

مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، شماره (۲)، پیاپی (۱۳)، پاییز و زمستان ۱۳۹۵
دریافت: ۹۱/۸/۳۰ پذیرش: ۹۴/۱/۱۱
صص: ۶۳-۸۲

انتخاب سناریوی برتر برای افزایش درآمد ارزی دولت در سیستم انرژی: کاربردی از رویکرد پویایی سیستم

عالیه کاظمی^۱، مهناز حسینزاده^{۲*}

- ۱- استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت - دانشگاه تهران - تهران - ایران
- ۲- استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت - دانشگاه تهران - تهران - ایران

چکیده

در این پژوهش با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها به شبیه‌سازی سیستم انرژی کشور شامل بخش‌های عرضه و تقاضا پرداخته شده است. بدین منظور با استفاده از نظر خبرگان این حوزه، متغیرهای کلیدی سیستم انرژی کشور شناسایی و روابط علی و ریاضی میان این متغیرها در قالب دو نمودار علت و معلولی و نمودار جریان در رویکرد پویایی سیستم‌ها ترسیم شده‌اند. سپس این سیستم در نرم‌افزار VENSIM طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰ شبیه‌سازی شد و با هدف افزایش درآمد دولت، ۶ سناریوی مختلف تخصیص منابع عرضه به بخش‌های مختلف مصرف، با در نظر گرفتن طرح هدف‌مندی‌سازی یارانه‌ها بررسی شده‌اند. نتایج نشان داد اجرای طرح هدف‌مندی‌سازی یارانه‌ها طی ۸ سال به جای ۴ سال و کاهش سهم مصرف بخش خانگی تجاری به میزان ۲۰٪ و تخصیص مساوی سهم آزادشده بین بخش‌های صنعت و نیروگاه، نتایج بهتری نسبت به سایر سناریوها در بر خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تخصیص منابع انرژی، درآمد دولت، رویکرد پویایی سیستم، هدف‌مندی‌سازی یارانه‌ها.

۱- مقدمه

کشور ما سرزمین انرژی و درعین حال سرزمین اتلاف انرژی است. تقاضای فراورده‌های نفتی و گاز در کشور در سال‌های اخیر افزایش زیادی داشته و روند روبه‌رشد مصرف سالانه در حال افزایش است. تصمیم‌گیری درست و بهینه برای تخصیص نفت و گاز به بخش‌های مختلف مصرف می‌تواند منافع اقتصادی زیادی را برای کشور به همراه داشته باشد (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۹). انرژی از عواملی است که در اکثر فعالیت‌های اقتصادی استفاده می‌شود. امنیت ملی اکثر کشورهای جهان نیز در گرو دسترسی مطمئن به انرژی است. از این رو ایجاد بهره‌وری در تولید و مصرف حامل‌های انرژی از نظر اهداف مختلف سیاسی، اقتصادی، زیست-محیطی و غیره از اهمیت بسیاری برخوردار است (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۹).

در حال حاضر تصمیم‌های مدیریتی مربوط به تخصیص نفت و گاز کشور به بخش‌های مختلف مصرف، اغلب به صورت توصیفی گرفته می‌شود و اغلب، اثرات پویای این تصمیم‌ها در بلندمدت و همین‌طور آثار اقتصادی آن‌ها نادیده گرفته می‌شوند. بنابراین بررسی سیاست‌های مختلف تخصیص انرژی به بخش‌های مختلف و شبیه‌سازی و برآورد اثرات این سیاست‌ها با استفاده از یک روش‌شناسی و یک ابزار مناسب با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی ضروری به نظر می‌رسد (کاظمی، ۱۳۸۹). بدین منظور 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، استفاده خواهد شد.

پویایی سیستم، رویکردی برای فهم رفتار پیچیده طی زمان است. این رویکرد با استفاده از حلقه‌های بازخور و تأخیرهای زمانی که رفتار کل سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهند، یادگیری و سیاست‌گذاری برای بهبود را به ارمغان می‌آورد. مدل‌سازی رفتار سیستم در قالب حلقه‌های علی معلولی و شبیه‌سازی کامپیوتری انجام گرفته در این رویکرد، بستر مناسبی را برای جولان در سیستم‌های پیچیده‌ای مانند سیستم انرژی فراهم می‌آورد (استرمن^۱، ۲۰۰۰).

تاکنون محققان بسیاری با استفاده از این رویکرد به شبیه‌سازی و سیاست‌گذاری در سیستم انرژی در داخل و خارج از کشور پرداخته‌اند. توران^۲ و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم به مدل‌سازی سیستم انرژی ترکیه پرداختند تا جریان عرضه و تقاضای انرژی در این کشور را تا سال ۲۰۵۰ شبیه‌سازی کنند. چی^۳ و همکاران (۲۰۱۰) در پروژه‌های بهارانه از پویایی‌های صنعت گاز در بریتانیا با استفاده از رویکرد پویایی سیستم مدلی ارائه کردند. آن‌ها همچنین تأثیر سناریوهای مختلف را بر متغیرهایی از قبیل نرخ اکتشاف، قیمت عمده‌فروشی و نرخ مصرف تا افق ۲۰۳۰ شبیه‌سازی و تحلیل کردند. تائو^۴ (۲۰۱۰) از روش سنتی تجزیه عاملی و رویکرد پویایی سیستم‌ها به صورت ترکیبی استفاده کرد تا الگوی مصرف سرانه نفت در چین در سال‌های آینده را پیش‌بینی کند. ونپی^۵ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از رویکرد پویایی سیستم به شبیه‌سازی سیستم حفاظت از انرژی ایالت ژجیانگ در چین پرداختند و 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) بررسی کردند. شی و تسنگ^۶ (۲۰۱۴) با بهره‌گیری از رویکرد پویایی سیستم به برآورد میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی در نتیجه اعمال دو سناریوی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود کارایی انرژی پرداختند. لوپز^۷ و همکاران (۲۰۱۴) نیز به مدل‌سازی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در اکوادور با استفاده از رویکرد پویایی سیستم پرداخته‌اند. یک مدل پویایی سیستم نیز برای ارزیابی گزینه‌های مختلف در صنعت برق و الکترونیک ترکیه را سیسل و حکیم‌وگلو^۸ (۲۰۱۳) توسعه دادند. لی^۹ و همکاران (۲۰۱۲) نیز با استفاده از رویکرد پویایی سیستم میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در شمال کشور چین را شبیه‌سازی کردند. اصلانی^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۴) نیز به توسعه یک مدل پویایی سیستم برای ارزیابی تأثیر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بر استقلال و امنیت منابع عرضه انرژی در فنلاند پرداخته‌اند.

در ایران نیز کیانی و پورفخرانی^{۱۱} (۲۰۱۰) یک مدل پویایی سیستم از سیستم انرژی (نفت و گاز) را در ایران ارائه دادند و بازخورهای بین عرضه و تقاضا و درآمد نفت و همچنین اثرات آن‌ها را بر بخش‌های مختلف اقتصادی تحلیل کردند. در این مدل، صادرات و تزریق گاز به مخازن نفتی نیز درخور توجه قرار گرفته است و 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) با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها به مدل‌سازی پورتفولیوی گاز کشور پرداخته است و سناریوهای زیر را بررسی و تحلیل کرد: ۱. حذف ناگهانی

یارانه‌های گاز؛ ۲. حذف تدریجی یارانه‌های گاز؛ ۳. حذف ناگهانی یارانه‌های برق؛ ۴. حذف تدریجی یارانه‌های برق؛ ۵. دوبرابرکردن ضریب صادرات؛ ۶. دوبرابرکردن سهم گاز تزریقی؛ ۷. سناریوی ترکیبی شامل: حذف تدریجی یارانه‌های گاز و برق و افزایش ضریب صادرات گاز و افزایش تزریق به مخازن نفتی.

