فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی
دانشگاه شهید بهشتی، بهار ۱۳۹۱

Quarterly Journal of Economics and Modelling
Shahid Beheshti University

تخمین تقاضای بلندمدت انرژی در بخش صنایع و معادن به روش دو مرحله‌ای و شبیه‌سازی اثرات افزایش قیمت انرژیبر کنترل مصرف

دکتر محمد ناصر شرافت جهرمی*
دکتر رسام مشرفی**

چکیده

بخش صنایع و معادن یکی از بخش‌های مهم اقتصادیکشوراست. در سال ۱۳۸۶ بیش از ۲۳ درصد کل مصرف انرژی در کشور توسط این بخش مصرف شده و تولید در این بخش به نهادهٔ انرژی وابسته است. به همین دلیل افزایش قیمت انرژی از یک سو به طور بالقوه می‌تواند باعث نوسانات تولیدی در این بخش شود و از سوی دیگر کاهش تقاضای انرژی دراین بخش می‌تواند بخشی از اهداف سیاستگذار را از اجرای افزایش قیمت که کاهش مصرف می‌باشد، تأمین نماید. در این مقاله پس از تخمین تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن بر اساس روش دو مرحله‌ای در قالب یک مدل سیستمی به شبیه سازی مصرف انرژی بخش صنایع و معادن بر اثر سیاست افزایش قیمت انرژی پرداخته شده است. در این مدل سیستمی اثرات همزمان افزایش قیمت انرژی بر مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن، بر قیمت عمومی کالاها و بر ارزش افزودهٔ بخش صنایع و معادن شبیه‌سازی شده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که افزایش قیمت انرژی در قالب طرح هدفمندی یارانه‌ها می‌تواند به طور نسبی باعث کاهش مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن شود. البته افزایش قیمت حامل‌های انرژی باعث شکل‌گیری تورم و خنثی شدن بخشی از افزایش اولیهٔ قیمت انرژی نیز می‌شود، اما اثر تورمی مستقیم اجرای طرح به حدی نیست که خنثی‌کنندهٔ اثر کاهش تقاضا برای نهاده‌های انرژیدر بخش صنایع و معادن باشد؛

---

* عضو هیئت علمی دانشکدهٔ علوم اقتصادی و سیاسی دانشگاه شهید بهشتی
mn-sherafat@sbu.ac.ir
**عضو هیئت علمی دانشکدهٔ علوم اقتصادی و سیاسی دانشگاه شهید بهشتی
ressam moshrefi@yahoo.com
تاریخ دریافت ۹۱/۷/۱۵
تاریخ پذیرش ۹۲/۲/۹

اما اگر در زمان اجرای سیاست افزایش نرخ حامل‌های انرژی، چرخه‌های تورمی ثانویه‌ای از جهت افزایش نرخ ارز و رشد نقدینگی پدید آید می‌تواند دستاوردها یکاهشی در مصرف انرژی را در بلندمدت خنثی نماید و تنها نتیجهٔ اجرای سیاست افزایش نرخ حامل‌های انرژی، افزایش تورم باشد.

کلید واژه‌ها: *بخش صنعت و معدن، تقاضای انرژی، تخمین تقاضای دومرحله‌ای، شبیه‌سازی، قیمت انرژی*

طبقه‌بندی JEL: *L ٦٠, C ٥, C ٠٠*

۱. مقدمه

اقتصاد ایران، اقتصادی وابسته به منابع نفت و به طور عام انرژی است و چه از بعد عرضهٔ انرژی و چه از بعد تقاضای آن در شرایط ویژه‌ای قرار دارد. منابع عرضهٔ انرژیکشور به خصوص نفت خام تحت تأثیر افت تدریجی نرخ بازیافت مخازن کشور قرار دارد و چشم‌انداز رشد تولید آن مقید است[۱](مشرفی، ۱۳۸۹). از بعد تقاضا، با توجه به وابستگی قابل‌توجه بخش‌های اقتصادی به مصرف انرژی، در آیندهٔ نزدیک برای فعالیت‌های اقتصادی یک محدودیت مهم خواهد بود. مطابق محاسبات سازمان اطلاعات انرژی[۲] میزان شدت انرژی[۳] دراقتصاد ایران چندین برابر میانگین جهان است (نمودار ۱) که نشان دهندهٔ وابستگی چشمگیر تولید کشور به تأمین تقاضای انرژی است.

این در حالی است که بخش انرژی جدا از تأمین یکی از نهاده‌های مهم تولید، منبع مهم تأمین ارز و تأمین مالی بودجهٔ دولت نیز محسوب می‌شود. به همین دلیل مدیریت عرضه و تقاضای انرژی یکی از موضوعات مهم و استراتژیک در مسیر توسعهٔ اقتصادی ایران و در سال‌های پیش رو است.

---

۱. بر اساس شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مشرفی، در بهترین حالت در بهره برداری از مخازن موجود نفت کشور و با فرض تأمین سرمایه گذاری در مخازن، تولید نفت خام به بیش از ۵.۵ میلیون بشکه در روز نخواهد رسید. در شرایطی که سرمایه گذاری لازم در مخازن صورت نگیرد نرخ تولید نفت خام کشور بر اساس محاسبات وزارت نیرو سالی ۸ درصد افت خواهد داشت (مشرفی ۱۳۸۹).

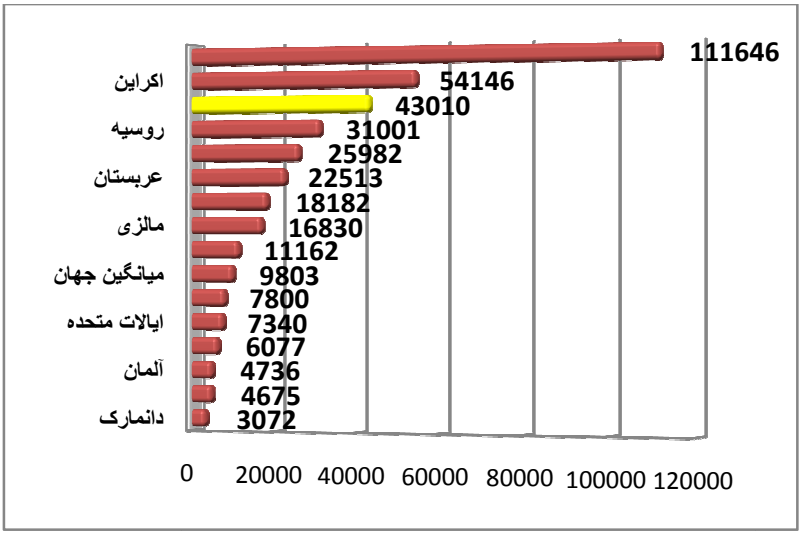
۲. Energy Information Administration (EIA)

۳. میزان شدت انرژی مصرف شده به ازای هر دلار تولید ناخالص داخلی است.

نمودار ۱. میزان شدت انرژی در اقتصادهای بزرگ جهان در سال ۲۰۰۹

بی.تی. یو انرژی مصرفی برای تولید یک دلار GDP

(تولید ناخالص داخلی کشورها بر اساس نرخ ارز رسمی به دلار تبدیل شده و ارزش دلار نیز به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵ محاسبه شده است.)



منبع: Energy Information Administration, International Energy Annual ۲۰۱۰

یکی از محورهای مدیریت اقتصاد انرژی، مدیریت تقاضای انرژی است که یکی از اهداف اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها نیز می‌باشد. طرح هدفمندی یارانه‌ها از زاویهٔ تأثیری که بر بازار حامل‌های انرژی دارد، با حذف تدریجی یارانهٔ قیمت حامل‌های انرژی به بخش‌های مصرف‌کننده، اجرا شد. یکی از انتظارات سیاستگذار از طراحی و اجرای این طرح کاهش مصرف انرژی در اقتصاد کشور است. محقق شدن این انتظار منوط به بررسی دقیق و کمی تأثیر حذف یارانه قیمت انرژی در تقاضای بخش‌های اقتصادی است.

در مقالهٔ حاضر با تمرکز بر بخش صنایع و معادن تأثیر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر تقاضای این بخش بررسی می‌شود. روش کار به این صورت خواهد بود که ابتدا با کمک یک تابع تقاضای دو مرحله‌ای تقاضای انرژی برای بخش صنایع و معادن به تفکیک حامل‌های انرژی تخمین زده می‌شود و سپس درقالب یک مدل سیستمی کوچک مقیاس به شبیه سازی اثرات متقابل رشد قیمت حامل‌های انرژی، تورم، مصرف انرژی در بخش

صنایع و معادن و ارزش افزوده این بخش پرداخته می‌شود. به عبارت دیگر، برای بررسی اثر افزایش قیمت در تقاضای حامل‌های انرژی در بخش صنایع معادن از یک مدل دو مرحله‌ای استفاده می‌شود و رابطهٔ دو طرفه و همزمان میان تولید و تقاضای انرژی از یک سو و تورم و قیمت نسبی انرژی از سوی دیگر، در نظر گرفته می‌شود.

چارچوب مقالهٔ پیش رو به این صورت خواهد بود که ابتدا به بررسی مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن پرداخته خواهد شد، پس از آن مروری بر مطالعات انجام شده صورت می‌گیرد. مبانی نظری و چارچوب مدل پیشنهادی در مرحلهٔ بعد و سپس برآورد الگو و شبیه سازی آن و در بخش پایانی نتایج مطالعه ارائه می‌شود.

۲. بررسی مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن

در بخش صنایع و معادن بدون در نظر گرفتن خوراکپالایشگاه‌ها، نفتوگازونیروگاه‌ها در سال ۱۳۸۰ بالغبر ۱۳۵ میلیون بشکه معادل نفت خام انرژی مصرف شده است که این رقم در سال ۱۳۸۶ به ۲۳۷.۵ میلیون بشکه معادل نفت خام با متوسط رشد سالیانهٔ ۹.۹ درصد افزایش یافته است. در واقع پرشتاب‌ترین بخش در مصرف انرژی در سال‌های اخیر این بخش بوده است.[1] با توسعهٔ شبکهٔ گاز رسانی سهمگاز طبیعی در کل مصرف انرژی این بخش همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، افزایش یافته؛ در مقابل، سهم فرآورده‌های نفتی به نزول بوده است. رشد مصرف گاز طبیعی در این بخش در فاصله سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ بیش از ۱۵ درصد بوده و گاز طبیعی در سال ۱۳۸۶ نزدیک به ۵۹ درصد انرژی مورد نیاز این بخش را تأمین نموده است.

جدول ۱. مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنایع و معادن ۸۶-۱۳۸۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

شرح	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶
فرآورده‌های نفتی	۵۵	۵۶.۱	۵۷	۵۴.۹	۶۰.۱	۶۰.۷	۶۵
گازطبیعی	۵۹.۶	۶۲.۹	۷۳.۳	۸۴.۵	۹۵.۱	۱۰۶.۱	۱۴۰.۹
زغال‌سنگ	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۱	۱.۱	۱	۱
برق	۲۰.۴	۲۲	۲۴.۶	۲۶.۵	۲۶.۸	۲۸.۷	۳۰.۶
کل مصرف انرژی	۱۳۵.۳	۱۴۱.۳	۱۵۵.۳	۱۶۷	۱۸۳.۱	۱۹۶.۵	۲۳۷.۵

منبع: ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۶، صفحه ۳۳

۱. رشد بخش خانگی-عمومی-تجاری، کشاورزی و حمل و نقل در همین دوره به ترتیب سالانه ۷.۶ درصد، ۳.۶ درصد و ۵ درصد بوده است. (محاسبات بر اساس گزارش ترازنامه انرژی کشور، ۱۳۸۸)

۳. مروری بر مطالعات انجام شده

مطالعات تجربی انجام شده در مورد تقاضای انرژی در ایران را که بر اساس الگویی نظری و روش‌های اقتصادسنجی به بررسی تقاضای انرژی پرداخته‌اند، به طور کل می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد. مطالعاتی که تقاضای انرژی را برای کل اقتصاد یا یک بخش اقتصادی در قالب تک معادله تخمین زده‌اند و مطالعاتی که رویکرد سیستمی به ارزیابی تقاضای انرژی داشته‌اند. در اکثر مطالعاتی که در قالب تک معادلات تابع تقاضای انرژی تخمین زده شده است پژوهشگر در صدد به دست آوردن کشش تقاضای انرژی نسبت به متغیرهای توضیحی بوده است و به همین دلیل عموماً فرم لگاریتمی تخمین مورد استفاده قرار گرفته است تا به نوعی مقدار عددی ثابتی برای کشش تقاضای انرژی بدست بیاید؛ در حالی‌که در مطالعات سیستمی هدف بیشتر،تخمین مقدار مصرف بوده و در بسیاری از موارد امکان محاسبهٔ پارامتریک کشش تقاضا نسبت به تغییر متغیر وابسته به دلیل وجود روابط متقابل بین معادلات سیستم امکان‌پذیر نبوده است.

۱.۳. تخمین تقاضای انرژی در قالب تک معادلات

جعفر خیرخواهان (۱۳۷۳) در مطالعه‌ای که با عنوان "بررسی تابع تقاضای انرژی در ایران" انجام داده است، به بررسی تقاضای انرژی در اقتصاد ایران پرداخته است. البته در این بررسی تقاضای انرژی به طور کل و بدون تفکیک بین بخش‌های اقتصادی برآورد شده است. تقاضای انرژی در قالب فرم لگاریتمی تابعی از درآمد ملی و قیمت انرژی در نظر گرفته شده است و از روش خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده[۱] برای برازش استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کشش قیمتی و درآمدی به ترتیب مثبت و منفی هستند. همچنین مقادیر مطلق کشش‌های بلندمدت بیشتر از کوتاه مدت است. کشش قیمتی در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب ۰.۱۹ و ۰.۷۶ است و کشش درآمدی در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر با ۰.۷۲ و ۰.۹۳ می‌باشد؛ البته شکست ساختاری در این کشش‌ها در دورهٔ انقلاب و جنگ تحمیلی نیز شناسایی شده است.

