

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران با استفاده از روش شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا با تاکید بر رویکرد زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای

علی فریدزاد^۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۷

چکیده:

مساله اندازه‌گیری و ارزیابی شدت انرژی بخش‌های اقتصادی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه یکی از مهم‌ترین مسائل سیاستگذاری انرژی است. از آنجایی که بخش صنعت کشور، بیش از ۲۵ درصد از تولید ناخالص داخلی را در اختیار دارد، تعیین عوامل موثر بر شدت انرژی در صنایع انرژی‌بر کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه در دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۳، با استفاده از روش شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا با دو رویکرد ضربی و جمعی و در دو شکل تحلیل زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای به تجزیه عوامل موثر بر شدت انرژی در قالب آثار تولیدی، ساختاری و شدت انرژی برای پنج صنعت انرژی‌بر کشور پرداخته شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که شدت انرژی در طول دوره زمانی مورد بررسی در بخش صنعت افزایش داشته است و در این میان اثر شدت انرژی و اثر تولیدی به ترتیب بیشترین سهم را در توضیح عوامل موثر بر شدت انرژی داشته‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد مقایسه تحلیل زمانی زنجیره‌ای نتایج واقعی‌تر و قابل اعتمادتری را در اختیار سیاستگذاران قرار می‌دهد.

طبقه‌بندی *C43, L60, Q40: JEL*

واژه‌های کلیدی: شدت انرژی، روش تحلیل تجزیه شاخص دیویژیا، اثر تولیدی، اثر ساختاری، اثر شدت

۱- مقدمه

انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی به عنوان یک نهاد تولیدی نقش مهمی را ایفا می‌کند. اهمیت استفاده از انرژی به عنوان نهاد تولید در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، حتی به عنوان موتور رشد اقتصادی و افزایش تولید تلقی می‌شود. در حال حاضر بخش صنعت در ایران سهمی معادل ۲۵ درصد از تولید ناخالص داخلی را در اختیار دارد که توجه به این بخش اقتصادی و رشد اقتصادی آن، می‌تواند نیل به هدف رشد اقتصاد بدون نفت را در سال‌های آتی برای کشور فراهم آورد.

مصرف انرژی به ویژه پس از اجرای طرح هدفمندی یارانه حامل‌های انرژی در بخش صنعت از اهمیت ویژه‌ای در سیاست‌گذاری‌های این بخش برخوردار است از این رو، بهبود در کارایی و بهره‌وری مصرف انرژی و در نهایت کاهش شدت انرژی یکی از مسئولیت‌های این بخش در حال حاضر تلقی می‌شود.

بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که تنها نمی‌توان به نسبتی از مصرف انرژی به ازای هر واحد فعالیت اقتصادی به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری کاهش یا افزایش شدت انرژی بسنده کرد و نیاز است تا عوامل موثر بر تغییرات شدت انرژی در یک چارچوب منطقی و علمی مجزا شوند چراکه شدت انرژی توسط عواملی چون ترکیب فعالیت‌های صنعتی، تغییرات تکنولوژیکی، قیمت انرژی، جانشین حامل‌های انرژی و تغییر در مدیریت تقاضای انرژی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین بسیاری از تغییرات ساختاری اقتصادی از جمله سیاست‌های توسعه صنعتی و تغییرات تقاضای مصرف‌کننده می‌توانند بر شدت انرژی اثرگذار باشند.

مطالعه حاضر با هدف تحلیل و تجزیه عوامل موثر بر شدت انرژی به بررسی تغییرات شدت انرژی بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ برای صنایع انرژی‌بر کشور می‌پردازد. مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته است از چند منظر متفاوت است:

اول، در این مطالعه برای اولین بار تفکیک صنایع در بخش صنعت به صنایع انرژی بر که بیش از ۹۰ درصد از کل انرژی مصرفی این بخش را استفاده می کنند، صورت گرفته است. در سایر مطالعات صورت گرفته این نوع تفکیک مشاهده نمی شود.

دوم، مطالعاتی که در گذشته صورت گرفته است بیشتر از شاخص ایده آل فیشر^۱ جهت تجزیه شدت انرژی در فعالیت های اقتصادی استفاده کرده است در حالی که شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا (LMDI)^۲ که به دو صورت ضربی^۳ و جمعی^۴ محاسبه می شود عموماً به طور بسیار محدود در مطالعات بکار گرفته شده است. این روش توسط آنگ (۲۰۰۴)^۵ به دلایلی که در بخش دوم ارائه خواهد شد به عنوان بهترین روش جهت تجزیه شدت انرژی قابل بکارگیری است. همچنین در مطالعات انجام شده با استفاده از شاخص دیویژیا، تکنیک جمعی و ضربی به طور همزمان ارائه نشده که در این مطالعه مورد ملاحظه قرار گرفته است.

سوم، در بخش سوم این مطالعه به دو روش تجزیه دو دوره ای یا دوزمانه^۶ و زنجیره ای (سری زمانی)^۷ اشاره شده است که در سایر مطالعات صورت گرفته در گذشته نتایج حاصل از این دو روش به طور همزمان ارائه و مقایسه نشده است. در این پژوهش تلاش شده است که نتایج حاصل از تغییرات رویکردهای زمانی که از اهمیت بسیاری نیز برخوردار بوده و در مطالعات بین المللی نیز مورد تأکید است، مورد بررسی قرار گیرد و در حالت تجمیع شده نیز با رویکرد زمانی دو دوره ای مورد مقایسه قرار گیرد.

مطالعه حاضر در شش بخش سازماندهی شده است. در بخش دوم، به بررسی وضعیت مصرف انرژی در صنایع انرژی بر کشور پرداخته شده است. در بخش سوم، به ارائه مبانی نظری تعاریف شدت انرژی و طرح رویکرد ایده تجزیه شدت انرژی اختصاص یافته است.

1- Fisher Ideal Index Method

2- Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI)

3- Multiplicative Method

4- Additive Method

5- Ang (2004), p.1135

6- Period-Wise Decomposition

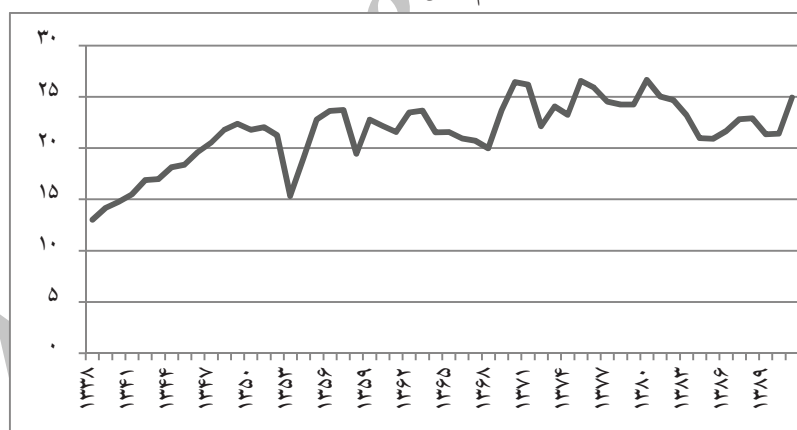
7- Chain-Linked Decomposition

در بخش چهارم، روش شناسی پژوهش در خصوص روش تجزیه شدت انرژی با استفاده از شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا در دو تکنیک ضربی و جمعی اثبات و ارائه شده است. همچنین در بخش پنجم به بررسی مطالعات تجربی صورت گرفته در این زمینه پرداخته شده است. در نهایت بخش ششم، نتایج حاصل از بکارگیری روش تحقیق ارائه شده است. در این بخش به تفصیل تغییرات شدت انرژی در صنایع انرژی بر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در پایان، نتیجه گیری و پیشنهاداتی سیاستی این مطالعه ارائه خواهد شد.

۲- بررسی وضعیت مصرف انرژی در صنایع انرژی بر کشور

بر اساس آخرین آمار و اطلاعات رسمی، سهم بخش صنعت و معدن از ۱۳ درصد کل تولید ناخالص داخلی به ۲۴/۹ درصد افزایش یافته است. در نمودار (۱) سهم بخش صنعت و معدن از سال ۱۳۳۸ تا پایان سال ۱۳۹۱ ارائه شده است.

