فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی

سال دوم/ شماره ۲/ بهار ۱۳۹۵/ صفحات ۱۴۱-۱۱۱

طراحی مدل تخصیص نفت و گاز به بخش‌های مختلف مصرف با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها

عالیه کاظمی

استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

aliyehkazemi@ut.ac.ir

مهناز حسین‌زاده

دکتری مدیریت تحقیق در عملیات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

mhosseinzadeh@ut.ac.ir

در این پژوهش به شبیه‌سازی و بررسی سیستم انرژی کشور با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته شده است. بر اساس داده‌ها و نظرات خبرگان شاغل در صنعت انرژی، متغیرهای کلیدی در حوزه نفت و گاز کشور شناسایی و روابط علت و معلولی میان این متغیرها ترسیم شده است. سپس روابط ریاضی میان این متغیرها بر اساس روابط موجود در پیشینه و با استفاده از روش‌هایی همچون رگرسیون تعیین و بر این اساس سیستم مورد نظر، شبیه‌سازی شده است. در نهایت با بررسی و تحلیل موانع مدیریتی و غیرمدیریتی در زمینه سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های موجود در تخصیص منابع انرژی به بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی ـ تجاری، کشاورزی، حمل و نقل، صنعت و نیروگاه‌ها، با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بلندمدت، سناریوهای مختلفی ارائه و شبیه‌سازی شده و سناریویی که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بلندمدت را کاهش می‌دهد به عنوان سناریوی برتر برای اجرا انتخاب شده است. مدل‌سازی پویا و شبیه‌سازی کل سیستم انرژی، امکان بررسی سایر سیاست‌ها و تصمیمات مدیریتی و مشاهده اثرات این تصمیمات در افزایش بهره‌وری سیستم در آینده را برای پژوهشگران و تصمیم‌گیرندگان حوزه انرژی کشور فراهم می‌آورد.

کلمات کلیدی: تخصیص نفت و گاز، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، رویکرد پویایی سیستم.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۳۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه

کشور ایران دارای منابع و ذخایر بزرگ انرژی است. در حال حاضر بیش از ۸۵ میدان نفتی کشف شده در کشور وجود دارد و از لحاظ ذخایر گازی، ایران دومین مقام را در میان کشورهای جهان دارد. منابع دیگر انرژی نیز در کشور به میزان قابل توجهی وجود دارد. روند موجود رشد بی‌رویه مصرف انرژی در کشور، ایران را از یک کشور صادرکننده انرژی به یک کشور واردکننده تا قبل از افق ۱۴۰۰ تبدیل خواهد نمود. برای مقابله با این تهدید، شناسایی موانع مدیریتی و غیرمدیریتی موجود در حوزه انرژی کشور برای بهبود بهره‌وری در مصرف انرژی و اصلاح آنها ضروری است (تولایی، ۱۳۸۸).

افزایش دمای زمین در دهه‌های اخیر باعث بروز مشکلات پیش‌بینی نشده در زندگی انسان‌ها شده است که از آن جمله می‌توان به وقوع سیلاب‌ها، طوفان‌های شدید، ذوب‌شدن یخ‌های قطبی و بالا آمدن آب دریاها و اقیانوس‌ها و به دنبال آن به زیر آب رفتن قسمتی از خشکی‌ها، فرسایش مناطق ساحلی، کوچ اجباری انسان‌ها و حتی تشدید بیماری‌ها اشاره کرد. یکی از مهمترین عوامل گرمایش زمین انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو است که براثر فعالیت‌های بشر ایجاد شده است. مجموعه مسائل و مشکلات یادشده باعث شده تا مقابله با آثار مخرب فعالیت‌های انسان در محیط‌زیست، از دغدغه‌های مهم جهانی به شمار آید، به نحوی که یافتن راهکارهایی برای کاهش یا رفع این خسارت‌ها، بخش مهمی از گفت‌وگوها و مذاکرات بین دولت‌ها را تشکیل می‌دهد. نقطه عطف این گفتگوها در کنوانسیون تغییرات آب و هوا با نام کنوانسیون ساختاری سازمان ملل درباره تغییرات اقلیم در سال ۱۹۹۲ متجلی شده و به عنوان منشور همکاری‌های جامعه بین‌الملل برای مقابله با تغییرات آب و هوایی به تصویب قریب به اتفاق کشورهای جهان رسیده است. دراین زمینه معاهده‌هایی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود دارد که از آن جمله می‌توان به پیمان کیوتو اشاره نمود. این معاهده کشورهای صنعتی را متعهد می‌نماید که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۱۲ به میزان ۵/۲ درصد کمتر از میزان انتشارآن در سال ۱۹۹۰ برسانند. ایران نیز از سال ۱۹۹۶ به عضویت این کنوانسیون درآمده است (امیرفخری، ۱۳۸۹).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

در حال حاضر تصمیمات مدیریتی مربوط به تخصیص نفت و گاز کشور به بخش های مختلف مصرف اغلب به صورت توصیفی اتخاذ می‌گردد و اثرات پویای این تصمیمات در بلندمدت و به‌خصوص آثار غیراقتصادی مانند اثرات زیست محیطی نادیده گرفته می‌شوند. در واقع یکی از موانع موجود در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در این حوزه توجه به اثرات اقتصادی بیش از سایر اهداف است. بنابراین بررسی سیاست‌های مختلف تخصیص انرژی به بخش‌های مختلف و شبیه‌سازی و برآورد اثرات این سیاست‌ها با استفاده از یک روش‌شناسی و ابزار مناسب با در نظر گرفتن اهداف غیراقتصادی مانند اهداف زیست محیطی ضروری به‌نظر می‌رسد.

با توجه به موارد فوق‌الذکر پرسش اصلی این پژوهش این است که بهترین سیاست مدیریتی برای تخصیص نفت و گاز به هر یک از بخش‌های مختلف مصرف با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بلندمدت کدام است؟

تاکنون محققین بسیاری با استفاده از رویکرد پویایی سیستم به شبیه‌سازی و سیاست‌گذاری در سیستم انرژی در داخل و خارج از کشور پرداخته‌اند. سزارکا و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از این رویکرد، اثر گزینه‌های مختلف زیست‌توده‌های منطقه‌ای را بر میزان انتشار آلودگی در منطقه مرزی استرالیا و مجارستان مورد بررسی قرار دادند. فانگ و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، روند انتشار CO_2 و گرمای جهانی را در منطقه اسکندر در مالزی مورد شبیه‌سازی قرار داده و این مدل را به عنوان ابزاری مؤثر به بخش برنامه‌ریزی شهری در مالزی معرفی کردند. انانند و همکاران[1] (۲۰۰۶)، نیز با استفاده از یک مدل پویایی سیستم به برآورد میزان انتشار گاز CO2 در کارخانه‌های سیمان هند پرداختند. ونپی و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم به شبیه‌سازی سیستم حفاظت از انرژی ایالت ژجیانگ در چین پرداختند تا سناریوهای مختلفی را برای حفاظت از انرژی این ایالت که دارای سطح مصرف بسیار زیاد انرژی و منابع بسیار اندک است و به میزان زیادی به واردات وابسته است را مورد بررسی قرار دهند.

1 . Anand et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

در ایران نیز محققانی با اهدافی غیر از اهداف محیطی از رویکرد پویایی سیستم به شبیه‌سازی سیستم انرژی استفاده نموده‌اند. کیانی و پورفخرانی[1] (۲۰۱۰)، به ارایه یک مدل پویایی سیستم از سیستم انرژی (نفت و گاز) ایران پرداخته و بازخورهای بین عرضه و تقاضا و درآمد نفت و همچنین اثرات آنها را بر بخش‌های مختلف اقتصادی مورد تحلیل قرار داده‌اند. آنها در مدل خود صادرات و تزریق گاز به مخازن نفتی را نیز مورد توجه قرار دادند. به‌طوری‌که برای مصرف گاز اولویت‌های زیر در نظر گرفته شده است: ۱- مصرف داخلی، ۲- تزریق به مخازن نفتی برای افزایش تولید و ۳- صادرات گاز و LNG. شاه‌حسینی (۱۳۸۸)، نیز در رساله دکتری خود با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها به مدل‌سازی پورتفولیوی گاز کشور پرداخت و سناریوهای زیر را مورد بررسی و تحلیل قرار داده است: ۱- حذف ناگهانی یارانه‌های گاز، ۲- حذف تدریجی یارانه‌های گاز،۳- حذف ناگهانی یارانه‌های برق، ۴- حذف تدریجی یارانه‌های برق، ۵- دو برابر کردن ضریب صادرات، ۶- دو برابر کردن سهم گاز تزریقی، ۷- سناریوی ترکیبی شامل: حذف تدریجی یارانه‌های گاز و برق و افزایش ضریب صادرات گاز و افزایش تزریق به مخازن نفتی. وی سناریوی ترکیبی را به عنوان سناریوی برتر انتخاب کرده است.