سناریوی ترکیبی به عنوان سناریوی برتر شناخته شده است. صادقی (۱۳۸۶) با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها به بررسی بازار عرضه انرژی الکتریکی کشور پرداخته است. قادری (۱۳۷۱) به شبیه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی متأثر از پارامترهای اجتماعی و اقتصادی کشور پرداخته است. انصاری و سیفی (۲۰۱۳) ارائه یک مدل پویایی سیستم برای برآورد مصرف انرژی و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در صنایع سیمان ایران بر اساس سناریوهای مختلف تولید و صادرات و با در نظر گرفتن طرح هدف‌مندسازی یارانه‌ها ارائه دادند. در این پژوهش با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها، به شبیه‌سازی سیستم انرژی کشور شامل تمامی بخش‌های عرضه یعنی نفت، گاز و برق و تقاضا شامل بخش‌های خانگی-تجاری، صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی، نیروگاه‌ها، صادرات و تزریق به مخازن نفتی پرداخته شده است. بدین‌منظور ابتدا با استفاده از نظر خبرگان وزارت نفت، متغیرهای کلیدی در حوزه انرژی کشور شناسایی و روابط علی و ریاضی میان این متغیرها در قالب دو نمودار علت و معلولی و نمودار جریان در رویکرد پویایی سیستم‌ها شناسایی می‌شوند. سپس این سیستم شبیه‌سازی شده، در نرم‌افزار VENSIM اجرا و اعتبار مدل، آزمون می‌شود. در ادامه، سناریوهای مختلف در

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

- ۱- روش‌های رگرسیون؛
- ۲- استفاده از نظر خیرگان در شرایطی که اطلاعات و آمار رسمی درباره متغیری وجود ندارد؛
- ۳- استفاده از روابط معتبر موجود در پیشینه در ارتباط با متغیرهای کلان سیستم انرژی در کشور.

مدل‌سازی مسئله در قالب یک مدل پویا

گام نخست که همان گام تعریف مسئله است، در بخش قبل تشریح شد.

۱-۳- نمودار علت و معلولی

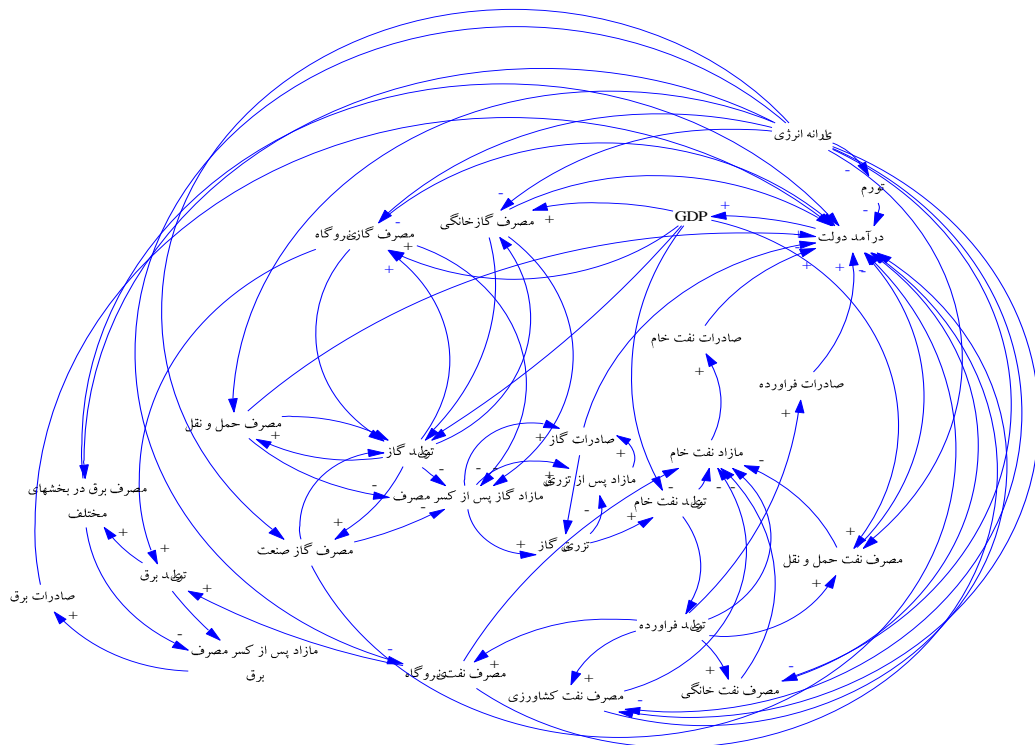
نمودار علت و معلولی مسئله مطابق با شکل (۱) است.

حوزه تخصیص انرژی در مدل اعمال و اثرات آن‌ها بر هزینه و درآمد دولت در این سیستم در بلندمدت شبیه‌سازی و بهترین سناریو انتخاب می‌شود.

۲- روش تحقیق

رویکرد اصلی استفاده شده در این پژوهش، روش پویایی سیستم‌هاست. حل مسئله توسط مدل پویایی سیستم در ۵ مرحله زیر انجام می‌شود:

- ۱- شناسایی و تعریف مسئله؛
- 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 راه‌حل مناسب (استرمن، ۲۰۰۰).



شکل (۱) نمودار علت و معلولی برای سیستم انرژی کشور

فراورده، صادرات فراورده افزایش و در نتیجه مقدار درآمد دولت بیشتر می‌شود. با افزایش مقدار درآمد دولت، مقدار GDP و در نتیجه مقدار تولید گاز و مقدار تزریق افزایش می‌یابد؛ بنابراین این حلقه یک حلقه مثبت است. از طرفی درآمد دولت مقدار تولید نفت خام را نیز افزایش می‌دهد که این افزایش مجدداً در چرخه ذکر شده وارد می‌شود و یک حلقه مثبت را ایجاد می‌کند.

حلقه ۵: با افزایش مقدار تخصیص داده شده نفت و گاز به نیروگاه‌ها، مقدار تولید برق افزایش و در نتیجه صادرات برق افزایش می‌یابد. با افزایش صادرات برق نیز، درآمد دولت افزایش و بنابراین GDP و تولید نفت و گاز افزایش می‌یابند؛ این افزایش به نوبه خود مقدار نفت و گاز تخصیص یافته به نیروگاه‌ها را افزایش می‌دهد. در نتیجه این حلقه نیز یک حلقه مثبت است.

حلقه ۶: با کاهش یارانه‌های انرژی، مقدار مصرف انرژی در بخش‌های مختلف مصرف کاهش و بنابراین درآمد دولت افزایش می‌یابد. با افزایش درآمد دولت نیز، GDP افزایش و در نتیجه مقدار مصرف افزایش می‌یابد. بنابراین این حلقه یک حلقه منفی است.

حلقه ۷: با کاهش یارانه انرژی مقدار مصرف در بخش‌های مختلف کاهش و در نتیجه مقدار صادرات و تزریق افزایش می‌یابند، با توجه به حلقه‌های پیشین، درآمد دولت افزایش و با افزایش درآمد دولت تولید و در نتیجه صادرات و تزریق افزایش می‌یابند. بنابراین این حلقه، یک حلقه مثبت است.

