فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی
سال بیست و دوم، شماره ۷۱، پاییز ۱۳۹۳، صفحات ۱۷۲-۱۵۷

برآورد کشش جانشینی سرمایه و انرژی در بخش صنایع شیمیایی کشور

سیدعلی سبحانی‌ثابت
دانشجوی‌دکترای علوم اقتصادی دانشگاه امام صادق (ع) (نویسنده مسئول)
sobhanisabet@isu.ac.ir

داوود منظور
دانشیار اقتصاد دانشگاه امام صادق (ع)
manzoor@isu.ac.ir

در دنیای کنونی به‌دلیل مصرف زیاد حامل‌های انرژی و تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌وسیله برخی از آنها مطالعه و بررسی متغیرهای مؤثر بر تقاضا و مصرف انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ ۴ نهاده‌ای (سرمایه، نیروی کار، انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی) و برای داده‌های سری زمانی (۱۳۸۶- ۱۳۷۷) سهم‌های هزینه‌ای برای نهاده‌های تولید برآورد می‌گردد، سپس از آنها برای محاسبه کشش‌های جانشینی قیمتی و متقاطع آلن و موریشما استفاده می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از برآوردهای این پژوهش مقدار کشش قیمتی موریشیما برای سرمایه و انرژی الکتریکی ۱/۵۸۸ و کشش‌های قیمتی آلن برای دیگر حامل‌های انرژی برابر ۰/۶۹۸ می‌باشد که هر دو بیانگر جانشین بودن نهاده سرمایه و انرژی در دوره مورد مطالعه است، همچنین مقدار کشش متقاطع قیمتی بین دو نهاده انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی بجز انرژی الکتریکی برابر (۱/۳۶۳-) بوده است که نشان می‌دهد این دو نهاده در دوره مورد بررسی مکمل یکدیگرند.

طبقه‌بندی JEL: *C32, D24*.
واژه‌های کلیدی: *جانشینی سرمایه و انرژی، کشش آلن، کشش موریشیما، سیستم معادلات همزمان*.

* **تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸** **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۵**

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

۱. مقدمه

نهاده‌های تولید در فرایند یک فعالیت اقتصادی به‌صورت مکمل و جانشین برای تولید کالاها و خدمات مورد استفاده قرار گرفته و نوسان‌های قیمتی و میزان عرضه آنها ظرفیت‌های تولید بخش‌های مختلف اقتصاد را تحت تأثیر قرار می‌دهند. انرژی نیز یکی از نهاده‌های مهم تولید محسوب می‌شود که همراه با سایر نهاده‌ها مانند کار و سرمایه در فرایند تولید سهیم می‌باشد. با توجه به اینکه انرژی از عوامل تأثیرگذار در امنیت اقتصادی کشور ماست؛ مدیریت تقاضای انرژی می‌تواند اهمیت بسزایی در تأمین امنیت اقتصادی داشته باشد. اهمیت حیاتی انرژی در اقتصاد کلان کشور و ضرورت اعمال مدیریت کارامد در این بخش ایجاب می‌کند تا تقاضای عوامل تولیدی به‌ویژه انرژی در بخش صنعت که از ارکان اساسی اقتصاد کشور است مطالعه شود.

یکی از مسائلی که در تحلیل تقاضای نهاده‌ها بسیار جذاب است و به آن توجه می‌شود این است که رابطه بین انرژی و سرمایه به‌صورت جانشینی یا مکملی است. اگر انرژی و سرمایه مکمل باشند می‌بایست برای صرفه‌جویی در هر یک از دو نهاده از هر دو نهاده کمتر استفاده کنیم. اگر این دو جانشین باشند بنگاه می‌تواند برای صرفه‌جویی یکی از نهاده‌ها دیگری را جایگزین آن نماید.

باید توجه داشت که اغلب منابع انرژی دارای منشأ فسیلی بوده و پایان‌پذیرند، بنابراین ویژگی اساسی پایان‌پذیری انرژی آن را از سایر نهاده‌های تولید متمایز می‌نماید و ضرورت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بررسی امکان جانشین نمودن سایر نهاده‌ها را با آن نمایان می‌سازد، اما از سوی دیگر وفور منابع انرژی در ایران و پایین بودن قیمت حامل‌های انرژی نسبت به بسیاری از کشورها می‌تواند به‌عنوان مزیت نسبی مطرح گردد. البته این مزیت زمانی مفید است که سبب کاهش هزینه‌های تولید و قیمت تمام‌شده و افزایش قدرت رقابتی کالاهای داخلی در بازارهای بین‌المللی شود، بنابراین آگاهی از متغیرهای مؤثر بر تقاضای انرژی و میزان تأثیر هر یک از متغیرها از یک سو در تبیین وضعیت بازار حامل‌های انرژی مؤثر بوده و از سوی دیگر نحوه ارتباط بازار انرژی با دیگر نهاده‌های تولید را ارائه می‌نماید، همچنین این امکان را به سیاستگذاران می‌دهد تا به برنامه‌ریزی و پیش‌بینی دقیق‌تری برای میزان تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف کشور بپردازند.

در این پژوهش جانشینی میان نهاده انرژی با سرمایه در بخش صنایع شیمیایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. صنایع شیمیایی از آن جهت انتخاب شده‌اند که اولاً از ارزش‌افزوده بالایی در کل صنعت برخوردار بوده و ثانیاً مطالعه جانشینی سرمایه و انرژی در یک صنعت خاص در مقابل کل صنایع کشور نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد.