در این پژوهش رویکرد پویایی سیستم با توجه به قابلیت آن در تجزیه و تحلیل تصمیمات مدیریتی و سنجش بهره‌وری این تصمیمات با توجه به اثرات بلندمدت آنها در رفتار کل متغیرهای سیستم، مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه در بخش ۲، روش پژوهش و نحوه جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل آنها توضیح داده شده است. در بخش ۳، مدل پویا برای تخصیص منابع نفت و گاز کشور ارائه شده و سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و در بخش ۴، نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

1 . Kiani and Pourfakhraei

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۲. روش پژوهش و شیوه گردآوری و تحلیل داده‌ها

رویکرد اصلی مورد استفاده در این پژوهش، روش پویایی‌های سیستم است. روش پویایی‌های سیستم در اواسط سال ۱۹۵۰ توسط پروفسور فارستر از دانشگاه MIT ابداع شد. او در واقع پارادایم مشتق‌گیری را در نظریه کنترل به انباشت (انتگرال‌گیری) در پویایی سیستم تبدیل کرد، زیرا وی عقیده داشت که طبیعت به‌جای مشتق‌شدن انباشته می‌شود. حل مساله توسط مدل پویایی سیستم در ۵ مرحله زیر انجام می‌گردد:

۱. شناسایی و تعریف مسأله

۲. ساختن مدل مفهومی (نمودارهای حلقه علی)

۳. ساختن مدل ریاضی (ترسیم نمودار حالت- جریان)

۴. شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل

۵. تعریف سناریوهای مختلف، انتخاب و پیاده‌سازی راه حل مناسب (Sterman,2000)

در این تحقیق به منظور برآورد روابط ریاضی میان متغیرهای مختلف در نمودار جریان، از روش‌های زیر استفاده شده است:

۱. روش‌های رگرسیون و رگرسیون خطی فازی

۲. استفاده از نظرات خبرگان در شرایطی که اطلاعات و آمار رسمی در مورد متغیری وجود ندارد.

اطلاعات مورد نیاز از مرکز آمار ایران، بانک مرکزی ایران، اداره اطلاعات انرژی آمریکا، کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوا، وزارت نیرو، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت جمع‌آوری شده و همچنین از نظرات خبرگان وزارت نفت و وزارت نیرو استفاده شده است.

پس از ساخت مدل با استفاده از روش پویایی سیستم، با استفاده از نرم‌افزار VENSIM به بررسی اعتبار مدل و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف پرداخته شده و نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در قالب نمودار ارائه شده است.

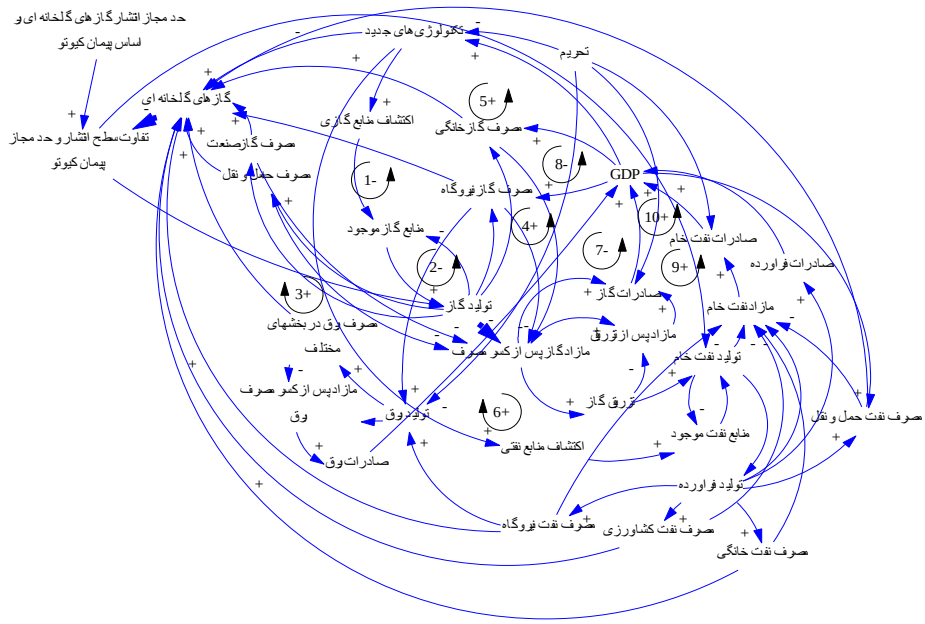
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳. مدل‌سازی مسأله در قالب یک مدل پویا

گام نخست گام تعریف مسأله است که در بخش ۱ تشریح شد. در این بخش پس از مشخص کردن نمودار علت و معلولی و نمودار جریان، به شبیه‌سازی و تعیین اعتبار مدل پرداخته می‌شود؛ سپس سناریوهای مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند.

۳-۱. نمودار علت و معلولی

نمودار علت و معلولی مسأله مطابق با نمودار ۱ است.



نمودار ۱. نمودار علت و معلولی برای سیستم انرژی کشور

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

در ادامه برخی از مهم‌ترین حلقه‌های مدل[۱] تشریح شده است. نکته مهم در این تحلیل این است که هر حلقه در نهایت با توجه به هدف نهایی این سیستم یعنی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

حلقه ۱: تولید گاز بیشتر، منابع (ذخایر) گازی موجود را کاهش می‌دهد و کاهش منابع موجود، منجر به کاهش تولید گاز می‌شود. این مطلب در مورد تولید نفت خام و منابع نفتی موجود نیز برقرار است.

حلقه ۲: این حلقه یک حلقه منفی است. تولید گاز بیشتر، مصرف گاز در بخش‌های مختلف را افزایش می‌دهد. افزایش مصرف گاز در بخش‌های مختلف هر یک با نرخی مشخص، آلودگی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه ایران عضو پیمان کیوتو است، افزایش سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های بعد فاصله آن را تا سطح مجاز مصوب در این پیمان کاهش می‌دهد و بنابراین دولت ناگزیر به کاهش تولید و مصرف در بخش‌های مختلف خواهد بود.

حلقه۳: افزایش تولید و تخصیص گاز به نیروگاه، تولید برق را افزایش می‌دهد و با افزایش تولید برق، مصرف برق افزایش یافته و در نتیجه مصرف سوخت‌های نفتی و گازی کاهش می‌یابند و در نتیجه این کاهش، انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد. به‌علاوه مصرف برق به‌خودی خود، هیچ‌گونه آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به همراه ندارد و البته در نتیجه این کاهش انتشار، میزان اختلاف با حد مجاز افزایش یافته و تولید و تخصیص گاز به بخش‌های مختلف مصرف و در نتیجه تخصیص به بخش نیروگاه افزایش می‌یابد. در نتیجه این حلقه یک حلقه مثبت است.

حلقه ۴: با افزایش تولید گاز و در نتیجه افزایش صادرات گاز، مقدار GDP افزایش می‌یابد. با افزایش GDP امکان خرید و واردات تکنولوژی‌های جدید برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش و

۱. برخی از حلقه‌ها از نمودار به صورت کامل مشخص نیست اما توضیحات لازم مربوط به هر حلقه به صورت کامل در ادامه آمده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

در نتیجه استفاده از این تکنولوژی‌ها، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد که در نتیجه این کاهش، میزان اختلاف با حد مجاز افزایش یافته و در نتیجه تولید افزایش می‌یابد.

حلقه ۵: همانند حلقه ۴، با افزایش تولید گاز و در نتیجه افزایش صادرات گاز، GDP و نرخ خرید و واردات تکنولوژی‌های جدید و از جمله تکنولوژی‌های اکتشاف و سرمایه‌گذاری در منابع پارس جنوبی افزایش و در نتیجه نرخ اکتشاف ذخایر انرژی افزایش می‌یابد که در نتیجه این افزایش، تولید گاز افزایش می‌یابد. در نتیجه این لوپ نیز یک لوپ مثبت است.