---

۱. Auto-regressive distributed lag

کریم آذربایجانی و همکاران (۱۳۸۵) در مطالعه‌ای به بررسی تقاضای انرژی الکتریکی در بخش صنعت پرداخته‌اند. در این مطالعه با بهره‌گیری از تکنیکARDL به برآورد تابع تقاضای انرژی الکتریکی پرداخته شده است. در این مطالعه متغیر کیفیت انرژی الکتریکی بر اساس شاخص افت فرکانس وارد تابع تقاضا شده است. فرم نهایی تابع برازش شده که حاصل بهینه یابی تقاضای انرژی به عنوان یک نهاده تولید است، به شرح زیر است.

$$\ln X_{ei} = C + \beta_1 \ln P_{ei} + \beta_2 (\ln P_{ei})^2 + \beta_3 \ln P_{ng} + \beta_4 \ln V_i + \beta_5 dum$$

که در آن X_{ei} تقاضای انرژی الکتریکی در بخش صنعت، P_{ei} قیمت واقعی انرژی الکتریکی در بخش صنعت، P_{ng} قیمت واقعی گاز طبیعی، V_i ارزش افزوده بخش صنعت و dum متغیر مجازی معرف کیفیت عرضهٔ انرژی است. با توجه به فرم تبعی در نظر گرفته شده برای تابع کیفیت برق متغیر توان دوم قیمت و متغیر کیفیت وارد تابع تقاضا شده است. نتیجهٔ این مطالعه نشان می‌دهد که تقاضای برق در بخش صنعت کم کشش است و به همین دلیل سیاست‌های قیمتی برایکنترل مصرف آن توصیه نمی‌شود. جانشینی بین گاز و برق نیز در این مطالعه در بلندمدت تأیید نمی‌شود. هر چند که نتیجهٔ برازش کوتاه مدت مدل در قالب مدل تصحیح خطا وجود جانشینی بین گاز و برق را تأیید نموده است. اثر متغیر کیفیت برق نیز علامتی مورد انتظار اما با سطح معنی داری پایین دارد.

۲.۳. تخمین تقاضای انرژی در قالب سیستم معادلات

در پژوهشی با عنوان "برآورد کشش‌های قیمتی، درآمدی و جایگزینی تقاضای انرژی" که توسط متقی و همکاران (۱۳۷۴) انجام شده، تقاضای انرژی به تفکیک حامل‌های انرژی (فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق) و بخش‌های مختلف اقتصادی (خانگی و تجاری، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی) برآورد می‌شود. در برآورد تابع تقاضا در بخش خانگی از روش تابع مطلوبیت غیرمستقیم استفاده می‌شود. بر این اساس با فرض تابع مطلوبت غیرمستقیم ترانسلوگ تابع سهم انرژی در بخش‌ها به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$S_{it} = \frac{\alpha_i^{'} + \sum_{j=1}^{4} \beta_{ij}^{'} \log(P_{jt} / M_t)}{\alpha_m + \sum_{j=1}^{4} \beta_{mj} \log(P_{jt} / M_t)} + (1-\delta_1) S_{i_{t-1}} \left(\frac{(P_{it} / M_t)}{(P_{i_{t-1}} / M_{t-1})}\right.$$

که در آن S_{it} (i=۱,۲,۳,۴) به ترتیب سهم هزینهٔ فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق و سایر کالاها از کل مخارج مصرفی خانوارها در سال t است. M_t کل مخارج خانوار را در سال tنشان می‌دهد. P_{jt} (که در آن j=۱,۲,۳,۴ است) به ترتیب قیمت فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق و سایر کالاها برای بخش خانگی در سال t است و از آنجاییکه $S_i = \frac{p_i x_i}{M}$ تابع تقاضای ترانسلوگ برای چهار فرآوردهٔ نفتی به صورت زیر خواهد بود:

$$X_i = \frac{\alpha_i + \sum_{j=1}^{4} \beta_{ij} \log(P_j / M)}{-1 + \beta_{m4} \log(P_4 / M)} \frac{M}{P_i} + \gamma_3 X_i(-1)$$

برازش تابع تقاضا پس از بررسی روش‌های OLS،۲SLS ، ۳SLS و SUR در نهایت به روش ۳SLS انجام گرفته است. اهم نتایج این مطالعه به این شرح است: اثر درآمد مصرف‌کننده و قیمت خود انرژی بر مصرف آن انرژی در بخش خانگی مهم‌ترین عامل مؤثر است. به گونه‌ای که کشش درآمدی و کشش خودی قیمتی در مصرف انرژی در بخش خانگی در بلندمدت به سمت قدرمطلق ۱ میل می‌کند در حالی‌که کشش سایر متغیرهای مؤثر بر مصرف انرژی در بلندمدت به صفر نزدیک می‌شود. بنابراین قیمت و درآمد مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در مصرف انرژی در بلندمدت است.

سقائیان نژاد و علیپور جدی (۱۳۷۷) در مطالعه‌ای با عنوان "تخمین دو مرحله‌ای تابع مصرف انرژی در صنعت ایران بر اساس مدل لاجیت" الگوی تخمین تقاضای دو مرحله‌ای را برای تخمین تابع تقاضایحامل‌های انرژی در بخش صنعت به کار گرفته اند. هر چند تابع لاجیت یک تابع ریاضی گسسته است اما در این مطالعه از این فرم در بررسی سهم مصرف حامل‌های انرژی استفاده شده است و در نهایت این نتیجه حاصل شده است که کشش قیمتی تقاضای انرژی در بخش صنعت نزدیک به ۰.۲۵ و کشش تولیدی نزدیک به یک

است و به این ترتیب بازده ثابت نسبت به مقیاس در مصرف انرژی در بخش صنعت وجود دارد.

مژگان قشقایی (۱۳۸۱) در مطالعه‌ای، با عنوان "تخمین توابع تقاضای حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی، به بررسی تقاضا برای منابع انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی می‌پردازد. در این پایان‌نامه برآورد تقاضا برای سه گروه از حامل‌های انرژی (فرآورده نفتی، گاز، برق) در چهار بخش متقاضی انرژی (خانگی و تجاری، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی) انجام می‌گیرد. در این مطالعه محاسبهٔ تقاضا به شکل دو مرحله‌ای عمل شده است. ابتدا سهم هر یک از حامل‌های انرژی در هر کدام از بخش‌های چهارگانه تابعی از قیمت‌های نسبی حامل‌ها و ارزش افزودهٔ بخش‌ها و متغیر وابسته با یک وقفه باکمک روش SUR[1] محاسبه می‌شود. در مرحلهٔ دوم، تقاضای کل انرژی برای هر بخش به روش الگوی خود توضیح با وقفه‌های گسترده برازش می‌شود. در نهایت با کمک مدل تخمین زده شده از تقاضای انرژی به ارزیابی سیاست‌های ارائه شده در برنامهٔ سوم توسعهٔ اقتصادی پرداخته شده است و این نتیجه حاصل می‌شود که نرخ رشد ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی و میزان افزایش قیمت انرژی در برنامهٔ سوم با میزان مصرف پیش بینی شده انرژی در این برنامه همخوانی ندارد.

در مجموع در مطالعات انجام شده در داخل، اثر افزایش قیمت انرژی در چارچوب هدفمندی یارانه‌ها بر بخش صنایع و معادن بررسی نشده است. به ویژه اثرات مستقیم و غیرمستقیم افزایش قیمت انرژی بر میزان مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن در قالب یک الگوی سیستمی که در بخش چهارم این مقاله ارائه شده، مورد بررسی قرار نگرفته است.

٤. مبانی نظری و چارچوب مدل

٤.١. مبانی نظری تخمین تقاضا به روش دو مرحله‌ای

دو روش پایه‌ای برای برآورد تقاضای انرژی وجود دارد. در یک روش تقاضا برای هر حامل‌های انرژی به صورت مستقل و مجزا از تقاضا برای سایر کالاها و حتی سایر

۱. Zellner's seemingly unrelated regression

حامل‌های انرژی برازش می‌گردد. به عنوان مثال، اگر تابع تقاضای گاز طبیعی مورد نظر باشد، تابعیکه مقدار مصرف گاز را وابسته به قیمت گاز و سایر متغیرهای مرتبط می‌سازد، شکل می‌گیرد و پارامترهای این تابع برازش می‌شود؛ اما در روش دوم، گزینه‌های قابل انتخاب تقاضاکننده به شکل سیستمی مورد نظر قرار می‌گیرد که تقاضاکننده می‌تواند بر اساس تغییرات نسبی قیمت آنها تقاضای خود را بین این گزینه‌ها جابه جا نماید. نتیجهٔ این روش تعیین تابع تقاضا، مجموعهٔ کامل‌تری از الگوهای تحلیل تقاضاست. روشن است که تقاضا برایک نوع از انرژی (مثلاً برق) نمی‌تواند از تقاضا برای سایر حامل‌های انرژیبا حتی سایر کالاها (در برازش تقاضای مصرفی) یا سایر نهاده‌ها (در برازش تابع تقاضای تولیدی) مستقل باشد. به عبارت دیگر، اگر قیمت نسبی نهاده‌های انرژی تغییر یابد تولیدکننده از یک سو ترکیب متفاوتی از نهاده‌های انرژی را برایتولید محصول خود به کار می‌گیرد و از سوی دیگر، در صورتیکه قیمت کلی انرژی نسبت به سایر نهاده‌ها افزایش یافته باشد، به تدریج در پی جایگزین نمودن نیرویکار و سرمایه به جای انرژی، در تابع تولید خود خواهد بود. به رغم اینکه منطق موجود در پی مفاهیم مورد اشاره در فوق روشن است، اما باید اشاره کرد که تا پیش از اواسط دهۀ ۷۰ میلادی استفاده از تخمین تقاضای حامل‌های انرژی به طور سیستمی (برآورد همزمان تقاضا برای حامل‌های مختلف انرژی یا برآورد همزمان تقاضا برای انرژی و سایر کالاها) مورد توجه قرار نگرفته بود.

تعیین تابع تقاضای چند کالایی[۱] برای منابع طبیعی غیر سوختی برای اولین بار توسط مورنی و تراپانی (۱۹۸۱) ، هزیلا و کوپ (۱۹۸۲) و اسلید(۱۹۸۴) انجام شد. مطالعات گسترده‌ای نیز پس از آن در خصوص برازش سیستمی تقاضای انرژی انجام شده است. خود مدل‌هایی چند کالایی تقاضای انرژی[۲] را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. مدل‌هاییکه جانشینی بین سوختی را مورد توجه قرار می‌دهند[۳] و مدل‌هاییکه جایگزینی بین تقاضایکل انرژی و سایر کالاها یا نهاده‌ها را مد نظر قرار می‌دهند[۴]. اکثر توابع تقاضای انرژی از یک تابع مطلوبیت[۵] $g(p,Y)$ یا هزینه $C(p,q)$[۱] غیرمستقیم حاصل می‌شوند. اینکه فرم تبعی تابع

۱. Multicommodity-Demand Models ۲. Multi-Commodity Energy-Demand Models
۳. Interfuel-Substitution Models ۴. Energy-Non-Energy Substitution Models
۵. در صورتی که تخمین تقاضای مصرف‌کننده مدنظر باشد.

تقاضای انرژی کدام یک از فرم‌های متعارف توابع تقاضای انرژی باشد، تأثیری ساختاری بر مدل نظری که در این بخش توسعه داده می‌شود، ندارد.

فرض کنید که بردار نهاده‌های x که به قیمت p در اقتصاد عرضه می‌شود برای تولید کالای q استفاده می‌شود. تابع هزینهٔ زیر با فرض وجود بازده ثابت نسبت به مقیاس (فرضی به منظور ساده سازی محاسبات) از این تولید قابل استنتاج است.

$$\ln TC = \ln C(p,q) = a. + \ln q + \sum_i a_i \ln p_i + \frac{1}{2}\sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j \qquad (1)$$

با استفاده از لم شفارد می‌توان میزان سهم هزینهٔ بهینهٔ هر یک از نهاده‌ها را در فرایند تولید محاسبه نمود. اگر این سهم بهینه را با S^* نشان دهیم خواهیم داشت:

$$S_i^* = \frac{p_i x_i^*}{C} = \frac{\partial C}{\partial p_i}\frac{p_i}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln p_i} = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln p_j \qquad (2)$$

اصل تقارن، همگنی خطی و قید بودجه در توابع تقاضا باعث می‌شود قیود زیر بر پارامترهای مدل فوق به ازای هر i و j حاکم باشد.

قید بودجه: یک شرط اساسی در مورد این سیستم معادلات تقاضا این است که حاصل جمع سهم‌ها برابر با ۱ باشد. لذا اگر این مسئله برقرار باشد خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1 \quad , \quad \sum_{i=1}^{n} \gamma_{ij=0} \qquad (3)$$

به شرط‌های فوق در سیستم معادلات تقاضا شرط حاصل جمع نیز می‌گویند.

قید همگنی: قیدیکه در مورد تمامی توابع تقاضا صادق است قید همگنی تابع تقاضاست. این قید گویای این مطلب است که تابع تقاضاییکه از شرایط حداکثر کردن مطلوبیت نسبت به بودجهٔ مشخص حاصل می‌شود همگن از درجهٔ صفر نسبت به سطح قیمت‌ها و درآمد می‌باشد. البته در برازش سهم‌ها عنصر مقدار درآمد در محاسبات وجود ندارد چون درآمد هر مقداری باشد در وضعیتیکه محاسبات تقاضا بر اساس سهم است مقدار آن ثابت و معادل صددرصد خواهد بود. بنابراین این قید در وضعیت برازش تقاضا بر اساس سهم‌ها به این صورت خواهد بود که اگر کلیهٔ قیمت‌های نهاده‌های انرژی چند برابر شود، تقاضای مصرف‌کننده از انواع حامل‌های انرژی تغییری نخواهد کرد. به بیان دیگر مصرف‌کننده در مصرف نهاده‌های مختلف به قیمت نسبی توجه دارد. وقتی چنین شرطی

۱. در صورتی که تخمین تقاضای تولیدکننده مدنظر باشد.