حلقه ۸: با کاهش یارانه انرژی، مقدار تورم در کشور افزایش و در نتیجه درآمد دولت کاهش می‌یابد.

در ادامه برخی از مهم‌ترین حلقه‌های مدل را تشریح خواهیم کرد. نکته مهم در این تحلیل این است که هر حلقه در نهایت با توجه به هدف نهایی این سیستم یعنی افزایش درآمد دولت بررسی می‌شود.

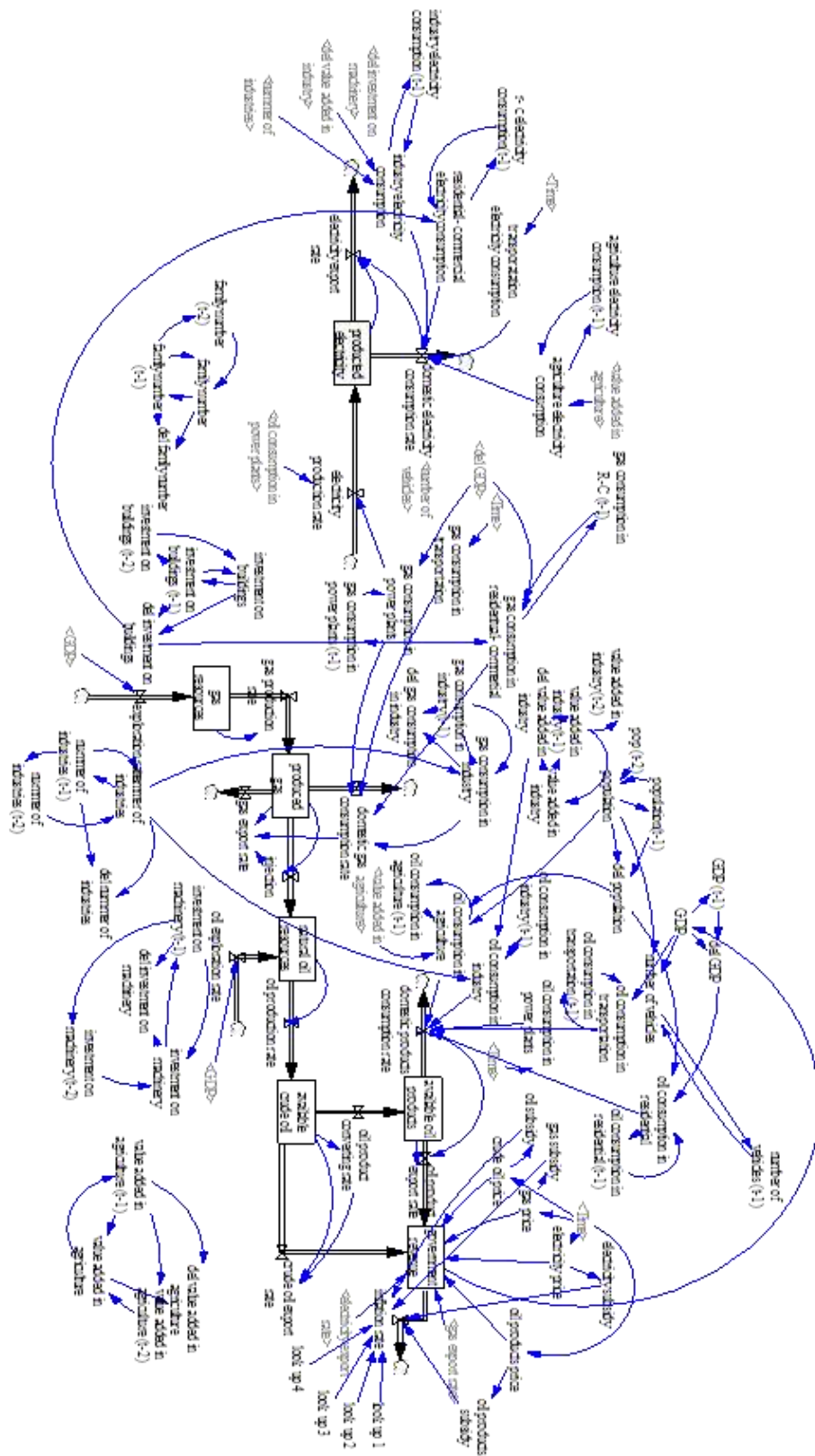
حلقه ۱: با افزایش تولید گاز، مصرف گاز در بخش‌های مختلف مصرف افزایش یافته و بنابراین درآمد دولت به دلیل یارانه تخصیصی به گاز مصرفی در بخش‌های مختلف کاهش می‌یابد. کاهش درآمد دولت، GDP را کاهش می‌دهد و بنابراین تقاضای مصرف در بخش‌هایی که مقدار مصرفشان به GDP وابسته است کاهش می‌یابد. کاهش تقاضای مصرف، تولید گاز را کاهش می‌دهد. بنابراین این حلقه یک حلقه منفی است.

حلقه ۲: با افزایش صادرات گاز، درآمد دولت افزایش و بنابراین GDP افزایش می‌یابد. با افزایش GDP نیز مقدار تولید افزایش و بنابراین صادرات افزایش می‌یابد؛ بنابراین این حلقه، یک حلقه مثبت است.

حلقه ۳: با افزایش صادرات گاز، مقدار تزریق گاز به چاه‌های نفت کاهش می‌یابد. کاهش تزریق میزان تولید نفت خام را کاهش می‌دهد و کاهش تولید نفت خام مقدار صادرات نفت خام را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه درآمد دولت کاهش می‌یابد. با کاهش درآمد نفتی، مقدار GDP کاهش و در نتیجه، تولید گاز و مقدار صادرات کاهش می‌یابد؛ پس این حلقه نیز یک حلقه منفی است.

حلقه ۴: با افزایش تزریق گاز به چاه‌های نفت، مقدار تولید نفت خام افزایش و در نتیجه تولید فراورده‌های نفتی افزایش می‌یابد. با افزایش تولید

با کاهش درآمد دولت مقدار تولید و صادرات کاهش می‌یابد و در نتیجه تورم افزایش بیشتری پیدا می‌کند.



شکل (۲) نمودار جریان سیستم انرژی

۲-۳- 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.

متغیرهای حالت در این مدل عبارت‌اند از: منابع گاز طبیعی، منابع نفت، گاز تولیدشده، نفت تولیدشده، فراورده‌های نفتی تولیدشده و درآمد ارزی دولت.

متغیرهای جریان در مدل عبارت‌اند از: نرخ اکتشاف ذخایر گازی، نرخ اکتشاف ذخایر نفتی، نرخ تولید گاز، نرخ تولید نفت خام، نرخ تولید فراورده‌های نفتی، نرخ تولید برق، نرخ مصرف گاز طبیعی، نرخ مصرف فراورده‌های نفتی، نرخ مصرف برق، نرخ صادرات گاز طبیعی، نرخ صادرات نفت خام، نرخ صادرات فراورده‌های نفتی، نرخ صادرات برق، نرخ تزریق گاز به چاه‌های نفت و نرخ تبدیل نفت خام به فراورده‌های نفتی.