نمودار (۱) - سهم بخش صنعت از GDP (درصد)



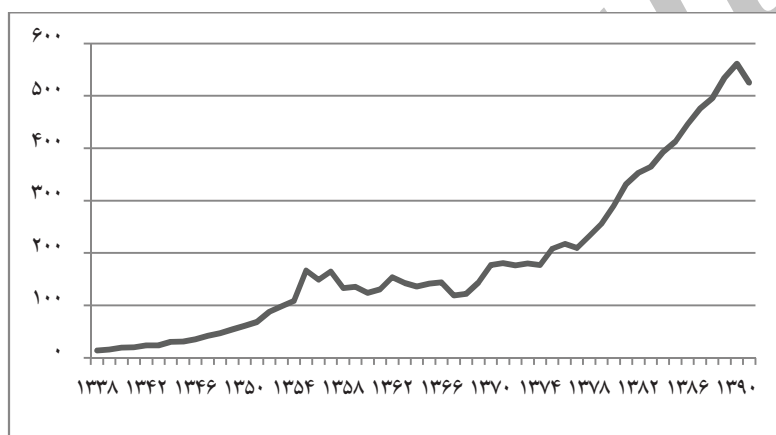
منبع: مرکز آمار ایران، حساب‌های ملی (۱۳۹۳)

در نمودار (۲)، تولید ناخالص داخلی بخش صنعت به قیمت‌های ثابت سال ۱۳۸۳ در سال‌های مختلف ارائه شده است. در زیرمجموعه بخش صنعت، پنج صنعت انرژی بر شامل

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۹۱

صنعت تولید محصولات کانی غیرفلزی، تولید فلزات اساسی، تولید مواد و محصولات شیمیایی، تولید زغال کک و پالایشگاه‌های نفت و تولید صنایع غذایی و آشامیدنی بیشترین مصرف انرژی را در طی دهه اخیر داشته‌اند به طوری که بیش از ۹۰ درصد از کل مصرف انرژی صنعت را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به آمارهای در دسترس^۱ از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۹۰ وضعیت پنج صنعت اول انرژی بر کشور در قالب نمودارهای (۳) و (۴) ارائه شده است.

نمودار (۲) - تولید ناخالص بخش صنعت و معدن (هزار میلیارد ریال)

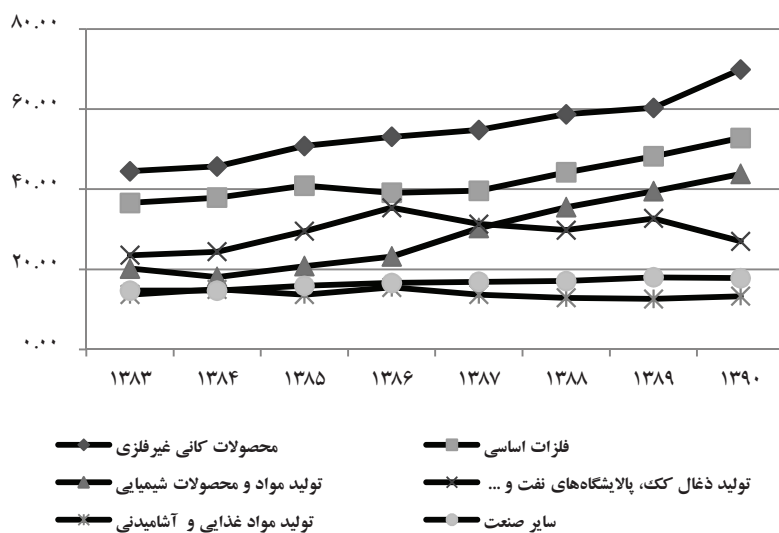


منبع: مرکز آمار ایران، حساب‌های ملی (۱۳۹۳)

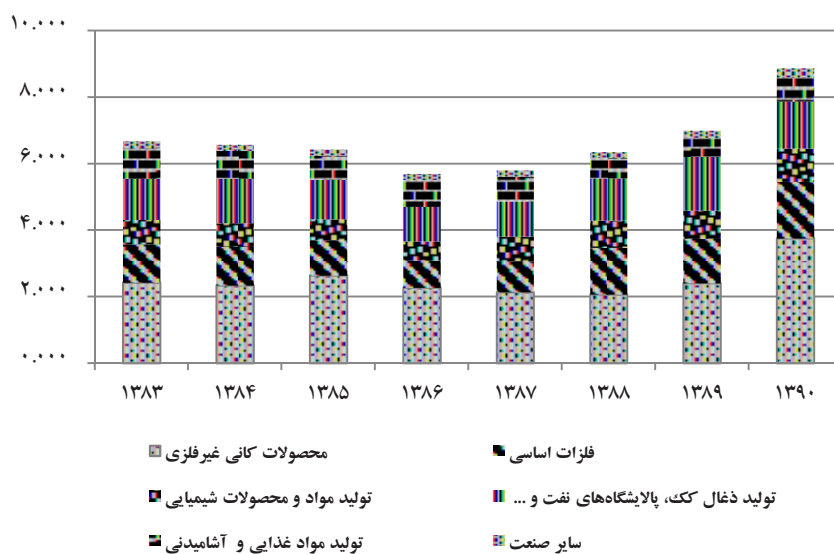
در نمودار (۳)، مشاهده می‌شود که میزان مصرف انرژی در بسیاری از زیربخش‌های صنعت با افزایش مواجه بوده است هر چند بخش تولید مواد غذایی و آشامیدنی با کاهش مصرف انرژی مواجه است.

۱- مرکز آمار ایران (۱۳۹۳)

نمودار (۳) - میزان مصرف انرژی در پنج صنعت اول انرژی بر کشور (میلیون بشکه نفت خام)



نمودار (۴) - میزان تغییرات شدت انرژی در پنج صنعت اول انرژی بر کشور



تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۹۳

با وجود روند افزایش مصرف انرژی در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰، اما شدت انرژی بر اساس نمودار (۴) تغییرات مشخص یا روند رو به رشد یا فزاینده‌ای را از خود نشان نمی‌دهد، هر چند می‌توان گفت سهم مصرف انرژی و شدت انرژی در بخش محصولات کانی غیرفلزی از سایر بخش‌ها بیشتر است. بر این اساس، تغییرات شدت انرژی و تحلیل عوامل موثر بر تغییرات شدت انرژی در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ از اهداف اصلی این مطالعه است که در بخش ششم به آن پرداخته می‌شود.

۳- مبانی نظری: تجزیه شدت انرژی

یکی از دغدغه‌های اصلی و اساسی در تعیین سیاست‌های مصرف انرژی، بحث کارایی انرژی و شدت انرژی است. عوامل متعددی بر مصرف انرژی در هر کشور تأثیرگذار هستند که از جمله آنها می‌توان به تغییرات آب و هوا، استانداردهای زندگی، درآمد ملی، الگوهای مصرفی متفاوت و علاوه بر آن تغییرات ساختاری اشاره کرد.^۱

تعاملات میان مصرف انرژی و کارایی انرژی از یک سو و همچنین توانایی در توضیح جزئی‌ترین ابعادی که منجر به تغییرات مصرف انرژی در کل اقتصاد و همچنین زیربخش‌های اقتصادی منجر می‌شود، یکی از مباحث پر اهمیت در حوزه سیاست‌گذاری انرژی است. در نتیجه این تعاملات، ادبیات موضوعی غنی با استفاده از اصطلاح اقتصادی شدت انرژی^۲ ایجاد شده است و مطالعات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است.

در ابعاد نظری شدت انرژی به نسبت مقدار مصرف انرژی به میزان کل تولید ناخالص داخلی گفته می‌شود که عکس تعریفی است که برای کارایی انرژی بکار برده می‌شود. هر چند که انتقادات بسیاری مبنی بر غیر دقیق بودن این شاخص وجود دارد که از جمله آن می‌توان به استیونس (۲۰۰۰)^۳ اشاره کرد که اعتقاد دارد برای تعیین نسبت شدت انرژی باید عوامل موثر بر صورت کسر (عوامل موثر بر مصرف انرژی) و عوامل موثر بر مخرج

1- Szep (2013), p.77.

2- Energy Intensity

3- Stevens, P. (2000). Introduction

(عوامل موثر بر تولید ناخالص داخلی) از هم تفکیک و متمایز شوند در غیراین صورت تغییرات پیش‌بینی شده از شدت انرژی^۱ نتایج اشتباهی را ارائه می‌دهد.

