فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی
دانشگاه شهید بهشتی، تابستان ۱۳۹۵

Quarterly Journal of Economics and Modelling
Shahid Beheshti University

برآورد کشش‌های جانشینی نهاده انرژی در تابع تولید کلان اقتصاد ایران به روش CES دو مرحله‌ای

اباذر کریمی راهجردی*

محمد نوفرستی**

تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۴/۲۱ تاریخ پذیرش ۱۳۹۴/۱۰/۲

چکیده

آمار و ارقام مربوط به انرژی حاکی از آن است که کشور ایران از نظر شاخص‌های مصرف و بهره‌وری انرژی در مقایسه با متوسط جهانی در وضعیت مناسبی قرار ندارد. یکی از راهکارهای اصلاح نحوه بکارگیری این نهاده، افزایش قیمت‌های نسبی انرژی عنوان شده است. اما پیش فرض اساسی برای اثربخش بودن افزایش قیمت به هدف استفاده بهینه از انرژی، این است که در فرایند تولید، امکان جانشین ساختن نهاده انرژی با سایر نهاده‌ها برای بنگاه فراهم باشد؛ چراکه در غیر این صورت، به جای جانشین ساختن انرژی با سایر نهاده‌ها، افزایش قیمت انرژی از طریق افزایش هزینه‌های تولید، اثر تورمی برجای خواهد گذاشت. لذا محاسبه صحیح کشش جانشینی انرژی با سایر نهاده‌های تولید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین منظور، در این مطالعه، یک تابع تولید کشش جانشینی ثابت (CES) برای اقتصاد ایران تصریح و برآورد شده است. با توجه به اینکه در فرم اولیه این تابع تنها دو نهاده تولیدی وجود دارند، با تعریف مفهوم نهاده ترکیبی، سه تصریح متفاوت برای تابع تولید در نظر گرفته و به روش غیر خطی برآورد شدند. نتیجه این برآورد نشان می‌دهد در ایران، کشش جانشینی بین نهاده انرژی و نهاده‌های کار و سرمایه، پایین است و ساختار تولیدی موجود برای بنگاه‌های تولیدی امکان جانشینی را به سهولت فراهم نمی‌کند. نتیجه این امر این است که افزایش قیمت در کوتاه مدت بیش از اینکه به جانشینی نهاده‌ها و افزایش بهره‌وری انرژی منجر شود، باعث کاهش تولید و افزایش قیمت خواهدشد.

کلیدواژه‌ها: تابع CES، کشش جانشینی، نهاده انرژی، برآورد غیرخطی.

طبقه‌بندی JEL: D24, O13.

---

* دانشجوی دکتری گروه اقتصاد دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه اصفهان، (نویسنده مسئول)، ashkan_karimi1980@yahoo.com

** دانشیار گروه اقتصاد دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی دانشگاه شهید بهشتی. m-noferesti@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

تکانه‌های قیمت انرژی دهه ۱۹۷۰، توجه متفکرین علوم اقتصادی را بیش از پیش به خود جلب نمود و مبحث انرژی به یک باره در ادبیات علم اقتصاد جایگاهی ویژه یافت و سرمنشاء تحولات بسیاری در نوع نگرش به سیاست‌های اقتصادی و نظریات اقتصاد منابع گردید. مباحث مربوط به سیاست‌های طرف عرضه، نظریات مربوط به تورم رکودی و الگوهای عرضه و تقاضای انرژی از این جمله‌اند. همچنین نکته مهم دیگر در این زمینه این است که نهاده انرژی نه تنها به عنوان یک عامل اثرگذار در الگوهای اقتصادی مطرح گردیده بلکه خود بطور جداگانه مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌طوری‌که تنها نه به‌عنوان یک متغیر توضیحی برای توضیح دادن سایر متغیرها، بلکه به‌عنوان متغیر وابسته در روابط ریاضی وارد شده و الگوهایی برای تشریح عوامل اثرگذار بر میزان تقاضا یا عرضه آن طراحی گردیده‌اند. همچنین، امروزه در ادبیات علم اقتصاد در بیشتر توابع تولید، نهاده انرژی نیز به عنوان یکی از عوامل مهم و تعیین کننده وارد می‌شود. توجه به مباحث زیست محیطی نیز لزوم توجه به انرژی را بیشتر کرده است.

یک رویداد مرتبط با مباحث مربوط به انرژی در ایران، از سال ۱۳۸۹ با اجرای قانون هدف‌مندی یارانه‌ها و حذف تدریجی یارانه سوخت به عنوان یکی از مهمترین بندهای آن با اجرا گذاشته شد. یکی از اصلی ترین اهداف عنوان شده برای اجرای این طرح، افزایش بهره وری انرژی در کشور عنوان شده است. برخی مطالعات از جمله شریفی و شاکری (۱۳۹۰) پیش‌بینی کردند که مصرف انرژی در اثر اجرای این قانون در کوتاه مدت کاهش خواهدیافت.

بر اساس نظریه عمومی اقتصاد خرد، افزایش قیمت‌های نسبی دارای آثار متفاوتی در کوتاه مدت و بلند مدت خواهد بود. تغییر در قیمت‌های نسبی انرژی در بلند مدت، منجر به تغییر در تکنولوژی تولید به سمت صرفه جویی در مصرف انرژی خواهد شد. اما در کوتاه مدت و با فرض ثابت بودن تکنولوژی، اینکه تا چه میزان افزایش در قیمت یکی

از نهاده‌ها (انرژی) منجر به استفاده از سایر نهاده‌ها شود بستگی به این امر دارد که تکنولوژی موجود تا چه میزان امکان چنین جانشینی را به بنگاه خواهد داد. طبیعتا در صورتی که بنگاه قادر به جانشینی نهاده انرژی گرانتر شده با سایر نهاده‌ها در فرایند تولید نباشد، چاره‌ای نخواهد داشت جز اینکه افزایش هزینه‌های تولیدی خود را از طریق افزایش قیمت محصول خود جبران نماید. در نتیجه اثر تورمی افزایش قیمت انرژی بیشتر خواهد شد. لذا در صورتی که دولت تصمیم داشته باشد از بروز تورم بیشتر جلوگیری کند، و بنگاه نیز قادر به جانشین کردن نهاده گرانتر شده با سایر نهاده‌ها نباشد، لازم است که افزایش هزینه‌های بنگاه توسط دولت جبران شود.

یکی از اصلی ترین اهداف از اجرای طرح مذکور اصلاح روند موجود و افزایش بهره وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی عنوان شده است. تحقق این هدف از طریق دو فرایند متفاوت قابل تصور است. یکی جلوگیری از اتلاف انرژی در قسمت‌های مختلف تولیدی و غیر تولیدی است. به نظر می‌رسد با افزایش قیمت انرژی عاملان اقتصادی انگیزه بیشتری برای جلوگیری از هدر رفتن انرژی در جریان انواع استفاده‌ها از انرژی داشته باشند. روند دیگر جانشین شدن نهاده انرژی با سایر نهاده‌ها در جریان فعالیت‌های تولیدی و غیر تولیدی است. این جانشینی از دو راه امکان پذیر است. یکی تغییر تکنولوژی تولید و جانشین ساختن ماشین آلات و ابزارهای تولید موجود با انواع پیشرفته‌تری است که در استفاده از نهاده انرژی صرفه‌جو تر هستند. این امر بطور قطع به افزایش بهره وری انرژی منجر خواهد شد، اما سرمایه لازم برای چنین اصلاحاتی، ممکن است به راحتی در دسترس نباشد. راه دیگر جانشین شدن انرژی با سایر نهاده‌های تولیدی با استفاده از تکنولوژی موجود است. اما سوال اساسی که مطرح است، این است که در اقتصاد ایران و با فرض ثابت بودن تکنولوژی تولیدی تا چه حد امکان چنین جایگزینی وجود دارد. و یا حتی در نگاهی عمومی‌تر، آیا نهاده‌های مورد استفاده در فرایند تولید نسبت به یکدیگر حالت جانشینی دارند یا خیر و اگر جانشین هستند، این جانشینی تا چه میزان امکان پذیر است. لذا سوال اساسی پژوهش حاضر بدین شکل

