

تحلیل جانشینی بین سوخت‌ها در بخش صنعت کشور با استفاده از مدل لاجیت خطی

داوود منظور

دانشیار دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه امام صادق manzoor@isu.ac.ir

لیلی نیاکان*

دانشجوی دکتری دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه تهران leili.niakan@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۱۱

چکیده

تحلیل جانشینی بین حامل‌های انرژی یکی از موضوعات مهم در اقتصاد و سیاست‌گذاری انرژی است. جانشینی در بین حامل‌های انرژی می‌تواند تغییرات اساسی در تراز انرژی و در ترکیب عرضه‌ی انرژی ایجاد کند. جانشینی بین سوخت‌ها بیش‌تر در اثر تغییر در قیمت‌های نسبی ایجاد می‌شود. اطلاعات مربوط به امکان جانشینی بین سوخت‌ها در ارزیابی اثرات سیاست‌های دولت به‌ویژه سیاست قیمت‌گذاری انرژی بسیار مؤثر است. در این میان، تقاضای انرژی بخش صنعت از ظرفیت بالایی برای جانشینی بین سوخت‌ها برخوردار می‌باشد. در این مطالعه به تحلیل جانشینی بین حامل‌های مختلف انرژی در بخش صنعت ایران در طول دوره‌ی ۸۸-۱۳۶۷ با استفاده از مدل لاجیت خطی پرداخته می‌شود. تابع لجستیک با وارد کردن مقادیر باوقفه، به‌خوبی مکانیزم تعدیل پویا را نشان می‌دهد. برآورد مدل لاجیت خطی پویا نشان می‌دهد که تقاضای گاز در بخش صنعت با کاهش خودقیمتی ۱/۲۵- نسبت به تغییرات قیمت آن پرکاهش می‌باشد. در مقابل، تقاضای برق از کاهش پذیرگی پایینی (۰/۲۵-) برخوردار است و تقاضای فرآورده‌های نفتی تقریباً بی‌کاهش (۰/۰۸-) می‌باشد. فرآورده‌های نفتی و برق مکمل یکدیگر و فرآورده‌های نفتی و گاز جانشین یکدیگر هستند. کاهش جانشینی جزئی آلن بین فرآورده‌های نفتی و برق و فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی به‌ترتیب ۰/۷۷۵- و ۱/۰۹۶ می‌باشد. افزون بر این، گاز و برق با کاهش جانشینی آلن ۰/۳۹۵، جانشین‌های متوسطی برای یکدیگر محسوب می‌شوند.

طبقه‌بندی JEL: C13, C01L16, Q42, O13

کلید واژه: کاهش جانشینی، تابع لجستیک، کاهش جانشینی جزئی آلن، مدل لاجیت

خطی، مکانیزم تعدیل پویا.

۱- مقدمه

تحلیل جانشینی بین منابع انرژی یکی از موضوعات مهم در اقتصاد و سیاست انرژی است. میزان جانشینی در تقاضای انرژی می‌تواند تغییرات اساسی در تراز انرژی و عرضه‌ی آن ایجاد کند. مثال آشکار این بحث، جانشینی نفت برای گاز طبیعی است که در طول چند دهه‌ی گذشته در بسیاری از کشورها در بخش تولید برق، صنعت و خانوار به‌وقوع پیوسته است. جانشینی بین سوخت‌ها بیش‌تر از طریق تغییر در قیمت‌های نسبی سوخت ایجاد می‌شود که این امر منجر به تغییر در میزان استفاده از هر سوخت می‌شود. هم‌چنین، عوامل دیگری نظیر سیاست انرژی، محدودیت‌های سیاسی و صنعتی، پیدایش فن‌آوری‌ها و فرآیندهای جدید تولید، تغییر در ترکیب فعالیت‌های اقتصادی و ویژگی‌های خاص هر کشور نیز می‌توانند چنین جانشینی را به‌وجود آورند. اطلاعات مربوط به امکان جانشینی بین سوخت‌ها در ارزیابی اثرات سیاست‌های قیمت‌گذاری سوخت توسط دولت مؤثر است. تصمیم‌گیران همواره علاقه‌مند هستند که از اثرات بالقوه‌ی گزینه‌های سیاستی خود مطلع شوند. بسیاری از سیاست‌های انرژی از طریق تغییر قیمت‌های سوخت به‌طور مستقیم مصرف سوخت را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این میان، تقاضای انرژی بخش صنعت از ظرفیت بالایی برای جانشینی بین سوخت‌ها برخوردار است.

طی دهه‌ی ۱۹۷۰، افزایش شدید قیمت نفت و اعمال سیاست‌های جدید انرژی منجر به جایگزینی بین سوخت‌ها از نفت به سایر منابع انرژی در کشورهای صنعتی شده است. آخرین برآوردها از جانشینی بین منابع مختلف انرژی نشانگر ارتباط فزاینده بین این جانشینی و مقررات زیست‌محیطی می‌باشد؛ زیرا مصرف انواع مختلف انرژی با سطوح مختلف انتشار دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد و سایر آلاینده‌ها همراه است (پاتریشیا رنو و میسانت^۱، ۲۰۰۷). اگر منابع مختلف انرژی، جانشین‌های نزدیکی برای یکدیگر باشند، با تغییر الگوی مصرف منابع انرژی می‌توان انتشار دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد از صنعت را کاهش داد. به‌عنوان مثال می‌توان به مالیات‌های جدید اعمال شده بر انتشار دی‌اکسید کربن در اروپا و مالیات بی-تی-یو در آمریکا اشاره کرد که هدف آن‌ها تشویق مصرف‌کنندگان نهایی برای انتقال از مصرف ذغال‌سنگ و فرآورده‌های نفتی به سوخت‌های پاک‌تر نظیر گاز طبیعی و تشویق تولیدکنندگان برق به احداث نیروگاه‌های برق‌آبی و هسته‌ای می‌باشد.

