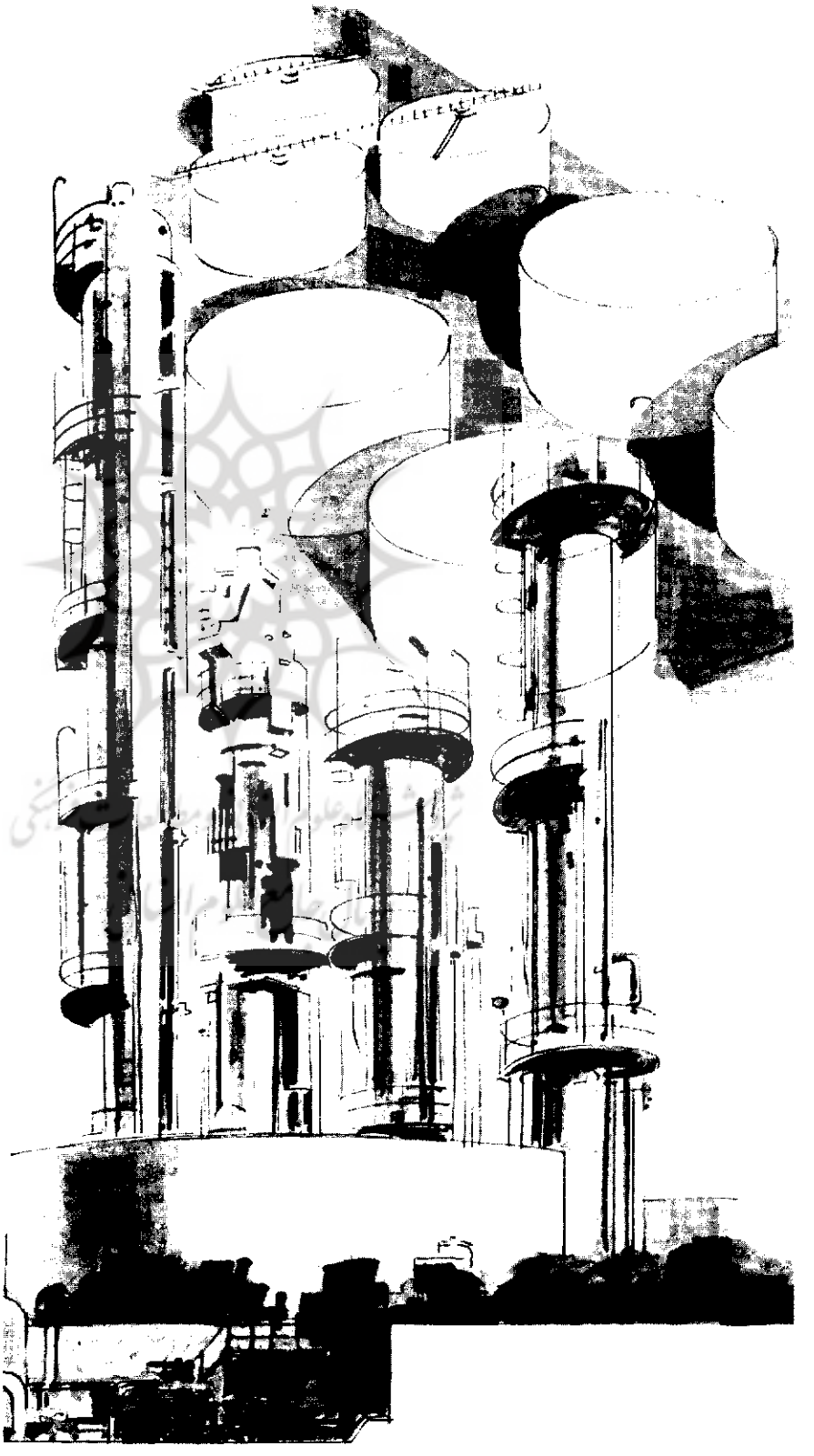
تحلیل داده و ستادهٔ انرژی

شهلا خالقی*



مدل داده-ستادهٔ انرژی، معیارهایی را در مورد انرژی مورد نیاز اقتصاد (به طور مستقیم و یا غیرمستقیم) در یک زمان مشخص ارائه می‌نماید. از این معیارها جهت برآورد هزینهٔ انرژی صرف شده برای تولید یک کالای مشخص و یا بررسی تأثیر تغییرات ساختار انرژی در اقتصاد یک کشور استفاده می‌شود. در مدلهای داده و ستاده، فرض می‌شود که ضرایب داده-ستاده در یک دورهٔ کوتاه قبل و بعد از دورهٔ مورد بررسی، نسبتاً ثابت باقی خواهد ماند. مطالعات «هانن»[1] (سال ۱۹۸۳) و «کسلر و هانن»[2] (سال ۱۹۸۹) نشان داده‌اند که تغییر در انرژی مورد نیاز برای تولید یک کالای مشخص، پس از یک دورهٔ ٤ تا ٥ سالهٔ بعد از مطالعات داده-ستاده ایجاد می‌گردد.

باتوجه‌به‌روندتوسعهٔاقتصادی کشورها، با تغییرات ایجاد شده در تکنولوژی و نیز تقاضای نهایی، ضرایب جدول داده-ستاده نیز در طی زمان تغییر خواهد یافت. تأثیر تغییرات ناشی از رشد اقتصادی، تقاضای نهایی، ارزش افزوده و وابستگی به واردات بر ضرایب جدول داده-ستاده، در مطالعات «اسکولکا»[3] (سال ۱۹۸۹) مشاهده می‌گردد. در چارچوب صنعت انرژی نیز «پروپز»[4] (سال ۱۹۸٤) تأثیر تغییرات کشش انرژی، تقاضای انرژی و نیز تغییر در ساختار روابط تجاری میان صنایع مختلف را بر ضرایب جدول داده-ستاده مورد مطالعه قرار داده است. در سال ۱۹۹۱ نیز «چن و رز»[5] مطالعاتی را در زمینهٔ جدول داده-ستاده با درنظر گرفتن سرمایه، نیروی کار و انرژی انجام داده‌اند. در این مطالعات، جایگزینی بین سوختها و نیز جایگزینی سوخت با سایر داده‌های تولیدی نیز مدنظر قرار گرفته است.