متغیرهای کمکی مهم در این مدل عبارت‌اند از: میزان سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان، تعداد خانوار، تعداد خودرو، تعداد صنایع با بیش از ۵۰ نفر کارمند، ارزش افزوده بخش صنعت، ارزش افزوده

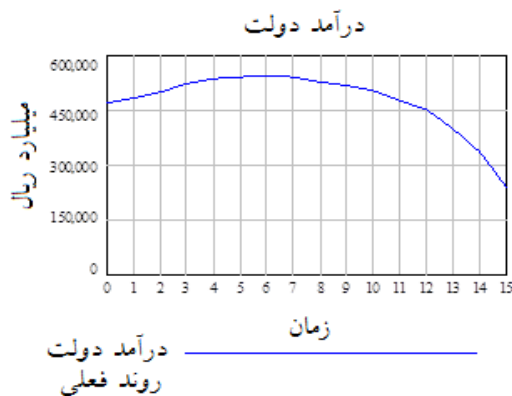
بخش کشاورزی، تولید ناخالص داخلی (GDP)، تورم، قیمت جهانی نفت خام، گاز طبیعی، برق و فراورده‌های نفتی، یارانه تخصیص یافته به گاز طبیعی، برق و فراورده‌های نفتی و جمعیت. نمودار جریان سیستم انرژی مطابق با شکل (۲) است.

روابط ریاضی میان متغیرهای مدل در بخش ضمیمه ارائه شده است.

۳-۳- شبیه‌سازی و بررسی اعتبار مدل

در سناریوی مبنا مقدار منابع عرضه نخست به بخش خانگی-تجاری، براساس تقاضای این بخش که مقدار آن در مدل تا افق ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده است، به‌طور کامل تخصیص داده می‌شود. سپس از مازاد آن تقاضای سایر بخش‌ها (که مقدار آن‌ها نیز تا افق ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده است) تأمین می‌شود و از منابع باقیمانده درباره صادرات یا تزریق تصمیم‌گیری می‌شود.

با اجرای مدل، وضعیت متغیر اصلی که نشان‌دهنده هدف مدل است (یعنی درآمد ارزی دولت در افق شبیه‌سازی) به صورت شکل (۳) خواهد بود:



شکل (۳) میزان درآمد دولت از منابع انرژی تا افق ۱۴۰۰ تحت سناریوی اول (ادامه روند موجود)

مربوطه به جای این سالسال 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. بدین منظور مقدار برخی از متغیرهای اصلی مدل مانند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، مقدار مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی و مقدار شبیه‌سازی شده آن‌ها توسط مدل در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. درصد میانگین قدرمطلق خطا (AAEP)^{۱۲} مطابق با معادله (۱) نیز محاسبه شده است.

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

$$e(i) = x(i) - \hat{x}(i)$$

که در آن $x(i)$ مقادیر واقعی، $\hat{x}(i)$ مقادیر پیش‌بینی و n تعداد داده‌ها است.

با ادامه روند کنونی در تخصیص منابع عرضه به بخش‌های مختلف مصرف و با توجه به طرح هدفمندی یارانه‌ها و تغییرات قیمت جهانی ارز و محاسبه آن براساس قیمت سال ۲۰۰۸ و بدون توجه به قیمت فعلی دلار و تغییرات آن و درآمد دولت تا سال ششم افق شبیه‌سازی افزایش و پس از اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها، این درآمد به جای افزایش به طریقی که انتظار می‌رود، کاهش خواهد یافت. این سیر نزولی تا انتهای افق شبیه‌سازی یعنی سال ۱۴۰۰ ادامه خواهد یافت، تا بدان‌جا که به حدود ۱۷۰ میلیارد ریال خواهد رسید. با توجه به متغیرهای موجود در مدل، علت را می‌توان به افزایش تورم نسبت داد که حلقه مثبت آن با قدرت بیشتری از حلقه افزایش درآمد دولت (ناشی از قطع یارانه‌ها و در نتیجه افزایش GDP)، عمل می‌کند.

یکی از شیوه‌های رایج بررسی اعتبار مدل، مقایسه نتایج حاصل از مدل با داده‌های واقعی است. سال ۱۳۸۹ آخرین سالی است که داده‌های آن در ترازنامه انرژی در دسترس است، به همین دلیل افق مدل

جدول (۱) مقایسه مقدار واقعی و شبیه‌سازی شده میزان مصرف فرآورده‌های نفتی در سال‌های ۸۵-۸۹ (میلیون بشکه)

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

جدول (۲) مقایسه مقدار واقعی و شبیه‌سازی شده میزان مصرف گاز طبیعی در سال‌های ۸۵-۸۹ (میلیون بشکه)

| | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| ۱۳۸۹ | ۱۳۸۸ | ۱۳۸۷ | ۱۳۸۶ | ۱۳۸۵ | مقدار گاز مصرف شده |
| ۷۴۰/۴ | ۷۰۲/۱ | ۶۶۹/۳ | ۶۴۰/۷ | ۵۶۹/۷ | مقدار واقعی |
| ۷۳۹/۵ | ۷۰۰ | ۶۷۰/۴ | ۶۵۴/۹ | ۵۶۹/۷ | مقدار شبیه‌سازی |
| ۰/۵۶ % = AAEP | | | | | |

تغییر پارامترها از مقادیر حد پایین و حد بالای پارامترها در پیش‌بینی‌های فازی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی با تغییرات جداگانه و هم‌زمان این پارامترها، تغییر چشمگیری در رفتار کلی مدل نسبت به حالت اولیه نشان نداد و در واقع هیچ محدودیتی خارج از حد رفتار نکرد.

با قراردادن قیمت منابع انرژی در دو طیف یارانه صفر و قیمت انرژی نزدیک به صفر (یارانه ۱۰۰٪)، تغییرات چشمگیری در رفتار مدل ایجاد شد؛ بنابراین مدل نسبت به قیمت منابع انرژی حساس به نظر می‌رسد.

۳-۴- بررسی سناریوهای مختلف

در این پژوهش، علاوه بر سناریوی مبنا یعنی تخصیص منابع عرضه به بخش‌های مختلف مصرف با روند فعلی موجود در کشور، ۵ سناریوی مختلف برای افزایش درآمد ارزی دولت که هدف نهایی پژوهش است بررسی شد. این سناریوها عبارت‌اند از: ۱- افزایش ۵۰٪ سهم صادرات از منابع باقیمانده پس از کسر مصرف و لذا کاهش ۵۰٪ سهم تزریق از این منابع؛

۲- اعمال محدودیت بر مصرف نفت و گاز در بخش خانگی-تجاری با فرض کاهش ۲۰٪ سهم مصرف فعلی در این بخش و تخصیص این سهم به نیروگاه‌های تولید برق؛

۳- کاهش سهم مصرف نفت و گاز در بخش خانگی-تجاری با اعمال محدودیت بر مصرف و فرض کاهش ۲۰٪ سهم مصرف فعلی در این بخش و تخصیص این سهم به بخش صنعت؛

آزمون‌های دیگری برای تعیین اعتبار مدل انجام شده است که در ادامه به توضیح آن می‌پردازیم.

۳-۳-۱ آزمون برازندگی

هدف از این آزمون پاسخ‌گویی به این سؤال است که آیا ساختار مدل با دانش موجود در مورد ساختار سیستم واقعی در تناقض نیست؟ بدین منظور از برخی خبرگان صنعت نفت خواسته شد تا روابط میان متغیرها در سیستم تحت شبیه‌سازی را با سیستم واقعی مقایسه و در صورت مشاهده تفاوت معنادار آن را مشخص کنند. ساختار کلی مدل مورد تأیید خبرگان بود.