در این مطالعه به تحلیل جانشینی بین حامل‌های مختلف انرژی در بخش صنعت ایران در طول دوره‌ی ۸۸-۱۳۶۷ با استفاده از مدل لاجیت خطی پرداخته می‌شود. مقاله‌ی حاضر به چند بخش تقسیم می‌شود: پس از مقدمه، بخش دوم به مروری بر ادبیات موضوع می‌پردازد. در بخش سوم، داده‌های مورد استفاده برای تخمین مدل توصیف می‌شود. در بخش چهارم، نتایج تجربی تحقیق ارائه و در قسمت پایانی به نتیجه‌گیری و بیان توصیه‌های سیاستی پرداخته می‌شود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

برای بررسی امکان جانشینی بین سوخت‌ها به دنبال تغییر قیمت‌های نسبی، باید کشش‌های خودقیمتی و کشش‌های قیمتی متقاطع بین سوخت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. هر چند در کشور ایران سیاست دولت حمایت از توسعه‌ی گاز طبیعی و گازرسانی بوده است، ولی سؤال این تحقیق آن است که در طرف تقاضای انرژی صنعت، جایگزینی بین انواع سوخت‌ها با توجه به مشاهدات تاریخی و نتایج مدل‌سازی انجام شده چگونه بوده است؟

در این مقاله برای برآورد این کشش‌ها ابتدا توابع سهم هزینه‌ی انواع سوخت که به صورت مدل لاجیت خطی توصیف می‌شوند، برآورد شده و سپس به کمک آن‌ها کشش‌ها محاسبه می‌شوند. اگر چه مدل‌های لاجیت خطی بیش‌تر در مسایل انتخاب گسسته نظیر انتخاب شیوه‌های حمل و نقل به کار می‌روند، اما می‌توان از آن‌ها در برخی حوزه‌های تجربی نیز استفاده کرد. یک مدل لاجیت چند متغیره^۱ بیش‌تر در مسایل انتخاب گسسته برای مدل‌سازی احتمال انتخاب گزینه‌های مختلف به‌عنوان متغیر وابسته به کار می‌رود و بدین ترتیب اطمینان حاصل می‌شود که احتمالات غیر منفی بوده و مجموع آن‌ها برابر با واحد است. سهم‌های هزینه‌ای نهاده‌ها نیز هم‌چون احتمالات می‌بایست غیر منفی و مجموع آن‌ها یک باشد، از این‌رو استفاده از یک فرم لاجیت برای توضیح سهم‌های هزینه منطقی به نظر می‌رسد (ژورنر و جنسن، ۲۰۰۲؛ اورگا و والترس، ۲۰۰۳؛ برانلاند و لانگرن، ۲۰۰۴).^۲

1- Multinomial Logit Model

2- Bjonner & Jensen, Urga & Walters, Brannlund & Lundgren

برای رسیدن به یک الگوی خطی برای تقاضای نهاده‌ها، سهم‌های هزینه برای هر یک از n نهاده به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$S_i = \frac{\exp(f_i)}{\sum_{j=1}^n \exp(f_j)}, \quad i=1, \dots, n \quad (1)$$

که در آن، تابع f به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f_i = \eta_i + \sum_{j=1}^n c_{ij} \ln P_j + \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, n \quad (2)$$

در این تابع، η_i و c_{ij} پارامترهای ناشناخته و ε_i جزء خطای تصادفی می‌باشد. با توجه به شکل نمایی تابع لجستیک می‌توان تضمین کرد که سهم‌های هزینه‌ی پیش‌بینی شده براساس این مدل همگی مثبت بوده و مجموع آنها برابر با واحد است. شروط لازم نظریه‌ی نئوکلاسیک تقاضا را می‌توان با اعمال محدودیت‌هایی بر پارامترهای رابطه‌ی (۲) برقرار کرد (کانسیدین و مونت، ۱۹۸۴).

شروط همگن از درجه‌ی صفر بودن توابع تقاضای نهاده‌ها نسبت به قیمت‌ها را با محدودیت‌های زیر می‌توان تضمین کرد:

$$\sum_{j=1}^n c_{ij} = d \quad \forall i \quad (3)$$

که در آن، d یک رقم ثابت دلخواه است که می‌تواند صفر باشد. شروط تقارن نیز با اعمال قیود زیر برقرار می‌شوند:

$$c_{ij}^* = c_{ji}^* \quad \forall i \neq j \quad (4)$$

$$c_{ij}^* = c_{ij} / S_j^* \quad \forall i \neq j \quad (5)$$

که در آن، S_j^* سهم‌های هزینه‌ی ویژه‌ای هستند که برقراری ویژگی تقارن را تضمین می‌کنند.

کانسیدین و مونت^۱ (۱۹۸۴)، برای اطمینان از شرط تقارن موضعی، به جای مجموعه سهم‌های هزینه‌ی ویژه از میانگین‌های نمونه استفاده کرده‌اند که در طول زمان ثابت می‌باشند. تقارن فراگیر در صورتی برقرار می‌شود که از سهم‌های پیش‌بینی شده در تخمین استفاده شود (کانسیدین، ۱۹۹۰). بدین ترتیب، برای اعمال شرط تقارن فراگیر می‌بایست از یک روش تخمین دو مرحله‌ای که در ادامه توضیح داده خواهد شد، برای برآورد پارامترها استفاده کرد.