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

ترتیب مقاله حاضر به این شرح است که ابتدا به بررسی ادبیات موجود درخصوص جانشینی سرمایه و انرژی می‌پردازیم. در بخش بعدی مدل و تابع تقاضای مورد استفاده برای محاسبه کشش‌های جانشینی قیمتی ارائه می‌گردد، سپس با بررسی داده‌های جمع‌آوری‌شده و محدودیت‌های آن کشش‌های جانشینی قیمتی برآورد می‌شوند و در پایان نتایج به‌دست آمده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۲. ادبیات موضوع

با آغاز انقلاب صنعتی و شکل گرفتن صنایع ماشینی انرژی به‌عنوان یکی از عوامل اولیه و مهم تولید در صنایع شناخته شد. به‌تدریج با شکل‌گیری بخش صنعت و مدرنیزه شدن آن انرژی بیش از پیش اهمیت خود را در صنایع به اثبات رساند. تا پیش از دهه ۱۹۶۰ اغلب محققان توجه خود را به جانشینی بین صور مختلف انرژی معطوف می‌داشتند، اما پس از بحران انرژی دهه ۱۹۷۰ مطالعات فراوانی درخصوص جانشینی انرژی با دیگر نهاده‌ها انجام گرفت. به عبارت دیگر، پس از دوره بحران انرژی این مسئله عنوان شد که نهاده‌های انرژی در فرایند تولید می‌توانند جانشین سایر نهاده‌های تولیدی دیگر (مانند نیروی کار، سرمایه و غیره) شوند که در ذیل به بررسی اهم آنها می‌پردازیم (کوشل، ۲۰۰۰).

برندت و وود (۱۹۷۵) در تحقیقی که با استفاده از داده‌های سری زمانی بین سال‌های (۱۹۷۱-۱۹۴۷) و به‌کار بردن تابع ترانسلوگ[1] برای ۴ نهاده سرمایه، نیروی کار، برق و سایر انرژی‌ها انجام دادند بین سرمایه و انرژی رابطه مکملی را مشاهده نمودند، همچنین در مطالعه دیگری که توسط هاندسون و یورگنسون (۱۹۷۴) انجام شد نتایج مشابهی به‌دست آمد. آنها نیز از مدل ۴ نهاده‌ای و تابع ترانسلوگ استفاده نمودند. از دیگر مطالعاتی که به رابطه مکملی بین سرمایه و انرژی دست یافتند می‌توان به تحقیق فیلد و گربنشتاین (۱۹۸۰) اشاره نمود. آنها با بهره‌گیری از تابع هزینه ترانسلوگ که از سرمایه کاری[2] به‌جای نهاده نیروی کار استفاده می‌نمود، همچنین به‌کارگیری داده‌های مقطعی برای ایالت‌های مختلف آمریکا رابطه قوی مکملی را بین سرمایه و انرژی به‌دست آوردند. پریوس (۱۹۸۶) نیز در تحقیق خود برای داده‌های مقطعی و سری زمانی (۱۹۷۵- ۱۹۷۱) رابطه مکملی بین این دو نهاده کشف نموده و برخلاف دیگر مطالعات انجام شده که از تابع هزینه ترانسلوگ استفاده می‌کردند از تابع (CES) ۳ مرحله‌ای با ۴ نهاده (K, L, E, M) بهره برده است. در مقاله دیگری که توسط تیتم (۱۹۷۹) نوشته شده است رابطه جانشینی میان نهاده سرمایه و انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله وی سعی نمود با ارائه تحلیل مبتنی بر فرض حداکثرسازی سود توسط بنگاه‌ها و تعادل عمومی به بیان رابطه جانشینی میان انرژی و

1. Translog
2. Working Capital

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

سرمایه بپردازد که آن را به‌وسیله شواهد تجربی از داده‌های صنایع آمریکا در سال‌های (۱۹۷۷- ۱۹۷۲) مورد تأیید و تأکید قرار می‌دهد.

مطالعات دیگری نیز وجود دارد که به رابطه جانشینی دست یافته‌اند. به‌عنوان مثال، گریفن و گریگوری (۱۹۷۶) با استفاده از تابع ترانسلوگ ۳ نهاده‌ای (KLE) نتیجه گرفتند که این دو با یکدیگر جانشین هستند.

در مطالعات جدیدتر سید اف محمود (۲۰۰۰) در مقاله‌ای تحت عنوان "تقاضای انرژی در بخش صنعت" با استفاده از تابع هزینه لئونتیف عمومی[1] انرژی را در مدل به‌عنوان یک عامل تولید به‌صورت مستقیم مانند سرمایه و نیروی کار منظور می‌کند. در این مطالعه سرمایه به‌عنوان یک عامل شبه ثابت[2] در نظر گرفته می‌شود. وی با تخمین مدل خود به این نتیجه دست می‌یابد که جانشینی بسیار کمی بین انرژی و عوامل دیگر تولید یعنی سرمایه و نیروی کار وجود دارد و به این دلیل وجود شوک‌های قیمتی انرژی باعث بالا رفتن هزینه کل به‌صورت معنادار می‌شود. تامپسون و همکاران (۱۹۹۷) نیز در مطالعه‌ای که در زمینه جانشینی سرمایه و انرژی در بخش صنعت یونان در دهه ۱۹۸۰ انجام داده‌اند به نتایج مشابهی دست یافتند و دریافتند که یارانه‌های انرژی تقاضا برای سرمایه را کاهش می‌دهد.

از دیگر مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است مطالعه کریستوپولوس (۲۰۰۰) تحت عنوان "تقاضای انرژی در بخش صنعت یونان" می‌باشد. وی در مطالعه خود که از داده‌های سری زمانی بین سال‌های (۱۹۹۰- ۱۹۷۰) استفاده نموده با بهره‌گیری از روش‌های اقتصادسنجی به بررسی رابطه جانشینی بین ۳ نوع از حامل‌های انرژی یعنی نفت خام، برق، گازوئیل و دیگر نهاده‌های تولید پرداخته است.