حلقه ۶: با افزایش تولید گاز، تزریق گاز به مخازن نفتی افزایش می‌یابد، با افزایش تزریق، تولید نفت خام افزایش و افزایش تولید نفت خام، تولید فرآورده‌های نفتی را افزایش می‌دهد. در نتیجه این افزایش، سهم مصرف فرآورده‌های نفتی در نیروگاه‌ها افزایش و در نتیجه تولید برق افزایش می‌یابد و همان‌طور که پیش‌تر گفته شد با افزایش مصرف برق مصرف سوخت‌های نفتی و گازی کاهش و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد. با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید افزایش می‌یابد. با افزایش تولید نفت خام به علت افزایش بهره‌برداری از منابع نفتی موجود نیز، چنین حلقه‌ای تکرار خواهد شد.

حلقه ۷: با افزایش تولید و تزریق گاز، تولید نفت خام و درنتیجه تولید فرآورده‌های نفتی افزایش و درنتیجه آن مصرف فرآورده‌های نفتی بخش‌های مختلف افزایش می‌یابد و در نتیجه این افزایش، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش و سطح اختلاف آن با حد مجاز کاهش می‌یابد که موجب کاهش تولید گاز خواهد شد. این حلقه یک حلقه منفی است. با افزایش تولید نفت خام به علت افزایش بهره‌برداری از منابع نفتی موجود، چنین حلقه‌ای تکرار خواهد شد.

حلقه ۸: با افزایش تولید و صادرات گاز، مقدار GDP افزایش می‌یابد و در نتیجه افزایش GDP، بر اساس پیش‌بینی تقاضای صورت گرفته مشخص شد که مصرف گاز بخش خانگی ـ تجاری، مصرف گاز نیروگاه‌ها و مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش حمل و نقل افزایش می‌یابد و در نتیجه این افزایش مصرف در بخش‌های مختلف، انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش و در نتیجه تولید گاز کاهش می‌یابد. بنابراین این حلقه یک حلقه منفی است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

حلقه ۹: با افزایش تولید نفت خام، صادرات نفت خام افزایش و در نتیجه مقدار درآمد نفتی و GDP افزایش می‌یابد و مانند منابع گازی، افزایش GDP امکان خرید و ورود تکنولوژی‌های کاهش انتشار را افزایش داده و در نتیجه مقدار انتشار کاهش می‌یابد و در نهایت موجب افزایش تولید نفت خام می‌شود. بنابراین این حلقه یک حلقه مثبت است. همین اتفاق در صورت به‌کارگیری نفت خام برای تولید فرآورده و در نتیجه افزایش صادرات فرآورده‌های نفتی نیز اتفاق می‌افتد.

حلقه ۱۰: با افزایش تولید نفت خام، مقدار صادرات نفت خام افزایش می‌یابد و در نتیجه این افزایش، مقدار GDP افزایش یافته و با افزایش مقدار GDP، امکان خرید و ورود تکنولوژی‌های اکتشاف نفت افزایش یافته و در نتیجه این افزایش، مقدار اکتشاف ذخایر نفتی افزایش می‌یابد و در نتیجه تولید نفت خام افزایش می‌یابد. بنابراین این حلقه، یک حلقه مثبت است. همین اتفاق در صورتی که با افزایش تولید نفت خام، تولید فرآورده و در نتیجه صادرات آن افزایش یابد اتفاق می‌افتد.

قابل ذکر است که علاوه بر حلقه‌های درون‌زای سیستم، در این مدل، تحریم یک متغیر برون‌زا در نظر گرفته شده است و سطح آن در عملکرد حلقه‌های موجود در سیستم تأثیرگذار است. با افزایش تحریم‌ها، امکان ورود تکنولوژی‌های جدید بسیار اندک خواهد شد و هر چه سطح تحریم شدیدتر باشد، واردات تکنولوژی‌های پیشرفته کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین تکنولوژی‌های اکتشاف ذخایر نفتی و گازی کمتر می‌شود. بنابراین تحریم‌ها، اثر افزایش GDP در اثر افزایش صادرات نفت خام، فرآورده‌های نفتی، گاز و برق برای خرید فناوری‌های پیشرفته را خنثی کرده و عملاً این حلقه‌ها را فاقد کارایی می‌سازند. سطح این تأثیر تنها با شبیه‌سازی سیستم و در نظر گرفتن سناریوهای مختلف تحریم امکان‌پذیر خواهد بود.

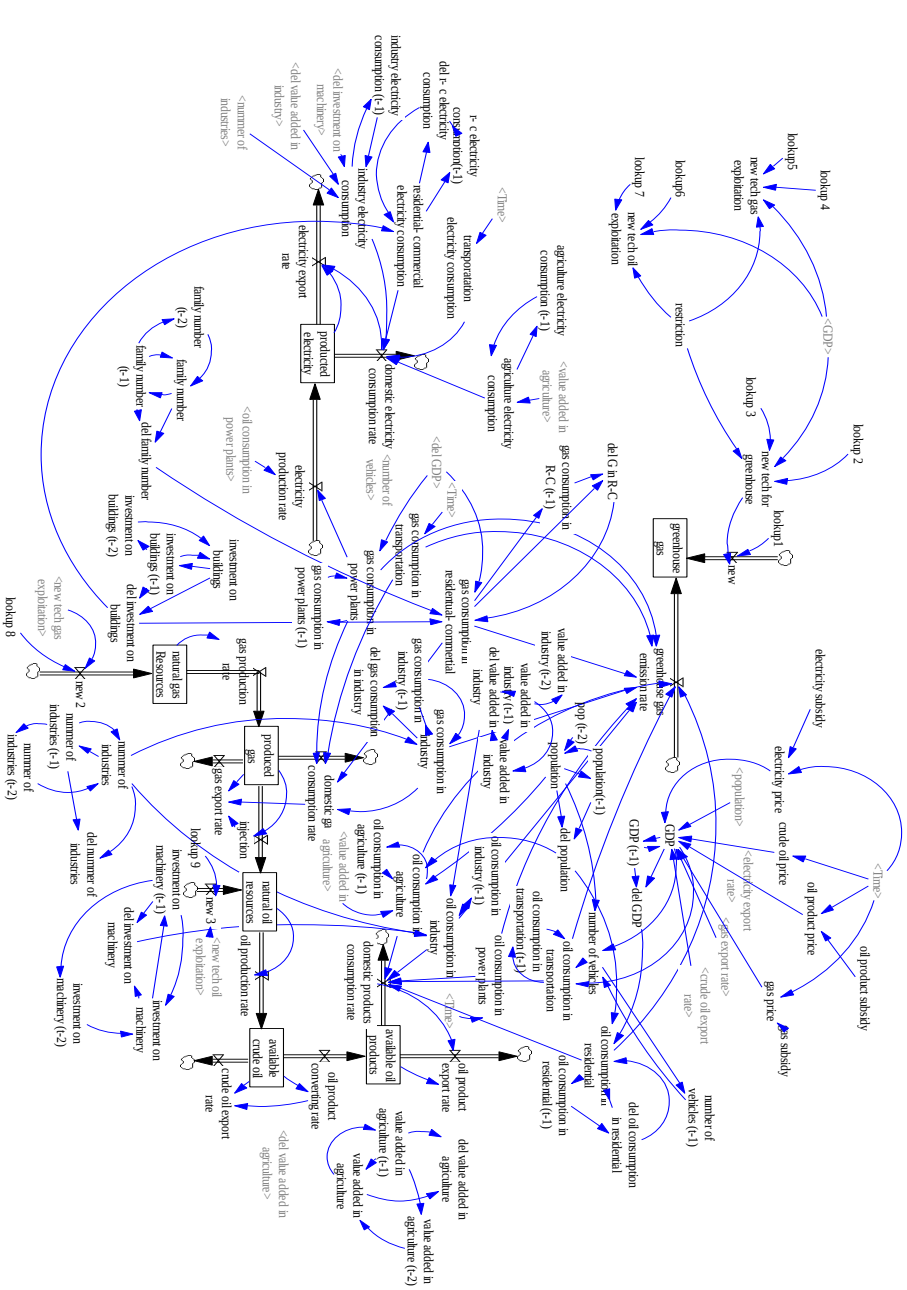
از طرف دیگر، افزایش تحریم‌ها امکان خرید تجهیزات نیروگاه‌ها را نیز کاهش می‌دهد، بنابراین کاهش مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز برای افزایش تخصیص آنها به نیروگاه‌ها در شرایط تحریم در بلندمدت شاید تأثیر چندانی نداشته باشد که البته تأثیر این حالت نیز در صورت شبیه‌سازی سیستم مشخص خواهد شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳-۲. نمودار جریان

پس از رسم نمودار علت و معلولی و شناسایی متغیرها و حلقه‌های مثبت و منفی مدل، مرحله بعدی، شناسایی متغیرهای حالت، جریان، کمکی و ثابت و رسم نمودار جریان است. نمودار جریان پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار ۲. نمودار جریان

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳-۲-۱. تعیین متغیرهای حالت، جریان و کمکی

متغیرهای حالت در این مدل عبارتند از:

منابع گاز طبیعی، منابع نفت، گاز تولید شده، نفت تولید شده، برق تولید شده، فرآورده‌های نفتی تولید شده، میزان کل انتشارگازهای گلخانه‌ای.

