواره در نظر گرفته شود.

در مطالعه لی و دانگ[5](۲۰۱۲) در استان گانسو کشور چین، از روش پویایی‌شناسی سیستم برای ارزیابی اثرات آلودگیهای مصرف انرژی بر محیط‌زیست استفاده شده است. افق شبیه‌سازی در نظر گرفته شده در این تحقیق از سال ۲۰۰۹ الی سال ۲۰۵۰ بود. نتایج الگو نشان داد که حداکثر زمان تأثیرگذاری مصرف انرژی بر محیط‌زیست در سال ۲۰۲۷ خواهد بود. بطوری که در این سال میزان تولید گازهای آلاینده، مخصوصاً دی‌اکسیدکربن به ۳۲۵۰۰۰ تن خواهد رسد و در نتیجه هزینه‌های جانبی به میزان ۲۵۰ میلیون دلار در هر سال برای دولت و جامعه ایجاد خواهد کرد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده ، مطالعات داخل کشور در حوزه موضوع تحقیق، عمدتاً براساس روشهای اقتصادسنجی بوده است و اثرات جانبی مصرف انرژی بر سایر بخشها با استفاده از الگوی سیستمی کمتر مورد تحقیق قرار گرفته است. بنابراین با توجه به قابلیت‌های الگوی پویایی‌شناسی سیستمی، در این پژوهش از این روش برای ارزیابی اثرات مصرف انرژی بخش صنعت بر شرایط زیست‌محیطی و تحلیل هزینه‌های اجتماعی ناشی از تولید آلاینده‌های مصرف انرژی استفاده خواهد شد.

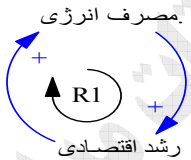
۳. مبانی نظری تحقیق

پویایی‌شناسی سیستمی برای شناسایی و تبیین رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده و چگونگی تعامل آنها با یکدیگر مطرح شد. فارستر(۱۹۴۶) معتقد بود که تنها با استفاده از روشهای کمّی نمی توان به تحلیل تمامی موضوعات علمی پرداخت، چون بعضی از مسائل قابل کمّی شدن نیستند و روابط بین آنها خطی نیست. اما

1. Bunn, Larsen & Fedman
2. Ford
3. Naill
4. Longbin
5. Li and Dong

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

پویایی‌شناسی سیستمی با تمرکز بر فرآیند بازخور و روابط علّی و معلولی، قادر به شناخت و تبیین روابط بین سیستم‌های مختلف است. در این روش فرض می‌شود که رفتار سیستم براساس شبکه به هم پیوسته‌ای از حلقه‌های بازخور تعیین می‌شود. (بای و لبک،۱۹۹۶). استرمن(۲۰۰۰) معتقد است که ساختار سیستم باعث رفتار آن می‌شود. بنابراین در صورت شناخت رفتار سیستم می‌توان آن را کنترل و برنامه‌ریزی کرد. وی برای تشریح ارتباط اجزا سیستم با یکدیگر از نمودارهای علّی و معلولی و سیستم بازخور استفاده می‌کند. بر این اساس هر رابطه علّی می‌تواند بصورت مثبت یا منفی در سیستم اثرگذار باشد. یک رابطه مثبت بدین معنا است که در صورت افزایش علت، معلول به میزانی بیش از آنچه قبلاً بوده است، افزایش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد، معلول نیز کمتر از آنچه بوده، کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال رشد اقتصادی باعث افزایش مصرف انرژی خواهد شد و مصرف انرژی هم بر رشد اقتصادی اثر مثبت خواهد داشت. این ارتباط بصورت فزاینده است.

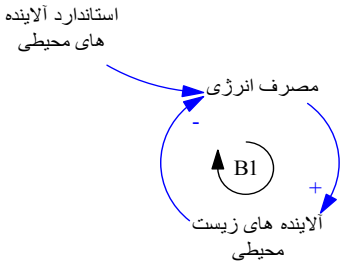


شکل ۱. ارتباط فزاینده بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی

منبع:یافته‌های پژوهش

برای ایجاد تعادل در سیستم وجود فرآیند بازخور ضروری است. بازخور با توجه به مقایسه وضعیت موجود با هدف مطلوب، بطور دائم در پی اصلاح عملکرد سیستم است. به‌عنوان مثال ارتباط بین مصرف انرژی، رشد اقتصادی و سطح آلودگی باید بصورت یک رابطه تعادلی باشد. چون با توجه به مثال قبل در صورت عدم وجود رابطه تعادلی بین این دو متغیر، با تمایل به رشد اقتصادی بیشتر، مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد و این چرخه تا بی‌نهایت ادامه خواهد داشت(حلقه R1). اما در واقعیت این شرایط هرگز اتفاق نخواهد افتاد بلکه یک عامل تعادلی این وضعیت را تغییر می‌دهد. این عامل تعادلی می‌تواند متغیر استاندارد تولید آلودگیهای زیست‌محیطی باشد. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد. افزایش مصرف انرژی برای رشد اقتصادی، منجر به افزایش تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود و تولید این آلاینده‌ها با سطح استاندارد مقایسه شده و در صورت افزایش آلاینده‌ها از سطح استاندارد، عامل تعادلی مداخله کرده تا مصرف انرژی کاهش دهد و بر این اساس در سیستم دوباره تعادل(B2) ایجاد شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]



شکل ۲. ارتباط تعادلی بین مصرف انرژی و میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی

منبع:یافته‌های پژوهش

با توجه به کاربرد الگوی پویایی‌شناسی سیستمی در کاربرد مسائل مختلف، استرمن(۲۰۰۰) ۵ مرحله را برای اجرای این روش پیشنهاد می‌کند که عبارتند از:

۱- بیان مسئله و افق تحقیق، ۲- تعریف متغیرهای کلیدی و تعریف روابط علّی و معلولی بین متغیرها، ۳- طراحی نمودارهای پویایی‌های سیستم و تعیین وضعیت متغیرهای نرخ و حالت، ۴- شبیه‌سازی و اعتبارسنجی نتایج مدل و ۵- ارزیابی سیاستها و عملکردها(سناریوسازی).

٤. روش تحقیق

روش پویایی‌شناسی سیستمی بدنبال توصیف مسئله بصورت پویا است. به این معنی که موضوع بصورت یک الگوی رفتاری طی زمان آشکار شود. این الگو نشان می‌دهد که مسئله چگونه بوجود آمده است و چگونه ممکن است در آینده ظاهر شود. برای این منظور در این مقاله جهت ارزیابی اثرات مصرف انرژی در بخش صنعت براساس الگوی پیشنهادی استرمن(۲۰۰۰) مراحل زیر انجام شد.

٤.١. تعریف مسئله و افق تحقیق

این مرحله به‌عنوان مهمترین بخش الگوسازی است که در آن هدف الگو، متغیرهای کلیدی و افق زمانی مشخص می‌شوند. با توجه به موضوع تحقیق، هدف الگو "ارزیابی اثرات مصرف انرژی در بخش صنعت بر شاخصهای اقتصادی و زیست‌محیطی" است. متغیرهای کلیدی این الگو شامل تولید انرژی، مصرف انرژی، موادآلاینده زیست‌محیطی، شدت انرژی، ارزش‌افزوده و... است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

افق زمانی در نظر گرفته شده برای این تحقیق یک دوره ۲۵ ساله است که از سال ۱۳۷۹ شروع و تا افق برنامه‌ریزی کشور تا سال ۱۴۰۴ پایان می‌پذیرد. با توجه به اینکه داده‌های واقعی متغیرهای الگو تا سال ۱۳۸۸ در دسترس است. برای سنجش اعتبار الگو، نتایج شبیه‌سازی تا سال ۱۳۸۸ با داده‌های واقعی مقایسه می‌شود. سپس با توجه به شناسایی رفتار متغیرها، عملیات شبیه‌سازی تا سال ۱۴۰۴ انجام می‌شود.

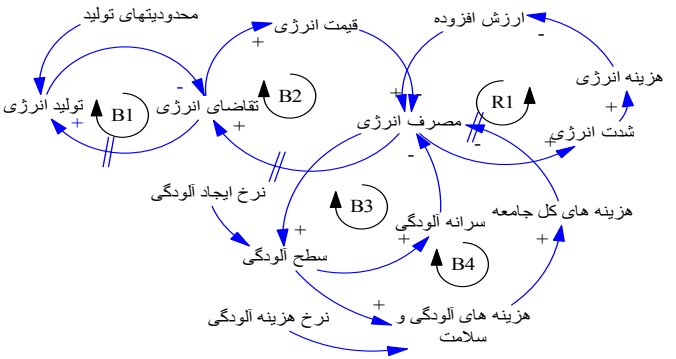
مرز اصلی الگو شامل فرآیند تولید انرژی و مصرف آن (شامل انرژیهای فسیلی، برق، گاز و مشتقات نفت خام) بر حسب شاخص "بشکه نفت خام" در بخش صنعت کشور است. به عبارتی تاکید اصلی بر مصرف انرژی در بخش صنعت و بررسی آثار و پیامدهای آن بر متغیرهای کلیدی اقتصادی و زیست محیطی مرتبط است.

