

## تحلیل حساسیت تقاضای انرژی نسبت به تغییرات تکنولوژی بخش‌های اقتصادی ایران: کاربردی از روش شرمن- موریسن در الگوی داده-ستانده

علی فریدزاده<sup>۱</sup>

دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، ali.faridzad@atu.ac.ir

فریدون اسعدی

عضو هیئت علمی و مدیر گروه دفتر انرژی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، fasadi2007@gmail.com

مریم ذوقی

کارشناس ارشد اقتصاد توسعه و برنامه‌ریزی، دانشگاه خاتم، maryamzoghi\_88@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰

### چکیده

هدف از مطالعه حاضر، سنجش آثار تغییر تکنولوژی بر شدت تقاضای انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی ایران مبتنی بر رویکرد شناسایی ضرایب مهم داده-ستانده می‌باشد. در این پژوهش که از رویکرد تقاضا محور لئونتیف با استفاده از روش محاسبه کشش شرمن- موریسن در قالب الگوی داده- ستانده بهره گرفته شده است. نتایج به دست آمده بر مبنای پایه‌های آماری جدول داده- ستانده سال ۱۳۹۰ مرکز آمار ایران در قالب ۲۴ بخش اقتصادی، نشان می‌دهد که بخش‌های انرژی ثانویه که خود تولیدکننده انرژی هستند، حمل و نقل، عمده فروشی و خرده فروشی، ساخت محصولات فلزات اساسی و فلزی فابریکی و محصولات کانی غیرفلزی، با توجه به الگوی تقاضا محور لئونتیف به ترتیب دارای بیشترین متوسط کشش نرمال شده تکنولوژیکی تقاضای انرژی به صورت مستقیم و غیرمستقیم هستند. با توجه به حساسیت بسیار بالای این بخش‌های اقتصادی نسبت به تغییرات تکنولوژی در جهت تقاضای انرژی به منظور بهبود مدیریت تقاضای انرژی، جایگزینی تکنولوژی در بخش‌های یادشده در بلندمدت، می‌تواند منجر به کاهش شدید تقاضای انرژی در سطح بخش‌های یادشده شود.

طبقه‌بندی JEL: Q32, O39, C67

کلیدواژه‌ها: تقاضای انرژی، رویکرد تقاضا محور لئونتیف، تحلیل حساسیت، رویکرد داده- ستانده، روش شرمن- موریسن

۱. نویسنده مسئول

**۱- مقدمه**

در سال ۲۰۱۸ بر اساس آخرین آمار سازمان ملل متحده، شدت انرژی در ایران، بیش از ۱/۵ برابر میانگین جهانی بود که با رشد سالانه ۱/۳ درصدی در طی دوره ۲۰۱۸ - ۱۹۷۰ همراه بوده است (WDI، ۲۰۲۰). با این وجود، ایران به عنوان یک کشور در حال توسعه که با صنعتی شدن روز افزون روبرو است، نیازمند مصرف انرژی بالاست. حتی، اجرایی شدن قانون هدفمندی حامل‌های انرژی مصوب دی‌ماه سال ۱۳۸۸ نیز تاکنون نتوانسته است در هیچ سطحی، مصرف بالای انرژی در ایران را مدیریت نماید.<sup>۱</sup> با نگاهی دقیق‌تر به وضعیت مصرف انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی بین سال ۱۳۸۵ (پیش از هدفمندی یارانه حامل‌های انرژی) و سال ۱۳۹۰ (پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه حامل‌های انرژی) این سوال مطرح می‌شود که در سطح زیربخش‌های اقتصادی کدام یک از بخش‌ها بیشترین نقش را در افزایش مصرف انرژی و به تبع آن افزایش شدت انرژی داشته‌اند.

**جدول ۱. مقایسه مصرف انرژی بخش‌های مختلف طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ (ارقام به میلیون بشکه معادل نفت خام)**

سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۸۵	شرح
۴۳۲/۴	۴۱۳/۲	خانگی، عمومی و تجاری
۲۹۳/۶	۱۹۴/۳	صنعت
۲۹۶/۶	۲۷۰/۴	حمل و نقل
۴۵/۸	۳۶/۸	کشاورزی
۱۰۶۷/۴	۹۱۴/۷	جمع

منبع: ترازانمه انرژی سال ۱۳۹۰

در جدول (۱) آمار و اطلاعات میزان مصرف انرژی بخش‌های عمدۀ اقتصادی در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۰ ارائه شده است. صرف نظر از بخش خانگی، عمومی و تجاری

۱. برای دریافت جزئیات بیشتر در این زمینه به مطالعه مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۸) مراجعه نمایید.

بخش‌های حمل و نقل و صنعت میزان بالایی از مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند، این امر اهمیت این بخش‌های اقتصادی از منظر مصرف انرژی بخشی را نشان می‌دهد. براساس اطلاعات مطلق ارائه شده در آمارها و ترازنامه انرژی، یکی از مشکلات در برنامه‌ریزی اقتصادی انرژی در ایران، نبود تحلیل‌های دقیق مصرف انرژی است، به طوری که نقش انرژی مصرفی به عنوان نهاده‌های واسطه‌ای در سطح بخش‌ها مشخص نیست. باوجودی که مطالعات مختلفی (از جمله ذاکری (۱۳۹۳)، صادقی (۱۳۹۳)، لطفی و همکاران (۱۳۹۷)) به بررسی بخش‌هایی که بیشترین اثر را بر میزان شدت مصرف انرژی و انتشار آلایندگی در ایران دارند، صورت گرفته است، اما مطالعه دقیق میزان مصرف انرژی و تحلیل حساسیت بخش‌های اقتصادی به مصرف انرژی از دو منظر قابل بررسی است: از یک طرف، یکی از عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی، تکنولوژی مورد استفاده بخش‌های تولیدی است. این امر که بخش‌های اقتصادی برای تولید خود و به تبع آن تولیدات سایر بخش‌های اقتصادی چه میزانی از انرژی را تقاضا می‌کنند و براساس تکنولوژی‌های به کار گرفته شده بخش‌های اقتصادی چه میزان انتشار آلایندگه‌ها را منجر می‌شوند، حائز اهمیت است. همچنین از طرف دیگر، می‌توان در راستای سیاست کنترل مصرف انرژی و در پی آن کاهش انتشار آلایندگی، بخش‌هایی را مشخص نمود که از افزایش قیمت حامل‌های انرژی بیشترین تأثیر را می‌پذیرند. لازم به ذکر است که این موارد تاکنون در مطالعات مورد غفلت واقع شده‌اند.

حامل‌های انرژی در بعضی بخش‌ها به عنوان نهاده اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند، لذا افزایش قیمت حامل‌های انرژی، با افزایش شاخص هزینه تولید دیگر بخش‌ها همراه خواهد بود که در تولیدات خود از حامل‌های انرژی به عنوان کالای واسطه استفاده می‌کنند. افزایش قیمت حامل‌های انرژی بسته به نوع بهره‌برداری از آنها، در بخش‌های اقتصادی موجب افزایش هزینه‌های تولید آنها و در نهایت منجر به افزایش قیمت نهایی تولیدات می‌گردد. لذا تعیین میزان حساسیت بخش‌های اقتصادی به مصرف مستقیم و غیرمستقیم حامل‌های انرژی موضوع پر اهمیت در این مطالعه است. بر این اساس، میزان حساسیت بخش‌های اقتصادی به مصرف مستقیم و غیرمستقیم حامل‌های انرژی از این منظر حائز اهمیت است که می‌تواند به سیاست‌گذاران اقتصادی در شناسایی و اندازه‌گیری صحیح کشش تقاضای انرژی در سطح زیربخش‌های اقتصادی بهمنظور

انتخاب راهکارهای سیاستی مانند افزایش کارایی انرژی (برای بهبود تکنولوژی) یا راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در فعالیت‌های تولیدی یاری رساند. در راستای شناسایی بخش‌های اقتصادی که تغییر تکنولوژی آن‌ها (فناوری‌هایی که منجر به کاهش مصرف انرژی شوند) بیشترین اثر را بر تقاضای انرژی دارند، این پرسش اساسی مطرح است که کدام بخش‌های اقتصادی در ایران با تغییر تکنولوژی بیشترین تأثیر را بر تقاضای انرژی دارند؟ در پاسخ به این پرسش اساسی، دو نکته حائز اهمیت این پژوهش را نسبت به سایر مطالعاتی که تاکنون در ایران صورت گرفته، متمایز می‌کند. اول آنکه، با در نظر گرفتن تمامی بخش‌های تولیدکننده انرژی، به بررسی تحلیل کشش تقاضای انرژی نسبت به تغییر تکنولوژی بخش‌های اقتصادی در چارچوب تحلیل داده-ستاندarde با استفاده از مدل پایه‌ای شرمن-موریسن<sup>۱</sup> پرداخته می‌شود. دوم، با تفکیک واردات و در نظر گرفتن صرف واردات بومی (تکنولوژی بومی) به بررسی دقیق‌تر و شفاف‌تر تحلیل حساسیت بخش‌ها پرداخته می‌شود.

بر همین اساس پژوهش حاضر در ۷ بخش سازماندهی شده است. پس از مقدمه، در بخش دوم، مبانی نظری سنجش اهمیت بخش‌های اقتصادی و شناسایی ضرایب مهم در چارچوب تحلیل داده-ستاندarde مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم، مطالعات تجربی داخل و خارج از ایران مرور شده است.<sup>۲</sup> بخش چهارم، به روش پژوهش اختصاص داده شده است. بخش پنجم به نحوه استخراج پایه‌های آماری پرداخته و در بخش ششم، نتایج پژوهش به شکل مشروح مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت، در بخش هفتم به جمع‌بندی و ارائه توصیه‌های سیاستی خواهیم پرداخت.

## ۲- مبانی نظری

بررسی اجمالی ادبیات داده-ستاندarde نشان می‌دهد که پژوهشگران متناسب با تغییرات اقتصاد جهانی و به تبع آن تغییرات ساختاری در سطح ملی و منطقه‌ای، روش‌ها و معیارهای مختلف را در سنجش اهمیت بخش‌های اقتصادی و شناسایی

1. Sherman and Morrison

۲. با توجه به گسترده‌گی مطالعات مرتبط در این زمینه به‌ویژه در سطح بین‌المللی، مطالعات در قابل جداول طبقه‌بندی شده در پیوست گزارش شده است.