چنانچه شرط همگنی (۳) با توجه به بازتعریف پارامترها در رابطه‌ی (۵) بازنویسی و شرط همگنی جدید همراه با شرط تقارن (۴) در معادلات (۱) و (۲) جایگزین شود، معادلات سهم هزینه به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$\text{Ln} \left(\frac{S_i}{S_n} \right) = (\eta_i - \eta_n) + \sum_{k=1}^{i-1} (c_{ki}^* - c_{kn}^*) S_k^* \text{Ln} \left(\frac{P_k}{P_n} \right) - \quad (6)$$

$$\left(\sum_{k=1}^{i-1} S_k^* c_{ik}^* + \sum_{k=i+1}^n S_k^* c_{ik}^* + S_i^* c_{in}^* \right) \text{Ln} \left(\frac{P_i}{P_n} \right) + \sum_{k=i+1}^{n-1} (c_{ik}^* - c_{kn}^*) S_k^* \text{Ln} \left(\frac{P_k}{P_n} \right) + (\varepsilon_i - \varepsilon_n)$$

$$S_i^* = \frac{\exp(f_i - f_n)^P}{\sum_{j=1}^{n-1} (\exp(f_i - f_n)^P + 1)} \quad (7)$$

که با توجه به رابطه‌ی (۱)، همان لگاریتم نسبت‌های سهم هزینه است که توسط معادله‌ی (۶) پیش‌بینی می‌شود. فرض می‌شود $(\varepsilon_i - \varepsilon_n)$ اختلالات تصادفی با توزیع نرمال باشد. در حالت دو نهاده‌ای، مدل لاجیت خطی به یک تابع تقاضای نهاده از نوع کشش جانشینی ثابت (CES) تقلیل می‌یابد (کریستف و فیتراستون، ۲۰۰۷). کشش‌های قیمتی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شوند:

$$\varepsilon_{ij} = (c_{ij}^* + 1) S_j^* \quad i \neq j \quad (8)$$

$$\varepsilon_{ii} = (c_{ii}^* + 1) S_i^* - 1 = - \left(\sum_{k=1}^{i-1} S_k^* c_{ik}^* + \sum_{k=i+1}^n S_k^* c_{ik}^* \right) + S_i^* - 1 \quad (9)$$

برای وارد کردن اثرات پویا در مدل می‌توان مقادیر تأخیری (و نه سهم‌های تأخیری) را در رابطه‌ی (۲) وارد کرد (کانسیدین و مونت، ۱۹۸۴):

$$f_{it} = \eta_i + \sum_{j=1}^n c_{ij} \text{Ln} P_{jt} + \lambda \text{Ln} Q_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

با این فرآیند تعدیل می‌توان اطمینان حاصل کرد که کشش‌های بلندمدت هیچ‌گاه کم‌تر از کشش‌های کوتاه‌مدت نخواهد بود و برآورد مستقیمی از نرخ تعدیل تقاضا نسبت به تغییرات قیمت به دست می‌آید. فرم پویای مدل لاجیت خطی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{Ln} \left(\frac{S_{it}}{S_{nt}} \right) = (\eta_i - \eta_n) + \sum_{k=1}^{i-1} (c_{ki}^* - c_{kn}^*) S_{kt}^* \text{Ln} \left(\frac{P_{kt}}{P_{nt}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 & - \left(\sum_{k=1}^{i-1} S_{kt}^* c_{ik}^* + \sum_{k=i+1}^n S_{kt}^* c_{ik}^* + S_{it}^* c_{in}^* \right) \text{Ln} \left(\frac{P_{it}}{P_{nt}} \right) + \\
 & \sum_{k=i+1}^{n-1} (c_{ik}^* - c_{kn}^*) S_{kt}^* \text{Ln} \left(\frac{P_{kt}}{P_{nt}} \right) + \lambda \text{Ln} \left(\frac{Q_i}{Q_n} \right)_{t-1} + (\varepsilon_i - \varepsilon_n) \quad (11)
 \end{aligned}$$

که مشابه توصیف مدل در حالت ایستا، رابطه‌ی (۶)، می‌باشد، با این تفاوت که در آن از نسبت تأخیری مقادیر استفاده می‌شود و ضریب λ نرخ تعدیل پویا را اندازه‌گیری می‌کند.

کشش‌های قیمتی بلندمدت نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon_{ij}^{LR} = \varepsilon_{ij} / (1 - \lambda) \quad \forall i, j \quad (12)$$

بدین ترتیب، شروط لازم برای تقارن و همگنی قبل از تخمین در مدل اعمال می‌شود. به هر حال، شرط تقعر که شرط کافی برای حداقل‌سازی هزینه می‌باشد، به‌طور پیشین در مدل اعمال نمی‌شود، بلکه پس از تخمین مدل، در هر نقطه از نمونه و در میانگین نمونه آزمون خواهد شد (رنو و میسانت، ۲۰۰۷). شرط تقعر مستلزم آن است که ماتریس مشتقات دوم تابع هزینه نسبت به قیمت‌ها، شبه معین منفی باشد. کانسیدین (۱۹۹۰)، نشان داده است که این امر به‌نوبه‌ی خود مستلزم آن است که تمامی مقادیر ویژه^۱ ماتریس کوچک‌تر یا مساوی با صفر بوده و یا این‌که ماینورهای اصلی ماتریس متناوباً تغییر علامت دهند، با این ملاحظه که علامت اولین ماینور اصلی منفی خواهد بود.

۳- داده‌های بخش صنعت

در این مطالعه برای تحلیل جاننشینی بین سوخت‌ها در بخش صنعت کشور در فاصله‌ی سال‌های ۸۸-۱۳۶۷ از مدل لاجیت خطی استفاده می‌شود. در تخمین مدل لاجیت تنها به داده‌های مصرف انرژی و قیمت انرژی نیاز است. داده‌های به‌کار رفته در این مطالعه، داده‌های سالانه از کل مصرف سوخت در بخش صنعت می‌باشد. سوخت‌هایی نظیر ذغال کک‌شو یا روغن که در بخش صنعت برای کاربردهای غیرانرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند، جانشین‌های قابل دسترس اندکی دارند. جونز^۲ (۱۹۹۵)،

1- Eigen Value

2- Jones

نشان داده است که در نظر گرفتن این‌گونه سوخت‌ها در کل مصرف انرژی منجر به کم‌تر برآورد شدن کسش‌های قیمتی می‌شود. از این رو، در این مطالعه از آمار این‌گونه سوخت‌ها صرف‌نظر شده است.

در مجموع، چهار سوخت اصلی مورد توجه قرار می‌گیرد: ذغال سنگ کنسانتره، نفت (فرآورده‌های نفتی شامل بنزین، نفت سفید، نفت کوره، نفت گاز و گاز مایع که به‌عنوان انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند)، برق و گاز طبیعی.

