# بررسی رابطهٔ نهاده‌های تولید و حامل‌های انرژی در صنعت ایران

**محمود شهبازی** | mahmood_shbz@yahoo.com
کارشناس‌ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی اجتماعی،
موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی

**مهدی فدائی** | m.fadaee@imps.ac.ir
استادیار گروه اقتصاد موسسه عالی آموزش و پژوهش
مدیریت و برنامه‌ریزی (نویسنده مسئول)

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۹ | پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۸

**چکیده:** در این مطالعه، با برآورد توابع هزینه‌های بنگاه و تقاضای نهاده‌های تولید در بخش صنعت طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ در چارچوب یک مدل پویا و استخراج کشش‌های قیمتی و جانشینی میان نهاده‌ها، سعی در شناسایی رابطهٔ جانشینی یا مکملی میان نهاده‌های تولید و نیز حامل‌های انرژی می‌شود. در این پژوهش با استفاده از الگویی پویا سیستم معادلات تقاضای نهاده‌های تولید تخمین زده و در ادامه، کشش‌های جانشینی و قیمتی نهاده‌های تولید محاسبه می‌شود. نتایج استخراج‌شده از این مطالعه بیانگر آن است که از سال ۸۴ تا ۸۹، نهاده‌های انرژی و سرمایه مکمل نیروی کار و نهاده‌های انرژی و نیروی کار مکمل سرمایه هستند. همچنین، سرمایه و نیروی کار، جانشین انرژی می‌شوند. اما این روابط در دورهٔ سال‌های ۹۰ تا ۹۲ تغییر یافته و میان همهٔ نهاده‌های تولید، رابطهٔ جانشینی کم‌کشش برقرار است. همچنین، نتایج این پژوهش بیانگر این موضوع است که میان همهٔ حامل‌های انرژی در بخش صنعت، رابطهٔ جانشینی وجود دارد. به‌علاوه، بررسی کشش‌های قیمتی تقاضای حامل‌ها، روند کاهش تقاضای همهٔ حامل‌های انرژی را بر اثر افزایش قیمت این حامل‌ها در مسیر کوتاه‌مدت به بلندمدت نشان می‌دهد.

**کلیدواژه‌ها:** نهاده‌های تولید، حامل‌های انرژی، تقاضای نهاده‌ها، الگوی پویا، نهادهٔ شِبه‌ثابت، داده‌های تابلویی.

**طبقه‌بندی JEL:** Q41, D24, C33.

**مقدمه**

هدفمندی یارانه‌ها و اصلاح قیمت حامل‌های انرژی، یکی از مباحث مهم اقتصاد کشور طی سال‌های اخیر بوده است. وجود ذخایر بزرگ نفت و گاز در ایران سبب شده است که فرآورده‌های این منابع با قیمتی پایین‌تر از قیمت جهانی در اختیار مصرف‌کنندگان قرار بگیرد. این قیمت پایین‌تر و انحراف از سطح تعادلی، موجب تخصیص ناکارای این منابع می‌شود. بررسی قیمت حامل‌های اصلی انرژی در دهه‌های گذشته، به‌روشنی انحراف شدید قیمتی را نمایان می‌سازد که پیامد آن افزایش فزاینده و پرشتاب مصرف انرژی و اتلاف شدید آن در اقتصاد است. کاهش نسبت قیمت حامل‌های انرژی به قیمت دیگر نهاده‌های تولید، سبب کاهش سطح فن‌آوری تولید و جایگزینی مستمر انرژی به جای سایر عوامل تولید به‌دست تولیدکننده می‌شود.

این مسأله که آیا سرمایه، انرژی و نیروی کار، نهاده‌های جانشین یا مکمل در جریان تولید هستند، همواره مورد توجه اقتصاددانان بوده است. به طور ویژه، جایگزینی سرمایه و انرژی از بحث‌های کلیدی در فرآیند تولید است. با گذشت زمان، هرچه سرمایه فرسوده‌تر شود، بنگاه برای تولید میزانی مشخص از محصول با همان سرمایه مستهلک شده، انرژی بیش‌تر مصرف می‌کند تا انرژی اتلاف‌شدهٔ ناشی از استهلاک سرمایه در فرآیند تولید را جبران نماید. از طرف دیگر، هنگامی که گرایش در به‌کارگیری فناوری سرمایه‌بر به‌وجود می‌آید، بنگاه فناوری انرژی‌بر را با گذشت زمان از فرآیند تولید خارج می‌کند و تقاضای انرژی کاهش می‌یابد؛ بنابراین، در نگاه نخست به‌نظر می‌رسد یک رابطهٔ جایگزینی میان تغییر سرمایه و تغییر انرژی وجود داشته باشد. اما پاسخ دقیق به این موضوع، نیازمند مطالعه و بررسی بیش‌تر است. اگر انرژی و سرمایه مکمل هم باشند، رشد تولیدات صنعتی نیازمند افزایش هر دو نهاده است. در مقابل، اگر انرژی و سرمایه جانشین باشند، قیمت‌های نسبی این دو نهاده، تعیین‌کنندهٔ میزان به‌کارگیری هر نهاده در فعالیت‌های تولیدی است. از این‌رو، کارآمدی الگوی شناسایی رابطهٔ میان انرژی و سرمایه به تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران اقتصادی کمک خواهد کرد.

همچنین، بررسی جانشینی میان حامل‌های انرژی، یکی از جستارهای مهم سیاست‌گذاری انرژی است. بسیاری از سیاست‌های انرژی، به‌وسیلهٔ تغییر قیمت حامل‌های انرژی به‌طور مستقیم مصرف آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییر قیمت هر یک از حامل‌های انرژی، نه تنها بر ترکیب به‌کارگیری نهاده‌های سرمایه و انرژی مؤثر است، بر جانشینی میان خود حامل‌های انرژی نیز تأثیرگذار خواهد بود؛ بنابراین، ارزیابی اثرات سیاست‌های قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی بر جانشینی، تغییر در مصرف هر یک از آن‌ها و تغییر در سایر نهاده‌ها، همواره برای تصمیم‌گیران مهم بوده است.

چون در الگوهای ایستا به مسیر تعدیل نهاده‌های تولید توجهی نمی‌شود، نمی‌توان به نتایج آن‌ها تکیه کرد؛ از این‌رو، استفاده از الگوهای پویا که مسیر تعادل کوتاه‌مدت به یک تعادل بلندمدت را در نظر می‌گیرند، ضرورت دارد.

این پژوهش قصد دارد با برآورد تابع تقاضای هر یک از نهاده‌های تولید (انرژی، نیروی کار و سرمایه) در بخش صنعت، کشش‌های قیمتی تقاضای هر یک از نهاده‌های تولید و حامل‌های انرژی را محاسبه نموده و رابطهٔ جانشینی یا مکملی میان حامل‌های انرژی و نهاده‌های تولید را در بخش صنعت مشخص کند.

## پژوهش‌های پیشین

تاکنون مطالعه‌هایی گوناگون دربارهٔ جانشینی یا مکملی انرژی و سرمایه در ادبیات مربوطه انجام شده است. از میان مطالعه‌هایی که در زمینهٔ بررسی رابطهٔ جانشینی میان سرمایه و انرژی انجام شده است، می‌توان به چند مورد برجسته آن اشاره نمود.

### مطالعه‌های خارجی

برنت و وود (۱۹۷۵)[1] با بررسی صنعت ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۷۱-۱۹۴۷ و به‌دست آوردن کشش‌های جانشینی آلن نشان دادند که انرژی و نیروی کار به میزانی ناچیز امکان جانشینی دارند؛ درحالی که انرژی و سرمایه مکمل یکدیگر هستند. فاز (۱۹۷۷)[2] نیز رابطهٔ مکملی ناچیزی را میان انرژی و سرمایه و رابطهٔ جانشینی میان دیگر عوامل به‌دست آورده است. همچنین، نشان می‌دهد که الکتریسیته با گازمایع و گاز طبیعی، نفت کوره با گاز مایع و گازوئیل، و زغال‌سنگ با گازوئیل رابطهٔ مکمل دارند. دیگر روابط میان حامل‌های انرژی نیز از نوع جانشینی است. ولش و اوکسن (۲۰۰۵)[3] با مطالعهٔ مصرف انرژی آلمان طی سال‌های ۱۹۹۴- ۱۹۷۶ نشان دادند در حالی که انرژی جانشین سرمایه است، سرمایه رابطهٔ مکمل با انرژی دارد. به علاوه، انرژی جانشینی قوی‌تر برای نیروی کار با مهارت کم، نسبت به نیروی کار با مهارت زیاد است و نیروی کار با مهارت کم، مکملی قوی‌تر نسبت به نیروی کار با مهارت زیاد برای انرژی است. آرنبرگ و بیورنر (۲۰۰۷)[4] در مقاله‌ای با نام «جانشینی میان انرژی، سرمایه و نیروی کار در بنگاه‌های صنعتی: تحلیل خرد داده‌های تابلویی» نشان دادند که انرژی با سرمایه رابطهٔ مکمل دارد. ما

1. Brendt & Wood (1975)
2. Fuss (1977)
3. Welsch & Ochesn (2005)
4. Arnberg & Biorner (2007)

و همکاران (۲۰۰۸)[1] در مقاله‌ای دربارهٔ صنعت چین نتیجه گرفته‌اند که میان همهٔ عوامل تولید سرمایه، نیروی کار و انرژی رابطهٔ جانشینی برقرار است. سرلتیس و همکاران[2] (۲۰۱۰) با استفاده از تابع هزینهٔ ترانسلوگ به بررسی تقاضای حامل‌های انرژی در ایالات متحده طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۶۰ پرداخته‌اند. آن‌ها به دلیل تفاوت جانشینی حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف اقتصاد، هریک از بخش‌های صنعتی، تجاری، مسکونی و تولید برق را به‌طور جداگانه مطالعه کرده‌اند. در بخش صنعت نشان داده شده که میان زغال‌سنگ و گاز طبیعی کشش جانشینی منفی است که بیانگر وجود رابطهٔ مکملی میان آن‌هاست. سایر حامل‌ها در بخش صنعت جانشین هم بوده‌اند. بولاک و کوچ (۲۰۱۰)[3] تقاضای عوامل تولید در بخش صنعت ترکیه را با برآورد یک تابع هزینهٔ ترانسلوگ مدل‌سازی نموده و نشان داده‌اند که الکتریسیته و سرمایه و همچنین الکتریسیته و نیروی کار مکمل یکدیگرند. فیوریتو (۲۰۱۱)[4] نیز با مطالعهٔ کارگاه‌های صنعتی هفت کشور عمدهٔ OECD در سال‌های ۲۰۰۵ـ۱۹۷۰ نشان می‌دهد که رابطهٔ مکملی یا جانشینی بسیار ضعیف میان انرژی و سرمایه وجود دارد که البته رابطهٔ مکملی در کشورهای آلمان، اسپانیا و انگلیس بسیار قوی است. وی از یافته‌های خود نتیجه می‌گیرد که انرژی ارزان اما با عرضهٔ کم، منجر به کاهش استفاده از سرمایه می‌شود و سرانجام، سطح تولید را کاهش می‌دهد.

پیندایک (۱۹۷۹)[5] به بررسی تقاضای صنعتی انرژی در تعدادی از کشورهای صنعتی با هدف تعیین میزان جانشینی سرمایه، نیروی کار و انرژی با یکدیگر طی سال‌های ۱۹۷۳- ۱۹۵۹ پرداخته است؛ او تابع تقاضای انرژی بخش صنعت را با رویکرد دو مرحله‌ای (۱۹۷۷) و با به‌کارگیری تابع هزینهٔ ترانسلوگ استخراج نموده است. چون تقاضای عوامل تولید و حامل‌های انرژی نمی‌توانند به طور آنی و همزمان با تغییر قیمت‌های نسبی تعدیل شوند، پیندایک برای نشان دادن اثرات جانشینی از یک الگوی تعدیل پویا استفاده کرد. یافته‌های او نشان می‌دهد که کشش جانشینی برای انرژی و سرمایه مثبت است. بنابراین، این نهاده‌های تولید جانشین هم هستند. کریستوپولوس (۲۰۰۰)[6] اما با مطالعهٔ بخش صنعت یونان و با استفاده از ساختاری پویا نشان داد که امکان جانشینی حامل‌های انرژی در صنعت یونان محدود است. همچنین، انرژی جانشین سرمایه و نیروی کار نیست و سرمایه و نیروی کار نیز امکان جانشینی کمی با هم دارند. محمود (۲۰۰۰)[7] در بخش صنعت پاکستان نشان می‌دهد

1. Ma *et al.* (2008)
2. Serletis, Timilsina & Vasetsky
3. Bölük & Koç (2010)
4. Fiorito (2011)
5. Pindyck (1979)
6. Christopoulos (2000)
7. Mahmud (2000)

که جانشینی میان انرژی و نهاده‌های غیرانرژی محدود است. به همین سبب، شوک‌های قیمتی انرژی ممکن است به افزایش هزینهٔ تولید منجر شود. یی (۲۰۰۰)[1] با مطالعهٔ صنعت سوئد، الکتریسیته و سرمایه را در بسیاری از صنایع جانشین هم می‌داند. بوراناکوناپورن و اوزکوفسکی (۲۰۰۷)[2] نیز در چارچوب مدلی پویا و برای صنعت تایلند نشان داده‌اند که تعدیل انباشت سرمایه به سمت سطح بهینه‌اش کُند است. همچنین، آن‌ها انرژی و سرمایه را نهادهایی مکمل یافته‌اند.

**مطالعه‌های داخلی**

شکیبایی و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای با نام «تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش جانشینی قیمتی نهاده انرژی در بخش صنعت در بلندمدت» با استفاده از داده‌های کارگاه‌های صنعتی با ۵۰ نفر کارکن و بیش‌تر، میان سال‌های ۱۳۸۵ – ۱۳۷۴ 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 به طور محسوسی کاهش می‌یابد.