۲.٤. تعریف متغیرهای کلیدی و روابط علّی و معلولی

با توجه به موضوع تحقیق و الگوی پویایی‌شناسی سیستم، متغیرهای متعددی در فرآیند تولید، مصرف انرژی و هزینه‌های زیست‌محیطی موثر هستند. برای تبیین ارتباط بین متغیرها در روش پویایی‌شناسی سیستمی ابتدا ارتباط این متغیرها براساس روابط علت و معلولی نشان داده می‌شود سپس برای انجام عملیات شبیه‌سازی این متغیرها در قالب متغیرهای نرخ و حالت گروه‌بندی می‌شوند. در شکل ۳ بخشی از ارتباط متغیرهای الگو براساس روابط علت و معلولی نشان داده شده است. با توجه به این شکل براساس حلقه R1، افزایش شدت انرژی منجر به افزایش هزینه انرژی می‌شود و هزینه انرژی باعث کاهش ارزش‌افزوده شده و کاهش ارزش‌افزوده منجر به مصرف بیشتر انرژی می‌شود و این مصرف دوباره شدت انرژی را بیشتر می‌کند. این فرآیند تا رسیدن شدت انرژی به یک حد استاندارد ادامه پیدا می‌کند. براساس حلقه B1، افزایش تقاضای انرژی با یک تاخیر منجر به افزایش تولید شده و افزایش تولید شدت تقاضا را کاهش می‌دهد. براساس حلقه B2، تقاضای انرژی، قیمت انرژی را افزایش می‌دهد و افزایش قیمت، مصرف را کاهش می‌دهد تا جایی که بین قیمت و مصرف یک تعادل ایجاد شود. همچنین براساس حلقه B3 مصرف انرژی منجر به افزایش سطح آلودگی شده و سرانه آلودگی را افزایش می‌دهد و برای ایجاد تعادل در سطح آلودگی، مجدداً لازم است تا مصرف انرژی کاهش یابد. سطح آلودگی نیز هزینه‌های سلامت را افزایش داده و افزایش این هزینه ها دولت را وادار به اتخاذ سیاستهای مختلف برای کاهش آلودگی کرده(B4) و در نهایت مصرف انرژی کاهش یافته و متعادل می‌شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]



شکل ۳. نمودار علت و معلولی اثرات مصرف انرژی در بخش صنعت

منبع:یافته‌های پژوهش

در پیوست ۱ نیز ارتباط کل متغیرهای مدل در قالب متغیرهای نرخ و حالت نشان داده شده است.با توجه به اینکه متغیرهای متعددی در این الگو بکار گرفته شده است در این مرحله صرفاً متغیرهای اصلی و اثرگذار که برمبنای آن سیاستگذاری‌ها انجام می‌شود، معرفی می‌شوند.

عرضه انرژی: میزان عرضه انرژی در سطح کشور در سال پایه(۱۳۷۹) برابر با ۹۲۳ میلیون بشکه و ارزش‌افزوده‌ای آن ۱۰۱۷۰۵ میلیارد ریال بوده است که با رشد متوسط سالیانه ۵/۳ درصد تا سال ۱۳۸۸ به۱۵۵۱ میلیون بشکه و ارزش‌افزوده ۷۸۴۲۹۲ میلیارد ریال افزایش یافته است. بر این اساس هزینه[1] عرضه انرژی در سال پایه معادل ۹۲۸۱ میلیارد ریال بوده است و در سال ۱۳۸۸ به ۵۵۰۱۰ میلیارد ریال افزایش یافته است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸).

با توجه به روابط نمودار پویایی‌شناسی سیستم(شکل پیوست ۱)، در این الگو فرض شده است که تولید انرژی از تقاضای انرژی و نرخ محدودیتهای تولید تاثیر می‌پذیرد که این دو متغیر مجموعاً عرضه انرژی کل را تشکیل می‌دهند. برای این منظور میزان مصرف انرژی سال قبل با یک سال وقفه[2] برای تولید سال بعدی در نظر گرفته شده و در الگو وارد می‌شود. علاوه بر این محدودیت تولید انرژی نیز در الگو با یک تابع شیب‌دار[3] با نرخ کاهشی هر سال ۱ در نظر گرفته شده است[1] (معاونت امور اقتصادی، ۱۳۸۷).

۱. هزینه عرضه انرژی، شامل کلیه هزینه‌هایی که از تولید تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی انرژی ایجاد می‌شود.

2. Delay
3. Ramp Function

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

در شکل پیوست ۱ روابط متغیرهای سطح و نرخ مصرف انرژی نشان داده شده است. در این شکل، موجودی انرژی به عنوان یک متغیر سطح در نظر گرفته شده است که هر ساله با افزایش تولید انرژی به سطح آن اضافه می‌شود. تولید انرژی براساس نرخ هزینه تولید یک بشکه نفت خام، منجر به ایجاد هزینه‌های انرژی شده و هزینه‌های انرژی نیز بر ارزش تولیدات و نهایتاً ارزش‌افزوده انرژی تاثیر خواهد گذاشت و ارزش‌افزوده نیز بر تولید انرژی موثر بوده و مجدداً منجر به تغییر آن خواهد شد. با توجه به اینکه عامل قطبیت این حلقه مثبت بوده، بنابراین تأثیر این فرآیند در تولید نفت‌خام همواره بصورت افزایشی در نظر گرفته شده است اما عامل محدودیت تولید باعث می‌شود که سطح این متغیر بیش از حد افزایش پیدا نکرده و در حد امکانات تولید محدود گردد و در این فرآیند، تعادل(حلقه B1، شکل پیوست ۱) ایجاد شود.

مصرف انرژی: بخش دوم الگو به موضوع اصلی پژوهش یعنی مصرف انرژی کل بخشها می‌پردازد. در این الگو مصرف انرژی، تابع نرخ مصرف دوره‌های گذشته و ضریب بهبود مصرف در نظر گرفته شده است. براساس اطلاعات موجود، مصرف انرژی کلیه بخشها در سال ۱۳۷۹ معادل ۶۲۳ میلیون بشکه نفت‌خام بوده است که با متوسط رشد سالیانه ۶/۵ درصد به ۱۱۶۶ میلیون بشکه در سال ۱۳۸۸ رسیده است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸). در این الگو با توجه به مصرف واقعی انرژی تا سال ۱۳۸۸، رفتار الگو تا سال ۱۴۰۴ شبیه‌سازی شده است. با توجه به اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها برای نشان دادن تاثیر تغییرات قیمت در مصرف انرژی از سال ۱۳۸۹ تا پایان سال ۱۳۹۳، این تأثیرات را می‌توان به اثرات مصرفی، اثرات جانشینی و اثرات تغییر تکنولوژی نسبت داد. با توجه به نتایج مطالعات انجام‌شده (موسسه مطالعات بازرگانی، ۱۳۸۸) با افزایش قیمت حاملهای انرژی میزان مصرف بخش صنعت در سال اول حدود ۲۰ درصد، در سال دوم حدود ۱۲/۵ درصد، در سال سوم حدود ۵/۶ درصد و در سالهای چهارم و پنجم نیز نزدیک به ۳ درصد کاهش خواهد یافت. لازم به ذکر است که رفتار مصرف‌کنندگان در بلندمدت به سمت جانشینی انرژی و تغییر تکنولوژی برای کاهش مصرف آن خواهد بود.

---

۱. کلیه محاسبات ریاضی متغیرهای مورد استفاده بر حسب توابع موجود در نرم‌افزار Vensim DSS نوشته شده است که بدلیل طولانی شدن در این مقاله تشریح نمی‌شود. در صورت تقاضای خواننده کل الگو و روابط آن در اختیار قرار خواهد گرفت.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

با توجه به اینکه علاوه بر شاخص مصرف، نرخ بهره‌وری انرژی نیز بر میزان مصرف موثر است، بنابراین شاخص بهبود مصرف انرژی در الگوی طراحی شده نیز دخالت داده شده است. بررسی این شاخص نشان می‌دهد که ضریب بهبود مصرف از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ بطور متوسط معادل ۱/۲ درصد بوده است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸). بنابراین برای منظور کردن این شاخص در شبیه‌سازی مصرف، فرض شده است که نرخ بهبود مصرف انرژی متناسب با دوره‌های قبل همچنان افزایش یابد. با توجه به اینکه عامل قطبیت این حلقه مثبت است، بنابراین تأثیر این فرآیند در مصرف انرژی بصورت افزایشی خواهد بود اما عامل بهبود ضریب مصرف و هزینه‌های آن باعث می‌شود که سطح این متغیر بیش از حد افزایش پیدا نکرده و در حد تعادلی[1] باقی بماند. در شکل پیوست ۱ (حلقه B4) ارتباط این متغیر با سایر متغیرها نشان داده شده است.