بارزترین مثال منتقدین به نسبت شدت انرژی، پایین تر بودن نسبت شدت انرژی بعد از سال ۱۹۷۳ (اولین شوک نفتی) نسبت به پس از سال ۱۹۷۳ است که دلیل کاهش مصرف انرژی افزایش در کارایی در مصرف انرژی نبوده است، بلکه افزایش قیمت نفت منجر به کاهش مصرف انرژی در آن دوره شده است. بنابراین لزوماً نمی‌توان کاهش شدت انرژی را با افزایش کارایی در مصرف انرژی همراستا دانست. با این وجود سعی شده است که با جدا کردن اجزای موثر بر مصرف انرژی که منجر به تغییرات شدت انرژی شده است، از شاخص‌های مختلفی برای توضیح‌دهندگی دلایل تغییر شدت انرژی استفاده کنند. ب

یکی از موضوعات اصلی دهه ۱۹۷۰ میلادی که با شوک اول نفتی و ضرورت توجه به کارایی انرژی در کشورهای مصرف‌کننده نفت به ویژه کشورهای صنعتی همراه بود، تجزیه تغییرات شدت انرژی جهت بهبود کارایی و تغییر فعالیت بخش‌های مختلف اقتصادی بود. در این حوزه مایرز و ناکامورا (۱۹۷۸)^۲ تغییر در ترکیب فعالیت‌های اقتصادی و آثار آن بر مقادیر تجمعی شدت انرژی را موضوع تحلیل تجربی قرار دادند.^۳

۱- این شاخص علاوه بر تبعیت از عوامل موثر بر مصرف بهینه انرژی از عواملی مانند شرایط آب و هوایی، جغرافیایی و ساختار اقتصادی که با مصرف بهینه انرژی ارتباطی ندارند نیز متأثر می‌شود. به عنوان مثال، در کشورهای پهناور، کرایه حمل و نقل به دلیل توزیع گسترده کالاها در سطح کشور گران است. ممکن است کشورهای با آب و هوای سرد در مقایسه با کشورهای معتدل از انرژی به صورت محافظه کارانه تری برای گرم کردن فضا استفاده کنند. در حالی که کشورهای با آب و هوای گرم از انرژی بیشتری برای بهبود شرایط آب و هوایشان مصرف می‌کنند علاوه بر این، ممکن است اقتصادهای متکی بر پایه صنایع فلزات خام در مقایسه با کشورهای مصرف‌کننده فلزات پردازش شده، میزان بیشتری انرژی به ازای هر واحد محصول کارخانه‌ای مصرف کنند. به عنوان مثال، کشور کانادا به دلیل وسعت جغرافیایی و آب و هوای سرد و صنایع پردازش‌کننده فلزات خام، میزان انرژی بیشتری را مصرف می‌کند در صورتی که در ژاپن عواملی مانند آب و هوای معتدل، محدودیت فلزات خام و افزایش تراکم جمعیت (ایجاد واحدهای مسکونی کوچک‌تر و مسافت کوتاه‌تر سفرها) موجب کاهش نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی در این کشور شده است. (گلی و اشرفی (۱۳۸۹)، ص ۳۶)

2- Myers J. And Nakamura L. (1978)

۳- گلی و اشرفی (۱۳۸۹)، ص ۳۷

مهم ترین مطالعه در زمینه تجزیه شدت انرژی به مطالعه بوید و همکاران (۱۹۸۷)^۱ بازمی گردد که با مطالعه صنایع کارخانه‌ای آمریکا، دو موضوع کلیدی را مورد بحث قرار داده‌اند. اول آنکه، تغییرات در شدت انرژی واقعی^۲ به دلیل بهبود کارایی با استفاده از میزان انرژی صرف شده به ازای هر واحد تولید کارخانه‌ای اندازه‌گیری می‌شود و دوم، انتقال بخشی در اقتصاد^۳ که تغییرات در ترکیب تولید صنعتی از صنایع انرژی‌بر به صنایع غیرانرژی‌بر را نشان می‌دهد.

در این مطالعه از شاخص دیویژیا^۴ برای تجزیه از طریق شاخص عددی استفاده شده است چرا که مطالعات پیش از ۱۹۸۰ بیشتر از شاخص لاسپیرز^۵ جهت تجزیه استفاده می‌شد که به دلیل جمله پسماند^۶، استفاده از شاخص دیویژیا پیشنهاد شد هر چند استفاده از این شاخص نیز به طور خالص با جمله پسماند همراه است. نتایج این مطالعه نشان داده است که سطح مصرف انرژی در اقتصاد قبل و پس از شوک نفتی ۱۹۷۴ و تحریم نفتی اوپک منجر به انتقال بخشی از نفت خام به مصرف برق و سایر سوخت‌ها شده است.

آنگک و ژانگک (۲۰۰۰)^۷ در مطالعاتی که در حقیقت ادامه‌دهنده مسیر تحقیقی یادشده بود با عمق بیشتری به ابعاد این موضوع پرداختند. در واقع با میان آمدن واژه تقاضای مشتقه^۸ برای مصرف انرژی بواسطه افزایش تقاضا برای تولیدات صنعتی در اقتصاد و همچنین تغییرات ساختاری که به واسطه تغییرات در تقاضای انرژی در اقتصاد رخ می‌داد، بررسی و تجزیه شدت انرژی اهمیت فنی پیدا کرد.

1- Boyd G. *et al.* (1987)

2- Real Energy Intensity

3- Sectoral Shift

4- Divisia Index

5- Laspeyres Index

۶- منظور از جمله پسماند در تجزیه شدت انرژی، مواردی است که بر شدت انرژی در اقتصاد موثر هستند اما نمی‌توان آن را تنها توسط تغییرات تولید توضیح داد و حتی شاخص دیویژیا نیز همانند شاخص لاسپیرز تا حدودی با این مشکل مواجه هستند، اما هر چه نسبت زیر بخش‌های اقتصادی بیشتر باشد، بهتر می‌توان از میزان درجه غیرقابل توضیح بودن عوامل موثر بر شدت انرژی کاست.

7- Ang B.W. and Zhang F.Q. (2000)

8- Derived Demand of Energy

آننگ و ژانگ (۲۰۰۰) اعتقاد داشتند هر چند تغییرات تولید بواسطه تغییر تقاضا به وجود می‌آیند اما علاوه بر تغییرات ساختاری، ما تغییرات شدتی مصرف انرژی را نیز به دلیل تغییرات در شدت انرژی زیربخش‌های اقتصادی^۱ خواهیم داشت. روش تجزیه براساس مطالعه آنها، نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۰۰، تعداد ۱۲۴ عنوان پژوهشی در این حوزه مورد مطالعه قرار گرفته است که ۵۱ مقاله مربوط به سال ۱۹۹۵ بوده است.

بررسی مطالعات در ۱۵ سال گذشته نشان می‌دهد که دو روش^۲ برای این تجزیه شدت انرژی مورد استفاده قرار گرفته است؛ روش اول، روش تحلیل تجزیه ساختاری (SDA)^۳ است که بر مبنای روش تحلیل داده-ستانده^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش دوم، روش تحلیل تجزیه شاخصی (IDA)^۵ است که برای اولین بار بمنظور محاسبه وضعیت انتشار دی اکسید کربن در سال ۱۹۹۱ از آن استفاده شد و پس از آن در سال ۱۹۹۸ به طور فنی در تجزیه و تحلیل شدت انرژی مورد استفاده قرار گرفت و تقریباً بر اساس اطلاعات موجود تا میانه سال ۲۰۱۱، انواع روش‌های آن در ۳۲۰ مقاله بین‌المللی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش به دو روش شاخص لاسپیرز و روش شاخص دیویژیا تقسیم‌بندی می‌شود که به لحاظ دوره زمانی به دو شکل دو دوره‌ای^۶ بر اساس سال مینا و سال نهایی و یا سری زمانی^۷ محاسبه می‌شود.

روش سری زمانی نیاز به داده‌ها و اطلاعات سری زمانی مصرف انرژی و بخش اقتصادی یا بخش‌های اقتصادی مورد محاسبه دارد که بر اساس آن هر سال نسبت به سال قبل خود سنجیده می‌شود و این در صورتی است که اطلاعات مورد نیاز برای بخش‌های اقتصادی مورد مطالعه در سال‌های میانی وجود داشته باشد.