داده‌های مقدار سوخت مصرفی سالانه‌ی بخش صنعت از ترازنامه‌ی انرژی کشور جمع‌آوری شده است. تمامی مقادیر سوخت مصرفی با واحد کیلوتن معادل نفت خام (ktoe) اندازه‌گیری شده است. قیمت‌های سوخت، بر مبنای برابری ارزش حرارتی نیز از ترازنامه‌ی انرژی جمع‌آوری و تعدیل و بر حسب پول رایج کشور (ریال) بیان شده‌اند.

جدول (۱) و شکل (۱) سهم مصرفی سوخت‌ها در تقاضای انرژی بخش صنعت طی سال‌های ۸۸-۱۳۶۷ را نشان می‌دهند. ملاحظه می‌شود که در این دوره از سهم مصرف نفت (فرآورده‌های نفتی) کاسته شده و تقاضای گاز افزایش یافته است. هم‌چنین، تقاضای برق با اندک نوسان، روند به نسبت یکنواختی را طی کرده است. تقاضای ذغال سنگ نه تنها در سطح پایینی باقی مانده، بلکه کاهش یافته است. به‌نظر می‌رسد جانشینی بین گاز و فرآورده‌های نفتی با سرعت یکنواختی طی زمان رخ داده باشد.

جدول ۱- سهم مصرفی سوخت‌ها در بخش صنعت کشور

میانگین دوره	۱۳۸۸	۱۳۶۷	
فرآورده‌های نفتی	۰/۲۵۱	۰/۶۲۶	
برق	۰/۱۳۱	۰/۱۱۲	
گاز	۰/۶۱۷	۰/۲۶۲	
ذغال سنگ	۰/۰۰۰۹	۰/۰	

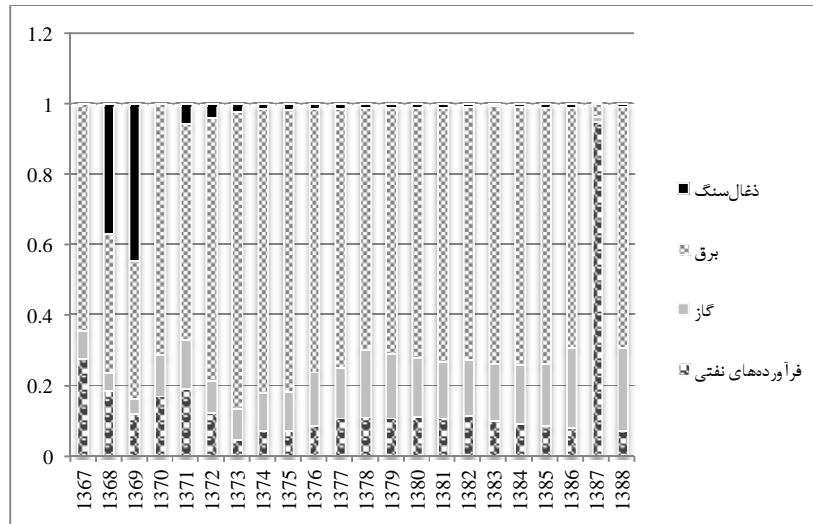
منبع: ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۸۸ - وزارت نیرو



منبع: ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۸۸ - وزارت نیرو

شکل ۱- سهم مصرفی سوخت‌ها در بخش صنعت کشور (۱۳۶۷-۸۸)

شکل (۲)، تغییرات سهم مخارج سوخت در بخش صنعت کشور طی سال‌های ۸۸-۱۳۶۷ را نشان می‌دهد. سهم‌های هزینه‌ای سوخت‌ها (نفت، برق، گاز و ذغال‌سنگ) تحت تأثیر ارزش تعیین شده برای آنها قرار دارد. سهم ذغال‌سنگ در مخارج سوخت بخش صنعت بسیار اندک بوده است و به‌استثنای سال ۱۳۸۷، در بقیه‌ی سال‌ها بخش عمده‌ی مخارج سوخت صنعت را مخارج برق تشکیل می‌دهد. سهم مخارج گاز نیز به‌آرامی افزایش یافته است. در بیان علت افزایش ناگهانی در هزینه‌ی فرآورده‌های نفتی در سال ۱۳۸۷ باید گفت که در این سال، مصرف فرآورده‌ها نسبت به سال قبل از آن ۲/۹ درصد رشد یافته، که بیش‌تر آن ناشی از رشد ۷/۵ درصدی مصرف نفت کوره و رشد ۴/۱ درصدی مصرف بنزین در بخش صنعت می‌باشد. افزون بر این، در سال ۱۳۸۸، به‌دلیل کاهش ۵ درصدی متوسط قیمت فروش برق، بر میزان مصرف برق در تمامی بخش‌ها افزوده شده و از میزان مصرف فرآورده‌ها کاسته شده است که این امر در مجموع افزایش سهم مخارج برق را سبب شده است.



منبع: محاسبات تحقیق بر اساس اطلاعات ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۸۸ - وزارت نیرو

شکل ۲- تغییرات سهم مخارج سوخت‌ها در بخش صنعت کشور (۸۸-۱۳۶۷)

۴- نتایج تجربی

مدل لاجیت پیشنهادی از سه معادله‌ی رگرسیونی تشکیل می‌شود و این احتمال وجود دارد که بین خطاهای این معادلات همبستگی وجود داشته باشد، بنابراین لازم است از روش‌های تخمین معادلات هم‌زمان استفاده شود؛ زیرا تخمین هم‌زمان تنها راه اعمال محدودیت‌های بین معادله‌ای بر روی پارامترها می‌باشد.