در سیستم تقاضاییکه بر اساس سهم مدلسازی می‌شود محاسبه شود نتیجهٔ نهایی به صورت شرط زیر خواهد بود.

$$\sum_{j=1}^{n} \gamma_{ij} = 0 \qquad (۴)$$

شرط تقارن اسلاتسکی: قید دیگریکه در خصوص تابع تقاضا وجود دارد، قید تقارن اسلاتسکیاست که گویای این مسئله است که اثرات تقاضای جبران شده متقارن می‌باشد. حل این قید برای تابع تقاضاییکه به شکل سهم‌ها تبدیل شده است به صورت شرط زیر خواهد بود.

$$\gamma_{ij} = \gamma_{ji} \qquad (۵)$$

پس از اینکه در برازش سهم‌های تقاضا از نهاده‌ها قیود فوق اعمال گردید از مقادیر برازش شده مقدار سهم می‌توان مقدار تقاضای نهاده را نیز بر اساس رابطهٔ زیر به دست آورد:

$$x_i^* = S_i^* \frac{C}{p_i} \qquad (۶)$$

پس از تخمین سهم بندی تقاضایحامل‌های انرژی، مرحلهٔ دوم تخمین مقدار تقاضایکل انرژی است. به عبارت دیگر باید مقدار C در معادلهٔ فوق محاسبه شود. تقاضای انرژی بر اساس تئوری تولید تابعی از قیمت نسبی نهادهٔ انرژی نسبت به سایر کالاها و مقدار تولید است.

$$C = f(q, \frac{PE}{PI}) \qquad (۷)$$

که در آن q مقدار تولید و PE شاخص کلی قیمت انرژی و PI قیمت سایر کالاهاست.

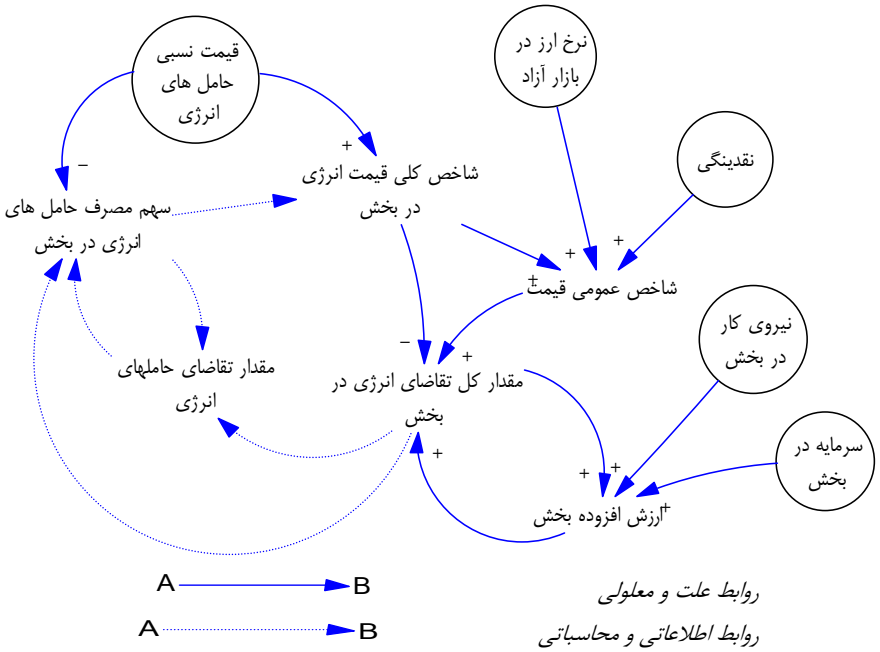
۲.٤. چارچوب کلی مدل

هدف این مطالعه بررسی اثر افزایش قیمت انرژی در بخش صنایع و معادن بر تقاضای آن است. افزایش قیمت انرژی جدا از اثر مستقیمی که در تقاضای بنگاه دارد، اثرات تولیدی و تورمی ثانویه‌ای نیز در سطح اقتصاد ایجاد می‌کند که به منظور بررسی دقیق‌تر اثر افزایش قیمت باید به صورت درونزا بررسی شود و در این خصوص نمی‌توان فرض ثبات سایر شرایط را فرض قابل دفاعی دانست؛ البته با توجه به اینکه هدف بررسی اثر نهایی بر تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن است مرز الگوی طراحی شده شامل متغیرهای مهم

و موثر بر تقاضای انرژی در این بخش است.

چارچوب کلی مدل طراحی شده برای بررسی تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن و ارتباطات بین متغیرها به صورت نمودار۲ است.

نمودار ۲. طرحی کلی مدل شبیه سازی تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن



همان‌طور که مشاهده می‌شود علاوه بر الگوسازی دو مرحله‌ای تقاضا برای انرژی، متغیرهای توضیحی دیگری در روابط فوق وجود دارند که در چارچوب یک مدل شبیه سازی باید به طور درونزا مدلسازی شوند.

این شیوهٔ الگوسازی تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن یک ویژگی بارز دارد و آن این است که با توجه به اینکه هم در تعیین سهم تقاضا برای حامل‌های انرژی و هم در تعیین میزان تقاضای کل انرژی در بخش صنایع و معادن از قیمت نسبی انرژی استفاده می‌شود. این مسئله باعث می‌شود تا حدی بتوان نتایج اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها را که در آن قیمت انرژی به صورت جهشی افزایش می‌یابد را با درجه اعتماد بالاتری پیش‌بینی

نمود. چون در تابع سهم، قیمت نسبی دو حامل انرژی نسبت به یکدیگر قرار دارد و جهش قیمت حامل‌های انرژی هم در صورت کسر و هم در مخرج کسر اتفاق افتاده است و به این ترتیب جهش متغیرهای توضیحی مدل (قیمت‌های نسبی حامل‌های انرژی) تعدیل می‌شود. در تابع تقاضای کل انرژی نیز شاخص قیمت انرژی بر شاخص قیمت‌ها تقسیم می‌شود و از آنجا که در درون الگو شاخص قیمت‌ها با افزایش قیمت انرژی خود افزایش می‌یابد، بنابراین جهش متغیر توضیحی این مدل اقتصادسنجی نیز تعدیل می‌شود. این مسئله از آنجا که مدل‌های اقتصادسنجی در دامنهٔ تغییرات مشاهده شده متغیرهای توضیحی قدرت پیش‌بینی بهتری دارند، اهمیت دارد. در واقع این شیوهٔ مشخص نمایی روابط و شکل دادن یک الگو برای بررسی تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن، قابلیت اعتماد بیشتری به نتایج تخمین نسبت به تخمین‌هایی در قالب تک معادلات و با حضور متغیرهای مطلق قیمت حامل‌های انرژی می‌تواند ایجاد کند.

همان‌طور که نمودار ۲ نشان می‌دهد، در تخمین تقاضای انرژی (معادلهٔ ۷) سه متغیر شاخص کلی قیمت انرژی(PE)، شاخص عمومی قیمت (PI) و مقدار تولید (q) مؤثر است که در ادامه چگونگی مدلسازی آنهاارائه می‌شود.

•شاخص کلی قیمت انرژی

شاخص کلی قیمت انرژییک متغیر مهم تعیین میزان تقاضای انرژی است. برای محاسبهٔ شاخص کلی قیمت انرژی بر اساس قیمت حامل‌های انرژی و سهم هر حامل در بخش اقتصادی مورد بررسی عمل می‌شود که پیش از این نحوهٔ محاسبهٔ سهم هر حامل انرژی در معادلهٔ ۲ ارائه شده است. نحوهٔ محاسبهٔ شاخص کلی قیمت انرژی به شرح معادلهٔ زیر است:

$$PE_t = \sum_{i=1}^{n} S_t^i . P_t^i \qquad (۸)$$

•مقدار تولید

همان‌طور که درمعادلهٔ ۷ دیده می‌شود، تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن تابعی از مقدار تولید در این بخش است و البته انرژی به عنوان یک نهاده خود در تولید مؤثر است.

رابطه‌ایکه وابستگی تولید به انرژی را نشان می‌دهد در قالب فرم متعارف توابع تولید به شرح زیراست:

$$q = g(K, L, EC) \qquad (۹)$$

که در آن K مقدار نهادهٔ سرمایه، L مقدار نهادهٔ نیرویکار و EC مقدار مصرف نهادهٔ انرژی است.

•شاخص عمومی قیمت (PI)

به طور معمول، شاخص قیمت تولیدکننده، گزینهٔ مناسبی برای استفاده به عنوان شاخص قیمت‌ها در تعدیل قیمت انرژی در تابع تقاضای انرژی است،اما با توجه به اینکه سری زمانی شاخص قیمت تولیدکننده در کشور از سال ۱۳۶۹ به بعد محاسبه شده، به عنوان متغیر جایگزین (proxy variable) در مدل این مقاله از شاخص قیمت مصرف‌کننده به عنوان نمادی از قیمت سایر کالاها استفاده شده است و مدلسازی آن به صورت معادلهٔ ذیل است. شایان ذکر است میزان ضریب همبستگی آماری این دو شاخص قیمت از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۸۷ برابر با ۰/۹۹۸۷۶۲است.

$$CPI = g(M۲, PE, E) \qquad (۱۰)$$

که در آن CPI شاخص قیمت مصرف‌کننده، M۲ میزان نقدینگی اسمی،PE شاخص قیمت انرژی و E نرخ ارز است.

۵.برآورد روابط الگو و بررسی پایایی

در برآورد ضرایب الگو ابتدا مرتبهٔ جمع هر یک از متغیرهای سری زمانی به منظور سنجش پایایی متغیرها با کمک آزمون دیکی فولر تعمیم یافته بررسی شده است. اکثر متغیرهای مورد استفاده در الگو از ویژگی داشتن ریشهٔ واحد از مرتبه یک برخوردارند.

به همین منظور ضروری است جملات پسماند معادلاتی رفتاری مابین این متغیرها از نظر جمعی بودن از مرتبهٔ صفر مورد آزمون قرار گیرد، چون احتمال بروز رگرسیون کاذب بین متغیرهای دارای ریشهٔ واحد زیاد است. به همین منظور جملات پسماند تمامی روابط رفتاری برازش شده مورد ارزیابی از نظر مرتبهٔ جمع قرار گرفته است. معادلات رفتاریکه در

ادامه ارائه می‌شود همگی دارای جملات پسماند پایا از مرتبهٔ جمعی صفر هستند.

جدول ۲. بررسی مرتبهٔ جمع متغیرهای مورد استفاده در معادلات

نام متغیر	نماد در معادلات	مرتبه جمع
سهم مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش صنایع و معادن	SPCI	I(۱)
سهم مصرف برق در بخش صنایع و معادن	SECI	I(۱)
سهم مصرف گاز در بخش صنایع و معادن	SGCI	I(۱)
نسبت شاخص قیمت فرآورده‌های نفتی به شاخص قیمت ذغال‌سنگ	PPIC	I(۰)
نسبت شاخص قیمت برق به شاخص قیمت ذغال‌سنگ	PEIC	I(۱)
نسبت شاخص قیمت گاز به شاخص قیمت ذغال‌سنگ	PGIC	I(۱)
لگاریتم طبیعی مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن	LOG(ECI)	I(۱)
لگاریتم طبیعی ارزش افزوده بخش صنایع و معادن	LOG(VAI)	I(۱)
لگاریتم طبیعی قیمت واقعی انرژی در بخش صنایع و معادن	LOG(PENI/CPI)	I(۱)
لگاریتم طبیعی شاخص قیمت مصرف‌کننده	LOG(CPI)	I(۱) با عرض از مبداء
لگاریتم طبیعی نرخ ارز بازار آزاد	LOG(E)	I(۱)
لگاریتم طبیعی شاخص قیمت انرژی در بخش صنایع و معادن	LOG(PENI)	I(۱) با عرض از مبداء
لگاریتم طبیعی نقدینگی اسمی	LOG(M۲)	I(۱) با عرض از مبداء

۱.۵ تخمین روابط تقاضای انرژی

مرحلهٔ اول: تخمین سهم تقاضایحامل‌های انرژی

همان‌طور که اشاره شد، برای تخمین تقاضای انرژی بخش صنایع معادن از روش تابع تقاضای انرژی دو مرحله‌ای استفاده شده است.کلیات برازش تقاضای انرژی به شکل دو مرحله‌ای به این صورت است که در یک مرحله سهم هر یک از حامل‌های انرژی از میزان تقاضای انرژی مدلسازی می‌شود و در مرحلهٔ بعدی میزان کل تقاضای انرژی بخش صنایع و معادن برازش می‌گردد. معادلاتیکه سهم هر حامل انرژی را برای بخش صنایع و معادن تعیین می‌کند فرم عمومی زیر را دارد.

$$
\begin{aligned}
S_t^e &= f\left(S_{t-1}^e, P_t^e, P_t^p, P_t^g, P_t^c\right)\\
S_t^p &= f\left(S_{t-1}^p, P_t^e, P_t^p, P_t^g, P_t^c\right)\\
S_t^g &= f\left(S_{t-1}^g, P_t^e, P_t^p, P_t^g, P_t^c\right)\\
S_t^c &= f\left(S_{t-1}^c, P_t^e, P_t^p, P_t^g, P_t^c\right)
\end{aligned}
\qquad (۱۱)
$$

که در آن S نمایانگر سهم هر حامل و P نمایانگر شاخص قیمت حامل انرژی و علایم e، p، g و c به ترتیب نماد حامل انرژی برق، فرآورده‌های نفتی، گاز و ذغال‌سنگ هستند.