1- Sectoral Energy Intensity

2- Wang *et al.* (2014), P. 617

3- Structural Decomposition Analysis

4- Input-Output Analysis

5- Index Decomposition Analysis

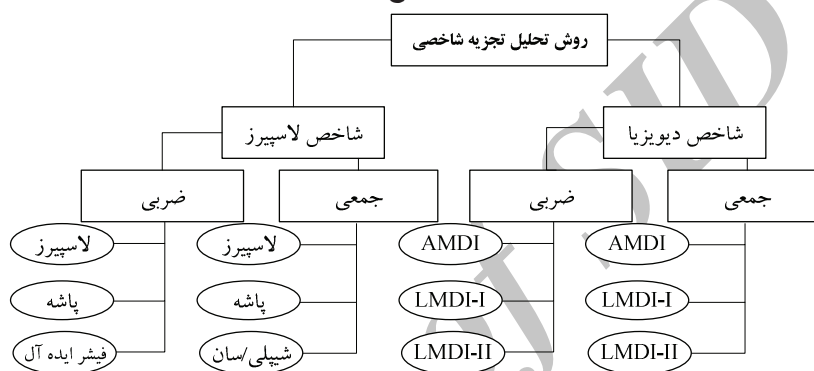
6- Period Wise

7- Time-Series

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۹۷

با توجه به موارد یادشده، روش های مختلفی بمنظور محاسبه به روش تحلیل تجزیه شاخصی مورد استفاده قرار می گیرد که به دو شکل جمعی^۱ و ضربی^۲ طبقه بندی می شوند که هدف تمامی آنها بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی هستند. در نمودار (۵) انواع روش های محاسباتی تکنیک تحلیل تجزیه شاخصی ارائه شده است.

نمودار (۵) - طبقه بندی انواع روش های تجزیه شدت انرژی



بر اساس نمودار (۵۱)، دو روش لاسپیرز و دیویژیا در دو قالب جمعی و ضربی قابلیت تجزیه شدت انرژی را دارا هستند، اما در این میان شاخص دیویژیا که ادامه مطالعه حاضر، مورد استفاده قرار خواهد گرفت نسبت به روش تجزیه لاسپیرز از اولویت محاسباتی و کاربردی برخوردار است.

در ذیل روش تجزیه شاخص دیویژیا، روش میانگین حسابی شاخص دیویژیاست^۳ که البته بر اساس مطالعه آنگک (۲۰۰۴)^۴ که در ادامه اشاره می شود، روش لگاریتمی بر روش حسابی از مزیت بسیار بیشتری برخوردار خواهد بود. روش تحلیل تجزیه به صورت

1- Additive

2- Multiplicative

۳- روش دیگر روش AMDI یا روش میانگین حسابی شاخص دیویژیاست که اختصار عبارت Arithmetic

Mean Divisa Index (AMDI) است که در نمودار (۵۱) نیز به عنوان زیرمجموعه شاخص دیویژیا به دو روش

جمعی یا ضربی قابل محاسبه خواهد بود.

4- Ang (2004), p.1135

شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا (LMDI) در میان سایر روش‌ها توسط آنگک (۲۰۰۴) به عنوان بهترین روش محاسبه در میان روش‌های موجود پیشنهاد شده است. این تکنیک شاخص‌سازی (LMDI) در مقایسه با سایر روش‌های تجزیه به دلیل ویژگی‌هایی نظیر استقلال زمانی، انعطاف‌پذیری محاسباتی و امکان محاسبه مقادیر منفی و صفر از اولویت محاسباتی و بکارگیری برخوردار است.^۱

روش‌های ترکیبی دیگری در شاخص‌سازی وجود دارند که از جمله آن می‌توان به روش مارشال-آجورث^۲، والش^۳ و دوربیش^۴ اشاره کرد که زیرمجموعه تحلیل تجزیه با شاخص لاسپیرز هستند و در برخی از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است.

۴- روش تجزیه شدت انرژی از طریق میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا (LMDI)^۵

فرض کنید مقدار V یک متغیر کلان مرتبط با انرژی باشد. در صورتی که n عامل بر تغییرات V طی زمان موثر باشند و تماماً قابل اندازه‌گیری باشند، به عنوان n متغیر شامل x_1, x_2, \dots, x_n شناخته می‌شوند. فرض کنید اندیس i به عنوان زیر بخش متغیر کلان مورد مطالعه V باشد، آنگاه در سطح زیربخش‌ها داریم $V_i = x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i}$. تحلیل تجزیه شاخصی در حالت عمومی (IDA) به صورت زیر خواهد بود:

$$V = \sum_i V_i = \sum_i x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i} \quad (1)$$

۱- خلیلی عراقی و همکاران (۱۳۹۱)، ص ۹۷

2- Marshall-Edgeworth

3- Walsh

4- Dorbish

5- Ang B.W. (2005), p.867

متغیر مورد مطالعه از $V = \sum_i x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i}$ در دوره صفر تا $V^T = \sum_i x_{1,i}^T x_{2,i}^T \dots x_{n,i}^T$ در دوره T تغییر می کند. در تجزیه ضربی، تجزیه از نسبت ارائه شده در رابطه (۲) به صورت حاصلضرب اجزا حاصل می شود:

$$D_{tot} = \frac{V^T}{V} = D_{x_1} \times D_{x_2} \times \dots \times D_{x_n} \quad (2)$$

در تجزیه جمعی، تجزیه متفاوت است:

$$\Delta V_{tot} = V^T - V = \Delta V_{x_1} + \Delta V_{x_2} + \dots + \Delta V_{x_n} \quad (3)$$

اندیس tot بیان کننده کل یا تمامی تغییرات است و سمت راست معادلات (۲) و (۳) آثار مرتبط با عوامل معادله (۱) را نشان می دهد. در رویکرد شاخص میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا (LMDI)، فرمول عمومی برای اندازه گیری اثر عامل k ام در سمت راست معادله (۲) و (۳) به ترتیب به صورت معادلات (۴) و (۵) هستند:

$$D_{xk} = \exp \left(\frac{\sum_i L(V_i^T, V_i)}{\sum_i L(V^T, V)} \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}} \right) \right) = \exp \left(\frac{\sum_i \frac{V_i^T - V_i}{V^T - V} (\ln V_i^T - \ln V_i)}{\sum_i \frac{V_i^T - V_i}{V^T - V} (\ln V_i^T - \ln V_i)} \times \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}} \right) \right) \quad (4)$$

$$\Delta V_{xk} = \sum_i L(V_i^T, V_i) \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}} \right) = \sum_i \frac{V_i^T - V_i}{\ln V_i^T - \ln V_i} \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}} \right) \quad (5)$$

که در اینجا $L(a, b) = (a - b) / (\ln a - \ln b)$ تعریف می‌شود.^۱

در خصوص مصرف انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی، شدت انرژی می‌تواند به سه اثر یا حتی آثار بیشتری (عواملی که بر مصرف انرژی و در نهایت بر تغییرات شدت انرژی موثر هستند) تقسیم‌بندی شوند. در اینجا شدت انرژی را به سه جزء اثر تولیدی (اثر تولیدی)^۲، عامل ساختاری (اثر ساختاری)^۳ و شدت انرژی در هر بخش یا فعالیت (اثر شدت)^۴ تقسیم‌بندی می‌کنیم که بر اساس معادله (۱) به صورت زیر خواهد بود:

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{E} = \sum_i Q S_i I_i \quad (۶)$$

در معادله (۶)، E کل مصرف انرژی در کل اقتصاد می‌باشد و $Q (= \sum_i Q_i)$ سطح کل تولید در اقتصاد می‌باشد و $S_i = Q_i / Q$ و $I_i = E_i / Q$ به ترتیب سهم فعالیت و شدت انرژی بخش i ام می‌باشند. بر اساس معادلات (۲) و (۳) داریم:

$$D_{tot} = \frac{ET}{E} = D_{act} \times D_{str} \times D_{int} \quad (۷)$$

$$\Delta V_{tot} = E^{-1} \cdot T = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int} \quad (۸)$$

اندیس‌های act ، str و int به ترتیب دلالت بر سطح تولید، ساختار فعالیت اقتصاد و شدت انرژی بخش‌های اقتصادی دارد. در نهایت می‌توانیم شاخص جمعی و ضربی شدت

۱- میانگین لگاریتمی عددی کوچک‌تر از میانگین حسابی اما بزرگتر از میانگین هندسی (بجز هنگامی که دو عدد مانند هم باشند) را برای دو عدد a و b ارائه می‌دهد. بطور مثال اگر $a=2$ و $b=4$ باشد میانگین هندسی آن معادل $2/2.8$ بوده و میانگین حسابی معادل 3 می‌باشد در حالی که میانگین لگاریتمی معادل $2/2.885$ می‌باشد که عددی منطقی‌تر و مابین این دو میانگین است. استفاده از میانگین لگاریتمی می‌تواند تغییرات متقارن افزایش یا کاهش انرژی را بعنوان نمونه در طی مقطع بین سال پایه یا دوره صفر و سال مقصد (T) ایجاد کند. به طور مثال، اگر مصرف انرژی در سال T صد در صد بالاتر از سال صفر باشد، مصرف انرژی در سال صفر تنها 50 درصد کمتر از سال T خواهد بود. استفاده از میانگین لگاریتمی با دستور $\ln(T/0)$ و یا $\ln(0/T)$ یک عدد یکسان را اندازه میزان مصرف انرژی ارائه می‌دهد و از این جهت اندازه‌گیری تغییرات مصرف انرژی دیگر به سال پایه یا سال مقصد بستگی نخواهد داشت و تنها علامت آن مثبت یا منفی خواهد بود.