فنگ یی (۲۰۰۰) در مقاله‌ای تحت عنوان "مدل‌های دینامیکی تقاضای انرژی" به بررسی کشش‌های جانشینی قیمتی بین عوامل تولید یعنی نیروی کار، سرمایه، الکتریسیته و سوخت در بخش صنعت سوئد پرداخته است. وی با تقسیم صنعت به ۹ گروه صنعتی و با معرفی تابع هزینه ترانسلوگ و نیز تابع هزینه لئونتیف عمومی و با استفاده از لم شفارد این مسئله را در کوتاه‌مدت بررسی نموده است. نتایج بیانگر آن است که کشش‌های قیمتی در مدل لئونتیف عمومی برای بلندمدت یکسان است؛ اما قدر مطلق کشش‌های قیمتی محاسبه‌شده در مدل کوتاه‌مدت از مقدار آن در بلندمدت طبق انتظار کوچکتر است (شکیبایی و همکاران، ۱۳۸۸).

فیوریتو (۲۰۱۱) در مطالعه خود که بر اساس داده‌های بانک اطلاعاتی نهاده‌های تولید اروپا انجام داده است به رابطه مکملی یا جانشینی بسیار ضعیف می‌رسد که البته رابطه مکملی در کشورهای آلمان،

1. General Leontief
2. Quasi Fixed

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

اسپانیا و انگلیس بسیار قوی است. فیوریتو بر مبنای محاسبات به‌دست آمده نتیجه می‌گیرد که انرژی ارزان اما با عرضه کم منجر به کاهش استفاده از سرمایه و به‌تبع آن کاهش تولید می‌گردد.

در جدیدترین مطالعات انجام‌شده کریشناپیلای و تامپسون (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های مقطعی رابطه جانشینی و توابع تولید هموتتیک و غیرهموتتیک به تخمین کشش‌های جانشینی قیمتی در بخش صنعت آمریکا پرداخته‌اند که با توجه به مقادیر کشش متقاطع به‌دست آمده انرژی الکتریکی جانشین ضعیفی برای نیروی کار و سرمایه می‌باشد، در حالی‌که نیروی کار و سرمایه جانشین‌های قوی برای انرژی الکتریکی هستند. در ادامه، به بررسی برخی تحقیقات داخلی انجام شده می‌پردازیم.

باستان‌زاد (۱۳۷۶) در مقاله‌ای تحت عنوان "برآورد کشش‌های جزئی مستقیم و متقاطع آلن برای حامل‌های انرژی در ایران طی سال‌های (۱۳۷۵-۱۳۴۷) به بررسی این کشش‌ها از طریق برآورد سیستمی (معاملات همزمان)[1] می‌پردازد. وی در مطالعه خود از انرژی، نیروی کار و سرمایه به‌عنوان عوامل تولید استفاده نموده و از تابع هزینه ترانسلوگ و لم شفارد برای به‌دست آوردن سیستم معادلات بهره برده است. کشش‌های محاسبه‌شده در این تحقیق نشان‌دهنده وجود رابطه جانشینی بین نهاده‌های کار- سرمایه و کار- انرژی است؛ در حالی‌که انرژی و سرمایه دو عامل مکمل هستند.

اکبریان و رفیعی (۱۳۷۵) در پژوهش خود تحت عنوان "تخمین کشش جانشینی سرمایه و نیروی کار صنایع ایران" به برآورد کشش‌های جانشینی قیمتی بین سرمایه و نیروی کار پرداخته‌اند که مقادیر به‌دست آمده بیانگر وجود رابطه جانشینی ضعیف بین سرمایه و نیروی کار هستند که البته کشش‌ها برای داده‌های مربوط به بلندمدت مقادیر بزرگتری را نشان می‌دهند.

شریفی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی "جانشینی بین سرمایه و انرژی در بخش فلزات اساسی" با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ ۴ نهاده‌ای دریافتند بین سرمایه و انرژی در این زیربخش رابطه جانشینی وجود دارد.

شکیبایی و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای تحت عنوان "تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش جانشینی قیمتی نهاده انرژی در بخش صنعت در بلندمدت" به بررسی کشش‌های جانشینی سرمایه و انرژی در دو سناریوی قیمت‌های فعلی و افزایش ۷۵ درصدی قیمت‌های انرژی می‌پردازند که در حالت دوم (افزایش ۷۵ درصدی قیمت‌ها) کشش خود قیمتی تقاضا برای انرژی و تقاضا برای نهاده‌های دیگر به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد.

شریفی و شاکری (۱۳۹۰) تحقیقی تحت عنوان "هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی و تحلیل تقاضای پویای نهاده انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران" انجام دادند که در این تحقیق به‌منظور تحلیل

1. Simultaneous Equations

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

تقاضای نهاده‌ها از مدل‌های پویای نسل سوم استفاده شده است تا سرعت تعدیل سرمایه در صنایع کارخانه‌ای مشخص شود، همچنین با استفاده از فرم تابعی درجه دوم این نتیجه به‌دست می‌آید که حذف یارانه انرژی در کوتاه‌مدت تأثیر بسیاری در جهت کاهش تقاضای انرژی در صنایع خواهد داشت، اما در بلندمدت از شدت این تأثیر کاسته خواهد شد. علاوه بر این، نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که سرعت تعدیل موجودی سرمایه در صنایع کارخانه‌ای ایران بسیار پایین است.