با توجه به اینکه افزایش مصرف از یک حامل انرژی، با کاهش سهم سایر حامل‌های انرژی همراه می‌شود، برازش تابع سهم هر حامل انرژی نمی‌تواند مستقل از برآورد سهم سایر حامل‌های انرژی باشد. در واقع میزان سهم هر حامل انرژی به طور غیرمستقیم به یکدیگر وابسته است. بر این اساس، با کمک برازش سیستمی رگرسیون‌های به ظاهر نامرتبط SUR، میزان سهم هر یک از حامل‌های انرژی برازش می‌گردد[۱]. در اقتصادسنجی مدل‌های SUR توسط ارنولد زلنرمعرفی شد و برای اولین بار نیز توسط ایشان در مقاله‌ای در سال ۱۹۶۲ مطرح شد(Zellner,۱۹۶۲,p.۳۴۸-۳۶۸). این روش، برای مجموعه‌ای از معادلات همزمان که دارای قیدهایی در برازش پارامترها هستند و جملات اختلال آنها به یکدیگر وابسته است، به کار می‌رود.

مدل‌های به ظاهر نامرتبط شامل چند معادله است که در ظاهر از یکدیگر مستقل هستند. به عبارت دیگر، در مجموعه معادلات آنها متغیرهای وابسته به حالت ضربدری وجود ندارد، اما از آنجا که برای برازش از یک مجموعه داده مشترک استفاده می‌کنند، ممکن است جملات خطا در این معادلات به هم وابسته باشد. روش SUR روش برآوردی است که اجازهٔ وجود جملات خطای به هم وابسته در بین معادلات را می‌دهد.

در پژوهش حاضر برازش معادلات همزمان بر توابع سهم اعمال می‌شود. از آنجا که جمع سهم‌هایحامل‌های انرژی در هر صورت برابر با ۱ یا ۱۰۰ درصد خواهد شد، این مسئله باعث می‌شود که یک معادلهٔ ترکیب خطی از سه معادلهٔ دیگر در بخش صنایع و معادن باشد و عملاً امکان برازش چهار معادله از نظر آمارینامکن و از نظر کاربردی غیرضروری

۱. این روش برآوردی از تکنیک حداکثر درستنمایی در تخمین ضرایب مدل استفاده می‌کند.

باشد. چون در صورتیکه معادلهٔ سهم سه حامل انـرژی را بتـوان محاسـبه نمـود، تعیـین سـهم حامل چهارم با کسر مجموع مقادیر سه سهم پیش گفته از عدد ۱۰۰ میسـر خواهـد بـود. در همین خصوص، در برازش میزان سهم حامل‌های انـرژی در سـبد انـرژی مـورد اسـتفاده در بخش صنایع و معادن، حامل زغال‌سنگکه از نظر سـهم تقاضـا نیـز کـم اهمیـت‌تـرین حامـل مورد تقاضا بوده است، حذف شده است اما بدیهی است در برازش معادلات سهم برای سه حامل انرژی دیگر (برق، گاز و فرآورده‌های نفتـی) بایـد شـاخص قیمـت زغـال‌سـنگ نیـز وجود داشته باشد. به همـین دلیـل در توابـع سـهم تقاضـا بـه جـای اسـتفاده از قیمـت مطلـق حامل‌های انرژی از قیمت نسبی آنها نسبت به شاخص قیمت زغال‌سنگ استفاده شده اسـت. در نهایت مدل برآوردی به صورت مفهومی به صورت زیر خواهد بود.

$$S_t^e = f\left(S_{t-1}^e, P_t^e/P_t^c, P_t^p/P_t^c, P_t^g/P_t^c\right)$$
$$S_t^p = f\left(S_{t-1}^p, P_t^e/P_t^c, P_t^p/P_t^c, P_t^g/P_t^c\right)$$
$$S_t^g = f\left(S_{t-1}^g, P_t^e/P_t^c, P_t^p/P_t^c, P_t^g/P_t^c\right) \qquad (۱۲)$$

باید اشاره کرد که برازش سهم‌های فوق برای اینکه ویژگی‌های مطلوب توابع تقاضـا را داشته باشد، با تحمیل قیودیکه در بخش ۴ اشاره شد، مورد برازش قرار می‌گیرد.[۱]

حضور متغیر وابسته با وقفه در معادلات برازش سهم به این دلیل است که امکان تعـدیل سریع در نوع انرژی مصرفی در بنگاه‌های صنعتی و به طور کل در کلیهٔ بخش‌های اقتصادی وجود ندارد و تغییر نوع انرژی مصرفی با نوعی چسبندگی به گذشته همراه است.

در ادامه نتایج تخمین مدل SUR مقید برای سهم هر حامل ارائـه مـی‌گـردد. همـان‌طـور که ملاحظه می‌شود علامت ضرایب موافق انتظار است. شایان ذکر است در مدل‌های SUR به دلیل ساختار تخمین همزمان ضرایب و وابستگی تئوریکی معـادلات بـه یکـدیگر امکـان

۱. قیودی که در برازش توابع تقاضایی که به شکل سهم برازش می‌گردد، باید اعمال شود همانند قیودی است که دیتون و مولباور (Deaton & Muellbauer) در تدوین الگوی تقاضای تقریباً ایده‌آل (AIDS) مورد اشاره قرار دادند. این قیود عبارتند از:۱. قید بودجه (جمع سهم‌ها هرگز نمی‌تواند بیشتر از ۱۰۰ درصد شود)۲. قید همگنی (اگر قیمت همهٔ نهاده‌ها و درآمد به یک نسبت افزایش یابد تغییری در تقاضا بوجود نمی‌آید) و ۳. قید تقارن اسلاتسکی (که گویای این مسئله است که اثرات قیمتی در تابع تقاضای جبران شده، متقارن می‌باشد) (منبع: هژبرکیانی. صیامی،ص ۳۰۷-۲۸۱.

افزودن متغیرهای توضیحی مستقل به هر معادله برای بهبود معنی داری ضرایب وجود ندارد.

جدول۳. تخمین سهم تقاضای حامل‌های انرژی در بخش صنایع و معادن به روش SUR (دوره تخمین ۱۳۸۶-

سهم مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش صنایع و معادن				قیمت نسبی فراورده‌های نفتی در بخش صنعت		قیمت نسبی گازطبیعی در بخش صنعت		قیمت نسبی برق در بخش صنعت		متغیر مجازی سال‌های پیش از انقلاب		متغیر مجازی سال‌های انقلاب و جنگ
SPCI	= ۵.۱۲	+۰.۸۱۸	SPCI(-۱)	-۲۶.۹۹	PPIC	+۳۴.۴۲	PGIC	-۹.۴۷	PEIC	+۱۰.۸۸	D۵۰۵۷	+۸.۴۵	D۵۷۶۷
t.stat	۲.۲۴	۲۱.۸۷		-۱.۰۴۸		۱.۲۱		-۱.۴۶		۳.۰۷		۵.۲۴	
prob	۰.۳۳	۰.۰۰۰		۰.۳۰۳		۰.۲۳۷		۰.۱۵۶		۰.۰۰۵		۰.۰۰۰	
R^2=۰.۹۷, D.W. stat=۱.۹۴													
سهم مصرف گاز در بخش صنایع و معادن				قیمت نسبی فراورده‌های نفتی در بخش صنعت		قیمت نسبی گازطبیعی در بخش صنعت		قیمت نسبی برق در بخش صنعت		متغیر مجازی سال‌های پیش از انقلاب		متغیر مجازی سال‌های انقلاب و جنگ	
SGCI	= ۱۱.۰۳	+۰.۸۱۸	SGCI(-۱)	+۳۴.۴۲	PPIC	-۵۰.۱۳	PGIC	+۱۴.۷۸	PEIC	۱۲.۰۴-	D۵۰۵۷	-۸.۰۲	D۵۷۶۷
t.stat	۶.۲	۲۱.۸۷		۱.۲۱		-۱.۴۸		۱.۷۷		-۲.۹۸		-۴.۳۸	
prob	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰		۰.۲۴		۰.۱۵		۰.۰۹		۰.۰۰۶		۰.۰۰۰	
R^2=۰.۹۶, D.W. stat=۱.۹۵													
سهم مصرف برق در بخش صنایع و معادن				قیمت نسبی فراورده‌های نفتی در بخش صنعت		قیمت نسبی گازطبیعی در بخش صنعت		قیمت نسبی برق در بخش صنعت		متغیر مجازی سال‌های پیش از انقلاب		متغیر مجازی سال‌های انقلاب و جنگ	
SECI	= ۱.۴۲	+۰.۸۱۸	SECI(-۱)	-۹.۴۷	PPIC	+۱۴.۷۸	PGIC	-۰.۴۴	PEIC	+۰.۴۵	D۵۰۵۷	-۰.۴۳	D۵۷۶۷
t.stat	۲.۹۷	۲۱.۸۷		-۱.۴۶		۱.۷۷		-۰.۱۱		۰.۴۴		-۱.۰۵	
prob	۰.۰۰۶	۰.۰۰۰		۰.۱۶		۰.۰۹		۰.۹۱		۰.۶۶		۰.۳	
R^2=۰.۸۹, D.W. stat=۱.۸۶													

توجه: ارقام در جدول فوق تا دو رقم اعشار گرد شده است.

سهم مصرف ذغال‌سنگ که چهارمین حامل انرژی مورد استفاده در بخش صنایع و معادن است بر اساس رابطهٔ اتحادی زیر قابل محاسبه است.

SCCI=۱۰۰-SPCI-SGCI-SECI (۱۳)

شایان ذکر است در تخمین روابط فوق همان‌طور که پیش از این اشاره شد، قیود بودجه، همگنی و تقارن برای به دست آوردن توابع تقاضای سازگار با نظریه‌های اقتصادی در نظر گرفته شده است. نتایج فوق نشان می‌دهد که بین سهم مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز در بخش صنایع و معادن حالت جانشینی وجود دارد. در حالی که بین سهم مصرف فرآورده‌های نفتیو برق حالت مکمل دیده می‌شود. به عبارت دیگر، افزایش سهم فرآورده‌های نفتی همزمان با کاهش سهم گاز است و برعکس. اما میزان استفاده از برق نیز با توسعهٔ استفاده ازفرآورده‌های نفتی افزایش می‌یابد. این در حالی است که گاز نهاده جانشین برای فرآورده‌های نفتی و برق به شمار می‌آید. این نتایج با راهکار جایگزینی استفاده از گاز به جای سایر حامل‌های انرژی که در فعالیت‌های صنعتی کشور دیده می‌شود سازگار است.

جملهٔ اخلال هر سه معادله از نظر پایایی ارزیابی شده که در هر سه مورد پایایی آن تایید شده است و مشکل وجود رگرسیون کاذب از این نظر برطرف شده است که در جداول ۶-۴ نتیجهٔ آزمون پایایی ملاحظه می‌شود.

جدول٤. آزمون پایایی جملهٔ اخلال رابطهٔ سهم مصرف فراورده‌های نفتی در بخش صنایع و معادن

Null Hypothesis: RESIDSYS۰۱ has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: ۰ (Automatic - based on SIC, maxlag=۷)

Prob.*	t-Statistic

۰.۰۰۰۰	-٤.٦٤٩٧٦٧	Augmented Dickey-Fuller test statistic	
	-۲.٦۳۹۲۱۰	۱% level	Test critical values:
	-۱.۹۵۱٦۸۷	۵% level	
	-۱.٦۱۰۵۷۹	۱۰% level	

*MacKinnon (۱۹۹٦) one-sided p-values.

جدول۵. آزمون پایایی جملهٔ اخلال رابطهٔ سهم مصرف گاز در بخش صنایع و معادن

Null Hypothesis: RESIDSYS۰۲ has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: ۰ (Automatic - based on SIC, maxlag=۷)

Prob.*	t-Statistic		
۰.۰۰۰۰	-٤.۸۳۰۰۸۲	Augmented Dickey-Fuller test statistic	
	-۲.٦۳۹۲۱۰	۱% level	Test critical values:
	-۱.۹۵۱٦۸۷	۵% level	
	-۱.٦۱۰۵۷۹	۱۰% level	

*MacKinnon (۱۹۹٦) one-sided p-values.

جدول ٦. آزمون پایایی جملهٔ اخلال رابطهٔ سهم مصرف برق در بخش صنایع و معادن

Null Hypothesis: RESIDSYS۰۳ has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: ۰ (Automatic - based on SIC, maxlag=۷)

Prob.*	t-Statistic		
۰.۰۰۰۰	-۵.٤٤٦۰۰۹	Augmented Dickey-Fuller test statistic	
	-۲.٦۳۹۲۱۰	۱% level	Test critical values:
	-۱.۹۵۱٦۸۷	۵% level	
	-۱.٦۱۰۵۷۹	۱۰% level	

*MacKinnon (۱۹۹٦) one-sided p-values.