- 2- Activity Effect
- 3- Structural Effect
- 4- Intensity Effect

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۱۰۱

انرژی را بر اساس رویکرد LMDI به صورت جدول (۱) خلاصه و بازنویسی نمایم که بازنویسی از معادلات (۴) و (۵) هستند.

جدول (۱)- فرمول بندی شاخص LMDI جهت تجزیه شدت انرژی بخش های مختلف اقتصادی

| | | |
|--|------------|-----------------------|
| $E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i E_i}{Q E} = \sum_i Q S_i I_i$ | | تحلیل تجزیه شدت انرژی |
| تجزیه ضریبی | تجزیه جمعی | |
| $\Delta V_{tot} = \frac{T}{E} - E = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int}$ | | نوع محاسبه |
| $D_{tot} = \frac{E T}{E} = D_{act} D_{str} D_{int}$ | | |
| $\Delta E_{act} = \sum_i \frac{T}{E_i} \frac{E_i - E_i}{\ln E_i - \ln E_i} \ln \left(\frac{T}{Q} \right)$ | | فرمول محاسبه LMDI |
| $D_{act} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i - E_i) / (\ln E_i - \ln E_i)}{(E - E) / (\ln E - \ln E)} \times \ln \left(\frac{T}{Q} \right) \right)$ | | |
| $\Delta E_{str} = \sum_i \frac{T}{E_i} \frac{E_i - E_i}{\ln E_i - \ln E_i} \ln \left(\frac{S_i}{S_i} \right)$ | | |
| $D_{str} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i - E_i) / (\ln E_i - \ln E_i)}{(E - E) / (\ln E - \ln E)} \times \ln \left(\frac{S_i}{S_i} \right) \right)$ | | |
| $\Delta E_{int} = \sum_i \frac{T}{E_i} \frac{E_i - E_i}{\ln E_i - \ln E_i} \ln \left(\frac{I_i}{I_i} \right)$ | | |
| $D_{int} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i - E_i) / (\ln E_i - \ln E_i)}{(E - E) / (\ln E - \ln E)} \times \ln \left(\frac{I_i}{I_i} \right) \right)$ | | |

منبع: Ang B.W. (2005), P.869

بنا به تعریف، اثر تولیدی میزان مصرف انرژی را در نتیجه افزایش تولید نشان می دهد به طوری که سایر عوامل موثر از جمله کارایی، تکنولوژی و الگوی مصرف ثابت باقی بمانند. اثر ساختاری میزان تغییرات در مصرف انرژی را تنها به دلیل تغییر در ساختار رفتار مصرف کنندگان انرژی اندازه گیری می کند. اثر شدت انرژی در نهایت به کمک عوامل مختلفی از جمله تکنولوژی، افزایش کارایی تجهیزات انرژی بر، آگاهی بیشتر مصرف کنندگان نسبت به اهمیت انرژی و تغییر الگوی مصرف، اعمال روش های مدیریت

مصرف انرژی و مانند آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اثر شدت انرژی بر آیندی از تغییرات یادشده را بر مصرف انرژی با فرض ثبات تولید و عدم تغییر ساختار مصرف‌کنندگان انرژی اندازه‌گیری می‌کند.

تجزیه عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی، به سه اثر تولیدی، ساختاری و شدت انرژی به این معنی است که در تکنیک ضربی، با بالاتر بودن هر یک از آثار یادشده از عدد واحد، نتیجه می‌گیریم که فعالیت‌های تولیدی در اقتصاد، ساختار بخش‌های اقتصادی و همچنین شدت مصرف انرژی به ازای هر واحد تولید در کل اقتصاد افزایش یافته است. همچنین در تکنیک جمعی با مثبت بودن هر یک از آثار فوق، نتیجه می‌گیریم که شدت انرژی از نظر تولیدی، یا به واسطه تغییر ساختار یا از منظر افزایش مصرف انرژی، افزایش یافته است و اعداد منفی عکس موضوع فوق را نشان می‌دهند.

علاوه بر روش تجزیه شدت انرژی، انتخاب دوره زمانی دارای اهمیت بسیاری در تحلیل نتایج است. تجزیه شدت انرژی می‌تواند به دو شکل تجزیه دو دوره‌ای یا دوزمانه^۱ و زنجیره‌ای (سری زمانی)^۲ باشد. روش دو زمانه نیاز به اطلاعات تنها دو دوره زمانی دارد و تغییرات شدت انرژی بین سال مینا و سال مقصد بدون در نظر گرفتن سال‌های میانی محاسبه می‌شود، اما در روش دوم به دلیل در نظر گرفتن اطلاعات تمامی سال‌ها، تحلیل تجزیه شدت انرژی به شکل دقیق‌تری صورت می‌گیرد که در این مطالعه از هر دو روش زمانی برای تجزیه و تحلیل بهره گرفته می‌شود.^۳

۵- مروری بر مطالعات تجربی

مطالعات تجربی گسترده‌ای در زمینه تجزیه شدت انرژی در سطح داخلی و بین‌المللی صورت گرفته است که در ادامه به جدیدترین و مهم‌ترین این مطالعات که به این پژوهش یاری رسانده‌اند، اشاره می‌شود.

1- Period-Wise Decomposition

2- Chain-Linked Decomposition

۳- در روش زنجیره‌ای مقادیر هر اثر در فاصله‌های یک ساله برآورد شده و سپس با تجمع این مقادیر از سال پایه تا سال مقصد بر مبنای روش شاخص بکار گرفته شده، مقدار جمعی اثر در سال مقصد نسبت به سال مینا حاصل می‌شود.

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۱۰۳

در حوزه مطالعات بین‌المللی آنک که از پژوهشگران دانشگاه ملی سنگاپور است از سال ۱۹۹۵ تاکنون بیش از ۳۰ عنوان مقاله در این حوزه ارائه کرده است. آنک و همکاران (۲۰۱۵)^۱ در یکی از مطالعات خود به مقایسه وضعیت مصرف انرژی از طریق روش تحلیل تجزیه فضا^۲ بین ۳۰ منطقه در کشور چین پرداخته است.

در مطالعه دیگری آنک و همکاران (۲۰۱۰)، ساختاری محاسباتی را برای بررسی روند کارایی انرژی در اقتصادهای مختلف به ویژه کشورهای صنعتی ارائه کرده‌اند که بر اساس آن از شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا مجدد بهره گرفته شده است.

آنک (۲۰۰۴) در مهم‌ترین مقاله خود روش‌های مختلف تحلیل تجزیه را با یکدیگر مقایسه کرد و نتیجه گرفت روش شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا از سایر روش‌های موجود به لحاظ سیاستگذاری از کارایی بالاتری برخوردار است، زیرا آنک (۲۰۰۴)^۳ در مطالعه خود با اشاره به سادگی و انعطاف‌پذیری مدل مورد اشاره، ۵ کاربرد اصلی این روش تجزیه در ۲۰۰ مطالعه صورت گرفته شامل عرضه و تقاضای انرژی، انتشار کربن، جریان مواد خام و نظریه موادخام زدایی از تولید^۴، پایش روند کارایی انرژی در سطح ملی و مقایسه‌های بین‌کشوری را از بیشترین کاربردهای سیاستگذاری در روش مطرح شده دانسته است.