صمدی و همکاران (۱۳۸۸) با هدف برآورد تابع تقاضای انرژی طی دوره ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۲ در صنایع تولید فلزات اساسی ایران، رابطهٔ مکملی یا جانشینی برق و نهاده‌های کار، سرمایه و سایر حامل‌های انرژی را در مدلی ایستا بررسی می‌کنند. آن‌ها دریافتند که با توجه به داده‌های مورد بررسی، سرمایه و برق مکمل هم هستند. در حالی که سرمایه با سایر حامل‌های انرژی رابطه جانشینی دارد و جانشینی میان برق و سایر حامل‌های انرژی تأیید نمی‌شود.

شریفی و شاکری (۱۳۹۰) در مقالهٔ خود با تحلیل تقاضای پویای نهادهٔ انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران دریافتند که در حرکت از کوتاه‌مدت به بلندمدت، اندکی حساسیت نهاده‌های تولید نسبت به تغییرات قیمت خودشان افزایش می‌یابد. همچنین، با توجه به کشش‌های قیمتی متقاطع، دو نهادهٔ الکتریسیته و حامل‌های انرژی مکمل یکدیگر هستند و میان باقی نهاده‌ها رابطهٔ جانشینی برقرار است. سبحانی ثابت و منظور (۱۳۹۳) در مقاله‌ای به برآورد کشش جانشینی سرمایه و انرژی در بخش صنایع شیمیایی ایران پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از تابع هزینهٔ ترانسلوگ ۴ نهاده‌ای (سرمایه، نیروی کار، انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی) و برای داده‌های سری زمانی سال‌های ۱۳۸۶ – ۱۳۷۷ سهم‌های هزینه‌ای برای نهاده‌های تولید برآورد می‌شود. محاسبهٔ کشش موریشیما بیانگر رابطهٔ جانشینی نهاده‌های سرمایه و انرژی در دورهٔ

1. Yi (2000)
2. Buranakunaporn & Oczkowski (2007)

مورد پژوهش است. همچنین، مقدار کشش متقاطع قیمتی نشان میدهد این دو نهادهٔ انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی در دورهٔ مورد بررسی مکمل یکدیگرند.

## مبانی نظری

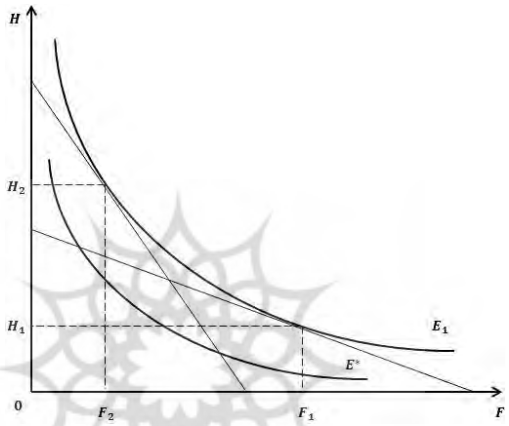
بر اساس مطالعه آرنبرگ و بیورنر (۲۰۰۷)، بیش‌ترِ مطالعاتی که با داده‌های سری زمانی انجام شده، نهاده‌های تولید به‌ویژه انرژی و سرمایه را مکمل دانسته‌اند؛ در صورتی که مطالعه‌ها با داده‌های تابلویی نشان داده‌اند این عوامل جانشین هستند. داده‌های سری زمانی بیانگر روابط کوتاه‌مدت و داده‌های ترکیبی اثرات بلندمدت را نشان می‌دهند. بنابراین، آرنبرگ و بیورنر نتیجه گرفته‌اند که برای کشف ارتباط میان انرژی و سرمایه باید از مدل‌های کارآمدی استفاده کرد که روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت را به‌درستی مشخص نمایند. مدل‌های به‌کار رفته برای این منظور به دو دستهٔ مدل‌های ایستا و پویا تقسیم می‌شوند. مدل‌های ایستا میان دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت تفاوتی قائل نمی‌شوند. در واقع، نتیجه‌ای که مدل‌های ایستا به‌دست می‌دهند، بیانگر تعادل بلندمدت هستند؛ چراکه در دورهٔ بلندمدت، همهٔ نهاده‌ها تغییرپذیر هستند. اما در کوتاه‌مدت ممکن است برخی از نهاده‌ها امکان تعدیل کامل را نداشته و به‌اصطلاح شبه ثابت باشند. در مدل‌های پویای تقاضای نهاده‌های تولید، به مسیری که از تعادل کوتاه‌مدت به سمت تعادل بلندمدت ختم می‌شود، توجه می‌شود. بنابراین، نتایج مدل‌های پویا نسبت به مدل‌های ایستا، قابلیت اتکای بیش‌تری دارند. در این پژوهش با به‌کارگیری یک مدل پویای تقاضای نهاده‌های تولید در صنعت ایران به تعیین امکان جانشینی نهاده‌های تولید در کوتاه‌مدت و بلندمدت خواهیم پرداخت.

## جانشینی کوتاه‌مدت و بلندمدت

دورهٔ کوتاه‌مدت برای یک بنگاه، دوره‌ای است که در طول آن، نهادهٔ شبه ثابت (در این پژوهش انباشت سرمایه) ثابت است. دورهٔ بلندمدت نیز دوره‌ای است که در طول آن، همهٔ نهاده‌ها امکان تغییر دارند. در اندازه‌گیری کشش تقاضای انرژی به نظر می‌رسد ثابت بودن سرمایه در کوتاه‌مدت و تغییر آن در بلندمدت روی کشش تقاضای انرژی مؤثر است و نباید آن را نادیده گرفت. این موضوع از طریق دو شکل (۱و۲) توضیح داده می‌شود.

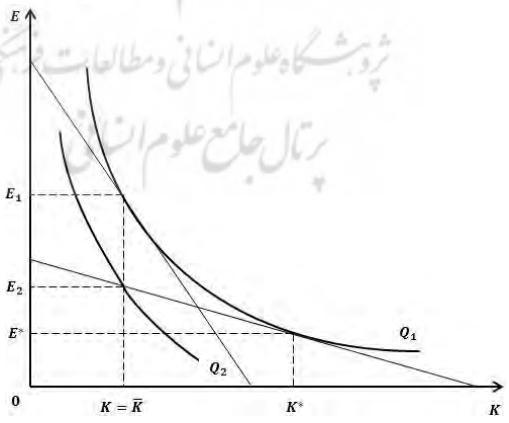
شکل(۱) انتخاب میان دو حامل انرژی H و F برای فراهم آمدن مقدار ثابت انرژی E را نشان می‌دهد. با فرض قیمت‌های اولیهٔ حامل‌های انرژی و در حالت تعادل، ترکیبی از سوخت‌ها ($H_1$ و $F_1$) را خواهیم داشت. در شکل (۲) انتخاب میان ترکیب انرژی و سرمایه برای سطح محصول Q رسم شده

است. با فرض تعادل اولیه در ترکیب سوخت‌ها و عوامل تولید ترکیبی شامل انرژی $E_1$ (برابر $E_1$ در شکل (۱)) و سرمایه ($K = \overline{K}$) را برای سطح محصول $Q_1$ خواهیم داشت. اکنون قیمت حامل انرژی F را افزایش می‌دهیم. این باعث می‌شود که نهادهٔ H از $H_1$ به $H_2$ افزایش و نهادهٔ F از $F_1$ به $F_2$ کاهش یابد (مقدار انرژی و سطح محصول همچنان ثابت است).




**شکل ۱. منحنی انرژی یکسان با ترکیب‌های مختلف دو حامل انرژی**

منبع: (Lynk, 1989)




**شکل ۲: منحنی تولید یکسان با ترکیبات مختلف انرژی و سرمایه**

منبع: (Lynk, 1989)

معنی این افزایش قیمت F، افزایش قیمت انرژی نسبت به سرمایه است. ترکیب تعادلی جدید عوامل تولید، $E^*$ و $K^*$ خواهد بود. اما این ترکیب تعادلی به دلیل ثابت بودن انباشت سرمایه، شدنی نیست. در نتیجه، بنگاه با در نظر گرفتن قیمت نسبی جدید، انرژی کل را به $E_2$ و سطح محصول را به $Q_2$ کاهش می‌دهد. بنابراین، افزایش قیمت F از دو طریق روی تقاضای آن اثر می‌گذارد. نخست از طریق جانشینی میان سوختی و دوم از طریق جانشینی عامل انرژی، هنگامی که تقاضای آن در سطحی پایین‌تر قرار گرفت.

تحلیل بالا لزوم اندازه‌گیری کشش‌های تقاضا به روشی متفاوت را تقویت می‌کند. اگر به دنبال اندازه‌گیری پاسخ یک حامل انرژی به تغییر قیمت خودش باشیم، اندازه‌گیری کشش جزئی قیمتی برای مقدار ثابت از انرژی کل، کافی نیست. چون در آن، فقط جانشینی میان حامل‌های انرژی در نظر گرفته شده است. کشش قیمتی کامل، اثر تغییر قیمت F روی کل تقاضای انرژی را به حساب می‌آورد. بنابراین، کشش کامل از کشش جزئی بزرگ‌تر خواهد بود. آشکارا کشش قیمتی کامل برای پیش‌بینی تقاضا مناسب‌تر است. به طور مشابه، اگر نیازمند پیش‌بینی تقاضای بلندمدت انرژی یا حامل‌های آن باشیم باید اثر مسیر انباشت سرمایه را نیز به حساب آوریم (Lynk, 1989).

بحث بالا بر این حقیقت تأکید دارد که تقاضای انرژی یا حامل‌های آن، یک فرآیند پویاست. بنابراین، نیازمند الگویی مناسب هستیم که بتواند اثر ثابت‌بودن سرمایه در کوتاه‌مدت و انباشت سرمایه در بلندمدت را روی تقاضای انرژی یا حامل‌های آن در نظر بگیرد. در ادامه الگوی پیشنهادی ارائه شده است.

### معرفی مدل پویای برآورد تقاضای انرژی

تصریح مدل بر اساس رویکرد مدل‌سازی پویایی است که توسط لوکاس[1] (۱۹۶۷) ارائه و بعدها توسط تریدوی[2] (۱۹۷۱و۱۹۷۴) بهبود داده شد و برنت و همکاران[3] (۱۹۷۷و۱۹۸۰) آن را گسترش دادند. در این رویکرد، هزینه‌های تعدیل بخش‌های انرژی‌بر، در تصمیم‌گیری بنگاه‌ها برای استفاده از انرژی، وارد فرآیند بهینه‌سازی میان دوره‌ای شده است. با فرض جدایی‌پذیری ضعیف میان عوامل تولید و هموتتیک بودن تابع این عوامل (Fuss, 1977)، تابع تولید بنگاه به صورت رابطه (۱) فرض می‌شود:

1. Lucas
2. Treadway
3. Berndt *el al*.

$$Q=Q(V, K), \quad (۱)$$

که در آن Q محصول، V بردار نهاده‌های متغیر، K انباشت سرمایه و t زمان است. بر اساس مدل‌های پیندایک و روتمبرگ[1] (۱۹۸۳)، برنت و هس[2] (۱۹۸۶)، بازو و مورنو[3] (۲۰۰۸)، تاناگاولو و چونگویلایوان[4] (۲۰۱۱)، آرهی و سانگ[5] (۲۰۱۴) و استینباکس و نیوهاف[6] (۲۰۱۴) که انباشت سرمایه را نهاده شبه ثابت در نظرگرفته‌اند، فناوری تولید به‌وسیلهٔ یک تابع هزینهٔ مقید (در سطح انباشت سرمایه و سطح محصول در دوره t) به صورت رابطه (۲) ارائه می‌شود:

$$C = C(W, K, Q, t) \quad (۲)$$

که در آن W بردار قیمت نهاده‌های متغیر است. هزینهٔ تغییر انباشت سرمایه، $\dot{K}$ برای بنگاه نیز به‌وسیلهٔ تابعی صعودی و محدب به صورت $C'(\dot{K})$ فرض می‌شود. در ادامه، مجموع هزینهٔ مقید تولید و تغییر انباشت سرمایه را به صورت $G(w, K, \dot{K}, Q, t)$ نشان می‌دهیم و فرض می‌کنیم که تابعی نزولی و محدب نسبت به انباشت سرمایه است (Morrison & Berndt, 1981).

اکنون مسألهٔ بهینه‌سازی پیشِ روی بنگاه، انتخاب نهادهٔ شبه ثابت و نهاده‌های متغیر برای کمینه کردن ارزش حال هزینهٔ تولید محصول Q است.

$$\min J = \int_0^{\infty} e^{-rt}\{G(w, K, \dot{K}, Q, t) + uK\}\, dt \quad (۳)$$

که در آن G(0) تابع هزینهٔ مقید (کوتاه‌مدت)، r نرخ تنزیل و u هزینهٔ استفاده از سرمایه است. کمینه کردن J با انتخاب مسیر زمانی متغیر کنترل $\dot{K}$، مشروط بر سطح داده شدهٔ متغیر وضعیت k، و تولید Q، در زمان t ادامه می‌یابد. برای این منظور، تابع همیلتون به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود:

$$H(K, \dot{K}, \mu) = e^{-rt}\{G(w, K, \dot{K}, Q, t) + uK\} + \mu\dot{K} \quad (۴)$$

شروط لازم برای کمینه کردن این رابطه عبارت است از:

$$\frac{\partial H}{\partial \dot{K}} = 0 \rightarrow e^{-rt}(G_{\dot{K}} + \mu) = 0 \quad (۵)$$

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial K} \rightarrow \dot{\mu} = e^{-rt}(G_K + u) \quad (۶)$$

1. Pindyck & Rotemberg
2. Berndt & Hesse
3. Bazo & Moreno
4. Thangavelu & Chongvilaivan
5. Rhee & Song
6. Steinbuks & Neuhoff

که در آن، زیرنویس نشانهٔ مشتق جزئی است. با مشتق‌گیری نسبت به زمان از رابطهٔ (۵) و قرار دادن رابطهٔ (۶) در آن خواهیم داشت:

$$G_{\dot{K}\dot{K}}\ddot{K} + G_{\dot{K}K}\dot{K} - rG_{\dot{K}} - G_K - u = 0 \qquad (۷)$$

در حالت پایا ($K = K^*$ و $\dot{K} = 0$) معادلهٔ (۷) به صورت معادله (۸) به‌دست می‌آید:

$$G_K(w, K^*) + rG_{\dot{K}}(w, K^*) + u = 0 \qquad (۸)$$

تقاضای بهینه برای نهادهٔ شبه ثابت ($K^*$) از حل این معادله به‌دست می‌آید. معادلهٔ (۸) بیان می‌کند که در حالت پایا، هزینهٔ حاشیه‌ای سرمایه برابر با هزینهٔ فرصت سرمایه به علاوهٔ هزینهٔ حاشیه‌ای تعدیل ناشی از سرمایه‌گذاری خالص است.