مصرف انرژی بخش صنعت: بخش صنعت به‌عنوان یکی از بخشهای مهم در کشور با مصرف ۲۵ درصد انرژی تولیدی همواره سهم قابل توجهی از انرژی‌های مصرفی را به خود اختصاص داده است. مصرف انرژی این بخش در سال پایه(۱۳۷۹) معادل ۱۳۰ میلیون بشکه نفت‌خام بوده است که تا سال ۱۳۸۸ به ۲۵۸ میلیون بشکه افزایش یافته است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸). نرخ افزایش انرژی در این بخش نیز مانند سایر بخشها متأثر از دو شاخص ضریب بهبود انرژی مصرفی بخش صنعت و نرخ مصرف این بخش است. برای نشان دادن تأثیر بهبود انرژی در مصرف آن، اثر تغییر شدت انرژی بر شاخص بهبود مصرف در این بخش محاسبه شده است و با توجه به تغییرات این شاخص مصرف انرژی دوره‌های آینده مشخص می‌شود(حلقه R1، شکل پیوست ۱).

با توجه به الگو پویایی‌شناسی سیستم، مصرف انرژی در بخش صنعت بر هزینه‌های انرژی تأثیر گذاشته و هزینه انرژی نیز بر هزینه درون دادهای بخش صنعت موثر بوده و با توجه به مقدار داده‌ها و ستانده، ارزش‌افزوده این بخش محاسبه شده است. برای محاسبه ارزش‌افزوده در این الگو از روش داده‌گرا استفاده شده است. به عبارتی با ثابت فرض کردن ستانده‌ها سعی در کاهش داده‌ها شده است و بر این اساس با توجه به نرخ کارآیی، میزان ستانده‌ها به دست آمده است. شاخص نرخ کارآیی تا پایان سال ۸۸ بر اساس رفتار واقعی این متغیر در نظر گرفته شده است اما از سال ۸۸ تا سال ۱۴۰۴ براساس متوسط نرخ کارآیی دوره های قبل و بصورت یک تابع پله‌ای[2] تا پایان دوره افزایش یافته است(شکل پیوست ۱).

1. Balancing Loop
2. Step Function

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

ارزش‌افزوده بخش صنعت: شاخص ارزش‌افزوده با توجه به داده‌ها و ستانده‌های این بخش محاسبه شده است. براساس اطلاعات موجود، ارزش افزوده این بخش در سال ۱۳۷۹ معادل۵۱۸۷۲ میلیارد ریال بوده است و در سال ۱۳۸۸ به ۱۶۳۴۲۵ میلیارد ریال افزایش یافته است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸). براساس الگوی طراحی شده، ارزش افزوده بر شاخص شدت انرژی بخش صنعت اثرگذار است و میزان آن را تعیین می کند. از طرفی ارزش‌افزوده تعیین‌کننده حجم انرژی مصرفی در دوره‌های آینده خواهد بود که بر نرخ مصرف انرژی آینده اثر می‌گذارد. بنابراین عامل قطبیت این حلقه بصورت تعادلی خواهد بود (حلقه B7، شکل پیوست ۱).

شدت انرژی[1]: شدت انرژی از تقسیم انرژی مصرفی بر ارزش‌افزوده به دست می‌آید. این شاخص نشان می‌دهد که برای ایجاد یک واحد ارزش‌افزوده چه مقدار انرژی مصرف شده است. محاسبه اطلاعات واقعی شدت انرژی نشان می‌دهد که شاخص شدت انرژی در کلیه بخشهای کشور رو به افزایش بوده است که نشان‌دهنده بهبود منفی مصرف انرژی است. مقایسه این شاخص در بخش صنعت با سایر بخشها نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب آن در سالهای گذشته است. اگرچه شاخص شدت انرژی در بخش صنعت بطور متوسط ۱/۳ برابر سایر بخشها است. اما برعکس سایر بخشها روند شدت انرژی این بخش تقریباً کاهشی بوده است. بطوریکه شاخص شدت انرژی بخش صنعت از ۲/۶۷ در سال ۷۹ به ۲/۳۵ در سال ۱۳۸۸ کاهش یافته است که نشان‌دهنده یک بهبود نسبی در این بخش است (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸). با توجه به نمودار پویایی‌شناسی سیستم، شدت انرژی بر ضریب بهبود مصرف انرژی بخش صنعت اثرگذار خواهد بود و مصرف انرژی این بخش را در دوره‌های آینده تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (حلقه B8، شکل پیوست ۱).

محیط‌زیست و هزینه‌های اجتماعی: روند فعلی مصرف انرژی،کشور را با دو بحران بزرگ آلودگی محیط‌زیست و شتاب کاهش منابع انرژی روبرو نموده است. علاوه بر این، پدیده تغییرات آب و هوایی و تجدیدناپذیری این منابع از چالشهای اصلی مصرف انرژی است که در سالهای اخیر بر اثر الگوی نادرست مصرف و توسعه ناپایدار با شدت بیشتری ادامه داشته است. هزینه اجتماعی هزینه‌ای است که بابت اثرات تخریب کننده آلاینده‌های زیست‌محیطی بر اکوسیستم ایجاد می‌شود. براساس گزارش بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف انرژی در ایران در سال ۱۳۸۷ معادل۱۰۰۷۲۷ میلیارد ریال بوده است که تقریباً معادل ۲۰/۱ تولید ناخالص داخلی کشور در این سال بوده است. بر این اساس میزان آلودگی ناشی از مصرف انرژی در بخش صنعت در سال ۱۳۷۹ معادل ۵۹۲۱۱۸۵۱ تن بوده است که در سال ۱۳۸۸ به ۱۲۴۰۴۰۹۳۵ تن رسیده است.

1. Energy Intensive

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

هزینه ایجاد این آلاینده‌ها برای بخش صنعت در سال ۱۳۷۹ معادل ۱۲۲۸۳ میلیارد ریال بوده است که تا سال ۱۳۸۸ به ۲۳۳۰۷ میلیارد ریال[1] افزایش یافته است. ملاحظه می‌گردد که هزینه‌های زیست‌محیطی این بخش حدود ۲۱ درصد ارزش‌افزوده بوده است(ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸).

با توجه به ارزیابی مصرف انرژی و اثرات متعدد آن بر محیط‌زیست، براساس نمودار پویایی‌های سیستم، مصرف انرژی براساس نرخ ایجاد آلودگی منجر به ایجاد سطح آلودگی می‌شود. سطح آلودگی نیز با توجه به شاخص ایجاد هزینه آلودگی، هزینه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در نهایت با توجه به اینکه قطبیت این حلقه حالت تعادلی دارد، هزینه‌های آلودگی منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شوند تا بر این اساس تعادل در سیستم حفظ شود. بدیهی است که با کاهش مصرف، میزان آلودگی کاهش یافته و این موضوع به سلامت محیط‌زیست و جامعه کمک می‌کند. با توجه به اثر مصرف انرژی بر شرایط زیست‌محیطی، هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف انرژی نیز اثر مهمی بر سطح جامعه و سطح تولید ناخالص داخلی خواهد داشت. همچنین جهت محاسبه سرانه آلودگی محیط‌زیست، با توجه به جمعیت سرانه آلودگی به ازاء هر نفر محاسبه می‌شود.(حلقهB5، شکل ۱ و حلقه B6، شکل پیوست ۱).

۳.٤. طراحی نمودار پویایی‌های سیستم و تعیین وضعیت متغیرها

با توجه به روابط بین متغیرها، در این مرحله ارتباط سیستمی کل متغیرهای تعریف شده در قالب روابط علت و معلولی و همچنین وضعیت هر متغیر در نمودار پویایی‌های سیستم مشخص می‌شود(شکل پیوست۱). متغیرهای مورد استفاده در این الگو به سه گروه تقسیم می‌شوند:

-*متغیرهای حالت*[2]: این متغیرها نشان‌دهنده انباشت در یک دوره زمانی می‌باشند و در طول زمان براساس متغیر نرخ، افزایش و یا کاهش می‌یابند. مهمترین متغیرهای حالت تعریف شده در این الگو عبارتند از: سطح تقاضای انرژی، سطح مصرف انرژی بخش صنعت، سطح آلاینده‌های زیست‌محیطی و...

-*متغیرهای نرخ*[3]: این متغیرها تعیین‌کننده متغیرهای حالت در سیستم می‌باشند. مانند نرخ تولید انرژی، نرخ ایجاد آلاینده‌های زیست‌محیطی، نرخ مصرف انرژی و...

---

۱. برای محاسبه میزان هزینه‌های اجتماعی از اطلاعات شاخصهای بانک جهانی و سازمان محیط‌زیست استفاده شده است.

2. State Variables
3. Rate Variables

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

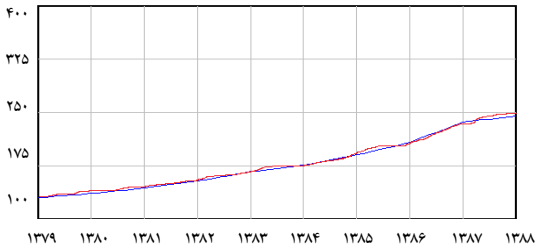
- *متغیرهای کمکی*[1]: این متغیرها حاوی متغیرهای دیگر بوده و مقدار آنها مستقل از مقدار متغیرها در دوره‌های زمانی قبل است. مانند شدت انرژی، ارزش‌افزوده، هزینه‌های زیست‌محیطی، سطح GDP کشور و....