مطرح خواهد شد که کشش جانشینی بین نهاده انرژی با سایر نهاده‌ها (نیروی کار و سرمایه) در ایران چه میزان است؟ و در نتیجه جانشینی بین انرژی با سایر نهاده‌های تولیدی در کوتاه مدت (با تکنولوژی جاری) تا چه میزان و با چه سهولتی امکان پذیر است؟

به این منظور، تابع تولید کلان اقتصاد ایران به روش کشش جانشینی ثابت (CES) که در آن نهاده‌های تولیدی عبارتند از نیروی کار (جمعیت شاغلین)، سرمایه ثابت نصب شده و میزان انرژی مصرف شده تصریح می‌گردد. در سمت چپ تابع تولید نیز ارزش افزوده کل ایجاد شده در کشور (GDP) قرار دارد. تمامی ارقام به قیمت‌های ثابت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دوره مورد بررسی سال‌های ۱۳۴۶ الی ۱۳۹۰ است.

در ادامه و در بخش دوم، ادبیات موضوع طرح شده است که خود دارای دو بخش است، اول مبانی نظری مربوط به تابع تولید، روش‌های برآورد و نهاده انرژی؛ و دوم، پیشینه مطالعات انجام شده در ارتباط با این پژوهش. در بخش سوم، الگوی مورد استفاده در این مقاله و نتایج برآورد الگوی ارائه می‌گردد. در نهایت نیز نیز به جمع‌بندی و نتیجه گیری اختصاص خواهد داشت.

۲- ادبیات موضوع

۲-۱- مبانی نظری

توابع تولید در طول توسعه مبانی نظری علم اقتصاد، تحولات فراوانی یافته‌اند و در هر مرحله، نظریه پردازان علم اقتصاد در تلاش بوده‌اند توابعی معرفی و تبیین کنند که قابلیت توضیح دهندگی بیشتری نسبت به انواع قدیمی‌تر داشته باشد. یکی از مهمترین ویژگی‌های مورد توجه در توابع تولید کشش جانشینی بوده است؛ از کشش جانشینی صفر در تابع تولید لئونتیف، کشش بی‌نهایت در تابع تولید خطی، تا کشش ثابت در تابع تولید کاب-داگلاس و توابع پیچیده‌تر که برای تفسیر تکنولوژی‌های جدیدتر ضروری بوده‌اند. در این بخش، به دلیل استفاده از تابع CES در این مقاله، برخی ویژگی‌های عمده این تابع تشریح می‌گردد.

تابع تولید با کشش جانشین ثابت (CES)

این تابع به دنبال مطالعه سولو و همکاران[1] (۱۹۶۱) معرفی شد که البته به نام ارائه دهندگان آن تحت عنوان CES-SMAC نیز معروف است. این تابع در حقیقت محدودیت تابع تولید کاب-داگلاس که فرض محدودکننده کشش جانشینی واحد بین زوج‌های عوامل تولید را دارد برطرف کرده است. فرم ریاضی آن به صورت زیر است:

$$Q = A\left[\alpha x_1^{-p} + (1-\alpha)x_2^{-p}\right]^{-\frac{1}{p}} \qquad (۱)$$

که در آن A>0 پارامتر کارایی و $0<\alpha<1$ پارامتر توزیع و p پارامتر کشش جانشینی است. کشش جانشینی بین صفر تا بینهایت می‌تواند متغیر باشد $0 < \delta < \infty$ و همچنین رابطه $a + (1-a) = 1$ بیانگر فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس است که البته فرض الزام آوری نیست و به جای $1-a$ می‌توانیم از ضریب $\beta > 0$ استفاده کنیم که در آن صورت (α+β) نشان‌دهنده درجه همگنی یا نوع بازدهی نسبت به مقیاس تابع است.

تولیدات نهایی نهاده‌ها عبارتند از:

$$MPP_{x_1} = \frac{\alpha}{A^p}\left[\frac{Q}{x_1}\right]^{1+p} \quad , \quad MPP_{x_2} = \frac{1-\alpha}{A^p}\left[\frac{Q}{x_2}\right]^{1+p} \qquad (۲)$$

بر اساس روابط ۱ و ۲، نرخ نهایی جانشینی فنی عبارت است از:

$$MRTS_{x_1x_2} = \frac{\alpha}{1-\alpha}\left[\frac{x_2}{x_1}\right]^{1+p} \qquad (۳)$$

$\frac{d\,MRTS_{x_1x_2}}{d\,x_1} < 0$ بنا به رابطه ۳ نرخ نهایی جانشینی کاهنده است

کشش جانشینی تابع عبارت است از:

$$\delta = \frac{d(x_2/x_1)}{d\,MRTS}\cdot\frac{MRTS}{(x_2/x_1)} = \frac{1}{d\,MRTS\,/d(x_2/x_1)}\cdot\frac{(1-a\,/a)(x_2/x_1)^{1+p}}{(x_2/x_1)} = \frac{1}{(1+p)(1-a/a)(x_2/x_1)}\cdot\frac{(1-a/a)\,(x_2/x_1)^{1+p}}{(x_2/x_1)} = \frac{1}{1+p} \qquad (۴)$$

در رابطه ۴، ملاحظه می‌شود رابطه نزدیکی بین δ وp وجود دارد. به همین دلیل در ابتدای تعریف تابع، p به عنوان پارامتر کشش جانشینی معرفی شده است. تابع CES

[1] Solow et al

ابزار بسیار مناسبی جهت نشان دادن رابطه بین انحنای منحنی‌های تولید همسان و کشش جانشینی است چون$0 < \delta < \infty$ است در اینصورت p<-1 خواهد بود. با توجه به این رابطه می‌توان حالات زیر را استخراج کرد.

الف) $p \to -1 \Rightarrow \delta \to \infty$

در این حالت، منحنی‌های تولید همسان تابع CES به صورت زیر قابل استخراج است:

$$ax_1^{-p} + (1-a)x_2^{-p} = \left[\frac{Q}{A}\right]^{-p} = \lambda \qquad (۵)$$

که در آن $\lambda > 0$ و مقداری ثابت است. لذا توان‌های مربوط به x_1 وx_2در سمت چپ رابطه (۵) برابر ۱ بوده و منحنی‌های تولید همسان به صورت خط راست در می‌آیند، یعنی داریم:

$$Q = ax_1 + (J-a)x_2 \qquad (۶)$$

با کمی دقت در می‌یابیم که در رابطه شماره (۶) دو نهاده کاملاً جانشین یکدیگر بوده و این جانشینی با نسبت ثابت $\frac{a}{1-a}$ انجام می‌گیرد.

ب) $\delta \to 0 \quad => p \to \infty \; \delta \to 0$

تحت این شرایط اگر $x_1 > x_2$ باشد، MRTS طبق رابطه (۴) به سمت صفر میل کرده و منحنی تولید همسان به سمت افقی گرایش می‌یابد و چنانچه $x_2 > x_1$ باشد MRTS به سمت بی نهایت میل کرده و منحنی‌های تولید همسان به سمت خط عمودی گرایش پیدا می‌کنند. بنابراین، جانشینی بین عوامل تولید امکان پذیر نیست و منحنی‌های تولید همسان به سمت دو خط عمود بر هم گرایش پیدا می‌کنند. و وضعیتی مشابه تابع تولید لئونتیف را ایجاد می‌کنند.