۳. تصریح مدل

از آنجایی‌که تابع هزینه با کشش جانشینی ثابت (CES) در حالت بیش از دو نهاده از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار نیست. در این تحقیق به پیروی از بیشتر تحقیقات پایه‌ای انجام‌شده در این زمینه تلاش می‌شود تا با بهره‌گیری از تابع هزینه ترانسلوگ و استفاده از لم شفارد تقاضا برای انرژی به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید استخراج شده و از این طریق کشش‌های مهمی مانند کشش آلن، قیمتی متقاطع و موریشیما محاسبه شود (اوزاوا، ۱۹۶۲)، بنابراین تابع هزینه ترانسلوگ در حالت کلی و در بلندمدت به‌صورت زیر می‌باشد (چمبرز، ۱۹۸۸):

$$\ln c = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_0 \ln p_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln p_i \ln p_j + \alpha_y \ln Y + \frac{1}{2}\alpha_{yy}(\ln y)^2 + \sum_{i=1}^{3} \gamma_{iy} \ln p_i \ln Y \qquad (۱)$$

که در آن، C: هزینه کل، Y: تولید کل، P_i و P_j: قیمت عوامل تولید و i، j: عوامل تولید هستند که در این تحقیق شامل سرمایه (K)، نیروی کار (L)، انرژی الکتریکی (E) و سایر انرژی‌ها (M) است. این تابع به‌دلیل همگن بودن و تقارن دارای قیودی به‌صورت زیر است:

$$\sum\alpha_i=1 \ , \ \beta_{ij}=\beta_{ji} \ , \ \sum_j\beta_{ij}=\sum_j \gamma_{iy}=0 \rightarrow i,j=K,L,E,M \qquad (۲)!$$

طبق لم شفارد مشتق تابع هزینه نسبت به قیمت عامل تولید با تقاضای مشروط[1] آن عامل تولید برابر است، بنابراین برای محاسبه سهم هزینه‌ای هریک از عوامل تولید به روش زیر عمل می‌کنیم:

1. Contingent Demand

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

$$s_i = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln p_i} = \frac{p_i}{C} \times \frac{\partial c}{\partial p_i} = \frac{p_i x_i}{C} = \alpha_i + \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln p_j + \gamma_{iy} Lny \qquad (۳)$$

به گونه‌ای که:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i x_i = C, \sum_{i=1}^{n} s_i = 1 \qquad (۴)$$

در صورتی که تابع تولید دارای ۴ عامل تولید باشد Q=f (K, L, E, M) باشد معادلات سهم هزینه‌ای هر یک از عوامل تولید به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} S_K &= \alpha_K + \beta_{KK} lnp_K + \beta_{KL} lnp_L + \beta_{KE} lnp_E + \beta_{KM} lnp_M + \gamma_{KY} ln_Y \\ SL &= \alpha L + \beta LK lnpK + \beta LL lnpL + \beta LE lnpE + \beta LM lnpM + \gamma LY lnY \\ SE &= \alpha E + \beta EK lnpK + \beta EL lnpL + \beta EE lnpE + \beta EM lnpM + \gamma EY lnY \\ SM &= \alpha M + \beta MK lnpK + \beta ML lnpL + \beta ME lnpE + \beta MM lnpM + \gamma MY lnY \end{aligned} \qquad (۵)$$

از آنجایی که سهم‌های هزینه دارای ویژگی خاص جمع‌پذیری[1] ($\sum_{i=1}^{n} S_i = 1$) است، بنابراین n-1 معادله سهم هزینه از استقلال خطی برخوردار است، بنابراین برای رفع همبستگی معادلات تعداد آنها از ۴ به ۳ تقلیل یافته و به‌صورت زیر در می‌آیند:

$$\begin{aligned} S_K &= \alpha_K + \beta_{KK} \ln(p_K/p_M) + \beta_{KL} \ln(p_L/p_M) + \beta_{KE} \ln(p_E/p_M) + \gamma_{KY} \ln Y \\ S_L &= \alpha_L + \beta_{LK} \ln(p_K/p_M) + \beta_{LL} \ln(p_K/p_M) + \beta_{LE} \ln(p_K/p_M) + \gamma_{LY} \ln Y \\ S_E &= \alpha_E + \beta_{EK} \ln(p_K/p_M) + \beta_{EL} \ln(p_K/p_M) + \beta_{EE} \ln(p_K/p_M) + \gamma_{EY} \ln Y \end{aligned} \qquad (۶)$$

ضرایب دیگر نیز بر اساس قیود تقارن و جمع‌پذیری اعمال‌شده بر تابع هزینه به‌دست می‌آیند. راهی مناسب برای تفسیر رابطه جانشینی یا مکملی بین نهاده‌ها استفاده از کشش جزئی جانشینی آلن (AES) می‌باشد که دو حالت خودی و متقاطع آن برای تابع هزینه عمومی به‌صورت زیر تعریف می‌شود (سورل، ۲۰۰۸):

$$AES_{ij} = (\beta_{ij} + S_i S_j)/S_i S_j = 1 + \beta_{ij}/S_i S_J \qquad AES_{ii} = (\beta_{ij} + S_i(S_i - 1))/S_i^2 \qquad (۷)$$

درصد تغییر در نسبت دو عامل i و j در اثر تغییر در قیمت یکی از عوامل مفهوم مهم دیگر اقتصادی است که تحت عنوان کشش قیمتی موریشیما (MES_{ij}) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

1. Adding-Up

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

$$MES_{ij}= \partial(\ln Xi/Xj)/\partial \ln P_j= (\beta_{ji}/Si)-(\beta_{ij}/S_j)+1 \rightarrow \text{for } i\neq j \quad (۸)$$

درصد تغییر در تقاضای نهاده i به‌ازای یک درصد تغییر در قیمت نهاده j مفهوم کشش قیمتی متقاطع جانشینی است که با فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$\eta_{ij}=\partial \ln X_i/\partial \ln P_j= (\beta_{ij}/S_i)+S_j \quad (۹)$$

بر این اساس، در صورتی‌که کشش‌های جانشینی مطرح‌شده مثبت باشند دو نهاده با یکدیگر جانشین و در صورت منفی بودن آن دو نهاده با یکدیگر رابطه مکملی دارند که البته مقدار هر یک از کشش‌ها تحلیل خاص خود را دارد.