بخش‌های کلیدی مورد استفاده قرار داده‌اند. با وجود اتفاق نظر اساسی در مورد اهمیت شناسایی بخش‌هایی که بیشترین تأثیر را بر اقتصاد دارند، توافق کلی در مورد راه‌های تعیین بخش‌های کلیدی وجود ندارد و روش‌های متعددی معرفی شده‌اند. بهره‌گیری از هریک از این روش‌ها تصویر متفاوتی از عملکرد بخش‌های اقتصادی به دست می‌دهد. هدف از ارائه این روش‌ها دو مسئله است، مسئله اول، توجه به تغییرات ساختار اقتصاد جهانی و به تبع آن تغییرات ساختار بخش‌ها و مسئله دوم، رفع نارسایی روش‌های قبلی و معرفی روش‌های جدیدتر است. اما از لحاظ ادبیات نظری، هر دو مسئله یادشده به‌دلیل موضوع مهم‌تری مورد توجه پژوهشگران در چارچوب مبانی نظری مدل کینز (عرضه گوش به فرمان تقاضا) و ساختار نظری داده‌ستانده قرار گرفته است و آن ناطمینانی نسبت به همین تغییرات ساختاری بخش‌ها در فضای مبادلات واسطه است. از آنجایی که در چارچوب مبادلات واسطه‌ای بین بخش‌های اقتصادی، رابطه تولیدی بین بخش‌های اقتصادی، یک رابطه تولیدی در چارچوب تابع تولید لئونتیف و مبتنی بر ضرایب مبادله میان نهاده‌های مختلف تولید است (در اینجا نهاده‌ها همان بخش‌های اقتصادی هستند)، اما ملاحظات نظری نشان می‌دهد که منشاء این ناطمینانی‌ها به تولید، قیمت کالاها و خدمات و تکنولوژی باز می‌گردد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود که با چارچوب مدل تابع تولیدی لئونتیفی ساختار بین بخشی سازگار نیست (هوندو و همکاران (۲۰۱۶)<sup>۱</sup>؛ یان و همکاران (۲۰۰۲)<sup>۲</sup>):

(الف) تولید مشترک<sup>۳</sup>: در دنیای واقعی، چندین محصول از یک فرآیند تولید به‌طور همزمان تولید می‌شوند که به عنوان مثال می‌توان به پالایش نفت اشاره نمود. لذا این محصولات مشترک که به سایر بخش‌های اقتصادی عرضه می‌شوند، به محصولات دیگری تبدیل خواهد شد که بدلیل واحدهای مختلف اندازه‌گیری (مثل کیلوکالری، کیلو، ژول و ...) ماهیت محصولات نهایی با محصولات اولیه عرضه شده تغییر خواهد نمود که این موضوع منجر به تفاوت نرخ تخصیص عرضه-تقاضای محصولات در سطح مبادله بخش‌های اقتصادی با آنچه در ابتدای مبادله شکل گرفته یا محاسبه شده است، می‌شوند.

1. Hondo et al.

2. Yan et al.

3. Joint Production

(ب) چندین کالا در یک بخش<sup>۱</sup>: دامنه وسیعی از کالاهای خدمت‌های اقتصاد وجود دارد که در سطح چندین بخش اقتصادی تقسیم‌بندی می‌شوند که منجر به جداول داده-ستانده خواهند شد. بر این اساس، ضرایب فنی که نحوه مبادله میان بخش‌های اقتصادی را نشان می‌دهند، معیاری برای نماینده محصول مبادله شده در یک بخش خاص است که به صورت مجازی در یک بخش تولید شده و در بخش دیگر تقاضا می‌شود، خواهد بود. بر این اساس، هر چه تعداد بخش‌های اقتصادی به تعداد کالاهای نزدیک باشند، این مبادله از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود، از طرفی بدلیل آنکه تولید چند محصول تنها در قالب بخش اقتصادی قابل گزارش است، لذا ارائه محصولات در قالب بخش‌های اقتصادی هرچند به این ناظمینانی‌ها می‌انجامد، اما از اولویت محاسباتی و آماری برخوردار است.

(ج) چندین قیمت برای یک کالا<sup>۲</sup>: مقادیر کالاهای خدمت‌های بر حسب واحدهای پولی در یک بخش اندازه‌گیری می‌شود. اما در واقع، در چارچوب ساختار مبادلات عرضه و تقاضای کالاهای خدمت‌های اقتصادی، یک کالای مشابه، به بخش‌های مختلف تحت قیمت‌های مختلف عرضه می‌شود (مانند گاز طبیعی که با تبعیض قیمت به بخش‌های مختلف بر حسب میزان مصرف و سایر شاخص‌ها عرضه شده و به فروش می‌رسد)، بر این اساس، ضرایب فنی مبادله میان بخش عرضه‌کننده تحت تأثیر نحوه اندازه‌گیری آن محصولات در بخش‌های تقاضاکننده (مانند کیلوکالری یا کیلوگرم) هر بار برای یک کالای عرضه شده یکسان، تغییر می‌کند.

(د) چندین نوع تکنولوژی تولید برای یک کالا<sup>۳</sup>: در واقع، بسیاری کالای مشابه می‌تواند با تکنولوژی‌های مختلفی تولید شود (مانند برق که می‌تواند از طریق یک نیروگاه فسیلی سیکل ترکیبی یا از طریق انرژی خورشیدی یا به صورت فناوری برق‌آبی تولید شود)، در این صورت، مواد اولیه مورد نیاز میزان انرژی مصرفی و ضایعات آن به‌ازای هر واحد کالای تولید شده با توجه به نوع تکنولوژی به کار رفته در تولید آن متفاوت خواهد بود.

- 
1. Multiple goods in one sector
  2. Multiple prices to one good
  3. Multiple technologies to one good

بر این اساس، مشاهده می‌شود که ناطمینانی‌های ارائه شده منجر به تغییرات در مبادله کالاها و خدمات میان بخش‌های اقتصادی شده و درجه ناطمینانی از ضرایب فنی را افزایش خواهد داد. به همین دلیل، شناسایی ضرایب مهم<sup>۱</sup> در چارچوب مبادلات عرضه و تقاضای کالاها و خدمات بین بخش‌های اقتصادی باتوجه به همین ویژگی‌های ناطمینانی از منظر تولید، قیمت و تکنولوژی، در قالب تحلیل حساسیت ضرایب فنی مطرح شده‌اند. شناسایی این ضرایب از منظر روش‌شناسی نشان می‌دهد که تغییر کدام یک از ضرایب فنی در جدول داده-ستاندۀ منجر به تغییرات بیشتری در ماتریس معکوس لئونتیف و در نتیجه تغییرات بیشتری در تولید می‌شوند.

رویکردهایی که اثر تغییرات یک یا چند جز از مدل را بر سایر متغیرها تحلیل می‌کنند در اوایل دهه ۱۹۵۰ توسط دایر و اوف<sup>۲</sup> (۱۹۵۳) و ایوان<sup>۳</sup> (۱۹۵۴) مطرح شدند و استفاده از این رویکرد در زمینه بررسی آثار خطا یا تغییر یا ناطمینانی در ضرایب جدول داده-ستاندۀ بر تولید گسترش یافت. این موضوع تحت عنوان داده-ستاندۀ احتمالی یا اتفاقی، تحلیل خطا و تحلیل حساسیت نام گرفت. خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه را می‌توان در مطالعه لار و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) مشاهده نمود. پژوهش‌های مذکور با استفاده از نتایج حاصله از مطالعات شرمن و موریسن<sup>۵</sup> و (۱۹۴۹) و (۱۹۵۰) و دبیری<sup>۶</sup> (۱۹۵۰) صورت گرفته است. شرمن و موریسن (۱۹۵۰) به بررسی اینکه چگونه تغییر عناصر یک ماتریس می‌تواند منجر به تغییر عناصر ماتریس معکوس آن شود پرداختند و در این زمینه عبارتی را که تغییر در عناصر یک ماتریس را به تغییر در عناصر ماتریس معکوس ارتباط می‌دهد به شکل ریاضی بیان کردند. (میلر و بلر<sup>۷</sup>، ۲۰۰۹، ص ۵۶۷ و ۵۶۸).

جکسون<sup>۸</sup> (۱۹۹۱)، بیان کرد که باید بین خطای ضرایب (خطای تخمین ضرایب) و تغییر ضرایب (تغییر تکنولوژی) تفاوت قائل شد. لذا موضوع، تحلیل حساسیت تغییر

- 
1. Important Coefficinets
  2. Dwyer and Waugh
  3. Evans
  4. Lahr et al.
  5. Sherman and Morrison
  6. Woodbury
  7. Miller and Blair
  8. Jackson

تکنولوژی بر تولید مطرح شد. اسکولیک<sup>۱</sup> (۱۹۶۸) و جیلک<sup>۲</sup> (۱۹۷۱) نخستین کسانی هستند که با استفاده از این روش اثر تغییر ضرایب فنی در جدول داده-ستاند استاند را بر تولید کل بررسی کردند. از آنجا اثر تولید می‌تواند به اشتغال، درآمد، ارزش افزوده و مانند آن منتقل شود، لذا استفاده از این رویکرد در زمینه تحلیل حساسیت ضرایب فنی داده-ستاند استاند بر تولید، ارزش افزوده، مصرف انرژی، اثرات زیست محیطی، اشتغال و رفاه گسترش یافت. (میلر و بلر، ۲۰۰۹، ص ۵۷۳ و ۵۸۰).

با به کارگیری روش شناسایی ضرایب مهم در زمینه میزان مصرف انرژی، می‌توان مبادلات واسطه‌ای را که منجر به بالاترین رشد تقاضای انرژی می‌شوند را تعیین کرد و بر این اساس درجه اثرگذاری فعالیت‌های مختلف اقتصادی بر میزان تقاضای انرژی را تعیین نمود (ترانکون و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲، ص ۱۶۴). این روش نشان می‌دهد که تغییر کدام یک از ضرایب جدول داده-ستاند استاند به تغییر بیشتر شدت استفاده از نهاده انرژی شود.

در رویکرد شناسایی ضرایب مهم، روابط به صورت کشش بیان می‌شوند و کشش بزرگ‌تر از واحد به این معناست که یک تغییر کوچک در ضریب تکنولوژی (رویکرد تقاضامحور لئونتیف) منجر به یک تغییر بزرگ‌تر از یک در میزان تقاضای نهاده واسطه انرژی می‌شود. در نتیجه بخش‌هایی که کشش آنها بزرگ‌تر از واحد می‌باشد بخش‌هایی هستند که تقاضای بیشتری از انرژی دارند و منجر به سطح مصرف انرژی بیشتری می‌شوند. بالعکس کشش کوچک‌تر از یک به این معناست که یک تغییر کوچک در ضریب تکنولوژی (رویکرد تقاضامحور لئونتیف) منجر به یک تغییر کمتر از واحد در میزان تقاضای انرژی می‌شود. در نتیجه بخش‌هایی که کشش آنها کمتر از واحد می‌باشد بخش‌هایی هستند که تأثیر کمتری بر مصرف انرژی دارند و منجر به تقاضای کمتری برای نهاده واسطه انرژی می‌شوند.