تریدوی (۱۹۷۱و۱۹۷۴) نشان داد که تقاضای بهینه برای عامل شبه ثابت می‌تواند در یک معادلهٔ دیفرانسیل خطی به صورت رابطه (۹) برقرار باشد:

$$\dot{K} = \lambda(K^* - K) \qquad (۹)$$

که در آن $\lambda$ ضریب تعدیل فاصلهٔ انباشت سرمایه از سطح بهینه آن است. مقادیر نزدیک به صفر، نشانگر تعدیل کُند انباشت سرمایه و مقادیر نزدیک به یک، نشان‌دهندهٔ تعدیل سریع آن است .

تقریب خطی معادلهٔ (۷) در همسایگی $(K^*, 0)$ به صورت معادله (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$G_{\dot{K}\dot{K}}\ddot{K} + (G_{\dot{K}K} - G_{K\dot{K}} - rG_{\dot{K}\dot{K}})\dot{K} - (G_{KK} + rG_{\dot{K}K})(K - K^*) = 0 \qquad (۱۰)$$

با استفاده از رابطه (۹) و $G_{\dot{K}K} = G_{K\dot{K}}$، معادلهٔ (۱۰) به صورت معادله (۱۱) به‌دست می‌آید:

$$G_{\dot{K}\dot{K}}\lambda^2 + rG_{\dot{K}\dot{K}}\lambda - (G_{KK} + rG_{\dot{K}K}) = 0 \qquad (۱۱)$$

که از حل آن، $\lambda$ به‌دست خواهد آمد:

$$\lambda = -\frac{1}{2}\left(r - \left(r^2 + \frac{4(G_{KK} + rG_{\dot{K}K})}{G_{\dot{K}\dot{K}}}\right)^{\frac{1}{2}}\right) \qquad (۱۲)$$

برای استخراج تقاضای نهاده‌های متغیر (انرژی و نیروی کار) و نهادهٔ انباشت سرمایه از یک تابع کلی درجهٔ دو به صورت معادله (۱۳) استفاده می‌کنیم (شریفی و شاکری،۱۳۹۰):

$$G = v_G + \sum_i v_i P_i + v_K K + v_Q Q + v_t t + \frac{1}{2}\sum_i\sum_j v_{ij} P_i P_j + \sum_i v_{iK} P_i K + \sum_i v_{iQ} P_i Q + \sum_i v_{it} P_i t + \frac{1}{2}\left(v_{KK}K^2 + v_{\dot{K}\dot{K}}\dot{K}^2 + v_{QQ}Q^2\right) + v_{KQ}KQ \qquad (۱۳)$$

که در آن $i,j = E,L$ و $\nu_{ij} = \nu_{ji}\ , i \neq j$ هستند. چون محصول تولید شده در دورهٔ t به‌وسیله انباشت سرمایه در دوره پیش، $K_{t-1}$، تولید شده است، معادلات تقاضای عوامل متغیر با استفاده از لم شفارد[1] به صورت معادله (۱۴) خواهد بود:

$$E = \frac{\partial G}{\partial P_E} = \nu_E + \nu_{EE}P_E + \nu_{EL}P_L + \nu_{EK}K_{t-1} + \nu_{EQ}Q + \nu_{Et}t \qquad (۱۴)$$

$$L = \frac{\partial G}{\partial P_L} = \nu_L + \nu_{LL}P_L + \nu_{LE}P_E + \nu_{LK}K_{t-1} + \nu_{LQ}Q + \nu_{Lt}t \qquad (۱۵)$$

با استفاده از رابطهٔ (۸) انباشت سرمایه در حالت پایا به‌دست می‌آید:

$$K^* = -\frac{1}{\nu_{KK}}\left(\nu_K + \nu_{EK}P_E + \nu_{LK}P_L + \nu_{KQ}Q + u\right) \qquad (۱۶)$$

حال اگر در رابطهٔ (۹)، $\dot{K}$ را به صورت تقریبی با $\Delta K$ نشان دهیم و $K^*$ را از رابطهٔ (۱۶) در آن جایگذاری کنیم، مسیر بهینهٔ انباشت سرمایه به صورت رابطه (۱۷) استخراج می‌شود:

$$\Delta K = \lambda\left(-\frac{1}{\nu_{KK}}\left(\nu_K + \nu_{EK}P_E + \nu_{LK}P_L + \nu_{KQ}Q + u\right) - K_{t-1}\right) \qquad (۱۷)$$

سرانجام با در نظر گرفتن $\Delta K = K_t - K_{t-1}$، سرمایهٔ تعدیل‌شده از رابطهٔ (۱۸) به‌دست می‌آید:

$$K_t = \lambda\left(-\frac{1}{\nu_{KK}}\left(\nu_K + \nu_{EK}P_E + \nu_{LK}P_L + \nu_{KQ}Q + u\right)\right) + (1-\lambda)K_{t-1} \qquad (۱۸)$$

روابط (۱۴)، (۱۵) و (۱۸)، معادلات مربوط به تقاضای عوامل تولید هستند که باید برآورد شوند.

در گام دوم، یک زیرالگوی میان حامل‌های انرژی برای بررسی کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع میان حامل‌های انرژی ارائه می‌کنیم. برای این منظور، یک تقریب ترانسلوگ از تابع هزینهٔ انرژی به صورت رابطه (۱۹) در نظر می‌گیریم:

$$ln\,P_E = \beta_0 + \sum_i \beta_i\, ln\,P_{E_i} + \frac{1}{2}\sum_i\sum_j \beta_{ij} lnP_{E_i}\, lnP_{E_j} \qquad (۱۹)$$

که در آن $P_E$ شاخص قیمت انرژی است. چون $P_E$ قیمت انرژی به ازای هر واحد است؛ بنابراین، می‌تواند نشان دهندهٔ هزینه به ازای هر واحد انرژی نیز باشد. همچنین، i و j حامل‌های انرژی و $P_{E_i}$ قیمت حامل انرژی iام است. با استفاده از لم شفارد، معادلهٔ سهم حامل انرژی iام از هزینهٔ یک واحد انرژی به‌دست می‌آید:

$$\frac{\partial lnP_E}{\partial lnP_{E_i}} = S_i = \beta_i + \sum_j \beta_{ij}\, lnP_{E_j} \qquad (۲۰)$$

1. Lemma Shephard‹s

با اعمال محدودیت جمع‌پذیری، همگنی و تقارنی خواهیم داشت:

$$\sum_i \beta_i = 1\,,\quad \sum_i \beta_{ij} = \sum_j \beta_{ij} = 0\,,\quad \beta_{ij} = \beta_{ji}\,,\qquad i \neq j \tag{۲۱}$$

پس از مشخص شدن مدل، برآورد کامل پارامترها در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحلهٔ نخست، معادلات سهم هزینهٔ حامل‌های انرژی را با استفاده از روش اقتصادسنجی معادلات رگرسیون به‌ظاهر نامرتبط، برآورد می‌کنیم. پارامترهای به‌دست آمده از سیستم معادلات سهم هزینهٔ حامل‌های انرژی را در شاخص قیمت انرژی ($P_E$) جایگذاری نموده و برآوردی از آن را به‌دست می‌آوریم. در مرحله دوم، برآورد شاخص قیمت انرژی را در معادلات تقاضای نهاده‌های تولید جایگذاری می‌کنیم. سپس، سیستم معادلات تقاضای نهاده‌های تولید را برآورد کرده و در ادامهٔ کشش‌های جانشینی و قیمتی نهاده‌های تولید را محاسبه می‌نماییم.

### کشش‌های قیمتی تقاضا

کشش‌های جزئی قیمتی خودی و متقاطع تقاضای حامل‌های انرژی در کوتاه‌مدت، زیر این محدودیت که مقدار کل انرژی مصرفی ثابت باقی می‌ماند، برای تابع هزینهٔ ترانسلوگ به صورت رابطه (۲۲و۲۳) محاسبه می‌شوند:

$$\varepsilon_{ii}^{s} = \frac{\partial lnE_i}{\partial lnP_{E_i}} = \left[\frac{\beta_{ii} + S_i(S_i - 1)}{S_i^2}\right] S_i \tag{۲۲}$$

$$\varepsilon_{ij}^{s} = \frac{\partial lnE_i}{\partial lnP_{E_j}} = \left[\frac{\beta_{ij} + S_i S_j}{S_i S_j}\right] S_j \tag{۲۳}$$

کشش کامل قیمتی متقاطع تقاضای حامل‌های انرژی در کوتاه‌مدت که در آن اثر تغییر مجموع انرژی مصرفی گنجانده شده است، به صورت رابطه (۲۴) به‌دست می‌آید:

$$\varepsilon_{ij}^{*} = \frac{P_{E_j}}{E_i}\left(\frac{\partial E_i}{\partial P_{E_j}}\bigg|_{\bar{E}} + \frac{\partial E_i}{\partial E}\frac{\partial E}{\partial P_E}\frac{\partial P_E}{\partial P_{E_j}}\right) = \varepsilon_{ij}^{s} + \varepsilon_{EE} S_j = \varepsilon_{ij}^{s} + \frac{v_{EE} P_E}{E} S_j \tag{۲۴}$$

که در آن $\varepsilon_{EE}$ کشش خود قیمتی تقاضای کل انرژی در کوتاه‌مدت، $E_i$ تقاضای حامل انرژی i‌ام، E تقاضای انرژی کل و $P_E$ قیمت آن است (Pindyck, 1979).

کشش قیمتی متقاطع تقاضای حامل‌های انرژی در بلندمدت که در آن اثر تغییر انباشت سرمایه گنجانده شده است، به صورت رابطه (۱۵) به‌دست می‌آید:

$$\varepsilon_{ij}^{l} = \frac{P_{E_j}}{E_i}\left(\frac{\partial E_i}{\partial P_{E_j}}\bigg|_{\bar{K}} + \frac{\partial E_i}{\partial E}\frac{\partial E}{\partial K}\frac{\partial K}{\partial P_E}\frac{\partial P_E}{\partial P_{E_j}}\right) \quad (۲۵)$$

$$= \varepsilon_{ij}^{*} + \frac{P_{E_j}}{E_i}\left(\frac{E_i}{E}\frac{\partial E}{\partial K_{t-1}}\frac{\partial K_{t-1}}{\partial K_t}\frac{\partial K_t}{\partial P_E}\frac{\partial P_E}{\partial P_{E_j}}\right)$$

$$= \varepsilon_{ij}^{*} + \frac{P_{E_j}}{E_i}\left(\frac{E_i}{E}\frac{\partial E}{\partial K_{t-1}}\frac{\partial K_{t-1}}{\partial K_t}\frac{\partial K_t}{\partial P_E}\frac{P_E}{P_{E_j}}S_j\right)$$

$$= \varepsilon_{ij}^{*} + \left(\frac{1}{E}\frac{\partial E}{\partial K_{t-1}}\frac{\partial K_{t-1}}{\partial K_t}\frac{\partial K_t}{\partial P_E}P_E S_j\right)$$

$$= \varepsilon_{ij}^{*} + \left(\frac{1}{E}\nu_{EK}\frac{1}{1-\lambda}\frac{-\lambda\,\nu_{EK}}{\nu_{KK}}P_E S_j\right)$$

رابطهٔ (۲۵) بر اساس لینک (۱۹۸۹) به‌دست آمده است.

کشش‌های قیمتی تقاضای عوامل تولید نیز در کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌ترتیب برابر خواهند بود با:

$$e_{xy}^{s} = \frac{\partial lnx}{\partial lnp_y} = \frac{p_y}{x}\left(\frac{\partial x}{\partial p_y}\bigg|_{\bar{K}}\right) \quad (۲۶)$$

$$e_{xy}^{l} = \frac{dlnx}{dlnp_y} = \frac{p_y}{x}\left(\frac{\partial x}{\partial p_y}\bigg|_{\bar{K}} + \frac{\partial x}{\partial K}\frac{\partial K}{\partial p_y}\right) \quad (۲۷)$$

که در آن $x, y = E, K, L$ هستند.