در مدل داده-ستادهٔ انرژی، تغییرات تکنولوژیکی و ماتریس تولید می‌تواند بر نیاز انرژی و غیر انرژی بخشهای تولیدی اقتصاد تأثیر بگذارد. در این راستا، تأثیر تغییرات هر یک از منابع تولید از جنبهٔ نظری مورد بررسی قرار خواهد گرفت و سپس با بهره‌گیری از نتایج به دست آمده از مرحلهٔ نخست، برآورد و مقایسهٔ عملی شدت اجزای تغییر انجام می‌گیرد. نتایج حاصل از بررسیهای مختلف نشان می‌دهد که با درنظر گرفتن تغییرات تکنولوژیکی در بخشهای انرژی جدول داده-ستاده و نیز تغییرات ترکیب تولید، نتایج بسیار دقیقی را می‌توان از ضرایب تعدیل یافته جدول داده-ستاده به دست آورد.

---

* - کارشناس ارشد شرکت ملی گاز ایران

انرژی‌بری هر کالا، توسط جدول داده و ستاده که نشان‌دهندهٔ میزان انرژی مصرفی در تولید هر کالا می‌باشد، قابل ارزیابی است. توسط این جدول، می‌توان میزان تغییر در تقاضای انرژی را در نتیجهٔ تغییر در ترکیب تولیدات یک کشور، مورد بررسی و ارزیابی قرار داد.

از دههٔ ۱۹۷۰، با درک این واقعیت که ممکن است قیمت انرژی کمتر از ارزش کمیابی آن تعیین گردد، روشهای مختلفی جهت تجزیه و تحلیل مصرف انرژی و چگونگی جانشینی انواع انرژیها به وجود آمد. یکی از این روش‌ها، روش داده و ستادهٔ انرژی است که نشان‌دهندهٔ میزان انرژی به کار گرفته شده برای هر واحد تولید و همبستگی متقابل بین بخش انرژی و کل مجموعهٔ اقتصاد در یک کشور می‌باشد.

این جدول دارای n سطر و t ستون است که اندازهٔ واقعی این جدول از لحاظ نظری، فقط بستگی به درجهٔ تفکیک‌پذیری بخشهای اقتصاد (با توجه به اهداف محقق از انجام تحلیل) خواهد داشت. در عمل، این ابعاد محدود به میزان اطلاعات در دسترس و مقیاس‌های ادارهٔ تجزیه و تحلیل اقتصادی[۶] (BEA) می‌باشد. n نشان‌دهندهٔ بخشهای اقتصادی یک کشور و t نشان‌دهندهٔ کلیهٔ n بخش صنعتی، به علاوه ترکیبات اضافه‌ای که دربرگیرندهٔ بخش تقاضای نهایی نیز هست، می‌باشد. این ستون (t-n)، دربرگیرندهٔ مصرف شخصی، سرمایه‌گذاری خصوصی داخلی، تغییر در ذخیرهٔ انبار، کلیهٔ هزینه‌های دولتی و در صورتی که تجارت خارجی آزاد بوده باشد، شامل بخش صادرات و واردات نیز خواهد بود.

جدول داده و ستاده اگر به صورت ثابت برآورد شود، در این حالت نشان‌دهندهٔ فعالیت بخشهای مختلف در یک زمان مشخص و معلوم است. هر خانه از این جدول، می‌تواند نشان‌دهندهٔ مقادیر کالای داده و ستاده و یا با درنظر گرفتن قیمت انواع کالاها، ارزش داده و ستاده باشد.

مقدار هر عدد و به عبارتی ضرایب دادهٔ هر بخش اگرچه با توجه به تغییر در عادات مصرفی احتمالاً تغییر می‌کنند، لیکن آن‌ها را با توجه به یک سطح تکنولوژی مشخص، ثابت فرض می‌نماییم. لذا این ضرایب، ضرایب تکنولوژی نامیده می‌شوند.

محاسبهٔ ضرایب، صرفاً ریاضی و جبری است، لذا پس از احتساب میزان تولید (برحسب ارزش) و تعدیل تولید براساس ذخیرهٔ انبار، میزان تولید ناخالص تعدیل می‌گردد. سپس میزان داده به هر بخش مورد محاسبه قرار گرفته و از تقسیم میزان دادهٔ هر بخش به تولید ناخالص دیگر بخش، می‌توان ضریب تکنولوژی هر بخش را مورد محاسبه قرار داد و با تکرار این امر برای کلیهٔ بخشهای اقتصاد، قادر خواهیم بود تا جدول ضرایب داده و یا ماتریس ساختاری را به دست آوریم.

مفروضات و نظریهٔ جدول داده- ستادهٔ انرژی

برای به دست آوردن مدل داده-ستاده، باید از طریق عنوان انواع انرژی‌ها به تفکیک، تعدیلاتی در جدول لئونتیف به عمل آوریم. جهت سهولت، فرض می‌کنیم که اقتصاد به دو بخش تقسیم شده است: یک بخش، بخش غیرانرژی که تولیدکنندهٔ کالاهایی غیر از انرژی است و بخش انرژی که تولیدکنندهٔ انرژی (مثل نفت، گاز و...) می‌باشد.