ج) $p > 0 \Rightarrow 0 < \delta < 1$

در اینجا از رابطه (۵) استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه λ برای تمام مقادیر مثبت است و هیچ یک از جملات سمت چپ رابطه فوق نمی‌تواند منفی باشد. بنابراین، هیچ

یک ازجملات نمی تواند بیش از λ باشد (زیرا مجموع دو جمله سمت چپ رابطه است) و با توجه به اینکه λ مقدار متناهی است، لذا هیچ یک از جملات نمی تواند بی‌نهایت گردد. این بدان معناست که منحنی تولید همسان دارای دو مجانب عمودی و افقی است و هیچ‌یک از محورها را قطع نمی‌کند. سطح مجانب‌ها عبارت است از:

$$x_1 \to 0 \quad => \quad x_2 = \left[\frac{\lambda}{1-a}\right]^{\frac{-1}{p}} \qquad (۷)$$

$$x_2 \to 0 \quad => \quad x_1 = \left[\frac{\lambda}{a}\right]^{\frac{-1}{p}} \qquad (۸)$$

در نتیجه در حالت (ج) منحنی‌های تولید همسان شکلی بین دو حالت لئونتیف و کاب-داگلاس را ایجاد می‌کند.

$$p \to 0 \quad => \quad \delta = 1 \qquad \textbf{(د)}$$

وقتی p به سمت صفر و δ به سمت یک میل می‌کند، ثابت می‌شود که حد تابع CES، تابع کاب-داگلاس با قید $\beta = 1 - \alpha$ خواهد بود. از رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$Ln\ Q = Ln\ A - \frac{1}{p} Ln\left[a x_1^{-p} + (1-a) x_2^{-p}\right] \qquad (۹)$$

و یا

$$Ln\ Q - Ln\ A = \left(Ln\left[a x_1^{-p} + (1-a) x_2^{-p}\right]\right) / -p \qquad (۱۰)$$

با حدگیری از رابطه ۱۰ وقتی $p \to 0$ خواهیم داشت :

$$lim_{p\to 0}[Ln\ Q - Ln\ A] = (lim_{p\to 0}\ Ln\left[a x_1^{-p} + (1-a) x_2^{-p}\right]) /$$
$$lim_{p\to 0}\ -p = \frac{0}{0} \qquad (۱۱)$$

رابطه ۱۱ یکی از صور مبهم است که اگر با استفاده از قاعده هوپیتال رفع ابهام شود، می‌توان نوشت:

$$\lim_{p\to 0}[Ln\ Q - Ln\ A] = (\lim_{p\to 0} Ln\left[a x_1^{-p} + (1-a) x_2^{-p}\ Í\ \right) / \lim_{p\to 0}(-\acute{}p)\ \Big] =$$
$$\frac{lim_{p\to 0}\left[\frac{-a x_1^{-p} Ln\ x_1 - (1-a) x_2^{-p} Ln\ x_2}{a x_1^{-p} + (1-a) x_2^{-p}}\right]}{lim_{p\to 0}^{(-1)}} = a\ Ln\ x_1 + \ (1-a) Ln\ x_2 \qquad (۱۲)$$

و یا

$$Q = Ax_1^{a}\, x_2^{(1-a)} \qquad (۱۳)$$

در واقع رابطه ۱۳ همان تابع کاب – داگلاس است با قید $\beta = (1 - \alpha)$. لذا ملاحظه می‌شود که تابع تولید با کشش جانشینی ثابت، فرمی کاملا انعطاف پذیر دارد و ابزار مناسبی برای تحلیل کشش جانشینی است.

روش برآورد غیر خطی[۱]

با توجه به انتخاب تابع تولید CES برای برآورد در پژوهش پیش رو، مشخص است که روش‌های برآورد خطی و رگرسیون معمولی به روش OLS برای این نوع از توابع قابل استفاده نیست چراکه در تابع CES پارامترها با یکدیگر رابطه غیرخطی دارند. در این حالت، برای برآورد ضرایب لازم است از روش‌های عددی و غیرخطی استفاده شود. مبنای محاسبه عددی ضرایب در رگرسیون‌های غیر خطی در نرم افزار استاتا[۲] که در این مقاله مورد استفاده بوده است، روش نیوتن رافسون[۳] است.

۲-۲-پیشینه پژوهش

مطالعات داخلی

در مورد انواع توابع تولید و ویژگی‌های آنها در مطالعات داخلی کارهای فراوانی انجام شده است و در بیشتر موارد، متغیرهایی که مورد توجه بوده‌اند، کشش جانشینی، بازدهی نسبت به مقیاس و تولید نهایی و متوسط نهاده‌ها بوده است. برخی مطالعات نیز به دنبال مقایسه روش‌های مختلف برآورد و انتخاب روش مناسب برای برآورد ضرایب تابع تولید بوده‌اند، در مطالعه نگارچی و همکاران (۱۳۹۰) روش برآورد با استفاده از الگوریتم ژنتیک، نسبت به روش خود توضیح با وقفه‌های گسترده بهتر تشخیص داده

---

[۱] جهت مطالعه بیشتر، به کتاب نیکوکار (۱۳۸۸) مراجعه کنید.

[2] Stata

[3] Newton-Raphson Method

شده است. برخی مطالعات نیز به دنبال یافتن رابطه علیت از رشد اقتصادی به رشد مصرف انرژی و یا برعکس بوده‌اند، از جمله مطالعات فطرس و گرگری (۱۳۸۸) و آرمن و زارع (۱۳۸۸) که هردو از تکنیک علیت تودا و یاماماتو[1] استفاده نموده‌اند؛ و یا ملکی (۱۳۸۳) که از تکنیک هم‌جمعی و بردارهای جوهانسون استفاده نموده است.

البته، همانطور که اشاره شد، بیشتر مطالعات به دنبال اندازه‌گیری دقیق کشش جانشینی بین نهاده‌های تولید بوده‌اند. هرقدر این امکان جانشینی بیشتر باشد، می‌توان روش تولید را دارای انعطاف بیشتر دانست. در ایران، در بخش‌های مختلف تولیدی، کشش جانشینی معمولا پایین تخمین زده شده است. به عنوان مثال، خداداد کاشی و جانی (۱۳۹۰) بین سرمایه و انرژی در بخش کارگاه‌های صنعتی بزرگ، رابطه مکملی و بین نیروی کار و انرژی و همچنین نیروی کار و سرمایه، رابطه جانشینی ضعیف مشاهده نموده‌اند و به ترتیب اعداد ۰.۴۶ و ۰.۴۵ را به عنوان کشش جانشینی بین کار و سرمایه و کار و انرژی محاسبه نموده‌اند. وجود رابطه جانشینی بین نهاده‌های تولیدی، در مطالعه شهیکی تاش، نوروزی و رحیمی (۱۳۹۲) نیز تایید شده است. البته برخی پژوهش‌های مانند مطالعه مقدم و همکاران (۱۳۹۲) رابطه‌ای چه بصورت جانشینی و چه بصورت مکملی بین نهاده‌ها مشاهده نکرده‌اند و یا به عبارتی کشش جانشینی را برابر با صفر برآورد کرده‌اند.