ذکر این نکته ضروری است که روش شناسایی ضرایب مهم جدول داده-ستاند تنها در یک مقطع زمانی و با یک جدول صورت می‌گیرد. لذا در عمل تغییر تکنولوژی متراوف جایگزینی تکنولوژی می‌باشد، زیرا که تغییر تکنولوژی نیازمند تغییر زمان بوده و برای این منظور حداقل دو جدول داده-ستاند در دو زمان مختلف بر اساس

1. Sekulic

2. Jilek

3. Tarancón, et.al

قیمت‌های یک سال پایه مورد نیاز است؛ در حالی که در این رویکرد فقط به یک جدول نیاز است و مسئله زمان به طور خودکار قابل طرح نیست. بنابراین تغییر تکنولوژی به معنای جایگزینی تکنولوژی در بخش‌های اقتصادی با فرض جایگزینی فناوری‌های با کارایی بیشتر انرژی به جای فناوری‌های با کارایی کمتر انرژی است. در این خصوص شناسایی ضرایب مهم در قالب یک تحلیل کوتاه‌مدت با رویکرد تعادل جزئی مطرح می‌شود که منجر به محاسبه کشش تقاضای انرژی نسبت به جایگزینی تکنولوژی می‌شود. لذا نیاز است تا تغییرات به میزان بسیار کوچک مثلاً ۱٪ اعمال شود.

### ۳- مروری بر مطالعات تجربی داخلی و بین‌المللی

در ایران مطالعات مختلفی با الگوهای متفاوت باهدف برآورد آثار سیاست‌گذاری از جمله تغییرات قیمت و تکنولوژی بر مصرف انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی انجام شده است. با این وجود، بررسی پیشینه پژوهش در داخل ایران نشان می‌دهد مطالعات محدودی با پیشینه بررسی ضرایب مهم و تحلیل حساسیت بخش‌های اقتصادی نسبت به شاخص‌های مختلف از جمله تغییرات ضرایب فنی یا تکنولوژیکی بر مصرف انرژی یا دی‌اکسید کربن در ایران انجام شده است. در حالی که در سطح بین‌المللی مطالعات وسیعی با تأکید بر رویکرد ضرایب مهم داده‌ستانده و محاسبه تحلیل حساسیت و کشش‌پذیری بخش‌های اقتصادی در شدت انرژی و شدت انتشار دی‌اکسید کربن صورت گرفته است. در این مطالعات به نقش ضرایب فنی تولید در جداول داده‌ستانده در تبیین آثار تکنولوژی و ساختاری بخش‌های اقتصادی در کاهش یا افزایش شدت انرژی و شدت انتشار کربن بهویژه از سمت تقاضا تأکید شده است. در ادامه در جدول (۲) و (۳) به ترتیب به مطالعات داخلی و بین‌المللی اشاره شده است.

جدول ۲. مروری بر مطالعات تجربی داخلی

نویسنده (سال)	موضوع	مدل	خلاصه نتایج
عباسی نژاد (۱۳۸۵)	تحلیل اثر افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی بر بخش‌های اقتصادی	رویکرد داده-ستانده	افزایش در قیمت فرآورده‌های نفتی باعث افزایش شاخص بهای قیمت تولیدکننده در بخش‌های حمل و نقل، آب و برق و... می‌شود که نشان‌دهنده آن است که این بخش‌ها از شدت انرژی بالای برخودار بوده و از فرآورده‌های نفتی به عنوان نهاده اصلی استفاده می‌کنند.

نوبسته (سال)	موضوع	مدل	خلاصه نتایج
جهانگرد (۱۳۸۹)	تحلیل و ارزیابی تعديل قیمت بنزین و گازوئیل و تأثیر آن بر هزینه زندگی و مصرف در ایران	رویکرد داده-ستانده	در اثر افزایش قیمت بنزین و گازوئیل، بیشترین افزایش هزینه خانوارها مربوط به گروه خدمات حمل و نقل و ارتباطات ... است و همچنین اولین گروه از کالاهای و خدماتی که با کاهش مصرف همراه بوده‌اند، گروه خدمات تغیری و سرگرمی و تحصیل و کالاهای متفرقه است.
جهانگرد و تجلی (۱۳۹۰)	تجزیه‌ی شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران	روش تجزیه	عواملی چون تغییر فناوری تولید، اصلاح قیمت‌های انرژی، جانشینی حامل‌های انرژی، تغییر کارایی انرژی و همچنین مدیریت تقاضای انرژی نقش مؤثرتری در تغییر شدت انرژی بری کل صنایع داشته‌اند.
هوشمند و همکاران (۱۳۹۱)	بررسی تأثیر افزایش قیمت برق و سایر حامل‌های انرژی بر تقاضای برق بخش صنعت در ایران	الگوی تعادل عمومی محاسبه پذیر (CGE)	با افزایش قیمت همزمان حامل‌های انرژی بیشترین کاهش در تقاضای برق مربوط به بخش انرژی است و با افزایش قیمت برق کشش تقاضای برق در صنایع انرژی‌بر، بخش انرژی و سایر صنایع کوچک‌تر از یک می‌باشد.
زهرا نصراللهی و همکاران (۱۳۹۲)	ارزیابی زیست محیطی فعالیت‌های اقتصادی (پزد)	رویکرد داده-ستانده	با مشخص شدن بخش‌هایی که بیشترین سهم در انتشار دی‌اکسیدکربن یک سری از بخش‌ها با توجه به ماهیت فنی، نیازمند بازسازی و نوسازی هستند و بخش‌هایی مانند حمل و نقل، انبارداری و ارتباطات، علاوه بر نوسازی و بازسازی نیازمند اصلاح روابط متقابل بین‌بخشی و استفاده از روش‌های کارآمدتر ارتباطات و حمل و نقل هستند.
محمدی و همکاران (۱۳۹۳)	مدل‌سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران	سری زمانی ساختاری	نتایج تخمین مدل نشان می‌دهد که عوامل بروزنزای غیراقتصادی چون پیشرفت تکنولوژی، تغییرات ساختاری و ... در شکل‌گیری تقاضای برق در بخش صنعت، نقش مؤثری دارند.
شارعی و همکاران (۱۳۹۶)	سنجد شدت انتشار دی‌اکسیدکربن صنایع انرژی‌بر؛ رویکرد تقاضا محور لتوتیف و عرضه محور	رویکرد داده-ستانده	نتایج حاصل از دو رویکرد تقاضا محور لتوتیف و عرضه محور گش نشان می‌دهد که یک درصد تغییر تکنولوژی و توزیع هر کدام از بخش‌های ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی، ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای و ساخت فلزات اساسی و ساخت کانی غیرفلزی منجر به کاهش بیش از یک درصد شدت انتشار دی‌اکسیدکربن تمام پنج صنعت انرژی‌بر مورد بررسی شده است.
بابایی و جلالی فر (۱۳۹۷)	کاربرد الگوی داده-ستانده به‌منظور ارزیابی جایگاه بخش نفت و گاز در اقتصاد ایران	رویکرد داده-ستانده	در این مقاله، برای بررسی جایگاه بخش نفت و گاز در اقتصاد ایران، ضرایب متنوعی از جمله ضرایب پسین و پیشین محاسبه شده‌اند. براساس یافته‌های این مقاله، بخش خدمات مهم‌ترین عرضه‌کننده نهاده‌های مورد نیاز برای تولید در بخش نفت و گاز می‌باشد شاخص حساسیت انتشار برای صنعت نفت، بزرگ‌تر از واحد بوده که نشان می‌دهد سایر بخش‌ها از محصولات این صنعت در پیشبرد مقاصد

نویسنده (سال)	موضوع	مدل	خلاصه نتایج
			تولیدی خود به طور مستقیم و غیرمستقیم به نحو مطلوبی استفاده می‌کنند. صنعت نفت از نظر کشش تولید کل رتبه سوم را به خود اختصاص داده، که از یک طرف اهمیت این صنعت را از نظر بیوند با سایر فعالیتهای اقتصادی و از طرف دیگر نقشی است که این صنعت بیان کننده در جبران تقاضای نهایی دارد.
رنجبری و همکاران (۱۳۹۹)	اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصاد انرژی سبز در ایران (سنگش میزان و کشش انتشار دی‌اکسیدکربن)	رویکرد-داده-ستانده	در این مطالعه که با استفاده از جدول داده-ستانده به نتیجه شده سال ۱۳۸۹ بهره گرفته شده است، نتایج در خصوص بخش‌های اقتصادی ایران نشان می‌دهد که بخش‌های حمل و نقل، صنایع کانی‌های غیرفلزی و فلزات اساسی، به ترتیب بیشترین اثرگذاری را به طور مستقیم و غیرمستقیم در انتشار دی‌اکسیدکربن داشته‌اند.

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۳. مروری بر مطالعات تجربی بین‌المللی

نویسنده (سال)	موضوع	مدل	خلاصه نتایج
ترانکن و دلریو (۲۰۰۷)	انتشار دی‌اکسیدکربن و روابط میان بخش‌ها. مورد اسپانیا	رویکرد-داده-ستانده	میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به چهار عامل، شدت انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش (عامل شدت دی‌اکسیدکربن)، میزان جریان‌های اقتصادی بین بخش‌ها (عامل مقیاس)، روابط تولیدی در اقتصاد (عامل تولید تکنولوژی) و ساختار تقاضای نهایی از بخش‌های مختلف (عامل تقاضا) بستگی دارد.
ترانکن و همکاران (۲۰۱۰)	ارزیابی تأثیر بخش‌های تولیدی در تقاضای برق	رویکرد-داده-ستانده	ابزار درونی اثر جانبی دی‌اکسیدکربن در قیمت‌های برق منجر به افزایش قیمت برق و در نتیجه منجر به استفاده از فناوری برق به صرفه و کاهش تقاضای برق در بخش تولید می‌شود، که موجب کاهش سرمایه‌گذاری در بخش تولید و عرضه برق و تغییر تعادل سرمایه‌گذاری به سمت تقاضای برق می‌شود.
فومین و کیمورا (۲۰۱۴)	تجزیه و تحلیل در کشش قیمتی تقاضای انرژی در شرق آسیا: شواهد	رگرسیون خطی	کشش قیمتی شهرستان‌های در حال توسعه از کشش قیمتی کشورهای توسعه یافته حساس‌تر است و در کشش درامدی، درآمد نسبت به مصرف انرژی بسیار حساس است. درجه حساسیت کشش