٤. جمع‌آوری اطلاعات

اغلب داده‌های به‌کار رفته در این پژوهش از مرکز آمار ایران و ترازنامه انرژی گرفته شده است. برای برآورد مدل از داده‌های مربوط به کارگاه‌های صنعتی دارای ۵۰ نفر کارکن و بیشتر در بخش صنایع شیمیایی برای سال‌های (۱۳۸۶-۱۳۷۷) استفاده می‌شود. قیمت نیروی کار برای هر سال از تقسیم کل پرداختی به نیروی کار بر تعداد شاغلان آن بخش محاسبه شده است، همچنین برای محاسبه قیمت برق میزان هزینه‌ای که برای این نهاده انجام شده است بر میزان مصرف آن طی یک سال تقسیم می‌گردد تا قیمت نهاده برق بر مبنای ریال/ مگاژول به‌دست آید. قیمت سایر نهاده‌های انرژی نیز به‌صورت میانگین وزنی قیمت هر مگاژول انرژی حاصل از سوخت مربوطه محاسبه شده است. از آنجایی‌که گردآوری یا محاسبه قیمت‌های مواد اولیه مربوط به صنایع شیمیایی امکان‌پذیر نبود، بنابراین از ارزش‌افزوده (VA) به‌جای تولید (Y) استفاده می‌شود (شریفی و همکاران، ۱۳۸۸). هزینه کل نیز با توجه به فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

هزینه کل (c) = هزینه انرژی + ارزش‌افزوده

برای محاسبه قیمت نهاده سرمایه نیز از روش زیر استفاده می‌گردد (کریستوپولس، ۲۰۰۰):

$$P_K = \frac{VA-(W+S)}{NFC} \quad (۱۰)$$

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

به گونه‌ای که VA: ارزش‌افزوده، W: دستمزد، S: حقوق و NFC: موجودی سرمایه را نشان می‌دهند، اما از آنجایی‌که موجودی سرمایه نیز در دسترس نبود برای محاسبه آن با روشی که در پی می‌آید عمل می‌کنیم. در داده‌های مرکز آمار ایران خالص سرمایه‌گذاری سالانه صنایع شیمیایی ایران موجود است. از آنجایی‌که این متغیر یک متغیر جریانی[1] است با داشتن مقدار موجودی سرمایه در سال پایه و نرخ رشد سرمایه‌گذاری می‌توان آن را به یک متغیر انباره‌ای[2] تبدیل نمود، بنابراین در حالتی‌که سرمایه‌گذاری خالص با نرخ λ رشد کند معادله رشد آن عبارتست از:

$$I_t=Ie^{\lambda t} \qquad (۱۱)$$

که در آن، I_t نمایانگر خالص سرمایه‌گذاری در سال t و I نماد خالص سرمایه‌گذاری در سال پایه و λ نرخ رشد سرمایه‌گذاری است، در نتیجه موجودی سرمایه در سال پایه نیز با روش زیر محاسبه می‌شود:

$$K_t= \int I_t dt = I_0 e^{\lambda t}\, dt = \frac{i_0 e^{\lambda t}}{\lambda} \qquad (۱۲)$$

از آنجایی‌که در سال پایه t=0 در نظر گرفته می‌شود مقدار سرمایه اولیه به‌صورت زیر در می‌آید:

$$K_0 = \frac{i_0}{\lambda} \qquad (۱۳)$$

بنابراین با داشتن نرخ رشد سرمایه‌گذاری خالص (γ) می‌توان سرمایه سال پایه را به‌دست آورد و به‌وسیله آن موجودی سرمایه در سال‌های بعد را محاسبه نمود. با توجه به داده‌های مورد استفاده نرخ رشد سرمایه‌گذاری خالص در صنایع شیمیایی λ=۰/۳۴ به‌دست می‌آید و سرمایه‌گذاری در سال‌های بعد از فرمول زیر به محاسبه می‌شود:

$$K_t=K_{t-1}+I_t-\delta(K_t)\rightarrow(1+\delta)K_t=K_{t-1}+I_t\rightarrow K_t = \frac{K_{t-1}+I_t}{(1+\delta)} \qquad (۱۴)$$

که در اینجا نرخ استهلاک همانند بسیاری از پژوهش‌های دیگر ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود (زراءنژاد، ۱۳۸۴ و شریفی و همکاران، ۱۳۸۸).

1. Flow Variable
2. Stock Variable

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

۵. برآورد مدل و محاسبه کشش‌های قیمتی

برای برآورد معادلات می‌بایست قیود تقارن و همگنی مورد آزمون قرار گیرند. برای این کار ابتدا معادلات به‌صورت نامقید برآورد می‌شوند. نتایج آزمون‌های فوق در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج آزمون‌های همگنی و جمع‌پذیری

فرضیه صفر	درجه آزادی	آماره	Probability	نتیجه آزمون
همگنی	۳	۰/۰۰۱۶۸۵	۱	فرضیه صفر رد نمی‌شود.
قیود تقارن	۳	۲/۸۵۲۵۲۶	۰/۴۱۴۹	فرضیه صفر رد نمی‌شود.

مأخذ: نتایج تحقیق.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های همگنی و تقارن معادلات سهم هزینه دارای خاصیت همگنی و تقارن بوده و این قیود در معادلات می‌توانند اعمال شوند، از آنجایی‌که معادلات سهم هزینه دارای خاصیت همزمانی هستند، بنابراین برای برآورد ۳ معادله سهم هزینه از سیستم معادلات همزمان و با روش حداقل مربعات سه مرحله‌ای[1] استفاده می‌شود و ضرایب معادله ۴ به‌وسیله قیود جمع‌پذیری و تقارن اعمال شده بر تابع هزینه محاسبه می‌شوند، همچنین برای برطرف شدن اثر تورم در قیمت نهاده‌ها قیمت‌ها بر مبنای سال پایه ۱۳۸۳ تعدیل شده‌اند. جدول (۲) نتایج حاصل از برآورد مدل را ارائه می‌دهد.

