بررسی سیستمی اثرات سیاست‌های قیمتی بر مصرف خانگی انرژی کشور

منصوره زارع زاده [*1]، سیدفرید قادری [2] و رضا توکلی مقدم [3]

[1] دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

[2] دانشیار گروه مهندسی صنایع- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

[3] استاد گروه مهندسی صنایع- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت 88/10/14 ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده 89/8/2، تاریخ تصویب90/1/22)

چکیده

امروزه رویکرد سیستمی در حل مسائل پیچیده، برای برنامه‌ریزی و مدیریت بخش‌های مختلف کشور از جمله بخش انرژی، مورد توجه بسیاری از مدیران و محققان جهان است. در این مقاله با استفاده از روش پویایی سیستم به ارزیابی اثرات سیاست‌های قیمت انرژی بر مصرف آن و سایر متغیرهای مرتبط در بخش خانگی کشور به عنوان بخشی که بیشترین سهم را مصرف به خود اختصاص داده، پرداخته شده‌است. در ابتدا با توجه به مطالعات انجام‌شده در رابطه با تقاضای انرژی در بخش خانگی عوامل اثرگذار بر مصرف انرژی در این بخش شناسایی شده، سپس چگونگی تأثیر این عوامل توسط معادلات مربوطه شرح داده شده است. در ادامه پس از اعتبارسنجی نتایج کسب‌شده، سیاست‌های قیمتی با چهار سناریو مختلف تعریف شده است. در پایان میزان مصرف انرژی و سایر متغیرهای مهم در مدل با سناریوهای مختلف تا سال 1400 شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفته شده و همچنین سناریوی بهینه معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی: پویایی سیستم، قیمت انرژی، بخش خانگی، مصرف انرژی، صرفه‌جویی

مقدمه

در حال حاضر کشور ایران در زمینه انرژی با مشکلاتی فرآوانی نظیر نبود مرکزیت واحد برای سیاست‌گذاری در بخش انرژی و انحصاری، دولتی‌بودن ساختار انرژی و مدیریت ناکارای آن، قیمت پایین انرژی و افزایش تقاضای انرژی و ... مواجه است. برای جلوگیری از عواقب ناشی از این مدیریت ناکارآمد و توسعه‌یافتگی در بخش انرژی، نیاز به تغییر برخی از سیاست‌های در این بخش بیش از گذشته احساس می‌شود. از این رو تغییر سیاست قیمتی پرداخت یارانه انرژی، در مرحله مقدماتی و به دنبال آن کاهش اختیارات دولت در بخش انرژی کاری ضروری محسوب می‌شود. از آنجایی که در پیش گرفتن هر گونه سیاستی در قیمت انرژی تأثیر قابل توجهی را بر مصرف انرژی سایر عوامل اثرپذیر از آن، در آینده می‌گذارد، استفاده از ابزاری کارآ برای تعریف سیاست‌های مختلف قیمتی برای آگاهی مدیران از نتایج تصمیم‌گیری‌هایشان در آینده، کاری ضروری برای برنامه‌ریزی برای اهداف بلندمدت، در امر توسعه کشور است. با توجه به نقش مهم انرژی در زندگی انسان معاصر برای تأمین نیازهای اولیه نظیر پخت و پز و محافظت در برابر گرما و سرما و تأمین رفاه جامعه و... تا کنون در کشور تحقیقات کمی در زمینه پیش‌بینی تقاضا و مصرف انرژی انجام شده است که شاید یکی از دلایل مهم نداشتن انگیزه کافی در مدیریت مصرف انرژی به دلیل دسترسی ایران به ذخایر غنی انرژی قابل ذکر باشند. البته در برخی از تحقیقات نظیر کاری که فخرایی[1]برای تخمین توابع تقاضای انواع حامل‌های انرژی برای بخش‌های مختلف کشور از جمله بخش خانگی ارائه کرده و یا کاری که صدیقی در پایان‌نامه خود [2] به منظور بررسی اثرات یارانه بر شاخص‌های کلان کشوری از جمله مصرف انرژی با استفاده از روش پویایی سیستم انجام داده است. به طور کلی می‌توان گفت در زمینه پیش‌بینی مصرف و تقاضای انرژی در بخش خانگی کشور با استفاده از روش‌های سیستمی با وجود اینکه بیشترین سهم مصرف انرژی را نسبت به سایر بخش‌ها دارد، مطالعات اندکی انجام شده است و این در حالی است که در اکثر کشورهای پیشرفته میزان تقاضای انرژی در هر یک از بخش‌های کشور برای سال‌های آینده با استفاده از مدل‌های سیستمی معروفی همچون مدل NEMS و T21 پیش‌بینی می‌شود [3-5].

با توجه به تصمیماتی که به تازگی دولت در رابطه با حذف یارانه‌های انرژی و افزایش قیمت آن در آینده کشور

* نویسنده مسئول : تلفن : 88021067 , فاکس : 88013102 ، Email: mzarezadeh@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

خواهد گرفت، بررسی اثرات این موضوع بر سایر عوامل قبل از رخداد آن، توسط محققان در کشور موضوعی اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود. از این رو در این مقاله سعی شده است به بررسی برخی از این اثرات در بخش خانگی پرداخته شود که در ادامه شرح مختصری در مورد روشی که برای بررسی انتخاب شده، بیان شده است.

روش تحقیق و پیشینه آن

روش پویایی سیستم‌ها در اواسط سال 1950 توسط پروفسور فارستر[1] 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 به جای مشتق‌شدن انباشته می‌شود.

از به کارگیری مدل پویایی سیستم‌ها در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در زمینه انرژی بیش از 40 سال می‌گذرد. از کارهای ارزشمند اولیه در زمینه مدلسازی انرژی می‌توان به مدل‌های COAL1,2 اثر راجر نیل[2]، سری فسیلی اثر باکس[3] اشاره کرد که به مطالعه آسیب‌پذیری‌های سیاسی و اقتصادی در زمان بحران در حوزه نفت پرداخته‌اند. پس از این دو نیز افراد دیگری نظیر استرمن[4]،ریچاردسو[5]،دیویدسن[6]، نیز هر یک در بخش‌های مختلف انرژی از این تکنیک استفاده کردند.

حل مسئله توسط مدل پویایی سیستم‌ها در شش مرحله زیر انجام می‌شود:

1) تعریف مسئله و شناسایی متغیرها (تعیین مرز سیستم و مشخص کردن متغیرهای مسئله).
2) ساختن مدل مفهومی(ترسیم نمودار زیرسیستم‌ها و نمودارهای حلقه علی).
3) ساختن مدل ریاضی (ترسیم نمودار حالت-جریان و شرح معادلات مربوطه).
4) شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل (برای اطمینان از اینکه رفتار مدل مشابه دنیای واقعی است).
5) تعریف سناریوهای مختلف روی مدل و تحلیل آن‌ها (تحلیل سیاست‌ها).
6) انتخاب و پیاده‌سازی راه حل مناسب(اجرای سیاست).