### کشش جانشینی موریشیما

برای یافتن رابطهٔ جانشینی یا مکملی میان نهاده‌ها از کشش جانشینی موریشیما[1] (MES) استفاده می‌کنیم. بنابر تعریف، این کشش انحنای منحنی تولید یکسان را اندازه‌گیری می‌نماید و همچنین اثرات تغییر در قیمت نسبی را روی سهم نسبی هزینه بیان می‌کند. بلکوربی و راسل[2] (۱۹۸۹) این کشش را به صورت رابطه (۲۸) تعریف کرده‌اند:

$$MES_{ij} = \frac{\partial\, ln(x_i/x_j)}{\partial\, ln(p_j/p_i)} \quad (۲۸)$$

این تعریف در واقع، تعمیمی از کشش جانشینی هیکس[3] (۱۹۳۲) برای دو عامل کار و سرمایه است. بدون این‌که از کلیّت مسأله کاسته شود، می‌توان با ثابت درنظرگرفتن $P_i$ فرمول را به صورت رابطه (۲۹) نوشت:

1. Morishima Elasticity of Substitution
2. Blackorby & Russell
3. Hicks

$$MES_{ij} = \frac{\partial\, ln(x_i / x_j)}{\partial\, ln\, p_j} = \frac{\partial\, ln\, x_i}{\partial\, ln\, p_j} - \frac{\partial\, ln\, x_j}{\partial\, ln\, p_j} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{jj} \qquad (۲۹)$$

که در آن $MES_{ij}$، درصد تغییرات نسبت عامل $x_i$ به عامل $x_j$ وقتی قیمت عامل $x_j$ یک درصد تغییر کند را اندازه می‌گیرد. اگر $MES_{ij} < 0$، آنگاه عامل $x_i$ و عامل $x_j$ با تغییر $p_j$ مکمل هم و اگر $MES_{ij} > 0$، آنگاه عامل $x_i$ و عامل $x_j$ با تغییر $p_j$ جانشین یکدیگر خواهند بود. بنابر رابطهٔ (۲۹)، ارتباط میان کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع با کشش جانشینی موریشیما نمایان است. این رابطه بیان می‌کند که اثر تغییر در $p_j$ روی نسبت $(x_i / x_j)$، با ثابت در نظر گرفتن تولید، به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش نخست، اثر مربوط به تغییر $p_j$ روی $x_i$ را با کشش قیمتی متقاطع $(\varepsilon_{jj})$ و بخش دوم، اثر مربوط به تغییر قیمت عامل $x_j$ روی مقدار خودش را با کشش قیمتی خودی $(\varepsilon_{jj})$ نشان می‌دهد.

## داده‌های آماری

داده‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند از آمار کارگاه‌های صنعتی کشور منتشرشده توسط مرکز آمار ایران، منابع آماری بانک مرکزی و ترازنامه انرژی منتشرشده توسط وزارت نیرو به‌دست آمده است.

داده‌های کارگاه‌های صنعتی شامل اطلاعات کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ـ۱۳۸۴ و بر اساس سومین ویرایش طبقه‌بندی استاندارد بین‌المللی فعالیت‌های صنعتی (ISIC[1]) و در سطح بنگاه است. چون داده‌ها به صورت اسمی بودند، برای حقیقی کردن آن‌ها از شاخص قیمت تولیدکننده برای کل صنعت بر مبنای سال پایهٔ ۱۳۷۵ استفاده شده است.

## متغیرهای مدل

متغیرهایی که در این پژوهش به‌کار رفته‌اند و منبع داده‌های تأمین‌شده برای آن‌ها در ادامه آورده شده است.

نیروی کار (L): نهادهٔ نیروی کار برابر با تعداد شاغلان تولیدی با مزد و حقوق درنظر گرفته شده است. داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی استخراج شده است.

قیمت نیروی کار ($P_L$): قیمت نیروی کار از تقسیم پرداختی بابت جبران خدمات شاغلان بر تعداد آن‌ها به‌دست آمده است. داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی استخراج شده است.

1. International Standard of Industries Classification

تولید (Q): تولید برابر با مجموع ارزش کالاهای تولید شده، تغییرات ارزش موجودی کالاهای در جریان ساخت و ارزش آب و برق تولید و فروخته‌شده در نظر گرفته شده است. داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی استخراج شده است.

هزینهٔ کل (G): از مجموع هزینهٔ شاغلان تولیدی، مصرف انرژی، مواد اولیه و سرمایه‌گذاری (شامل ماشین آلات - ابزار و وسایل کار بادوام - ساختمان و تأسیسات) محاسبه شده است. داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی استخراج شده است.

سرمایه (K): از مجموع موجودی اموال سرمایه‌ای شامل سه دستهٔ ماشین‌آلات، ابزار و وسایل کار بادوام، ساختمان و تأسیسات به‌دست آمده است. داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی استخراج شده است.

قیمت سرمایه (u): هزینهٔ فرصت سرمایه به عنوان جایگزین قیمت سرمایه درنظرگرفته شده است که برابر با مجموع نرخ بهرهٔ سپرده‌های بلندمدت و نرخ استهلاک مربوط به هر صنعت است. نرخ استهلاک برای صنایع با کد دو رقمی از منبع جهانگرد (۱۳۸۳) به نقل از شریفی و همکاران (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) استخراج شده است.

تقاضای انرژی (E): برابر با مجموع مقدار مصرفی (بر حسب بشکه معادل نفت خام[1]) هر یک از حامل‌های انرژی درنظرگرفته شده است. داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی و ضرایب مندرج در ترازنامه انرژی استخراج شده است.

قیمت حامل‌های انرژی ($P_{E_i}$): از تقسیم ارزش مصرفی حامل‌های انرژی گازطبیعی، برق، گازوئیل، نفت سفید، نفت کوره، گاز مایع، بنزین و زغال‌سنگ بر مقدار مصرف هریک از حامل‌های انرژی (بر حسب بشکه معادل نفت خام) محاسبه شده است. مجموعهٔ حامل‌های انرژی شامل نفت سفید، نفت کوره، گاز مایع، بنزین و زغال‌سنگ به عنوان سایر حامل‌های انرژی درنظرگرفته شده است. قیمت این مجموعه از میانگین وزنی قیمت‌های هریک از حامل‌های این مجموعه به‌دست آمده است (وزن هر حامل، برابر نسبت مقدار مصرفی آن حامل از مقدار مصرف کل حامل‌های انرژی مجموعه است). داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی و ضرایب مندرج در ترازنامهٔ انرژی استخراج شده است.

سهم هزینهٔ حامل‌های انرژی ($S_i$): برابر با ارزش مصرفی هر حامل، تقسیم بر ارزش مصرفی کل حامل‌های انرژی است. داده‌های مربوطه از اطلاعات کارگاه‌های صنعتی استخراج شده است.

۱. تبدیل واحد اندازه‌گیری بر اساس ضرایب تبدیل ترازنامه هیدروکربوری ایران سال ۱۳۸۷ صورت گرفته است.

## نتایج مدل

در این بخش با استفاده از داده‌های معرفی‌شده در بخش پیشین، معادلات تقاضا و هزینهٔ عوامل تولید برآورد می‌شود. بدین‌منظور، ابتدا سهم هزینهٔ هر یک از حامل‌های انرژی در زیر مدل انرژی برآورد شده و از این طریق، قیمت عامل انرژی برای استفاده در مدل اصلی استخراج می‌شود. سپس با استفاده از قیمت انرژی و سایر داده‌ها، هزینهٔ بنگاه و تقاضای نهاده‌ها در یک سیستم معادلات برآورد می‌شود. سرانجام، با استفاده از نتایج برآوردها، کشش‌های مربوطه استخراج شده و در ارتباط با پرسش اصلی پژوهش که امکان جانشینی انرژی با سرمایه است، اظهار نظر خواهد شد.

## برآورد زیرمدل حامل‌های انرژی

برای برآورد سیستم معادلات سهم هزینهٔ حامل‌های گازوئیل، گازطبیعی، برق و سایر حامل‌های انرژی، روش معادلات رگرسیون به‌ظاهر نامرتبط به‌کار گرفته شده است. زلنر[1] (۱۹۶۲) با پیشنهاد این روش، امکان استفاده از اطلاعات میان معادلات به دلیل همبستگی همزمان اجزای اخلال معادلات را برای برآورد پارامترها فراهم می‌کند. در این روش، نخست معادلات به روش *OLS* برآورد می‌شود و در مرحله بعد از ماتریس واریانس ـ کواریانس اجزای اخلال[2] در برآورد معادلات به روش *GLS* استفاده می‌گردد. محاسبهٔ ماتریس واریانس ـ کوواریانس اجزای اخلال و برآورد معادلات به روش *GLS* تا رسیدن به همگرایی، تکرار می‌شود. کمنتا و گیلبرت[3] (۱۹۶۸) نشان دادند برآورد ضرایب از این روش که برآورد تکراری کارای زلنر[4] نامیده می‌شود، با برآورد ضرایب به روش حداکثر درستنمایی[5] یکسان است.

فرم گستردهٔ معادلات سهم هزینهٔ حامل‌های انرژی به‌ترتیب برای گازوئیل، گاز طبیعی، برق و سایر حامل‌ها به صورت زیر است:

$$S_{go} = \beta_{go} + \beta_{go-go}\, lnP_{E_{go}} + \beta_{go-ng}\, lnP_{E_{ng}} + \beta_{go-el}\, lnP_{E_{el}} + \beta_{go-oth}\, lnP_{E_{oth}}$$

$$S_{ng} = \beta_{ng} + \beta_{ng-go}\, lnP_{E_{go}} + \beta_{ng-ng}\, lnP_{E_{ng}} + \beta_{ng-el}\, lnP_{E_{el}} + \beta_{ng-oth} lnP_{E_{oth}}$$

$$S_{el} = \beta_{el} + \beta_{el-go}\, lnP_{E_{go}} + \beta_{el-ng} lnP_{E_{ng}} + \beta_{el-el}\, lnP_{E_{el}} + \beta_{el-oth}\, lnP_{E_{oth}}$$

$$S_{oth} = \beta_{oth} + \beta_{oth-go}\, lnP_{E_{go}} + \beta_{oth-ng}\, lnP_{E_{ng}} + \beta_{oth-el}\, lnP_{E_{el}} + \beta_{oth-oth}\, lnP_{E_{oth}}$$

1. Zellner
2. Error Terms
3. Kmenta & Gilbert
4. Iterative Zellner Efficient Method
5. Maximum Likelihood

در سیستم معادلات سهم هزینهٔ حامل‌های انرژی با اعمال محدودیت‌های جمع‌پذیری و تقارنی، ضرایب یکی از معادلات می‌تواند با استفاده از ضرایب معادلات دیگر محاسبه شود. بنابراین، یکی از معادلات را حذف می‌کنیم. چون در روش زلنر تفاوتی ندارد که کدام معادله حذف شود، در این پژوهش معادلهٔ مربوط به سایر حامل‌های انرژی حذف شده است.

**برآورد نهاده‌های تولید**

در این قسمت، پس از برآورد زیرمدل انرژی و استخراج قیمت انرژی، مدل نهاده‌های تولید، شامل سه معادلهٔ تقاضای نهاده‌های تولید (انرژی، نیروی کار و سرمایه) و معادلهٔ هزینهٔ کل که یک سیستم معادلات غیرخطی است و در برگیرندهٔ معادلات (۱۳)، (۱۴)، (۱۵) و (۱۸) است، با روش معادلات رگرسیون به‌ظاهر نامرتبط تکراری (ISUR)[1] برای سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ برآورد می‌شود. برای بررسی دقیق‌تر دوره‌های زمانی، ابتدا نتایج را برای کل دورهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ استخراج می‌نماییم. سپس، با توجه به تغییرات عوامل اقتصادی مؤثر بر بنگاه‌های صنعتی در طول دورهٔ مورد بررسی و تغییرات عمدهٔ قیمتی ایجاد شده در برخی از سال‌ها، دورهٔ ۹ سالهٔ بالا را به ۳ زیردورهٔ سه‌ساله تقسیم نموده و نتایج را برای هر یک از این سه زیردوره (۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶، ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲) نیز استخراج می‌نماییم.

**۱. برآورد مدل نهاده‌های تولید از ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲**

در جدول (۱)، نتایج برآورد مدل اصلی برای کل کارگاه‌های صنعتی در دورهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ درج شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Iterative Seemingly Unrelated Regression

**جدول ۱: برآورد ضرایب مدل نهاده‌های تولید، ۱۳۹۲-۱۳۸۴**

| پارامترها | ضرایب | آماره t | مقدار احتمال |
|---|---|---|---|
| $\nu_E$ | ۱۲۷۹/۳۵۶ | ۱/۳۴۱۶۸ | ۰/۱۷۹۷ |
| $\nu_{EE}$ | -۸۶/۸E-۰۷ | -۴/۳۱۳۹۷۱ | ۰ |
| $\nu_{EL}$ | ۹۶/۳E-۰۸ | ۰/۰۳۹۳۵۷ | ۰/۹۶۸۶ |
| $\nu_{EK}$ | ۳۰/۱E-۰۷ | ۱۲/۷۳۳۹ | ۰ |
| $\nu_{EQ}$ | ۷/۹۰E-۰۹ | ۲/۲۵۹۲۱۱ | ۰/۰۲۳۹ |
| $\nu_{Et}$ | -۲۲۶/۵۵۲۶ | -۱/۴۷۴۶۹۴ | ۰/۱۴۰۳ |
| $\nu_L$ | ۲۵/۵۵۳۶۹ | ۲/۳۱۰۹۸۱ | ۰/۰۲۰۸ |
| $\nu_{LL}$ | -۳/۲۸E-۰۸ | -۲/۰۱۴۸۲۹ | ۰/۰۴۳۹ |
| $\nu_{LK}$ | ۲/۳۴E-۱۰ | ۸۶۳۳۷/۴ | ۰ |
| $\nu_{LQ}$ | -۴/۶۱E-۱۰ | -۲۷/۸۹۱۴۹ | ۰ |
| $\nu_{Lt}$ | ۴/۸۶۱۵۸۴ | ۲/۵۶۲۹۱۹ | ۰/۰۱۰۴ |
| $1-\lambda$ | ۰/۹۹۹۹۹۳ | ۸۳۳۱۰/۷۴ | ۰ |
| $\nu_K$ | ۰/۰۳۱۳۴ | ۹/۱۲۹۹۵۵ | ۰ |
| $\nu_{KK}$ | -۳/۸۵E-۱۴ | -۲۰/۳۴۸۰۵ | ۰ |
| $\nu_{KQ}$ | -۳/۷۲E-۱۴ | -۷۷/۷۹۰۵۴ | ۰ |
| $\nu_G$ | -۵/۳۱E+۰۸ | -۱/۵۹۲۵۶۱ | ۰/۱۱۱۳ |
| $\nu_Q$ | ۰/۷۶۰۷۲۸ | ۵۲۱/۵۳۴۶ | ۰ |
| $\nu_{QQ}$ | ۲/۳۲E-۱۴ | ۱۶۱/۶۹۱۶ | ۰ |
| $\nu_{KK}$ | ۲/۱۱E-۱۴ | ۱۱/۰۴۳۴۷ | ۰ |
| $\nu_t$ | ۲۲۵۴۲۶۸۲ | ۰/۳۹۹۳۸۲ | ۰/۶۸۹۶ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

مقدار احتمال پارامترهای برآوردشده در جدول (۱) نشان می‌دهد که بیش‌ترِ پارامترهای برآورد شده از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنادار هستند. با این وجود، ضریب قیمت انرژی در تقاضای نیروی کار (یا ضریب قیمت نیروی کار در معادلهٔ انرژی) معنادار نیست. منفی بودنِ ضریب قیمت انرژی (نیروی کار) در معادلهٔ تقاضای انرژی (نیروی کار) نیز بیانگر رابطهٔ معکوس قیمت و تقاضا است. ضریب تعدیل موجودی سرمایه، مقدار بسیار کوچک ۰/۰۰۰۷ درصد است که البته معنادار نیز است. بنابراین، در هر دوره، ۰/۰۰۰۷ درصد از فاصلهٔ موجودی سرمایه تا سرمایه مطلوب کاسته می‌شود و سرعت تعدیل موجودی سرمایه بسیار کم است.