جدول ۲. نتایج حاصل از برآورد پارامترهای مدل

	پارامتر	ضریب	انحراف معیار	t-Statistic	Prob.
KK	β_{11}	۰/۰۳۲۵	۰/۰۰۴۶	۷/۱۱۷۹	۰/۰۰۰۰
KL	β_{12}	−۰/۰۲۶۲	۰/۰۰۳۴	−۷/۶۳۱۲	۰/۰۰۰۰
KE	β_{13}	−۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۱۸	−۴/۳۱۲۶	۰/۰۰۰۴
KM	β_{14}	−۰/۰۰۳۴	----	----	----
LL	β_{22}	۰/۰۲۳۸	۰/۰۰۴۸	۴/۹۸۳۸	۰/۰۰۰۱
LE	β_{23}	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۴۲	۰/۶۵۵۹	۰/۵۲۰۲
LM	β_{24}	۰/۰۰۸۴	----	----	----
EE	β_{33}	−۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۵۲	−۱/۱۹۰۰	۰/۲۴۹۵
EM	β_{34}	−۰/۰۱۴۳	----	----	----
MM	β_{44}	۰/۰۰۹۴	----	----	----
YK	γ_{V1}	۰/۰۶۱۲	۰/۰۰۷۷	۷/۹۸۴۰	۰/۰۰۰۰
YL	γ_{V2}	−۰/۰۵۲۲	۰/۰۰۶۳	−۸/۲۶۸۴	۰/۰۰۰۰
YE	γ_{V3}	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۳۰	۱/۳۳۲۴	۰/۱۹۹۴
YM	γ_{V4}	−۰/۰۰۹۳	----	----	----

مأخذ: نتایج تحقیق.

1. Three-Stage Least Squares

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

بر مبنای ضرایب به‌دست آمده کشش‌های جانشینی قیمتی به‌صورت زیر به محاسبه می‌شوند. لازم به یادآوری است که سهم هزینه‌ای نهاده‌های تولید به‌صورت میانگین سهم‌های هزینه‌ای سالانه برای هر یک از نهاده‌ها لحاظ شده است:

جدول ۳. کشش‌های جانشینی قیمتی آلن

AES_{ij}	K	L	E	M
K	-۰/۰۸۶	۰/۰۰۹	۰/۱۲۶	۰/۶۹۸
L		-۵/۹۶۸	۳/۳۱۲	۶/۶۵۲
E			-۱۵۲/۴۴	-۱۰۴/۰۴
M				-۲۰/۸۵۴

مأخذ: نتایج تحقیق.

جدول ۴. کشش‌های خودی و متقاطع قیمتی

η_{ij}	K	L	E	M
K	-۰/۰۹۹	۰/۰۸۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹
L	۰/۶۳۲	-۰/۶۷۶	۰/۰۳۴	۰/۰۸۷
E	۰/۱۰۹	۰/۳۷۵	-۱/۵۸۶	-۱/۳۶۳
M	۰/۶۰۳	۰/۷۵۴	-۱/۰۸۳	-۰/۲۷۳

مأخذ: نتایج تحقیق.

همانگونه که در نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود کشش‌های جانشینی قیمتی آلن برای نهاده سرمایه و حامل‌های انرژی بجز انرژی الکتریکی (۰/۶۹۸) می‌باشد که مثبت بوده و نشان‌دهنده رابطه جانشینی میان این دو نهاده است، همچنین مثبت بودن مقدار کشش جانشینی آلن برای انرژی الکتریکی نیز حاکی از جانشین بودن سرمایه و این نوع از حامل‌های انرژی می‌باشد. مقدار کشش محاسبه‌شده برای رابطه بین انرژی الکتریکی و دیگر حامل‌های انرژی عدد بزرگ (۱۰۴/۴-) که منفی بوده و رابطه مکملی را بین این دو نهاده نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، بر خلاف تصور عمومی نه تنها برق با دیگر حامل‌های انرژی نمی‌تواند جانشین شود و نبود آن را جبران نماید، بلکه افزایش قیمت یکی تقاضای دیگری را کاهش می‌دهد.

جانشینی میان نهاده نیروی کار و حامل‌های انرژی اعم از انرژی الکتریکی و دیگر حامل‌های انرژی درخور توجه است. سهم محدود حامل‌های انرژی در مقابل سهم هزینه‌ای بالای سرمایه در طول زمان زمینه مساعدی را برای جانشینی بین نیروی کار و نهاده انرژی به‌وجود آورده است.

از دیگر نتایج به‌دست آمده می‌توان به کشش‌های قیمتی خودی اشاره نمود که برای سرمایه مقدار ناچیز (۰/۹۹۰-) می‌باشد و نشان می‌دهد که تقاضای سرمایه‌گذاری نسبت به قیمت سرمایه نسبتاً بی‌کشش بوده و

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

از تغییر قیمت متأثر نمی‌شود، اما برای نهاده‌های دیگر میزان تأثیر بیشتری مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که تقاضا برای کار، انرژی الکتریکی و دیگر حامل‌های انرژی به‌ترتیب ۰/۶۷۶، ۱/۵۸۶ و ۰/۲۷۳ درصد بر اثر تغییر یک درصدی در قیمت این نهاده‌ها کاهش می‌یابد. جدول (۵) مقادیر محاسبه‌شده برای کشش‌های قیمتی موریشیما را نشان می‌دهد.

جدول ۵. کشش جانشینی قیمتی موریشیما

MES_{ij}	K	L	E	M
K	–	۰/۷۵۹	۱/۵۸۸	۰/۲۸۲
L	۰/۷۳۱	–	۱/۶۲۱	۰/۳۶۰
E	۰/۲۰۸	۱/۰۵۲	–	-۱/۰۹۰
M	۰/۷۰۲	۱/۴۳۰	۰/۵۰۴	–

مأخذ: نتایج تحقیق.