۳-۳-۲ آزمون تأیید پارامتری

این آزمون بررسی می‌کند که آیا پارامترها از نظر مفهومی و عددی با دنیای واقعی متناظر هستند؟ از آنجا که مقدار تمامی پارامترهای مدل از داده‌های واقعی موجود در ترازنامه‌های انرژی و داده‌های سری زمانی بانک مرکزی و مرکز آمار استخراج شده‌اند لذا در این باره مشکلی وجود ندارد.

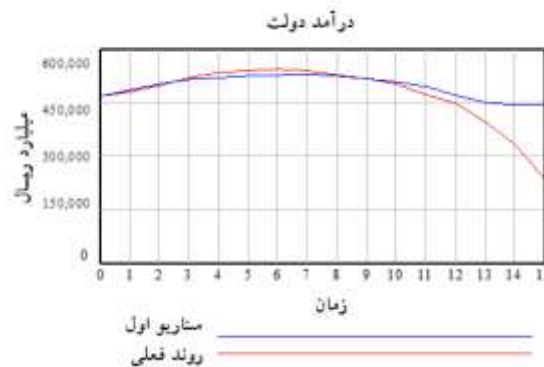
۳-۳-۳ آزمون حساسیت پارامتری

این آزمون بررسی می‌کند که آیا رفتار مدل نسبت به تغییرات معقول در مقادیر پارامترها حساس است؟ و آیا با تغییر پارامترها سبک‌های رفتاری تغییر می‌کند؟

تمامی پیش‌بینی‌های صورت گرفته در مدل به صورت فازی انجام شدند تا بتوان بدین وسیله مدل دقیق‌تری را ارائه کرد، بدین صورت که در شبیه‌سازی اولیه مدل از مقادیر حد وسط بهره گرفته شد و سپس برای بررسی میزان حساسیت مدل نسبت به

۳-۴-۱ نتایج شبیه‌سازی سناریوی اول

با توجه به مقادیر سال ۱۳۸۹ به ترتیب ۵/۹٪ گاز تولیدشده در هر سال به خارج از کشور صادر می‌شود و ۱۸/۹٪ آن به چاه‌های نفت تزریق می‌شود و درحقیقت نسبت تخصیص آن‌ها از منابع باقیمانده برابر با ۲۳۸/۰ و ۷۶۲/۰ است. بنابراین در این سناریو سهم تزریق به ۷۳۸/۰ منابع باقیمانده پس از کسر مصرف و سهم صادرات به ۲۶۲/۰ خواهد رسید. با اجرای این سناریو، درآمد ارزی دولت در افق شبیه‌سازی به صورت شکل (۴) تغییر خواهد کرد:



شکل (۲) میزان درآمد دولت از منابع انرژی تا افق ۱۴۰۰ تحت سناریوی اول

بیشتر و افزایش سهم صادرات نفت خام و تولید فراورده و در نتیجه افزایش صادرات فراورده، حتی با وجود کاهش سهم صادرات گاز طبیعی، درآمد ارزی دولت بیشتر خواهد بود.

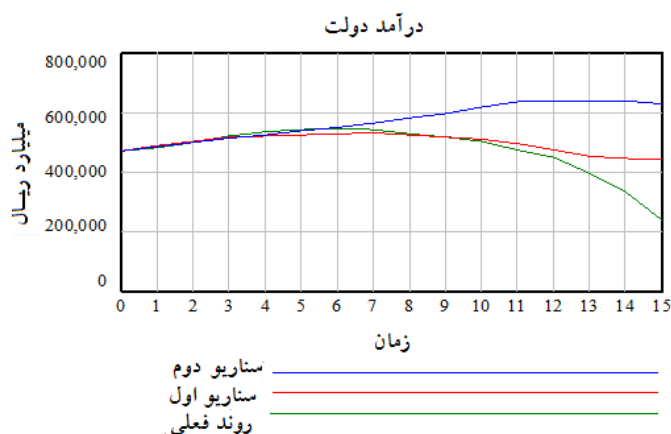
۳-۴-۲ نتایج شبیه‌سازی سناریوی دوم

روند تغییرات درآمد ارزی دولت طی اجرای سناریوی سوم به صورت شکل (۵) خواهد بود:

۴- اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها طی ۸ سال به جای ۴ سال و افزایش ۵۰ درصدی تخصیص منابع گاز باقیمانده از مصرف به تزریق و کاهش سهم صادرات؛

۵- اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها طی ۸ سال به جای ۴ سال و کاهش سهم مصرف بخش خانگی تجاری به میزان ۲۰٪ و تخصیص مساوی سهم آزادشده بین بخش‌های صنعت و نیروگاه.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که با اجرای این سناریو، درآمد ارزی دولت تا سال هشتم با شیب اندکی افزایش یافته و از سال نهم شروع به کاهش خواهد کرد، اما این کاهش با سرعت بسیار کمتری نسبت به وضعیت کنونی اتفاق خواهد افتاد و از سال سیزدهم تقریباً به تعادل خواهد رسید. با توجه به طرح هدفمندسازی یارانه‌ها، کاهش درآمد ارزی دولت مشابه آنچه در سناریوی مبنا اتفاق افتاد، کاهش خواهد یافت؛ اما با افزایش سطح تزریق این کاهش بسیار کمتر از حالت قبل خواهد بود. این امر نشان می‌دهد که با افزایش تزریق و در نتیجه تولید نفت



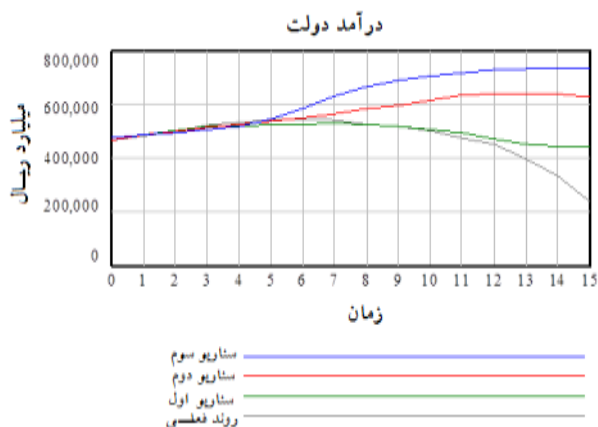
شکل (۳) میزان درآمد دولت از منابع انرژی تا افق ۱۴۰۰ تحت سناریوی دوم

کاهش نرخ درآمد دولت همان عملکرد حلقه تورم در اثر طرح هدفمند کردن یارانه‌هاست.