٤.٤. شبیه‌سازی و اعتبار سنجی الگو

پس از تعریف روابط بین متغیرها، اعتبار الگوی طراحی شده مورد ارزیابی قرار گرفت تا از عملکرد مطلوب آن اطمینان حاصل شود. برای اطمینان از اعتبار عملکرد الگو و روابط تعریف شده، آزمونهای متعددی توسط نرم‌افزار Vensim DSS انجام شد. که نتایج آنها به شرح زیر است:

١.٤.٤. آزمون رفتار مجدد[2]

هدف از از این آزمون مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی جهت اطمینان از صحت عملکرد رفتار الگو است. به‌عبارتی دیگر در این حالت رفتار شبیه‌سازی شده برای الگو باز تولید می‌گردد تا با داده‌های واقعی مقایسه شود. همانطور که در شکل شماره ۴ و۵ ملاحظه می‌شود، اطلاعات واقعی و نتایج شبیه‌سازی متغیر مصرف انرژی و سطح آلودگیهای زیست‌محیطی در سالهای ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۸ نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهد که رفتار متغیرهای مورد بررسی به خوبی شبیه‌سازی شده است.

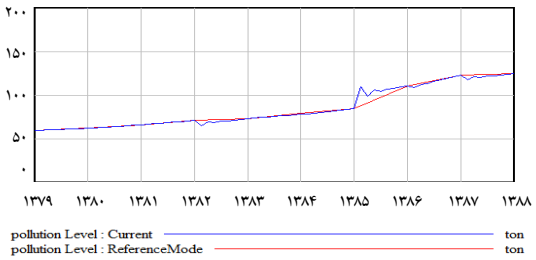


شکل ٤ . آزمون رفتار الگو برحسب متغیر مصرف انرژی

منبع:یافته‌های پژوهش

1. Auxiliary Variables
2. Behavioral Reproduction Test

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]



شکل ۵. آزمون رفتار الگو بر حسب متغیر میزان تولید آلودگی

منبع:یافته‌های پژوهش

۲.٤.٤. آزمون محاسبه میزان خطا

علاوه بر بازتولید رفتار الگو برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی شده، خطای متغیرهای کلیدی نیز براساس روشهای زیر محاسبه شد.

- حداقل خطای مجذورات[1] (RMSPE)

براساس این شاخص هر چه میزان تفاوت بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده کمتر باشد. به نتایج شبیه‌سازی بیشتر می‌توان اعتماد کرد. میزان خطا در این روش براساس فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}\left(\frac{y_{T+i}^{s} - y_{T+i}^{a}}{y_{T+i}^{a}}\right)^2} * 100 \qquad (۱)$$

در این فرمول :

y_{T+i}^{s} : نتایج شبیه‌سازی متغیر الگو

y_{T+i}^{a} : داده‌های واقعی و θ نشان‌دهنده تعداد مشاهدات است.

بر این اساس هر چه میزان RMSPE به صفر نزدیکتر باشد به مفهوم خطای کمتر است و نزدیک بودن به ۱۰۰ درصد نیز نشان‌دهنده خطای بالا است(استرمن،۲۰۰۰).

- شناسایی ریشه‌های خطا

با توجه به اهمیت خطا در پیش‌بینی، شناخت منابع خطا و کاهش آن می‌تواند در افزایش اعتماد به نتایج الگو بسیار موثر باشد. تیلز[1] (۱۹۶۶) ریشه‌های خطا، را ناشی از سه عامل می‌داند:

1. Root Mean Square Percent Error

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

۱- خطای مبنا[2]: زمانی که خروجیهای الگو با داده‌ها با هم سنخیت نداشته باشند این خطا ایجاد می‌شود که خطای سیستماتیک نامیده می‌شود.

۲- خطای انحراف[3]: زمانی که واریانسهای داده‌های واقعی و شبیه‌سازی با هم تفاوت زیادی داشته باشند. ریشه این خطا نیز ممکن سیستماتیک باشد.

۳- خطای نابرابری کوواریانسها[4]: زمانی که نتایج الگو و داده‌ها با هم همبستگی نداشته باشند، این خطا ایجاد می‌شود که اصطلاحاً خطای غیرسیستماتیک نامیده می‌شود.

در حالت بهینه هر چقدر که میزان خطای سیستماتیک و غیرسیستماتیک کمتر شود به مفهوم صحت عملکرد الگوی شبیه‌سازی است. اما مجموع این خطاها باید برابر ۱ باشد(استرمن،۲۰۰۰). برای محاسبه ریشه‌های خطا از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$U^{m} = (\overline{Y}^{s} - \overline{Y}^{a})^{2} / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(Y_{T+i}^{s} - Y_{T+i}^{a})^{2}] \quad (۲)$$

$$U^{s} = (SSD - ASD)^{2} / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(Y_{T+i}^{s} - Y_{T+i}^{a})^{2}] \quad (۳)$$

$$U^{c} = [2*(1-r)*(SSD*ASD)] / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(Y_{T+i}^{s} - Y_{T+i}^{a})^{2}] \quad (۴)$$

در این روابط:

$\overline{Y}^{a}$: متوسط اطلاعات واقعی

$\overline{Y}^{s}$: متوسط اطلاعات شبیه‌سازی

y_{T+i}^{s}: نتایج شبیه‌سازی متغیر الگو

y_{T+i}^{a}: داده‌های واقعی و θ نشان‌دهنده تعداد مشاهدات است.

همچنین SSD[5] انحراف معیار نتایج شبیه‌سازی شده و ASD[6] انحراف داده‌های واقعی است.

1. Theils
2. Deviation Error
3. Unequity Covariance
4. Theils Inequality Coefficient
5. Simulation Standard Deviation
6. Actual Standard Deviation

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

نتایج حاصل از آزمونهای محاسبه خطادر جدول ۱ بر حسب متغیرهای کلیدی الگو نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد میزان خطا در کلیه متغیرهای مورد بررسی در سطح قابل قبولی است.

جدول ۱. نتایج آزمون خطاهای الگو بر حسب دوره شبیه‌سازی

شاخص آزمون خطا / متغیرهای کلیدی الگو	حداقل خطای مجذورات (RMSPE) درصد	شاخص نابرابری UT	محاسبه ریشه‌های خطا		
			U^m	U^s	U^c
تولید انرژی	۴	./۰۰۰۴	./۰۰۶	./۰۱۶	./۹۸
مصرف انرژی کل	۱۵/۴	./۰۰۱۶	./۰۱۲	./۰۱۶	./۹۷
ارزش‌افزوده صنعت	۱	./۰۰۸	./۰۰۳	./۰۰۴	./۹۹۳
مصرف انرژی صنعت	۲/۷۷	./۰۲۹	./۰۰۲۵	./۱۱۶	./۸۸۱
هزینه انرژی مصرفی	۹/۵	./۰۶۴	./۰۶۸	./۰۳۶	./۸۹۶
شدت انرژی	۱/۸۲	./۰۱۳	./۱۶	./۱۸	./۶۶
تولید موادآلاینده	۱/۰۳	./۰۰۶	./۰۴۸	./۰۱۳۶	./۹۴
هزینه‌های اجتماعی موادآلاینده	۷/۳	./۰۴۸	./۰۰۴۴	./۲	./۷۹۶

منبع: یافته‌های پژوهش

۳.٤.٤. آزمون بازه زمانی

هدف از اجرای این آزمون اطمینان از تطبیق الگو با تغییرات دوره زمانی است. با توجه به اینکه معمولاً با افزایش دوره شبیه‌سازی، دقت شبیه‌سازی کاهش می‌یابد، بنابراین دقت نتایج شبیه‌سازی ممکن است تحت‌تأثیر دوره زمانی قرار گرفته و کاهش یابد. برای اطمینان از عدم تحت تاثیر قرار گرفتن نتایج الگو از بازه زمانی، دوره زمانی تا سال ۱۴۱۴ در نظر گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده صحت رفتار الگو در سالهای آینده بود. به‌عبارتی دیگر با افزایش دوره زمانی ارتباط بین متغیرها یک باره دچار تغییرات شدید نخواهد شد.

۵.٤. شبیه‌سازی متغیرهای کلیدی

با توجه به ارتباط متقابل و شناخت رفتار متغیرهای اصلی، این الگو بر حسب سالهای ۱۳۷۹ الی ۱۴۰۴ طی یک دوره ۲۵ ساله بااستفاده از نرم‌افزار Vensim DSS شبیه‌سازی و بر این اساس روند متغیرهای کلیدی به شرح زیر مشخص شد.