مطالعات دیگری توسط سایر پژوهشگران در سال‌های اخیر صورت گرفته است. در حوزه استفاده از شاخص دیویژیا می‌توان به مطالعه زپ (۲۰۱۳)^۵، وانگ و همکاران (۲۰۱۳)^۶، ژائو و همکاران (۲۰۱۰)^۷، مایرت و دسلاس (۲۰۰۹)^۸، آچائو و شافر (۲۰۰۹)^۹، هاتزی گئورگیو و همکاران (۲۰۰۸)^{۱۰}، بوید و روپ (۲۰۰۴)^۱، فارلا و بلاک (۲۰۰۰)^۲

1- Ang B.W. *et al.* (2015)

2- Spatial Decomposition Method

3- Ang B.W. (2004), p.1132.

4- Material Flow and Dematerialization

5- Szep (2013)

6- Wang *et al.* (2013)

7- Zhao *et al.* (2010)

8- Mairet and Decellas (2009)

9- Achao and Shaeffer (2009)

10- Hatzigeorgiou *et al.* (2008)

اشاره کرد. همچنین کاتل و ژنه (۱۹۸۳)^۳، سان (۱۹۹۸)^۴ و ری و ری (۲۰۱۰)^۵ نیز به منظور تحلیل تجزیه شدت انرژی از انواع شاخص لاسپیرز در مطالعات خود بهره گرفته‌اند. در حوزه مطالعات داخلی بهبودی و همکاران (۱۳۸۹) به تجزیه شدت انرژی در ایران و بررسی عوامل موثر بر آن در اقتصاد ایران پرداخته‌اند. آنها با استفاده از روش شاخص ایده‌آل فیشر برای دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۴۷، نشان می‌دهند که تغییرات ساختاری اقتصاد و کاهش بهره‌وری انرژی و همچنین قیمت‌های انرژی از عوامل بسیار مهم توضیح‌دهنده تغییرات شدت انرژی هستند.

گلی و اشرفی (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص ایده‌آل فیشر به بررسی شدت انرژی در ایران پرداخته‌اند. آنها عمده تغییرات شدت انرژی را ناشی از آثار شدتی انرژی می‌دانند در حالی که تغییرات ساختار و یا حجم فعالیت‌های تولیدی در دوره زمانی ۱۳۶۵-۱۳۸۰، تغییرات شدت انرژی را توضیح نمی‌دهند.

گودرزی‌راد (۱۳۸۸) به بررسی علل تغییر مصرف انرژی در بخش صنعت ایران با استفاده از روش جمعی شاخص میانگین حسابی دیویژیا پرداخته است. وی در مطالعه خود تغییرات مصرف انرژی طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ را در نظر گرفته و مهم‌ترین عامل تغییر مصرف انرژی را ناشی از اثر تولیدی می‌داند.

ابونوری و نیکبان (۱۳۸۸) نیز با استفاده از روش شاخص دیویژیا به تجزیه شدت مصرف انرژی در صنعت سیمان تهران پرداخته‌اند. آنها مهم‌ترین عامل تغییرات شدت انرژی در صنعت سیمان تهران را در دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۷۵، اثر تولیدی و اثر شدتی مصرف انرژی می‌دانند.

شریفی و همکاران (۱۳۸۷) نیز تجزیه شدت انرژی در صنایع ایران را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند. آنها با استفاده از داده‌های سری زمانی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۳ و با

1- Boyd and Roop (2004)

2- Farla and Blok (2000)

3- Jenne and Cattel (1983)

4- Sun (1998)

5- Reddy and Rey (2010)

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۱۰۵

استفاده از شاخص ایده آل فیشر از زیرمجموعه‌های محاسباتی تجزیه از نوع ضربی شدت انرژی بر مبنای شاخص لاسپیرز نتیجه می‌گیرند که در نه صنعت مورد بررسی، مهم‌ترین اثر در تغییرات مصرف انرژی، ناشی از خود مصرف انرژی است و اثر ساختاری سهم ضعیفی در تغییرات شدت انرژی داشته است.

مشاهده می‌شود عمده مطالعات داخلی از شاخص ایده آل فیشر بهره برده‌اند در حالی که سایر روش‌های تجزیه شدت انرژی به ویژه شاخص میانگین لگاریتم دیویژیا کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. تنها استفاده از این شاخص در برخی مطالعات مربوط بررسی عوامل موثر بر انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در ایران مانند مطالعه خلیل عراقی و همکاران (۱۳۹۱) و دامن کشیده و همکاران (۱۳۸۹) مورد استفاده قرار گرفته است.

۶- بررسی و تحلیل نتایج

در ادامه، بر اساس آمارهای مصرف انرژی پنج صنعت بزرگ انرژی بر کشور و سایر صنایع به عنوان بخش ششم و همچنین ارزش افزوده به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ هر صنعت، شدت انرژی بین دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این میان از دو نوع تحلیل زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای جهت تجزیه علل تغییرات شدت انرژی در کشور در صنایع انرژی بر بهره گرفته می‌شود.

۶-۱- تحلیل تجزیه دو دوره‌ای شدت انرژی (۱۳۸۳-۱۳۹۰)

در تجزیه شدت انرژی، با توجه به نتایج روش محاسباتی ارائه شده در جدول (۱)، که از دو تکنیک ضربی و جمعی استفاده می‌شود، تغییرات کل شدت انرژی به سه بخش آثار تولیدی، آثار ساختاری و آثار شدت انرژی طبقه‌بندی می‌شوند. در ادامه نتایج بر مبنای دو تکنیک ضربی و جمعی ارائه و تحلیل می‌شوند.

در جدول (۲) که تجزیه دو دوره‌ای ضربی تغییرات مصرف انرژی را نشان می‌دهد تغییرات کل مصرف انرژی در تمامی صنایع بجز صنعت تولید مواد غذایی و آشامیدنی بزرگ‌تر از یک بوده و نشان می‌دهد که شدت انرژی در تمامی صنایع بجز صنعت تولید مواد غذایی و آشامیدنی در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال مبنای ۱۳۸۳ افزایش یافته است. همچنین تغییرات کل شدت انرژی نشان می‌دهد که مصرف انرژی در دوره مورد بررسی حدود ۴۶ درصد افزایش یافته که سهم اثر شدت انرژی در کل تغییرات معادل ۳۵ درصد است.

تقریباً در بسیاری از صنایع کشور، تغییرات ساختاری منجر به کاهش مصرف انرژی در دوره مورد بررسی شده است. هر چند، تجزیه دو دوره‌ای شدت انرژی تحلیل دقیقی از شدت انرژی به دلیل فقدان آمار و اطلاعات سال‌های میانی ارائه نمی‌دهد، اما بررسی تغییرات ساختاری در بسیاری از صنایع نشان می‌دهد که مصرف‌کنندگان انرژی پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه حامل‌های انرژی در سال ۱۳۸۸ با تغییر الگوی مصرف، میزان مصرف انرژی را کاهش داده و به این تغییرات قیمتی انرژی در اقتصاد واکنش نشان داده‌اند که در نتیجه شاهد کاهش مصرف انرژی طی دوره مورد بررسی با توجه به اثر ساختاری بوده‌ایم.

جدول (۲) - تجزیه دو دوره‌ای ضربی شدت انرژی با استفاده از شاخص LMDI

| تولید مواد و پالایشگاه‌های نفت | تولید مواد غذایی و آشامیدنی | تولید مواد و پالایشگاه‌های نفت | محصولات کانی | | کل | تغییرات کل اثر تولیدی |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------|----------|-------|-----------------------|
| | | | فلزات اساسی | غیر فلزی | | |
| ۱.۰۱۸۹ | ۰.۹۹۷۹ | ۱.۰۱۸۹ | ۱.۰۹۰۷ | ۱.۱۴۵۸ | ۱.۴۶۶ | تغییرات کل |
| ۱.۰۰۸۶ | ۱.۰۰۴۶ | ۱.۰۰۸۶ | ۱.۰۱۵۱ | ۱.۰۱۹۳ | ۱.۰۶۵ | اثر تولیدی |
| ۱.۰۰۹۱۴ | ۱.۰۱۱۷ | ۱.۰۰۹۱۴ | ۰.۹۸۰۰ | ۰.۹۸۵۰ | ۱.۰۱۹ | اثر ساختاری |
| ۱.۰۱۹۰ | ۰.۹۸۱۸ | ۱.۰۱۹۰ | ۱.۰۵۰۰ | ۱.۱۴۱۳ | ۱.۳۵۱ | اثر شدت |

منبع: نتایج پژوهش

۱- برای بررسی دلایل این مساله به مطالعات Ang (2004) صفحه ۱۱۳۵ و یا مطالعه Ang (1994) و شریفی و همکاران صفحه ۸۳ مراجعه شود.