متغیرهای جریان در مدل عبارتند از:

نرخ اکتشاف ذخایر گازی در سال، نرخ اکتشاف ذخایر نفتی در سال، نرخ تولید گاز در سال، نرخ تولید نفت خام در سال، نرخ تولید فرآورده‌های نفتی در سال، نرخ تولید برق در سال، نرخ مصرف گاز طبیعی در سال، نرخ مصرف فرآورده‌های نفتی در سال، نرخ مصرف برق در سال، نرخ صادرات گاز طبیعی در سال، نرخ صادرات نفت خام در سال، نرخ صادرات فرآورده‌های نفتی در سال، نرخ صادرات برق در سال، نرخ تزریق گاز به چاه‌های نفت در سال، نرخ تبدیل نفت خام به فرآورده‌های نفتی در سال، نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال.

متغیرهای کمکی مهم در این مدل عبارتند از:

میزان سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان، تعداد خانوار، تعداد خودرو، تعداد صنایع با بیش از ۵۰ نفر کارمند، ارزش افزوده بخش صنعت، ارزش افزوده بخش کشاورزی، تولید ناخالص داخلی (GDP)، قیمت جهانی نفت خام، گاز طبیعی، برق و فرآورده‌های نفتی، یارانه تخصیص یافته به نفت خام، گاز طبیعی، برق و فرآورده‌های نفتی، جمعیت.

۳-۲-۲. محاسبه روابط ریاضی میان متغیرهای موجود در مدل

با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۹ (قابل ذکر است داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ به عنوان داده‌های تست مورد استفاده قرار گرفته‌اند) و با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی فازی (حد وسط در مدل‌های زیر ارائه شده است) و رگرسیون (در مواردی که خطای داده‌های تست قابل قبول نبود مثل پیش‌بینی تقاضای برق و گاز طبیعی فشرده در بخش حمل و نقل)، مدل مناسب برای پیش‌بینی میزان تقاضای گاز طبیعی، فرآورده‌های نفتی و برق در بخش‌های مختلف

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

مصرف به صورت زیر برآورد شده است. هر یک از ورودی‌های مدل‌های پیش‌بینی تقاضای حامل‌های انرژی نیز پیش‌بینی شده‌اند.

+ (نرخ رشد میزان سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان) *۰/۴۵۱۱ + ۰/۱۱۸۵ = تقاضای گاز بخش خانگی تجاری

(مصرف بخش خانگی تجاری سال قبل)*۱/۰۴۱۲ + (نرخ رشد تولید ناخالص داخلی)*۱/۵۳۹۹

(تولید ناخالص داخلی در سال قبل)*۱/۰۵۱=تولید ناخالص داخلی

(سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان در سال قبل)*۱/۰۶۱= سرمایه گذاری در بخش ساختمان در زمان t

برای تعریف مقدار سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان در سال قبل یعنی در زمان t-1، در نرم‌افزار VENSIM دو متغیر کمکی سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات و سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات در زمان t-1 تعریف و جنس هر دو متغیر، متغیر حالت مشخص شده است. سپس مقدار سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات در زمان t-1 با تأخیر درجه یک، مقدار سرمایه‌گذاری در ماشین‌الات در سال t تعریف شده است. در نهایت برای تعریف نرخ سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات از رابطه زیر استفاده شده است:

(۱، سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات) DELAY1 = سرمایه گذاری در بخش ساختمان در زمان t-1

– سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات در زمان t)= نرخ سرمایه گذاری در بخش ساختمان در زمان t

سرمایه‌گذاری در ماشین‌الات در زمان t-1/(سرمایه‌گذاری در ماشین‌الات در زمان t-1

(۱، نرخ تولید ناخالص داخلی در زمان t) DELAY 1 = تولید ناخالص داخلی در زمان t-1

(GDP (t)-GDP(t-1))/GDP(t-1) =نرخ تولید ناخالص داخلی در زمان t

+ (نرخ رشد جمعیت)*۱/۳۴۰۵+(نرخ رشد تولید ناخالص داخلی)*۰/۵۵۱۲= تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش خانگی تجاری

(تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش خانگی تجاری سال قبل)* ۰/۹۲۳۳

(جمعیت در دو سال قبل)*۰/۷۹۶+(جمعیت در سال قبل)*۰/۲۲۶ =جمعیت در زمان t

+(نرخ رشد میزان سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان)*۰/۰۱۲۳ =تقاضای برق بخش خانگی تجاری

(میزان مصرف برق بخش خانگی تجاری سال قبل)*۱/۰۵۹۲

(تقاضای فرآورده‌های نفتی حمل و نقل سال قبل) *۱/۰۲۱۴+(تولید ناخالص داخلی)* ۰/۰۰۰۳ =تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش حمل و نقل

۳۱/۶۵۶–(زمان)*۵/۳۹۴۸=تقاضای CNG بخش حمل و نقل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۰/۰۹۲۸-(زمان)* ۰/۰۲۲۸ =تقاضای برق بخش حمل و نقل

(مصرف گاز صنعت سال قبل)*۰/۹۵۳۹+(تعداد صنایع بیش از ۵۰ نفر)*۰/۰۸۴=تقاضای گاز بخش صنعت

(تعداد صنایع در دو سال قبل)*۰/۲۱۳+(تعداد صنایع در سال قبل)۰/۸۱+۲۵۰/۹۵۷=تعداد صنایع (با ۵۰ نفر یا بیشتر کارکن) در زمان t

+(نرخ رشد ارزش افزوده بخش صنعت)*۰/۱۱۴۲+۳۵/۳=تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش صنعت

(میزان مصرف فرآورده‌های نفتی بخش صنعت سال قبل)*۰/۱۵۹۹+(تعداد صنایع بیش از ۵۰ نفر)*۰/۰۰۳۳

(ارزش افزوده بخش صنعت در سال قبل)*۱/۰۵۹= ارزش افزوده بخش صنعت (صنایع و معادن) در زمان t

+(نرخ رشد ارزش افزوده بخش صنعت)*۰/۰۹۴۲+ ۰/۲۴۵=تقاضای برق بخش صنعت

(میزان مصرف برق نفتی بخش صنعت سال قبل)*۰/۷۰۹۵+(تعداد صنایع بیش از ۵۰ نفر)*۰/۰۰۱۹

+جمعیت/(ارزش افزوده بخش کشاورزی)* ۱/۳۹۵۲=تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش کشاورزی

(مصرف فرآورده‌های نفت بخش کشاورزی در سال قبل)*۰/۷۴۷۵+(نرخ رشد جمعیت)*۵/۹۲۲۷

+(ارزش افزوده بخش کشاورزی در سال قبل)*۰/۴۴۹=ارزش افزوده بخش کشاورزی در زمان t

(ارزش افزوده بخش کشاورزی در دو سال قبل)*۰/۰۶۴

(مصرف برق بخش کشاورزی در سال قبل)*۱/۰۶۳+(ارزش افزوده بخش کشاورزی)*۰/۰۰۰۰۰۶=تقاضای برق بخش کشاورزی

(مصرف گاز بخش کشاورزی در سال قبل)*۰/۹۳۴+(نرخ رشد تولید ناخالص داخلی)*۴/۹۵۴۲+۱۰/۷۲۰۱=تقاضای گاز نیروگاه‌ها

۲۵/۳۶۴*LN (t) + ۴۰/۱۵۷=تقاضای فرآورده‌های نفتی نیروگاه‌ها

اطلاعات مربوط به میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف سوخت‌های مختلف در بخش‌های مختلف مصرف، از وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی و کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوا[۱۵] به شرح زیر جمع‌آوری شده است.