مطالعات خارجی

در مطالعات خارجی، مواردی که بطور خاص به برآورد کشش جانشینی پرداخته‌اند فراوان‌تر هستند. کشش‌های محاسبه شده نیز با توجه به روش مورد استفاده و کشور مورد بررسی، متفاوت بوده است. مثلا زوآ و دینگ[2] (۲۰۱۴)، در مقاله خود نشان داده‌اند

[1] Toda and Yamamoto
[2] Zhaa and Dingc

که در کشور چین بین نیروی کار و انرژی امکان جانشینی وجود ندارد اما بین سرمایه و انرژی امکان جانشینی بیشتری وجود دارد. البته همانطور که اشاره شد، روش تحلیل بر نتایج حاصله تاثیرگذار بوده است. به عنوان مثال، در مورد کشور چین مطالعه دیگری توسط سو و دیگران[1] (۲۰۱۱) انجام شده است که در آن به تحلیل رابطه بین جانشینی نیروی کار، سرمایه و انرژی در دوره ۱۹۵۳ الی ۲۰۰۶ پرداخته است اما این دوره، به دو بخش تقسیم شده است: دوره ۱۹۵۳ تا ۱۹۷۸ که مربوط است به دوره‌ای که در آن اقتصاد چین با نظام برنامه ریزی مرکزی اداره می‌شده است[2] و دوره ۱۹۷۹ الی ۲۰۰۶ که اقتصاد چین به روی اقتصاد جهان باز شده است و دوره مبتنی بر اقتصاد بازار محسوب می‌شود[3]. در نتیجه در این پژوهش، برآوردها سه بار انجام شده است. نتیجه این مطالعه، نشان داده است که بازدهی نسبت به مقیاس بین ۱.۴۷ تا ۱.۶۵ و فزاینده بوده و تمامی کشش‌های جانشینی، صرفه نظر از نحوه تصریح تابع CES، در دوره اقتصاد بازار از دوره اقتصاد برنامه‌ای بزرگ‌تر بوده‌اند. این مطالعه، رابطه عمیق بین تحولات تکنولوژیک و تحولات اقتصاد کلان را با کشش جانشینی در توابع تولید نشان می‌دهد. مقایسه این کشش در کشور آمریکا با کشور چین به عنوان بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی، جالب است.

سرلتیس و شاه مرادی[4] (۲۰۰۸) برای کشور آمریکا، نشان داده‌اند که کشش جانشینی بین انواع سوخت‌ها (در نمونه تحت بررسی) کمتر از یک است که نشان از عدم توانایی ایالات متحده در جایگزینی انواع سوخت‌ها با یکدیگر دارد و در نتیجه انتظار بر این خواهد بود که در آینده نزدیک، نفت خام اهمیت استراتژیک خود را در اقتصاد آمریکا حفظ کند. همچنین کشش جانشینی موریشیما[5] بین زغال سنگ و گاز

[1] Su et al
[2] Planned Peiod
[3] Market Period
[4] Serletis and Shahmoradi
[5] Morishima

طبیعی و همچنین بین زغال سنگ و نفت خام نشان می‌دهد کـه برخـی از بخـش‌هـای اقتصاد آمریکا همچنان از تکنولوژی‌های قدیمی استفاده می‌کنند.

اما مطالعاتی که بصورت مقطعی انجام شده‌اند، نتیجه جالبی را آشکار می‌کنند، اینکه کشش جانشینی بالاتر در فرایند تولید باعث بروز رشـد اقتصـادی بـالاتر خواهدشـد؛ بـه عنوان مثال، مالیک[1] (۲۰۱۲) که در یک مطالعه بین کشوری بـه تحلیـل نقـش کشـش جانشینی بین عوامل تولید در رشد اقتصادی پرداخته است، ابتـدا پـارامتر σ بـه عنـوان کشش جانشینی بین نیروی کار و سرمایه را برآورد نمـوده اسـت و در قـدم بعـدی ایـن پارامتر در یک الگوی رشد بین کشوری وارد شـده اسـت. نتیجـه آزمـون فرضـیه وجـود رابطه مثبت بین پارامتر σ و رشد اقتصادی حاکی از تایید این فرضیه از نظر آماری بـوده است. بر اساس این پژوهش، بین ۰.۲ تا ۰.۲۵ درصد از تفاوت‌های مشاهده شده در نـرخ رشد اقتصادی بین مناطق شرق آسیا و کشورهای پایین صحرای آفریقا را می‌تـوان تنهـا توسط پارامتر σ توضیح داد. در مورد تاثیر کشش جانشینی تولیـد بـر عملکـرد اقتصـاد، ریتوننکو و یاتسنکو[2] (۲۰۱۲) در مقاله نشان داده‌اند کـه چگونـه جانشـین پـذیری بـین سرمایه و انرژی با لحاظ نمودن قیدهای موجود برای مصرف انـرژی و پیشـرفتهای فنـی صرفه جویی کننده در مصرف انرژی می‌توانند بر سیاست‌های مدرنیزه شدن در کالاهای سرمایه‌ای اثرگذار باشد. این مطالعه بطور کلی دارای ۴ نتیجه زیر بوده است کـه همگـی به کشش جانشینی مرتبط هستند:

۱-اگر پیشرفت تکنولوژی به سمت صرفه جویی در مصرف انرژی باشد، دست یـافتن به یک رشد اقتصادی متوازن امکان پذیر است. در این حالت، قاعده بهینه اقتصادی برای سرمایه گذاری، از قیمت و سهمیه‌های انرژی مستقل خواهد بـود. در طـول یـک مسـیر بهینه تعادلی، رشد اقتصادی به نرخ بهره و نـرخ پیشـرفت تکنولـوژی، بهـره‌وری عوامـل

[1] Mallick
[2] Hritonenko and Yatsenko

تولید و میزان جانشین پذیری انرژی و سرمایه بستگی خواهدداشت. این نرخ در صورت کوچک‌تر بودن سهم انرژی در تابع تولید و بیشتر شدن بهره وری نیروی کار بیشتر خواهد شد.

۲-نسبت بهینه سرمایه به انرژی نیز در طول مسیر بهینه رشد ثابت خواهد ماند. این امر با مطالعه اتکنسون و کهو[1] (۱۹۹۹) که بیان می‌کنند "نسبت سرمایه به انرژی چندان تغییر نمی‌کند" سازگار است. در حالات زیر توزیع به سمت روش‌های صرفه جو در مصرف انرژی تغییر خواهد کرد: الف) سهمیه انرژی شدیدتر بشود؛ ب) نرخ پیشرفت انرژی صرفه جو در مصرف انرژی افزایش یابد؛ ج)کشش جانشینی انرژی و سرمایه افزایش یابد؛ د)در صورت افزایش سهم عامل انرژی.

۳-برای بازه نسبتا وسیعی (بین صفر تا ۲) از کشش جانشینی، میزان بهینه سرمایه ثابت خواهد بود.

۴-افزایشی در کشش جانشینی بین سرمایه و انرژی باعث موارد زیر می‌شود: الف)افزایش در میزان بهینه دارایی‌های بلند مدت و کاهش در مصرف انرژی در سطوح اقتصادی کشش جانشینی؛ ب)کاهش در نسبت بهینه انرژی به سرمایه.