1. Tarancon, et al.
2. Phoumin and Kimura

نويسنده (سال)	موضوع	مدل	خلاصه نتایج
یان و همکاران <sup>۱</sup> (۲۰۱۶)	تجربی و الزامات سیاست‌گذاری برای شرق آسیا		قیمتی هر کشوری به کشور دیگر بسته به مشخصات ساختار اقتصادی و دوگانگی سطح درآمدی آن میان کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته متفاوت است.
بیان و ژائو <sup>۲</sup> (۲۰۱۶)	کشش پذیری شدت انتشار کربن نسبت به تغییر عرضه و تکنولوژی صنایع انرژی بر	رویکرد-داده-ستاند	در این مطالعه نیز با استفاده از رویکرد ضرایب مهم داده-ستاند مبتنی بر مقایسه مدل عرضه محور گش و لوثنیف، نتایج درخصوص کشور چین نشان می‌دهد که از منظر تقاضا، تغییر تکنولوژی تولید بر انتشار کربن صنعت ساختمان بیشترین اثر را دارد. از منظر عرضه، بخش استخراج نفت و گاز بیشترین اثر را بر شدت انتشار دی‌اکسید کربن در چین دارند.
لی و همکاران <sup>۳</sup> (۲۰۱۷)	ترکیبی از کشش و تحلیل داده-ستاند در تحلیل شدت انتشار کربن صنایع پرمصرف انرژی: مطالعه موردی چین	رویکرد-داده-ستاند	در این مطالعه با استفاده از کشش ضرایب فنی، دو مفهوم کشش ضرایب فنی تکنولوژیکی و دیگری کشش ضرایب فنی ساختاری مطرح شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، صنایع که به ضرایب فنی ساختاری حساسیت دارند، به دلیل سطح بالای تقاضا با افزایش شدت انتشار کربن مواجه هستند، در حالی که صنایع حساس به ضرایب فنی تکنولوژیکی، عمدهاً متأثر از تغییرات نوآورانه و فنی بخش‌های اقتصادی، کاهش شدت انتشار کربن را در طول زمان تجربه کردند.
گوا و همکاران <sup>۴</sup> (۲۰۱۸)	تحلیل کشش شدت انتشار کربن مرتبط با انرژی چین برای سال ۲۰۱۲ با مدل داده-ستاند	رویکرد-داده-ستاند	نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات ضرایب فنی اثر بیشتری بر شدت انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به اثر تغییرات تقاضا بر همین شاخص در سطح بخش‌های اقتصادی دارد.
	بخش‌های کلیدی صرفه‌جویی‌کننده در انرژی و کاهش انتشار کربن در چین: انتشار کربن در چین: شواهدی از مدل داده-ستاند	رویکرد-داده-ستاند	در این مطالعه با استفاده از رویکرد ضرایب مهم، بخش‌های کلیدی که امکان کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار کربن در آنها وجود دارد مبتنی بر کشش و تحلیل حساسیت تقاضای انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی در چین شناسایی شده‌اند.

منبع: نتایج تحقیق

1. Yan, et al.
2. Yuan and Zhao
3. Li, et al.
4. Guo, et al.

با مروری بر مطالعات تجربی انجام شده مشاهده می‌شود که مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعاتی که در ایران و در سطح بین‌المللی انجام شده است از سه منظر متفاوت است:

الف- جهت بررسی تغییر قیمت حامل‌های انرژی و تغییرات ناشی از آن (از جمله تغییرات تکنولوژیکی که عمدتاً در چارچوب توصیه‌های سیاستی مورد ملاحظه قرار می‌گیرد) بر تقاضای انرژی غالباً از رگرسیون‌های اقتصادسنجی و مدل‌های تعادل عمومی محاسبه‌پذیر استفاده شده است. در این مطالعه برای اولین‌بار میزان حساسیت تقاضای انرژی نسبت به تغییرات تکنولوژی بخش‌های اقتصادی ایران مورد توجه قرار گرفته است.

ب- در مطالعات انجام شده در ایران به بررسی و تحلیل حساسیت تولید بخش‌ها و کشنش تکنولوژی تولیدی به بخش انرژی در قالب مبانی نظری رویکرد ضرایب مهم داده-ستانده پرداخته نشده است.

ج- در این مطالعه، برای اولین بار در چارچوب مبانی نظری شناسایی ضرایب مهم، به دلایل ناطمنانی ضرایب فنی در چارچوب مبادلات واسطه بین‌بخش‌های اقتصادی پرداخته شده است. این موضوع، اهمیت جایگاه نظری شناسایی ضرایب مهم و همچنین موضوع مطالعه حاضر، یعنی تحلیل حساسیت تغییر ضریب تکنولوژی بخش انرژی در ارتباط با سایر بخش‌های اقتصادی را نشان می‌دهد.

د- در مطالعات گذشته حتی مطالعات انجام شده در سطح بین‌المللی از جمله مطالعات گوا و همکاران (۲۰۱۸) و همچنین لی و همکاران (۲۰۱۷) به ماهیت جدول و بومی بودن ماتریس مبادلات واسطه‌ای بین بخشی در محاسبه کشنش‌ها توجه نشده است. عدم توجه به ماهیت داخلی جدول، منجر به بیش برآورد یا کمتر از حد برآورد شدن کشنش‌پذیری بخش‌های تولیدی شده و عدم توجه به آن به نتایج پژوهش خدشه وارد خواهد نمود.

#### ۴- روش پژوهش

تحلیل حساسیت تغییر تکنولوژی در میزان مصرف انرژی بخش‌های اقتصادی نیازمند شناسایی ضرایب مهم است که با توجه به این امر شناخت ساختار تولید و روابط بین بخشی آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد و بالطبع الگوی تقاضا محور لئونتیف نیز حائز اهمیت خواهد بود. در راستای هدف مطالعه حاضر، الگوی تقاضا محور

لئونتیف بیانگر آن است که تغییر در تکنولوژی کدام یک از بخش‌های اقتصادی منجر به بیشترین تغییر در تقاضای انرژی می‌شود. با توجه به گستردگی استفاده از تحلیل‌های داده-ستاندarde برای تبیین و شناسایی مبادلات واسطه‌ای بین بخشی، برای مشخص کردن پیوند میان مصرف انرژی و بخش‌های اقتصادی و میزان حساسیت بخش‌های اقتصادی به مصرف انرژی، از مبانی نظری جداول داده-ستاندarde استفاده می‌کنیم.

جدول داده-ستاندarde نمایانگر حساب‌های مالی در یک سال معین یک کشور است که وضعیت اقتصادی و روابط و فعالیت‌های اقتصادی بین بخش‌ها را نشان می‌دهد به‌گونه‌ای که بخش‌های اقتصادی برای تولید محصولات خود به چه محصولات بخش‌های دیگر نیاز دارند و خود به بخش‌های دیگر چه محصولاتی را عرضه می‌کنند.

مشخص کردن پیوند مصرف انرژی و بخش‌های اقتصادی نیاز به بررسی تکنولوژی به کار گرفته شده در تولید بخش‌ها دارد. در الگوی تقاضا محور لئونتیف، از تقسیم درایه‌های هر ستون در ماتریس مبادلات واسطه‌ای داخلی بین بخشی بر سtanدarde داخلی همان بخش ضرایب فنی آن بخش به‌دست می‌آید که در نهایت ماتریس ضرایب فنی تشکیل می‌شود، که بیانگر میزان داده‌ای است که هر بخش برای تولید یک واحد از محصولاتش نیاز دارد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$a_{ik} = \frac{x_{ik}}{x_k} \quad (1)$$

$x_{ik}$  بیانگر ارزش تولید واسطه است که بخش  $k$ ام برای تولید یک واحد محصول خود از بخش  $i$ am تقاضا می‌کند و  $X_k$  بیانگر سtanدarde کل بخش  $k$ am است.

در ماتریس ضرایب فنی، هر ستون به گونه‌ای نشان دهنده تکنولوژی هر بخش هستند به این معنا که هر بخش به چه میزان از نهاده واسطه‌ای بخش‌های دیگر نیاز دارد تا بتواند یک واحد از محصولات خود را تولید کند. از طرفی هر کدام از این نهاده‌های واسطه خود برای تولید شدن به نهاده‌های بخش‌های اقتصادی دیگر نیاز دارند. این چرخه نشان دهنده نیازهای مستقیم و غیرمستقیم بخش‌های اقتصادی برای تولید یک واحد از محصولاتشان است. برای بیان تمامی داده‌هایی که بخش‌های اقتصادی برای تولید یک واحد از محصولات نیاز دارند از ماتریس ضرایب معکوس لئونتیف یا به عبارتی ماتریس ضرایب فراینده تولید ( $B_{ik}$ ) استفاده می‌شود، که بدین صورت است:

$$B_{ik} = (I - A_{ik})^{-1} \quad (2)$$

بر مبنای رابطه بالا، جمع هر یک از ستون‌های ماتریس ضرایب فراینده تولید بر مبنای الگوی لئونتیف نشان دهنده آن است با افزایش یک واحد تقاضای نهایی در بخش

کام، به چه میزان ستانده کل بخش آم به طور مستقیم و غیرمستقیم افزایش می‌یابد. الگوی تقاضاً محور لئونتیف، بر اساس رابطه تراز تولیدی زیر تعریف می‌شود:

$$x_m = \sum_{i=1}^n b_{mi} y_i \quad (3)$$

در این رابطه،  $x_m$  بیانگر ستانده بخش انرژی (بخش  $\Delta m$ ) است، و نشان می‌دهد که چه میزان انرژی در این بخش باید تولید شود تا تولید کالاهای و خدمات در تمامی بخش‌های اقتصادی را با توجه به میزان تقاضای متناظر هر بخش تأمین نماید. تغییر در ضرایب فنی برای هر بخش اقتصادی بر تولید انرژی اثرگذار بوده که این تغییر از طریق تغییر در عناصر سطر  $\Delta m$  ماتریس معکوس لئونتیف خواهد بود که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Delta x_m = \sum_{i=1}^n \Delta b_{mi} y_i \quad (4)$$

همان‌گونه قبل مطرح شد در این پژوهش با استفاده از رویکرد شناسایی ضرایب فنی مهم به بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم تغییرات نوسان تقاضای انرژی ناشی از تغییر ضرایب فنی در این مطالعه بر مبنای تحقیقات ترانکنون و دلریو (۲۰۱۲) پرداخته می‌شود. اما با توجه به اینکه تغییر در عناصر یک ماتریس منجر به تغییر عناصر ماتریس معکوس نیز می‌شود، لذا تغییر ضرایب فنی در ماتریس ضرایب مستقیم منجر به تغییر عناصر ماتریس معکوس لئونتیف می‌شود. هر کدام از ضرایب فنی ( $a_{ik}$ ) که منجر به تغییر بزرگتری در ضرایب فزاینده ( $b_{mi}$ ) شود به عنوان ضرایب مهم شناخته می‌شوند. شرمن-موریسن (۱۹۵۰) عبارتی را که تغییر در ضرایب فنی را به تغییر در عناصر ماتریس معکوس لئونتیف ارتباط می‌دهد به صورت رابطه (۵) بیان کردند:

$$\Delta b_{mi} = \frac{b_{mi} b_{ki} \Delta a_{ik}}{1 - b_{ki} \Delta a_{ik}} \quad (5)$$

که در آن  $\Delta b_{mi}$  همان تغییرات در تقاضای مستقیم و غیرمستقیم بخش انرژی (بخش  $\Delta m$ ) به ازای افزایش در تقاضای تولیدات بخش آم است. همچنین،  $b_{ki}$  به افزایش تقاضای مستقیم و غیرمستقیم برای کالاهای و خدمات بخش  $k$  به ازای افزایش یک واحد تقاضای نهایی بخش آم گفته می‌شود.

با ادغام روابط (۴) و (۵) خواهیم داشت:

$$\Delta x_m = \sum_{i=1}^n \frac{b_{mi} b_{ki} \Delta a_{ik}}{1 - b_{ki} \Delta a_{ik}} y_i = \frac{b_{mi} x_k \Delta a_{ik}}{1 - b_{ki} \Delta a_{ik}} \quad (6)$$

۱. روابط مربوط به محاسبات رابطه شرمن و موریسن در پیوست مقاله آورده شده است.