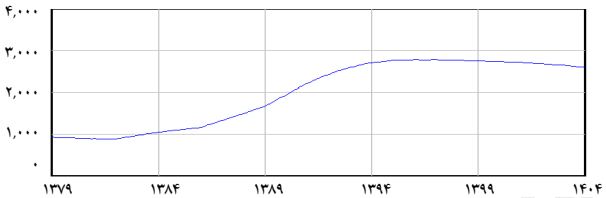
- تولید انرژی

براساس نتایج شبیه‌سازی الگو در شکل ۶، میزان تولید انرژی در سال ۱۳۷۹ برابر با ۹۱۴ میلیون بشکه است که در سال ۱۳۸۸ به ۱۵۲۸ میلیون بشکه و در سال ۱۴۰۴ به ۲۶۰۰ میلیون بشکه افزایش خواهد یافت. همانطور که در شکل

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

ملاحظه می‌گردد میزان تولید انرژی از سال ۱۳۹۹ تا پایان دوره تقریباً روندی نزولی را طی می‌کند. این تغییر بدلیل محدودیتهای تولید است که باعث می‌شود حجم تولید انرژی کاهش یابد. با توجه به اینکه روند تولید انرژی در انتهای دوره شبیه‌سازی بصورت کاهشی است، اتخاذ برنامه‌ریزیهای لازم برای بهبود تولید انرژی امری ضروری محسوب می‌شود.



شکل ٦ . تولید انرژی بر حسب دوره شبیه‌سازی

منبع:یافته‌های پژوهش

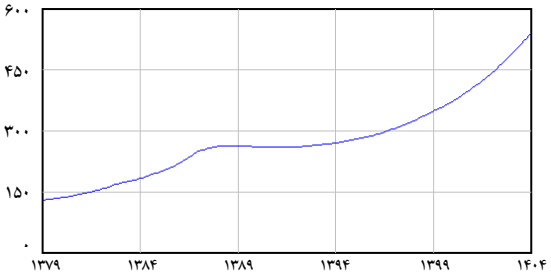
- مصرف انرژی

نتایج شبیه‌سازی در شکل ۷ نشان می‌دهد که مصرف انرژی کل درسال ۱۳۷۹ معادل ۶۲۰ میلیون بشکه بوده است و در سال ۱۴۰۴ به ۲۱۵۰ میلیون بشکه در سال خواهد رسید. ضمن اینکه مصرف انرژی نیز تا پایان دوره شبیه‌سازی بجز یک مقطع کوتاه‌مدت در زمان هدفمندی یارانه‌های انرژی که بصورت کاهشی بوده، همواره بصورت افزایشی است. مقایسه میزان تولید با مصرف انرژی نشان می‌دهد که در ابتدای دوره شبیه‌سازی(سال ۱۳۷۹) نسبت مصرف انرژی به تولید انرژی ۶۷ ٪ بوده است اما با یک شیب افزایشی تا پایان دوره مورد بررسی این نسبت به ۸۳٪ خواهد رسید. به عبارتی دیگر نزدیک به ۸۳٪ از انرژی تولیدی بصورت داخلی مصرف خواهد شد. این موضوع از طرفی نشان‌دهنده کاهش حجم تولید انرژی بوده است و از طرفی افزایش میزان مصرف آن را نشان می‌دهد. بر این اساس با توجه به حجم بالای مصرف انرژی داخلی، امکان کمتر صادرات آن فراهم بوده و این موضوع درآمدهای نفتی آینده و وضعیت کل اقتصاد را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

بر این اساس مصرف انرژی بخش صنعت در سال ۱۳۷۹ برابر با ۱۳۰ میلیون بشکه بوده است که در سال ۱۴۰۴ به ۵۴۲ میلیون بشکه افزایش خواهد یافت(شکل ۷). این تغییرات نشان می‌دهد که مصرف انرژی این بخش نسبت به سال پایه، تقریباً رشدی معادل۱۲/۵درصد در هر سال خواهد داشت. همانطور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها در سالهای ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۴ مصرف انرژی نسبت به سالهای قبل تا حدی کاهش یافته است. این کاهش در مصرف انرژی خانوارها نسبت به بخش صنعت بیشتر

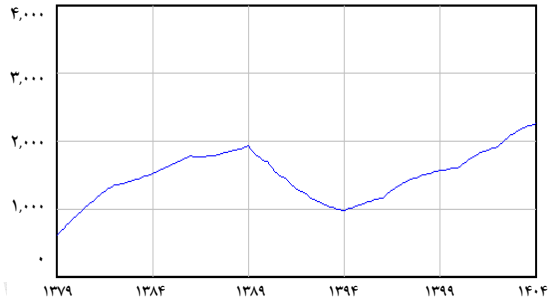
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

محسوس است. علت اصلی آن به این دلیل است که کشش مصرفی خانوارها نسبت به بخش صنعت بیشتر بوده و با افزایش هزینه انرژی، خانوارها نسبت به مصرف انرژی کنترل بیشتری دارند. اما بخش صنعت برای کاهش مصرف انرژی خود مجبور است که نسبت به تغییر تکنولوژی اقدام نماید که این موضوع بدلیل نیاز به سرمایه‌گذاری کلان، در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نخواهد بود.



شکل ۷. شبیه‌سازی مصرف انرژی در کلیه بخشها

منبع:یافته‌های پژوهش



شکل ۸. شبیه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت

منبع:یافته‌های پژوهش

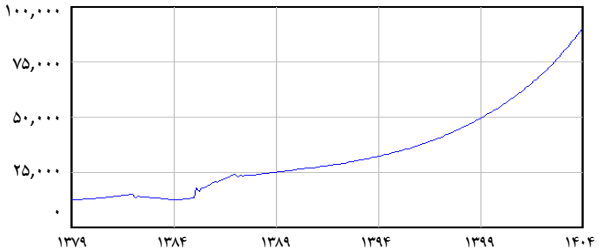
-تولید آلاینده‌ها و هزینه‌های زیست‌محیطی

میزان تولید آلاینده‌ها در سال پایه(۱۳۷۹) ۲۸۳ میلیون‌تن بوده است که در سال ۱۳۸۸ به ۵۶۰ میلیون‌تن افزایش یافته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی(شکل ۹) نشان می‌دهد که آلاینده‌های زیست‌محیطی در سال ۱۴۰۴ به ۱۱۸۵ میلیون‌تن افزایش خواهد یافت. بر این اساس میزان تولید آلاینده‌های ناشی از مصرف انرژی بخش صنعت در سال ۱۳۷۹ برابر با ۵۹/۲ میلیون تن است و در سال ۱۴۰۴ به ۲۶۷ میلیون‌تن افزایش خواهد یافت که نسبت به سال ۱۳۸۸ تقریبا ۴/۵ برابر شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی تا پایان دوره شبیه‌سازی متناسب با افزایش مصرف دارای روندی صعودی است. علاوه بر این شاخص سرانه آلایندگی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

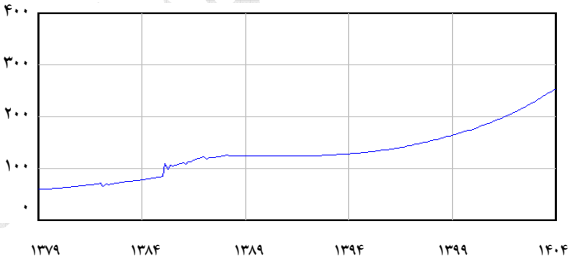
نیز که نشان‌دهنده میزان آلایندگی تولیدی به ازا هر نفر در کشور است نیز در طول دوره همواره رو به افزایش بوده است. با توجه به تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی بخش صنعت در سال ۷۹، سرانه آلودگی به ازاء هر نفر تقریبا برابر ۲۲۵ کیلوگرم بوده است. بر این اساس با توجه به افزایش جمعیت تا سال ۱۴۰۴ به ۸۸/۱۹ میلیون‌نفر، سرانه آلاینده‌های انرژی مصرفی بخش صنعت برابر با ۱۱۹۰ کیلوگرم خواهد بود.

نتایج شبیه‌سازی هزینه‌های زیست‌محیطی مصرف انرژی بخش صنعت در شکل ۱۰ نشان می‌دهد با توجه به تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های ناشی از این آلاینده‌ها در سال ۷۹ برابر با ۱۲۲۸۳ میلیارد ریال بوده است که تا سال ۱۴۰۴ به ۹۰۳۱۶ میلیاردریال افزایش می‌یابدکه معادل ۲۷٪ ارزش‌افزوده این بخش خواهد بود.



شکل ۹. نتایج شبیه‌سازی تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی

منبع:یافته‌های پژوهش



شکل ۱۰. نتایج شبیه‌سازی تولید هزینه‌های زیست‌محیطی

منبع:یافته‌های پژوهش

- شدت انرژی

شاخص شدت انرژی نشان‌دهنده میزان مصرف انرژی به ازاء ارزش‌افزوده است. نتایج شبیه‌سازی(شکل ۱۱) نشان می‌دهد که در ابتدای دوره مورد بررسی به ازاء تولید ۱ میلیون‌ریال ارزش‌افزوده، ۲/۶۷ بشکه نفت مصرف شده است که در سال ۱۳۸۸ به ۲/۶۸۵ و در سال ۱۴۰۴ به ۲/۷۰۴ بشکه نفت افزایش یافته است.