پارامترها:

a_{ij} : داده از کالای i به ازای هر واحد ستادهٔ کالای j که i،j=۱،۲؛

$\mathcal{E}_i$: انرژی به ازای هر واحد ستادهٔ بخش i، i=۱و۲

متغیرها:

X_{ij}: مقدار کالای i که توسط بخش j به عنوان داده جذب می‌شود؛

X_j: مقدار ستادهٔ بخش j، j=۱و۲؛

E_j: مقدار انرژی استخراج شده توسط بخش j، j=۲.

در این جدول، تناسبی نیز بین داده و ستاده در امر تولید درنظر گرفته می‌شود.

عامل نسبت در این جدول، ضریب داده-ستاده و یا ضریب تکنولوژی است (a_{ij}). بنابراین، برای هر صنعت j فرض شده است که:

$$X_{ij} = a_{ij} X_j \qquad i,j = ۱و۲ \qquad (۱)$$

در مدل لئونتیف، که ارزش داده‌ها و ستاده‌ها برحسب دلار اندازه‌گیری می‌شوند، سود صفر است و ساختار مدل خطی و بازده تولید ثابت به مقیاس فرض می‌شود.

$$\sum_{i=۱}^{۲} X_{ij} = X_j \qquad j = ۱و۲ \quad (۲)$$

ارزش کلیهٔ داده‌ها در هر بخش، برابر با ارزش ستاده‌های تولیدی توسط آن بخش است. برای مثال، $X_{11} + X_{21}$ نشان‌دهندهٔ کلیهٔ ارزشهای مصرف‌شده در بخش یک است و این مقدار برابر با ستاده از بخش یک، یعنی X_1 می‌باشد.

در تحلیل داده و ستادهٔ انرژی، معادلهٔ توازن (۲) با درنظر گرفتن انرژی تغییر می‌نماید. در بخشهای غیر انرژی، با ضرب ضریب انرژی‌بری در هر یک از داده‌های تولید ($\mathcal{E}_i$) و نیز ضرب ضریب انرژی‌بری در ستادهٔ j ($\mathcal{E}_j$)، این معادله تغییر می‌کند.

$$\mathcal{E}_1 X_{11} + \mathcal{E}_2 X_{21} = \mathcal{E}_1 X_1 \qquad (۳)$$
$$j=۱ \qquad i=۱،۲$$

انرژی معادل دادهٔ اول به علاوه انرژی معادل دادهٔ دوم، برابر با انرژی معادل ستادهٔ صنعت مورد نظر است.

برخلاف بخش غیرانرژی، بخش تولیدکنندهٔ انرژی، بخش واحد و ویژه‌ای است که به مقدار کمتری از آنچه انرژی تولید می‌نماید (به عنوان ستاده)، انرژی جذب می‌کند. با توجه به معادلهٔ (۲)، فرض شده است که زمانی یک بخش دادهٔ خود را از زمین می‌گیرد، این داده در جدول نادیده گرفته شود (اما لزوماً چنین فرضی درست نیست).

زمانی که محاسبات با توجه به ارزشهای دلاری است، این ساده‌سازیها مشکلی را ایجاد نمی‌کند، زیرا ارزش دلاری داده در واقع برابر با ارزش دلاری ستاده‌هاست. در هر حال، زمانی که محاسبات با واحد انرژی مثل B.T.U باشد، داده‌های اضافه بر سیستم از زمین (مثل نفت...) باید در جدول آورده شود، زیرا براساس قانون بقای انرژی، بیش از انرژی داده شده به سیستم، نمی‌توان انرژی بیشتری تحویل گرفت.

فرض کنید بخش دوم، بخش انرژی باشد، به طوری که روش مورد استفاده جهت ملحوظ داشتن داده‌های اضافی-انرژی استخراج شده از زمین - و نیز تعدیل معادلهٔ توازن برای آن بخش به شرح زیر است:

$$\mathcal{E}_1 X_{12} + \mathcal{E}_2 X_{22} + E_2 = \mathcal{E}_2 X_2 \quad (۴)$$
$$j=۲ \qquad i=۱،۲$$

پس کل انرژی مورد استفاده به عنوان داده، عبارت است از $\mathcal{E}_1 X_{12} + \mathcal{E}_2 X_{22}$ به علاوه

جدول داده و ستاده نشان‌دهنده میزان انرژی به‌کار گرفته شده برای هر واحد تولید و همبستگی متقابل بین بخش انرژی و کل مجموعه اقتصاد یک کشور است

از دهه ۱۹۷۰، با درک این واقعیت که ممکن است قیمت انرژی کمتر از ارزش کمیابی آن تعیین گردد، روشهای مختلفی جهت تحلیل مصرف انرژی و چگونگی جانشینی انواع انرژی‌ها به وجود آمد

انرژی استخراج شدهٔ جدید از زمین، E_2، که با کل انرژی به کار رفته جهت حصول ستادهٔ $(\varepsilon_2 X_2)$ برابر است. در اینجا، تعدیل دیگری در سیستم لئونتیف انجام می‌شود، مبنی بر اینکه داده‌های انرژی از بخش انرژی برحسب واحدهای انرژی هستند، حال آنکه واحدهای داده از بخش غیرانرژی برحسب دلار می‌باشند. توجه شود که E_2 و X_2 برابرند، زیرا هر یک معادل انرژی جدیدی است که از بخش انرژی به عنوان ستاده تولید می‌شود. برای دو بخش از اقتصاد با یک بخش انرژی و یک بخش غیرانرژی، سیستم معادلات در شکل ماتریسی قابل بیان است.

$$\varepsilon \Lambda \hat{X} + E = \sum \hat{X} \qquad (۵)$$
$$\varepsilon = (\varepsilon_1 , \varepsilon_2)$$

که:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

و

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix}$$

$$E = [0 \quad E_2]$$

جهت حصول ε یعنی انرژی‌بری کالاها:

$$\varepsilon = E \hat{X}^{-1} (I-A)^{-1}$$

$$E \hat{X}^{-1} = [0 \quad 1] = e$$

لذا می‌توان نوشت:

$$\varepsilon = e (I-A)^{-1} \qquad (۷)$$

بنابراین، انرژی‌بری تابعی از ضرایب تکنولوژی در اقتصاد است. ماتریس ضرایب تکنولوژی، A، نشان‌دهندهٔ نیازهای تکنولوژیکی برای چهار نوع داد و ستد می‌باشد: دادوستد از بخش انرژی به سایر بخشهای انرژی دیگر، دادوستد از بخش انرژی به بخش غیرانرژی، دادوستد از بخش غیرانرژی به بخشهای انرژی و دادوستد از بخش غیرانرژی به سایر بخشهای غیرانرژی. به عبارت دیگر، ضرایب تکنولوژی ماتریس A براساس الگوی زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} BTU/BTU & BTU/\$ \\ \$/BTU & \$/\$ \end{bmatrix}$$

با توجه به چگونگی واحدهای به‌کار گرفته شده، انرژی‌بری برای بخشهای غیرانرژی براساس هر B.T.U انرژی به ازای هر دلار تولید (ستاده) ارزیابی می‌شود. در حالی که انرژی‌بری برای بخش‌های انرژی بر حسب هر واحد B.T.U انرژی داده، به ازای هر واحد B.T.U ستاده، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

به طور کلی، برای یک اقتصاد که دارای m صنعت تولیدکنندهٔ انرژی -نه به عنوان تولیدکنندهٔ ثانویه- و نیز n واحد صنعت است، معادلهٔ توازن انرژی برای iامین نوع انرژی و jامین صنعت تولیدکنندهٔ انرژی به شرح زیر است:

$$\sum_{k=1}^{n} \varepsilon_{ik} X_{kj} + E_{ij} = \varepsilon_{ij} X_j \qquad (۸)$$
$$j = ۱ \ldots n$$
$$i = ۱ \ldots m$$

به طوری که: ε_{ik} نشان‌دهندهٔ B.T.U لازم از iامین نوع انرژی به ازای هر دلار تولید صنعت k می‌باشد و E_{ij} مقداری از iامین نوع انرژی است که توسط صنعت jام از زمین به دست می‌آید.

اگر فرض شود که انرژی حاصل در واقع از طریق تولید ثانویه به دست آمده است، $E_{ij}=0$، مگر اینکه i=j باشد که در این حالت باید j نشان‌دهندهٔ صنعت تولیدکننده باشد.

بنابراین، کل انرژی داده شده از نوع iام به بخش jام، به علاوه انرژی از نوع iام که مستقیماً توسط بخش jام از زمین تولید شده است، برابر با کل انرژی از نوع iام ستاده از بخش jام می‌باشد. اکنون انرژی‌بری می‌تواند برای هر یک از بخشهای اقتصاد و برای هر نوع انرژی تخمین زده شود. لذا، انرژی‌بری iامین نوع سوخت را به شرح زیر می‌توان عنوان کرد:

$$\varepsilon_i = e_i (I-A)^{-1} \qquad (۹)$$
$$I = ۱ \ldots m$$

در حالی که e دارای ابعاد (1.n) است که کلیهٔ عناصر آن، غیر از عنصر مربوط به iامین نوع انرژی، صفرند.

بررسی اعمال فرض تولیدات ثانویه

در بخش قبل فرض شده است که صنعت تولیدکننده، تنها یک کالا تولید می‌نماید. در دنیای واقعی، صنایع براساس تولیدات عمدهٔ آن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند، لیکن بسیاری از صنایع جدای از تولید اصلی و اولیهٔ خود، مقادیری کالا نیز تولید می‌نمایند که این تولیدات را به سایر صنایع عرضه می‌نمایند. این تولیدات که در واقع به عنوان تولیدات اولیه و اساسی آن صنعت مطرح نمی‌باشند، به عنوان تولیدات ثانویه شناخته شده‌اند. جهت تنظیم حسابهای داده و ستاده، لازم است که کالای واقعی مصرف شده توسط صنعت را (که به عنوان داده مطرحند) بشناسیم و به این ترتیب میزان دادهٔ خریداری شده از صنایع مفروض، شناخته خواهد شد. در شکل ماتریسی، چنین داد و ستدهایی می‌تواند به صورت ماتریسی که سطور آن، کالاها و ستونهای آن نشان‌دهندهٔ صنایع هست، بیان شود. براساس تعریف BEA، چنین ماتریسی با نام «ماتریس استفاده»[۷] خوانده می‌شود. این ماتریس با علامت U_{ij} نشان داده می‌شود و نشان‌دهندهٔ کل کالای iام است که توسط صنعت jام به عنوان داده جذب می‌شود.

ماتریس مهم دیگری که در جهت تنظیم جدول داده-ستادهٔ تولیدات ثانویه استفاده می‌شود، «ماتریس ساخت BEA»[۸] است.

در این ماتریس سطرها، صنایع و ستونها، کالاهاست و این ماتریس را با علامت V_{ij} به مدل وارد می‌کنیم و ijامین عنصر این ماتریس، نشان‌دهندهٔ کل کالای jام تولید شده توسط صنعت iام است.