رابطه (۶) میزان تغییر در تقاضای انرژی بخش  $m$  ناشی از تغییر ضریب فنی  $a_{ik}$  را نشان می‌دهد. برای پاسخگویی به این پرسش اساسی که کدام بخش اقتصادی دارای بیشترین میزان تقاضای انرژی در رویکرد تقاضا محور لتوتیف است، باید از مفهوم کشش استفاده نمود. بدین منظور کشش تقاضای انرژی بخش  $m$  نسبت به تغییر ضریب فنی  $a_{ik}$  مطابق رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$\varepsilon_{x_m a_{ik}} = \frac{\Delta x_m / x_m}{\Delta a_{ik} / a_{ik}}, \quad a_{ik} \neq 0 \quad (7)$$

که در آن  $\frac{\Delta x_m}{x_m}$  به معنی نسبت تغییرات در تولید بخش انرژی به تولید بخش انرژی می‌باشد. همچنین،  $\frac{\Delta a_{ik}}{a_{ik}}$  به معنی نسبت تغییرات در ضریب فنی بخش  $k$  به دلیل افزایش یک واحد تقاضای نهایی کالا و خدمات در بخش  $k$  است. در نهایت کشش تولید بخش انرژی نسبت به تغییرات تکنولوژی (تغییرات ضرایب فنی بخش‌های اقتصادی) یعنی  $\varepsilon_{x_m a_{ik}}$  به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود:

$$\varepsilon_{x_m a_{ik}} = \frac{\Delta x_m / x_m}{\Delta a_{ik} / a_{ik}} = \frac{b_{mi} a_{ik}}{1 - b_{ki} \Delta a_{ik}} \frac{x_k}{x_m} \quad (8)$$

که در آن  $\frac{x_k}{x_m}$  نسبت تولید بخش  $k$  به تولید بخش انرژی می‌باشد. با در نظر گرفتن تغییرات ضرایب فنی به میزان ۱٪، کشش تولید بخش انرژی به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon_{x_m a_{ik}} = \frac{\Delta x_m / x_m}{\Delta a_{ik} / a_{ik}} = \frac{b_{mi} a_{ik}}{1 - 0.01 b_{ki} a_{ik}} \frac{x_k}{x_m} \quad (9)$$

رابطه (۹) درصد تغییر در تولید بخش انرژی یعنی بخش  $m$  را به ازای یک درصد تغییر در ضریب فنی  $a_{ik}$  را نشان می‌دهد. بهمنظور بررسی کل حساسیت بخش (ستون ضرایب فنی) نسبت به اثرشان بر میزان تولید بخش انرژی، متوسط کشش‌های ضرایب فنی متناظر (هر ستون) به صورت زیر است:

$$\bar{\varepsilon}_{x_m a_{ik}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{b_{mi} a_{ik}}{1 - 0.01 b_{ki} a_{ik}} \right) \frac{x_k}{x_m}}{n} \quad (10)$$

از آنجا در روابط (۸) و (۹) نسبت  $\frac{x_k}{x_m}$  وجود دارد، به این معناست که در رویکرد تقاضا محور لتوتیف کشش تولید بخش انرژی نسبت به ضریب فنی  $a_{ik}$  به مقدار تولید بخش  $k$  نسبت به تولید بخش  $m$  بستگی دارد و این مقدار نیز به تقاضای نهایی بستگی دارد. بنابراین تغییر در ضریب فنی  $a_{ik}$  می‌تواند ناشی از تغییر تکنولوژی بخش

$k$  و یا تغییر تقاضای نهایی برای محصول بخش  $k$  باشد. لذا این کشش فقط تعیین کننده ارتباط تکنولوژیکی نبوده و از آنجا این پژوهش به دنبال اثر تکنولوژی بر تقاضای انرژی است، می‌توان با فرض  $y=1$  روابط (۱۱) و (۱۲) را به دست آورد که تغییر تولید بخش انرژی را صرفاً ناشی از تغییر تکنولوژی، مستقل از تغییرات تقاضای نهایی نشان می‌دهند. بنابراین رابطه (۱۱) و (۱۲) به صورت زیر ارائه می‌شوند:

$$\varepsilon_{x_m a_{ik}}^* = \frac{\Delta x_m}{\Delta a_{ik}} = \frac{b_{mi} a_{ik}}{1 - b_{ki} \Delta a_{ik}} \frac{\sum_{i=1}^n b_{ki}}{\sum_{i=1}^n b_{mi}} \quad (11)$$

رابطه (۱۱) کشش تولید بخش انرژی یعنی بخش  $m$  نسبت به تکنولوژی بخش  $k$  است و بیان می‌کند که با یک درصد تغییر تکنولوژی بخش  $k$  میزان تولید بخش انرژی بخش  $m$  چند درصد تغییر می‌کند.

$$\bar{\varepsilon}_{x_m a_{ik}}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{b_{mi} a_{ik}}{1 - b_{ki} \Delta a_{ik}} \frac{\sum_{i=1}^n b_{ki}}{\sum_{i=1}^n b_{mi}}}{n} \quad (12)$$

رابطه (۱۲) بیان می‌کند که به ازای یک درصد تغییر در بردار ضرایب فنی  $a_{ik}$  در تمامی بخش‌های اقتصادی، تولید بخش انرژی به طور متوسط چند درصد تغییر می‌کند. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به آنکه تحلیل مذکور در یک جدول داده-ستانده و در یک لحظه از زمان صورت می‌گیرد، لذا تغییر تکنولوژی در روابط فوق به معنای جایگزینی تکنولوژی با کارایی انرژی بالاتر به جای تکنولوژی با کارایی انرژی پایین‌تر در یک لحظه از زمان می‌باشد. در نهایت، براساس این تعریف، بخش‌هایی که دارای کشش تولید انرژی بزرگ‌تر از یک باشند، بیشترین تأثیر را بر تقاضای انرژی گذاشته و به منظور سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و در پی آن کاهش میزان آводگی مورد توجه سیاست‌گذاران می‌باشند.

## ۵- پایه‌های آماری

در محاسبات این پژوهش از جداول داده-ستانده بخش در بخش سال ۱۳۹۰ مرکز آمار ایران استفاده (زیرا بروزترین جدول داده-ستانده در دسترس می‌باشد) استفاده

شده است. لازم به ذکر است بهمنظور بهدست آوردن جدول داده-ستانده داخلی، تفکیک واردات نیز انجام شده است.<sup>۱</sup>

## ۶- یافته‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج

در این قسمت با توجه به روابط (۹) و (۱۲)، مطرح شده در بخش سوم، نتایج حاصل از پژوهش از دیدگاه الگوی تقاضا محور لئونتیف ارائه می‌شود.

### تحلیل متوسط کشش نرمال شده تولید انرژی نسبت به یک درصد تغییر در ضرایب فنی بخش $k/m(a_{ik})^r$

در این قسمت با توجه به رابطه (۹) در بخش سوم به بیان نتایج و تحلیل محاسبات صورت گرفته در پژوهش می‌پردازیم.  $a_{ik}$  بیان کننده متوسط کشش نرمال شده تولید انرژی نسبت به یک درصد تغییر در ضرایب فنی بخش  $k$  ام است که نشان می‌دهد تغییر در ضرایب فنی بخش‌های اقتصادی به چه میزان بر تقاضای انرژی تأثیرگذار بوده و موجب تغییر آن می‌شود. به عبارت دیگر این مقادیر میزان تغییرات تولید بخش انرژی را نسبت به ضرایب فنی هر بخش نشان می‌دهد، که برای دست یافتن به این منظور کشش تولید انرژی هر بخش نرمال شده است، به‌گونه‌ای که متوسط کشش برای بخش‌های اقتصادی برابر یک باشد. بنابراین متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده هر بخش، یکی از حالت‌های کشش بزرگ‌تر از یک و یا کشش کمتر یک را دارا است. با توجه به رابطه (۹)، نتایج حاصل از متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده بخش‌های اقتصادی در جدول (۴) بیان شده است:

۱. واردات در فعالیت‌ها و مبادلات واسطه‌ای میان بخش‌های اقتصادی به صورت ضمنی موجود است، به‌طوری‌که می‌تواند بر اندازه ضرایب فنی محاسبه شده در ماتریس مبادلات واسطه‌ای بین بخشی به شدت اثرگذار باشد. در واقع خارج کردن سهم واردات از ماتریس مبادلات واسطه‌ای بین بخشی نقش تکنولوژی داخلی و وضعیت حسابات بخش‌ها را بر اساس روابط بومی بین بخشی تعیین می‌کند و لذا منجر به بیش برآورد یا کمتر از حد برآورد شدن ضرایب فنی و ضرایب فزاینده بخش‌ها نخواهد شد. بنابراین با در نظر گرفتن رقابتی بودن واردات تفکیک واردات صورت می‌گیرد. به‌منظور اطلاعات بیشتر در خصوص روش‌های تفکیک واردات به مطالعه بانوئی (۱۳۹۱) مراجعه فرمائید.

۲. ذکر این نکته ضروری است که به منظور مقایسه بهتر، نتایج حاصله از روابط مذکور نرمال‌سازی شده‌اند و به صورت ارقام بالاتر از یک و پایین‌تر از یک گزارش شده‌اند.

جدول ۴. حساسیت ضرایب فنی با استفاده از  $\bar{\epsilon}_{x_m \text{ a}_{ik}}$ 

$\bar{\epsilon}_{x_m \text{ a}_{ik}}$	رشته فعالیت‌ها	ردیف
۴,۸۹	انرژی ثانویه <sup>۱</sup>	۱
۰,۱۴	کشاورزی، شکار و جنگلداری و ماهیگیری	۲
۰,۰۲۱	استخراج نفت خام و گاز طبیعی	۳
۰,۰۲۹	استخراج معدن	۴
۰,۰۴۹	ساخت محصولات غذایی، آشامیدنی‌ها، توتون و تنباکو	۵
۰,۰۲۲	صنایع نساجی، پوشاک و چرم	۶
۰,۰۱۳	ساخت چوب و کاغذ و فرآورده‌های مرتبط با آن	۷
۱,۰۴۹	ساخت مواد شیمیایی، لاستیکی و پلاستیکی و محصولات مرتبط با آن‌ها	۸
۰,۰۰۴	ساخت شیشه و محصولات شیشه‌ای	۹
۰,۱۸۵	ساخت محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده در جای دیگر	۱۰
۰,۳۴۴	ساخت، تعمیر و نصب فلزات اساسی و سایر صنایع	۱۱
۰,۰۱۶	آبرسانی، مدیریت پسماند، فاضلاب و فعالیت‌های تصفیه	۱۲
۰,۰۹۸	ساخت‌تمان	۱۳
۰,۲۴۲	عمده‌فروشی و خرده‌فروشی، تعمیر وسایل نقلیه و کالاها	۱۴
۰,۳۱۵	حمل و نقل	۱۵
۰,۰۰۶	انبارداری و پست	۱۶
۰,۰۱۲	فعالیت خدماتی مربوط به تأمین جا و غذا	۱۷
۰,۰۳۰	اطلاعات و ارتباطات	۱۸
۰,۰۱۴	فعالیت‌های مالی و بیمه	۱۹
۰,۰۰۰	خدمات واحدهای مسکونی، غیرمسکونی، املاک و مستغلات	۲۰
۰,۰۵۹	فعالیت‌های اداری و خدمات پشتیبانی، اداره امور عمومی و دفاع	۲۱
۰,۰۲۹	آموزش	۲۲
۰,۰۲۲۵	سلامت و بهداشت	۲۳
۰,۰۲۲۰	هنر، سرگرمی، تفریح و سایر فعالیت‌های خدماتی	۲۴

منبع: یافته‌های تحقیق

۱. انرژی ثانویه شامل بخش‌های تولید کننده برق، گاز طبیعی و تولید فرآورده‌های نفتی می‌باشد که از وضعیت انرژی اولیه (نفت خام و گاز طبیعی) خارج شده و به انرژی قابل استفاده تبدیل شده‌اند. این انرژی‌ها طبق تعریف انرژی ثانویه حاصل از انرژی اولیه (Primary Energy) هستند.