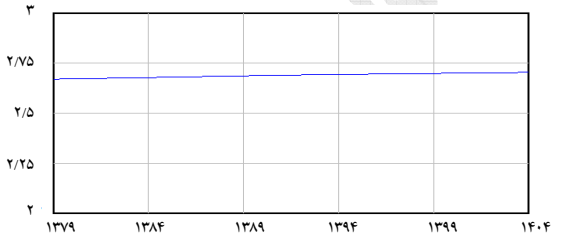
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

برحسب نتایج حاصل شدت انرژی در بخش صنعت مانند سایر بخشها نه تنها بهبود نیافته است بلکه افزایش نیز داشته است. از آنجا که افزایش این شاخص بر مصرف انرژی موثر است. این تاثیرات دو جانبه در نهایت منجر به مصرف انرژی بیشتری در دوره‌های آینده خواهد شد.

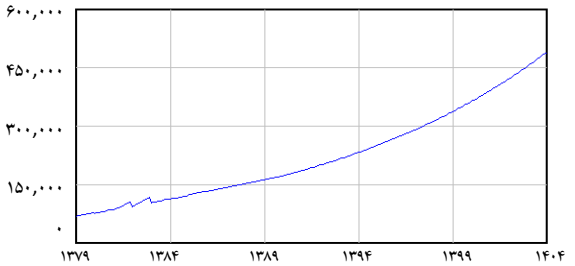
-ارزش‌افزوده بخش صنعت

نتایج شبیه‌سازی الگو در شکل ۱۲ نشان می‌دهد که ارزش‌افزوده بخش صنعت در سال ۱۳۷۹ برابر با ۶۷۹۵۲ میلیارد ریال بوده است که در سال ۱۳۸۸ به ۱۵۲۵۳۵ و سال ۱۴۰۴ نیز به ۴۹۰۶۲۷ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت که تقریباً بطور متوسط سالیانه رشدی معادل ۱۸ درصد خواهد داشت. ارزش‌افزوده این بخش نیز نهایتاً بر ارزش‌افزوده کل موثر است. از طرفی ارزش‌افزوده بر شاخص شدت انرژی تاثیر داشته و باعث کاهش آن می‌شود. با توجه به روابط دینامیکی الگوی مورد نظر از آنجا که مصرف انرژی بر هزینه‌های بخش صنعت تاثیرگذار است، این هزینه‌ها ارزش‌افزوده را کاهش خواهند داد، اثر متقابل ارزش‌افزوده بر شدت انرژی منجر به کاهش بیشتر ارزش‌افزوده خواهد شد.



شکل ۱۱. نتایج شبیه‌سازی شدت انرژی بخش صنعت

منبع:یافته‌های پژوهش



شکل ۱۲. نتایج شبیه‌سازی ارزش‌افزوده بخش صنعت

منبع:یافته‌های پژوهش

در جدول ۲ نتایج نهایی الگو بر حسب افق شبیه‌سازی نشان داده شده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

جدول ۲. مقایسه نتایج متغیرهای کلیدی در سال پایه با افق برنامه‌ریزی کشور در سال ۱٤۰٤

ردیف	نام شاخص	واحد	وضعیت در سال ۱۳۸۸	وضعیت در سال ۱٤۰٤	روند تغییرات
۱	تولید انرژی کل	میلیون بشکه نفت خام-سالیانه	۱۵۲۸	۲۶۰۰	افزایشی، با رشد سالیانه ۳/۷ درصد نسبت به سال پایه
۲	مصرف انرژی کل بخشها	میلیون بشکه نفت خام-سالیانه	۱۱۶۶	۲۱۵۰	افزایشی، با رشد سالیانه ۴/۳ درصد نسبت به سال پایه
۳	مصرف انرژی بخش صنعت	میلیون بشکه نفت خام-سالیانه	۲۵۸	۵۴۲	افزایشی، با رشد سالیانه ۵ درصد نسبت به سال پایه
۴	تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی کل بخشها	میلیون تن-سالیانه	۵۶۰	۱۱۸۵	افزایشی، با رشد سالیانه ۵ درصد نسبت به سال پایه
۵	تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی بخش صنعت	میلیون تن-سالیانه	۱۲۴	۲۶۷	افزایشی، با رشد سالیانه ۵/۱ درصد نسبت به سال پایه
۶	سرانه آلودگی تولید آلاینده‌های بخش صنعت	کیلوگرم-سالیانه	۴۵۲	۱۱۹۰	افزایشی، با رشد سالیانه ۵/۷ درصد نسبت به سال پایه
۷	هزینه آلودگی تولید آلاینده‌های بخش صنعت	میلیاردریال-سالیانه	۴۱۰۰۷	۹۰۳۱۶	افزایشی، با رشد سالیانه ۵/۲ درصد نسبت به سال پایه
۸	شدت انرژی بخش صنعت	بشکه نفت خام به میلیون‌ریال-سالیانه	۲/۶۸۵	۲/۷۰۴	افزایشی، با رشد سالیانه ۰/۰۰۴ درصد نسبت به سال پایه
۹	ارزش افزوده بخش صنعت	میلیاردریال-سالیانه	۱۵۲۵۳۵	۴۹۰۶۲۷	افزایشی، با رشد سالیانه ۵/۵ درصد نسبت به سال پایه

منبع: یافته‌های پژوهش

٦.٤. سیاست‌گذاری جهت بهینه‌سازی متغیرهای کلیدی الگو

هدف این مرحله بهینه‌سازی متغیرهای کلیدی بر حسب سیاستگذاری‌های مختلف است. بنابراین متغیرهایی که افزایش آنها بهینه است، در جهت مثبت افزایش می‌یابند و متغیرهایی که کاهش آنها مطلوب است، در جهت منفی کاهش می‌یابند. از آنجا که در حال حاضر در سال **۱۳۹۱** قرار داریم، بنابراین منطقی است که این تغییرات را از همین سال در الگو اعمال کنیم. چون برگشت به سالهای قبل جهت اجرای سیاستهای بهینه‌سازی امکان‌پذیر نیست. با توجه به متغیرهای اثرگذار و سناریوهای مختلف نتایج الگو برحسب چند متغیر اصلی ارزیابی می‌شود:

- سیاست کاهش شدت انرژی بر مصرف انرژی در بخش صنعت

شدت انرژی براساس وضعیت موجود در سال۱۳۹۱ معادل۲/۶۹ است. بر این اساس علاوه بر ارزیابی وضعیت موجود، دو سیاست بهینه‌سازی اتخاذ گردید: ۱- کاهش سالانه ۵ درصد شدت انرژی و۲- کاهش سالانه ۱۰ درصد شدت انرژی. نتایج اجرای این سناریوها نشان می‌دهد که:

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

– بر حسب ادامه سیاست وضعیت موجود، مصرف بخش صنعت در سال ۱۳۹۱ معادل ۲۶۰ میلیون بشکه است که در افق ۱۴۰۴ به ۵۴۷ میلیون بشکه افزایش خواهد یافت.

– با کاهش سالانه ۵ درصد شدت انرژی از سال ۱۳۹۱، مصرف بخش صنعت در افق ۱۴۰۴ به ۴۴۰ میلیون بشکه کاهش خواهد یافت.

– با کاهش سالانه ۱۰ درصد شدت انرژی از سال ۱۳۹۱، مصرف بخش صنعت در افق ۱۴۰۴ به ۳۹۵ میلیون بشکه کاهش خواهد یافت.

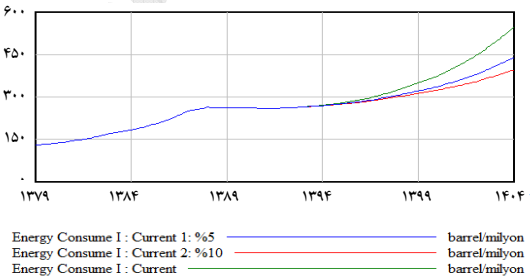
تاثیر کاهش شدت انرژی برآلایندهای بخش صنعت نیز نشان می‌دهد:

– بر حسب ادامه سیاست وضعیت موجود، میزان آلاینده‌های بخش صنعت در سال ۱۳۹۱ معادل ۱۲۳ میلیون‌تن است که در افق ۱۴۰۴ به ۲۵۷ میلیون‌تن افزایش خواهد یافت.

– با کاهش سالانه ۵ درصد شدت انرژی از سال ۱۳۹۱، میزان آلاینده‌های بخش صنعت در افق ۱۴۰۴ به ۲۰۷ میلیون‌تن کاهش خواهد یافت.

– با کاهش سالانه ۱۰ درصد شدت انرژی از سال ۱۳۹۱ میزان آلاینده‌های بخش صنعت در افق ۱۴۰۴ به ۱۸۶ میلیون‌تن کاهش خواهد یافت.

در شکل شماره ۱۳ و ۱۴ تغییرات نرخ شدت انرژی بر مصرف انرژی بخش صنعت و تولید سطح آلودگی بر اساس سه سناریو پیشنهادی ارائه شده است.