با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین مراحل مدل‌سازی، ساختن مدل ریاضی و شناسایی متغیرهای نرخ و حالت[7]، است، در این قسمت لازم می‌دانیم توضیحاتی درباره آن ارائه شود. به طور کلی در بازخوردهای سیستم دو نوع متغیر وجود دارد که شناسایی دقیق آنها به دقیق‌تر بودن نتایج حاصله کمک بسیاری خواهد کرد. آن دو متغیر عبارتند از:

1) **متغیر حالت**: متغیری است که حالت یا وضعیت سیستم را در یک مقطع زمانی خاص نشان می‌دهد. اگر زمان متوقف شود مقدار متغیر حالت را می‌توان اندازه‌گیری کرد. به عنوان مثال تعداد جمعیت کشور یک متغیر حالت است.
2) **متغیر نرخ یا جریان**: متغیری است که سبب تغییر متغیرهای حالت می‌شود؛ اگر زمان متوقف شود متغیر نرخ هیچ‌گونه مقداری نخواهد داشت. به عبارت دیگر متغیر حالت نتیجه تجمع (انتگرال) متغیر نرخ است. به عنوان مثال میزان زاد و ولد در سال یک متغیر نرخ است که تجمع آن نشان‌دهنده جمعیت کشور است.

همچنین از متغیرهای کمکی برای بیان متغیرهای نرخ در مدل استفاده می‌شود. وجود این متغیرها در مدل اختیاری بوده و استفاده از آن‌ها به فهم و سادگی مدل کمک بسیاری می‌کند[6].

تعریف مسئله و شناسایی متغیرهای مهم

همان طور که در قسمت قبل بیان شد، اولین مرحله در حل مسئله توسط روش پویایی سیستم تعریف مسئله و شناسایی متغیرها است. همان طور که بیان شد هدف ما از این تحقیق بررسی اثرات تغییرات سیاست‌های قیمتی بر مصرف انرژی در بخش خانگی و سایر عوامل تأثیرپذیر از آن است. عوامل تأثیرپذیر از تغییرات قیمتی در بخش خانگی با توجه به تحقیقاتی که در زمینه پیش‌بینی تقاضای بخش خانگی انجام گرفته است[7] و [8]، مصرف انرژی در این بخش تحت تأثیر عوامل مهمی همچون، تعداد خانوارها، سطح در آمد خانوار، قیمت انرژی و میزان صرفه‌جویی در مصرف قرار دارد. خود این عوامل نیز تحت تأثیر عوامل دیگری قرار دارند که همه این عوامل و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر هم، توسط نمودار علی و معلولی در ادامه نشان داده شده است. البته عوامل دیگری نظیر شرایط آب و هوایی در هر کشور، فرهنگ مصرفی افراد جامعه، سطح توسعه‌یافتگی در یک کشور و ... نیز

Archive of SID

www.SID.ir

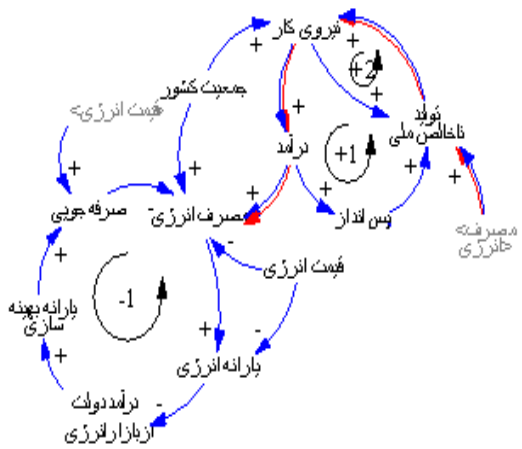
می‌تواند بر میزان مصرف انرژی در بخش خانگی اثرگذار باشد که به دلیل نبود امکان اندازه‌گیری این اثرات، در مقالات کمتر به این عوامل توجه شده که در این مقاله نیز با توجه به مرز سیستم از لحاظ کردن آن‌ها در مدل صرف‌نظر شده است.

نمودار علی و معلولی

به طورکلی هدف از به کارگیری نمودارهای علی در این روش، نشان‌دادن فرضیه‌های علی هنگام مدل‌سازی است تا از طریق آن‌ها ساختار بازخوردی مدل به شکل کامل بیان شود. در همه نمودارها، متغیرهای سیستم از طریق پیوندهای علی با نماد فلش به هم متصل می‌شوند. جهت فلش از سوی علت به معلول است و علامت مثبت روی فلش، هم جهت بودن تغییرات علت و معلول و علامت منفی غیر هم جهت بودن تغییرات را نشان می‌دهد. در صورتی که مسیر علی از متغیری شروع شود و در نهایت به همان متغیر برسد، یک حلقه بازخوردی علی و معلولی شناسایی می‌شود. بر اساس قاعده تجربی در صورتی که تعداد پیوندهای منفی حلقه بازخوردی زوج باشد، حلقه مثبت تشکیل می‌شود. این حلقه‌های مثبت، رشد یا زوال خودشان را به صورت نمایی تقویت می‌کنند. همچنین در صورتی که تعداد پیوندهای منفی حلقه بازخوردی فرد باشد، حلقه منفی تشکیل می‌شود. این حلقه‌های منفی، هدف‌گرا است، به شکلی که با گذشت زمان پیوندهای منفی اثر پیوندهای مثبت را خنثی می‌کنند[9].

در شکل (1) متغیرهای شناسایی شده در بخش قبل و تأثیراتشان بر هم، توسط نمودار علی و معلولی نشان داده شده است. در این شکل به وضوح متغیرهای بخش خانگی و تعاملات بین آن‌ها و مرز مدل قابل مشاهده است.

در مجموع نمودار علی و معلولی بخش خانگی از چهار حلقه اصلی (سه حلقه مثبت و یک حلقه منفی) که رفتار این زیر مدل را تعیین می‌کنند، تشکیل شده‌است. (که این حلقه‌ها با دو خط و علامت مثبت و منفی در شکل نشان داده شده‌اند. یکی از حلقه‌های مهم تعیین‌کننده رفتار در این بخش، حلقه منفی شماره یک است که به ترتیب متغیرهای مصرف انرژی- یارانه انرژی- درآمد دولت- یارانه بهینه‌سازی- صرفه‌جویی- مصرف انرژی را در بر می‌گیرد، همان‌طور که در شکل (1) نشان داده شده است، در این حلقه مصرف انرژی بر یارانه اثر مثبت، یارانه انرژی بر درآمد دولت اثر منفی، درآمد دولت بر میزان یارانه برای بهینه‌سازی اثر مثبت و بهینه‌سازی بر مصرف انرژی اثر منفی می‌گذارد و در واقع وجود این حلقه است که از رشد نمایی مصرف در آینده می‌کاهد. اما در وضعیت فعلی کشور به دلیل قیمت پایین انرژی و نبود یارانه‌هایی برای بهینه‌سازی ساختمان از قبیل استانداردسازی اثر منفی این حلقه بسیار کوچک‌تر از آن بوده که از رشد نمایی مصرف در آینده جلوگیری کند. سایر حلقه‌ها نیز به همین شکل قابل استدلال هستند[10].