مرحلهٔ دوم: تخمین تقاضایکل انرژی

پس از تخمین معادلات سهم با کمک روش SUR مقید باید شاخصکلی قیمت انرژی برای بخش صنایع و معادن محاسبه شود. با توجه به اینکه بخش‌های مختلف اقتصادی سهم مصرف متفاوتی از حامل‌های انرژی دارند، حتی قیمت‌های یکسان حامل‌های انرژی می‌تواند شاخص قیمت کلی انرژی متفاوتی برای بخش‌های اقتصادی ایجاد نماید. به عنوان مثال اگر قیمت گازوییل افزایش یابد تأثیر هزینه‌ای که این افزایش قیمت بر شاخص قیمت انرژی بخش حمل و نقل دارد بیشتر از تأثیری است که این افزایش قیمت بر شاخص کلی قیمت انرژی در بخش خانگی دارد. بنابراین ضروری است پیش از تخمین تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن شاخص قیمت انرژی برای این بخش محاسبه شود. نحوهٔ محاسبهٔ شاخص قیمت انرژی برای بخش صنایع و معادن بر اساس الگوی ارائه شده در معادلهٔ ۸ و به صورت زیر است.

$$PENI_t = \sum_{i=1}^{n} S_t^i . P_t^i \qquad (۱۴)$$

که در آن S_t^i سهم حامل‌های انرژی مصرف شده و P_t^i میزان قیمت هر یک از حامل‌های انرژی در بخش صنایع و معادن در طول زمان می‌باشد. با کمک این شاخص میزان تقاضای کل انرژی به عنوان نهادهٔ تولید برای بخش صنایع و معادن بر اساس رابطهٔ تبعی زیر برازش می‌گردد.

$$ECI_t = f(VAI_t, PENI_t/CPI_t) \qquad (۱۵)$$

که در آن ECI_t میزان تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن به میلیون بشکه معادل نفت خام، $PENI_t$ شاخص کل قیمت انرژی برای بخش صنایع و معادن، CPI_t شاخص قیمت کالاها و خدمات که به عنوان متغیر جانشین به جای شاخص قیمت تولیدکننده استفاده شده است و VAI_t میزان ارزش افزودهٔ بخش صنایع و معادن است. شایان ذکر است با توجه به وجود ریشهٔ واحد در برخی از متغیرهای مدل‌های سری زمانیکه با آزمون دیکی فولر تعمیم یافته مشخص شد، برای پرهیز از همبستگی‌هایکاذب در تخمین ضرایب تقاضای انرژی در

بخش‌های اقتصادی و اریب ضرایب حاصل از نمونه‌هایکوچک از روش ARDL استفاده شده است. نتیجهٔ تخمین تابع تقاضای انرژی برای بخش صنعتی در قالب روش *ARDL* به شرح جدول ۷ است.

جدول۷. تخمین میزان مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن به روش ARDL

(دوره تخمین ۱۳۸۶- ۱۳۵۱)

لگاریتم میزان مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن	لگاریتم میزان مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن با وقفه	لگاریتم ارزش افزوده در بخش صنایع و معادن	لگاریتم قیمت نسبی انرژی	لگاریتم قیمت نسبی انرژی با وقفه	متغیر مجازی سال پایان جنگ	متغیر مجازی سال انقلاب
LOG(ECI) =	−۱.۱۵ +۰.۷۰ LOG(ECI(−۱))	+۰.۲۶ LOG(VAI)	+۰.۲۱ LOG(PENI/CPI)	−۰.۲۹ LOG(PENI(−۱)/CPI(−۱))	+۰.۱۸ D۶۸	−۰.۲۳ D۵۷
t.stat	−۲.۷۳ ۱۱.۶۴	۳.۹۵۴	۲.۳۵۴	-۳.۱۱	۲.۲۱	-۲.۹۳
prob	۰.۰۱ ۰	۰	۰.۰۲۵۰	۰.۰۰۴	۰.۰۳۵	۰.۰۰۷
R^2=۰.۹۹, F.stat=۳۹۹.۷, D.W. stat=۱.۹۱						

توجه: ارقام در جدول فوق تا دو رقم اعشار گرد شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضرایب متغیرها از علامت‌های قابل انتظار و معنی‌دار قابل قبولی برخوردارند.میزان آماره آزمون وجود رابطهٔ تعادلی بلندمدت میان متغیرهای الگو۴/۸۹۳- است که از کمیت بحرانی ارائه شده توسط بنرجی، دولادو و مستر در سطح ۹۵درصدکه معادل ۴.۴۳ - است، بیشتر است[۱]. بنابراین فرض عدم وجود همجمعی بین متغیرهای الگو رد می‌شود. به این ترتیب، برآوردکننده‌های ضرایب در الگوی فوق سازگار[۲] هستند[۳].رابطهٔ تعادلی بلندمدت تقاضای انرژی که در ادامه در قالب یک الگوی

۱. آماره آزمون ارائه شده توسط بنرجی-دولادو و مستر $\frac{\sum_{i=1}^{p} \hat{\alpha}_i - ۱}{\sum_{i=1}^{p} \hat{s}_i}$ است که در آن i تعداد وقفه‌ها $\hat{\alpha}_i$ ضریب متغیر وابسته با وقفه و $\hat{s}_i$ انحراف معیار ضریب متغیر وابسته باوقفه است. برای مطالعهٔ بیشتر به نوفرستی (۱۳۸۷) رجوع شود.

۲. Super Consistent

۳. برای بررسی اثرات فوق سازگار بودن برآوردکننده‌ها به نوفرستی، ۱۳۸۷، ص ۹۱ رجوع شود.

کوچک مقیاس برای شبیه سازی تحولات تقاضای انرژی نسبت به تغییرات قیمت مورد استفاده قرار خواهد گرفت به شرح زیر است.

LOG(ECI)=-۳.۸۷ + ۰.۸۹*LOG(VAI) -۰.۲۶*LOG(PENI/CPI)+۰.۶۱*D۶۸-۰.۷۷*D۵۷ (۱۶)

از آنجا که رابطهٔ فوق در الگویی که پس از این ارائه می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد، جمله اخلال آن از نظر پایایی آزمون شد

تعمیم یافته ۱/۷۸- است که نشان می‌دهد در سطح اطمینان نزدیک به **۹۳** درصد پایاست.

جدول۸. آزمون پایایی جملهٔ اخلال رابطه بلندمدت تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن

Null Hypothesis: ECIE۱ has a unit root
Exogenous: None
Lag Length: ۱ (Automatic - based on SIC, maxlag=۷)

Prob.*	t-Statistic		
۰.۰۷۰۴	-۱.۷۸۸۰۴۳	Augmented Dickey-Fuller test statistic	
	-۲.۶۳۹۲۱۰	۱% level	Test critical values:
	-۱.۹۵۱۶۸۷	۵% level	
	-۱.۶۱۰۵۷۹	۱۰% level	

۳.۵. تخمین سایر متغیرهای مؤثر بر تقاضای انرژی

همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، در قالب یک الگوی سیستمی تقاضای انرژی در بخش صنعت و معدن از ارزش افزوده در این بخش و قیمت سایرنهاده‌ها تأثیر می‌پذیرد و خود این دو متغیر نیز تابع متغیرهای مؤثر دیگری هستند. در این بخش و پیش از طراحی الگوی سیستمی تقاضای انرژی در بخش صنعت و معدن، نتایج تخمین روابط تابع تولید و قیمت سایر نهاده‌ها ارائه می‌گردد. شایان ذکر است از آنجا که آمار سری زمانی قابل اتکایی از شاخص قیمت تولیدکننده (PPI) در دسترس نمی‌باشد از شاخص قیمت مصرف‌کننده (CPI) به عنوان متغیر جایگزین استفاده شده است.

جدول۹. تخمین میزان ارزش افزوده بخش صنایع و معادن به روش ARDL (دوره تخمین ۱۳۸۶- ۱۳۵۴)

لگاریتم میزان ارزش افزوده بخش صنایع و معادن			لگاریتم میزان سرمایه در بخش صنایع و معادن	لگاریتم میزان سرمایه در بخش صنایع و معادن با وقفه	لگاریتم میزان نیروی کار در بخش صنایع و معادن	لگاریتم میزانمصرف انرژی در بخش صنایع و معادن	متغیر مجازی سال‌های پایان جنگ
LOG(VAI)	=	−۱۰.۷۷	+۲.۳۲ LOG (KIN)	−۱.۴ LOG (KIN(−۱))	+۰.۶۴ LOG(LIN)	+۰.۰۹ LOG(ECI)	−۰.۱۰ D۶۷۶۸
t.stat		−۱۲.۱۵	۷.۰۸	−۶.۰۸	۴.۶۵	۲.۳۴	−۲.۸۶
prob		۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱	۰.۰۲۶۹	۰.۰۰۸۰
R^2=۰.۹۹, F.stat=۷۲۷.۶, D.W. stat=۱.۸۸							

توجه: ارقام در جدول فوق تا دو رقم اعشار گرد شده است.

ضرایب متغیرهای مدل از علامت مورد انتظار و معنی‌دار قابل قبولی برخوردار است. با توجه به اینکه در الگوی ARDL متغیر وابسته با وقفه ظاهر نشده است. مدل نیازی به آزمون وجود رابطهٔ تعادلی در بلندمدت ندارد و به طور خودکار از این ویژگی برخوردار است. رابطهٔ تعادلی بلندمدت تقاضای انرژی که در ادامه در قالب یک الگوی کوچک مقیاس برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود، مبتنی بر رابطهٔ بالا و پس از حذف عملگر وقفه به شرح زیر است.

LOG(VAI)= −۱۰.۷۷ + ۰.۹۲*LOG(KIN)+ ۰.۶۴*LOG(LIN) + ۰.۰۹۲*LOG(ECI) - ۰.۱۰*D۶۷۶۸ (۱۷)

از آنجا که رابطهٔ فوق در الگویی که پس از این ارائه می‌شود استفاده می‌گردد، جملهٔ اخلال آن از نظر پایایی آزمون شده است که آماره آزمون دیکی فولر تعمیم یافته ۱/۷۸− است که نشان می‌دهد در سطح اطمینان نزدیک به ۹۳ درصد پایاست.

جدول۱۰. آزمون پایایی جملهٔ اخلال رابطهٔ بلندمدت ارزش افزوده در بخش صنایع و معادن

Null Hypothesis: VAIE۱ has a unit root

Exogenous: None
Lag Length: ۰ (Automatic - based on SIC, maxlag=v)

Prob.*	t-Statistic		
۰.۰۰۳۰	−۳.۰۹۶۳۴۹	Augmented Dickey-Fuller test statistic	
	−۲.۶۳۹۲۱۰	۱٪ level	Test critical values:
	−۱.۹۵۱۶۸۷	۵٪ level	

۱۰٪ level		-۱.۶۱۰۵۷۹

*MacKinnon (۱۹۹۶) one-sided p-values.

جدول ۱۱. تخمین میزان شاخص قیمت به روش ARDL (دورهٔ تخمین ۱۳۸۶- ۱۳۵۰)

لگاریتم شاخص قیمت مصرف کننده			لگاریتم شاخص قیمت مصرف کننده با یک وقفه	لگاریتم شاخص قیمت مصرف کننده با دو وقفه	لگاریتم نرخ ارز بازار آزاد	لگاریتم شاخص قیمت انرژی	لگاریتم نقدینگی اسمی	متغیر مجازی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۶۰	متغیر مجازی سال‌های ۶۴ تا ۱۳۶۱	متغیر مجازی سال‌های ۷۴ تا ۱۳۶۷	
LOG(CPI) =	-۲.۸۲	+۰.۷۱	LOG(CPI(-۱))	-۰.۳۳	LOG (CPI(-۲))	+۰.۱۸ LOG(E)	+۰.۱۴ LOG(PENI)	+۰.۲۵ LOG(M۲)	-۰.۰۹ D۵۷۶۰	-۰.۰۱ D۶۱۶۴	+۰.۰۶ D۶۷۷۴	
t.stat	-۱۰.۷۸	۷.۶۵		-۴.۹۶		۸.۹۳	۸.۳۱	۱۰.۶۶	-۴.۹۶	-۵.۳۷	۴.۰	
prob	۰.۰۰	۰.۰۰		۰.۰۰		۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	
R^2=۰.۹۹, F.stat=۲۵۹۰۴۸, D.W. stat=۱.۹۳												

توجه: ارقام در جدول فوق تا دو رقم اعشار گرد شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، ضرایب متغیرها از علامت‌های قابل انتظار و معنی‌دار قابل قبولی برخوردارند.میزان آماره آزمون وجود رابطهٔ تعادلی بلندمدت میان متغیرهای الگو۳.۹۳- است که از کمیت بحرانی ارایهٔ شده توسط بنرجی، دولادو و مستر در سطح ۹۰درصدکه معادل ۳.۸۲- است، بیشتر است. بنابراین فرض عدم وجود همجمعی بین متغیرهای الگو در سطح اطمینان ۹۰ درصد رد می‌شود. به این ترتیب، برآوردکننده‌های ضرایب در الگوی فوق سازگار هستند[1].رابطهٔ تعادلی بلندمدت شاخص قیمت که در ادامه در قالب یک الگوی کوچک مقیاس برای شبیه‌سازی تحولات تقاضای انرژی نسبت به تغییرات قیمت مورد استفاده قرار خواهد گرفت به شرح زیر است.

برای خوش‌رفتار نمودن جملات پسماند معادلهٔ CPI متغیرهای مجازی برای سال‌های انقلاب و اوایل جنگ (۱۳۵۷ تا ۱۳۶۴)در نظر گرفته شده است. روند شاخص CPI در سال‌های پیش از انقلاب در مسیر صعودی قرار گرفته بود که با رویداد انقلاب و جنگ تحمیلی و اجرای سیستم توزیع کوپنی کالاها و نظارت شدید بر قیمت‌ها، روند رشد CPI

۱. برای بررسی اثرات فوق سازگار بودن برآوردکننده‌ها به نوفرستی، ۱۳۸۷، ص ۹۱ رجوع شود.

کند شد. همان‌طور که نتایج تخمین نشان می‌دهد اثر سیاست‌های کنترل قیمت‌ها در سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۶۴ در کاهش روند رشد CPI جتی نسبت به سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۶۰مؤثرتر بوده است. در مقابل پایان جنگ و حرکت به سمت خصوصی‌سازی و تعدیل اقتصادی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۴ روند رشد CPI را در مسیر صعودی قرار داده است.