**۲. برآورد مدل نهاده‌های تولید از ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶**

نتایج برآورد مدل اصلی برای کل کارگاه‌های صنعتی در دورهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ در جدول (۲) درج شده است.

**جدول ۲: برآورد ضرایب مدل نهاده‌های تولید، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| پارامترها | ضرایب | آماره t | مقدار احتمال |
|---|---|---|---|
| $\nu_E$ | ۲۶/۱۷۸۹ | ۰/۷۹۱۱۲۱ | [۰/۴۲۹] |
| $\nu_{EE}$ | -۰۴/۷E-۰۲ | -۳/۴۵۳۵۳ | [۰/۰۰۱] |
| $\nu_{EL}$ | ۱۷/۴E-۰۴ | ۲۰/۴۱۹۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EK}$ | ۳۴/۱E-۰۶ | ۱۲۷/۲۷۲ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EQ}$ | ۶۴/۱E-۰۷ | ۲۹/۷۹۰۹ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{Et}$ | -۱۴۱۸/۵ | -۱/۳۷۸۰۷ | [۰/۱۶۸] |
| $\nu_L$ | -۱۹/۸۳۲ | -۹/۲۴۱۴۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{LL}$ | ۵/۰۵E-۰۶ | ۳۴/۸۴۷۴ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{LK}$ | -۱/۹۷E-۱۰ | -۲۳/۰۱۹ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{LQ}$ | ۹/۷۵E-۱۰ | ۲۱۶/۶۲۱ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{Lt}$ | ۲/۱۰۱۸۶ | ۲/۴۸۰۵ | [۰/۰۱۳] |
| $1-\lambda$ | ۹۹۹۴۱۸/۰ | ۶۵۶۲/۳۵ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_K$ | -۹۰/۵E-۰۳ | -۱/۱۸۹۸۹ | [۰/۲۳۴] |
| $\nu_{KK}$ | -۶/۶۷E-۱۴ | -۲۷/۸۵۵۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{KQ}$ | ۱/۲۶E-۱۴ | ۱۲/۶۸۷۲ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_G$ | ۱/۲۱E+۰۸ | ۰/۲۳۱۶۷۶ | [۰/۸۱۷] |
| $\nu_Q$ | ۰/۵۸۷۱۴۶ | ۲۳۸/۵۳۷ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{QQ}$ | ۲/۲۴E-۱۴ | ۴۹/۵۰۷۹ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{\dot{K}\dot{K}}$ | -۷/۲۵E-۱۴ | -۴۲/۱۶۳۸ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_t$ | ۵/۱۹E+۰۸ | ۰۴۱۱۵/۲ | [۰/۰۴۱] |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

از نظر آماری، پارامترهای برآوردشده در جدول (۲) و برای دورهٔ سه‌سالهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶، نسبت به برآورد معادلات برای کل دورهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ معنادارتر بوده، به‌طوری‌که حدود ۸۰ درصد پارامترهای برآوردشده در سطح ۰/۰۵ از نظر آماری معنادار هستند. ضریب قیمت نیروی کار در

معادلهٔ تقاضای نیروی کار نیز معنادار اما مثبت است که بیانگر ارتباط مستقیم قیمت و تقاضای نیروی کار در این بخش از اقتصاد، طی دورهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ است. منفی بودن ضریب قیمت انرژی در معادلهٔ تقاضای انرژی نیز بیانگر رابطهٔ معکوس قیمت و تقاضای انرژی است. در این دوره، ضریب تعدیل موجودی سرمایه، برابرِ ۰/۰۵۸۲ درصد و معنادار است. این ضریب در مقایسه با مقدار متناظرش برای کل دورهٔ ۹ ساله، بزرگ‌تر بوده و در هر سال مقدار بزرگتری از فاصلهٔ موجودی سرمایه تا سرمایهٔ مطلوب کاسته می‌شود و سرعت تعدیل موجودی سرمایه اندکی بیش‌تر است.

**۲-۱.کشش‌های قیمتی و جانشینی حامل‌های انرژی، ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶**

بر مبنای ضرایب به‌دست آمده از برآورد سیستم معادلات میان حامل‌های انرژی و سیستم معادلات میان نهاده‌های تولید و محاسبهٔ میانگین سهم هزینهٔ حامل‌های انرژی و میانگین قیمت و تقاضای انرژی در سال آخر کشش‌های قیمتی و جانشینی برای دورهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ محاسبه شده و در جدول (۳) نشان داده شده است.

**جدول ۳:کشش‌های جزئی قیمتی کوتاه‌مدت حامل‌های انرژی، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۲۴۸۰۷۲ | ۰/۷۵۴۳۷۲ | -۰/۰۸۰۰۱۷ | -۰/۹۲۲۴۲۶ | گازوئیل |
| ۰/۲۹۵۵۷۸ | ۰/۵۴۰۱۲۹ | - ۰/۷۶۷۹۲۵ | -۰/۰۶۷۷۸۲ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۷۰۰۳۷ | -۰/۳۶۸۰۵۳ | ۰/۰۹۰۷۰۴ | ۰/۱۰۷۳۱۲ | برق |
| -۱/۲۲۸۲۶۸ | ۰/۸۱۹۱۴۴ | ۰/۲۳۹۱۲۱ | ۰/۱۷۰۰۰۳ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

کشش‌های جزئی قیمتی کوتاه‌مدت یعنی اثر یک درصد افزایش قیمت هر حامل (سطر نخست مربوط به تغییر قیمت است) روی تقاضای هر حامل انرژی (ستون نخست از چپ مربوط به تغییر تقاضا است). اعداد روی قطر جدول (۳) بیانگر کشش‌های خودی قیمتی است. کشش‌های قیمتی خودی نشان می‌دهند که حساسیت تقاضای سایر حامل‌ها، نسبت به تغییر قیمت خودش بزرگ‌تر از یک و بیش‌ترین است. حساسیت تقاضای برق، نسبت به تغییر قیمت خودش کم‌ترین مقدار را دارد. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که برق کم‌ترین درجهٔ جایگزینی و سایر حامل‌ها بیش‌ترین درجهٔ جایگزینی را داشته باشند؛ مقایسهٔ کشش‌های متقاطع تأییدکنندهٔ این نکته هستند. افزایش قیمت برق، اثر بیش‌تری را روی تقاضای دیگر حامل‌ها نسبت به حالت افزایش قیمت دیگر حامل‌ها روی

تقاضای برق دارد. مقایسهٔ کشش‌های متقاطع گاز و برق نشان می‌دهد که حساسیت تقاضای گاز طبیعی نسبت به تغییر قیمت برق تقریباً ۵ برابر حساسیت تقاضای برق نسبت به تغییر قیمت گاز طبیعی است. همچنین، با افزایش قیمت گاز طبیعی از تقاضای گازوئیل و با افزایش قیمت گازوئیل از تقاضای گازطبیعی (به طور غیرنسبی) کاسته می‌شود.

جدول (۴) کشش‌های کامل قیمتی کوتاه‌مدت، یعنی اثر یک درصد افزایش قیمت هر حامل را روی درصد تغییر تقاضای هر حامل وقتی مصرف انرژی ثابت نیست، نشان می‌دهد.

**جدول ۴: کشش‌های کامل قیمتی کوتاه‌مدت حامل‌های انرژی، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۲۲۶۳۰۷ | ۰/۶۴۹۵۱۹ | -۰/۰۹۷۶۲۶ | -۰/۹۳۷۳۴۲ | گازوئیل |
| ۰/۲۷۳۸۱۲ | ۰/۴۳۵۲۷۶ | -۰/۷۸۵۵۳۳ | -۰/۰۸۲۶۹۸ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۴۸۲۷۲ | -۰/۴۷۲۹۰۶ | ۰/۰۷۳۰۹۶ | ۰/۰۹۲۳۹۶ | برق |
| -۱/۲۵۰۰۳۳ | ۰/۷۱۴۲۹۱ | ۰/۲۲۱۵۱۳ | ۰/۱۵۵۰۸۷ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

همان‌گونه که انتظار می‌رفت، کشش‌های کامل کم‌تر از کشش‌های جزئی به‌دست آمده است. بنابراین، حساسیت تقاضای هریک از حامل‌های انرژی نسبت به تغییر قیمت خودش بیش‌تر و نسبت به تغییر قیمت حامل دیگر؛ کم‌تر از پیش است. این رویداد به این دلیل است که افزایش قیمت یک حامل انرژی، روی قیمت کل انرژی اثر مثبت دارد و افزایش قیمت کل انرژی، روی تقاضای انرژی اثر منفی دارد و تقاضا برای همهٔ حامل‌های انرژی نسبت به حالت پیشین، کم‌تر می‌شود. به دلیل سهم هزینهٔ بزرگ‌تر برق، مقدار این کاهش برای این حامل بیش‌تر از بقیه و در حدود ۰/۱ درصد است. روابط میان قیمت و تقاضای حامل‌های انرژی هنگامی که مصرف انرژی ثابت نیست، مانند آن‌چه که در توضیح‌های جدول (۳) گفته شد، پابرجاست.

جدول (۵) کشش‌های قیمتی بلندمدت (یعنی اثر یک درصد تغییر قیمت هر حامل بر روی درصد تغییر تقاضای هر حامل وقتی مصرف انرژی و انباشت سرمایه تغییر می‌کنند) را نشان می‌دهد. با نگاهی کلی به مقادیر جدول (۵) و مقایسهٔ آن با جدول (۴) می‌توان دریافت که کشش‌های قیمتی بلندمدت نسبت به کوتاه‌مدت بزرگ‌تر هستند. بنابراین، حساسیت تقاضای هریک از حامل‌های انرژی نسبت به تغییر قیمت خودش کم‌تر و نسبت به تغییر قیمت حامل دیگر بیش‌تر از پیش است که به

دلیل منفی بودن $v_{KK}$ است. روابط بلندمدت میان قیمت و تقاضای حامل‌های انرژی با آن‌چه در مورد دورهٔ کوتاه‌مدت گفته شد، تفاوتی ندارد.

**جدول ۵: کشش‌های قیمتی بلندمدت حامل‌های انرژی، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| سایر حامل ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۲۳۱۱۲۳ | ۰/۶۷۲۷۲۳ | -۰/۰۹۳۷۲۹ | -۰/۹۳۴۰۴۱ | گازوئیل |
| ۰/۲۷۸۶۲۹ | ۰/۴۵۸۴۸ | -۰/۷۸۱۶۳۶ | -۰/۰۷۹۳۹۷ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۵۳۰۸۹ | -۰/۴۴۹۷۰۲ | ۰/۰۷۶۹۹۳ | ۰/۰۹۵۶۹۷ | برق |
| -۱/۲۴۵۲۱۶ | ۰/۷۳۷۴۹۵ | ۰/۲۲۵۴۱ | ۰/۱۵۸۳۸۸ | سایر حامل ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

در جدول (۶) کشش‌های جانشینی موریشیما یعنی اثر یک درصد افزایش قیمت حامل $j$ام (سطر نخست مربوط به تغییر قیمت است) روی درصد تغییر تقاضای حامل انرژی $i$ ام، نسبت به تقاضای حامل $j$ام (ستون نخست از چپ مربوط به تغییر تقاضا است) آمده است.

**جدول ۶: کشش‌های جانشینی موریشیما حامل‌های انرژی، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | موریشیما |
|---|---|---|---|---|
| ۱/۴۷۶ | ۱/۱۲۲ | ۰/۶۸۸ | ۰ | گازوئیل |
| ۱/۵۲۴ | ۰/۹۰۸ | ۰ | ۰/۸۵۵ | گاز طبیعی |
| ۱/۳۹۸ | ۰ | ۰/۸۵۹ | ۱/۰۳ | برق |
| ۰ | ۱/۱۸۷ | ۱/۰۰۷ | ۱/۰۹۲ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

مثبت بودن همهٔ کشش‌ها حاکی از وجود رابطهٔ جانشینی میان همهٔ حامل‌های انرژی است. با نگاهی به ستون مربوط به سایرحامل‌ها درمی‌یابیم که یک درصد افزایش قیمت این حامل، نسبت تقاضای گازوئیل، گازطبیعی و برق به آن را بیش‌تر از یک درصد افزایش می‌دهد. بنابراین، گازوئیل، گازطبیعی و برق، جانشینیِ بالایی نسبت به مجموعهٔ سایرحامل‌ها از خود نشان می‌دهند. کم‌ترین درصد نسبی جانشینی مربوط به جانشینی گازوئیل با گازطبیعی است.