کشش‌های جانشینی موریشیما نیز بیانگر رابطه جانشینی میان سرمایه و هر دو نهاده انرژی می‌باشند. بر اساس نتایج به‌دست آمده نسبت سرمایه به انرژی الکتریکی به‌ازای یک درصد تغییر در قیمت انرژی الکتریکی به‌میزان (۱/۵۸۸) درصد افزایش می‌یابد، در حالی که این نسبت به‌ازای تغییر یک درصدی در قیمت سرمایه به مقدار (۰/۲) درصد می‌باشد، همچنین در صورت افزایش یک درصدی قیمت انرژی الکتریکی مقدار $\frac{M}{E}$ به مقدار (۰/۵) درصد افزایش می‌یابد، در حالی که تقاضای نسبی انرژی الکتریکی و دیگر حامل‌های انرژی به تغییر در قیمت دیگر حامل‌های انرژی واکنش منفی نشان داده و در اثر تغییر یک درصدی قیمت آن نسبت تقاضای برق و دیگر حامل‌ها به میزان (۱/۰۹) درصد کاهش می‌یابد.

از آنجایی که این تحقیق داده‌های دوره بلندمدت (۱۳۸۶-۱۳۷۷) را مورد بررسی قرار می‌دهد، بنابراین در مورد جانشینی سرمایه و انرژی می‌توان گفت که در بلندمدت زمانی جانشینی سرمایه و انرژی آشکار خواهد شد که بنگاه سرمایه‌گذاری خود را با خرید ماشین‌آلات جدید و البته کارا و کم‌مصرف انجام دهد. به عبارت دیگر، در صورتی که بنگاه از ظرفیت خالی برخوردار نبوده و مخارج سرمایه‌گذاری را صرف ایجاد ظرفیت‌های جدید نماید جانشینی سرمایه و انرژی در اغلب مقادیر مثبت کشش‌ها آشکار می‌شود، اما در حالتی که بنگاه ظرفیت خالی داشته باشد و مخارج سرمایه‌ای صرف تعمیر و نگهداری (سرمایه‌گذاری سر به سر)[1] شود هزینه‌های مربوط به سرمایه و انرژی به موازات یکدیگر حرکت می‌کنند و مکمل به‌نظر می‌رسند. از دیگر عواملی که باعث می‌شود جانشینی سرمایه و

1. Break-Even Investment

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

انرژی ضعیف به‌نظر برسد اثر بازگشتی[1] می‌باشد. بهبود کارایی منجر به کاهش هزینه‌های مصرف انرژی می‌شود. این افزایش رفاه ناشی از صرفه‌جویی در هزینه‌ها ممکن است موجب استفاده بیشتر از وسایل گردد. این موضوع در مجموع مصرف انرژی را افزایش خواهد داد (استیونس، ۱۳۹۰).

٦. نتیجه‌گیری

انرژی یکی از نهاده‌های مهم تولید محسوب می‌شود که همراه با سایر نهاده‌ها مانند کار و سرمایه در فرایند تولید سهیم می‌باشد. در این مقاله کشش‌های جانشینی قیمتی میان عوامل تولید از جمله سرمایه و انرژی برای صنایع شیمیایی کشور با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ عمومی چمبرز برای ۴ نهاده تولید برآورد گردید. این نوع تابع هزینه امکان برآورد دقیق سهم‌های هزینه‌ای با استفاده از قیمت نهاده‌ها و ارزش‌افزوده صنعت را فراهم می‌سازد که در مطالعات دیگر از این نوع تابع هزینه استفاده نشده است، همچنین مطالعه یک بخش خاص از کل صنایع موجود در کشور بررسی عمیق‌تر را برای محقق ممکن می‌سازد. این تخصصی‌سازی به‌ویژه توجه به صنایع شیمیایی که از ارزش‌افزوده بسیار بالایی در بخش صنعت برخوردار و دارای تکنولوژی‌های تولید نسبتاً همگنی در کشور است در مطالعات قبلی مورد توجه قرار نگرفته است.

کشش جانشینی به‌معنای درصد جانشینی یک نهاده به‌جای نهاده دیگر بر منحنی هم مقداری تولید است. بر اساس محاسبات انجام شده در این پژوهش سرمایه و انرژی در بخش صنایع شیمیایی در طول دوره مورد مطالعه به‌صورت جانشین یکدیگر عمل می‌کنند. این مطلب هم در مورد انرژی الکتریکی و هم در مورد سایر حامل‌های انرژی صادق است. البته لازم به ذکر است که مقادیر به‌دست آمده برای کشش‌های جانشینی قیمتی مربوط به دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۶-۱۳۷۷) بوده، بنابراین آثار هدفمندسازی یارانه‌ها و تحولات نرخ بهره به‌دلیل نبود داده‌های مربوط به دوره هدفمندی در منابع آماری در دوره مورد بررسی وجود ندارد و در صورتی که این آثار لحاظ شوند ممکن است نتایج متفاوتی حاصل گردد.

مقادیر مثبت کشش جانشینی قیمتی آلن نشان‌دهنده وجود رابطه جانشینی بین کار و سرمایه هستند. مقدار این کشش برای سرمایه- انرژی الکتریکی (۰/۱۲۶) و برای سرمایه-سایر حامل‌های انرژی (۰/۶۹۸) به‌دست آمده است. همچنین کشش‌های خودی و متقاطع جانشینی بیانگر بی‌کشش بودن نهاده سرمایه نسبت به تغییر در قیمت انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی می‌باشد، در حالی که حامل‌های انرژی اعم از برق و سایر حامل‌ها نسبت به تغییر یک درصدی در قیمت سرمایه واکنش نشان داده و تقاضای آنها به‌ترتیب به میزان (۰/۱۰۹) و (۰/۶۰۳) درصد افزایش می‌یابد، همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده کشش‌های قیمتی موریشما برای نهاده‌های سرمایه و انرژی مثبت می‌باشند که دلالت بر افزایش نسبت

1. Rebound Effect

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

سرمایه بر انرژی به‌ازای افزایش در قیمت سرمایه یا انرژی دارند، بنابراین کاهش قیمت کالاهای سرمایه‌ای برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست می‌تواند به‌عنوان یک پیشنهاد سیاستی مطرح گردد.