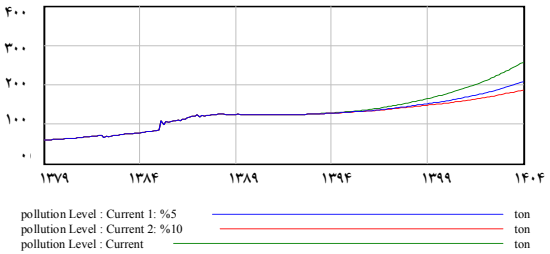


شکل ۱۳. نتایج تغییرات شدت انرژی بر مصرف بخش صنعت

منبع:یافته‌های پژوهش

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]



شکل ١٤. نتایج تغییرات شدت انرژی برآلودگی محیط‌زیست

منبع:یافته‌های پژوهش

- سیاست افزایش نرخ کارآیی بخش صنعت

هدف از اجرای این سیاست بررسی تغییرات نرخ کارآیی[1] انرژی بخش صنعت بر ارزش‌افزوده این بخش است. با توجه به اینکه نسبت کارآیی انرژی این بخش در سال ۱۳۹۱ برابر با ۱/۹ می‌باشد دو سیاست بهینه‌سازی اتخاذ شد: ۱- افزایش سالانه ۱ درصد نرخ کارآیی و ۲- افزایش سالانه ۵ درصد نرخ کارآیی. نتایج اجرای این سناریوها نشان می‌دهد که:

-بر حسب ادامه سیاست وضعیت موجود(خط سبز رنگ)، ارزش‌افزوده بخش صنعت در افق ۱۴۰۴ به ۴۹۰ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت.

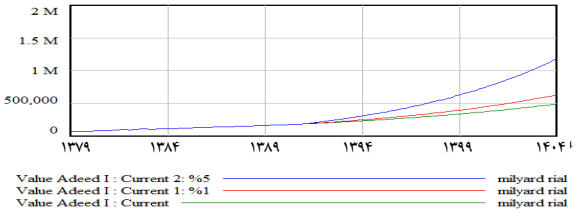
-با افزایش سالانه ۱ درصد نرخ کارآیی(خط قرمز رنگ)، از سال ۹۱، ارزش‌افزوده این بخش در افق ۱۴۰۴ به ۶۲۸ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت.

-با افزایش سالانه ۵ درصد نرخ کارآیی(خط آبی رنگ)، از سال ۹۱، ارزش‌افزوده این بخش در افق ۱۴۰۴ به ۱۱۷۸ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت.

در شکل ۱۵و ۱۶ و جدول ۳ نتایج تغییرات نرخ کارآیی و ارزش‌افزوده در بخش صنعت براساس سه سناریو پیشنهادی ارائه شده است.

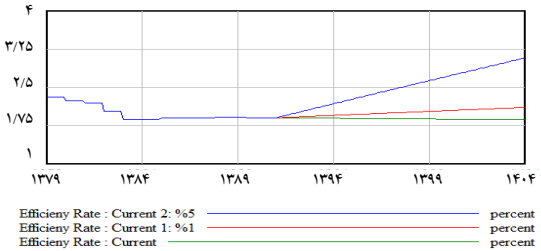
۱. منظور از نرخ کارایی، شاخصی است که براساس آن ورودیها تبدیل به خروجی می‌شوند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]



شکل ۱۵. سیاستهای تغییر نرخ کارآیی انرژی

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۱۶. ارزیابی سیاستهای تغییر نرخ کارآیی بر ارزش‌افزوده صنعت

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۳. نتایج بررسی سناریوهای مختلف بر متغیرهای کلیدی الگوی مورد بررسی

شاخص مرتبط	سیاست پیشنهادی	تغییرات مصرف انرژی بخش صنعت در افق ۱۴۰۴	تغییرات تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی بخش صنعت در افق ۱۴۰۴	تغییرات ارزش‌افزوده بخش صنعت در افق ۱۴۰۴
شدت انرژی	ادامه وضعیت موجود	۵۴۷ میلیون بشکه	۲۵۷ میلیون تن	–
شدت انرژی	کاهش سالیانه ۵٪ شدت انرژی	کاهش مصرف به میزان ۴۴۰ میلیون بشکه	کاهش آلاینده‌ها به ۲۰۷ میلیون تن	–
شدت انرژی	کاهش سالیانه ۱۰٪ شدت انرژی	کاهش مصرف به میزان ۳۹۵ میلیون بشکه	کاهش آلاینده‌ها به ۱۸۶ میلیون تن	–
نرخ کارآیی	ادامه وضعیت موجود	–	–	۴۹۰ میلیارد ریال
نرخ کارآیی	افزایش سالیانه ۱٪ نرخ کارآیی	–	–	افزایش به ۶۲۸ میلیارد ریال
نرخ کارآیی	افزایش سالیانه ۵٪ نرخ کارآیی	–	–	افزایش به ۱۱۷۸ میلیارد ریال

منبع: یافته‌های پژوهش

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

یکی از اهداف اصلی این تحقیق بررسی تغییرات روند مصرف انرژی بخش صنعت در افق برنامه‌ریزی ۱۴۰۴ و ارائه سیاستهای پیشنهادی جهت افزایش کارآیی استفاده از انرژی در این بخش بود. با توجه به ساختار

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

انرژی‌بر بودن صنایع کشور، در حال حاضر نزدیک به ۹۵ درصد انرژی مصرفی این بخش از طریق سوختهای فسیلی تامین می‌گردد، با ادامه وضعیت موجود، کشور ما در آینده از مصرف انرژی در وضعیت مطلوبی قرار نخواهد داشت. بنابراین جهت‌گیری سیاستی این صنایع باید به سمت تغییر تکنولوژی و کاهش مصرف انرژی سوق داده شود. زیرا در صورت ادامه وضعیت موجود و با توجه به افزایش قیمت انرژی در آینده، این بخش هم از نظر ارزش‌افزوده و هم رقابت در سطح ملی و بین‌المللی با مشکل مواجه خواهد شد. بنابراین هزینه‌های این بخش در مقایسه با ارزش‌افزوده آن در بلندمدت روند افزایشی خواهد داشت که نتیجه نهایی آن افزایش بیشتر شاخص شدت انرژی این بخش خواهد بود. بنابراین در صورت عدم برنامه‌ریزی مناسب برای تغییر تکنولوژی و روشهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ادامه فعالیت صنایع انرژی بر در این حالت منطقی به نظر نمی‌رسد و این صنایع به مرور زمان از چرخه تولید کشور حذف خواهند شد. در این شرایط لزوم تغییر تکنولوژی صنایع انرژی‌بر در بلندمدت ضروری بنظر می‌رسد.

ادامه روند مصرف انرژی کشور در بخشهای مختلف مخصوصاً بخش صنعت در آینده نشان می‌دهد که تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن در افق ۱۴۰۴ نه تنها کاهش نمی‌یابد، بلکه با یک شیب صعودی همواره رو به افزایش خواهد بود. بر این اساس انطباق تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی با منحنی کوزنتس(۱۹۵۵) نشان می‌دهد که روند تولید آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی در کشور ما مانند مراحل توسعه صنعتی کشورهای پیشرفته از منحنی کوزنتس تبعیت نخواهد کرد. اما این فرآیند با مطالعه‌ای که توسط عالم(۲۰۰۷) برای کشور پاکستان تا سال ۲۰۲۰ انجام داده است، تاحدودی تطبیق دارد. به‌عبارتی دیگر کشور ما هنوز در مراحل گذار رشد و توسعه بسر می‌برد و در آینده نیز با افزایش مصرف انرژی، میزان تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی به شدت افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت حفظ شرایط زیست‌محیطی و لزوم توسعه پایدار، این موضوع باید از طرف دولت و برنامه‌ریزان در فرآیند توسعه مورد توجه جدی قرار گیرد و برای کاهش آن برنامه‌ریزیهای لازم انجام شود. به‌عبارتی افزایش تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن در کشور ما در مقایسه با ارزش‌افزوده آن بدلیل دوران‌گذار به توسعه هنوز به‌عنوان یک موضوع مهم تلقی نگردیده است. اما در آینده‌ای نه چندان دور این موضوع به‌عنوان یکی از محورهای اساسی جامعه باید مورد توجه قرار گیرد و لزوم برنامه‌ریزی برای پیشگیری از این بحران در حال حاضر ضروری است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

مطالعات انجام شده در حوزه بهره‌وری انرژی نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی در ایران در سال ۱۳۸۸ معادل ۲۳۸ دلار بود، به عبارت دیگر با مصرف هر بشکه نفت خام ۲۳۸ دلار تولید ناخالص داخلی ایجاد شده است، در حالی که میانگین جهانی این شاخص ۷۳۶ دلار و دراتحادیه اروپا ۱۴۵۲ دلار بوده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۸ صص: ۲۳). این موضوع ضمن اینکه منابع انرژی را در ازاء ارزش‌افزوده کم در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی هدر می‌دهد موجب ایجاد آلاینده‌های زیست‌محیطی و ایجاد هزینه‌های اجتماعی غیرقابل جبرانی می‌گردد. بر این اساس یکی دیگر از نکات اساسی که در بخش صنعت باید مورد توجه قرار گیرد افزایش نرخ کارآیی انرژی است، چون با تغییر درصد پایینی در این نرخ، ارزش‌افزوده این بخش تا حد زیادی افزایش خواهد یافت. بنابراین با در نظر گرفتن نرخ پایین بهره‌وری انرژی موجود و قابلیت افزایش این نرخ و اثر قابل توجه آن بر ارزش‌افزوده بخش صنعت، این امکان با توجه به برنامه‌های مختلف وجود دارد. بعبارت دیگر با افزایش اندکی در این نرخ، ارزش‌افزوده بخش صنعت در حد قابل توجهی افزایش خواهد یافت.