به عنوان یک مطالعه قدیمی‌تر که بصورت مقطعی انجام شده است، می‌توان به مطالعه روی و همکاران (۲۰۰۶)[2] اشاره نمود که با استفاده از داده‌های تابلویی بین کشوری مربوط به کشورهای کره جنوبی، برزیل، هندوستان و ایالات متحده در صنایع کاغذ، فولاد و آهن و صنایع تجمیعی، نشان داده‌اند که کشش‌های جانشینی در مقایسه با مطالعات قبل از این مطالعه، بالاتر بوده است. کشش‌های قیمتی خودی در این مطالعه برای انرژی در دامنه (۰.۸۰- و ۱.۷۶-) است. کشش‌های جانشینی در این مقاله دامنه بازتری از مقادیر داشته‌اند. کشش جانشینی بین انرژی و سرمایه در محدوده (۹.۸۰ و

[1] Atkenson and Kehoe
[2] Roy et al

۱.۹۶-)، نیروی کار و انرژی در محدوده (۷.۱۱ و ۲.۶۱) و انرژی و مواد اولیه بین (۲.۰۷ و ۰.۲۶-) برآورد گردیده‌اند.

۳- ارائه الگوی پژوهش و تحلیل نتایج

همانطور که در بخش سوم عنوان گردید، برآورد ضرایب در تابع CES به روش غیرخطی انجام می‌شود. نکته دیگر این است که در این تابع در فرم استانداردی که در رابطه (۱) ارائه شده است، تنها دو متغیر می‌توان در تابعی که برآورد می‌شود وارد کرد. چراکه بنابه تعریف، این تابع دارای کشش جانشینی ثابت بین نهاده‌های تولید است و اگر در این رابطه بیش از دو متغیر وارد شود، امکان برآورد پارامتر ρ وجود نخواهد داشت. ضمن اینکه مشخص نخواهد بود کشش جانشینی محاسبه شده، مربوط به جانشین سازی بین کدام نهاده‌ها است. در پژوهش حاضر که تابع تولید با وجود سه متغیر نیروی کار (pop) سرمایه (k) و انرژی (en) برآورد خواهد شد، در صورتی که از فرم استاندارد تابع CES استفاده شود، مشخص نخواهد بود که کشش جانشینی محاسبه شده مربوط به جانشین سازی بین نیروی کار و سرمایه است یا بین نیروی کار و انرژی و یا بین انرژی و سرمایه. لذا در این مطالعه، از رویکرد برآورد دو مرحله‌ای تابع CES استفاده شده که همان رویکرد تشریح شده توسط سو و دیگران (۲۰۱۱) است. نتایج حاصل شده در این مطالعه نیز مشابه نتایج مطالعه سو و دیگران بوده است که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

با توجه به مطالب بیان شده، در پژوهش پیش رو، از روشی با عنوان CES دو مرحله‌ای استفاده خواهدشد. در این روش، دو نهاده از سه نهاده بصورت یک نهاده ترکیبی فرض می‌شوند و کشش جانشینی این نهاده ترکیبی با نهاده سوم برآورد می‌گردد. همچنین بطور هم زمان، کشش جانشینی بین دو نهاده‌ای که بصورت ترکیبی در نظر گرفته شده است نیز قابل محاسبه خواهد بود. بر اساس روش CES دو مرحله‌ای،

سه نوع مختلف تصریح قابل تصور خواهد بود که در ادامه هر سه نوع معرفی و برآورد شده‌اند. با استفاده از این روش، کشش جانشینی بین نیروی کار و انرژی، بین نیروی کار و سرمایه و بین انرژی و سرمایه محاسبه خواهد شد. در این روش، کشش جانشینی بین نهاده ترکیبی و نهاده سوم نیز بدست خواهد آمد که می‌توان آن را بطور جداگانه تحلیل نمود.

لذا نهایتا رابطه‌ای به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$y = \left[a3.\left(a1.x_1^{a2} + (1-a1).x_2^{a2}\right)^{(-a4/a2)} + (1-a3).x_3^{a4}\right]^{(-1/a4)} \quad (۱۴)$$

در رابطه ۱۴، پارامترهای a1,a2,a3,a4 ضرایبی هستند که لازم است برآورد شوند. برای برآورد ضرایب، لازم است برای ضرایبی که برآورد می‌شوند، مقادیری به عنوان مقادیر اولیه در نظر گرفته شود. بسته به اینکه مقادیر اولیه چه اعدادی باشند، ممکن است جواب‌های متفاوتی برای معادلات حاصل شود. لازم به ذکر است که این جواب‌ها همگی جواب معادله محسوب می‌شوند چراکه معادلات غیرخطی ممکن است بیش از یک جواب داشته باشند. اساسا یکی از تفاوت‌های روش خطی با روش‌های غیر خطی این است که روش خطی دارای جواب منحصر به فرد است اما در روش‌های غیر خطی ممکن است جواب‌های چندگانه بدست آید. در حل معادلات ارائه شده در این مقاله نیز، به ازای مقادیر اولیه متفاوت، جواب‌های متفاوتی بدست آمده است که همگی آن‌ها گزارش شده‌اند.

در جواب‌های بدست آمده، بر اساس آماره p (حداکثر سطح معناداری) بعضی از ضرایب معنادار و برخی بی‌معنا بوده‌اند. (در سطح ۹۰ درصد) با توجه به اینکه این مطالعه، به دنبال تحلیل کشش جانشینی بوده و ضرایب متغیرها (a1,a3 در معادله ۱۴) مورد توجه نیستند، جواب‌هایی که در آنها پارامتر مربوط به کشش جانشینی معنادار بوده است انتخاب شده‌اند. نکته جالب توجه در مورد الگوی سوم این است که در این الگو، به ازای مقادیر اولیه متفاوت، جواب‌های بدست آمده یکسان هستند و با تغییر

مقادیر اولیه در جواب‌های بدست آمده تغییری حاصل نشده است. در ادامه الگوهای برآورد شده و همچنین تعداد تکرار انجام شده توسط نرم افزار برای همگرا شدن جواب‌ها ارائه شده‌اند. معیار توقف محاسبات در نرم افزار استاتا این بوده است که در مجموع مجذورات خطا (SS) بهبود یا کاهشی حاصل نشود.

در معادلات ارائه شده، ضرایب a2 و a4 نشان دهنده پارامترهای مربوط به کشش‌ها و ضرایب a1 و a3 نشان دهنده پارامترهای مربوط به ضرایب هستند (به بحث تابع CES مراجعه شود).

در الگوی نخست، رابطه‌ای بصورت زیر در نرم افزار استاتا معرفی و برآورد شده است:

$$gdp = \left[a3.(a1.pop^{a2} + (1-a1).en^{a2})^{(-a4/a2)} + (1-a3).k^{a4}\right]^{(-1/a4)} \quad (۱۵)$$

برای مقادیر اولیه برای a1 و a3 برابر با ۰.۵ و مقادیر اولیه برای a2 و a4 برابر با ۱ ، رگرسیون در تکرار ۲۰۶۳ همگرا شده است و مجموع مجذورات رگرسیون برابر با ۶۹۰۷ محاسبه شده است (خروجی نرم افزار در پیوست، شماره ۱). در این حالت، تنها ضریب a4 معنادار بوده است. به ازای مقادیر اولیه متفاوت در الگوی اول، نتایج متفاوتی حاصل شده است که خروجی آنها در پیوست مقاله آمده است.

نکته جالب و با اهمیت در مورد الگوی اول، این است که به ازای مقادیر اولیه ضرایب برابر با ۰.۱ و توان‌ها برابر با ۱ و برای ضرایب ۰.۲ و a2 برابر با ۲ و a4 برابر با ۰.۵ جواب‌های یکسانی برای ضرایب و توان‌ها حاصل شده است. در حالت اول، تعداد تکرارهای مورد نیاز برای همگرایی، ۲۰۶۳ تکرار بوده است اما در حالت اخیر، با ۵۲ تکرار همان نتایج حاصل شده است. با توجه به اینکه پارامتر کشش در این حالت معنادار شده است، می‌توان انطباق جواب به ازای مقادیر اولیه متفاوت را نشانه استحکام الگو دانست.