قابل توجه است که V_{ij} نشان‌دهندهٔ کل تولید i است که توسط صنعت i تولید شده، یعنی نشان‌دهندهٔ کل کالای تولید شده از نوع i است که توسط صنعت اولیه (مادر) تهیه شده است. اگر «ماتریس ساخت» برگردان شود، بنابراین $[V^T]_{ij}$ نشان‌دهندهٔ مقدار کالای iام است که توسط صنعت jام تولید شده است.

با شناخت مسئله تولیدات ثانویه و ایجاد «ماتریس استفاده»، چگونگی توزیع کالاهای مختلف در صنایع و سایر بخشهای اقتصاد را می‌بینیم و در اینجا احتیاج داریم که انرژی‌بری تولیدات ثانویه را نیز بدانیم. بنابراین برای هر کالا، انرژی‌بری با عنوان $\mathcal{E}_{ij}$ بیان می‌شود که نشان‌دهندهٔ میزان انرژی از نوع iام (به طور مستقیم و یا غیرمستقیم) جهت تولید هر واحد کالای iام در اقتصاد می‌باشد. روش محاسبهٔ انرژی‌بری در پی خواهد آمد.

مفروضات تکنولوژی کالا

با توجه به معادلهٔ (۸) در بخش دوم، تولیدات ثانویه به یک معادلهٔ تعدیل شدهٔ توازن انرژی احتیاج دارد. یکی از این معادلات به شرح زیر است:

$$\sum_{k=1}^{n} \mathcal{E}_{ik} U_{kj} + E_{ij} = \sum_{k=1}^{n} \mathcal{E}_{ik} [V^T]_{kj}$$

$i = 1 \dots m$

$j = 1 \dots n$

i نشان‌دهندهٔ تولید انرژی و j نشان‌دهندهٔ صنعت است؛

$\sum^{n} \mathcal{E}_{ik} U_{kj}$: میزان انرژی iام که توسط کالاهای تولیدی در بخش jام جذب شده است دادهٔ انرژی به بخش jام؛

E_{ij}: کل انرژی از نوع iام که توسط بخش jام از زمین مستقیماً به دست آمده است (دقت شود که $E_{ij} = V_{ji}$ می‌باشد)؛

$\sum^{n} \mathcal{E}_{ik} [V^T]_{kj}$: کل انرژی از نوع i که جهت k کالای تولیدی در بخش j مورد استفاده قرار گرفته است.

اگر هر n بخش اقتصاد را درنظر بگیریم، معادلهٔ ۱۰ را می‌توانیم به شرح زیر بنویسیم:

$$\mathcal{E}_i U + E_i = \mathcal{E}_i V^T \qquad (۱۱)$$

به طوری که:

$\mathcal{E}_i$: بردار (1.n) که نشان‌دهندهٔ انرژی‌بری برای انواع انرژیهاست؛

U: ماتریس استفاده اقتصاد با ابعاد (n.n)؛

E_i: بردار (1.n) که نشان‌دهندهٔ انرژی نوع iام است که مستقیماً توسط کلیهٔ بخشهای اقتصاد تولید شده‌اند؛

V^T: برگردان «ماتریس ساخت» اقتصاد با ابعاد (n.n).

معادلهٔ (۱۱)، در واقع از نظر ماهیت شبیه معادلهٔ (۵) است (در بخش ۲)، البته با پیش ضرب نمودن $(V^T)^{-1}$ در معادلهٔ (۱۱):

$$\mathcal{E}_i U [V^T]^{-1} + E_i [V^T]^{-1} = \mathcal{E}_i I \qquad (۱۲)$$

همانند حالتی که تولید ثانویه نداشتیم، عبارت $E_i [V^T]^{-1}$ را می‌توان با عنوان e_i نوشت و برداری است که عناصر مربوط به کالای انرژی آن یک و مابقی آن صفر است. به دلیل آنکه عناصر E_i نشان‌دهندهٔ مقادیر انرژی از نوع iام تولید شده توسط صنایع موجود در اقتصاد می‌باشد، بنابراین E_i در واقع مطابق با iامین ستون از ماتریس V و یا معادل iامین سطر از ماتریس V^T می‌باشد، لذا:

$$\mathcal{E}_i = e_i (I - U [V^T]^{-1})^{-1} \qquad (۱۳)$$

در اینجا، استفادهٔ تلویحی از مفروضات تکنولوژی کالا در معادلهٔ توازن (۱۰) آشکار می‌شود. مفروضات مربوط به تکنولوژی کالا نشان می‌دهد که هر کالا صرفنظر از صنعت تولیدکنندهٔ آن همانند یک داده است. با استفاده از عناصر «ماتریس استفاده» و «ماتریس ساخت»، می‌توانیم اندیس‌ها و مفاهیم این عناصر را بیان نماییم. فرض می‌شود که صنعت jکالای اولیهٔ خود و نیز یک کالای ثانویه راکه به بخش k داده می‌شود، تولید می‌نماید. U_{ij}، نشان می‌دهد که واحدهایی از کالای i که به صنعت j فروخته می‌شود، می‌توانند به دو جزء تقسیم شود: i فروخته شده به j جهت تولید j و i فروخته شده به j جهت تولید k.

$$U_{ij} = U_{ijj} + U_{ijk} \qquad (۱۴)$$

از طریق «ماتریس ساخت»، تولید کالای j و k توسط صنعت j مشخص می‌شود که آن را با V_{jj} (میزان تولید کالای j که توسط صنعت i تولید می‌شود) و V_{jk} (میزان تولید کالای k که توسط صنعت j تولید می‌شود) نشان می‌دهیم.