معمولاً از یک تخمین‌زننده تکراری زلنر^۲ (۱۹۶۳) برای تخمین پارامترهای رگرسیون‌های به‌ظاهر نامرتب^۳ استفاده می‌شود. برنت و ساوین^۴ (۱۹۷۵)، نشان داده‌اند که وقتی متغیرهای برون‌زا در همه‌ی معادلات یکسان باشند، تخمین پارامترها نسبت به معادله‌ای که از سیستم معادلات کنار گذاشته می‌شود، حساس نخواهد بود، مشروط بر آن که ماتریس واریانس-کوواریانس خطاها با استفاده از تخمین هر یک از معادلات به‌صورت پیاپی و به روش حداقل مربعات معمولی برآورد شود. هم‌چنین با تکرار

1- Joint Estimation
 2- Zellner
 3- Seemingly Unrelated Regression (SUR)
 4- Berndt & Savin

برآورد ماتریس واریانس-کوواریانس خطاها، این تخمین‌زننده به تخمین‌زننده‌ی حداکثر راستنمایی^۱ میل می‌کند.

در صورت استفاده از تخمین‌زننده‌ی تکراری زلنر در مدل لاجیت، تخمین پارامترها به انتخاب نهاده‌ی پایه بستگی نخواهد داشت. در مرحله‌ی اول تخمین، از سهم‌های هزینه مشاهده شده برای متغیرهای درون‌زای S^* در سمت راست معادله‌ی (۶) استفاده می‌شود. از این مرحله، یک برآورد اولیه از پارامترهای معادلات سهم هزینه حاصل می‌شود. در مرحله‌ی دوم، با استفاده از سهم‌های هزینه‌ی برآورد شده و جایگزینی آنها در رابطه‌ی (۶)، این رابطه دوباره با روش زلنر تخمین زده می‌شود. سهم‌های هزینه پیش‌بینی شده در این مرحله، باز هم در سمت راست رابطه‌ی (۶) برای تخمین بعدی استفاده می‌شوند. این فرآیند تا رسیدن به همگرایی ادامه می‌یابد. بدین ترتیب، اطمینان حاصل می‌شود که شرط تقارن در مدل لاجیت خطی برای همه‌ی سهم‌های هزینه‌ای پیش‌بینی شده در نمونه، برقرار خواهد بود؛ هرچند برقراری تقارن برای پیش‌بینی‌های خارج از نمونه تضمین نمی‌شود.

در این مطالعه، با توجه به سهم بسیار اندک ذغال سنگ در دوره‌ی مورد مطالعه، ذغال سنگ در مدل لحاظ نمی‌شود. بنابراین، مدل لاجیت خطی با سه سوخت فرآورده‌های نفتی، گاز و برق تخمین زده شده که در آن گاز طبیعی به‌عنوان نهاده‌ی پایه در نظر گرفته می‌شود.

در جدول (۲)، نتایج تخمین پارامترهای مدل لاجیت در دو حالت ایستا، معادلات (۶) و پویا، معادلات (۱۱)، گزارش شده است. اعداد داخل پرانتز نشانگر آماره‌ی تی-استیودنت می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مدل‌های پیشنهادی از قدرت توضیحی به نسبت بالایی برخوردار می‌باشند، هرچند برخی از متغیرهای مدل ایستا از نظر آماره معنادار نیستند.

با استفاده از نتایج جدول (۲)، کشش‌های قیمتی و جانشینی به کمک روابط (۸)، (۹) و (۱۲)، محاسبه و در جدول (۳) گزارش شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در حالی که در مدل لاجیت ایستا، تنها کشش‌های خودقیمتی فرآورده‌های نفتی و برق منفی است، اما در مدل لاجیت پویا هر سه کشش خودقیمتی منفی بوده و به‌علاوه، کشش‌های بلندمدت در مقایسه با کشش‌های کوتاه‌مدت به‌طور قابل ملاحظه‌ای از نظر قدر مطلق افزایش می‌یابند؛ چرا که در

بلندمدت امکان واکنش و تغییر رفتار مصرفی بیش‌تری برای واحدهای صنعتی به‌دنبال تغییرات قیمت فراهم می‌شود. در هر حال، نتایج مدل ایستا برای تحلیل‌های سیاستی چندان توصیه نمی‌شود، چرا که این مدل‌ها اثرات قیمتی کوتاه‌مدت را بیش از واقع و کشش‌های خودقیمتی بلندمدت را کم‌تر از واقع برآورد می‌کنند.

هم‌چنین در این جدول کشش‌های جانشینی جزئی آلن با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شده است:

$$\epsilon_{ij} = S_i \sigma_{ij} \quad (۱۳)$$

که در آن σ_{ij} کشش جزئی آلن است.

جدول ۲- پارامترهای تخمینی مدل لاجیت خطی در دو حالت ایستا و پویا

مدل پویا		مدل ایستا		ضرائب
-۰/۹۹۵ (-۹/۵۱۱)		-۰/۹۵۵ (-۳/۱۲۲)		C_{oe}^*
-۰/۶۸۳ (-۳/۴۹۷)		-۰/۳۷۹ (-۰/۴۴۵)		C_{og}^*
-۱/۱۸۱ (-۴/۶۲۱)		-۰/۸۰۳ (-۰/۵۷۵)		C_{eg}^*
۰/۷۴۵ (۸/۷۶۶)		-		Λ
مدل پویا		مدل ایستا		معادله
SSR	R^2	SSR	R^2	
۳/۹۴۹	۰/۸۵۷	۷/۸۶۵	۰/۸۵۷	$\ln(S_o/S_g)$
۳/۲۵۱	۰/۸۰۶	۱۳/۳۷۹	۰/۶۸۸	$\ln(S_e/S_g)$

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- کشش‌های خودقیمتی و جانشینی در مدل لاجیت خطی ایستا و پویا

مدل پویا			مدل ایستا				
G	E	O	G	E	O		
۰/۰۴۳	-۰/۰۳۱	-۰/۰۰۲				O	کشش‌های
۰/۰۶۷	-۰/۰۶۳	-۰/۰۰۷				E	قیمتی
-۰/۳۱۹	۰/۳۲۸	۰/۰۴۹				G	کوتاه‌مدت
۰/۱۶۷	-۰/۱۱۸	-۰/۰۰۸	۰/۰۸۴	۰/۰۲۹	-۰/۰۶۳	O	کشش‌های
۰/۲۶۲	-۰/۲۴۷	-۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	-۰/۰۴۵	۰/۰۰۷	E	قیمتی
-۱/۲۵۴	۱/۲۸۸	۰/۱۸۹	۰/۲۸۴	۰/۱۳۱	۰/۰۹۵	G	بلندمدت
۱/۰۹۶	-۰/۷۷۵	-۰/۰۵۸	۰/۵۴۸	۰/۱۹۳	-۰/۴۱۶	O	کشش‌های
۰/۳۹۵	-۰/۳۷۳		۰/۰۴۰	-۰/۰۶۸		E	جانشینی
-۹/۳۱۳			۲/۱۰۶			G	جزئی آلن