شکل1: نمودار علی و معلولی بخش خانگی

همان طور که در شکل (1) نیز مشاهده می‌شود، از جمله عواملی که اثر غیرمستقیم بر مصرف انرژی از طریق تغییر در درآمد دارند، میزان تولید ناخالص ملی و نیروی کار است که خود آن‌ها نیز بر هم اثر افزایشی داشته، به گونه‌ای که با افزایش هر یک بر میزان دیگری افزوده می‌شود و حلقه مثبت شماره (2) را تشکیل می‌دهند. همچنین اثر مثبت مصرف انرژی بر میزان تولید آینده در مدل لحاظ شده است.

تشریح معادلات مهم

در این بخش، نمودار جریان-حالت کل و معادلات مهم مربوط به آن‌ها به تفصیل بیان خواهد شد. در واقع نمودار جریان-حالت این بخش که در پیوست آورده شده است، شکل توسعه‌یافته‌ای از نمودار علی و معلولی بخش قبل است. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، برای ترسیم این معادلات قبل از هر اقدامی باید همه متغیرها به صورت متغیرهای نرخ، حالت و کمکی مشخص شوند و سپس

Archive of SID
www.SID.ir

طبق نظرات افراد خبره در تحقیقات انجام گرفته نظیر T21، NEMS و ...[5]-[10]-[12] و همچنین تجربه فرد مدل‌ساز به تبیین معادلات بین آن‌ها پرداخته شود. در برخی از روابط از داده‌های مربوط به سال‌های 1380-1350 موجود در سایت آمار و بانک مرکزی[1] برای برازش منحنی و تخمین عوامل توابع استفاده شده است، همچنین از روش اقتصادسنجی و بسته نرم‌افزاری Eviews برای تخمین عوامل در برخی روابط کمک گرفته شده است.

مصرف انرژی بخش خانگی: برای محاسبه مصرف انرژی در بخش خانگی (HEC) به عنوان مهم‌ترین متغیر در مدل، طبق توضیحات ارائه شده در بخش قبل آن را به شکل تابعی لگاریتمی از درآمد خانوار (HI) ، تعداد خانوار (NH) و قیمت واقعی انرژی (RHEP) در نظر گرفته شده‌است (البته در صورت دسترسی به تعداد منازل مسکونی می‌توان آن را به جای تعداد خانوار به شکل تابعی از تعداد منازل مسکونی و ارزش افزوده بخش مسکن محاسبه کرد، همچنان که در برخی مقالات این کار انجام گرفته است[12].) همچنین میزان صرفه‌جویی سالانه در مصرف انرژی را برای نشان دادن اثر افزایش قیمت در آینده از مقدار مصرف انرژی محاسبه‌شده (در وضعیت فعلی این مقدار نزدیک به صفر است) کم شده است که در ادامه به محاسبه این میزان پرداخته شده است. بعد از تخمین عوامل مربوطه، رابطه زیر برای محاسبه میزان مصرف انرژی در بخش خانگی به دست آمده است:

$$ECH = e^{-3.945} \times HI^{0.71} \times RHEP^{-0.29} \times NH^{1.48} \quad (1)$$

در رابطه (1) هر چند کشش قیمتی انرژی کمتر از یک است، اما عدد منفی برآورد شده نشان می‌دهد که با افزایش قیمت انرژی مصرف کاهش خواهد یافت. این کاهش در میزان مصرف انرژی در بخش خانگی در آینده از دو راه شکل خواهد گرفت، یکی از راه مصرف کمتر (استفاده کمتر از تجهیزات انرژی‌بر) و کاهش سطح رفاه بخصوص برای اقشار کم درآمد جامعه (این موضوع توسط تابع تخمینی Lookup در مدل لحاظ شده است) و دیگری صرفه‌جویی از راه جایگزینی تجهیزات با مصرف بهینه و استانداردسازی ساختمان که از میزان مصرف محاسبه شده در رابطه (2) کم خواهد شد. این نکته نیز قابل ذکر است که در مدل‌سازی این قسمت فرض ما بر این است که با افزایش قیمت رفتار مصرف‌کننده در استفاده از تجهیزات انرژی‌بر به سوی تجهیزات کارآتر و استانداردسازی در بخش ساختمان تغییر خواهد کرد. در ادامه هر یک از عوامل مؤثر بر میزان صرفه‌جویی و روابط مهم بین آن‌ها به تفصیل شرح داده شده است.

میزان صرفه‌جویی در بخش خانگی(TES) : به طور معمول صرفه‌جویی در دو بخش ساختمان (BES) و تجهیزات انرژی‌بر (SES) انجام می‌گیرد که میزان صرفه‌جویی در بخش خانگی از مجموع این دو مقدار حاصل می‌شود. میزان صرفه‌جویی تجهیزات انرژی‌بر به شکل تابعی از تعداد تجهیزات کم‌مصرف (TOS) در میزان کاهش شدت (DEIS) نسبت به شدت در بخش خانگی (EIH) و میزان صرفه‌جویی در بخش ساختمان به شکل تابعی از تعداد ساختمان‌های استانداردشده (CSH) در میزان صرفه‌جویی که 25درصد مصرف انرژی در سال گذشته (PEHC) (میزان صرفه‌جویی در صورت استانداردسازی طبق اطلاعات ترازنامه) در نظر گرفته شده است. در مجموع میزان صرفه‌جویی به طوری که در معادله (2) بیان شده است، قابل محاسبه است:

(2)

$$TES = \left(\frac{TOS}{10NH}\right) \times \left(\frac{DEIS}{EIH}\right) \times PEHC + (CSH/NH) \times PEHC \times 0.25$$

در معادله (2) تقسیم کل خانه‌های استانداردشده بر تعداد خانوار به دلیل به دست آوردن نسبت خانه‌های استانداردشده است و فرض ما بر این بوده که هر خانوار در یک منزل مسکونی ساکن است، از این رو این مقدار برابر NHدر نظر گرفته شده است. در مورد محاسبه مقادیر تعداد تجهیزات کم‌مصرف و شدت تجهیزات خانگی نیز در ادامه توضیح داده شده است.

شدت انرژی در بخش خانگی: در این قسمت شدت انرژی استاندارد بخش خانگی در سطح جهانی به عنوان شدت مطلوب تعریف شده است. شدت انرژی تجهیزات

[1] http://www.sci.org.ir

Archive of SID

www.SID.ir

خانگی در کشور به صورت متغیر حالت تعریف شده است که سالانه با توجه به تعداد تجهیزات خریداری شده با شدت کم از میزان شدت آن کاسته می‌شود.