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۱۰۷

در جدول (۳) که بر مبنای تجزیه دو دوره‌ای شدت انرژی ارائه شده است، تغییرات کل برای فاصله زمانی ۱۳۸۳ به عنوان سال مبنا و سال ۱۳۹۰ به عنوان سال مقصد، نشان می‌دهد شدت انرژی به میزان ۷۱/۴ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یافته است که در این میان سهم اثر شدتی بیش از سهم اثر تولیدی یا ساختاری است.

در میان صنایع مختلف نیز به ترتیب صنعت تولید محصولات کانی غیرفلزی، تولید مواد و محصولات شیمیایی و فلزات اساسی بیشترین سهم را در افزایش شدت انرژی در دوره زمانی یادشده نشان می‌دهند. در دو صنعت یادشده اثر ساختاری به ترتیب منجر به کاهش مصرف انرژی به میزان ۲/۸۳ میلیون بشکه معادل نفت خام و ۳/۷۷ میلیون بشکه معادل نفت خام شده است. در خصوص تغییرات کل بخش تولید مواد غذایی و آشامیدنی نیز اثر شدت به میزانی بوده است که منجر به کاهش مصرف انرژی به میزان ۰/۴ میلیون بشکه معادل نفت خام در این صنعت شده است.

در جدول (۳)، ارقام منفی نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی معادل میلیون بشکه نفت خام در هر صنعت و اعداد مثبت نشان‌دهنده افزایش مصرف انرژی هستند.

جدول (۳) - تجزیه دو دوره‌ای جمعی شدت انرژی با استفاده از شاخص LMDI

| تولید مواد و محصولات کانی غیرفلزی | فلزات اساسی | تولید مواد و محصولات شیمیایی | تولید ذغال کک و پالایشگاه‌های نفت | تولید مواد غذایی و آشامیدنی | سایر صنایع | مجموع | |
|-----------------------------------|-------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------|-------|-------------|
| | | | | | | کل | تغییرات کل |
| ۲۵.۴۰ | ۱۶.۲۰ | ۲۳.۶۰ | ۳.۵۰ | -۰.۴ | ۳.۱۰ | ۷۱.۴۰ | تغییرات کل |
| ۳.۵۶ | ۲.۸۰ | ۱.۹۳ | ۱.۶۰ | ۰.۸۵ | ۱.۰۳ | ۱۱.۷۶ | اثر تولیدی |
| -۲.۸۳ | -۳.۷۷ | ۱۲.۵۶ | -۱.۶۱ | ۲.۱۸ | -۳.۰۳ | ۳.۵۰ | اثر ساختاری |
| ۲۴.۶۷ | ۱۷.۱۷ | ۹.۱۱ | ۳.۵۲ | -۳.۴۳ | ۵.۱۰ | ۵۶.۱۴ | اثر شدت |

منبع: نتایج پژوهش

۶-۲- تحلیل تجزیه زنجیره‌ای شدت انرژی (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰)

روش دقیق‌تر ارزیابی تغییرات شدت انرژی، تجزیه سالانه تغییرات شدت انرژی و در نهایت تجمیع این تغییرات است. در تجزیه ضریبی شدت انرژی که به طور سالانه محاسبه شده است و در جدول (۴) نتایج آن ارائه شده است، مشاهده می‌شود که تغییرات کل شدت انرژی در دوره‌های زمانی مختلف متفاوت است. هر چند با نگاهی عمیق‌تر به نتایج

جدول (۴) درمی‌یابیم بیشترین کاهش مصرف انرژی ناشی از تغییرات ساختاری مربوط به صنعت محصولات کانی غیرفلزی است که بر اساس نتایج جدول (۵) این میزان کاهش در شدت انرژی معادل ۴/۹۵ میلیون بشکه معادل نفت خام است.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که پس از سال ۱۳۸۸ که قانون هدفمندی یارانه حامل‌های انرژی به اجرا درآمده است، شاهد کاهش شدت انرژی از طریق دو اثر تولیدی و ساختاری هستیم که البته با افزایش اثر شدت مصرف انرژی خنثی شده است. در این میان در دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ شاهد کاهش مصرف انرژی از طریق اثر تولیدی در تمامی زیربخش‌های صنعت هستیم که با اثر شدت در دوره یادشده خنثی شده است.

به عنوان نمونه، در خصوص صنایع محصولات کانی غیرفلزی تا پیش از دوره ۱۳۸۸-۱۳۸۹، اثر تولیدی و اثر ساختاری ارقام بیش از واحد را ارائه می‌کنند. به عبارت دیگر، در این دوره مثلاً در دوره ۱۳۸۷-۱۳۸۸، اثر تولیدی معادل ۱/۰۰۰۲ و اثر ساختاری معادل ۱/۰۲۹۹ و هر دو بیش از واحد هستند که مبین افزایش مصرف انرژی هستند در حالی که در همین دوره اثر شدت کمتر از واحد بوده و نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی بوده، هر چند نتوانسته است افزایش مصرف انرژی در کل دوره را (۱۳۸۷-۱۳۸۸) را خنثی کند.

مشاهده می‌شود، در تمامی دوره‌ها مقادیر تغییرات کل بیش از واحد بوده و این مقدار تنها در سال اول اجرای قانون هدفمندی توانسته است از طریق کاهش آثار تولیدی و ساختاری، مصرف انرژی را به مقدار کمتری نسبت به دوره‌های قبل افزایش دهد و پس از آن، یعنی در دوره ۱۳۸۹-۱۳۹۰ مجدداً با افزایش شدیدتر مصرف انرژی مواجه هستیم.