LOG(CPI)=-٤.٥٠+٠.٢٩*LOG(E)+٠.٢٢*LOG(PENI)+٠.٤٠*LOG(M٢)- (١٨)

٠.١٥*D٥٧٦٠-٠.١٦*D٦١٦٤+٠.٠٩*D٦٧٧٤

از آنجا که رابطهٔ فوق در الگویی که پس از این ارائه می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد، جمله اخلال آن از نظر پایایی آزمون شده که آماره آزمون دیکی فولر تعمیم یافته ۶/۰۸- است که نشان می‌دهد در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد پایاست.

جدول۱۲. آزمون پایایی جملهٔ اخلال را

Null Hypothesis: CPIE١ has a unit root
Exogenous: None
Lag Length: ١ (Automatic - based on SIC, maxlag=٧)

Prob.*	t-Statistic		
٠.٠٠٠٠	-٦.٠٧٥٠٧٠	Augmented Dickey-Fuller test statistic	
	-٢.٦٣٩٢١٠	١% level	Test critical values:
	-١.٩٥١٦٨٧	٥% level	
	-١.٦١٠٥٧٩	١٠% level	

*MacKinnon (١٩٩٦) one-sided p-values.

٦. تدوین الگو و شبیه سازی

همان‌طور که در بخش پیشین اشاره شد در شبیه‌سازی الگوی تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن از روابط بلندمدت استفاده شده است. برای اینکه نسبت به کیفیت روابط بلندمدت ناشی از الگوی ARDL برازش شده اطمینان حاصل شود، علاوه بر آزمون بنرجی-دولادو- مستر که مبین وجود رابطهٔ تعادلی بلندمدت بین متغیرهای مدل است. جملهٔ اخلال رابطهٔ تعادلی بلندمدتیکه از ادغام ضرایب متغیرهای با تأخیر حاصل می‌شود، مجدداً از نظر پایایی (آزمون ADF)، بررسی شده است که در صورت پایا بودن، از رابطهٔ

تعادلی بلندمدت در شبیه سازی الگوی استفاده شده است.

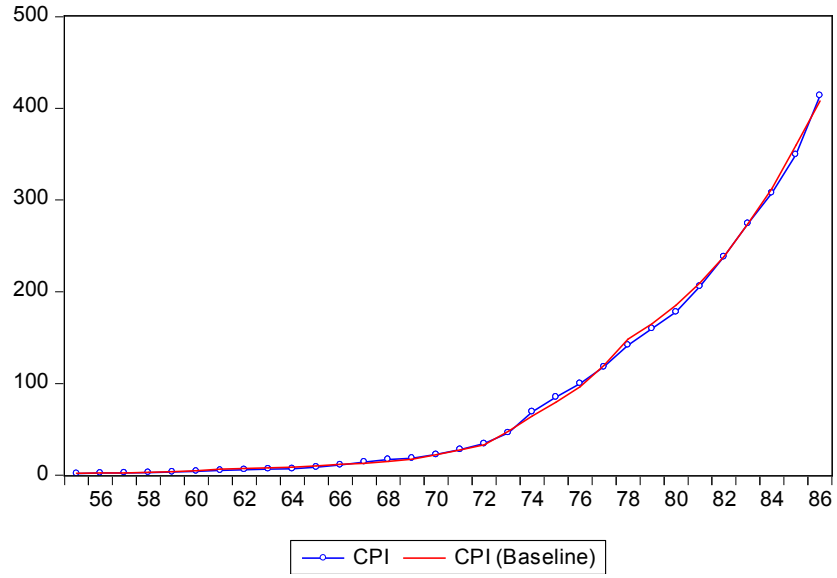
پیش از این در قالب نمودار ۲ روابط کلی میان متغیرهای الگو ارائه شده است. چارچوب معادلاتیکه الگوی مورد استفاده برای بررسی تقاضای انرژی بخش صنایع و معادن را شبیه‌سازی می‌نماید به شرح زیر است.

نوع رابطه در الگو	فرم تبعی رابطه در الگو
رابطه رفتاری (معادله ۱۶)	EQ۱: ECI = F(D۵۷, D۶۸, PENI/CPI, VAI)
رابطه رفتاری (معادله ۱۸)	EQ۲: CPI = F(D۵۷۶۰, D۶۱۶۴, D۶۷۷۴, E, M۲, PENI)
رابطه رفتاری (معادله ۱۷)	EQ۳: VAI = F(D۶۷۶۸, ECI, KIN, LIN)
رابطه رفتاری (بر اساس جدول ۲)	EQ۴: SPCI = F(PCI, PEI, PGI, PPI, SPCI)
رابطه رفتاری (بر اساس جدول ۲)	EQ۵: SGCI = F(PCI, PEI, PGI, PPI, SGCI)
رابطه رفتاری (بر اساس جدول ۲)	EQ۶: SECI = F(PCI, PEI, PGI, PPI, SECI)
رابطه اتحادی (بر اساس معادله ۱۳)	EQ۷: SCCI = F(SECI, SGCI, SPCI)
رابطه اتحادی (بر اساس معادله ۱۴)	EQ۸: PENI = F(PCI, PEI, PGI, PPI, SCCI, SECI, SGCI, SPCI)

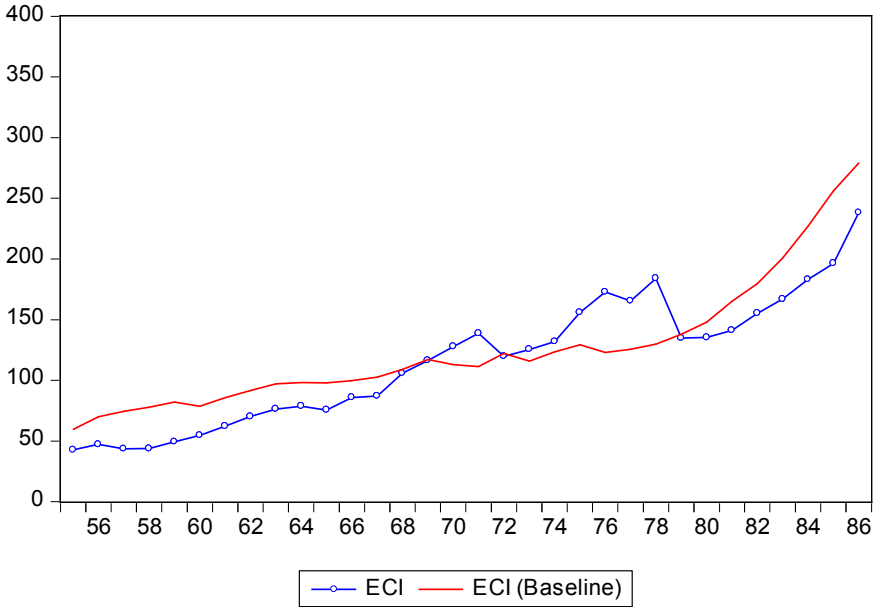
هر یک از معادلات الگو همان‌گونه که در بخش‌های پیشین اشاره شد، از نظر اعتبار جداگانه ارزیابی شده است، اما استفاده از یک الگو نیازمند یک مرحلهٔ آزمون دیگر نیز می‌باشد. الگو به طور کل باید از نظر کنش و تعامل همزمان معادلات بررسیشود. شایان ذکر است که شبیه سازی روابط الگو می‌تواند به دو صورت ایستا و پویا انجام گیرد که در شبیه سازی ایستا هر یک از معادلات الگو به طور مستقل و با استفاده از داده‌های مشاهده شده اجرا می‌شود. اما در شبیه سازی پویا متغیرهای درونزای هر معادله نتیجهٔ تخمین معادلات دیگر است و روابط همزمان میان متغیرهای الگو در نظر گرفته می‌شود. در واقع شبیه سازی پویا آزمون بسیار سخت تری برای بررسی کیفیت الگوست.

در نمودارهای زیر نتیجهٔ شبیه‌سازی الگو از متغیرهای اصلی و هدف الگو در حالت پویا با مشاهدات واقعی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به طور نسبی الگوی طراحی شده از توانایی شبیه‌سازی روند متغیرهای هدف برخوردار است. شایان ذکر است که در شبیه‌سازی الگو از معادلات بلندمدت استفاده شده است انتظار نیز همین است که الگو مسیر بلندمدت حرکت متغیرهای هدف را تعقیب نماید.

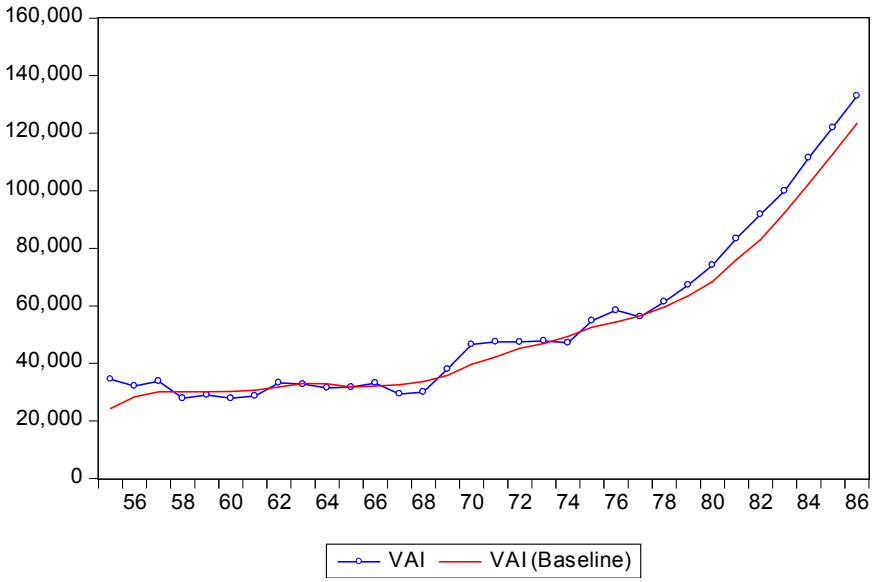
نمودار۳. روند شبیه سازی شده و مشاهده شده متغیر شاخص قیمت (CPI)



نمودار٤. روند شبیه سازی و مشاهده شدهٔ متغیر مقدار مصرف انرژی بخش صنایع و معادن (ECI)



نمودار۵. روند شبیه سازی و مشاهده شدهٔ متغیرارزش افزودهٔ بخش صنایع و معادن(VAI)



جدا از روند نموداری شاخص‌های کمی نیز برای آزمون میزان نزدیک بودن مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده وجود دارد که برخی از آنها عبارت‌اند از آزمون R^2، آزمون میانگین خطای مطلق (MAE)[۱]، آزمون میانگین درصدی خطای مطلق (MAPE)[۲]، آزمون جذر میانگین مجذور خطای درصدی(RMSPE)[۳]، آزمون جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)[۴] و شاخص نابرابری تیل(U)[۵] که همگی معیاری برای ارزیابی متوسط انحرافات بین سری واقعی و شبیه‌سازی شده فراهم می‌نمایند. در میان شاخص‌های فوق پرکاربردترین و به طور نسبی کامل‌ترین شاخص ارزیابی میزان نزدیک بودن ارقام شبیه سازی به مشاهده شده شاخص تیل است که فرمول محاسبه آن به صورت زیر است:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(S_t - A_t)^2}{\sum_{t=1}^{n} A_t^2}} \qquad (۱۹)$$

که در آن S نماد مقادیر شبیه سازی شدهٔ متغیر و A نماد مقدار مشاهده شدهٔ متغیر است. شاخص Uتیل بین صفر تا مثبت بینهایت می‌تواند تغییر یابد و البته وقتی این شاخص

۱. Mean Absolute Error
۲. Mean Absolute Percent Error
۳. Root Mean Square Percentage Error
۴. Mean Square Error
۵. Inequality Coefficieant Or U(Theil) Statistics

بزرگ‌تر از ۱ شود به این معنی است که الگو حتی در مقابل مدلی که تمام متغیرها را صفر پیش‌بینی کند نیز قدرت پیش‌بینی کمتری دارد. بنابراین هر چقدر شاخص U تیل به عدد صفر نزدیک‌تر شود نشانهٔ قدرت پیش‌بینی بیشتر الگو است.

نتیجهٔ محاسبهٔ شاخص U تیل برای سه شاخص قیمت، مقدار تقاضای انرژی بخش صنایع و معادن و مقدار ارزش افزوده بخش صنایع و معادن به ترتیب ۰.۰۲، ۰.۲ و ۰.۰۸ است که همان‌طور که مشاهده می‌شود به عدد صفر نزدیک‌تر است. این شاخص در کنار حرکت مقادیر شبیه‌سازی شده در روند حرکت متغیرهای مشاهده شده مبنایی برای ارزیابی اعتبار الگوی طراحی شده است.