میزان خرید تجهیزات کم‌مصرف: میزان خرید سالانه تجهیزات کم‌مصرف (IOS) از حاصل‌ضرب تمایل برای خرید آن‌ها (TBOS) در کل ظرفیت خرید این تجهیزات (PBOS) توسط خانوارها محاسبه می‌شود. کل ظرفیت جایگزینی تجهیزات با شدت کم 10 برابر تعداد خانوار فرض شده است. معادله محاسبه این میزان در زیر آورده شده است:

$$IOS = TBOS \times PBOS \quad (3)$$

در معادله (3) مقدار PBOS از مینیمم تفاضل 10 برابر تعداد خانوار با کل تجهیزات استاندار در ساختمان (TOS) و حاصل‌ضرب تمایل برای خرید در قدرت خرید (ABOS) به دست آمده، کل تجهیزات استاندارد در بخش خانگی به صورت متغیر حالت در نظر گرفته شده-است که با خرید آن‌ها سالانه بر میزان آن افزوده و با استهلاک (متوسط طول عمر تجهیزات 5 سال فرض شده)آن‌ها از میزان آن کاسته می‌شود. همچنین برای محاسبه قدرت خرید خانوار (ABOS) آن را به صورت تابعی Lookup از نسبت تغییر درآمد خانوار به تغییر قیمت COSP توسط رابطه زیر محاسبه شده است:

$$ABOS = F((\frac{PHI}{HI})/COSP) \quad (4)$$

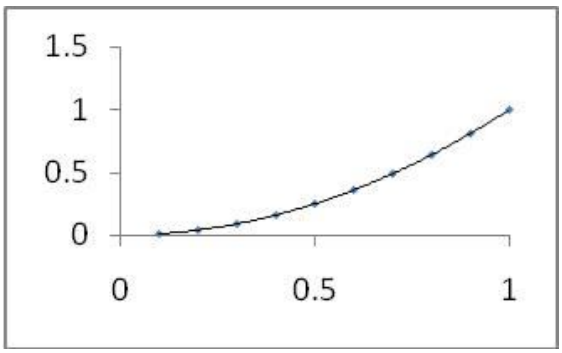
قیمت این تجهیزات OSP به شکل متغیر حالت در نظر گرفته شده است که با فرض افزایش نرخ تورم سالانه بر میزان آن افزوده می‌شود.

میزان خرید تجهیزات کم‌مصرف: با توجه به رفتار عقلایی سرپرست خانوار در رسیدن به حداکثر سود، از نسبت سود حاصل از صرفه‌جویی بر هزینه اضافی که بابت خرید این تجهیزات نسبت به تجهیزات معمولی باید پرداخت شود، محاسبه می‌شود که این مقدار توسط معادله 5 که در ادامه آورده شده، قابل محاسبه است:

$$IOS = ((DEIS/(EIH)) * LTS * HEP * NH))/(OSP - NSP) \quad (5)$$

در این معادله LTS طول عمر تجهیزات است که مقدار آن به طور میانگین 5 سال در نظر گرفته شده است و NSP نیز هزینه خرید تجهیزات معمولی است.

تمایل خانوارها در خرید تجهیزات کم‌مصرف: تمایل خانوارها در خرید تجهیزات کم‌مصرف توسط تابع تقریبی (Lookup)محاسبه شده است که با توجه به رفتار عقلایی سرپرست خانوار در رسیدن به حداکثر سود، مقدار تابع تمایل وقتی مقدار این نسبت برابر یک است، یک فرض شده است و در صورتی که این نسبت مقدار صفر بگیرد، مقدار تمایل نیز صفر خواهد شد. در بقیه نقاط مقدار آن توسط تابع تقریبی به دست می‌آید.



شکل2: تابع تمایل مصرف‌کننده

میزان صرفه‌جویی بخش ساختمان: همان طور که در رابطه (2) نیز نشان داده شده است، این میزان مشابه میزان صرفه‌جویی در تجهیزات از حاصل‌ضرب درصدی از عایق‌کاری کل ساختمان‌ها (به دلیل نبود دسترسی به تعداد ساختمان‌ها در مدل فرض شده است که هر خانوار یک منزل مسکونی دارد.) در میزان کاهش در مصرف انرژی خانگی در بخش ساختمان به دست می‌آید که درصد خانه‌های عایق‌کاری شده از نسبت خانه‌های استانداردشدهTSH به کل خانه‌ها (فرض ما بر این بوده است که هر خانوار در یک منزل مسکونی ساکن است و این مقدار برابر NHدر نظر گرفته شده است) به دست می‌آید.

تعداد خانه‌های استانداردشده: این مقدار به شکل متغیر حالت تعریف شده است که با افزایش استانداردسازی بر میزان آن افزوده و با استهلاک (20سال عمر مفید) از تعداد آن‌ها کاسته می‌شود.

درصد عایق‌کاری ساختمان: درصد عایق‌کاری در هر ساختمان از حاصل‌ضرب تمایل برای استانداردسازی (TINSH) که به شکل تابعی از نسبت سود حاصل از

Archive of SID
www.SID.ir

عایق‌کاری بر هزینه استانداردسازی، در ظرفیت ساختمان‌های قابل استانداردسازی (PSH) به دست می‌آید. این تابع نیز مانند تابع Lookup تعریف شده در قسمت قبل است. هزینه عایق‌کاری نیز برابر با ده میلیون ریال برای هر خانوار فرض شده است که سالانه با افزایش شاخص قیمت مصرف‌کننده بر این میزان افزوده می‌شود. همچنین در ازای این مقدار هزینه 25درصد در میزان مصرف انرژی در بخش خانگی صرفه‌جویی خواهیم داشت. (طبق نتایج بهینه‌سازی ساختمان در ترازنامه انرژی) در ادامه به تفصیل معادلات مربوط به متغیرهایی که اثر غیر مستقیم بر مصرف انرژی در بخش خانگی دارند پرداخته شده است.

تولید ناخالص ملی: تولید ناخالص ملی با الهام از تابع تولید کاب-داگلاس [13]به شکل تابعی از عوامل تولید یعنی کار (NL) و سرمایه (INV) در نظر گرفته شده-است، علاوه بر این، از آنجایی که امروزه انرژی یکی از عوامل مهم تولید محسوب می‌شود، مقدار تولید ناخالص از رابطه زیر محاسبه شده‌است:

(6)

$$GDP = e^{14.51} \times INV^{0.37} \times NL^{0.37} \times TEC^{0.11}$$

نیروی کار: نیروی کار به صورت متغیر حالت تعریف شده است که با افزایش نرخ استخدام (REL) بر میزان آن افزوده و با افزایش نرخ بیکاری (RUL) از میزان آن کاسته می‌شود. این رابطه در زیر نشان داده شده‌است:

(7)

$$NL = \int (REL - RUL) \times dt + NL_0$$

در این رابطه نرخ استخدام از مینیمم مقدار عرضه نیروی کار (جمعیت فعال کشور) که به شکل تابعی خطی از جمعیت کشور در نظر گرفته شده است و تقاضای نیروی کار محاسبه می‌شود.