نتایج ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهد که براساس الگوی تقاضا محور لئونتیف، به ازای یک درصد تغییر در ضرایب فنی بخش‌های اقتصادی که دارای متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده بزرگ‌تر از یک هستند، با فرض ثابت بودن سایر شرایط، با تغییر بیشتر از یک درصد در تقاضای بخش انرژی مواجه خواهیم شد، در نتیجه می‌توان گفت بخش‌های اقتصادی که متوسط کشش آن‌ها بزرگ‌تر از یک است، بخش‌هایی هستند که به لحاظ ساختاری بر تقاضای انرژی بسیار تأثیرگذار خواهند بود. به عنوان نمونه، یک درصد تغییر در بردار ضرایب فنی بخش ساخت مواد شیمیایی، ۱,۰۴ درصد تقاضای بخش انرژی را به طور متوسط در کل اقتصاد افزایش می‌دهد. در مقابل بخش‌هایی هستند که متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده آن‌ها کمتر از یک است که تغییر در ضرایب فنی آن‌ها موجب تغییر چندانی در تقاضای بخش انرژی نمی‌شود، به طور مثال، یک درصد تغییر در بردار ضرایب فنی بخش حمل و نقل، ۰,۳۱۵ درصد تقاضای بخش انرژی را به طور متوسط در کل اقتصاد افزایش می‌دهد. نتایج کلی جدول (۴) به این صورت می‌باشد:

(الف) بخش‌هایی که دارای متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده بزرگ‌تر از یک هستند، بخش‌های انرژی ثانویه و ساخت محصولات شیمیایی، لاستیکی و پلاستیکی و محصولات مرتبط به آن هستند، در واقع، این تغییرات عمدۀ میزان انرژی‌بری بخش‌های اقتصادی یادشده را نشان می‌دهد و اینکه سیاست‌گذار به منظور حفظ کارایی انرژی نیاز است تا با چه اولولیتی و تا چه میزان جایگزینی تکنولوژی را در بخش مذکور صورت دهد.

(ب) بخش‌هایی که متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده آن‌ها کمتر از یک هستند، زیر بخش‌های کشاورزی، سایر بخش‌های صنعتی به غیر از بخش‌های تولیدکننده انرژی و ساخت محصولات شیمیایی، لاستیکی و پلاستیکی و محصولات مرتبط به آن، بانک و بیمه، ساخت وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات، ساخت محصولات غذایی و آشامیدنی، امور عمومی، دفاعی و انتظامی، خدمات املاک و مستغلات، آموزش، بهداشت و درمان، سایر خدمات هستند که متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده آن‌ها بسیار پایین است. در این دسته‌بندی بخش ساخت، تعمیر و نصب فلزات اساسی و سایر صنایع با کشش ۰,۳۴۴ و حمل و نقل با کشش ۰,۳۱۵

در صد، در دسته‌بندی کشش‌های کم‌تر از یک در بالاترین سطح و بخش خدمات ساخت واحدهای مسکونی و مستغلات با کشش  $0,03^3$  درصد کم‌ترین میزان کشش در پایین‌ترین سطح این گروه قرار دارند. بسیاری از بخش‌های مورد اشاره عمده‌اً یا انرژی بر نیستند و یا اینکه تغییرات تکنولوژیکی در آنها به سرعت رخ می‌دهد، لذا انتظار می‌رود با تغییر وضعیت تولید، میزان تقاضای انرژی برخلاف گروه با کشش متوسط بزرگ‌تر از واحد، مطابق انتظار به همان نسبت افزایش نیابد.

### تحلیل متوسط کشش نرمال شده تولید انرژی نسبت به یک درصد تغییر در تکنولوژی بخش $k/m (\bar{e}_{x_m a_{ik}}^*)$

در بخش قبلی پژوهش به تحلیل متوسط کشش نرمال شده تولید انرژی نسبت به یک درصد تغییر در ضرایب فنی با استفاده از شاخص  $\bar{e}_{x_m a_{ik}}$  ارائه شد که طبق آن تحلیل حساسیت ضرایب فنی نسبت به تقاضای انرژی با توجه به ویژگی‌های تکنولوژیکی سیستم تولیدی و همچنین نسبت به تولید بخش  $k\text{am}$  به تولید بخش انرژی بیان شده است، به عبارتی براساس این محاسبه، به دلیل آن که محاسبه کشش مذکور تحت تأثیر تقاضای نهایی نیز می‌باشد، ترکیب تقاضای نهایی بخش‌ها نقشی تعیین کننده در میزان تقاضای انرژی هر بخش در کل اقتصاد دارند، بنابراین علاوه بر ارتباطات تکنولوژیکی بخش‌ها، رابطه ساختاری آن‌ها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. اما برای محاسبه کشش تولید انرژی علاوه بر ساختار (که صرفاً به عنوان عامل جایگزینی تکنولوژیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد) از شاخص کشش  $\bar{e}_{x_m a_{ik}}^*$  براساس رابطه (۱۲) استفاده می‌شود. این شاخص تصویر واقع‌بینانه‌تری از رابطه میان تغییر ضرایب فنی و تولید بخش انرژی را ارائه می‌دهد. بر این اساس متوسط کشش تکنولوژیکی تولید انرژی نرمال شده بخش‌های اقتصادی در جدول (۵) بیان شده است.

جدول ۵. حساسیت تولید بخش انرژی به تغییر تکنولوژی با استفاده از  $\bar{\epsilon}_{x_m a_{ik}}^*$ 

ردیف	رشته فعالیت‌ها	$\bar{\epsilon}_{x_m a_{ik}}^*$
۱	انرژی ثانویه	۵,۷۶۳
۲	کشاورزی، شکار و جنگلداری و ماهیگیری	۱,۰۲۶
۳	استخراج نفت خام و گاز طبیعی	۰,۹۴۲
۴	استخراج معدن	۱,۱۰۹
۵	ساخت محصولات غذایی، آشامیدنی‌ها، توتون و تنباکو	۰,۹۱۶
۶	صنایع نساجی، پوشاک و چرم	۱,۰۰۷
۷	ساخت چوب و کاغذ و فرآورده‌های مرتبط با آن	۱,۰۰۰۴
۸	ساخت مواد شیمیایی، لاستیکی و پلاستیکی و محصولات مرتبط با آن‌ها	۰,۰۰۰
۹	ساخت شیشه و محصولات شیشه‌ای	۱,۱۰۴
۱۰	ساخت محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده در جای دیگر	۱,۲۱۴
۱۱	ساخت، تعمیر و نصب فلزات اساسی و سایر صنایع	۰,۹۷۲
۱۲	آبرسانی، مدیریت پسماند، فاضلاب و فعالیت‌های تصفیه	۱,۱۶۵
۱۳	ساختمان	۰,۹۶۵
۱۴	عمده‌فروشی و خردۀ فروشی، تعمیر وسایل نقلیه و کالاها	۱,۰۷۱
۱۵	حمل و نقل	۱,۲۴۲
۱۶	انبارداری و پست	۱,۰۴۴
۱۷	فعالیت خدماتی مربوط به تأمین جا و غذا	۱,۰۲۴
۱۸	اطلاعات و ارتباطات	۱,۰۱۳
۱۹	فعالیت‌های مالی و بیمه	۰,۹۷۴
۲۰	خدمات واحدهای مسکونی، غیرمسکونی، املاک و مستغلات	۰,۹۳۴
۲۱	فعالیت‌های اداری و خدمات پشتیبانی، اداره امور عمومی و دفاع	۱,۰۰۳
۲۲	آموزش	۱,۰۱۱
۲۳	سلامت و بهداشت	۰,۹۹۰
۲۴	هنر، سرگرمی، تفریح و سایر فعالیت‌های خدمتی	۱,۰۸۲

منبع: یافته‌های تحقیق

در این قسمت از پژوهش با توجه به رابطه (۱۲) در بخش سوم، به تحلیل نتایج متوسط کشش تکنولوژیکی تولید انرژی نرمال شده نسبت به یک درصد تغییر در تکنولوژی بخش  $\text{کام}$  می‌پردازیم. این کشش بیانگر آن است که یک درصد تغییر در تکنولوژی بخش  $\text{کام}$  منجر به چه میزان تغییر در تولید انرژی می‌شود. در این محاسبات

نیز همانند بخش قبلی برای تحلیل مناسب با نرمال‌سازی محاسبات، نتایج بر مبنای عدد واحد قابل تحلیل است.