فرض تکنولوژی کالا، تلویحاً به این امر اشاره دارد که برای هر صنعت j:

$$\frac{U_{ijj}}{V_{jj}} = C_{ij} \quad \text{و} \quad \frac{U_{ijk}}{V_{jk}} = C_{ik}$$

U_{ijj}: میزان داده از نوع i که توسط صنعت j برای تولید کالای j مصرف شده است؛

U_{ijk}: میزان داده از نوع i که توسط صنعت j برای تولید کالای k مصرف شده است؛

C_{ij}: ضریب تکنولوژی ثابت، که نشان‌دهندهٔ واحدهایی از دادهٔ i است که جهت تولید هر واحد از کالای j مورد نیاز می‌باشد.

پس:

$$U_{ijj} = V_{jj} C_{ij} \quad \text{و} \quad U_{ijk} = V_{jk} C_{ik} \qquad (۱۵)$$

به طور کلی می‌توان گفت، معادلهٔ مزبور در واقع n تولید ثانویهٔ احتمالی صنعت j را که می‌تواند توسط این صنعت تولید شود، تحت پوشش قرار دهد. بنابراین می‌توان نوشت:

(۱۶)

$$U_{ij} = \sum_{k=1}^{n} C_{ik} V_{jk} = \sum_{k=1}^{n} C_{ik} [V^T]_{kj}$$

با فرض معادلهٔ مزبور، ماتریس تولیدات ثانویه احتمالی را می‌توان به این شکل نوشت:

$$U = C V^T \qquad (۱۷)$$

که ijامین عنصر C همان C_{ij} است و ماتریس ثابت‌های تکنولوژیکی براساس شکل زیر تعریف می‌شود:

$$C = U [V^T]^{-1} \qquad (۱۸)$$

توجه شود که در معادلهٔ (۱۳)، این ماتریس همانند ماتریس ضرایب تکنولوژی A در معادلهٔ (۷) به کار گرفته شده است. در هر حال، به جای

صنعت ثابت براساس ضرایب داده-ستاده، ثابت کالا را براساس ضرایب داریم. جهت برآورد انرژی‌بری برای یک اقتصاد با m کالای انرژی، می‌توانیم از معادلهٔ زیر استفاده کنیم:

$$\varepsilon = e\ (\ I\text{-}U\ [V^T]^{-1})^{-1} \qquad (۱۹)$$

به طوری که:

ε: ماتریس (m.n) انرژی‌بری با توجه به نوع انرژی؛

e: ماتریس (m.n) شامل m بردار (1.n) که در این بردار، عنصر مطابق با هر نوع انرژی یک و مابقی عناصر صفر است.

فرض تکنولوژی صنعت

معادلهٔ (۱۰)، یک راه را برای تولیدات ثانویه در معادلهٔ توازن انرژی بیان می‌دارد. یک شکل دیگر فرمول به شرح زیر است:

$$\sum_{j=1\ \ldots\ n} \varepsilon_{li}\ (U\ g^{\wedge -1}\ V)_{ij} + E_l = \varepsilon_{li} q_j \qquad (۲۰)$$

در این معادله:

ε_{li}: نوع انرژی l به ازای هر واحد کالای i (j= 1...m)؛

$g^{\wedge -1}$: ماتریس ستادهٔ صنعت که iامین عنصر آن، یعنی g_i ستادهٔ صنعت i می‌باشد (تولید صنعت i است)؛

q_j: کل ستادهٔ کالای j در کل اقتصاد (j=1...n)؛

E_l: کل ستادهٔ کالای انرژی تولید شدهٔ l، برای کالاهای غیرانرژی $E_l=0$ است.

معادلهٔ (۲۰)، مسئله تولیدات ثانویه را با فرض وجود یک تکنولوژی صنعت بحث می‌نمایند. تحمیل فرض تکنولوژی صنعت، اشاره بر «تخصیص داده‌ها به کالاهای تولید شده توسط یک صنعت خاص براساس نسبت ستادهٔ (تولید) آن صنعت به کل کالاهای تولید شده» دارد. برای ملاحظهٔ کاربرد این فرض، لازم است تا عبارت $(U\ g^{\wedge -1}\ V)$ را مورد بررسی قرار دهیم. این جزء می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

$$(U\ g^{\wedge -1}\ V)_{ij} = \sum_{k=1}^{n} \frac{V_{kj}}{g_k}\ U_{ik}$$

توجه کنید که V_{kj}/g_k نشان‌دهندهٔ کسری از تولید صنعت k می‌باشد که مشتمل بر کالای j است (سهم تولید j از کل تولید صنعت k).

ضریب انرژی‌بری نشان‌دهنده آن است که کدامیک از کالاها، زمانی که همهٔ منابع انرژی مستقیم و غیرمستقیم مدنظر قرار گرفته‌اند، دارای بالاترین مصرف انرژی می‌باشد

ضرایب ساختاری جدول داده و ستاده نشان‌دهنده آن دسته از کالاهایی است که بیشترین مقدار انرژی مستقیم به ازای هر واحد دلار ستانده را استفاده می‌نمایند

براساس فرض تکنولوژی صنعت، این نتیجه به دست می‌آید که U_{ik} .(V_{kj}/g_k) نشان‌دهندهٔ کسری از دادهٔ i است که به صنعت k جهت تولید کالای j فروخته می‌شود. بنابراین، $\sum_{k=1} (V_{kj}/g_k).U_{ik}$ نشان‌دهندهٔ کل مقادیر داده، جهت تولید کالای j در کلیهٔ صنایع اقتصاد است.

اگر کالای j، کالایی غیرانرژی باشد، $E_l=0$ است، لذا $\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{li}\ \ X(Ug^{\wedge -1}\ \ V)_{ij}$

نشان‌دهندهٔ انرژی از نوع l به کار گرفته شده در کل داده‌های مورد استفاده در تولید کالای j می‌باشد (میزان سهم انرژی در کل داده‌ها) و این میزان برابر است با عبارت سمت راست برابری نامبرده، یعنی $\varepsilon_{li}q_j$-کل انرژی به‌کار رفته از نوع l در تولید کالای j در کل اقتصاد.