منبع: یافته‌های تحقیق

برآورد پارامتر تعدیل بلندمدت (۸) در مدل لاجیت پویا، ۰/۷۴۵ است که نشان‌دهنده‌ی سرعت نسبتاً بالای تعدیل می‌باشد، به‌طوری‌که با تغییر قیمت سوخت‌ها حدود ۲۵٪ از تعدیل بلندمدت در همان سال اول رخ می‌دهد و ۹۰٪ از تعدیل طی ۸ سال پس از تغییر قیمت به‌وقوع خواهد پیوست. پندایک^۱ (۱۹۷۹)، دوره‌ی تعدیل به‌دنبال تغییرات قیمت را بین ۳ تا ۱۵ سال پیش‌بینی کرده، که نتایج این تحقیق با پیش‌بینی وی سازگار است.^۲

براساس نتایج جدول (۳)، تقاضای گاز در بخش صنعت با کشش خود قیمتی ۱/۲۵- نسبت به تغییرات قیمت آن حساس (پرکشش) می‌باشد. در مقابل، تقاضای برق از کشش‌پذیری پایینی (۰/۲۵-) برخوردار است و تقاضای فرآورده‌های نفتی تقریباً بی‌کشش (۰/۰۰۸-) می‌باشد.

هم‌چنین جدول (۳) حاکی از آن است که در مدل لاجیت خطی پویا فرآورده‌های نفتی و برق مکمل یکدیگر و فرآورده‌های نفتی و گاز جانشین یکدیگر هستند. کشش

1- Pyndyck

۲- لازم به یادآوری است که همه‌ی محاسبات یاد شده در مدل لاجیت، توسط محقق برای مدل ترانسلوگ نیز انجام شده است و از آنجا که نتایج این مدل نسبت به مدل لاجیت بسیار ضعیف بوده و حتی ضریب تعدیل، منفی به‌دست می‌آید، تنها نتایج مدل لاجیت منعکس و براساس آن تفسیر انجام می‌شود.

جانشینی جزئی آلن بین فرآورده‌های نفتی و برق و فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی به ترتیب ۰/۷۷۵- و ۱/۰۹۶ می‌باشد. باید توجه داشت که کشش جانشینی جزئی آلن درصد تغییر در نسبت مصرف دو سوخت در نتیجه‌ی تغییر در قیمت‌های نسبی آنها را اندازه‌گیری می‌کند. افزون بر این، گاز و برق با کشش جانشینی آلن ۰/۳۹۵ جانشین‌های متوسطی برای یکدیگر محسوب می‌شوند. دوباره مقدار کشش جانشینی خود قیمتی آلن برای گاز (۹/۳۱۳-) بر نتایج اشاره شده مبنی بر پرکشش بودن تقاضای آن نسبت به تغییرات قیمتی تأکید می‌کند.

از آن جایی که یکی از معیارهای اصلی برای ارزیابی مدل‌های مورد استفاده در تحلیل جانشینی بین سوخت‌ها، درستی علامت کشش‌های خود قیمتی و متقاطع است، به نظر می‌رسد مدل لاجیت خطی پویا می‌تواند در دوره‌ی ۸۸-۱۳۶۷ جانشینی بین سوخت‌ها در بخش صنعت کشور را به خوبی توضیح دهد. روشن است صنایع امکان انتخاب بین انواع سوخت‌ها را داشته‌اند، ولی در تقاضای بردار سوخت خود با توجه به قیمت‌های واقعی انواع سوخت واکنش نشان داده‌اند. واکنش تقاضای گاز طبیعی نسبت به قیمت واقعی آن و نسبت به قیمت سایر سوخت‌ها در کوتاه‌مدت و بلندمدت کاملاً با مبانی نظری نیز هماهنگ است و حاکی از رفتارهای بهینه‌یابی بنگاه‌ها در انتخاب بردار سوخت خود می‌باشد.

سرانجام این که، با توجه به عدم معناداری آماری برخی از ضرائب برآورد شده در مدل، می‌توان گفت قیمت‌های انرژی به‌تنهایی نمی‌توانند جانشینی انرژی در بخش صنعت کشور را به طور کامل توضیح دهند. به عبارتی، قیمت‌ها تنها عامل تعیین‌کننده‌ی تقاضای انرژی در بخش صنعت نیستند. از آن جا که در بیش تر زیربخش‌های صنعت، انرژی بخش نسبتاً کوچکی از هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد، به‌ویژه در شرایط تثبیت قیمت‌ها، برای توضیح جانشینی بین سوخت‌ها می‌بایست به عوامل دیگر به‌ویژه تغییرات فن‌آوری و تغییرات ساختاری توجه بیش‌تری داشت.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف از این مقاله، ارزیابی تغییرات در ترکیب سوخت مصرفی بخش صنعت کشور نسبت به تغییرات در قیمت سوخت‌های مختلف بوده است. برای این منظور، از تخمین مدل لاجیت خطی ایستا و پویا استفاده شده است. نتایج حاصل از تخمین مدل بر این

نکته تأکید دارد که قیمت‌ها تا اندازه‌ای می‌توانند جانشینی بین سوخت‌ها در بخش صنعت کشور طی سال‌های ۸۸-۱۳۶۷ را توضیح دهند. به عبارتی، قیمت‌ها تنها عامل تعیین‌کننده‌ی تقاضای انرژی در بخش صنعت نیستند. از آن‌جا که در بیش‌تر زیربخش‌های صنعت انرژی بخش نسبتاً کوچکی از هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد، به‌ویژه در شرایط تثبیت قیمت‌ها، برای توضیح جانشینی بین سوخت‌ها می‌بایست به عوامل دیگر به‌ویژه تغییرات فن‌آوری و تغییرات ساختاری توجه بیش‌تری داشت.