تقاضای نیروی کار: تقاضای نیروی کار در هر بخش تولیدی به شکل تابعی لگاریتمی از قیمت نیروی کار، قیمت انرژی (HEP) و هزینه سرمایه‌گذاری قابل محاسبه است. برای بررسی هدف که دیدن اثرات تغییر قیمت انرژی بر نیروی کار است، اثر سایر عوامل بر تقاضای نیروی کار را به شکل یک عامل در نظر گرفته شده و تقاضای نیروی کار را به شکل تابعی لگاریتمی از تولید ناخالص ملی (نشان دادن اثر توسعه بخش‌ها) و قیمت انرژی فرض کرده‌ایم. (البته ممکن است در آینده بین نیروی کار و رشد تکنولوژی جانشینی انجام بگیرد و با تغییر در بهره‌وری نیروی کار عوامل برآورد شده در تابع زیر تغییر کند، در آن صورت این تابع نیز دیگر برای محاسبه تقاضای نیروی کار در آینده صادق نخواهد بود.)

(8)

$$LD = e^{8.03} \times GDP^{0.24} \times HEP^{0.12}$$

نرخ استخدام هر ساله به اندازه مینیمم تقاضای نیروی کار و جمعیت بیکار با یک سال تأخیر انجام می‌گیرد. نرخ بیکاری نیز طبق قانون "اکان" از رابطه زیر قابل محاسبه است که در این رابطه CGDPتغییرات سالانه تولید ناخالص ملی است:

(9)

$$RUL = (CGDP \times -3\%)/2$$

درآمد خانوار: درآمد خانوار از مجموع سود حاصل از سرمایه‌گذاری و دریافت دستمزد توسط نیروی کار قابل محاسبه است. فرض ما بر این است که دستمزد سالانه با نرخ متوسط 20درصد تغییر می‌کند (با توجه به شاخص کل مزد و حقوق کارکنان کارگاه‌های صنعتی) و سود سرمایه‌گذاری نیز از حاصل‌ضرب میزان سرمایه‌گذاری در نرخ بهره به دست می‌آید. البته با توجه به داده‌های درآمد موجود در ایران مقدار پس‌انداز منفی است و این مقدار در شرایط فعلی صفر فرض شده است.

قیمت اسمی انرژی: برای محاسبه قیمت انرژی در بخش خانگی با استفاده از میانگین وزنی (سهم مصرف هر حامل در بخش خانگی) قیمت انرژی برای هر بشکه نفت خام محاسبه شده است که قیمت و مصرف هر حامل انرژی بر حسب واحد بشکه معادل نفت خام محاسبه شده است.

قیمت واقعی انرژی: از تقسیم قیمت اسمی انرژی بر شاخص لاسپیرز(L) ضربدر 100 حاصل می‌شود. از این شاخص برای دیدن اثر قیمت روی مصرف در بخش خانگی استفاده شده است.

قیمت انرژی: دو نوع قیمت انرژی در مدل محاسبه شده است؛ یکی مربوط به وضعیت فعلی با نرخ افزایش سالانه در حدود 10 درصد، دیگری برای اجرای سیاست حذف

Archive of SID

www.SID.ir

یارانه انرژی که در آن صورت نیز افزایش سالانه قیمت 10 درصد فرض شده است.

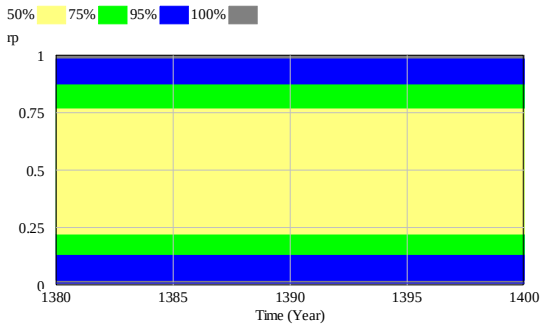
یارانه انرژی: این متغیر از تفاضل قیمت انرژی در خاورمیانه (ارزش منطقه‌ای آن) از قیمت اسمی انرژی هر بخش در کشور ضرب در مصرف انرژی حاصل می‌شود. ارزش منطقه‌ای انرژی در هر بخش مصرفی با استفاده از داده‌های ترازنامه هیدروکربوری برآورد شده است.

همچنین در مدل، متغیری با عنوان یارانه بهینه‌سازی برای تعریف سناریو سوم (در صورت افزایش قیمت انرژی و حذف یارانه) که در ادامه شرح داده شده است، این میزان به اقشار جامعه برای استانداردسازی در بخش ساختمان تعلق خواهد گرف، در مدل تعبیه شده است. نکته قابل توجه دیگر در محاسبه میزان مصرف انرژی در بخش خانگی در نظر گرفتن درجه اشباع و مطلوبیت در مصرف انرژی در آینده است که به صورت عاملی (با استفاده از تعریف سرانه استاندارد مصرف انرژی) در میزان مصرف نهایی ضرب شده است.

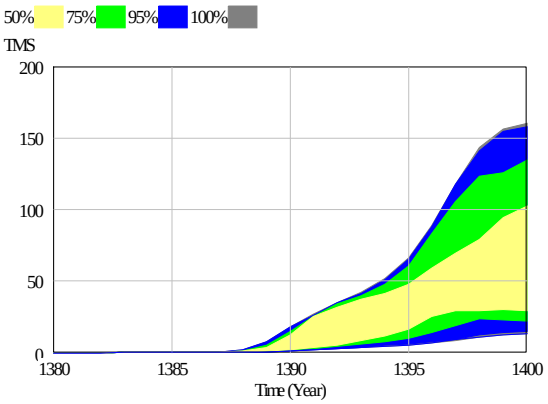
اعتبارسنجی

ماهیت اعتبار و نوع آزمون‌هایی که برای اعتبارسنجی این روش به کار گرفته می‌شود، تفاوت زیادی با اعتبارسنجی در روش‌های نظیر اقتصادسنجی دارد. اعتبار مدل‌های ارائه شده با این روش بیشتر در توانایی آن در برقراری ارتباط، کمک به ایجاد بینش، سازگاری با سیستم واقعی، ارتقای درک و به طور کلی تأثیرگذاری بر مخاطب خود بستگی دارد تا به تطابق تاریخی و پیش‌بینی‌های دقیق برای آینده. همان طور که در ادامه نشان داده شده است، خروجی‌های مدل به خوبی مؤید این امور است. همچنین در ادامه آزمایش حدی که یکی از آزمایش‌های رایج در این روش است، انجام شده است. در شکل‌های زیر نتایج تحلیل حساسیت قیمت انرژی روی میزان صرفه‌جویی و مصرف انرژی نشان داده شده است. در شکل (3) تغییرات نرخ قیمت انرژی از صفر تا یک با تابع توزیع یکنواخت مشاهده می‌شود.