۳-۴-۳ نتایج شبیه‌سازی سناریوی سوم

با اجرای این سناریو وضعیت درآمد دولت در افق شبیه‌سازی به صورت شکل (۶) خواهد بود: با اجرای این سناریو درآمد دولت نسبت به سناریوی افزایش سهم نیروگاه افزایش چشمگیری خواهد داشت و از سال دوازدهم به تعادل خواهد رسید.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با اجرای این سناریو، درآمد ارزی دولت افزایش یافته و از سال یازدهم به بعد تقریباً به تعادل خواهد رسید. با کاهش مصرف و افزایش تولید برق دو حلقه فعال می‌شوند. حلقه نخست ناشی از افزایش تولید برق و در نتیجه کاهش مصرف نفت و گاز در بخش‌های مختلف است که موجب افزایش درآمد دولت می‌شود. حلقه دیگر در اثر افزایش تولید برق و در نتیجه افزایش صادرات برق اتفاق می‌افتد که این حلقه نیز خود منجر به افزایش درآمد ارزی دولت می‌شود. اما علت



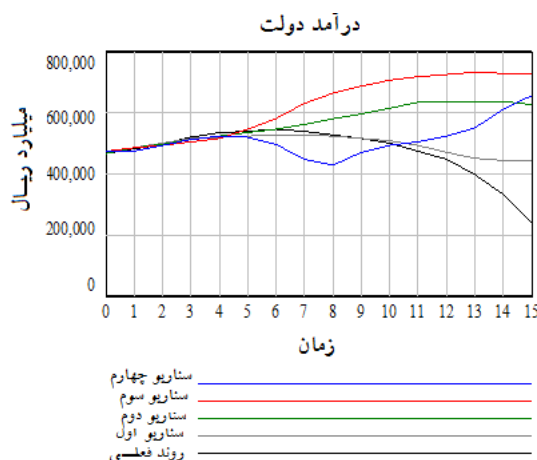
شکل (۴) میزان درآمد دولت از منابع انرژی تا افق ۱۴۰۰ تحت سناریوی سوم

این شکل نشان می‌دهد که در نتیجه اجرای این سناریو، درآمد دولت از سال پنجم یعنی ابتدای اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها، شروع به کاهش ناگهانی می‌کند، اما از سال هشتم شروع به افزایش خواهد کرد و این افزایش تا پایان افق شبیه‌سازی ادامه خواهد یافت. بنابراین به دنبال اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها با توجه به دلایل گفته شده، درآمد دولت به علت تورم کاهش خواهد یافت. هم‌زمان با اجرای این طرح، کاهش سهم صادرات نیز موجب کاهش درآمد دولت خواهد شد. اما به علت زمان طولانی‌تر اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها، شوک وارده به جامعه کمتر بوده و بنابراین تورم تا حدی کنترل می‌شود. از طرف دیگر همان‌طور که پیش‌تر تشریح شد با افزایش سهم تزیق و در نتیجه تولید نفت خام و افزایش صادرات نفت خام و بنابراین فرآورده، درآمد دولت افزایش خواهد یافت. بنابراین از سال هشتم روند کاهش درآمد دولت قطع شده و روندی افزایشی به خود خواهد گرفت.

تحلیل این وضعیت بدین صورت است که با اجرای این طرح، چندین حلقه فعال خواهند شد: نخست اینکه با کاهش مصرف در بخش خانگی، درآمد دولت افزایش خواهد یافت. دوم اینکه با افزایش سهم صنعت، مقدار GDP افزایش یافته و بنابراین سرمایه‌گذاری در بخش انرژی و تولید بیشتر خواهد شد. با افزایش تولید سهم صادرات و تزیق گاز و صادرات سایر منابع افزایش یافته و در نتیجه درآمد ارزی دولت افزایش خواهد یافت. به علاوه با افزایش سهم صنعت و همچنین کنترل سهم بخش خانگی با وجود افزایش سطح تولید، حلقه فوق همچنان تشدید شده و صادرات و درآمد را افزایش می‌دهد. اما علت کنترل رشد نمایی افزایش درآمد ارزی دولت در این سناریو همان طرح هدفمند کردن یارانه‌ها، افزایش تورم و در نتیجه کاهش درآمد دولت است.

۳-۴-۴ نتایج شبیه‌سازی سناریوی چهارم

با اجرای سناریوی پنجم، روند تغییر درآمد ارزی دولت به صورت شکل (۷) خواهد بود.



شکل (۵) میزان درآمد دولت از منابع انرژی تا افق ۱۴۰۰ تحت سناریوی چهارم

۳-۴-۵ نتایج شبیه‌سازی سناریوی پنجم

در نتیجه اجرای سناریوی ششم، درآمد ارزی دولت به صورت شکل (۸) تغییر خواهد کرد:

در شکل (۸) مشاهده می‌شود که با اجرای سناریوی ششم درآمد دولت بیش از حالات پیشین افزایش خواهد یافت.



شکل (۶) میزان درآمد دولت از منابع انرژی تا افق ۱۴۰۰ تحت سناریوی پنجم

یکی از علت‌ها این است که افزایش طول مدت اجرای طرح هدفمند سازی یارانه‌ها موجب هضم شرایط جدید شده و بنابراین امکان کنترل تورم وجود خواهد داشت. از طرفی افزایش هم‌زمان سهم نیروگاه و سهم صنعت به همان طریقی که در سناریوهای سوم و چهارم ذکر شد، درآمد دولت را افزایش می‌دهد. در نتیجه درآمد دولت بسیار افزایش خواهد یافت و در پایان سال پانزدهم تا حدود ۸۵۰۰۰۰ میلیارد ریال در سال خواهد رسید.

بنابراین با توجه به هدف اصلی این پژوهش که شبیه‌سازی سیستم انرژی کشور به منظور افزایش درآمد دولت از این حوزه است، بهترین سناریو، سناریوی ششم است یعنی اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها طی ۸ سال به جای ۴ سال و کاهش سهم مصرف بخش خانگی تجاری به میزان ۲۰٪ و

تخصیص مساوی این سهم آزاد شده بین بخش‌های صنعت و نیروگاه.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها، سیستم انرژی کشور شبیه‌سازی و سناریوهای مختلف با هدف افزایش درآمد ارزی دولت بررسی شد.

ترازنامه انرژی مهم‌ترین و قابل‌اعتمادترین سند در زمینه ارقام و اطلاعات موجود در حوزه انرژی کشور می‌باشد؛ با این حال در این سند، تنها مقادیر واقعی ثبت شده و مقدار پیش‌بینی شده در بخش‌های مختلف تولید، مصرف و غیره وجود ندارد. لذا سند قابل اتکایی که بتوان مقادیر پیش‌بینی شده را با آن مقایسه کرد، موجود نیست. با این حال مقادیر واقعی تولید درآمد ملی حاصل از حوزه انرژی در فاصله سال‌های

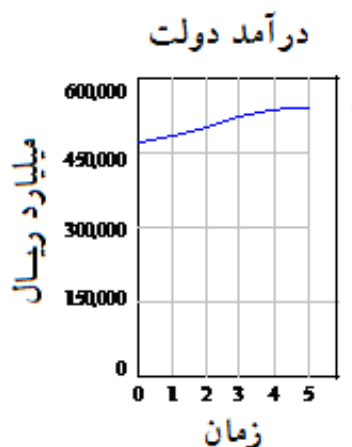
مبنای شبیه‌سازی پژوهش تا آخرین سالی که اطلاعات در دسترس است در این سند ثبت شده که در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) درآمد ملی حوزه انرژی کشور در فاصله سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ (میلیارد ریال)

| درآمد ملی | ۱۳۸۵ | ۱۳۸۶ | ۱۳۸۷ | ۱۳۸۸ | ۱۳۸۹ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| مقدار واقعی | ۵۲۴/۸ | ۵۳۰/۴ | ۵۳۷/۷ | ۵۴۶/۴ | ۵۰۶/۲ |

مورد استفاده قرار گرفتند) نشان می‌دهد که مدل طراحی شده به خوبی قادر است سیستم انرژی کشور را تحلیل و ارزیابی کند.