**۲-۲. کشش‌های قیمتی و جانشینی نهاده‌های تولید**

با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از برآورد معادلات هزینهٔ کل و تقاضای نهاده‌های تولید، در این بخش کشش‌های قیمتی و جانشینی نهاده‌های تولید (انرژی، نیروی کار و سرمایه) به‌دست می‌آیند.

جدول (۷) کشش‌های قیمتی کوتاه‌مدت، یعنی اثر یک درصد افزایش قیمت هر نهاده تولید (ردیف نخست مربوط به تغییر قیمت است) روی تقاضای هر نهادهٔ تولید (ستون نخست از چپ مربوط به تغییر تقاضا است) را نمایش می‌دهد.

**جدول ۷: کشش‌های قیمتی کوتاه‌مدت نهاده‌های تولید، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | -۰/۱۵۹۱۴ | ۰ | ۰/۲۶۶۰۹ |
| سرمایه | ۰ | ۰ | ۰ |
| نیروی کار | ۰/۲۱۸۷۶ | ۰ | ۰/۷۴۸۰۱ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

چون سرمایه در کوتاه‌مدت ثابت است، کشش‌های مربوطه صفر در نظر گرفته شده است. علامت مثبت کشش قیمتی خودی نیروی کار نشان می‌دهد که با افزایش دستمزد تقاضا برای نیروی کار افزایش می‌یابد. همچنین، مثبت بودن کشش‌های متقاطع، نوعی رابطهٔ جانشینی (غیر نسبی) میان نیروی کار و انرژی را نشان می‌دهد.

کشش‌های قیمتی بلندمدت، یعنی اثر یک درصد افزایش قیمت هر نهاده تولید (سطر نخست مربوط به تغییر قیمت است) روی تقاضای هر نهاده تولید (ستون نخست از چپ مربوط به تغییر تقاضا است) هنگامی که سرمایه متغیر است، در جدول (۸) آورده شده است.

**جدول ۸: کشش‌های قیمتی بلندمدت نهاده‌های تولید، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | -۰/۱۲۴ | ۰/۰۰۹۳ | ۰/۲۶۴۶ |
| سرمایه | ۰/۰۳۹۵ | ۰/۰۱۰۴ | -۰/۰۰۱۶ |
| نیروی کار | ۰/۲۱۷۶ | -۰/۰۰۰۳ | ۰/۷۴۸۱ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

علامت منفی کشش‌های متقاطع نیروی کار و سرمایه نشان می‌دهد که با افزایش قیمت، تقاضا برای دیگری کاهش می‌یابد.

در جدول (۹) کشش‌های جانشینی موریشیما یعنی اثر یک درصد افزایش قیمت نهاده *j*ام (سطر نخست مربوط به تغییر قیمت است) روی درصد تغییر تقاضای نهاده تولید *i* ام نسبت به تقاضای نهاده *j*ام (ستون نخست از چپ مربوط به تغییر تقاضا است) آمده است.

**جدول ۹: کشش‌های جانشینی موریشیما نهاده‌های تولید، ۱۳۸۶-۱۳۸۴**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | ۰ | -۰/۰۰۱۱ | -۰/۴۸۳۴ |
| سرمایه | ۰/۱۶۳۵ | ۰ | -۰/۷۴۹۷ |
| نیروی کار | ۰/۳۴۱۵ | -۰/۰۱۰۷ | ۰ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

منفی بودن کشش‌های ستون نیروی کار و سرمایه نشان می‌دهد که با افزایش قیمت، تقاضای (نسبی) دو نهادهٔ دیگر کم می‌شود. بنابراین، در دورهٔ سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ و در بخش کارگاه‌های صنعتی کشور، نهاده‌های انرژی و سرمایه مکمل نیروی کار و نهاده‌های انرژی و نیروی کار مکمل سرمایه هستند. همچنین، مثبت بودن کشش‌های ستون انرژی نشان می‌دهد که با افزایش قیمت انرژی، سرمایه و نیروی کار جانشین انرژی می‌شوند.

### ۳. برآورد مدل نهاده‌های تولید از ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹

نتایج برآورد مدل اصلی برای کل کارگاه‌های صنعتی در دوره ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ در جدول (۱۰) درج شده است.

مقدار احتمال پارامترهای برآوردشده در جدول (۱۰) نشان می‌دهد که بیش‌ترِ پارامترهای برآوردشده، در سطح ۱ درصد از نظر آماری معنادار هستند. اما ضریب قیمت نیروی کار (انرژی) در معادلهٔ تقاضای انرژی (نیروی کار) از نظر آماری معنادار نیست. ضریب تعدیل موجودی سرمایه برابر ۰/۰۰۱ - درصد و معنادار است. این ضریب یعنی این‌که طی این سه سال و در هر سال ۰/۰۰۱ درصد به فاصلهٔ موجودی سرمایه تا سرمایهٔ مطلوب افزوده می‌شود.

**جدول ۱۰: برآورد ضرایب مدل نهاده‌های تولید، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| پارامترها | ضرایب | آماره t | مقدار احتمال |
|---|---|---|---|
| $\nu_E$ | -۳۷۷۲۹/۹ | -۴/۳۳۲۸۱ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EE}$ | -۷۶/۷E-۰۵ | -۳/۱۸۰۲۲ | [۰/۰۰۱] |
| $\nu_{EL}$ | ۶/۱۴E-۰۷ | ۰/۴۰۱۳۱۱ | [۰/۶۸۸] |
| $\nu_{EK}$ | ۸/۳۹E-۰۷ | ۳۵/۹۰۸۲ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EQ}$ | ۴/۹۳E-۰۷ | ۶۷/۱۹۰۱ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{Et}$ | ۵۹۲۷/۲۴ | ۳/۹۴۸۶۹ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_L$ | -۱۸/۰۶۸ | -۲/۶۹۲۹ | [۰/۰۰۷] |
| $\nu_{LL}$ | ۶/۲۶E-۰۶ | ۲۹/۵۲۰۱ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{LK}$ | ۱/۰۴E-۰۹ | ۷۹/۲۸۰۹ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{LQ}$ | ۴/۰۰E-۱۰ | ۱۰۰/۶۴۲ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{Lt}$ | ۲/۱۲۸۲۱ | ۱/۶۷۷۳۹ | [۰/۰۹۳] |
| $1-\lambda$ | ۱/۰۰۰۰۱ | ۲۶۰۹۳/۱ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_K$ | -۹/۲۷E-۰۲ | -۱۶/۲۴۹۷ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{KK}$ | ۸/۶۵E-۱۴ | ۱۹/۲۸۸۹ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{KQ}$ | -۶/۰۱E-۱۴ | -۸۱/۱۱۴ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_G$ | ۱/۵۰E+۰۹ | ۱/۲۲۴۹۶ | [۰/۲۲۱] |
| $\nu_Q$ | ۰/۷۳۷۹۲۹ | ۳۲۷/۵۳۷ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{QQ}$ | ۲/۲۹E-۱۴ | ۹۴/۶۴۳۸ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{\dot{K}\dot{K}}$ | ۱/۴۱E-۱۳ | ۲۹/۲۷۳۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_t$ | -۲/۳۳E+۰۸ | -۰/۹۵۶۸۹۷ | [۰/۳۳۹] |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

### ۳-۱.کشش‌های قیمتی و جانشینی حامل‌های انرژی

در جدول (۱۱) و در کشش‌های قیمتی خودی، نشان داده می‌شود که حساسیت تقاضای سایرحامل‌ها، نسبت به تغییر قیمت خودش بیش‌ترین و حساسیت تقاضای برق، در این دوره نیز، نسبت به تغییر قیمت خودش کم‌ترین مقدار را دارد. مقایسه کشش‌های متقاطع نشان می‌دهد که افزایش قیمت برق اثر بیش‌تری را روی تقاضای دیگر حامل‌ها نسبت به حالت افزایش قیمت دیگر حامل‌ها روی

تقاضای برق دارد. مقایسهٔ کشش‌های متقاطع گاز و برق نشان می‌دهد که حساسیت تقاضای گاز طبیعی نسبت به تغییر قیمت برق از حساسیت تقاضای برق نسبت به تغییر قیمت گاز طبیعی بیش‌تر است.

**جدول ۱۱: کشش‌های جزئی قیمتی کوتاه‌مدت حامل‌های انرژی، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | کوتاه‌مدت |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۳۰۷۹۱ | ۰/۵۹۹۱۸۲ | ۰/۰۹۴۲۹۳ | -۰/۸۲۴۲۶۶ | گازوئیل |
| ۰/۱۷۶۹۴۹ | ۰/۳۸۸۶۲۴ | -۰/۶۱۷۲۷۸ | ۰/۰۵۱۷۰۶ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۶۷۵۷۲ | -۰/۳۷۴۳۲۲ | ۰/۱۱۲۰۳۲ | ۰/۰۹۴۷۱۸ | برق |
| -۰/۹۱۸۴۰۳ | ۰/۶۴۳۲۳۳ | ۰/۱۹۵۸۰۶ | ۰/۰۷۹۳۶۳ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

جداول (۱۲ و ۱۳) به‌ترتیب کشش‌های کامل قیمتی کوتاه‌مدت و کشش‌های قیمتی بلندمدت را نشان می‌دهند.

**جدول۱۲: کشش‌های کامل قیمتی کوتاه‌مدت حامل‌های انرژی، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| سایر حامل ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۳۰۷۵۵ | ۰/۵۹۹۰۴۴ | ۰/۰۹۴۲۵۳ | -۰/۸۲۴۲۸۷ | گازوئیل |
| ۰/۱۷۶۹۱۳ | ۰/۳۸۸۴۸۶ | -۰/۶۱۷۳۱۸ | ۰/۰۵۱۶۸۴ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۶۷۵۳۶ | -۰/۳۷۴۴۶ | ۰/۱۱۱۹۹۳ | ۰/۰۹۴۶۹۶ | برق |
| -۰/۹۱۸۴۳۹ | ۰/۶۴۳۰۹۵ | ۰/۱۹۵۷۶۷ | ۰/۰۷۹۳۴۱ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

**جدول ۱۳: کشش‌های قیمتی بلندمدت حامل‌های انرژی، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۳۰۷۹۳ | ۰/۵۹۹۱۸۹ | ۰/۰۹۴۲۹۵ | -۰/۸۲۴۲۶۵ | گازوئیل |
| ۰/۱۷۶۹۵ | ۰/۳۸۸۶۳۱ | -۰/۶۱۷۲۷۶ | ۰/۰۵۱۷۰۷ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۶۷۵۷۴ | -۰/۳۷۴۳۱۶ | ۰/۱۱۲۰۳۴ | ۰/۰۹۴۷۱۹ | برق |
| -۰/۹۱۸۴۰۱ | ۰/۶۴۳۲۴ | ۰/۱۹۵۸۰۸ | ۰/۰۷۹۳۶۴ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

همان‌گونه که انتظار می‌رفت، کشش‌های کامل قیمتی کم‌تر از کشش‌های جزئی به‌دست آمده است و کشش‌های قیمتی بلندمدت نسبت به کشش‌های کامل کوتاه‌مدت بزرگ‌تر هستند و بنابراین، حساسیت تقاضای هریک از حامل‌های انرژی نسبت به تغییر قیمت خودش کم‌تر و نسبت به تغییر قیمت حامل دیگر بیش‌تر از پیش است که ناشی از منفی بودن ضریب تعدیل موجودی سرمایه است.

در جدول (۱۴) کشش‌های جانشینی موریشیما نمایش داده می‌شود. مثبت بودن همهٔ کشش‌ها نشان‌دهندهٔ وجود رابطهٔ جانشینی میان همهٔ حامل‌های انرژی است.

**جدول ۱۴: کشش‌های جانشینی موریشیما حامل‌های انرژی، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | موریشیما |
|---|---|---|---|---|
| ۱/۰۴۹ | ۰/۹۷۴ | ۰/۷۱۲ | ۰ | گازوئیل |
| ۱/۰۹۵ | ۰/۷۶۳ | ۰ | ۰/۸۷۶ | گاز طبیعی |
| ۱/۰۸۶ | ۰ | ۰/۷۲۹ | ۰/۹۱۹ | برق |
| ۰ | ۱/۰۱۸ | ۰/۸۱۳ | ۰/۹۰۴ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

با نگاهی به ستون مربوط به سایرحامل‌ها درمی‌یابیم که یک درصد افزایش قیمت این حامل، تقاضای گازوئیل، گازطبیعی و برق را نسبت به آن، بیش‌تر از یک درصد افزایش می‌دهد. بنابراین، گازوئیل، گازطبیعی و برق جانشینی بالایی نسبت به مجموعهٔ سایرحامل‌ها از خود نشان می‌دهند.

**۳-۲. کشش‌های قیمتی و جانشینی نهاده‌های تولید**

کشش‌های قیمتی کوتاه‌مدت عوامل تولید در جدول (۱۵) نشان داده شده است. علامت مثبت کشش قیمتی خودی نیروی کار نشان می‌دهد که با افزایش دستمزد، تقاضا برای نیروی کار افزایش می‌یابد. همچنین، مثبت بودن کشش‌های متقاطع نوعی رابطهٔ جانشینی (غیر نسبی) میان نیروی کار و انرژی را نشان می‌دهد.

**جدول ۱۵: کشش‌های قیمتی کوتاه‌مدت نهاده‌های تولید، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | -۰/۰۰۰۲۴ | ۰ | ۰/۰۰۰۲۹ |
| سرمایه | ۰ | ۰ | ۰ |
| نیروی کار | ۰/۰۰۰۴۹ | ۰ | ۰/۷۷۹۷۵ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

جداول (۱۶) نیز کشش‌های قیمتی بلندمدت را هنگامی که سرمایه متغیر است، نشان می‌دهد.