منابع

استیونس، پل (۱۳۹۰)، *اقتصاد انرژی*، ترجمه علی طاهری و جعفر حسینی، تهران: انتشارات دانشگاه امام صادق (ع).

اکبریان، رضا و حمید رفیعی (۱۳۸۵)، "تخمین کشش جانشینی سرمایه و نیروی کار صنایع ایران" *فصلنامه بررسی‌های اقتصادی*، سال ۳، شماره ۴.

باستان‌زاد، حسین (۱۳۷۶)، "برآورد کشش جزئی مستقیم و متقاطع آلن برای حامل‌های انرژی در جمهوری اسلامی ایران طی دوره (۱۳۷۵-۱۳۴۷)"، *مجله برنامه و بودجه*، شماره ۳۳.

شریفی، علیمراد و ابوذر شاکری (۱۳۹۰)، "هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی و تحلیل تقاضای پویای نهاده انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، شماره ۳.

شریفی، علیمراد، صمدی، سعید، احمدزاده، عزیز و آزاد خانزادی (۱۳۸۸)، "جانشینی بین نهاده انرژی با سرمایه در بخش فلزات اساسی"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، صص ۱۵۵-۱۲۹.

شکیبایی، علیرضا، صادقی، زین‌العابدین و حسن اعمی بنده‌قرای (۱۳۸۸)، "تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش جانشینی در بخش صنعت در بلندمدت"، *فصلنامه جستارهای اقتصادی*، صص ۱۵۵-۱۳۳.

زراءنژاد، منصور و الهه انصاری (۱۳۸۶)، "اندازه‌گیری بهره‌وری سرمایه در صنایع بزرگ استان خوزستان"، *فصلنامه بررسی‌های اقتصادی*، شماره ۴.

Berndt, E. R. & D. O. Wood (1975), "Technology, Prices and the Derived Demand for Energy", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 56, PP. 259-68.

Broadstock, David C. (2008), "Non-Linear Technological Progress and the Substitutability of Energy for Capital: An Application Using the Translog Cost Function", In SEEDS 120.

Chambers, Robert. G. (1988), "Applied Production Analysis, Dual Approach", Cambridge University Press.

Chichilnisky, Graciela & Heal Geoffrey (1983), "Energy-Capital Substitution: A General Equilibrium Analysis", In International Institute for Applied Systems Analysis.

Christopoulos, D. K. (2000), "The Demand for Energy in Greek Manufacturing", *Energy Economic*, Vol. 22, PP. 569-586.

Edward A. Hudson & Dale W. Jorgenson (1974), "U.S. Energy Policy and Economic Growth (1975-2000)", *Bell Journal of Economics the RAND Corporation*, Vol. 5, No. 2, PP. 461-514.

Feng, Yi (2000), "Dynamic Energy–Demand Models: A Comparison", *Energy Economic*, Vol. 22, PP. 285-279.

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

Fiorito, Giancarlo (2011), "Capital-Energy Substitution for Climate and Peak Oil Solutions? An International Comparison Using the EU-KLEMS Database", In Institute for Environmental Science and Technology, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Cerdanyola), Spain.

Field, B. C. & C. Grebenstein (1980), "Capital-Energy Substitution in U.S. Manufacturing", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 2, PP. 212-207.

Frondel, Manuel (2010), "Substitution Elasticity's: A Theoretical and Empirical Comparison", Discussion Paper No. 00-31 33.

Griffin, J. & P. Gregory (1976), "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses", *American Economic Review*, Vol. 66, PP. 845-857.

Koschel, Henrike (2000), "Substitution Elasticity's between Capital, Labour, Material, Electricity and Fossil Fuels in German Producing and Service Sectors", Discussion Paper No. 00-31.

Krishnapillai, Sooriyakumar & Henry Thompson (2012), "Cross Section Translog Production and Elasticity of Substitution in U.S. Manufacturing Industry", *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 2, PP. 50–54.

Mao-Lung Huang; Shu-Yi Liao & Huei-Yann Jeng (2006), "Substitution between Energy and Non-Energy Inputs in Taiwan's Manufacturing Sector", Department of Applied Economics.

Mark J. Koetse Henri L. F. de Groot & Raymond J. G. M. Florax (2006), "Capital-Energy Substitution and Shifts in Factor Demand: A Meta-Analysis", Tinbergen Institute Discussion Paper.

Sorrell, Steve (2008), "Energy-Capital Substitution and the Rebound Effect", St. John's College, Oxford.

Syed, F. M. (2000), "The Energy Demand in the Manufacturing Sector of Pakistan: Some Further Result", *Energy Economics*, Vol. 22, PP. 641-648.

Tatom, John A. (1979), "Energy Prices and Capital Formation", Federal Reserve Bank of ST. Lows.

Thompson, Henry (2006), "The Applied Theory of Energy Substitution in Production", Auburn University.

Thompson, H., Caloghiro, Y. & A. Mourelatos (1997), "Industrial Energy Substitution during the 1980s in the Greek Economy", *Energy Economics*, Vol. 19, PP. 476–91.

Prywes, M. (1986), "A Nested CES Approach to Capital-Energy Substitution", *Energy Economics*, Vol. 8, PP. 22-28.

Uzawa, H. (1962), "Production Functions with Constant Elasticity's of Substitution", *Review of Economic Studies*, Vol. 29, PP. 291-9.

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]

[Downloaded from qjerp.ir on 2026-06-11]