برآورد مدل لاجیت خطی پویا نشان می‌دهد که تقاضای گاز در بخش صنعت با کشش خودقیمتی $-1/25$ نسبت به تغییرات قیمت آن حساس (پرکشش) می‌باشد. در مقابل، تقاضای برق از کشش‌پذیری پایینی ($-0/25$) برخوردار است و تقاضای فرآورده‌های نفتی تقریباً بی‌کشش ($-0/08$) می‌باشد. فرآورده‌های نفتی و برق مکمل یکدیگر و فرآورده‌های نفتی و گاز جانشین یکدیگر هستند. کشش جانشینی جزئی آلن بین فرآورده‌های نفتی و برق و فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی به‌ترتیب $-0/775$ و $1/096$ می‌باشد. افزون بر این، گاز و برق با کشش جانشینی آلن $0/395$ جانشین‌های متوسطی برای یکدیگر محسوب می‌شوند.

یکی از نتایج سیاستی این مطالعه آن است که اعمال مالیات کربن در بخش صنعت، با توجه به پایین بودن کشش خود قیمت‌های فرآورده‌های نفتی و برق، اثرات چندانی در کاهش انتشار آلاینده‌ها از جمله دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد نخواهد داشت.

هر چند این مطالعه در سطح کل صنعت و با استفاده از قیمت‌های متوسط برق و گاز در بخش صنعت انجام شده است، یک مطالعه‌ی پانل دیتا در سطح زیربخش‌های صنعت احتمالاً می‌تواند رفتار جانشینی بهتری را به نمایش گذارد.

فهرست منابع

Berndt, E. R. and N. E. Savin (1975). Conflict among Criteria for Testing Hypotheses in the Multivariate Linear Regression Model, *Econometrica*, vol. 45, No. 5.

Bjorner, T. B. and H. H. Jensen (2002). Interfuel Substitution within Industrial Companies: An Analysis Based on Panel Data at Company Level, *Energy Journal*, vol. 23, No. 2.

- Brannlund, R. and T. Lundgren (2004). A Dynamic Analysis of Interfuel Substitution for Swedish Heating Plants , *Energy Economics*, vol. 26, pp. 961-76.
- Cheristev, Atanas and Fitherstone, Allen (2007). A Note in Allen-Uzawa Partial Elasticities of Substitution: The Case of the Translog Cost , *IZA*, no. 2712 (March).
- Considine, T. J. and T. D. Mount (1984). The Use of Linear Logit Models for Dynamic Input Demand Systems, *Review of Economics and Statistics*, no. 66.
- Considine, T. J. (1990). Symmetry Constraints and Variable Return to Scale in Logit Models, *Journal of Business and Economic Statistics*, vol. 8.
- Jones, C. T. (1995). A Dynamic Analysis of Interfuel Substitution in U.S. Industrial Energy Demand, *Journal of Business and Economic Statistics*, vol. 13.
- Pindyck, R. S. (1979). Interfuel Substitution and Industrial Demand for Energy: An International Comparison, *Review of Economics and Statistics*, vol. 61.
- Renou-Maissant, P. (2007). Energy Substitutions Modelling, *Palgrave MCMillan*.
- Urga, G. and C. Walters (2003). Dynamic Translog and Linear Logit Models: A Factor Demand Analysis of Interfuel Substitution in US Industrial Energy Demand, *Energy Economics*, vol. 25.
- Zellner, A. (1963). Estimators for Seemingly Unrelated Regression Equations: Some Exact Finite Sample Results, *Journal of the American Statistical Association*, vol. 58.