نتایج مندرج در جدول (۵) نشان می‌دهد که براساس الگوی تقاضا محور لئونتیف، بخش‌هایی که دارای متوسط کشش نرمال شده بزرگ‌تر از یک هستند با تغییر یک درصدی در تکنولوژی آن‌ها، تغییر بیشتری در تقاضای بخش انرژی رخ خواهد داد که نشان دهنده تأثیرگذار بودن آن بخش‌ها در تولید و در نهایت تقاضای بیشتر انرژی است. به عنوان مثال، با یک درصد تغییر در بردار تکنولوژی بخش ساخت محصولات کانی غیرفلزی، ۱,۲۱۴ درصد تقاضای برای تولید بخش انرژی افزایش خواهد یافت. همچنین بعضی از بخش‌های اقتصادی نیز دارای متوسط کشش نرمال شده کم‌تر از یک هستند که نشان دهنده این امر است که تغییر یک درصدی در تکنولوژی این بخش‌ها موجب تغییر چندانی در تقاضای بخش انرژی نمی‌شوند. به طور مثال، یک درصد تغییر در بردار تکنولوژی ساخت محصولات غذایی و آشامیدنی منجر به تغییر ۰,۹۱۶ درصدی در تقاضای بخش انرژی می‌شود. نتایج کلی جدول (۵) به این صورت می‌باشد:

(الف) بخش‌هایی که دارای متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده بزرگ‌تر از یک هستند عبارتند از: بخش‌های تولید انرژی ثانویه، کشاورزی، استخراج معدن، نساجی، ساخت چوب، ساخت محصولات شیشه‌ای، ساخت محصولات کانی غیرفلزی، آبرسانی و مدیریت فاضلاب و پسماند، خردۀ فروشی و عمده‌فروشی، حمل و نقل، انبادراری، پست و مخابرات، فعالیت خدماتی مربوط به تأمین جا و غذا، و .... در این دسته‌بندی بخش تولید انرژی ثانویه، مطابق انتظار با ۵,۷۳ درصد بیشترین و بخش سلامت و بهداشت با کشش نرمال شده ۱ درصد کم‌ترین سطح کشش را دارد. مشاهده می‌شود برخلاف مقادیر محاسبه شده  $a_{ik}$ ، میزان کشش تولید انرژی با حذف سهم ساختاری بخش‌های اقتصادی از محاسبه کشش، در این قسمت ارائه شده است. بنابراین مشاهده می‌شود در محاسبه کشش از طریق  $\bar{a}_{ik}^*$  تغییرات تکنولوژی جدای از تغییرات تقاضای نهایی، تصویر دقیق‌تری از وضعیت بخش‌ها در تقاضا برای تولید انرژی می‌دهد. در این میان مطابق انتظار و به عنوان نمونه، بخش انرژی بر ساخت محصولات کانی غیرفلزی و حمل و نقل بدلیل وابستگی تکنولوژیکی به انرژی، به ازای تغییر در ضریب تکنولوژی، با تغییر بزرگ‌تری در تقاضا برای تولید انرژی به طور متوسط مواجه هستند. بخش‌های استخراج معدن، انرژی و عمده‌فروشی و خردۀ فروشی نیز مطابق انتظار با توجه به کارایی انرژی در ساختار مبادلات اقتصاد ایران، انرژی بری بالای را نشان می‌دهد.

(ب) بخش‌هایی که متوسط کشش تولید انرژی نرمال شده کمتر از یک دارند نیز بخش‌های استخراج نفت خام و گاز طبیعی، ساخت محصولات غذایی و آشامیدنی، ساخت مواد شیمیایی، فلزات اساسی، ساختمان، مالی و بیمه و خدمات املاک و مستغلات هستند. در این تقسیم بندی بخش خدمات سلامت و بهداشت با کشش نرمال شده ۰,۹۹ درصد و بخش مواد غذایی و آشامیدنی با کشش نرمال شده ۰,۹۱ درصد به ترتیب بالاترین و کمترین سطح را دارند.

#### مقایسه نتایج کشش‌های $a_{ik}^*$ و $\bar{a}_{ik}$

در این بخش به مقایسه و بررسی نتایج حاصل از دو رابطه (۹) و (۱۲) می‌پردازیم. با توجه به نتایج حاصل از رابطه (۹) که در جدول (۴) درج گردیده است، بخش‌های ساخت محصولات شیمیایی و انرژی ثانویه بخش‌هایی هستند که کشش تولید انرژی آن‌ها بیشتر از یک بوده است. با بررسی نتایج حاصل از رابطه (۱۲) که در جدول (۵) ارائه شده است، بخش‌های تولید انرژی ثانویه، کشاورزی، استخراج معدن، نساجی، ساخت چوب، ساخت محصولات شیشه‌ای، ساخت محصولات کانی غیرفلزی، آبرسانی و مدیریت فاضلاب و پسماند، خردکاری و عمده‌فروشی، حمل و نقل، انبارداری، پست و مخابرات، فعالیت خدماتی مربوط به تأمین جا و غذا، و .... بخش‌هایی هستند که با کشش تکنولوژیکی بیشتر از یک همراه هستند. به عبارتی نتیجه حاصل از دو رابطه یکسان نبوده و تغییر یک درصدی در ضرایب فنی و یا در ضریب تکنولوژی ( جدا کردن وضعیت ساختار تقاضای نهایی بخش‌ها از بخش انرژی در محاسبات) موجب تغییرات متفاوتی در تقاضای بخش‌های اقتصادی در جریان تولید خود برای تغییر تولید بخش انرژی می‌شوند.<sup>۱</sup> بخش انرژی ثانویه بخشی است که در هر دو رابطه به عنوان بخش کشش بالاتر از واحد مشخص شده‌اند. در این میان بخش‌هایی هستند که در یکی از

۱. رابطه (۹) درصد تغییر در تولید بخش انرژی را به‌ازای یک درصد تغییر در ضریب فنی سایر بخش‌های اقتصادی را نشان می‌دهد. در حالی که رابطه (۱۲) بیان می‌کند که به‌ازای یک درصد تغییر در بردار ضرایب فنی در تمامی بخش‌های اقتصادی به‌طور همزمان، تولید بخش انرژی به‌طور متوسط چند درصد تغییر می‌کند. رابطه (۱۲)، تغییرات ضرایب فنی را به‌طور همزمان در محاسبات لحاظ می‌کند و متوسط تغییرات را بر میزان تولید بخش انرژی می‌سنجد در حالی که رابطه (۹)، تغییرات ضرایب فنی از مبدله واسطه هر دو بخش اقتصادی حاصل می‌شود را بر تولید بخش انرژی مورد سنجش و محاسبه قرار می‌دهد. به همین علت نتایج حاصل از دو رابطه یکسان نیستند.

رابطه‌ها دارای کشش بیشتر از یک بوده ولی در رابطه دیگر کشش کمتر از یک دارند این اختلاف نشان می‌دهد که بخش‌های یادشده به شدت تحت تأثیر ساختار تولیدی در بخش تقاضای نهایی هستند و به طور قطع نمی‌توان در خصوص جایگزینی تکنولوژی در این بخش‌ها به منظور بهبود مصرف انرژی اظهارنظر نمود. از آنجایی که هدف از این پژوهش بررسی اثر تغییر تکنولوژی بر میزان تولید بخش انرژی است، می‌توان نتیجه گرفت بخش‌هایی که با تغییر تکنولوژی به تأثیر بیشتری در تولید بخش انرژی منجر شده‌اند به عنوان بخش‌های کلیدی با تغییر در تکنولوژی و اتخاذ سیاست‌های مناسب در افزایش کارایی انرژی در سطح بخش، می‌توانند تأثیر بهسزایی در بهبود بخشیدن به میزان تقاضای بخش انرژی داشته باشند. بنابراین بخش‌های شناسایی شده در رابطه (۱۲) با توجه به آنکه تحت تأثیر ساختار تقاضای نهایی بخش‌ها در مصرف انرژی نیست و صرفاً مبادلات تکنولوژیکی را معیار انرژی‌بری قرار می‌دهد، می‌تواند در امر سیاست‌گذاری نیز تصویر واقع‌بنیانه‌تری به سیاست‌گذاران ارائه دهد.

جدول ۶. مقایسه نتایج جداول (۴) و (۵)

ردیف	بخش‌های اقتصادی	$\bar{\epsilon}^*$		$\bar{\epsilon}$	
		$\bar{\epsilon}^* < 1$	$\bar{\epsilon}^* > 1$	$\bar{\epsilon} < 1$	$\bar{\epsilon} > 1$
۱	انرژی ثانویه	*	*	*	
۲	کشاورزی، شکار و جنگلداری و ماهیگیری	*	*		
۳	استخراج نفت خام و گاز طبیعی	*	*		
۴	استخراج معدن	*	*		
۵	ساخت محصولات غذایی، آشامیدنی‌ها، توتون و تنباکو	*	*		
۶	صنایع نساجی، پوشاک و چرم	*	*		
۷	ساخت چوب و کاغذ و فرآورده‌های مرتبط با آن	*	*		
۸	ساخت مواد شیمیایی، لاستیکی و پلاستیکی و محصولات مرتبط	*		*	
۹	ساخت شیشه و محصولات شیشه‌ای	*	*		
۱۰	ساخت محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده در جای دیگر	*	*		
۱۱	ساخت، تعمیر و نصب فلزات اساسی و سایر صنایع	*	*		
۱۲	آبرسانی، مدیریت پسماند، فاضلاب و فعالیت‌های تصفیه	*	*		
۱۳	ساختمن	*	*		
۱۴	عمده‌فروشی و خرده‌فروشی، تعمیر وسایل نقلیه و کالاهای	*	*		

ردیف	بخش‌های اقتصادی	$\bar{E}$	$\bar{E}^*$	$\bar{E}^* < 1$	$\bar{E}^* > 1$
		$\bar{E}$	$\bar{E}^*$	$\bar{E} < 1$	$\bar{E} > 1$
۱۵	حمل و نقل	*	*		
۱۶	انبارداری و پست	*	*		
۱۷	فعالیت خدماتی مربوط به تأمین جا و غذا	*	*		
۱۸	اطلاعات و ارتباطات	*	*		
۱۹	فعالیت‌های مالی و بیمه	*	*		
۲۰	خدمات واحدهای مسکونی، غیرمسکونی، املاک و مستغلات	*	*		
۲۱	فعالیت‌های اداری و خدمات پشتیبانی، اداره امور عمومی و دفاع	*	*		
۲۲	آموزش	*	*		
۲۳	سلامت و بهداشت	*	*		
۲۴	هنر، سرگرمی، تفریح و سایر فعالیت‌های خدماتی	*	*		

منبع: یافته‌های تحقیق

## ۷- جمع‌بندی و توصیه‌های سیاستی

با توجه به جدول داده-ستاندarde مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۰، براساس نتایج به‌دست آمده در پژوهش، بخش‌های انرژی ثانویه، حمل و نقل، عمدۀ فروشی و خرده فروشی، ساخت محصولات فلزات اساسی و فلزی فابریکی و محصولات کانی غیرفلزی، با توجه به الگوی تقاضا محور لتونتیف دارای بیشترین متوسط کشش نرمال شده تکنولوژیکی تقاضای انرژی هستند. از این‌رو نیاز است ۵ بخش یادشده در اولویت سیاست‌گذاری با هدف افزایش کارایی انرژی و بهبود تکنولوژی قرار گیرند. ذکر این نکته ضروری است که همان‌طور که در ابتدای مطالعه نیز اشاره شد، منظور از بهبود تکنولوژی در این مطالعه، با توجه به محاسبه حساسیت مصرف انرژی بخش‌ها به تغییرات ضرایب فنی و تکنولوژی و محاسبه کشش‌ها در یک مقطع زمانی، به مفهوم جایگزینی تکنولوژی است. لذا سیاست‌گذاری در این مطالعه نیز بر همین مبنای توصیه می‌شود. بر همین اساس، کاهش سهم استفاده از انرژی‌های فسیلی در فرآیند تولید با توجه به توان فنی و اقتصادی کشور در بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری در فناوری انرژی تجدیدپذیر در سه بخش یادشده توصیه می‌شود. در این میان، به‌طور مشخص، استفاده

از انواع انرژی تجدیدپذیر، لزوماً نیازمند جایگزینی تکنولوژی در سطح بخش‌های اقتصادی بهمنظور استمرار همان میزان فعالیت و رشد اقتصادی است. همچنین بهبود کارایی فنی خودروهای تولیدی سبک و سنگین یا جایگزینی خودروهای فرسوده با خودروهای با توان فنی و کارایی مصرف سوخت بالاتر (با توجه به محدود بودن واردات خودرو و فقدان رقابت با بازارهای خودروی خارجی) در بخش حمل و نقل می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد.