در حالی که انرژی به کار رفته در کلیهٔ کالاهای غیرانرژی تنها تابعی از میزان داده از سایر بخشها می‌باشد، انرژی به کار گرفته شده در تولید یک کالای انرژی شامل داده، به علاوه انرژی استخراج شده از زمین می‌باشد. این امر زمانی است که j=l بوده، یعنی زمانی که معادلهٔ توازن انرژی اشاره بر تولید انرژی داشته باشد. در این حالت، معادلهٔ توازن انرژی به شرح زیر خواهد بود:

(۲۱)

$$\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{li}(U\ g^{\wedge -1}\ V)_{il} + E_l = \varepsilon_{ll} q_l$$

این معادله از معادلهٔ کالای غیرانرژی متمایز می‌باشد. در این معادله، انرژی نوع lام، صرفنظر از منبع تولید آن با انرژی به‌کارگرفته شده در سایر داده‌ها جهت تولید این کالا، جمع می‌شود. انرژی غیرمستقیم به کار گرفته شده در کالای انرژی، در اولین قسمت از معادلهٔ (۲۱) ظاهر می‌شود، حال آنکه انرژی مستقیم توسط E_l نمایش داده می‌شود. توجه نمایید که $E_l=q_l$ است. زمانی که همهٔ صنایع را درنظر بگیریم، معادلهٔ توازن انرژی (۲۰) در شکل ماتریسی به شرح زیر خواهد بود:

$$(\varepsilon_l\ U\ g^{\wedge -1}\ V) + E = \varepsilon_l q^{\wedge} \qquad (۲۲)$$

این معادله را در $q^{\wedge -1}$ ضرب می‌نماییم:

$$\varepsilon_l\ U\ g^{\wedge -1}\ V q^{\wedge -1} + E\ q^{\wedge -1} = \varepsilon_l\ I$$
$$\varepsilon_l = E\ q^{\wedge -1}\ (I\text{-}U\ g^{\wedge -1}\ V\ q^{\wedge -1})^{-1} \qquad (۲۳)$$

اگر $U\ g^{\wedge -1}=B$ و $Vq^{\wedge -1}=D$ درنظر گرفته شوند، بنابراین E یک بردار (1.n) است که به استثنای عنصر lام آن، بقیهٔ عناصر آن صفرند و عنصر lام آن نیز q_l می‌باشد و در نتیجه، $E\ q^{\wedge -1}$ در واقع همان بردار e است. پس، جواب نهایی برای ε_l براساس فروض تکنولوژی صنعت به شرح زیر می‌باشد:

$$\varepsilon_l = e_l\ (I\text{-}BD0)^{-1}$$

حسابهای داده-ستادهٔ انرژی، مسائل و مشکلات

تحلیل داده و ستاده احتیاج به تشکل جدولی از جریان مستقیم انرژی به کلیهٔ بخشهای اقتصاد دارد. چنین داده‌هایی در تحلیل‌های مقطعی مصرف انرژی و یا در تحلیل مسائل صنعتی با استفاده از آمارهای دورهٔ زمانی مفید می‌باشند. محاسبهٔ ضرایب ساختاری، مشخص‌کنندهٔ آن دسته از کالاهایی است که از بیشترین مقدار انرژی مستقیم به ازای هر واحد دلار ستاده استفاده می‌نمایند. در حالی که محاسبهٔ انرژی‌بری کالا که گامی فراتر از گام قبلی است، نشان می‌دهد که کدام یک از کالاها، زمانی که همهٔ منابع انرژی مستقیم و غیرمستقیم را

مـدنظر قـرار داده‌ایـم، دارای بالاترین مصرف انرژی می‌باشند. بـنابرایـن، مـحاسبهٔ انـرژی‌بری اجازه می‌دهد کـه مـحقق مـیزان انرژی مورد نیاز را به تفکیک هر نوع انرژی در هنگام افزایش هـر واحد تـولید تـعیین نـماید و در نتیجه، بتواند اثرات ناشی از تـغییر در تـقاضای کالا را بر روی مصرف انرژی پیش‌بینی نماید.

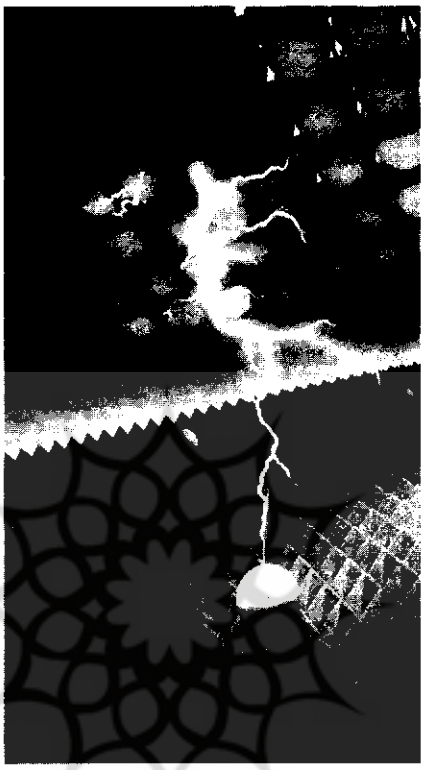
یکـی از مـوارد اسـتفادهٔ عـمده، تـحلیل انرژی‌بری در چارچـوب تـحلیل انـرژی مـحض می‌باشد، به این ترتیب که کل هزینه‌های انـرژی جایگزینی کالا و خدمات تعیین می‌شود و سپس از مقایسهٔ آن‌ها، این امر که کـدام یک از شـقوق نامبرده از نظر انرژی کارایی بیشتری دارند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

تحلیل انرژی محض از این جنبه که اهمیت دیگـر داده‌هـای کـمیاب را در اقـتصاد نـادیده می‌گیرد، مورد انـتقاد مـی‌باشد. در حـقیقت، در تحلیل انرژی محض غیر معمول نیست که انرژی را به عنوان یک منبع کمیاب نـهایی نگـریسته و قیمت‌گذاری کالاها را براساس میزان انرژی به کار گرفته شـده (در تولید) در آن انجام دهند. به هـر حال، زمانی که به ارزشـیابی قـابلیت‌های روش تحلیل انرژی محض می‌پردازیم، باید دقت شود که میان قضاوت‌های ارزشی در ارتباط با تحلیل و نیز روش تحلیل تفاوت گذارده شود.