**جدول ۱۶: کشش‌های قیمتی بلندمدت نهاده‌های تولید، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | ۰ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۰۰۰۳ |
| سرمایه | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ |
| نیروی کار | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۷۷۹۸ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

علامت مثبت کشش‌های خودی و متقاطع نشان می‌دهد که با افزایش قیمت، تقاضا افزایش می‌یابد.

در جدول (۱۷) کشش‌های جانشینی موریشیما آمده است.

**جدول ۱۷: کشش‌های جانشینی موریشیما نهاده‌های تولید، ۱۳۸۹-۱۳۸۷**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | ۰ | -۰/۰۰۰۶ | -۰/۷۷۹۴ |
| سرمایه | ۰/۰۰۰۶ | ۰ | -۰/۷۷۹۶ |
| نیروی کار | ۰/۰۰۰۶ | -۰/۰۰۰۹ | ۰ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

منفی بودن کشش‌های ستون نیروی کار و سرمایه نشان می‌دهد که با افزایش قیمت تقاضای (نسبی) دو نهادهٔ دیگر کم می‌شود. بنابراین، نهاده‌های انرژی و سرمایه، مکمل نیروی کار و نهاده‌های

انرژی و نیروی کار، مکمل سرمایه هستند. همچنین، مثبت بودن کشش‌های ستون انرژی نشان می‌دهد که با افزایش قیمت انرژی، سرمایه و نیروی کار جانشین انرژی می‌شوند.

### ۴. برآورد مدل نهاده‌های تولید از ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲

برآورد ضرایب مدل نهاده‌های تولید برای دورهٔ ۱۳۹۲-۱۳۹۰ در جدول (۱۸) بیان شده است.

**جدول ۱۸: برآورد ضرایب مدل نهاده‌های تولید، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| پارامترها | ضرایب | آماره t | مقدار احتمال |
|---|---|---|---|
| $\nu_E$ | -۶۳۹۶۸/۲ | -۳/۶۹۷۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EE}$ | -۹/۰۸E-۰۲ | -۱۱/۴۸۲۵ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EL}$ | ۲/۳۲E-۰۴ | ۵/۵۵۱۳۸ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EK}$ | ۲/۱۳E-۰۷ | ۱۱/۳۸۷۶ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{EQ}$ | ۱/۶۴E-۰۷ | ۲۸/۰۷۶۸ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{Et}$ | ۷۳/۹۹۶۸ | ۴/۶۰۵۴ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_L$ | ۳۱/۱۹۵۳ | ۲/۰۵۸۳۵ | [۰/۰۴۰] |
| $\nu_{LL}$ | -۲/۷۰E-۰۸ | -۲/۰۸۴۷۸ | [۰/۰۳۷] |
| $\nu_{LK}$ | ۲/۲۱E-۰۹ | ۱۱۱/۰۲۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{LQ}$ | ۲/۱۰E-۱۰ | ۴۱/۹۵۲۱ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{Lt}$ | ۲/۱۶۲۵۴ | ۱/۱۴۸۹۵ | [۰/۲۵۱] |
| $1-\lambda$ | ۰/۹۹۸۳۵۷ | ۴۵۰۴/۴۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_K$ | -۱/۱۳E-۰۱ | -۲۴/۳۱۴۲ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{KK}$ | -۱/۳۱E-۱۳ | -۴۳/۲۷۹۶ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{KQ}$ | -۲/۷۵E-۱۴ | -۲۷/۴۹۱۵ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_G$ | ۱/۷۵E+۰۹ | ۰/۹۲۴۲۸۳ | [۰/۳۵۵] |
| $\nu_Q$ | ۰/۸۰۷۱۹۹ | ۴۲۴/۱۸۲ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{QQ}$ | ۱/۶۶E-۱۴ | ۸۹/۵۹۶۴ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_{\dot{K}\dot{K}}$ | ۲/۲۴E-۱۲ | ۴۰/۰۳۳ | [۰/۰۰۰] |
| $\nu_t$ | -۲/۹۷E+۰۸ | -۱/۲۶۰۱۵ | [۰/۲۰۸] |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

تقریباً همهٔ پارامترهای اصلی برآوردی مدل‌شده در جدول از نظر آماری معنادار هستند. منفی بودن ضریب قیمت انرژی در معادلهٔ تقاضای انرژی و دستمزد در معادلهٔ تقاضای نیروی کار می‌تواند بیانگر رابطهٔ معکوس قیمت و تقاضا باشد. ضریب تعدیل موجودی سرمایه برابر ۰/۱۶۴۳ درصد و معنادار است. مقدار این ضریب نسبت به دو دورهٔ سه‌سالهٔ پیشین بزرگ‌تر است.

**۴-۱. کشش‌های قیمتی و جانشینی حامل‌های انرژی**

در این دوره نیز کشش‌های قیمتی خودی نشان می‌دهند که حساسیت تقاضای سایرحامل‌ها، نسبت به تغییر قیمت خودش بیش‌ترین است و بزرگ‌تر از یک است و حساسیت تقاضای برق، نسبت به تغییر قیمت خودش کم‌ترین مقدار را دارد.

**جدول ۱۹: کشش‌های جزئی قیمتی کوتاه‌مدت حامل‌های انرژی، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۹۰۶۸۴ | ۰/۵۱۲۵۳۹ | ۰/۱۶۹۱۲۳ | -۰/۸۷۲۳۴۶ | گازوئیل |
| ۰/۰۸۵۶۲۱ | ۰/۴۳۹۴۴۳ | -۰/۵۸۶۴۸۴ | ۰/۰۶۱۴۲ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۵۲۴۰۷ | -۰/۴۳۴۷۳۹ | ۰/۱۹۸۳۲۶ | ۰/۰۸۴۰۰۶ | برق |
| -۱/۰۴۶۳۰۱ | ۰/۷۱۷۳۲۸ | ۰/۱۸۱۸۷۴ | ۰/۱۴۷۰۹۹ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

جداول (۲۰ و ۲۱) نیز کشش‌های کامل قیمتی کوتاه‌مدت را وقتی مصرف انرژی ثابت نیست و کشش‌های قیمتی بلندمدت یعنی وقتی مصرف انرژی و انباشت سرمایه تغییر می‌کنند، نشان می‌دهند.

**جدول ۲۰: کشش‌های کامل قیمتی کوتاه‌مدت حامل‌های انرژی، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۸۳۷۵۱ | ۰/۴۷۹۹۰۹ | ۰/۱۵۴۳۹۷ | -۰/۸۷۷۶۹۴ | گازوئیل |
| ۰/۰۷۸۶۸۹ | ۰/۴۰۶۸۱۳ | -۰/۶۰۱۲۱۱ | ۰/۰۵۶۰۷۲ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۴۵۴۷۵ | -۰/۴۶۷۳۶۹ | ۰/۱۸۳۵۹۹ | ۰/۰۷۸۶۵۸ | برق |
| -۱/۰۵۳۲۳۴ | ۰/۶۸۴۶۹۹ | ۰/۱۶۷۱۴۷ | ۰/۱۴۱۷۵۱ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

**جدول ۲۱: کشش‌های قیمتی بلندمدت حامل‌های انرژی، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۸۳۷۹۴ | ۰/۴۸۰۱۱۴ | ۰/۱۵۴۴۹ | -۰/۸۷۷۶۶ | گازوئیل |
| ۰/۰۷۸۷۳۲ | ۰/۴۰۷۰۱۸ | -۰/۶۰۱۱۱۸ | ۰/۰۵۶۱۰۶ | گاز طبیعی |
| ۰/۱۴۵۵۱۸ | -۰/۴۶۷۱۶۴ | ۰/۱۸۳۶۹۲ | ۰/۰۷۸۶۹۲ | برق |
| -۱/۰۵۳۱۹ | ۰/۶۸۴۹۰۴ | ۰/۱۶۷۲۴ | ۰/۱۴۱۷۸۴ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

با نگاهی کلی به مقادیر جدول (۲۱) و مقایسه آن با جدول (۲۰) می‌توان دریافت که کشش‌های قیمتی بلندمدت نسبت به کوتاه‌مدت بزرگ‌تر هستند. بنابراین، حساسیت تقاضای هریک از حامل‌های انرژی نسبت به تغییر قیمت خودش کم‌تر و نسبت به تغییر قیمت حامل دیگر، بیش‌تر از پیش است که به دلیل منفی بودن $v_{KK}$ است. روابط بلندمدت میان قیمت و تقاضای حامل‌های انرژی با آن‌چه در مورد دورهٔ کوتاه‌مدت گفته شد، تفاوتی ندارد.

کشش‌های جانشینی موریشیما، یعنی اثر یک درصد افزایش قیمت حامل $j$ام روی درصد تغییر تقاضای حامل انرژی $i$ ام نسبت به تقاضای حامل $j$ام، در جدول (۲۲) آمده است.

**جدول ۲۲: کشش‌های جانشینی موریشیما حامل‌های انرژی، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| سایر حامل‌ها | برق | گاز طبیعی | گازوئیل | موریشیما |
|---|---|---|---|---|
| ۱/۲۳۷ | ۰/۹۴۷ | ۰/۷۵۶ | ۰ | گازوئیل |
| ۱/۱۳۲ | ۰/۸۷۴ | ۰ | ۰/۹۳۴ | گاز طبیعی |
| ۱/۱۹۹ | ۰ | ۰/۷۸۵ | ۰/۹۵۶ | برق |
| ۰ | ۱/۱۵۲ | ۰/۷۶۸ | ۱/۰۱۹ | سایر حامل‌ها |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

مثبت بودن همهٔ کشش‌ها نشان‌دهندهٔ وجود رابطهٔ جانشینی میان همهٔ حامل‌های انرژی است.

**۴-۲. کشش‌های قیمتی و جانشینی نهاده‌های تولید**

کشش‌های قیمتی کوتاه‌مدت در جدول (۲۳) نشان داده شده است.

**جدول ۲۳: کشش‌های قیمتی کوتاه‌مدت نهاده‌های تولید، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | -۰/۰۵۹۶ | ۰ | ۰/۰۶۴۵ |
| سرمایه | ۰ | ۰ | ۰ |
| نیروی کار | ۰/۰۴۶۹ | ۰ | -۰/۰۰۲۳ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

علامت منفی کشش‌های قیمتی خودی نیروی کار و انرژی نشان می‌دهد که با افزایش دستمزد و قیمت انرژی، تقاضا برای نیروی کار و انرژی کاهش می‌یابد. همچنین، مثبت بودن کشش‌های متقاطع بیان می‌کند که با افزایش دستمزد نیروی کار و قیمت انرژی، تقاضا به ترتیب برای برای انرژی و نیروی کار افزایش می‌یابد.

**جدول ۲۴: کشش‌های قیمتی بلندمدت نهاده‌های تولید، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | -۰/۰۵۹۳ | -۰/۰۱۱۸ | ۰/۰۶۶۲ |
| سرمایه | ۰/۰۰۴۷ | -۰/۱۴۸۶ | ۰/۰۲۰۶ |
| نیروی کار | ۰/۰۴۸۱ | -۰/۰۳۷۷ | ۰/۰۰۲۹ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

در جدول (۲۴) کشش‌های قیمتی بلندمدت هنگامی که سرمایه متغیر است، آورده شده است. علامت منفی ستون مربوط به کششهای متقاطع سرمایه نشان می‌دهد که با افزایش قیمت سرمایه، تقاضا برای انرژی و نیروی کار کاهش می‌یابد.

در جدول (۲۵) نیز کشش‌های جانشینی موریشیما آمده است.

**جدول ۲۵: کشش‌های جانشینی موریشیما نهاده‌های تولید، ۱۳۹۲-۱۳۹۰**

| | انرژی | سرمایه | نیروی کار |
|---|---|---|---|
| انرژی | ۰ | ۱۳۶۸/۰ | ۰۶۳۳/۰ |
| سرمایه | ۰۶۴/۰ | ۰ | ۰۱۷۷/۰ |
| نیروی کار | ۱۰۷۴/۰ | ۱۱۰۹/۰ | ۰ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

چون همهٔ مقادیر کشش‌های جانشینی مثبت و کم‌تر از یک هستند، می‌توان نتیجه گرفت که میان همهٔ نهاده‌های تولید رابطه جانشینی کم کشش برقرار است.

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

جانشینی یا مکمل بودن نهاده‌های تولید همواره مورد توجه اقتصاددانان بوده است. این موضوع به دلیل اثر کاهش یا افزایش هزینه‌های مصرف هر یک از نهاده‌ها، کاربردهایی مهم در سیاست‌گذاری دارد. اگر انرژی و سرمایه مکمل هم باشند، رشد تولیدات صنعتی نیازمند افزایش هر دو نهاده است. در مقابل، اگر انرژی و سرمایه جانشین باشند، قیمت‌های نسبی این دو نهاده تعیین‌کنندهٔ میزان به‌کارگیری هر نهاده در فعالیت‌های تولیدی است. از این‌رو، تغییرات و اصلاح قیمت نهاده‌های تولید و هزینه‌های تولیدی را به میزان زیادی متأثر خواهد ساخت.

در این پژوهش، با برآورد توابع هزینه‌های بنگاه و تقاضای هر یک از نهاده‌های تولید (انرژی، نیروی کار و سرمایه) در بخش صنعت (بنابر طرح آمارگیری مرکز آمار از کارگاه‌های صنعتی دارای ده نفر کارکن و بیش‌تر) در چارچوب یک مدل پویا و استخراج کشش‌های قیمتی و جانشینی میان نهاده‌ها، سعی در دریافت رابطهٔ جانشینی یا مکملی میان انرژی، سرمایه و نیروی کار و نیز رابطهٔ جانشینی یا مکملی حامل‌های مختلف انرژی با یکدیگر نمودیم.