پیوست

داده‌های مورد استفاده در جریان مطالعه

سال	قیمت فرآورده نفتی (ریال در teo)	قیمت برق (ریال در teo)	قیمت گاز طبیعی (ریال در teo)	مصرف فرآورده نفتی (ktoe)	مصرف برق طبیعی (ktoe)	مصرف گاز طبیعی (ktoe)	سهام هزینه‌ای گاز طبیعی	سهام هزینه‌ای برق	سهام هزینه‌ای فرآورده نفتی
۱۳۶۷	۲۹۲۶۱۲۳	۸۶۰۱۸۷/۱	۴۴۳۸۳/۱۲	۶۰۷۶/۳۲۳	۹۰۱/۱۳۵۷	۲۱۰۸/۵	۰/۰۷۸	۰/۶۴۵	۰/۲۷۷
۱۳۶۸	۳۰۷۵۵۴۴	۸۱۳۶۹۰/۵	۴۴۳۸۳/۱۲	۶۳۰۸/۰۱۳	۹۵۳/۱۴۱۳	۲۱۲۶/۸۸۶	۰/۰۴۹	۰/۳۹۵	۰/۱۸۵
۱۳۶۹	۳۰۲۵۴۲۵	۱۰۲۲۹۲۵	۴۴۳۸۳/۱۲	۶۱۸۰/۱۶۳	۱۱۰۶/۴۲۵	۲۵۸۲/۴۵۵	۰/۰۴۰	۰/۳۹۱	۰/۱۲۱
۱۳۷۰	۴۷۸۸۴۰۷	۲۱۱۵۵۹۵	۱۱۰۹۵۷/۸	۶۳۷۱/۰۲۲	۱۱۵۱/۵۹۹	۳۵۷۷/۲۹۴	۰/۱۱۷	۰/۷۱۶	۰/۱۶۷
۱۳۷۱	۷۲۶۱۸۵۷	۲۲۰۸۵۸۸	۱۹۹۷۲۴	۶۹۵۲/۵۵۸	۱۳۶۸/۰۳۳	۳۳۹۷/۱۶۴	۰/۱۳۷	۰/۶۱۲	۰/۱۹۱
۱۳۷۲	۷۸۹۹۹۱۲	۴۱۸۴۶۹۴	۲۲۱۹۱۵/۶	۷۰۴۲/۵۶۶	۱۵۲۴/۷۴	۳۴۶۰/۶۰۳	۰/۰۹۰	۰/۷۴۸	۰/۱۲۲
۱۳۷۳	۷۷۶۷۷۸۷	۱۰۲۲۶۴۰۲	۴۴۳۸۳/۱۲	۶۷۷۶/۲۶۳	۱۷۷۶/۵۵۳	۴۲۴۳/۶۴۹	۰/۰۸۸	۰/۸۴۴	۰/۰۴۶
۱۳۷۴	۱۵۱۷۴۷۹۳	۱۲۳۳۳۳۲۳	۵۳۲۵۹۷/۴	۷۱۶۱/۷۱۹	۱۸۵۰/۳۲۶	۵۷۰۹/۳۲۲	۰/۱۰۷	۰/۸۰۶	۰/۰۷۲
۱۳۷۵	۲۲۹۲۳۳۶۴	۱۵۴۵۰۸۲۰	۶۶۵۷۴۶/۸	۶۸۱۷/۴۴۷۳	۰۴۱,۲۱۳۹	۶۹۷۵/۰۶۱	۰/۱۱۲	۰/۷۹۹	۰/۰۷۱
۱۳۷۶	۳۱۷۶۱۶۳۱	۱۹۴۳۷۹۰۳	۱۲۴۲۷۲۷	۸۲۰۰/۶۱۶	۲۲۱۱/۹۹۲	۷۰۸۳/۱۹۴	۰/۱۵۳	۰/۷۴۸	۰/۰۸۵
۱۳۷۷	۵۲۵۴۶۷۸۷	۲۳۸۱۷۶۰۰۳	۱۶۲۴۴۲۲	۷۸۰۴/۵۶۱	۲۲۱۴/۳۹	۶۴۶۵/۰۱۹	۰/۱۴۶	۰/۷۳۴	۰/۱۰۶
۱۳۷۸	۷۲۵۰۹۶۹۸	۲۶۲۷۰۵۷۸	۲۱۰۸۱۹۸	۷۴۱۲/۵۳۹	۲۴۱۲/۲۸	۸۳۶۵/۰۴	۰/۱۹۱	۰/۶۸۷	۰/۱۰۹
۱۳۷۹	۸۰۷۶۱۱۲۳	۲۸۱۳۰۴۴۲	۲۳۱۹۰۱۸	۷۵۴۹/۸۴۷	۲۶۴۸/۷۹۶	۸۳۳۳/۹۷۴	۰/۱۸۱	۰/۷۰۰	۰/۱۰۷
۱۳۸۰	۹۱۰۰۱۲۲۴	۳۱۰۵۷۴۰۳	۲۵۵۲۰۲۹	۷۹۹۳/۹۳۴	۲۷۷۶/۱۱	۷۹۴۵/۰۶۸	۰/۱۶۷	۰/۷۰۹	۰/۱۱۲
۱۳۸۱	۹۹۲۳۱۵۷۵	۳۴۱۶۱۰۵۱	۲۷۳۶۲۱۹	۸۱۲۴/۲۶۸	۲۹۹۶/۰۳۶	۸۴۰۵/۷۱۴	۰/۱۶۲	۰/۷۲۱	۰/۱۰۶
۱۳۸۲	۱۲۷۰۰۰۰۰	۳۷۸۷۳۸۰۴	۲۸۴۷۱۷۷	۸۴۸۳/۳۰۹	۵۵۶,۳۳۵۹	۹۸۵۸/۱۷۵	۰/۱۵۹	۰/۷۱۹	۰/۱۱۳
۱۳۸۳	۱۳۵۰۰۰۰۰	۴۳۰۱۴۰۰۳	۳۰۷۳۵۳۱	۸۱۹۹/۵۴۹	۵۱۴,۳۶۱۶	۱۱۳۵۲/۸۵	۰/۱۶۴	۰/۷۳۱	۰/۰۹۷
۱۳۸۴	۱۳۶۰۰۰۰۰	۴۶۸۶۱۵۹۷	۳۰۷۳۵۳۱	۸۲۸۶/۱۹۱	۳۶۶۳/۸۴	۱۲۷۹۹,۴۴	۰/۱۶۸	۰/۷۳۳	۰/۰۹۰
۱۳۸۵	۱۳۶۰۰۰۰۰	۴۶۵۹۱۹۱۷	۳۰۷۳۵۳۱	۸۲۹۵/۷۸۱	۳۹۱۳/۲۶۵	۱۴۳۱۱/۵۶	۰/۱۷۶	۰/۷۲۸	۰/۰۸۴
۱۳۸۶	۱۳۷۰۰۰۰۰	۴۷۸۵۸۹۴۹	۳۵۱۷۳۶۲	۸۸۸۱/۵۱۳	۴۱۶۷/۸۶۶	۱۹۱۷۵/۵۶	۰/۳۳۱	۰/۶۸۲	۰/۰۷۸
۱۳۸۷	۲۷۳۰۰۰۰۰۰	۴۷۵۶۸۳۴۵	۳۵۱۷۳۶۲	۹۹۷۹/۲۳۴	۴۳۹۷/۹۰۸	۲۰۱۳۸/۴۸	۰/۰۱۳۲	۰/۰۳۹	۰/۹۴۷
۱۳۸۸	۱۴۰۰۰۰۰۰	۴۷۸۹۱۴۹۷	۳۵۱۷۳۶۲	۸۸۱۹/۴۱۷	۴۶۲۴/۳۷۲	۲۱۷۰۶/۱۵	۰/۳۳۶	۰/۶۸۳	۰/۰۷۲

منبع: ترازنامه‌ی انرژی کشور سال ۱۳۸۸ - وزارت نیرو

متوسط سهم هزینه‌ای فرآورده‌ی نفتی در دوره‌ی (S_o^*) : ۰/۱۵۳متوسط سهم هزینه‌ای برق در دوره‌ی (S_e^*) : ۰/۶۶۳متوسط سهم هزینه‌ای گاز طبیعی در دوره‌ی (S_g^*) : ۰/۱۳۵