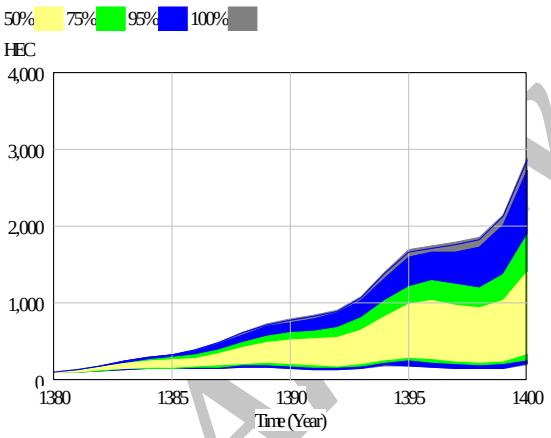
همان طور که در شکل‌های (4) و (5) مشاهده می‌شود، با افزایش نرخ قیمت انرژی، میزان صرفه‌جویی افزایش می‌یابد و از مصرف انرژی کاسته می‌شود.



شکل3: نرخ افزایش قیمت انرژی



شکل4: تحلیل حساسیت میزان صرفه جویی انرژی



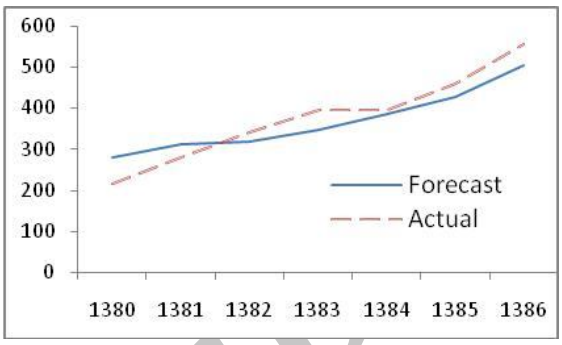
شکل5: تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی

نتایج کسب شده در بالا حساسیت نتایج مدل را نسبت به شرایط اولیه تأیید می‌کند. در ادامه این بخش نیز برای نشان دادن اعتبار نسبی مدل حتی در پیش‌بینی برای آینده، نتایج کسب‌شده از مدل با مقادیر واقعی آن‌ها برای سال‌های 1386 -1380مقایسه شده[14]که این نتایج در شکل نشان داده شده است.

همان طور که در شکل(6) مشاهده می‌شود، اختلاف زیادی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در این بخش وجود ندارد. خطای محاسبه شده در حدود 10درصد است که این میزان نیز با توجه به توضیحاتی که در مورد

Archive of SID

اعتبارسنجی نتایج روش پویایی سیستم در بالا بیان شد، این مقدار قابل قبول است. بعد از اطمینان نسبی از نتایج مدل، در ادامه از این مدل برای شبیه‌سازی نتایج مربوط به مصرف انرژی در بخش خانگی و سایر متغیرهای مهم مرتبط با آن استفاده شده است.



شکل6: مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده مصرف انرژی

تعریف سناریوهای مختلف

مدل ارائه‌شده قابلیت تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلفی را دارد. در این بخش با توجه به هدف که تغییر سیاست‌های قیمتی در آینده کشور و هدفمندسازی یارانه‌ها است، چهار سناریو که در ادامه ارائه شده، تعریف شده است.

سناریوهای تعریف شده عبارتند از:

1. با وجود یارانه انرژی در کشور (وضعیت فعلی کشور).
2. حذف یکباره (دفعی) یارانه انرژی در سه بخش صنعت، خانگی و حمل و نقل.
3. حذف تدریجی یارانه انرژی در طی 10 سال (در سه بخش صنعت، خانگی و حمل و نقل).
4. حذف تدریجی یارانه انرژی (طی 10 سال) در سه بخش و هدفمندسازی یارانه در جهت استانداردسازی ساختمان.

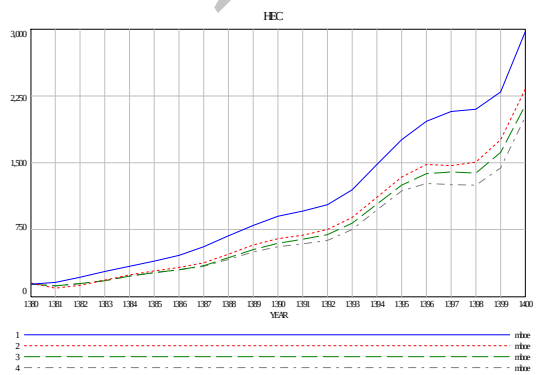
در ادامه نتایج حاصل از سناریوهای مختلف برای برخی از متغیرهای مدل نشان داده شده است. همه نتایج کسب‌شده با این فرض که در روند عوامل اثرگذار بر شاخص‌های تعریف‌شده تغییر زیادی انجام نگیرد، شبیه‌سازی شده‌اند، در صورتی‌که دولت اقدام‌های دیگری (به جز سناریوهای تعریف‌شده) در راستای بهینه‌سازی انجام دهد باید آن‌ها را نیز تحت سناریوها دیگری در مدل منظور کرد.

شبیه‌سازی نتایج تحت سناریوهای مختلف

با توجه به اینکه مدل ارائه شده، شاخص متعددی را در بر می‌گیرد، در این بخش به عنوان نمونه نتایج حاصل از اجرای مدل، در مورد چند شاخص مهم متأثر از تغییرات قیمتی انرژی، (این شاخص‌ها در تصمیم‌گیری‌های کلان کمک بیشتری به مدیران مربوطه می‌کند) تحت سناریوهای تعریف‌شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین سناریوی بهینه در مورد هر یک، با توجه به نتایج پیشنهاد شده است. پیش‌بینی مقادیر شاخص‌ها به صورت بلندمدت (20ساله) انجام شده است تا در این زمان فرصتی برای تغییر رفتار مصرف‌کننده در مقابل تغییرات قیمت انرژی (جایگزینی تجهیزات با کارایی بالاتر، استانداردسازی و...) باشد، همچنین فرض ما بر ثبات روابط علّی تعریف‌شده تا سال 1400است. همچنین همه شکل‌های این بخش هر سناریو با شماره آن مشخص شده است، به عنوان مثال عدد یک نشان‌دهنده نتایج حاصل از شبیه‌سازی تحت سناریوی اول است.

مصرف انرژی

مصرف انرژی در بخش خانگی تا سال 1400 در شکل (4) تحت چهار سناریوی تعریف شده، نشان داده شده‌است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، روند مصرف با توجه به اثرگذاری درآمد و جمعیت بر آن و همچنین بی‌کشش بودن نسبت به قیمت انرژی در این بخش با گذشت زمان همچنان بر روند صعودی خود ادامه خواهد داد، اما تحت سناریوهای مختلف با توجه به رفتار خانوار در مواجه با افزایش قیمت و افزایش صرفه‌جویی با کاهشی حدود 30درصد در میزان مصرف انرژی بخش خانگی در آینده مواجه خواهیم شد.