در الگوی دوم، رابطه زیر برآورد شده است:

$$gdp = \left[a3.(a1.k^{a2} + (1-a1).en^{a2})^{(-a4/a2)} + (1-a3).pop^{a4}\right]^{(-1/a4)} \quad (۱۶)$$

نتایج به ازای مقادیر اولیه متفاوت، در پیوست گزارش شده است. در نهایت رابطه زیر به عنوان الگوی سوم برآورد شده است:

$$gdp = \left[a3.(a1.k^{a2} + (1-a1).pop^{a2})^{(-a4/a2)} + (1-a3).en^{a4}\right]^{(-1/a4)} \quad (۱۷)$$

نتیجه برای مقادیر اولیه مختلف (تمامی مقادیر اولیه دو الگوی قبلی) برای پارامترهای الگو، یکسان بوده است و خروجی نرم افزار در پیوست مقاله ارائه شده است.

در خروجی‌های ارائه شده، قبل از هر خروجی، تعداد تکرار مورد نیاز برای همگرا شدن جواب که توسط نرم افزار انجام شده است و همچنین مجموع مجذورات خطای رگرسیون نیز آمده است. در هر تابلوی خروجی، چهار سطر پایین مربوط به ضرایب محاسبه شده برای هریک از متغیرها و سطح معناداری و آماره t مربوط به هر متغیر است. در قسمت بالا، سمت چپ جدول آنالیز واریانس و در سمت راست اطلاعات مربوط به رگرسیون، همانند ضریب تعیین، ضریب تعیین تعدیل شده و جذر MSE آمده است. همان طور که اشاره شد، تحلیل حساسیت به ازای مقادیر اولیه مختلف، نشان داد که الگوهای ارائه شده پایدار هستند. همچنین آزمون ADF بر روی جملات پسماند الگوها نشان می‌دهد این جملات خطا پایا هستند. لذا نتایج الگوها برآوردهایی قابل اتکا از ضرایب حقیقی محسوب می‌شود. می‌توان نتایج الگوهای ارائه شده را در جدول (۱) خلاصه نمود:

جدول ۱- نتایج برآوردهای تابع CES

توان بین متغیرها	الگوی اول		الگوی دوم		الگوی سوم	
	ضریب محاسبه شده	P value	ضریب محاسبه شده	P value	ضریب محاسبه شده	P value
نیروی کار و سرمایه	--	--	--	--	۲/۳۸۹۱	۰/۰۰۰
نیروی کار و انرژی	۲/۵۲۴۷	۰/۰۵۴	--	--	--	--
سرمایه و انرژی	--	--	۳/۷۳۰۱	۰/۰۰۰	--	--
نیروی کار و نهاده ترکیبی	--	--	۰/۱۳۶۲	۰/۰۰۰	--	--
انرژی و نهاده ترکیبی	--	--	--	--	-۲/۸۲۷۵	۰/۲۲۸
سرمایه و نهاده ترکیبی	-۱/۵۱۲۹	۰/۰۶۸	--	--	--	--

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که تشریح گردید، در تابع CES ضرایب برآورد شده کشش نیستند، بلکه برای محاسبه کشش‌ها لازم است از رابطه (۴) ضرایب محاسبه شده به کشش‌های جانشینی مربوطه تبدیل شوند.

لذا با استفاده از رابطه (۷)، ضرایب بدست آمده در جدول (۱) به کشش‌های جانشینی تبدیل می‌شوند. نتایج این محاسبات در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- کشش‌های جانشینی بین نهاده‌های تولید

کشش جانشینی بین نهاده‌ها	الگوی اول	الگوی دوم	الگوی سوم
نیروی کار و سرمایه	--	--	۰/۲۹۵
نیروی کار و انرژی	۰/۲۸۳۷	--	--
سرمایه و انرژی	--	۰/۲۱۱۴	--
نیروی کار و نهاده ترکیبی	--	۰/۸۸	--
انرژی و نهاده ترکیبی	--	--	-۰/۵۴۷
سرمایه و نهاده ترکیبی	-۱/۹۴۹۳	--	--

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج ارائه شده، کشش جانشینی بین نهاده انرژی و نیروی کار برابر است با ۰.۲۸۳۷ که از یک کوچکتر است. کشش جانشینی بین انرژی و سرمایه نیز برابر است با ۰.۲۱۱۴ که این مقدار برآورد شده نیز از یک کوچکتر است. این ارقام نشان‌دهنده کشش جانشینی نسبتا پایین برای نهاده انرژی با سایر نهاده‌ها هستند. البته با توجه به جداول ارائه شده، برای اینکه کشش جانشینی از یک کوچکتر باشد، لازم است ضریب a4 از صفر بزرگتر باشد.

نتایج بدست آمده مشابه نتایج بدست آمده توسط سو و دیگران (۲۰۱۱) برای کشور چین هستند. در آن مطالعه نیز کشش‌های جانشینی همگی کوچکتر از یک برآورد شده‌اند. همچنین در مطالعه سو و دیگران، کشش جانشینی بین نیروی کار و انرژی بزرگتر از کشش جانشینی بین سرمایه و انرژی بوده است.

۴- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۴-۱- نتیجه‌گیری

کشش جانشینی بین نهاده‌های تولیدی همگی کمتر از ۰.۳ برآورد شده‌اند. در بین این کشش‌های جانشینی، کشش جانشینی بین نیروی کار و سرمایه از دوتای دیگر بزرگتر است و برابر با ۰.۲۹۵ بوده است. از سوی دیگر، کشش جانشینی برای نهاده انرژی بسیار پایین برآورد شده است. کشش جانشینی بین انرژی و نیروی کار برابر با ۰.۲۸۳۷ و بین انرژی و سرمایه برابر با ۰.۲۱۱۴ تخمین زده شده است. این ارقام نشان می‌دهد در ساختار تولیدی موجود در کشور، امکان جانشین کردن نهاده‌های تولیدی با یکدیگر به سهولت وجود ندارد. پایین بودن کشش جانشینی، علاوه بر اینکه از پایین بودن و کم انعطاف بودن فرایند تولید در کشور حکایت دارد، دارای مفهوم بسیار مهم دیگری نیز هست و آن اینکه در صورت افزایش قیمت‌های یکی از نهاده‌ها که در عمل نیز اتفاق افتاده است، بنگاه‌های تولیدی، حداقل در کوتاه مدت، امکان جانشین کردن نهاده گران شده را با نهاده‌های به نسبت ارزانتر ندارند. لذا گران شدن ناگهانی یکی از نهاده‌های

تولید، مثل انرژی که به دنبال اجرای طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی از اواخر سال ۱۳۸۹ انجام شد، برای تولید کننده‌ای که امکان جانشین کردن این نهاده گران شده با سایر نهاده‌ها را ندارد، دو راه بیشتر باقی نمی‌گذارد. یا باید از چرخه تولید خارج شود و تعطیلی یا ورشکستگی را تجربه کند (بروز رکود اقتصادی)، و یا اگر کشش تقاضای محصولات تولیدی او پایین باشند و امکان افزایش قیمت تولیدات خود را داشته باشد، قیمت‌های خود را افزایش دهد (بروز تورم). در هر دو حال، اجرای چنین طرحی، همانطور که در عمل هم مشاهده شد، چیزی جز تورم رکودی را به دنبال نخواهد داشت. البته تورم مشاهده شده ممکن است دلایل دیگری نیز داشته که باعث شده از حد معمول بسیار بالاتر برود. اما آنچه از الگو ارائه شده در این مطالعه مشهود است این است که با توجه به کشش‌های جانشینی، تکنولوژی غالب تولیدی امکان جانشینی آسان بین نهاده‌ها را به تولید کننده نمی‌دهد و لذا اگر سیاست گذاران از تولید کننده حمایت نکنند باید منتظر تورم و رکود باشند. این اتفاق در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ مشاهده گردید.