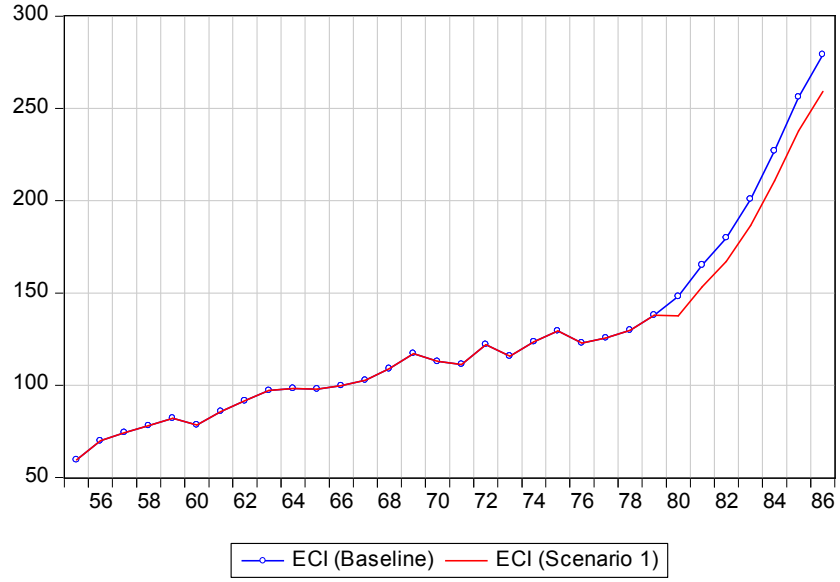
۷. ارزیابی سیاستگذاری با کمک الگو

پس از ارزیابی الگو از نظر اعتبار، امکان آزمون سیاستگذاری با آن فراهم می‌گردد. شبیه‌سازی الگو تحت سناریوهای مختلف، بخش مهمی از فرآیند الگوسازی است که با کمک آن تعامل متغیرهای مختلف و بازخوردهای متعدد درون سیستم بروز می‌یابد. دینامیک درونی‌سیستم به وسیله شبیه‌سازی تحت سناریوهای مختلف، درک می‌گردد. در ادامه اثر سیاست‌های مختلف در حوزهٔ انرژی بررسی می‌شود. برای بررسی اثر این سیاست‌ها به این گونه عمل می‌شود که تغییر در ابزار سیاستگذاری داده می‌شود و نتایج شبیه سازی تحت سناریو با نتایج شبیه سازی پایه مقایسه می‌گردد. اختلافی که بین دو نتیجهٔ شبیه سازی پدید آمده است در واقع اثر خالص سناریوی اعمال شده است.

۱.۷. بررسی اثر سیاست افزایش قیمت حامل‌های انرژی

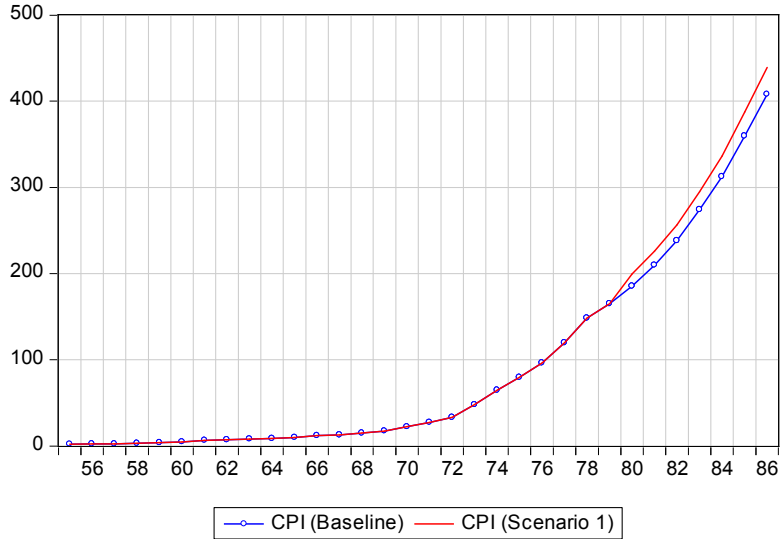
در این قسمت به عنوان یک سیاست فرض می‌شود که قیمت نهاده‌های انرژی از ابتدای دههٔ ۸۰ تا حدود ۴۰ درصد افزایش یابد. با توجه به اینکه دامنهٔ شبیه‌سازی مدل بر اساس دسترسی به اطلاعات تا سال ۱۳۸۶ است، اثر اعمال این سیاست در متغیرهای هدف مدل بررسی می‌شود.

نمودار٦ . اثر افزایش ۴۰ درصدی قیمت حامل‌های انرژی بر تقاضای انرژی دربخش صنایع و معادن



همان‌طور که مشاهده می‌شود این سیاست باعث کاهش پایدار مصرف انرژی در بخش صنایع و معادن شده است و از سال ۱۳۸۰ تا انتهای دورهٔ شبیه‌سازی مقدار مصرف انرژی کاهش یافته است. این در حالی است که اجرای این سیاست اثرات تورمی نیز داشته است و مسیر شاخص CPI را با افزایش مواجه نموده است. به عبارت دیگر به رغم ایجاد تورم افزایش قیمت حامل‌های انرژی می‌تواند با افزایش نسبی قیمت انرژی، مقدار مصرف انرژی را در بخش صنایع و معادن کاهش دهد.

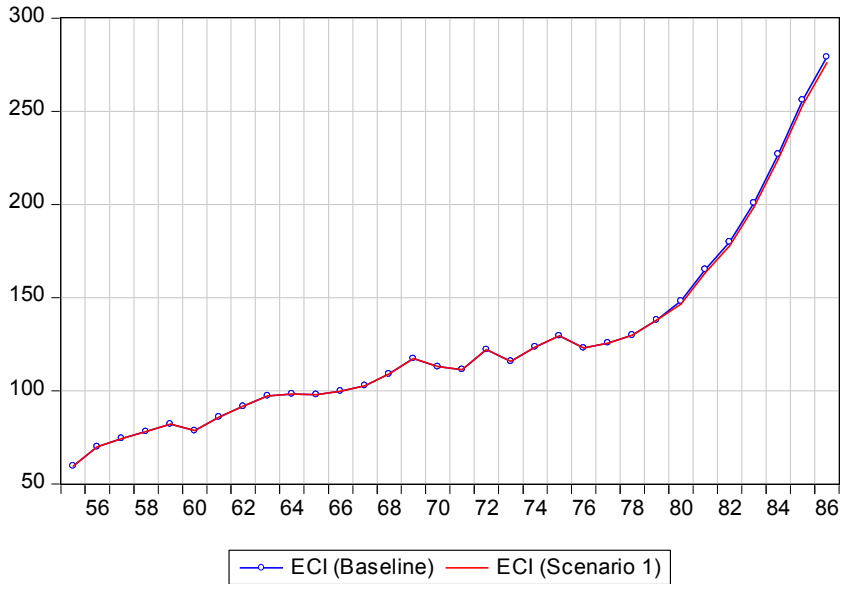
نمودار۷. اثر افزایش ۴۰ درصدی قیمت حامل‌های انرژی بر شاخص قیمت



۲.۷. بررسی اثر همزمان افزایش قیمت حامل‌های انرژی، نرخ ارز و رشد نقدینگی

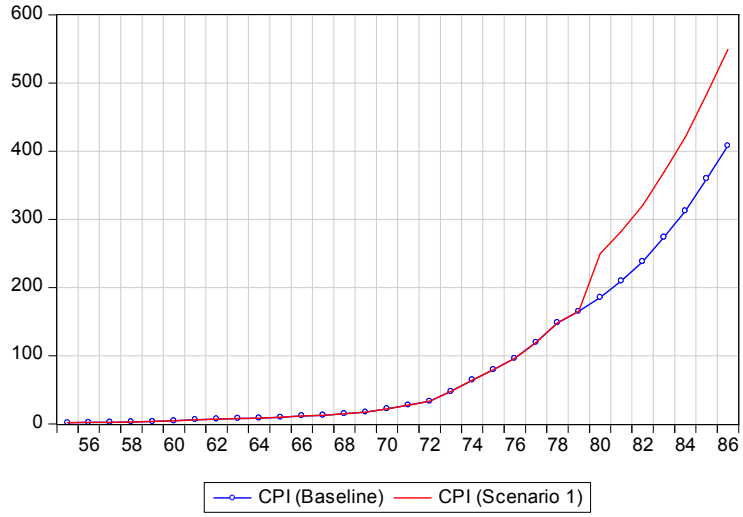
اکنون شرایطی با کمک الگو شبیه سازی می‌شود که همزمان با اجرای سیاست افزایش قیمت حامل‌های انرژی کنترل نقدینگی و نرخ ارز نیز از دست بانک دولت و مرکزی خارج شود. سناریوی فرضی به این صورت در نظر گرفته می‌شود که همزمان با اجرای طرح افزایش قیمت حامل‌های انرژی نرخ ارز به میزان ۵۰ درصد و نقدینگی به میزان ۳۰ درصد افزایش یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتیجهٔ این رویداد همزمان با اجرای جهش قیمت انرژی سبب شده که عملاً صرفه جویی انرژی صورت نگیرد. از آنجا که الگوی طراحی شده بر اساس روابط بلندمدت پایه گذاری شده این نتیجه اثر بلندمدت افزایش همزمان قیمت حامل‌های انرژی، نرخ ارز و رشد نقدینگی است.

نمودار۸. اثر افزایش ۴۰ درصدی قیمت حامل‌های انرژی همزمان به افزایش ۵۰ درصدی نرخ ارز و ۳۰ درصدی نقدینگی بر مصرف انرژی بخش صنایع و معادن



دلیل این وضعیت نیز اثر تورمی افزوده ناشی از جهش این دو متغیر (نرخ ارز و نقدینگی) بر قیمت نسبی انرژی است. در واقع این وضعیت سبب شده که عملاً سیگنال افزایش قیمت نسبی انرژی در بلندمدت محو شود و تحولی در الگوی تولید و مصرف در بخش صنایع و معادن روی ندهد.

نمودار۹ . اثر افزایش ۴۰ درصدی قیمت حامل‌های انرژی همزمان به افزایش ۵۰ درصدی نرخ ارز و ۳۰ درصدی نقدینگی بر شاخص قیمت



۸. نتیجه

اقتصاد ایران از نظر عرضه و تقاضای انرژی در شرایط ویژه ای قرار دارد و مدیریت فعال عرضه و تقاضای انرژی یک ضرورت برای طی نمودن این شرایط است. یکی از محورهای مدیریت اقتصاد انرژی، مدیریت تقاضای انرژی است که یکی از اهداف اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها نیز می‌باشد. طرح هدفمندی یارانه‌ها از زاویهٔ تأثیری که بر بازار حامل‌های انرژی دارد، با حذف تدریجی یارانهٔ قیمت حامل‌های انرژی به بخش‌های مصرف‌کننده اجرا شده است. یکی از انتظارات سیاستگذار از طراحی و اجرای این طرح کاهش مصرف انرژی در اقتصاد کشور است. بر اساس شبیه‌سازی الگوی ارائه شده در این مقاله مشاهده می‌شود افزایش قیمت انرژی می‌تواند به طور نسبی باعث کاهش مصرف انرژی در بخش صنعت و معدن شود. البته افزایش قیمت حامل‌های انرژی باعث شکل‌گیری تورم نیز می‌شود، اما اثر تورمی اجرای طرح به حدی نیست که خنثی‌کنندهٔ اثر کاهش تقاضا برای نهاده‌های انرژی در تولید باشد؛ اما اگر در زمان اجرای سیاست افزایش نرخ حامل‌های انرژی چرخه‌های تورمی ثانویه‌ای از جهت افزایش نرخ ارز و رشد نقدینگی پدید بیاید می‌تواند دستاوردهای کاهشی در مصرف انرژی را در بلندمدت خنثی نماید و تنها نتیجهٔ اجرای سیاست افزایش نرخ

حامل‌های انرژی افزایش تورم خواهد بود. این نتیجه بر اهمیت انضباط مالی، پـولی و ارزی در زمان اجرای طرح اصلاح قیمت حامل‌های انرژی تأکید می‌کند.

۹. پیوست

•سهم مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت

Restricted Seemingly Unrelated Regressions
The estimation method converged after 5 iterations

Dependent variable is SPCI
36 observations used for estimation from 1351 to 1386

Regressor	Coefficient	Standard Error	T-Ratio[Prob]
C	5.1262	2.2850	2.2434[.033]
SPCI(-1)	.81802	.037401	21.8715[.000]
PPIC	-26.9921	25.7616	-1.0478[.303]
PGIC	34.4185	28.5224	1.2067[.237]
PEIC	-9.4697	6.5049	-1.4558[.156]
D5057	10.8753	3.5419	3.0705[.005]
D5767	8.4498	1.6116	5.2430[.000]

R-Squared	.97267	R-Bar-Squared	N/A
S.E. of Regression	3.1887	F-stat.	N/A
Mean of Dependent Variable	56.2942	S.D. of Dependent Variable	19.5623
Residual Sum of Squares	366.0404	Equation Log-likelihood	-92.8278
DW-statistic	1.9436	System Log-likelihood	-152.3571
System AIC	-168.3571	System SBC	-181.0253

•سهم مصرف گاز در بخش صنعت

Restricted Seemingly Unrelated Regressions
The estimation method converged after 5 iterations

Dependent variable is SGCI
36 observations used for estimation from 1351 to 1386

Regressor	Coefficient	Standard Error	T-Ratio[Prob]
C	11.0283	1.7800	6.1956[.000]
SGCI(-1)	.81802	.037401	21.8715[.000]
PPIC	34.4185	28.5224	1.2067[.237]
PGIC	-50.1308	33.9639	-1.4760[.151]
PEIC	14.7773	8.3654	1.7665[.088]
D5057	-12.0386	4.0403	-2.9796[.006]
D5767	-8.0192	1.8297	-4.3828[.000]

R-Squared	.96177	R-Bar-Squared	N/A
S.E. of Regression	3.8090	F-stat.	N/A
Mean of Dependent Variable	31.0101	S.D. of Dependent Variable	19.7567
Residual Sum of Squares	522.3090	Equation Log-likelihood	-99.2271
DW-statistic	1.9523	System Log-likelihood	-152.3571
System AIC	-168.3571	System SBC	-181.0253