ارزیابی روابط میان حامل‌های انرژی در طول دورهٔ مورد بررسی نشان می‌دهد که با توجه به مثبت بودن کشش‌های جانشینی موریشیما، میان همهٔ حامل‌های انرژی در بخش صنعت رابطهٔ جانشینی وجود دارد. گاز طبیعی، گازوئیل و سایر حامل‌ها پتانسیل جانشینی زیادی با یکدیگر دارند. امکان جانشینی گاز طبیعی، گازوئیل و سایر حامل‌ها برای برق نسبت به جانشینی برق برای گاز طبیعی، گازوئیل و سایر حامل‌ها کم‌تر است. در این زمینه می‌توان گفت که در فعالیت‌هایی که از سوخت‌های فسیلی در فرآیند تولید استفاده می‌شود با تغییرات جزئی در ماشین آلات امکان جایگزینی سوخت‌های فسیلی با برق و دیگر سوخت‌های فسیلی وجود دارد. برای فعالیت‌هایی که از برق برای تولید محصول استفاده می‌شود، امکان جایگزینی حامل‌های دیگر بستگی به قابلیت فنی تجهیزات و ماشین‌آلات وجود دارد و این جایگزینی محدود است.

کشش‌های قیمتی تقاضای حامل‌های انرژی نشان می‌دهند که افزایش قیمت گازوئیل و سایر حامل‌ها در کوتاه‌مدت و بلندمدت بیش‌ترین اثر تغییر تقاضا را روی خود این دو حامل داشته و اثر جانشینی ناچیزی به‌ویژه در مورد برق و گازوئیل ایجاد نموده است. افزایش قیمت برق باعث تحریک

بیش‌تر تقاضای گازوئیل، گاز طبیعی و سایر حامل‌ها شده است. افزایش قیمت گاز طبیعی نیز به میزان به‌نسبت قابل توجه باعث تحریک بیش‌تر تقاضای گازوئیل و سایر حامل‌ها می‌شود.

بررسی کشش‌های قیمتی تقاضا، روند کاهش تقاضای همهٔ حامل‌های انرژی را بر اثر افزایش قیمت این حامل‌ها در مسیر کوتاه‌مدت به بلندمدت نشان می‌دهد. همچنین، در کوتاه‌مدت با مقایسهٔ کشش‌های جزئی قیمتی خودی درمی‌یابیم که تقاضای برق نسبت به دیگر حامل‌های انرژی حساسیت کم‌تری نسبت به افزایش قیمت خودش دارد. اما با کاهش مصرف انرژی روند کاهش تقاضای آن چند برابر بیش‌تر از دیگر حامل‌هاست. علت این امر بزرگ‌تر بودن اثر افزایش قیمت برق روی قیمت کل انرژی و کاهش بیش‌تر تقاضای کل انرژی نسبت به اثر افزایش قیمت دیگر حامل‌ها روی تقاضای کل انرژی است. در بلندمدت با توجه به سرعت تعدیل بسیار کم سرمایه، جایگزینی سرمایه با انرژی بسیار اندک و کاهش مصرف انرژی ناچیز است. بنابراین، کشش‌های قیمتی تقاضای بلندمدت با حالتی که سرمایه متغیر نیست، تفاوتی اندک دارند.

بررسی کشش‌های جانشینی موریشیما برای حامل‌های انرژی نشان می‌دهد که گازوئیل، گاز طبیعی و برق امکان جانشینی زیادی با سایر حامل‌ها دارند؛ در حالی‌که برق، گازوئیل و حتی سایر حامل‌ها ضریب جانشینی چندان بزرگی با گاز طبیعی ندارند.

در ارتباط با رابطهٔ جانشینی یا مکملی نهاده‌های تولید، بررسی کل صنعت از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که نهاده‌های انرژی و سرمایه، مکمل نیروی کار و نهاده‌های انرژی و نیروی کار، مکمل سرمایه هستند. همچنین، سرمایه و نیروی کار، جانشین انرژی می‌شوند. با این وجود، رابطهٔ انرژی و نیروی کار با سرمایه و نیروی کار و سرمایه با انرژی چندان قوی نیست. اما این روابط در دورهٔ سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲ تغییر یافته و در این دوره، همهٔ مقادیر کشش‌های جانشینی مثبت و کم‌تر از یک هستند و بنابراین، میان همهٔ نهاده‌های تولید رابطهٔ جانشینی کم‌کشش برقرار است. مهم‌ترین عامل ایجادکنندهٔ این اختلاف می‌تواند تفاوت قیمت‌های حقیقی انرژی در این دو دوره باشد. در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹ با توجه به یارانه چشمگیری که به حامل‌های انرژی تخصیص می‌یافت، قیمت حقیقی انرژی در طی این دوره بسیار پایین بوده و حتی روندی نزولی داشته است. از این‌رو، قیمت انرژی به عنوان یک نهادهٔ تولید هشداری درست را در تصمیم‌گیری و انتخاب عوامل تولید صادر نمی‌کرده است. اما از اواخر سال ۱۳۸۹ و با هدفمندی یارانه‌ها و اصلاح قیمت حامل‌های انرژی، قیمت حقیقی انرژی به میزان چشمگیری اصلاح شد و این موضوع می‌تواند سبب ارسال هشدار قیمتی پر قدرتی در تصمیم‌گیری و انتخاب عوامل تولید شود. با افزایش قیمت انرژی و معنادار شدن نسبت

هزینه‌های انرژی از کل هزینه‌های بنگاه تولیدی، فناوری فرسوده و انرژی‌بر توجیه خود را از دست داده و برای کاهش هزینه‌های انرژی، بنگاه می‌تواند اقدام به جایگزینی فناوری و خارج کردن تجهیزات مستهلک و استفاده از دستگاه‌های به‌روز و کاراتر در مصرف انرژی نماید.

نتایج به‌دست آمده در این بخش، سازگار با مطالعه‌هایی همچون پیندایک (۱۹۷۹) و محمود (۲۰۰۰) است. گفتنی است که در نظر گرفتن مسیر تعدیل سرمایه از کوتاه‌مدت به بلندمدت و فرض شبه ثابت نمودن این متغیر در مدل و در نظر گرفتن ضریب تعدیل سرمایه در استخراج روابط جانشینی و مکملی تأثیرگذار بوده است. در واقع، در نظر گرفتن مدل پویا با تعدیل سرمایه، نتایجی متفاوت از مدل ایستا به‌دست می‌دهد. چو و همکاران (۲۰۰۴) نیز با استفاده از هر دو مدل ایستا و پویا در معادلهٔ خود نشان داده‌اند که در مدل ایستا رابطهٔ مکملی میان نهاده‌های تولید برقرار بوده، اما در مدل پویا نهاده‌های تولید امکان جانشینی با یکدیگر داشته‌اند. ضرایب کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع نیز نشان می‌دهد که در مسیر کوتاه‌مدت به بلندمدت، ضرایب همهٔ کشش‌ها افزایش می‌یابد. یعنی در بلندمدت در مقایسه با کوتاه‌مدت، امکان جانشینی میان نهاده‌های تولید افزایش و رابطهٔ مکملی میان آن‌ها کاهش می‌یابد.

در مجموع، علاوه بر نتایجی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، نتیجه‌ای مهم که می‌توان به اشاره کرد، این است که رابطهٔ جانشینی یا مکملی میان نهاده‌های مختلف تولید در دوره‌های مختلف زمانی به دلیل تغییرات قیمت‌های نسبی متفاوت است.

## منابع

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

### الف) فارسی

ترازنامه انرژی (۱۳۹۲). *معاونت امور برق و انرژی*. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. وزارت نیرو.

ترازنامه هیدروکربوری کشور (۱۳۹۲). *گروه مدیریت انرژی*. موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی.

سبحانی ثابت، سیدعلی و داوود منظور (۱۳۹۳). برآورد کشش جانشینی سرمایه و انرژی در بخش صنایع شیمیایی کشور. *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، سال بیست و دوم، شماره ۷۱۳، صص ۱۵۷-۱۷۲.

شکیبایی، علیرضا؛ صادقی، زین‌العابدین و اعمی بنده قرای، حسن (۱۳۸۸). تاثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش جانشینی در بخش صنعت در بلندمدت. *فصلنامه جستارهای اقتصادی*، سال ششم، شماره ۱۱، صص ۱۵۵-۱۳۳.

شریفی، علیمراد و شاکری، ابوذر (۱۳۹۰). هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی و تحلیل تقاضای پویای نهاده انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، سال یازدهم، شماره سوم، صص ۲۵-۱.
صمدی، سعید؛ شریفی، علیمراد؛ احمدزاده، عزیز و خانزادی، آزاد (۱۳۸۸). جانشینی بین نهاده‌ی انرژی با سرمایه در بخش فلزات اساسی. *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۸۹، صص ۱۵۵ـ۱۲۹.
مرکز آمار ایران، (۱۳۹۲-۱۳۸۴) نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر سال‌های ۱۳۹۲ـ ۱۳۸۴.

**ب) انگلیسی**

Arnberg, S. & Biorner, T.B. (2007). Substitution between Energy, Capital and Labor within Industrial Companies: A Micro Panel Data analysis. *Resource and Energy Economics*, 29(2), pp. 122-136.
Lopez-Bazo, E., & Moreno, R. (2008). Does Human Capital Stimulate Investment In Physical Capital?: Evidence From a Cost System Framework. *Economic Modelling*, 25(6), pp.1295-1305.
Berndt, E. R., & Hesse, D. M. (1986). Measuring and Assessing Capacity Utilization in the Manufacturing Sectors of Nine OECD Countries. *European Economic Review*, 30(5), pp.961-989.
Berndt, E. R., Fuss, M. A., & Waverman, L. (1977). *Dynamic Models of the Industrial Demand for Energy* (No. EPRI-EA-580). Economics Research Group Ltd., Toronto, Ontario (Canada).
Berndt, E. R., Fuss, M. A., & Waverman, L. (1980). *Dynamic Adjustment Models of Industrial Energy Demand: Empirical Analysis for US Manufacturing (1947-1974). Research Report EA-1613*, Electric Power Research Institute, Palo Alto CA.
Berndt, E. R., & Wood, D. O. (1975). Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy. *The Review of Economics and Statistics*, pp.259-268.
Blackorby, C., & Russell, R. R. (1989). Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand Up? (A Comparison of the Allen/Uzawa and Morishima Elasticities). *The American Economic Review*, 79(4), 882-888.
Bölük, G., & Koç, A. A. (2010). Electricity Demand of Manufacturing Sector in Turkey: A Translog Cost Approach. *Energy Economics*, 32(3), pp.609-615.
Buranakunaporn, S., & Oczkowski, E. (2007). A Dynamic Econometric Model of Thailand Manufacturing Energy Demand. *Applied Economics*, 39(17), pp.2261-2267.
Cho, W. G., Nam, K., & Pagan, J. A. (2004). Economic Growth and Interfactor/Interfuel Substitution in Korea. *Energy Economics*, 26(1), pp.31-50.
Christopoulos, D. K. (2000). The Demand for Energy in Greek Manufacturing. *Energy Economics*, 22(5), pp.569-586.
Fiorito, G., & Van den Bergh, J. C. J. M. (2011). Capital-Energy Substitution for Climate and Peak Oil Solutions? An International Comparison Using the EU-KLEMS Database. In *Working Paper* ICTA-UAB.
Fuss, M. A. (1977). The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs. *Journal of Econometrics*,

5(1), pp.89-116.
Kmenta, J., & Gilbert, R. F. (1968). Small Sample Properties of Alternative Estimators of Seemingly Unrelated Regressions. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), pp.1180-1200.
Lucas, R. E. (1967). Optimal Investment Policy and the Flexible Accelerator. *International Economic Review*, 8(1), pp.78-85.
Lynk, E. L. *(1989). The Demand for Energy by UK Manufacturing Industry.* The Manchester School, 57(1), pp.1-16.
Mahmud, S. F. (2000). The Energy Demand in the Manufacturing Sector of Pakistan: Some Further Results. *Energy Economics*, 22(6), pp. 641-648.
Ma, H., Oxley, L., Gibson, J., & Kim, B. (2008). China's Energy Economy: Technical Change, Factor Demand and Interfactor/Interfuel Substitution. *Energy Economics*, 30(5), pp.2167-2183.
Morrison, C. J., & Berndt, E. R. (1981). Short-Run Labor Productivity in a Dynamic Model. *Journal of Econometrics*, 16(3), pp.339-365.
Pindyck, R. S. (1979). Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison. *The Review of Economics and Statistics*, pp.169-179.
Pindyck, R. S., & Rotemberg, J. J. (1983). Dynamic Factor Demands and the Effects of Energy Price Shocks. *The American Economic Review*, 73(5), pp.1066-1079.
Rhee, Y., & Song, J. H. (2014). The Male and Female Employment Effect of Compensation in Korea's Manufacturing Industry: Gender Differences in the Workplace. *American International Journal of Social Science*, 3(1). pp. 1-11.
Serletis, A., Timilsina, G. R., & Vasetsky, O. (2010). Interfuel Substitution in the United States. *Energy Economics*, 32(3), pp.737-745.
Steinbuks, J., & Neuhoff, K. (2014). Assessing Energy Price Induced Improvements In Efficiency Of Capital In OECD Manufacturing Industries. *Journal of Environmental Economics and Management*, 68(2), pp.340-356.
Thangavelu, S. M., & Chongvilaivan, A. (2011). The Impact of Material and Service Outsourcing On Employment in Thailand's Manufacturing Industries. *Applied Economics*, 43(27), pp.3931-3944.
Treadway, A. B. (1971). The Rational Multivariate Flexible Accelerator. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.845-855.
Treadway, A. B. (1974). The Globally Optimal Flexible Accelerator. *Journal of Economic Theory*, 7(1), pp.17-39.
Welsch, H., & Ochsen, C. (2005). The Determinants of Aggregate Energy Use in West Germany: Factor Substitution, Technological Change, and Trade. *Energy Economics*, 27(1), pp.93-111.
Yi, F. (2000). Dynamic Energy-Demand Models: A Comparison. *Energy Economics*, 22(2), pp.285-297.
Zellner, A. (1962). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), pp.348-368.