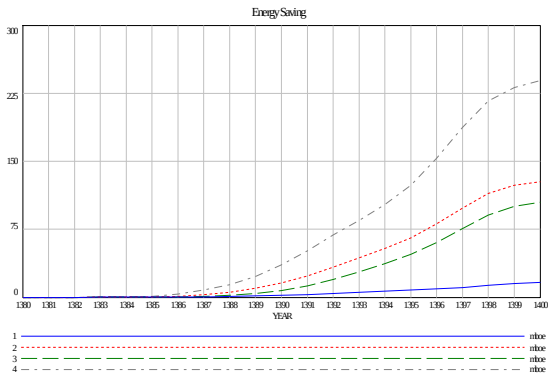
شکل 7: نمودار مصرف انرژی در بخش خانگی

Archive of SID

www.SID.ir

تحت سناریوی اول یعنی در وضعیت فعلی کشور بدون حذف یارانه‌های انرژی، بیشترین مقدار مصرف انرژی را خواهیم داشت، به طوری‌که تا سال 1400 مقدار آن حدوداً به 3000 میلیون بشکه نفت خام در سال خواهد رسید. در سه سناریوی دیگر هر چند مقادیر مصرف انرژی به دلیل اشتراک همه آن‌ها در حذف یارانه‌های انرژی نزدیک به هم است، اما در آینده تحت سناریوی چهارم کمترین میزان مصرف انرژی به دلیل هدفمند کردن یارانه‌ها در استانداردسازی ساختمان کمترین میزان مصرف را خواهیم داشت. هر چند در ابتدا به دلیل اثری که حذف دفعی یارانه در الگوی مصرف می‌گذارد، در سال‌های اولیه تحت اجرای سناریوی دوم با کاهش موقتی در میزان مصرف مواجه خواهیم بود، اما در آینده به دلیل نبود زیرساخت‌ها برای بهینه‌سازی در این بخش با افزایش نسبی مصرف مواجه خواهیم شد. در سناریوی سوم نیز در ابتدا مقادیر مصرف در آن با سناریوی چهارم تفاوت کمی دارد، ولی در آینده به دلیل حذف یارانه‌ها بدون هدفمندکردن آن‌ها، مقادیر مصرف انرژی در آن با سرعت بیشتری افزایش یافته است.

از آنجایی که یکی از دلایل رفتار غیرخطی مصرف انرژی در بخش خانگی، مقادیر صرفه‌جویی متفاوت در سال‌های مختلف (به دلیل وجود تابع تمایل مصرف‌کنندگان) است، در شکل مقادیر صرفه‌جوی به عنوان یک عامل مهم تأثیرگذار بر میزان مصرف انرژی در آینده نشان داده شده است.

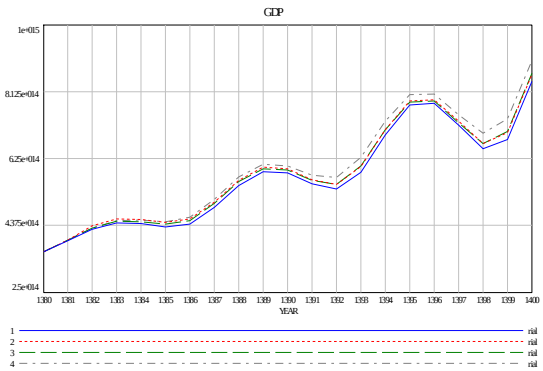


شکل 8: نمودار صرفه جویی انرژی در بخش خانگی

همان طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود، بیشترین میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی به دلیل کمک دولت در استانداردسازی ساختمان‌ها (یارانه بهینه‌سازی) تحت سناریوی چهارم و کمترین میزان آن در وضعیت فعلی به این دلیل است که قیمت‌های پایین انرژی تحت این سناریو، انگیزه لازم را برای صرفه‌جویی و بهینه‌سازی در مصرف‌کنندگان به‌وجود نمی‌آورد. همچنین میزان صرفه‌جویی تحت همه سناریوها در آینده با شیب کمتری افزایش خواهد یافت که از دلایل مهم این موضوع یکی به دلیل اینکه تغییرات قیمتی در انرژی، کمتر از نرخ تورم (فرض ما بر این بود که بعد از رسیدن قیمت انرژی در کشور به قیمت انرژی در خاورمیانه، قیمت انرژی در کشور سالانه 10درصد افزایش می‌یابد که این درصد می‌تواند با استفاده از تعریف یک سناریو مقادیرش تغییر کند.) است و دیگری کاهش تمایل مصرف‌کنندگان در صرفه‌جویی با گذشت زمان به دلیل عادی شدن اثر افزایش قیمت انرژی است.

تولید ناخالص ملی

امروزه تولید ناخالص ملی به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در توسعه کشور مطرح است که در کارهای زیادی به اندازه‌گیری و پیش‌بینی GDP پرداخته شده است[5]. در کشور ما نیز این شاخص نقش مهمی در اتخاذ سیاست‌های مختلف برای آینده دارد. همان گونه که در فصل قبل بیان شد، تولید به شکل تابعی از سرمایه، نیروی کار و بهره‌وری انرژی محاسبه شده است و با توجه به اینکه در کشور ما هنوز نقش و اهمیت انرژی در تولید به عنوان یک نهاده پر رنگ نیست، همان‌طور که در شکل 9نیز مشاهده می‌شود، تفاوت اندکی در مقدارGDP تحت سناریوهای مختلف به چشم می‌خورد. البته با توجه به اهمیت این شاخص همین تفاوت چند درصدی (5%) نیز اهمیت بالایی دارد و در آینده با توجه به افزایش نقش انرژی در تولید کشور این تفاوت بیش از این مقدار بروز پیدا خواهد کرد.



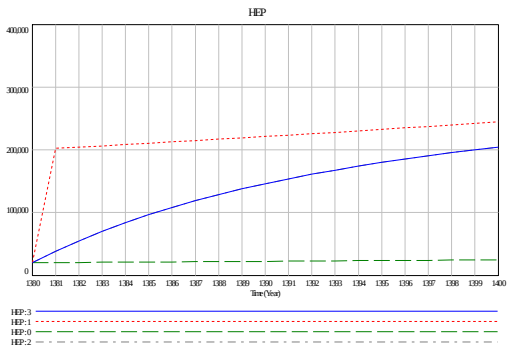
شکل 9: تولید ناخالص ملی

Archive of SID
www.SID.ir

در شکل 9 تحت سناریوی چهارم با بیشترین میزان تولید ناخالص ملی به دلیل افزایش بهره‌وری انرژی در صنعت و افزایش سرمایه‌گذاری دولت از درآمد کسب شده ناشی از حذف یارانه مواجه خواهیم بود. در سناریوی دوم و سوم به دلیل هدفمند نبودن فرآیند حذف یارانه‌ها روند مشابهی دیده می‌شود؛ هر چند در سناریوی دوم در ابتدا به دلیل افزایش دفعی در تقاضای نیروی کار به عنوان یک جانشین برای انرژی (به دلیل افزایش دفعی قیمت انرژی) با افزایش نسبی تولید مواجه خواهیم بود، ولی این اثر در آینده ماندگار نخواهد بود. در وضعیت فعلی نیز همان طور که مشاهده می‌شود با کمترین مقدار GDP مواجه خواهیم بود و که این موضوع لزوم تغییر سیاست‌های موجود در بخش انرژی را تأیید می‌کند.