شکل (۹) نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در حالت حفظ روند موجود را نشان می‌دهد. مقایسه جدول (۳) با مقادیر درآمد ملی در شکل (۹) در فاصله سال‌های ۰ تا ۵ (که به عنوان داده‌های تست



شکل (۹) مقدار درآمد ملی در فاصله سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ با حفظ روند فعلی در صنعت انرژی کشور

- از اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌های در فاصله ۴ ساله اجتناب شود (همان‌طور که وضعیت کنونی کشور هم اجرای فاز دوم این طرح را متوقف کرده است) و پیاده‌سازی این طرح در افق بلندمدت- تری صورت گیرد؛
- برای کاهش مصرف در بخش‌های خانگی - تجاری از این دو راهکار استفاده شود: یکی اعمال محدودیت‌هایی از قبیل سهمیه‌بندی مصرف با توجه به مناطق مختلف کشور و اقشار مختلف با امکانات

نتایج نشان داد اجرای طرح هدفمندسازی یارانه- ها طی ۸ سال به جای ۴ سال و کاهش سهم مصرف بخش خانگی تجاری به میزان ۲۰٪ و تخصیص مساوی سهم آزادشده بین بخش‌های صنعت و نیروگاه، نتایج بهتری نسبت به سایر سناریوها در بر خواهد داشت.
با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف پیشنهاد می‌شود:

پیشنهاد می‌شود سناریوهای دیگری با توجه به اهداف دیگری در سیستم انرژی، برای مثال کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، بررسی شوند.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با استفاده از اعتبارات شورای پژوهشی دانشگاه تهران به شماره طرح ۰۱/۰۱/۴۳۰۳۰۳۰ انجام شده است.

ضمیمه

محاسبه روابط ریاضی میان متغیرهای موجود در مدل

با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۹ مدل رگرسیون مناسب برای پیش‌بینی میزان تقاضای گاز، نفت و برق در بخش‌های مختلف مصرف برآورد شده است. گفتنی است داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ به عنوان داده‌های تست استفاده شده‌اند. 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 شده است؛ جنس هر دو متغیر، متغیر حالت تعریف شده است. مقدار سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات در زمان $t-1$ با تأخیر درجه یک مقدار سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات در سال t تعریف شده است.

جدول (۴) روابط ریاضی میان متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

مختلف و دیگری استفاده از سیاست‌های تشویقی برای کاهش مصرف در کنار تبلیغات برای بهبود فرهنگ مصرف و یا حتی اطلاع‌رسانی به عموم در رابطه با راه‌های بی‌دردسر کاهش مصرف؛

- آمارهای موجود از وضعیت مصرف در شرایط فعلی کشور نشان می‌دهد که نه تنها محدودیتی برای تخصیص انرژی به بخش‌های خانگی وجود ندارد، بلکه گاه سهمیه‌بندی شامل بخش‌های صنعتی که نیروی محرک کشور هستند می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش افزایش تخصیص به بخش صنعت بیش از بخش نیروگاه، درآمد دولت را افزایش خواهد داد. لذا پیشنهاد می‌شود که سهم تخصیص یافته به این بخش تا حد ممکن افزوده شود؛

- با توجه به وضعیت تحریم در کشور، افزایش سهم صادرات گاز عملاً نتیجه‌ای در پی نخواهد داشت، چراکه تقاضا برای انرژی کشور کاهش یافته است. لذا به نظر می‌رسد کاهش سهم این بخش و افزایش تزریق، نتایج بهتری در پی خواهد داشت. همچنین موارد زیر برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود:

- در این پژوهش، نوسانات فصلی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف مورد توجه قرار نگرفته‌اند، لذا پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده این نوسانات در شبیه‌سازی درخور توجه قرار گیرند.

- با توجه به وضعیت تحریم اقتصادی در کشور پیشنهاد می‌شود در شبیه‌سازی سیستم، وضعیت تحریم به‌عنوان متغیری کلیدی وارد شود.

- هدف اصلی شبیه‌سازی در این پژوهش، افزایش درآمد دولت در حوزه انرژی بوده است.

جدول (۴) روابط ریاضی میان متغیرهای نمودار جریان در نرم افزار VENSIM

| |
|---|
| $+$ (نرخ رشد میزان سرمایه گذاری در بخش ساختمان) $\times 0/4511 + 0/1185 =$ تقاضای گاز بخش خانگی تجاری (مصرف بخش خانگی تجاری سال قبل) $\times 1/0412 +$ (نرخ رشد تولید ناخالص داخلی) $\times 1/5399$ |
| (تولید ناخالص داخلی در سال قبل) $\times 1/051 =$ تولید ناخالص داخلی (سرمایه گذاری در بخش ساختمان در سال قبل) $\times 1/061 =$ سرمایه گذاری در بخش ساختمان در زمان t |
| (۱، سرمایه گذاری در ماشین آلات) LAYIDE = سرمایه گذاری در بخش ساختمان در زمان t-1 |
| - سرمایه گذاری در ماشین آلات در زمان t = نرخ سرمایه گذاری در بخش ساختمان در زمان t سرمایه گذاری در ماشین آلات در زمان t-1 / (سرمایه گذاری در ماشین آلات 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 تولید ناخالص داخلی) $\times 0/5512 =$ تقاضای فرآورده های نفتی بخش خانگی تجاری (تقاضای فرآورده های نفتی بخش خانگی تجاری سال قبل) $\times 0/9233 +$ (نرخ رشد جمعیت) $\times 1/3405$ |
| $+$ (نرخ رشد میزان سرمایه گذاری در بخش ساختمان) $\times 0/123 =$ تقاضای برق بخش خانگی تجاری (میزان مصرف برق بخش خانگی تجاری سال قبل) $\times 1/0592$ |
| $\times 1/0214 +$ (تولید ناخالص داخلی) $\times 0/003 =$ تقاضای فرآورده های نفتی بخش حمل و نقل (تقاضای فرآورده های نفتی بخش حمل و نقل سال قبل) |
| ۳۱/۶۵۶ - (زمان) $\times 5/3948 =$ تقاضای CNG بخش حمل و نقل |
| ۰/۰۹۲۸ - (زمان) $\times 0/228 =$ تقاضای برق بخش حمل و نقل |
| (مصرف گاز صنعت سال قبل) $\times 0/9539 +$ (تعداد صنایع بیش از ۵۰ نفر) $\times 0/084 =$ تقاضای گاز بخش صنعت |
| $+$ (نرخ رشد ارزش افزوده بخش صنعت) $\times 0/1142 + 35/3 =$ تقاضای فرآورده های نفتی بخش صنعت (میزان مصرف فرآورده های نفتی بخش صنعت سال قبل) $\times 0/1599 +$ (تعداد صنایع بیش از ۵۰ نفر) $\times 0/033$ |
| $+$ (نرخ رشد ارزش افزوده بخش صنعت) $\times 0/0942 + 0/245 =$ تقاضای برق بخش صنعت (میزان مصرف برق نفتی بخش صنعت سال قبل) $\times 0/7095 +$ (تعداد صنایع بیش از ۵۰ نفر) $\times 0/019$ |
| $+$ جمعیت / ارزش افزوده بخش کشاورزی) $\times 1/3952 =$ تقاضای فرآورده های نفتی بخش کشاورزی (مصرف فرآورده های نفتی بخش کشاورزی در سال قبل) $\times 0/7475 +$ (نرخ رشد جمعیت) $\times 5/9227$ |
| $\times 1/063 +$ (ارزش افزوده بخش کشاورزی) $\times 0/0006 =$ تقاضای برق بخش کشاورزی (مصرف برق بخش کشاورزی در سال قبل) |
| $\times 0/934 +$ (نرخ رشد تولید ناخالص داخلی) $\times 4/9542 + 10/7201 =$ تقاضای گاز نیروگاه ها (مصرف گاز بخش کشاورزی در سال قبل) |
| $+ 40/157 + LN(t) \times 25/364 =$ تقاضای فرآورده های نفتی نیروگاه ها |