+ مصرف گاز حمل و نقل *۳۵۲ + میزان مصرف گاز خانگی- تجاری* ۳۴۴ = نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای

+ مصرف نفت صنعت*۴۶۷ + مصرف نفت کشاورزی* ۵۰۶ + مصرف گاز نیروگاه* ۳۴۴ + مصرف گاز صنعت*۳۴۵

مصرف نفت حمل و نقل* ۴۴۷ + مصرف نفت خانگی-تجاری* ۴۴۱+ مصرف نفت نیروگاه*۴۶۸

سایر روابط به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

تقاضای گاز حمل و نقل+تقاضای گاز نیروگاه+ تقاضای گاز در بخش صنعت+تقاضای گاز بخش خانگی تجاری=نرخ مصرف گاز در سال t

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

تزریق گاز به مخازن نفتی+ صادرات نفت+
تقاضای فرآورده نیروگاه+تقاضای فرآورده بخش صنعت+تقاضای فرآورده بخش خانگی تجاری=نرخ مصرف فرآورده‌های نفتی در سال t
صادرات فرآورده+تقاضای فرآورده کشاورزی+تقاضای فرآورده حمل و نقل+
تقاضای برق حمل و نقل +تقاضای برق کشاورزی+تقاضای برق بخش صنعت+تقاضای برق بخش خانگی تجاری =نرخ مصرف برق در سال t
صادرات برق+
نرخ تولید گاز در سال t- نرخ اکتشاف گاز در سالt ∫=منابع گاز طبیعی
نرخ تزریق گاز در سال t- نرخ صادرات گاز در سال t- نرخ مصرف در سال t-نرخ تولید گاز در سال t ∫=گاز تولید شده
نرخ تولید نفت خام در سال t - نرخ اکتشاف نفت در سال t+نرخ تزریق گاز به چاه‌های نفت در سالt ∫=منابع طبیعی نفت
نرخ تبدیل نفت خام به فرآورده در سال t - نرخ صادرات نفت خام در سال t - نرخ تولید نفت خام در سالt ∫=نفت خام تولید شده
نرخ صادرات فرآورده در سال - tنرخ مصرف فرآورده در سال t-نرخ تبدیل نفت خام به فرآورده در سالt ∫=فرآورده نفتی تولید شده
نرخ صادرات برق در سال t-نرخ مصرف برق در سال t-نرخ تولید برق در سالt ∫=برق تولید شده

همچنین قیمت جهانی برق، نفت خام، فرآورده و گاز که متغیرهای برون‌زای سیستم هستند به صورت data وارد نرم افزار VENSIM شده‌اند. بدین‌صورت که بر اساس پیش‌بینی جهانی قیمت این اقلام، اطلاعات مربوط به هر سال به صورت تابع look up از زمان و مقدار یارانه هر بخش وارد مدل شده است. اطلاعات مربوط به قیمت حامل‌های مختلف انرژی در سال‌های آتی از اداره اطلاعات انرژی آمریکا EIA که از معتبرترین مؤسسات انرژی جهان است جمع‌آوری شده است.

طرح هدفمندکردن یارانه‌ها از سال ۱۳۸۹ (اواخر سال) در کشور به اجرا درآمده است. در این طرح قرار بر این بود که قیمت فرآورده‌های نفتی و برق طی ۴ سال به ۹۰ درصد قیمت جهانی و قیمت گاز طبیعی طی ۴ سال به ۷۵ درصد قیمت جهانی برسد. بدین ترتیب فرض شده است قیمت

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

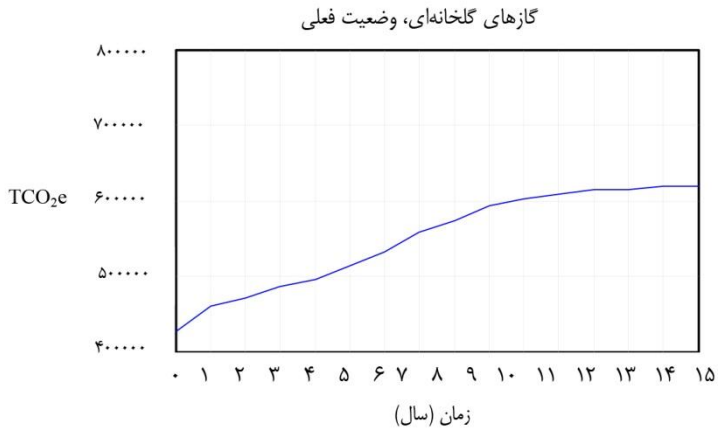
فرآورده‌های نفتی و برق طی ۴ سال به ترتیب در هر سال به ۲۵ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۹۰ درصد و قیمت گاز طبیعی طی ۴ سال به ترتیب در هر سال به ۲۰ درصد، ۴۰ درصد، ۶۰ درصد و ۷۵ درصد قیمت بین المللی برسد.

برای تعیین روابط متغیرهایی همچون میزان تأثیر افزایش GDP و تحریم بر تکنولوژی‌های جدید استخراج نفت و گاز و تکنولوژی‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای و همچنین تأثیر واردات تکنولوژی‌های جدید اکتشاف بر نرخ اکتشاف نفت و گاز و تأثیر واردات تکنولوژی‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر نرخ انتشار این گازها، از آنجایی که داده‌های کمی رسمی در این زمینه وجود ندارد از توابع look up بهره گرفته شده است. بدین‌صورت که از خبرگان صنعت نفت خواسته شد که با توجه به تجربه خود شکل کلی تغییرات این دو متغیر را به صورت نموداری تقریبی رسم کنند به‌طوری که تنها رفتار کلی این متغیرها را در نتیجه تغییرات متغیر علت نشان دهند. در تعریف توابع look up مقیاس تعریف شده برای متغیرهای تحریم و تکنولوژی‌های انتشار و اکتشاف بین ۰ تا ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است.

۳-۳. شبیه‌سازی و تعیین اعتبار مدل

پس از ساخت مدل و برآورد روابط ساختاری میان متغیرها، مدل با توجه به وضعیت فعلی شبیه‌سازی شده است. در وضعیت فعلی مقدار منابع عرضه نخست به بخش خانگی ـ تجاری بر اساس تقاضای این بخش که مقدار آن تا افق ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده به طور کامل تخصیص داده می‌شود. سپس از مازاد آن تقاضای سایر بخش‌ها (که مقدار آنها نیز تا افق ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده است) تأمین می‌شود و در خصوص صادرات یا تزریق تصمیم‌گیری می‌شود. با اجرای مدل، وضعیت متغیر اصلی که نشان-دهنده هدف مدل یعنی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در افق شبیه‌سازی مطابق با شکل ۳ است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار ۳. میزان انتشار شبیه‌سازی شده در نتیجه ادامه روند موجود در کشور

همانطور که مشاهده می‌شود با ادامه روند کنونی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال هشتم افق شبیه‌سازی با نرخ فزاینده افزایش یافته و از سال هشتم به بعد نرخ این افزایش کاهش می‌یابد به‌طوری‌که به نظر می‌رسد علی‌رغم افزایش شدید سطح انتشار تا انتهای سال پانزدهم در سطحی بالا برابر با ۶۲۰ تن معادل دی‌اکسیدکربن خواهد رسید. روند کنونی مصرف به خصوص برآورده ساختن تقاضای بخش خانگی تجاری بیش از سایر بخش‌ها موجب افزایش سطح انتشار خواهد شد. علت کاهش نرخ افزایش از سال هفتم و بیش‌تر از آن از سال نهم را می‌توان در افزایش قیمت حامل‌های انرژی در نتیجه اجرای طرح هدفمندکردن یارانه‌ها و در نتیجه کاهش مصرف عنوان کرد و اگر افزایش قیمت انرژی، میزان مصرف را کنترل نمی‌کرد وضعیت کنونی انتشار آلاینده‌ها با توجه به شیوه تخصیص فعلی وضعیت بسیار ناگوارتری را نشان می‌داد.

یکی از شیوه‌های رایج بررسی اعتبار مدل، مقایسه نتایج حاصل از مدل با داده‌های واقعی است. به همین دلیل افق مدل مربوطه به جای سال ۱۳۸۹ که آخرین سالی است که داده‌های آن در ترازنامه انرژی در دسترس است، سال ۱۳۸۵ در نظر گرفته شده است تا بتوان نتایج شبیه‌سازی مربوط به سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ را با داده‌های واقعی موجود مقایسه کرد و در صورت وجود تفاوت معنادار، مدل را اصلاح کرد. بدین‌منظور مقدار برخی از متغیرهای اصلی مدل مانند میزان انتشار گازهای

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

گلخانه‌ای، مقدار مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی و مقدار شبیه‌سازی‌شده آنها توسط مدل در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده است. همچنین درصد میانگین قدرمطلق خطا (AAEP[1]) مطابق با معادله (۱) نیز محاسبه شده است.

$$AAEP = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{e(i)}{x(i)}\right| \times 100 \qquad (۱)$$

در اینجا $e(i) = x(i) - \hat{x}(i)$ است. $x(i)$ مقادیر واقعی و $\hat{x}(i)$ مقادیر پیش‌بینی و n تعداد داده‌ها است.