۴-۲- پیشنهادات

یافته‌های پژوهش حاضر آشکار ساخت که در اقتصاد ایران، امکان جانشینی آسان نهاده‌ها وجود ندارد. لذا ضرورت دارد در فازهای بعدی اجرای طرح‌هایی مثل هدفمند سازی یارانه‌ها، حتما از تولید کننده حمایت شود؛ چراکه همانطور که نشان داده شد، با افزایش قیمت یکی از نهاده‌ها، بنگاه امکان جانشین کردن آن نهاده با سایر نهاده‌ها را ندارد. با توجه به اینکه تغییر تکنولوژی تولید نیز فرایندی زمان بر و هزینه بر است، ضرورت حمایت از تولید کننده بیشتر می‌شود. لذا اصلی‌ترین پیشنهاد حاصل از یافته‌های این مطالعه این است که در صورتی که دولت قصد دارد فازهای بعدی هدفمندسازی را اجرا کند، حتما لازم است هم در کوتاه مدت (به دلیل پایین بودن کشش جانشینی بین نهاده‌های تولیدی) و هم در بلند مدت (به دلیل هزینه سنگین تغییر تکنولوژی تولید) از بخش تولید حمایت کند.

۵- منابع

- Agheli-Kohneshahri, L. (2006). Estimation of Production Function in Iranian Mines. *Economic Studies*, 6(1), 33-50 (In Persian).
- Akbari, M. (2006). *An Introduction to Production Function Theory*. Azad University Basirat, 73 (In Persian).
- Allen V.K. & Sweeney. J.B. (2006). *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, 3. Series editors Kenneth J. Arrow & Micheal D. Intriligator, Elsevier, 3th edition, Netherlands.
- Annual Energy Outlook. (2011). U.S Energy Information Administration.
- Annual Statistical Bulletin, OPEC 2010/2011.
- Arnberg, S. & Bjørner, T.B. (2007). Substitution between Energy, Capital and Labour within Industrial Companies: A Micro Panel Data Analysis. *Resource and Energy Economics*, 29, 122–136.
- Arrow K.J., Chenery, H.B., Minhas, B.S., & Solow R.M. (1961). Capital Labor Substitution and Economic Efficiency. *Review of Economics and Statistics*, 43(3), 225-250.
- Azarbeyejani, K., Sharifi, A. & Sateei, M. (2006), Estimating Demand Function for Industry Sector of the Country (1346-1381. *Economic Research*, 41(3), 133-166 (In Persian).
- BP Statistical Review of World Energy, 2009-2010.
- Chiang, A.C. (1984). *Fundamental Methods of Mathematical Economics*. 3th Edition, McGrow-Hill.
- Christensen, L.R., Jargenson, D.W.& Lau, L.J.(1993). Transcendental Logarithmic Production Frontiers. *Review of Economics and Statistics*, 55, 8-45.
- Cobb, C.W. & Douglas, P.H. (1928). A Theory of Production. *American Economic Review*, 18, 139-165.
- Debertin, D.L. (1985). *Articultural Production Economics*. Chicage Press.
- Emadzade, M., Sharifi, A., Dalaliesfahani, R. & Safdari, M. (2003). An Analysis of Energy Intensity Trend of OECD Countries. *Trade Research*, 28, 95-118 (In Persian).
- Halter, A.N., Carter , H.O., Hocking, J.O., & Hocking, J.G. (1957). A Note on the Transcendental Production Function. *Journal of Farms Economics*, 39, 966-974.

- Hritonenko, N. & Yuri, Y. (2012). Energy Substitutability and Modernization of Energy-Consuming Technologies. *Energy Economics*, 34, 1548-1556.
- Iran Energy Balance-sheet, Ministry of Energy (In Persian).
- Iran Hydrocarbon Balance-sheet, Ministry of Petroleum (In Persian).
- Khiabani, N. & Karim, H. (2010). Technical and Allocative Inefficiencies and Factor Elasticities of Substitution: An Analysis of Energy Waste in Iran's Manufacturing, *Energy Economics*, 32. 1182–1190.
- Khodadadkashi, F. & Jani, S. (2011). A Dynamic Research about Firm's Behavior Using Ttwo-Stage CES Function with Emphasis on Energy Consumption Pattern and Labor Improvement. *Energy Economics Studies*, 8, 97-124 (In Persian).
- Leamer, E.E., (1983). Let's Take the Con out of Econometrics. *American Economic Review*, 73 (1), 31–43.
- Lu,Y. & Felccher, L.B. (1968). A Generalization of CES Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 50, 449-452.
- Liu, T.C & Hilderbrand, G.H. (1960). Manufacturing Production Functions in the United States, 1957. Cornell University, School Of Industrial Relations.
- Mallick, D. (2012). The Role of the Elasticity of Substitution in Economic Growth: A Cross-Country Investigation. *Labour Economics,* 19, 682–694.
- Nadiri, M.L. (1982). Producers Theory in Handbook of *Mathematical Economics*, 2. ed. K. J. Arrow & M. Intrilligator (Amesterdam: North Holland, 431-90.
- Nafar, N. (2001). Estimation and Analysis of Iran's Manufacturing Sector Production Function. *Economic Research*, 24, 63-86 (In Persian).
- Negarchi, S., Zare Mehrjerdi, M.R., Mehrabi Boshrabadi,H. & Nezamabadi Pour, H. (2012). Comparing Genetic Algorithm and ARDL to Estimate a Production Function for Agriculture Sector in Iran. *Agriculture Economic Research*, 34(2), 101-107 (In Persian).
- Nikoukar, M. (2009). *Numerical Calculations*. 4th Edition, Gostaresh Oloom Payeh Press (In Persian).
- Revankar,N.S. (1971) Analysis of Variable Elasticity of Substitution, Production Function. *Econometrica*, 39, 61-71.

- Roy, J., Sanstad, A.H., Sathaye, J.A. & Khaddaria, R. (2006). Substitution and Price Elasticity Estimates Using Inter-Country Pooled Data in a Translog Cost Modelm. *Energy Economics*, 28, 706–719.
- Sato, R. & Hofman, R.F. (1968). Production Function with Variable Elasticity of Factor Substitution: Some Analysis and Testing. *The Review of Economic and Statistics*, 50(4), 543-560.
- Serletis, A. & Asghar Shahmoradi, A. (2008). Semi-nonparametric Estimates of Interfuel Substitution in U.S. Energy Demand. *Energy Economics*, 30, 2123–2133.
- Shahikitash, M. Norouzi, A. & Rahimi, G. (2013). Economies of Scale, Optimum Production Level and Eenergy Elasticity of Substitution. *Iran's Energy Economics*, 2(6), 75-105 (In Persian).
- Sharifi, A. & Shakeri, A. (2011). Targeting Energy Subsidies and Energy Input Dynamic Analysis in Iran's Manufacturing Industries. *Economic Reserch*, 3, 1-25 (In Persian).
- Su, X., Zhou, W., Nakagami, K., Ren, H & Mu, H. (2011). Capital Stock-Labor-Energy Substitution and Production Efficiency Study for China. *Energy Economics*, 34(4), 1208-1213
- Uzawa, M. (1961). Production Function with Constant Elasticity of Substitution. *Review of Economics and Statistics*, 29(4), 291-299.
- Welsch, H. (2008). Armington Elasticities for Energy Policy Modeling: Evidence from Four European Countries. *Energy Economics*, 30 2252–2264.
- Zha, D. & Dingc, N. (2014). Elasticities of Substitution between Energy and Non-energy Inputs in China Power Sector. *Economic Modelling*, 38, 564–571.
- www.cbi.ir
- www.eia.org