این امر که آیا صرفاً استفاده از تحلیل انرژی محض مناسب است یا نه، بسـتگی بـه اهـداف محققان با توجه به مسائل مورد نظر آنان دارد. از جـنبهٔ تـحلیلی مـحض، بـرندت[9] خـاطرنشان می‌سازد که، مشکل دقت در تحلیل انرژی محض می‌تواند به دلیل کـلی بـرخـورد کـردن بـا انـواع مختلف انرژی یا کیفیت‌های مختلف بوده باشد. البته، انرژی‌بری مصون از ایـن امـر نـیست، بـه طوری که این متغیر (انرژی‌بری) برای گروههای مختلف انرژی (گروههای انرژی مـثل تـولیدات پالایشی، زغال سنگ و...)، بدون درنظر گـرفتن مشخصه‌های ویژهٔ اجزای آن‌ها محاسبه می‌شود. مسئله کلی، نوع برخورد کردن با انرژی از طریق استفاده از تابع و توابع مناسب قابل حـل است. این مسئله می‌توانـد از لحـاظ نـظری، از طـریق تـعریف انـرژی‌بری بـه تـعداد انـواع انـرژی‌های موجود در مدل حل شود.

یکـی از مشکـلات مـوجود در تـحلیل داده-ستادهٔ انرژی، ناشی از این حقیقت است که چارچـوب ایـن مـدل هـمانند چـارچـوب مـدل

در تنظیم جدول داده و ستاده، آگاهی از رابطه باثبات و یا متغیر بین داده و ستاده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد



داده-ستاده است. بنابرایـن، مشکـلات تـحلیلی موجود در مدل داده-ستاده، در مدل داده-ستاده انرژی نیز مطرح خواهند بود و به عبارتی، مدل داده-ستادهٔ انرژی در مشکـلات تـحلیلی مـدل کلی داده-ستاده سهیم می‌باشد.

برخی دیگر از مشکلات موجود در تـحلیل داده-ستادهٔ انرژی، به طور خلاصه به شرح زیـر است:

ـ اندازه‌گیری خـطا در ایـن مـدل احـتمالاً مشکـل است، زیـرا ورودیـها بـه هـر یک از سلول‌های جدول داده-ستاده ممکن است دقیق نباشد. وظیفهٔ جمع‌آوری و تدوین چنین حـجم عظیمی از اطلاعات خام نـمی‌توانـد از خـطای اندازه‌گیری که احتمالاً به طور ناخودآگاه به وجود می‌آید، جلوگیری نماید. به علاوه، مشکل نامعین بودن جدول از طریق اعـتماد بـه اعـداد ورودی براساس روشهای تـخمین غـیر مسـتقیم نـیز بـه وجود می‌آید، زیرا به ندرت مشاهدات مستقیمی از مقدار مواد وارد شده و یا خارج شـده از یک فرایند تـولیدی وجـود دارد (جـهت اسـتفاده در جـدول داده-سـتاده). مـیزان کالای مصرف شده و تولید شده تـوسط یک بـخش، از طـریق قـوانین غـیررسمی و بـراسـاس تعابیر مختلف حاصل می‌شود و چـون ایـن اطـلاعات مـقدماتی دارند، لذا پس از تغییرات آنها- و پس از حصول نتایج واقعی- در طی فرایند عمل، ورود اطـلاعات در ابـتدای جـنبهٔ مـقدماتی بـه جـدول، بـاعث خـطا در جـدول داده و سـتاده خواهد گردید.

ـ زمانی که رابط بین داده و ستاده‌ها جهت تعیین قوت و ضعف ثبات رابـطه بـین ایـن دو متغیر (داده و ستاده) بررسی مـی‌شود، احـتمال اینکه ضرایب داده‌هـا تـغییر یـابند، وجـود دارد. بنابراین، باید این امر که رابطه بین داده و سـتاده یک رابطهٔ باثبات است و یا اینکه نسبت متغیری بین داده و ستاده وجـود دارد، در جـهت انـجام تخمین‌ها، با دقت مورد بررسی قرار گیرد.

ـ ماهیت تصادفی بـودن و یـا غـیرتصادفی بودن مدل، منجر به مشکلاتی در تعیین سطوح نوسانات داده‌ها و لذا انرژی‌بری هر کالا خواهد گردید.

■

منابع:

- Modelling the Energy- Output Ratio, John L.R. Proops, Energy Economics, Jan. 1984
- Energy Input-Output Analysis, Stephen Casler & Suzanne Wilbur, Resource & Energy, June 1984.
- Decomposing Change in Energy Input-Output Coefficients, Stephen D. Casler, Ahmad Afrasiabi and Micheal Mccauley, Resource & Energy, April 1991.

پی‌نوشت:

1. Hannon
2. Casler and Hannon
3. Skolka
4. Proops
5. Chen and Rose
6. Bureau of Economic Analysis
7. Use Matrix
8. BEA Make Matrix
9. Berndt