جدول ۱. مقایسه مقدار واقعی و شبیه‌سازی شده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های ۸۵-۸۹

(تن معادل دی‌اکسیدکربن)

انتشار گازهای گلخانه‌ای	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹
مقدار واقعی	۴۲۷۲۰۵	۴۵۳۸۲۹	۴۶۶۲۸۰	۴۵۶۲۱۴	۴۷۸۷۸۳/۶
مقدار شبیه‌سازی	۴۲۷۲۰۵	۴۶۰۳۸۰	۴۷۰۸۷۷	۴۷۶۸۴۲	۴۸۵۷۳۹
AAEP =۱/۶۸ ٪					

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۲. مقایسه مقدار واقعی و شبیه‌سازی شده میزان مصرف فرآورده‌های نفتی در سال‌های ۸۵-۸۹ (میلیون بشکه)

مقدار نفت مصرف شده	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹
مقدار واقعی	۵۲۴/۸	۵۳۰/۴	۵۳۷/۷	۵۴۶/۴	۵۰۶/۲
مقدار شبیه‌سازی	۵۲۴/۸	۵۲۸	۵۳۹/۴	۵۴۴/۲	۵۲۰/۳
AAEP =۱/۱۲ ٪					

مأخذ: نتایج تحقیق

مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مقادیر واقعی متغیرهای و مقادیر AAEP نشان می‌دهد که مدل قادر است رفتار واقعی متغیرها را منعکس کند. علاوه بر این برای بررسی اعتبار مدل از آزمون‌های

1. Average absolute error percentage

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

برازندگی، سازگاری ابعاد، تأیید پارامتری و حساسیت پارامتری بهره گرفته شده است که همگی اعتبار مدل را مورد تأیید قرار دادند.

۳-٤. بررسی سناریوهای مختلف

در این پژوهش، علاه بر وضعیت موجود، ۶ سناریوی دیگر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای که هدف اصلی پژوهش است، مورد بررسی قرار گرفته است. ۳ سناریو راه‌کارهای پیشنهادی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است که با توجه به سطح تحریم ۵۰٪ شبیه‌سازی می‌شوند. ۴ سناریوی دیگر همان سناریوهای قبلی به اضافه وضعیت فعلی با در نظر گرفتن سطح تحریم ۷۰٪ است. این سناریوها عبارتند از:

۱. افزایش ۵۰٪ سهم تزریق از منابع باقی‌مانده پس از کسر مصرف و کاهش ۵۰٪ سهم صادرات از این منابع با سطح تحریم ۵۰٪؛

۲. اعمال محدودیت بر مصرف نفت و گاز در بخش خانگی ـ تجاری با فرض کاهش ۱۰٪ سهم مصرف فعلی در این بخش و تخصیص این سهم به نیروگاه‌های تولید برق با سطح تحریم ۵۰٪؛

۳. سناریوی ترکیبی با سطح تحریم ۵۰٪.

۴. سناریوی پایه یا مبنا که نشان‌دهنده سیاست تخصیص منابع عرضه به بخش‌های مختلف مصرف با روند فعلی موجود در کشور است با در نظر گرفتن سطح تحریم ۷۰٪؛

۵. افزایش ۵۰٪ سهم تزریق از منابع باقی‌مانده پس از کسر مصرف و کاهش ۵۰٪ سهم صادرات از این منابع با سطح تحریم ۷۰٪؛

۶. اعمال محدودیت بر مصرف نفت و گاز در بخش خانگی ـ تجاری با فرض کاهش ۱۰٪ سهم مصرف فعلی در این بخش و تخصیص این سهم به نیروگاه‌های تولید برق با سطح تحریم ۷۰٪؛

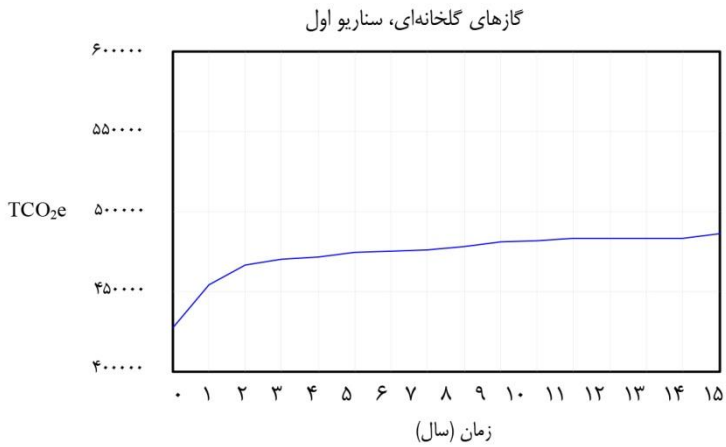
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳-٤-۱. نتایج شبیه‌سازی سناریوی اول:

افزایش ۵۰٪ سهم تزریق از منابع باقی‌مانده پس از کسر مصرف و کاهش ۵۰٪ سهم صادرات از این منابع با سطح تحریم ۵۰٪ .

همان‌گونه که در نمودار ۴ ملاحظه می‌شود، با افزایش سهم تزریق نسبت به صادرات، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای اندکی افزایش خواهد داشت اما نسبت به سناریوی وضعیت موجود نرخ رشد بسیار کمتر خواهد بود. در این سناریو چندین حلقه نقش عمده دارند. به نظر می‌رسد در نتیجه این تصمیم و با افزایش سهم تزریق، به فرآورده‌های بیشتری دست خواهیم یافت و در نتیجه مقدار تخصیص یافته به بخش‌های مصرف بیشتر خواهد بود و بنابراین مقدار آلاینده‌ها رو به افزایش خواهد گذاشت. از طرفی کاهش صادرات گاز، درآمد ارزی و در نتیجه مقدار سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های کاهش انتشار را کاهش خواهد داد. اما علت اینکه افزایش سهم ۵۰ درصدی تزریق و تولید نفت و فرآورده میزان انتشار را تا حد تصور پیش از شبیه‌سازی افزایش نمی‌دهد این است که به نظر می‌رسد با افزایش تولید نفت، سهم نیروگاه‌های تولید برق هم بیشتر شده و در نتیجه افزایش میزان انتشار ناشی از مصرف نفت و گاز را تا حدی کنترل می‌کند. از طرف دیگر سهم صادرات نفت خام و فرآورده افزایش می‌یابد و در نتیجه GDP افزایش می‌یابد. اما در نهایت حلقه‌های نخست با قدرت بیشتری عمل می‌کنند و میزان انتشار در نتیجه اعمال این سناریو رو به افزایش خواهد گذاشت.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار ۴. میزان انتشار شبیه‌سازی شده در نتیجه اجرای سناریوی اول

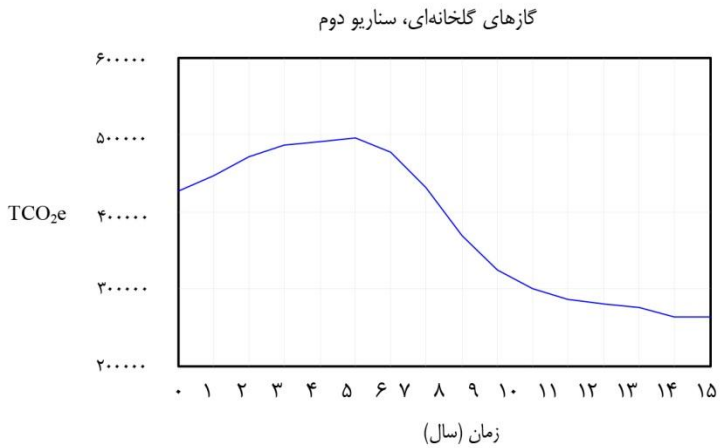
۳-٤-۲. نتایج شبیه‌سازی سناریوی دوم:

فروض این سناریو عبارتند از: اعمال محدودیت بر مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز در بخش خانگی ـ تجاری با فرض کاهش ۱۰٪ سهم مصرف فعلی در این بخش و تخصیص این سهم به نیروگاه‌های تولید برق با سطح تحریم ۵۰٪ .