ادامه جدول ۴. روابط ریاضی میان متغیرهای نمودار جریان در نرم افزار VENSIM

| |
|---|
| تقاضای گاز نیروگاه+ تقاضای گاز در بخش صنعت+تقاضای گاز بخش خانگی تجاری=نرخ مصرف گاز در سال t تزریق گاز به مخازن نفتی+صادرات نفت+تقاضای گاز حمل و نقل + |
| تقاضای فراورده بخش صنعت+تقاضای فراورده بخش خانگی تجاری=نرخ مصرف فراورده های نفتی در سال t صادرات فراورده+تقاضای فراورده کشاورزی+تقاضای فراورده حمل و نقل + تقاضای فراورده نیروگاه+ |
| تقاضای برق کشاورزی+تقاضای برق بخش صنعت+تقاضای برق بخش خانگی تجاری=نرخ مصرف برق در سال t صادرات برق+ تقاضای برق حمل و نقل + |
| (تعداد خانوار در دو سال قبل) $\times 0/1$ +(تعداد خانوار در سال قبل) $\times 0/94$ =تعداد خانوار در زمان t |
| (نرخ رشد جمعیت) $\times 37139/32$ +(نرخ رشد تولید ناخالص داخلی) $\times 17180/39$ =تعداد خودرو در زمان t (تعداد خودرو در سال قبل) $\times 1/03$ |
| (تعداد صنایع در سال قبل) $\times 0/81$ + $250/957$ =تعداد صنایع (با ۵۰ نفر یا بیشتر کارکن) در زمان t (تعداد صنایع در دو سال قبل) $\times 0/213$ |
| (ارزش افزوده بخش صنعت در سال قبل) $\times 1/059$ = ارزش افزوده بخش صنعت (صنایع و معادن) در زمان t (جمعیت در دو سال قبل) $\times 0/796$ +(جمعیت در سال قبل) $\times 0/226$ =جمعیت در زمان t |
| (ارزش افزوده بخش کشاورزی در سال قبل) $\times 0/449$ =ارزش افزوده بخش کشاورزی در زمان t (ارزش افزوده بخش کشاورزی در دو سال قبل) $\times 0/064$ |
| (سرمایه گذاری در ماشین آلات در سال قبل) $\times 1/021$ + $4432/366$ = سرمایه گذاری در ماشین آلات در زمان t |
| نرخ تولید گاز در سال t - نرخ اکتشاف گاز در سال t = منابع گاز طبیعی |
| نرخ صادرات گاز در سال t - نرخ مصرف در سال t - نرخ تولید گاز در سال t = گاز تولید شده نرخ تزریق گاز در سال t - |
| - نرخ اکتشاف نفت در سال t + نرخ تزریق گاز به چاه های نفت در سال t = منابع طبیعی نفت نرخ تولید نفت خام در سال t |
| - نرخ صادرات نفت خام در سال t - نرخ تولید نفت خام در سال t = نفت خام تولید شده نرخ تبدیل نفت خام به فراورده در سال t |
| نرخ مصرف فراورده در سال t - نرخ تبدیل نفت خام به فراورده در سال t = فراورده نفتی تولید شده نرخ صادرات فراورده در سال t |
| نرخ صادرات برق در سال t - نرخ مصرف برق در سال t - نرخ تولید برق در سال t = برق تولید شده |
| (نرخ صادرات نفت خام \times قیمت نفت خام) + (نرخ صادرات فراورده \times قیمت فراورده) = درآمد نفتی دولت (نرخ صادرات برق \times قیمت برق) + (نرخ صادرات گاز \times قیمت گاز) |

- industry: System dynamics modeling and long-term energy policy analysis". *Technological Forecasting & Social Change*, 76, 339–357.
- Kiani, B., & Pourfakhraei M.A. (2010). "A system dynamic model for production and consumption policy in Iran oil and gas sector". *Energy Policy*, 38, 7764–7774.
- Li, F., Dong, S., Li, Z., Li, Y., Li, S., & Wan, Y. (2012). "The improvement of CO2 emission reduction policies based on system dynamics method in traditional industrial region with large CO2 emission". *Energy Policy*, 51, 683–695.
- López, A.R., Ramos, J.E.G., Antonio, A., & Nieto, G.A.M. (2014). "System dynamics modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador (1980–2025)". *Energy Policy*, 67, 923–931.
- Saysel, A.K., & Hekimoğlu, M. (2013). "Exploring the options for carbon dioxide mitigation in Turkish electric power industry: System dynamics approach". *Energy Policy*, 60, 675–686.
- Shih, Y.H., & Tseng CH. (2014). "Cost-benefit analysis of sustainable energy development using life-cycle co-benefits assessment and the system dynamics approach". *Applied Energy*, 119, 57–66.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Massachusetts Institute of Technology: Sloan School of Management.
- Tao, Z. (2010). "Scenarios of China's oil consumption per capita (OCPC) using a hybrid Factor Decomposition–System Dynamics (SD) simulation". *Energy*, 35, 168–180.
- Turan, S.B., Basoglu A.N., & Oner M.A. (2001). "A System-Dynamic Simulation Game for Energy Sector of Turkey". *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, Portland, (Picment).
- Wenpei, Y., Mei Z., Hongtao, Z., & Xuehong, M. (2011). "Demonstration Research on System Dynamics of Energy Conservation Based on Zhejiang Province". *Energy Procedia*, 5, 2035–2039.
- قیمت جهانی برق، نفت خام، فراورده و گاز که متغیرهای برونزای سیستم هستند به صورت data وارد نرم افزار VENSIM شده است. بدین صورت که بر اساس پیش بینی جهانی قیمت این اقلام، اطلاعات مربوط به هر سال به صورت تابع look up از زمان وارد مدل شده است.
- منابع**
- ترازنامه انرژی. (۱۳۸۹). وزارت نیرو، جمهوری اسلامی ایران.
- شاه حسینی، محمدعلی. (۱۳۸۸). طراحی مدل سیاست گذاری انرژی در افق چشم انداز با رویکرد سیستم های پویا: مورد حوزه گاز کشور، رساله دکتری، دانشگاه تهران / دانشکده مدیریت. صادقی، ندا. (۱۳۸۶). بررسی بازار عرضه انرژی الکتریکی (با رویکرد سیستم دینامیک)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران / دانشکده مهندسی صنایع.
- قادری، فرید. (۱۳۷۱). شبیه سازی مصرف انرژی الکتریکی متأثر از پارامترهای اجتماعی و اقتصادی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر / دانشکده مهندسی صنایع.
- کاظمی، عالیسه. (۱۳۸۹). طراحی مدل ریاضی تخصیص بهینه نفت و گاز به بخش های مختلف مصرف، رساله دکتری، دانشگاه تهران / دانشکده مدیریت.
- Aslani, A., Helo, P., & Naaranoja, M. (2014). "Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach". *Applied Energy*, 113, 758–765.
- Chi, K.C., Reiner D.M., & Nuttall, W.J. (2010). "Dynamics of the UK natural gas

- 1 Sterman
- 2 Turan
- 3 Chi
- 4 Tao
- 5 Wenpei
- 6 Shih & Tseng
- 7 López
- 8 Saysel & Hekimoğlu
- 9 Li
- 10 Aslani
- 11 Kiani & Pourfakhraei
- 12 Average absolute error percentage