مقایسه میزان تولید با مصرف انرژی نشان می‌دهد که در ابتدای دوره شبیه‌سازی(سال ۱۳۷۹) نسبت مصرف انرژی به تولید انرژی در کشور معادل ۶۷٪ بوده است، اما براساس نتایج شبیه‌سازی این نسبت با یک شیب افزایشی تا افق۱۴۰۴ به ۸۳٪ خواهد رسید. به‌عبارتی دیگر نزدیک به ۸۳٪ از انرژی تولیدی بصورت داخلی مصرف خواهد شد. این موضوع از طرفی نشان‌دهنده کاهش حجم تولید انرژی بوده است و از طرفی افزایش میزان مصرف آن را نشان می‌دهد. بر این اساس با توجه به حجم بالای مصرف انرژی داخلی، امکان کمتر صادرات آن فراهم بوده و این موضوع درآمدهای آینده کشور و وضعیت کل اقتصاد را تحت‌تاثیر قرار خواهد داد. اگرچه مصرف انرژی در زمان اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها تا حدودی کاهش می‌یابد اما میزان آن چندان محسوس نیست و این کاهش مصرف بیشتر بصورت مقطعی خواهد بود. این موضوع نشان می‌دهد که برای کاهش مصرف انرژی مخصوصاً در بخش صنعت اجرای برنامه‌ریزیهای میان‌مدت و بلندمدت بروز کردن فناوری در این بخش ضروری است. با توجه وضعیت فعلی تحریم‌های اقتصادی کشور، اتخاذ سیاستهای لازم در این زمینه و مخصوصاً بومی کردن فناوری بخش صنعت براساس توسعه شرکتهای دانش‌بنیان می‌تواند در این راستا اقدامی اثر بخش باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

منابع و ماخذ

بهبودی، داوود، فیروز فلاحی و اسماعیل برقی‌گلعذانی(۱۳۸۹). عوامل اقتصادی و اجتماعی موثر بر انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن در ایران(۱۳۴۶-۱۳۸۳)، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۹۰، صص۱۷-۱.

بهبودی، داود، سیمین کیانی و سعید ابراهیمی(۱۳۹۰)، رابطه علی انتشار دی‌اکسیدکربن ، ارزش‌افزوده بخش صنعت و مصرف انرژی در ایران، *فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و انرژی*، سال اول، شماره ۱، صص۳۶-۱۴.

شریفی، علی‌مراد، مهدی صادقی، مهدی نفر و زهرا دهقان‌شبانی(۱۳۷۸)، تجزیه شدت انرژی در صنایع ایران، *فصلنامه پژوهشهای اقتصادی در ایران*، شماره ۳۵، صص ۱۱۰-۷۹.

وزارت نیرو(۱۳۸۸)، تراز نامه انرژی سال ۱۳۸۸، معاونت امور انرژی. دفتر برنامه‌ریزیهای انرژی.

معاونت امور اقتصادی(۱۳۸۸)، گزارش روند تولید و مصرف انرژی در ایران، وزات اقتصاد و دارایی.

هراتی، سلمان و کریم اسلاموئیان(۱۳۹۱)، تعیین مالیات زیست‌محیطی بهینه در الگوی رشد تعمیم‌یافته با وجود انتقال تکنولوژی پاک و کیفیت محیط‌زیست: نمونهٔ اقتصاد ایران، *فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، ش ۷، صص ۱۲۶-۹۷.

Alam. S, Fatima. A, Butt M. S.(2007). “Sustainable development in Pakistan in the context of energy consumption demand and environmental degradation”. *Journal of Asian Economics,* No. 18, pp. 825–837.

Ang, B.W.(1994). “Decomposition of industrial energy consumption; The energy intensive approch”. *Energy econonamic*,Vol 16,pp. 163-174.

Ayres, R. and Nair, I. 1984. Thermodynamics and economics. Physics Today, 35: 62-71.

Backus, G. (1996) “*The dynamics of U.S. electric utility deregulation*”, Department of Energy, Office of Utility Technology, Washington, DC, August 1996.

Bekerman.W.(1992). ”Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?”. *World Development*, No 20,pp. 481-496.

Bunn. D, Larsen E.(1997). “*Systems modeling for energy policy*”. Chichester, England: John Wiley and Sons.

By.j and Labak.h(1996), “Feedback and behavioral system”, *Journal of System Review,* No 15,pp.56-68.

Carlos.O.C.(2007). “Temporal and spatial homogeneity in air pollutants panel EKC estimation: Two nonparametric test applied to spanish province”. *MRPA Paper*,No 5043, pp.51-72.

Chung. H.S, Rhee. H.C.(2001). ”A residual-free decomposition of the source of carbon dioxide emission”. *Energy*.Vol.26,pp. 15-30.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

Davidsen. P, Sterman. J, Richardson, G.(1990). "A petroleum life cycle model for the United States with endogenous technology, exploration, recovery, and demand". *System Dynamics Review*,No14,PP.25-32.

Ford, A. (1990) "Estimating the impact of efficiency standards on the uncertainty of the Northwest electric system", *Operations Research*, No. 38,PP34-48.

Forrester, J. W.(1997). "*Building a system dynamic model*". Prepared for the MIT System Dynamic in Education Project, Massachusetts Institute of Technology.

Gardner. J, Elkhafif, A.I.(1993). "Understanding industrial energy use: structural and energy intensity change in ontario". *Energy Economics*. Vol.20.PP.29-41.

Kuznets, S. (1955). "Economic growth and income inequality". *American Economic Review* 45,PP. 1–28.

Naill, R. (1977) "*Managing the energy transition*". Cambridge, MA: Ballinger Publishing Co.

Li, H., Dong, L., Xie, M., (2011). "A Study on the comprehensive evaluation and optimization of how removing gas and electricity subsidies would affect households' living". *Journal of Economic Research*, NO 2, 100-112.

Longbin,Z.(2007),"A system dynamics based study of policies on reducing energy use and energy expense for chinese steel industry", Thesis for Degree of master of philosophy in system dynamics, Department of Geography University of Bergen. China.

Shim J. H (2006), "The reform of energy subsides for the enhancement of marin sustainbility, case of south korea". university of Delaware.

Sterman. J.(2000), "*Business dynamics, systems thinking and modeling for a complex world"*. McGraw-Hill publication.

Stern. D.I(2004)."Energy and economic growth". *Rensselaer working paper,* No 410,PP.112-122.

Oglu.H F(2009). "An econometric study of CO_2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey". *Energy Policy*, Volume 37, Issue 3, Pages 1156–1164.

Talukdar. D, Meisne. C. M.(2012). "Does the private sector help or hurt the environment? evidence from Carbon Dioxide pollution in developing countries". *Development*, Volume, PP. 827–840.

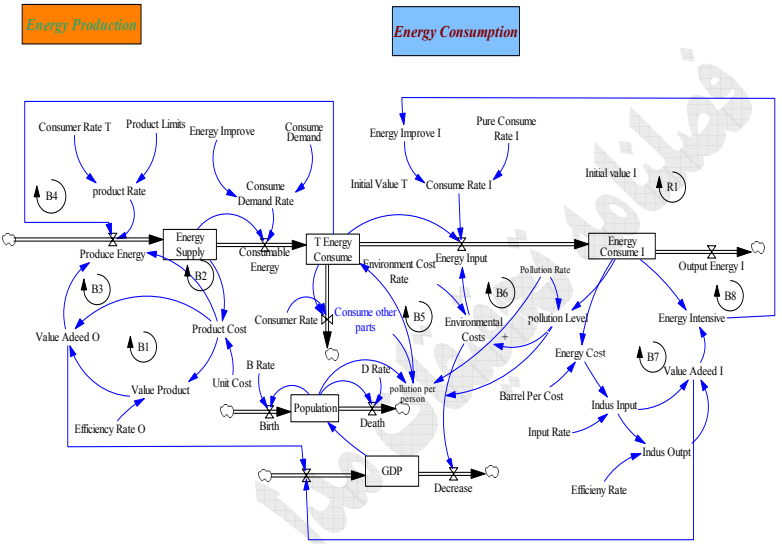
Theil. H, (1966). "*Applied economic forecasting*". Amsterdam: North Holland Publishing.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]

پیوست

الگوی پویایی‌شناسی سیستمی تولید و مصرف انرژی با تاکید در بخش صنعت



[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1392.3.12.7.1]