•سهم مصرف برق در بخش صنعت

```
Restricted Seemingly Unrelated Regressions
             The estimation method converged after 5 iterations
********************************************************************************
 Dependent variable is SECI
 36 observations used for estimation from 1351 to 1386
********************************************************************************
 Regressor              Coefficient       Standard Error         T-Ratio[Prob]
 C                          1.4153            .47609             2.9727[.006]
 SECI(-1)                   .81802           .037401            21.8715[.000]
 PPIC                      -9.4697            6.5049            -1.4558[.156]
 PGIC                      14.7773            8.3654             1.7665[.088]
 PEIC                      -.43511            3.9365            -.11053[.913]
 D5057                      .45254            1.0199             .44372[.661]
 D5767                     -.43258             .41029            -1.0543[.300]
********************************************************************************
 R-Squared                    .88708   R-Bar-Squared                      N/A
 S.E. of Regression           .94422   F-stat.                            N/A
 Mean of Dependent Variable  10.3215   S.D. of Dependent Variable        2.8498
 Residual Sum of Squares     32.0959   Equation Log-likelihood         -49.0155
 DW-statistic                 1.8651   System Log-likelihood          -152.3571
 System AIC                -168.3571   System SBC                     -181.0253
********************************************************************************
SPCI=5.1262+.81802*SPCI(-1) -26.9921* PPIC+34.4185* PGIC-9.4697* PEIC
SGCI=11.0283+.81802* SGCI(-1)+ 34.4185* PPIC-50.1308* PGIC+14.7773* PEIC
SECI =1.4153+.81802* SECI(-1) -9.4697* PPIC+14.7773* PGIC-.43511* PEIC
```

•مدل ARDL تقاضای انرژی در بخش صنایع و معادن

Dependent Variable: LOG(ECI)
Method: Least Squares
Date: ۰۹/۲۴/۱۲ Time: ۱۵:۳۶

Sample (adjusted): ۱۳۵۱ ۱۳۸۶

Included observations: ۳۶ after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	−۱.۱۴۶۱۷۳	۰.۴۱۹۱۴۲	−۲.۷۳۴۵۷۲	۰.۰۱۰۵
LOG(ECI(−۱))	۰.۷۰۳۹۹۲	۰.۰۶۰۴۸۸	۱۱.۶۳۸۵۴	۰.۰۰۰۰
LOG(VAI)	۰.۲۶۲۷۴۰	۰.۰۶۶۴۷۶	۳.۹۵۲۳۹۶	۰.۰۰۰۵
LOG(PENI/CPI)	۰.۲۱۱۲۸۹	۰.۰۸۹۸۲۹	۲.۳۵۲۱۲۶	۰.۰۲۵۷
LOG(PENI(−۱)/CPI(−۱))	−۰.۲۸۸۰۳۶	۰.۰۹۲۷۰۳	−۳.۱۰۷۱۰۱	۰.۰۰۴۲
D۶۸	۰.۱۸۰۳۵۹	۰.۰۸۱۶۹۴	۲.۲۰۷۷۴۶	۰.۰۳۵۳
D۵۷	−۰.۲۲۷۰۸۱	۰.۰۷۷۵۸۷	−۲.۹۲۶۷۹۴	۰.۰۰۶۶

R-squared	۰.۹۸۸۰۵۱	Mean dependent var	۴.۵۰۱۵۵۲
Adjusted R-squared	۰.۹۸۵۵۷۹	S.D. dependent var	۰.۶۲۳۷۴۸
S.E. of regression	۰.۰۷۴۹۰۵	Akaike info criterion	−۲.۱۷۲۵۳۹

Sum squared resid	۰.۱۶۲۷۱۰	Schwarz criterion	-۱.۸۶۴۶۳۳
Log likelihood	۴۶.۱۰۵۷۱	Hannan-Quinn criter.	-۲.۰۶۵۰۷۲
F-statistic	۳۹۹.۶۶۷۳	Durbin-Watson stat	۱.۹۱۳۷۱۹
Prob(F-statistic)	۰.۰۰۰۰۰۰		

•مدل ARDL ارزش افزوده بخش صنایع و معادن

Dependent Variable: LOG(VAI)
Method: Least Squares
Date: ۰۹/۲۴/۱۲ Time: ۱۷:۴۱
Sample: ۱۳۵۴ ۱۳۸۶
Included observations: ۳۳

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-۱۰.۷۶۸۴۷	۰.۸۸۶۲۰۷	-۱۲.۱۵۱۱۹	۰.۰۰۰۰
LOG(KIN)	۲.۳۱۸۵۱۳	۰.۳۲۷۳۳۶	۷.۰۸۲۹۷۰	۰.۰۰۰۰
LOG(KIN(-۱))	-۱.۴۰۳۱۷۱	۰.۲۳۰۷۶۱	-۶.۰۸۰۶۲۹	۰.۰۰۰۰
LOG(LIN)	۰.۶۳۹۶۴۶	۰.۱۳۷۶۹۶	۴.۶۴۵۳۵۲	۰.۰۰۰۱
LOG(ECI)	۰.۰۹۱۰۵۷	۰.۰۳۸۸۹۳	۲.۳۴۱۲۱۷	۰.۰۲۶۹
D۶۷۶۸	-۰.۱۰۱۰۶۴	۰.۰۳۵۲۹۰	-۲.۸۶۳۷۸۵	۰.۰۰۸۰

R-squared	۰.۹۹۲۶۳۳	Mean dependent var	۱۰.۷۵۱۸۳
Adjusted R-squared	۰.۹۹۱۲۶۹	S.D. dependent var	۰.۴۸۷۲۱۲
S.E. of regression	۰.۰۴۵۵۲۴	Akaike info criterion	-۳.۱۷۸۱۷۱
Sum squared resid	۰.۰۵۵۹۵۷	Schwarz criterion	-۲.۹۰۶۰۷۹
Log likelihood	۵۸.۴۳۹۸۲	Hannan-Quinn criter.	-۳.۰۸۶۶۲۰
F-statistic	۷۲۷.۶۳۹۰	Durbin-Watson stat	۱.۸۷۹۱۶۹
Prob(F-statistic)	۰.۰۰۰۰۰۰		

•مدل ARDL شاخص قیمت مصرف‌کننده

Dependent Variable: LOG(CPI)
Method: Least Squares
Date: ۰۹/۲۹/۱۲ Time: ۱۵:۵۷
Sample (adjusted): ۱۳۵۰ ۱۳۸۶
Included observations: ۳۷ after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	−۲.۸۲۰۲۱۷	۰.۲۶۱۶۲۵	−۱۰.۷۷۹۶۰	۰.۰۰۰۰
LOG(CPI(−۱))	۰.۷۰۶۱۹۹	۰.۰۹۲۳۳۹	۷.۶۴۷۸۵۳	۰.۰۰۰۰
LOG(CPI(−۲))	−۰.۳۳۲۴۸۰	۰.۰۶۶۹۹۰	−۴.۹۶۳۱۷۱	۰.۰۰۰۰
LOG(E)	۰.۱۸۱۱۸۸	۰.۰۲۰۲۷۹	۸.۹۳۴۶۲۵	۰.۰۰۰۰
LOG(PENI)	۰.۱۳۷۶۹۰	۰.۰۱۶۵۷۰	۸.۳۰۹۳۲۵	۰.۰۰۰۰
LOG(M۲)	۰.۲۵۳۰۴۴	۰.۰۲۳۷۴۰	۱۰.۶۵۸۸۲	۰.۰۰۰۰
D۵۷۶۰	−۰.۰۹۱۸۴۳	۰.۰۱۸۵۰۷	−۴.۹۶۲۶۳۷	۰.۰۰۰۰
D۶۱۶۴	−۰.۱۰۰۷۷۳	۰.۰۱۸۷۶۶	−۵.۳۶۹۹۳۳	۰.۰۰۰۰
D۶۷۷۴	۰.۰۵۸۷۱۸	۰.۰۱۴۶۸۱	۳.۹۹۹۵۰۷	۰.۰۰۰۴

R-squared	۰.۹۹۹۸۶۵	Mean dependent var	۲.۹۴۸۸۰۵
Adjusted R-squared	۰.۹۹۹۸۲۶	S.D. dependent var	۱.۹۲۶۹۰۸
S.E. of regression	۰.۰۲۵۳۹۵	Akaike info criterion	−۴.۳۰۰۷۶۰
Sum squared resid	۰.۰۱۸۰۵۷	Schwarz criterion	−۳.۹۰۸۹۱۵
Log likelihood	۸۸.۵۶۴۰۶	Hannan-Quinn criter.	−۴.۱۶۲۶۱۶
F-statistic	۲۵۹۰۴.۸۵	Durbin-Watson stat	۱.۹۲۷۶۶۴
Prob(F-statistic)	۰.۰۰۰۰۰۰		

•معادلاتالگو

log(eci) = (−۳.۸۷۲۰۹۶۶۵۲ + ۰.۸۸۷۶۱۰۹۱۹ * log(vai) - ۰.۲۵۹۲۷۳۰۴۸ * log(peni / cpi) + ۰.۶۰۹۳۰۴۶۳۱ * d۶۸ - ۰.۷۶۷۱۴۲۶۴۸ * d۵۷)

log(cpi) = (−۴.۵۰۳۱۱۷۶۱ + ۰.۲۸۹۳۰۷۸۳۵ * log(e) + ۰.۲۱۹۸۵۳۳۸۸ * log(peni) + ۰.۴۰۴۰۴۲۲۷۵ * log(m۲) - ۰.۱۴۶۶۴۸۲۳ * d۵۷۶۰ - ۰.۱۶۰۹۰۷۰۰۵ * d۶۱۶۴ + ۰.۰۹۳۷۵۶۶۳۶ * d۶۷۷۴)

log(vai) = (- ۱۰.۷۶۸۴۷۱۲۹۵۸ + (۲.۳۱۸۵۱۲۶۹۷۷۸ - ۱.۴۰۳۱۷۰۵۷۰۵۶) * log(kin) + ۰.۶۳۹۶۴۶۰۳۷۴۲ * log(lin) + ۰.۰۹۱۰۵۶۵۵۸۱۴۵ * log(eci) - ۰.۱۰۱۰۶۴۴۰۱۸۴۳ * d۶۷۶۸)

spci = ۵.۱۲۶۲ + ۰.۸۱۸۰۲ * spci(−۱) - ۲۶.۹۹۲۱ * (ppi / pci) + ۳۴.۴۱۸۵ * (pgi / pci) - ۹.۴۶۹۷ * (pei / pci)

sgci = ۱۱.۰۲۸۳ + .۸۱۸۰۲ * sgci(−۱) + ۳۴.۴۱۸۵ * (ppi / pci) - ۵۰.۱۳۰۸ * (pgi / pci) + ۱۴.۷۷۷۳ * (pei / pci)

seci = ۱.۴۱۵۳ + ۰.۸۱۸۰۲ * seci(−۱) - ۹.۴۶۹۷ * (ppi / pci) + ۱۴.۷۷۷۳ * (pgi / pci) - ۰.۴۳۵۱۱ * (pei / pci)

@IDENTITY SCCI = ۱۰۰ - SPCI - SGCI - SECI

@IDENTITY PENI = SCCI * (PCI / ۵.۰۸۲۰۰۰۰۰) + SECI * (PEI / ۱.۵۱) + SGCI * (PGI / ۱) + SPCI * (PPI / ۱.۵۱۷۱۸۰۱۴۱۹۳۱۴۹)

۱۰. منابع

آذربایجانی، کریم و همکاران (۱۳۸۵)، "برآورد تقاضای انرژی الکتریکی در بخش صنعت کشور (۱۳۸۱-۱۳۴۶)"، *مجلهٔ تحقیقات اقتصادی*، شمارهٔ ۷۳، ص ۱۶۶-۱۳۳.

ترازنامهٔ انرژی کشور، وزارت نیرو، سال‌های مختلف.

خیرخواهان، جعفر (۱۳۷۳)،*بررسی تابع تقاضای انرژی در ایران*، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشگاه علامه طباطبایی.

سقائیان، سیدحسین و محمد رضا علیپو جدی (۱۳۷۷)، "تخمین دو مرحله‌ای تابع تقاضای مصرف انرژی در صنعت ایران بر اساس مدل لاجیت"، *تحقیقات اقتصادی*، شمارهٔ ۵۲.

قشقایی، مژگان (۱۳۸۱)،*تخمین توابع تقاضای حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی*، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ اقتصاد، دانشگاه شهید بهشتی.

متقی و همکاران (۱۳۷۴)، " برآورد کشش‌های قیمتی، درآمدی و جایگزینی تقاضای انرژی در ایران"، طرح اجرا شده در وزارت نیرو.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۸۲)، "آثاروپیامدهایافزایش قیمتحامل‌هایانرژی"، معاونتپژوهشی، شمارهٔ ۶۷۲۰.

مشرفی، رسام (۱۳۸۹)، *تدوین الگوی پویای سیستمی تولید و مصرف انرژی در اقتصاد ایران*، رسالهٔ دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.

نوفرستی، محمد (۱۳۸۷)، *ریشهٔ واحد و همجمعی در اقتصاد سنجی*، تهران، مؤسسهٔ خدمات فرهنگی رسا.

هژبرکیانی، کامبیز و علیرضاصیامی (۱۳۸۷)،"بررسی کشش‌های مواد مغذی در یک سیستم غذایی کامل با استفاده از اطلاعاتمیدانی"، *پژوهشنامهٔ اقتصادی*، شمارهٔ ۲۹، صفحهٔ ۳۰۷-۱۸۱.

Hazilla, M., and R.J. Kopp (۱۹۸۲), "Substitution between Energy and Other Factors of Production: US. Industrial Experiences" ۱۹۵۸-۱۹۷٤, Final Report, EPRI EA Research Project ۱٤۷٥-۱.

Moroney, J.R., And J.M. Trapani (۱۹۸۱), "Alternative Models of Substitution and Technical Change", In: E.R. Berndt And B. Field (Eds.), *Measuring and Modeling Natural Resource Substitution,* MIT Press,

Cambridge, MA.

Slade, M.E. (۱۹۸٤), *An Econometric Model of the Domestic Copper and Aluminum Industries*, Garland Publishing Co., New York.

Thompson, Henry (۲۰۰٦), "The Applied Theory of Energy Substitution in Production", *Energy Economics*, ۲۸ ٤۱۰–٤۲٥.

Zellner, Arnold (۱۹٦۲),"An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regression Equations and Tests for Aggregation Bias", *Journal of the American Statistical Association*, ٥۷: ۳٤۸–۳٦۸.