هرچند این قبیل سیاست‌ها، در سایه عدم توجه به علائم قیمتی درست در بازار انرژی ایران به نتیجه مورد نظر نخواهند رسید. به عنوان نمونه، تا زمانی که قیمت حامل‌های انرژی تصحیح نشوند و علائم قیمتی درستی به بازار سایر کالاها و خدمات ندهند، نه تنها جایگزینی تکنولوژی همچنان برای جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای فسیلی به صرفه نخواهد بود، بلکه بازار سایر کالاها و خدمات مانند وسائل انرژی‌بر با کارایی بالاتر نیز با قیمت‌های مختلف شده همراه خواهند شد و در نهایت فرآیند جایگزینی به طور ناقص صورت می‌گیرد.

در این میان، بدليل فقدان علائم قیمتی نادرست، نرخ‌های بهره بازاری نیز به درستی شکل نخواهند گرفت. به عنوان نمونه، بازار سرمایه، به عنوان بازاری برای تأمین مالی و ارائه تسهیلات لازم در جهت جایگزینی تکنولوژی در سطح بنگاه‌های اقتصادی و به تبع آن در سطح بخش‌های اقتصادی قادر نخواهد بود نرخ بهره مناسبی را بدليل ناطمینانی قیمتی تعیین نموده و لذا بازار سرمایه، تسهیلات لازم برای ایجاد شرایط بهبود تکنولوژی تولید با کارایی انرژی بالا را برای بخش‌های اقتصادی فراهم نخواهد آورد.

## منابع

بابائی، نیلوفر؛ جلالی‌فر، بهنائز (۱۳۹۷). کاربرد الگوی داده-ستاندarde بهمنظور ارزیابی جایگاه بخش نفت و گاز در اقتصاد ایران، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال چهاردهم، شماره ۵۸، ۱۶۹-۱۹۵.

بانوئی، علی‌اصغر (۱۳۹۱). ارزیابی شرکت مختلف نحوه منظور کردن واردات و روش‌های تفکیک آن با تأکید بر جدول متقاضن سال ۱۳۸۰، *فصلنامه سیاست‌گذاری اقتصادی*، سال چهارم، شماره هشتم، ۳۰-۷۳.

ترازنامه انرژی (۱۳۹۰). دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان آب و برق، وزارت نیرو.

ذاکری، زهرا (۱۳۹۳). ضرورت توجه به محیط زیست در قانون هدفمندی یارانه‌ها: بررسی میزان انتشار مستقیم و غیرمستقیم آلیندگی  $\text{CO}_2$ ، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، شماره مسلسل ۱۳۶۶۳.

رنجبری، فروغ؛ حیدری، ابراهیم؛ پارسا، حجت (۱۳۹۹). اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصاد انرژی سبز در ایران (سنجدش میزان و کشنش انتشار دی‌اکسیدکربن). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال شانزدهم، شماره ۶۴، ۲۱۷-۲۵۱.

جهانگرد، اسفندیار (۱۳۸۹). تحلیل و ارزیابی تعدیل قیمت بنزین و گازوئیل و تأثیر آن بر هزینه زندگی و مصرف در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفتم، شماره ۲۴، ۲۷-۱.

جهانگرد، اسفندیار؛ تجلی، هدیه (۱۳۹۰). تجزیه شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره ۳۱، ۲۵-۵۸.

جهانگرد، اسفندیار (۱۳۹۳). تحلیل‌های داده‌ستانده، نشر آماره، چاپ اول، تهران.

شاراعی، الهه (۱۳۹۶). سنجدش شدت انتشار دی‌اکسیدکربن صنایع انرژی‌بر؛ رویکرد تقاضامحور لئونتیف و عرضه‌محور گش، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علامه طباطبائی.

صادقی، نرگس (۱۳۹۵). ماهیت بخش‌های اقتصادی ایران، سنجدش مصرف انرژی و انتشار  $\text{CO}_2$  در بخش‌های اقتصادی، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، شماره مسلسل ۱۵۲۴۴.

عباسی‌زاد، حسین (۱۳۸۵). تحلیل اثر افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی بر بخش‌های اقتصادی با استفاده از جدول داده‌ستانده، مجله پژوهشنامه بازارگانی، شماره ۳۸، ۱-۲۵.

لطفی، شبینم، فریدزاد، علی و سالم، علی اصغر (۱۳۹۷). تجزیه شدت انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران؛ رویکرد ترکیبی تحلیل تجزیه شاخصی و تحلیل تجزیه مبتنی بر تولید، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال ۲۶، شماره ۸۵، ۱۵۱-۱۸۷.

محمدی، تیمور؛ خرسندی، مرتضی؛ امیرمعینی، مهران (۱۳۹۳). مدل سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران: رویکرد مدل سری زمانی ساختاری، فصلنامه تحقیقات مدل سازی اقتصادی، دوره ۱۸، شماره ۵، ۱۱۷-۸۷.

نصراللهی، زهرا؛ وصفی اسفستانی، شهرام؛ نوریزاده، سمیه (۱۳۹۲). ارزیابی زیست محیطی فعالیتهای اقتصادی با استفاده از جدول داده-ستاند، فصلنامه مدل سازی اقتصادی، سال هشتم، شماره ۲ (پیاپی ۲۶)، ۷۵-۸۹.

هوشمند، محمود و همکاران (۱۳۹۱). بررسی تأثیر افزایش قیمت برق و سایر حامل‌های انرژی بر تقاضای برق بخش صنعت در ایران با استفاده از الگوی تعادل عمومی محاسبه پذیر، مجله اقتصاد و توسعه منطقه‌ای، سال نوزدهم، شماره ۴۵، ۲۴-۴۷.

Dwyer, Paul S., Frederick V., Waugh (1953). On Errors in Matrix Inversion, Journal of the American Statistical Association, 48, 289–319.

Evans, W., Duane (1954). the Effect of Structural Matrix Errors on Interindustry Relations Estimates, Econometrica, 22, 461–480.

Guo, J., Zhang, Y-J., & Zhang, K-B. (2018). the Key Sectors for Energy Conservation and Carbon Emissions Reduction in China: Evidence from the Input-Output Method. Journal of Cleaner Production, Vol.179, 180-190.

Hondo, H., Sakai, Sh., & Tanno, Sh. (2002). Sensitivity Analysis of Total CO<sub>2</sub> Emission Intensities Estimated Using an Input–Output Table, Applied Energy, Vol.72, 689-704.

Jackson, Randall W. (1991). The Relative Importance of Input Coefficients and Transactions in Input- Output Structure, in John H. Ll. Dewhurst, Geoffrey J. D. Hewings, Rodney C. Jensen (eds.). Regional Input-Output Modelling, New Developments and Interpretations. Aldershot, UK: Avebury, 51–65.

Jilek, Jaroslav (1971). the Selection of the Most Important Coefficient, Economic Bulletin for Europe, 23, 86–105.

Lahr, Michael L., Benjamin H., Stevens (2002). A Study of the Role of Regionalization in the Generation of Aggregation Error in Regional Input-Output Models, Journal of Regional Science, 42, 477–507.

Li, L., Zhang, J., & Tang, L. (2017). Sensitivity Analysis of China's Energy-Related CO<sub>2</sub> Emissions Intensity for 2012 Based on Input–Output Model, Procedia Computer Science, Vol. 122, 331-338.

- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). Input-Output Analysis: Foundations and Extensions, Second Edition, Cambridge University Press.
- Phoumin, H., & Kimura, S. (2014). Analysis on Price Elasticity of Energy Demand in East Asia: Empirical Evidence and Policy Implications for ASEAN and East Asia, ERIA Discussion Paper series.
- Sekulic, M. ijo (1968). Application of Input-Output Models to the Structural Analysis of the Yugoslav Economy, *Ekonomksa Analiza*, 2, 50–61.
- Sherman, M., & Morrison,W. (1950). Adjustment of an Inverse MatrixCorresponding to a Change in One Element of a Given Matrix, *Annals of Mathematical Statistics*, 21, 124-127
- Tarancon, M.A., Del Rio, P. (2007). CO2 Emissions and Intersectoral Linkages. The Case of Spain, *Energy Policy*, 35, 1100–1116.
- Tarancon, M., Del Rio, P., & Albinana, F. (2010). Assessing the influence of manufacturing sectors on electricity demand. A cross-country input-output approach, *Energy Policy*, 38, 1900-1908.
- Tarancon, M.A., Del Rio, P. (2012). Assessing Energy-Related CO2 Emissions with Sensitivity Analysis and Input-Output Techniques, *Energy*, 37, 161-170.
- World Development Indicators (WDI). (2020). The World Bank Database Website, Retrieved from: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Woodbury, Max A. (1950). Inverting Modified Matrices, Memorandum Report, 42 Statistical Research Group, Princeton University, Princeton, NJ.
- Yan, J., Zhao, T., & Kang, J. (2016). Sensitivity analysis of technology and supply change for CO2 emission intensity of energy-intensive industries based on input–output model, *Applied Energy*, 171, 456-467.
- Yuan, R., & Zhao, T. (2016). a Combined Input–Output and Sensitivity Analysis of CO2 Emissions in the High Energy-Consuming Industries: A Case Study of China, *Atmospheric Pollution Research*, 7, 315-325.

## Sensitivity Analysis of Technology Changes for Energy Demand by Iranian Economic Sectors: an Application of Sherman-Morrisson Method and Input-Output Approach

Ali Faridzad<sup>1</sup>

Associate Professor of Allameh Tabataba'i University, Faculty of Economics,  
ali.faridzad@atu.ac.ir

Fereidoun Asadi

Scientific Member and Manager of Energy Department, Islamic Parliament  
Research Center (IPRC), fasadi2007@gmail.com

Maryam Zoghi

Master of Economic Development and Planning, Khatam University  
maryamzoghi\_88@yahoo.com

Received: 2020/03/17      Accepted: 2020/08/20

### Abstract

We undertook a sensitivity analysis of the key demand factors leading to changes of energy consumption in the competitive market, using a Leontief demand-driven approach. We applied the Leontief model to previous research results to study the most sensitive factors leading to the change of energy demand in different economic sectors. Based on the 2011 Iranian symmetrical input-output table, the results show that the secondary energy sector, transportation, wholesale and retail, manufacturing of basic metal and fabricated metal products and non-metallic mineral products respectively have the highest direct and indirect average technologically normalized elasticities of energy demand.

Our results indicate that we can reduce energy demand substantially through technological innovations in the above mentioned sectors.

**JEL Classification:** C67, D57, O39, Q32

**Keywords:** Energy Demand, Leontief demand-driven approach, Sensitivity Analysis, Input-Output Model

---

1. Corresponding Author