۶- پیوست

خروجی نرم افزار استاتا، برای سه الگوی معرفی شده در مقاله، به ترتیب الگوها به شـرح زیر بوده است:

الگوی اول

برای مقادیر اولیه برای a1 و a3 برابر با ۰.۵ و مقادیر اولیه برای a2 و a4 برابر با ۱:

Iteration 2063: residual SS = 6907.788

Source	SS	df	MS
Model	171889.608	4	42972.402
Residual	6907.7882	40	172.694705
Total	178797.396	44	4063.57719

Number of obs = 44
R-squared = 0.9614
Adj R-squared = 0.9575
Root MSE = 13.14134
Res. dev. = 347.3401

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.999892	14.59853	0.07	0.946	-28.50484	30.50463
/a1	.7162365	.5928813	1.21	0.234	-.4820212	1.914494
/a2	1.48549	.2129564	6.98	0.000	1.055089	1.91589
/a4	139.2153	2063532	0.00	1.000	-4170415	4170693

برای مقادیر اولیه ضرایب ۰.۱ کشش‌ها ۱:

Source	SS	df	MS
Model	174769.601	4	43692.4003
Residual	4027.79511	40	100.694878
Total	178797.396	44	4063.57719

Number of obs = 44
R-squared = 0.9775
Adj R-squared = 0.9752
Root MSE = 10.03468
Res. dev. = 323.6051

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.8173141	.1623221	5.04	0.000	.4892489	1.145379
/a1	.4509997	1.106118	0.41	0.686	-1.784548	2.686548
/a2	2.524769	1.269325	1.99	0.054	-.0406319	5.090171
/a4	-1.512979	.8060967	-1.88	0.068	-3.142161	.1162036

برای همه پارامترها برابر با ۰.۵:

Iteration 7247: residual SS = 7626.581

Source	SS	df	MS
Model	171170.816	4	42792.7039
Residual	7626.58059	40	190.664515
Total	178797.396	44	4063.57719

Number of obs = 44
R-squared = 0.9573
Adj R-squared = 0.9531
Root MSE = 13.80813
Res. dev. = 351.6956

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.9870313	.0497775	19.83	0.000	.8864272	1.087635
/a1	-5.076058	9.598006	-0.53	0.600	-24.47435	14.32224
/a2	.0402613	9.393271	0.00	0.997	-18.94425	19.02477
/a4	-3.424427	3.31634	-1.03	0.308	-10.127	3.278147

برای همه پارامترها برابر با ۱:

Iteration 1822: residual SS = 6743.057

Source	SS	df	MS		
Model	172054.339	4	43013.5848	Number of obs	44
Residual	6743.05708	40	168.576427	R-squared	0.9623
				Adj R-squared	0.9585
Total	178797.396	44	4063.57719	Root MSE	12.9837
				Res. dev.	346.2781

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.9998299	14.37733	0.07	0.945	-28.05784	30.0575
/a1	.6103412	.5241029	1.16	0.251	-.4489102	1.669593
/a2	1.532694	.2076119	7.38	0.000	1.113095	1.952294
/a4	138.5236	1350337	0.00	1.000	-2728994	2729271

برای ضرایب ۰.۲ و a2 برابر با ۲ و a4 برابر با ۰.۵:

Iteration 52: residual SS = 4027.795

Source	SS	df	MS		
Model	174769.601	4	43692.4003	Number of obs	44
Residual	4027.79511	40	100.694878	R-squared	0.9775
				Adj R-squared	0.9752
Total	178797.396	44	4063.57719	Root MSE	10.03468
				Res. dev.	323.6051

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.8173141	.1623221	5.04	0.000	.4892489	1.145379
/a1	.4509996	1.106118	0.41	0.686	-1.784548	2.686548
/a2	2.524769	1.269325	1.99	0.054	-.0406318	5.090171
/a4	-1.512979	.8060967	-1.88	0.068	-3.142161	.1162035

الگوی دوم

به ازای مقادیر اولیه برای a1 و a3 برابر با ۰.۵ و مقادیر اولیه برای a2 و a4 برابر با ۱ بصورت زیر است:

Iteration 71: residual SS = 11476.83

Source	SS	df	MS		
Model	167320.565	4	41830.1414	Number of obs	44
Residual	11476.831	40	286.920774	R-squared	0.9358
				Adj R-squared	0.9294
Total	178797.396	44	4063.57719	Root MSE	16.93874
				Res. dev.	369.678

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.680946	6.696128	0.10	0.920	-12.85243	14.21433
/a1	.1693802	.0532527	3.18	0.003	.0617525	.2770079
/a2	1.863499	.07775	23.97	0.000	1.70636	2.020638
/a4	135.3813	3162.378	0.04	0.966	-6256.023	6526.786

برای مقدار ضرایب برابر با ۰.۸ و کشش‌ها برابر با ۲:

Iteration 212: residual SS = 8072.85

Source	SS	df	MS		
Model	170724.546	4	42681.1365	Number of obs	44
Residual	8072.85029	40	201.821257	R-squared	0.9548
				Adj R-squared	0.9503
Total	178797.396	44	4063.57719	Root MSE	14.20638
				Res. dev.	354.1978

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	1.278609	.9234225	1.38	0.174	-.5876973	3.144916
/a1	.5481301	.2680882	2.04	0.048	.0063035	1.089957
/a2	1.506739	.2773787	5.43	0.000	.9461359	2.067343
/a4	2.01214	4.728389	0.43	0.673	-7.54429	11.56857

برای مقدار ضرایب برابر با ۰.۸ و a2 برابر با ۰.۲ و a4 برابر با ۲:

Iteration 118: residual SS = 1235.996

Source	SS	df	MS		
Model	60827.7585	2	30413.8793	Number of obs	44
Residual	1235.99558	41	30.1462336	R-squared	0.9801
				Adj R-squared	0.9791
Total	62063.7541	43	1443.34312	Root MSE	5.490559
				Res. dev.	271.6261

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.0037564	.0007227	5.20	0.000	.0022969	.0052158
/a1	2.15e+09	.	.	.	.	.
/a2	3.730137	.0000254	1.5e+05	0.000	3.730086	3.730189
/a4	.136298	.0083627	16.30	0.000	.1194091	.1531869

Parameter a1 taken as constant term in model & ANOVA table

الگوی سوم

به ازای مقادیر اولیه متفاوت:

Iteration 54: residual SS = 645.2351

Source	SS	df	MS
Model	178152.161	4	44538.0403
Residual	645.235145	40	16.1308786
Total	178797.396	44	4063.57719

Number of obs	= 44
R-squared	= 0.9964
Adj R-squared	= 0.9960
Root MSE	= 4.016327
Res. dev.	= 243.0253

gdp	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
/a3	.9958161	.0145748	68.32	0.000	.9663594	1.025273
/a1	.0541175	.015464	3.50	0.001	.0228636	.0853713
/a2	2.389132	.0980936	24.36	0.000	2.190878	2.587387
/a4	-2.827557	2.308658	-1.22	0.228	-7.493529	1.838416