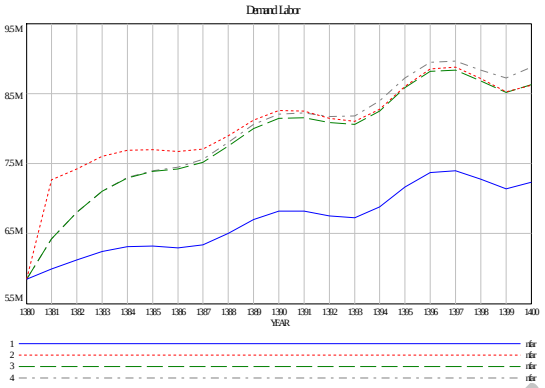
نیروی کار

یکی از شاخص‌های مهم اجتماعی در کشور اشتغال و تقاضا برای نیروی کار است. از این رو در این قسمت مقادیر تقاضای نیروی کار تحت سناریوهای ارائه‌شده مورد مقایسه قرار گرفته شده است. همان طور که در شکل(10) نشان داده شده است، مقادیر تقاضای نیروی کار در هر چهار سناریوها به دلیل افزایش تولید ناخالص ملی و قیمت انرژی روندی افزایشی دارد. همچنین روند نوسانی مشاهده‌شده در میزان تقاضا به دلیل مدت زمان تأخیری است که در مدل برای فرآیند استخدام در نظر گرفته شده است. (فرض تأخیر یک ساله در مدل) قبل از اینکه جزئیات نمودارها مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرد، لازم است به منظور شفافیت بحث مقادیر قیمتی تحت سناریوهای مختلف در شکل زیر نشان داده شود.



شکل 10: قیمت انرژی تحت سناریوهای مختلف

همان طور که در شکل 11 مشاهده می‌شود، میزان افزایش تقاضای نیروی کار در سناریوی دوم به دلیل بالا بودن قیمت انرژی کاهش یافته به عنوان یک عامل جانشین نیروی کار، تقاضا برای نیروی کار بخصوص در سال‌های اولیه (حذف دفعی یارانه‌ها) افزایش چشم‌گیری داشته‌است، ولی در آینده تحت سناریوی چهارم به دلیل افزایش نسبی در میزان GDP با افزایش نسبی در میزان تقاضای نیروی کار نسبت به این سناریو مواجه خواهیم شد. همچنین تحت سناریوهای سوم و چهارم در ابتدا به دلیل روند یکسان تغییرات قیمتی در هر دو تقریباً میزان تقاضا یکسان است، با این تفاوت که در آینده تحت سناریوی چهارم به دلیل افزایش نسبی در میزان GDP با افزایش نسبی در میزان تقاضای نیروی کار در کشور مواجه خواهیم شد.



شکل 11: نیروی کار

نتیجه‌گیری

با توجه به رشد تقاضای انرژی و محدودیت منابع، اصلاح برخی سیاست‌ها در بخش انرژی از جمله سیاست‌های قیمتی کاری ضروری در کشور است. در این مقاله اثرات تغییرات قیمت انرژی بر مصرف انرژی و سایر متغیرهای مرتبط با آن در بخش خانگی به عنوان بخشی که از بیشترین سهم مصرف انرژی نسبت به سایر بخش‌ها برخوردار است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در ابتدا به بررسی عوامل مهم اثرگذار بر مصرف انرژی با نگرشی جامع و سیستمی پرداخته شده است که این عوامل عبارتند از درآمد خانوار، قیمت انرژی، تعداد خانوار و میزان صرفه‌جویی (این متغیر در وضعیت فعلی مقداری نزدیک به صفر دارد که با افزایش قیمت بر این میزان افزوده می‌شود)، در ادامه به شرح معادلات مهم میان این عوامل پرداخته شده است.

پس از اعتبارسنجی نتایج کسب‌شده از مدل سناریوهای مختلف برای سیاست‌گذاری‌های قیمتی در

Archive of SID

www.SID.ir

آینده کشور تعریف شده و به شبیه‌سازی نتایج برخی از متغیرهای مدل ازجمله مصرف انرژی، میزان صرفه‌جویی، تولید ناخالص ملی و نیروی کار تا سال 1400 پرداخته شده و در مورد هر یک از نتایج سناریوی بهینه پس از بحث و بررسی انتخاب شده است. در آخر نیز در برآیندی از نتایج کسب‌شده، سناریوی چهارم یعنی حذف تدریجی یارانه انرژی (طی 10 سال) در سه بخش و هدفمندسازی یارانه در جهت استانداردسازی ساختمان به عنوان سناریوی بهینه برای آینده کشور معرفی شده است. در پایان توصیه می‌شود برای تحقیق بیشتر در آینده، اثرات تغییرات قیمتی به تفکیک برای هر یک از حامل‌ها در بخش خانگی و سایر بخش‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

1- Fakhraii, S. H. (1992). "Final report on energy demand forecasting of various energy carriers of different consumer sectors."

2- Ghaderi, S,F. and Sedighi, A. (1382). "The objective planing of susidy system." Tehran.

3- Hutzler, M.J., "World energy projection system." U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585.

4- Paul D. Holtberg, (2003). "The national energy modeling: an overview 2003." *Energy Information Administration*, U.S. Department of Energy Washington, 20585.

5- Jamshidi, M. (2007). "An analysis of residential energy intensity in Iran, a system dynamics approach." in System Dynamics, 1-12.

6- Sterman, J. D. (2000). "Business dynamics systems thinking and modeling for a complex world Massachusetts institute of technology." Sloan School of Management.

7- Mandlener, R. (1995). "Household energy demand analysis: an Emprical aplication of the closure test principle." *Economic Series*, Vol. No. 6.

8- Gibson, J. and Olivia, S. (2008). "Household energy demand and the equity and efficiency aspects of subsidy reform in Indonesia." *Energy*, Vol. 29, No. 1, PP. 21-39.

9- Sushil, (1994). System Dynamics: a Practical Approach for Mangerial Problems.

10- Larderel, J. L. and Appert, o. (2002). "Reforming energy subsidies." UNEP, U.K, 92-807.

11- Battjes, J. (1999). Dynamic Modelling of Energy Stocks and Flows in the Economy.: Proefschrift.

12- Energy Information Administration(EIA), INDUSTRIAL DEMAND MODULE (NEMS) (2003).

13- Gregory, N.M. (2004). Macroeconomics, 2nd ed. Tehran, Iran.

14- Energy balance, 10 section, (1386).

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Forrester
2- Nail 1977
3- Backus
4- J. Sterman
5- Richardson
6- Davidson
7- Stack & Flow

Archive of SID