همانگونه که در نمودار ۵ ملاحظه می‌شود، با افزایش سهم نیروگاه‌ها از منابع تخصیص یافته، از سال پنجم به بعد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش خواهد یافت اما نرخ این کاهش از سال نهم کاهش می‌یابد و از سال چهاردهم به ثبات می‌رسد و کمتر نخواهد شد. علت این است که در سال‌های اولیه با کاهش سهم مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز، میزان انتشار کاهش می‌یابد و از طرفی تولید برق و استفاده از آن به عنوان سوخت مصرفی بر نرخ این کاهش تأثیرگذار است اما کاهش نرخ کاهش در سال‌های بعد را شاید بتوان چنین توجیه کرد که با افزایش تولید نفت و گاز چون در این سناریو برنامه‌ای در مورد صادرات بیشتر در نظر گرفته نشده، لذا با افزایش این تولید سهم مصرف افزایش یافته و نرخ انتشار را اندکی افزایش می‌دهد. لذا این سناریو تنها در مدت اندکی تأثیر مثبت دارد و پس از چند سال باید محدودیت‌های شدیدتری را اعمال کرد. ناگفته نماند که

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

یکی از علل کاهش انتشار در سال‌های نخست را می‌توان پیاده‌سازی طرح هدفمند شدن یارانه‌ها عنوان کرد.

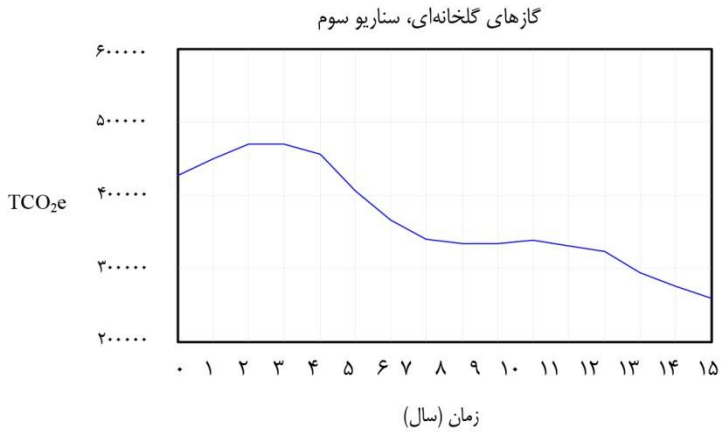


نمودار ۵. میزان انتشار شبیه‌سازی شده در نتیجه اجرای سناریوی دوم

۳-٤-۳. نتایج شبیه‌سازی سناریوی سوم: سناریوی ترکیبی

همان‌گونه که در نمودار ۶ ملاحظه می‌شود، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با اتخاذ سناریوی ترکیبی و کاهش سهم مصرف بخش خانگی ـ تجاری و تخصیص مساوی این سهم آزادشده به بخش صنعت و نیروگاه و همچنین کاهش سهم ۵۰ درصدی صادرات و افزایش تزریق میزان انتشار در بلندمدت کاهش خواهد یافت و به نظر می‌رسد که روند این کاهش در سال‌های بعد هم ادامه خواهد داشت. اما نکته مهم این است که امکان اجرای هم‌زمان سناریوهای چندگانه تا چه اندازه وجود داشته باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



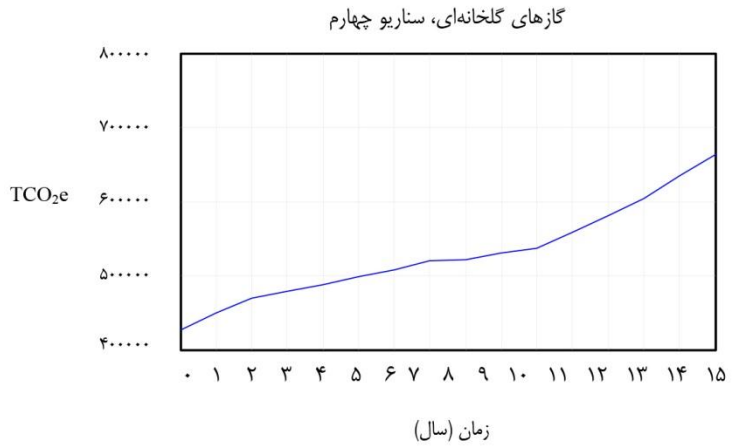
نمودار۶ میزان انتشار شبیه‌سازی شده در نتیجه اجرای سناریوی سوم

۳-٤-٤. نتایج شبیه‌سازی سناریوی چهارم: سناریوی پایه یا مبنا با در نظر گرفتن سطح تحریم ۷۰٪

همانگونه که در نمودار ۷ مشاهده می‌شود، با ادامه روند کنونی و افزایش سطح تحریم‌ها در سال‌های آینده، سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته و به ویژه از سال دهم روندی صعودی با نرخ رشد بسیاری به خود خواهد گرفت و البته تا سال پانزدهم میزان انتشار با حالت عدم وجود تحریم تفاوت معناداری را نشان نمی‌دهد و علت این است که تأثیر تحریم در مدل فعلی تنها بر واردات تکنولوژی‌های جدید در نظر گرفته شده و تأثیر این تحریم‌ها بر تورم و به ویژه قیمت ارز در کشور لحاظ نشده است که البته علت اصلی این عدم توجه، نوسانات کاملاً تصادفی قیمت ارز در کشور در زمان حال است. اما حتی با لحاظ ننمودن تورم در مدل باز هم کاهش امکان واردات دستگاه‌های جدید برای کاهش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش انتشار خواهد شد. اگرچه در حلقه‌ای دیگر افزایش سطح تحریم‌ها موجب کاهش امکان خرید تکنولوژی‌های اکتشاف و استخراج خواهد شد و در تئوری کاهش تولید و در نتیجه مصرف و انتشار را به همراه خواهد داشت، اما از آنجا که افق شبیه‌سازی کوتاه است لذا در میزان تولید برنامه‌ریزی شده تغییری ایجاد نخواهد شد و این حلقه به نسبت حلقه پیش‌گفته غیرفعال خواهد بود و در کاهش انتشار تأثیری نخواهد

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

داشت. در این شرایط در سال پانزدهم میزان انتشار به ۶۶۳۶۳۲ خواهد رسید و نرخ رشد خود را در سال‌های بعد ادامه خواهد داد.



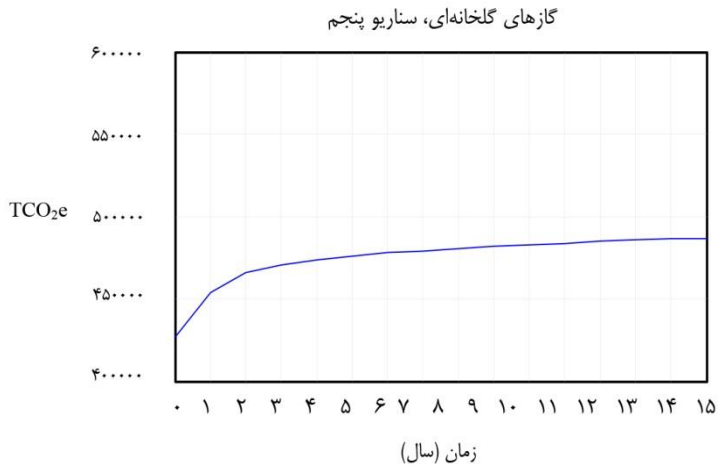
نمودار ۷. میزان انتشار شبیه‌سازی شده در نتیجه اجرای سناریوی چهارم

۳-٤-۵. نتایج شبیه‌سازی سناریوی پنجم:

فروض این سناریو عبارتند از: افزایش ۵۰٪ سهم صادرات از منابع باقی‌مانده پس از کسر مصرف و کاهش ۵۰٪ سهم تزریق از این منابع با سطح تحریم ۷۰٪.

همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، افزایش سطح تحریم‌ها در نتایج این سناریو تأثیرات چندانی ندارد. قابل ذکر است در مدل تأثیر تحریم بر صادرات در نظر گرفته نشده است. اما در طراحی این سناریو، تأثیر تحریم‌ها بر کاهش صادرات مد نظر قرار گرفته است. با توجه به اینکه افزایش سطح تحریم‌ها امکان صادرات را کاهش می‌دهد لذا در این شرایط افزایش سهم صادرات و کاهش تزریق، سناریوی مناسبی به نظر نمی‌رسد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



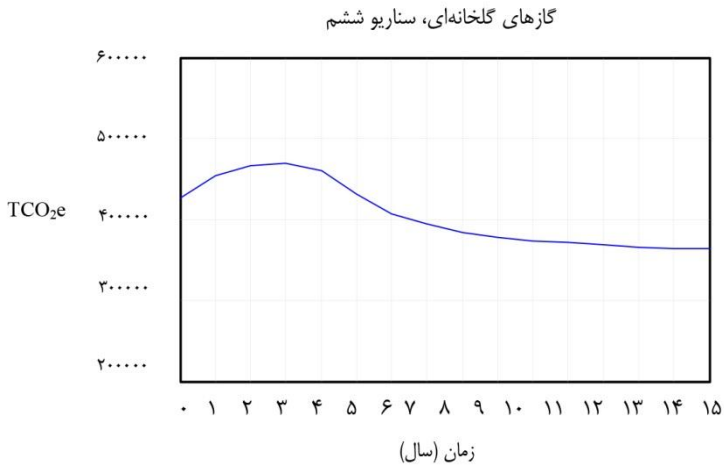
نمودار ۸. میزان انتشار شبیه‌سازی شده در نتیجه اجرای سناریوی پنجم

۳-٤-٦. نتایج شبیه‌سازی سناریوی ششم:

فروض این سناریو عبارتند از: اعمال محدودیت بر مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز در بخش خانگی ـ تجاری با فرض کاهش ۱۰٪ سهم مصرف فعلی در این بخش و تخصیص این سهم به نیروگاه‌های تولید برق با سطح تحریم ۷۰٪ .

همان‌گونه که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود، با افزایش سطح تحریم‌ها، نرخ انتشار از سال چهارم افق شبیه‌سازی کاهش پیدا می‌کند اما نرخ این کاهش نسبت به حالتی که تحریمی در کار نیست کمتر است و این وضعیت نشان می‌دهد که مدل مربوطه نسبت به متغیر تحریم کاملاً حساس است. در واقع اعمال تحریم‌ها بر سناریوی فعال‌سازی بیشتر نیروگاه‌ها بسیار تأثیرگذار است و بنابراین علی‌رغم تأکید بسیار بر تخصیص منابع بیشتر به نیروگاه‌ها در هر مقطع زمانی، توجه به سطوح تحریم‌های اعمال شده از اهمیت بسیاری برخوردار است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار ۹. میزان انتشار شبیه‌سازی شده در نتیجه اجرای سناریوی ششم

٤. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سیستم انرژی کشور با هدف کاهش گازهای گلخانه‌ای و با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، شبیه‌سازی و سناریوهای مختلف برای تخصیص منابع نفت و گاز کشور طراحی و نتایج حاصل از اجرای آنها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحلیل‌ها نشان می‌دهد که سناریوی کاهش سهم مصرف و افزایش تخصیص این مقدار به نیروگاه‌های برق در هر دو سطح مورد بررسی برای تحریم‌های خارجی اعمال شده به کشور و بخش انرژی موجب کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بلندمدت خواهد شد. بنابراین افزایش سهم انرژی تخصیصی به نیروگاه‌های برق سناریویی کارآمد است که در برآوردن اهداف زیست محیطی تأثیر بسزایی دارد.

از طرفی در شرایطی که تحریم‌ها افزایش می‌یابند، کاهش سهم تزریق و افزایش این سهم به صادرات تأثیر چندانی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نخواهد داشت. یکی از دلایل این است که افزایش سطح تحریم‌ها امکان صادرات را کاهش می‌دهد لذا در این شرایط افزایش سهم صادرات و کاهش تزریق، سناریوی مناسبی به نظر نمی‌رسد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بنابراین با توجه به سناریوی دوم و ششم پیشنهاد می‌شود برای کاهش مصرف در بخش‌های خانگی ـ تجاری محدودیت‌هایی از قبیل سهمیه‌بندی مصرف با توجه به مناطق مختلف کشور و اقشار مختلف با امکانات مختلف اعمال شود و یا اینکه از سیاست‌های تشویقی برای کاهش مصرف در کنار تبلیغات برای بهبود فرهنگ مصرف و یا حتی اطلاع‌رسانی به عموم در مورد راه‌های بی‌دردسر کاهش مصرف و گاه تهدید برای مصرف زیاد، استفاده شود تا بتوان سهم بیشتری را به نیروگاه‌های برق تخصیص داد.

در نتیجه سناریوی اول و پنجم می‌توان مشاهده کرد با توجه به وضعیت تحریم در کشور، افزایش سهم صادرات عملاً نتیجه‌ای در پی نخواهد داشت، زیرا تقاضا برای انرژی کشور کاهش یافته است. لذا به نظر می‌رسد که در هر صورت کاهش صادرات و تخصیص سهم این بخش به تزریق نتایج بهتری دارد.

٤-١. پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده

در این پژوهش، نوسانات فصلی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف مصرف مورد توجه قرار نگرفته است، لذا پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده این نوسانات در شبیه‌سازی مورد توجه قرار گیرند.

با توجه به نوسانات قیمت ارز در کشور، پیشنهاد می‌شود که با مفروض پنداشتن روابط ساختاری مدل به صورت ثابت در دوره‌های آتی، مدل مربوطه با توجه به قیمت ارز در هر دوره مجدداً شبیه-سازی شود.

هدف اصلی شبیه‌سازی در این پژوهش، کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است. پیشنهاد می‌شود که سناریوهای دیگری با توجه به اهداف دیگری در سیستم انرژی برای مثال اهداف سیاسی مورد بررسی قرار گیرند.

در این پژوهش پیش‌بینی GDP با توجه به میزان آن در سال‌های قبل انجام شده است. پیشنهاد می‌شود پیش‌بینی GDP با در نظرگرفتن متغیرهای تأثیرگذار به صورت کامل‌تر انجام شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

با توجه به محدودیت‌های مدل‌های کمی در مد نظر قرار دادن تمامی متغیرهای تأثیرگذار در سیستم انرژی و به خصوص عوامل انسانی که هر متغیر و رابطه دیگری را ممکن است تحت تأثیر قرار دهند، پیشنهاد می‌شود برای ایجاد تغییری اساسی در روند موجود در سیستم انرژی کشور و اهمیت استراتژیک تصمیمات اتخاذ شده در این حوزه، در پژوهش‌های بعدی از روش‌شناسی‌های تحقیق در عملیات نرم استفاده شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

تقدیر و تشکر

این مقاله، نتیجه طرح تحقیقاتی مصوب صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به شماره قرارداد ۲۳۷۸۹/ص/۹۱ مورخ ۱۳۹۱/۲/۱۶ است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

منابع

امیرفخری، سیدجواد (۱۳۸۹)، "ضرورت کاهش انتشار متان به عنوان یکی از عمده‌ترین گازهای گلخانه‌ای"، *شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران*.

تولایی، روح‌اله (۱۳۸۸)، "راهکارهای غیرقیمتی اصلاح الگوی مصرف در بخش انرژی کشور"، *خبرگزاری فارس*.

شاه‌حسینی، محمدعلی (۱۳۸۸)، "طراحی مدل سیاست‌گذاری انرژی در افق چشم انداز با رویکرد سیستم‌های پویا: مورد حوزه گاز کشور"، *پایان‌نامه مقطع دکتری*، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

وزارت نیرو، *ترازنامه‌های انرژی*، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

Anand Sh., Vrat P. and Dahiya R.P. (2006), "Application of a System Dynamics Approach for Assessment and Mitigation of CO2 Emissions from the Cement Industry", *Journal of Environmental Management*, Vol. 79, pp. 383–398.

Fong W.K., Matsumoto H. and Lun Y.F. (2009), "Application of System Dynamics Model as Decision Making Tool in Urban Planning Process Toward Stabilizing Carbon Dioxide Emissions from Cities", *Building and Environment*, Vol. 44, PP.1528–1537.

Kiani B., and Pourfakhraei M.A. (2010), "A System Dynamic Model for Production and Consumption Policy in Iran Oil and Gas Sector", *Energy Policy*, Vol. 38, pp.7764–7774.

Sterman J.D. (2000), *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Massachusetts Institute of Technology: Sloan School of Management.

Szarka N., Kakucs O.; Wolfbauer J. and Bezama A. (2008), "Atmospheric Emissions Modeling of Energetic Biomass Alternatives Using System Dynamics Approach", *Atmospheric Environment*, Vol. 42, pp. 403–414.

Wenpei Y., Mei Z.; Hongtao Z. and Xuehong M. (2011), "Demonstration Research on System Dynamics of Energy Conservation Based on Zhejiang Province", *Energy Procedia*, Vol. 5, PP. 2035–2039.

http://amar.sci.org.ir/

http://ifco.ir/

http://tsd.cbi.ir/Display/Search.aspx

http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php

http://www.eia.doe.gov/

http://www.iies.org/

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]