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۱۰۹

جدول (۴) - تجزیه زنجیره‌ای ضریب شدت انرژی بر حسب صنعت با استفاده از شاخص LMDI

| ۱۳۸۹-۱۳۹۰ | ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | ۱۳۸۷-۱۳۸۸ | ۱۳۸۶-۱۳۸۷ | ۱۳۸۵-۱۳۸۶ | ۱۳۸۴-۱۳۸۵ | ۱۳۸۳-۱۳۸۴ |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>محصولات کانی غیرفلزی</i> | | | | | | |
| ۱.۰۴۵۰ | ۱.۰۰۷۸ | ۱.۰۲۰۵ | ۱.۰۰۹۲ | ۱.۰۱۳۱ | ۱.۰۳۱۷ | ۱.۰۰۷۸ |
| ۰.۹۴۱۸ | ۰.۹۸۹۲ | ۱.۰۰۰۲ | ۰.۹۸۷۹ | ۱.۰۳۹۷ | ۱.۰۴۵۲ | ۱.۰۱۷۶ |
| ۰.۹۷۱۰ | ۰.۹۷۶۱ | ۱.۰۲۹۹ | ۱.۰۳۹۸ | ۱.۰۱۷۴ | ۰.۹۵۳۶ | ۱.۰۰۰۲ |
| ۱.۱۴۲۸ | ۱.۰۴۳۸ | ۰.۹۹۰۸ | ۰.۹۸۲۴ | ۰.۹۵۷۷ | ۱.۰۳۵۱ | ۰.۹۹۰۲ |
| <i>فلزات اساسی</i> | | | | | | |
| ۱.۰۲۱۳ | ۱.۰۱۹۷ | ۱.۰۲۴۲ | ۱.۰۰۲۷ | ۰.۹۸۹۹ | ۱.۰۱۸۵ | ۱.۰۰۸۴ |
| ۰.۹۵۴۵ | ۰.۹۹۱۶ | ۱.۰۰۰۱ | ۰.۹۹۱۲ | ۱.۰۳۰۴ | ۱.۰۳۶۸ | ۱.۰۱۴۵ |
| ۱.۰۱۲۹ | ۱.۰۳۷۵ | ۰.۹۳۷۴ | ۰.۹۸۲۹ | ۱.۰۲۲۹ | ۱.۰۰۰۶ | ۰.۹۹۳۱ |
| ۱.۰۵۶۴ | ۰.۹۹۱۱ | ۱.۰۹۲۵ | ۱.۰۲۹۲ | ۰.۹۳۹۲ | ۰.۹۸۱۸ | ۱.۰۰۱۰ |
| <i>تولید مواد و محصولات شیمیایی</i> | | | | | | |
| ۱.۰۱۹۹ | ۱.۰۱۹۷ | ۱.۰۲۷۴ | ۱.۰۳۹۲ | ۱.۰۱۳۶ | ۱.۰۱۶۶ | ۰.۹۸۶۵ |
| ۰.۹۶۲۳ | ۰.۹۹۳۲ | ۱.۰۰۰۱ | ۰.۹۹۴۰ | ۱.۰۱۶۶ | ۱.۰۱۸۰ | ۱.۰۰۷۴ |
| ۱.۰۲۸۱ | ۱.۰۲۰۰ | ۱.۰۰۹۱ | ۱.۰۱۰۷ | ۱.۰۰۶۳ | ۱.۰۱۴۶ | ۰.۹۸۲۷ |
| ۱.۰۳۰۸ | ۱.۰۰۶۶ | ۱.۰۱۸۰ | ۱.۰۳۴۴ | ۰.۹۹۰۹ | ۰.۹۸۴۳ | ۰.۹۹۶۵ |
| <i>تولید ذغال کک و بالا پشگاه‌های نفت</i> | | | | | | |
| ۰.۹۷۴۲ | ۱.۰۱۴۳ | ۰.۹۹۲۲ | ۰.۹۷۸۱ | ۱.۰۳۳۹ | ۱.۰۳۱۷ | ۱.۰۰۵۸ |
| ۰.۹۷۲۹ | ۰.۹۹۴۳ | ۱.۰۰۰۱ | ۰.۹۹۲۵ | ۱.۰۲۴۶ | ۱.۰۲۵۰ | ۱.۰۰۹۳ |
| ۱.۰۱۹۵ | ۰.۹۸۳۸ | ۰.۹۶۳۱ | ۰.۹۸۱۶ | ۱.۰۳۳۲ | ۱.۰۲۶۸ | ۱.۰۱۱۷ |
| ۰.۹۸۲۲ | ۱.۰۳۶۹ | ۱.۰۳۰۱ | ۱.۰۰۳۹ | ۰.۹۷۶۷ | ۰.۹۸۰۲ | ۰.۹۹۱۳ |
| <i>تولید مواد غذایی و آشامیدنی</i> | | | | | | |
| ۱.۰۰۳۲ | ۰.۹۹۸۵ | ۰.۹۹۵۸ | ۰.۹۹۰۳ | ۱.۰۱۰۲ | ۰.۹۹۲۱ | ۱.۰۰۸۴ |
| ۰.۹۸۸۱ | ۰.۹۹۷۷ | ۱.۰۰۰۰ | ۰.۹۹۶۷ | ۱.۰۱۱۰ | ۱.۰۱۳۲ | ۱.۰۰۵۶ |
| ۱.۰۰۲۵ | ۱.۰۰۴۸ | ۱.۰۰۹۱ | ۱.۰۰۰۱ | ۰.۹۹۱۴ | ۰.۹۹۰۴ | ۱.۰۱۱۷ |
| ۱.۰۱۲۸ | ۰.۹۹۶۱ | ۰.۹۸۶۸ | ۰.۹۹۳۵ | ۱.۰۰۷۹ | ۰.۹۸۸۶ | ۰.۹۹۱۳ |
| <i>سایر صنعت</i> | | | | | | |
| ۰.۹۹۹۱ | ۱.۰۰۴۴ | ۱.۰۰۱۰ | ۱.۰۰۱۶ | ۱.۰۱۲۳ | ۱.۰۰۷۴ | ۱.۰۰۰۰ |
| ۰.۹۸۳۶ | ۰.۹۹۶۸ | ۱.۰۰۰۰ | ۰.۹۹۶۲ | ۱.۰۱۲۳ | ۱.۰۱۴۱ | ۱.۰۰۵۰ |
| ۰.۹۸۸۹ | ۰.۹۹۳۱ | ۱.۰۰۹۲ | ۱.۰۰۰۷ | ۰.۹۸۹۲ | ۰.۹۹۷۸ | ۱.۰۰۴۹ |
| ۱.۰۲۷۱ | ۱.۰۱۴۷ | ۰.۹۹۱۸ | ۱.۰۰۴۷ | ۱.۰۰۲۶ | ۰.۹۹۵۵ | ۰.۹۹۰۲ |

منبع: نتایج پژوهش

بر مبنای جدول (۵)، اثر تولیدی، تا ۲/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام در برخی از زیربخش‌ها از جمله تولید محصولات کانی غیرفلزی منجر به کاهش مصرف انرژی شده است. کاهش مصرف انرژی در دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ از طریق اثر تولیدی تغییرات محسوس تری را نشان می‌دهد و حتی مصرف انرژی را بر مبنای جدول (۵) برای تولید محصولات کانی غیرفلزی تا ۱۳ میلیون بشکه معادل نفت خام کاهش داده است هر چند اثر شدت انرژی منجر به افزایش ۲۹ میلیون بشکه‌ای معادل نفت خام مصرف انرژی در این بخش شده است.

با توجه به آنکه صنعت محصولات کانی غیرفلزی سهمی معادل ۳۴ درصد از کل مصرف انرژی بخش صنعت را به خود اختصاص داده است و از نظر کارایی تجهیزات مورد استفاده در مقایسه با سایر صنایع همچون مواد غذایی و آشامیدنی که بیشتر دارای سیستم‌های مکانیزه تولیدی هستند، با کارایی فنی پایین‌تری روبه‌رو است، از این رو با توجه به بالا بودن شدت انرژی در این صنعت، نتیجه اثر شدت معادل ۲۹ میلیون بشکه معادل نفت خام در مصرف انرژی مویذ میزان شدت انرژی در این صنعت است.

جدول (۵) - تجزیه زنجیره‌ای جمعی شدت انرژی بر حسب صنعت با استفاده از شاخص LMDI

| ۱۳۸۹-۱۳۹۰ | ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | ۱۳۸۷-۱۳۸۸ | ۱۳۸۶-۱۳۸۷ | ۱۳۸۵-۱۳۸۶ | ۱۳۸۴-۱۳۸۵ | ۱۳۸۳-۱۳۸۴ | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| <i>محصولات کانی غیرفلزی</i> | | | | | | | |
| ۹.۶ | ۱.۶ | ۳.۹ | ۱.۷ | ۲.۳ | ۵.۱ | ۱.۲ | تغییرات کل |
| -۱۳.۱ | -۲.۲ | ۰.۰ | -۲.۲ | ۶.۹ | ۷.۲ | ۲.۷ | اثر تولیدی |
| -۶.۴ | -۵.۰ | ۵.۷ | ۷.۲ | ۳.۱ | -۷.۸ | ۰.۰ | اثر ساختاری |
| ۲۹.۱ | ۸.۸ | -۱.۸ | -۳.۳ | -۷.۷ | ۵.۶ | -۱.۵ | اثر شدت |
| <i>فلزات اساسی</i> | | | | | | | |
| ۴.۶ | ۴.۰ | ۴.۶ | ۰.۵ | -۱.۸ | ۳.۰ | ۱.۳ | تغییرات کل |
| -۱۰.۱ | -۱.۷ | ۰.۰ | -۱.۶ | ۵.۳ | ۵.۹ | ۲.۲ | اثر تولیدی |
| ۲.۸ | ۷.۵ | -۱۲.۴ | -۳.۲ | ۴.۰ | ۰.۱ | -۱.۱ | اثر ساختاری |
| ۱۱.۹ | -۱.۸ | ۱۷.۰ | ۵.۳ | -۱۱.۱ | -۳.۰ | ۰.۱ | اثر شدت |
| <i>تولید مواد و محصولات شیمیایی</i> | | | | | | | |
| ۴.۳ | ۴.۰ | ۵.۲ | ۷.۱ | ۲.۴ | ۲.۷ | -۲.۱ | تغییرات کل |
| -۸.۴ | -۱.۴ | ۰.۰ | -۱.۱ | ۲.۹ | ۲.۹ | ۱.۱ | اثر تولیدی |
| ۶.۰ | ۴.۱ | ۱.۷ | ۲.۰ | ۱.۱ | ۲.۴ | -۲.۷ | اثر ساختاری |
| ۶.۶ | ۱.۳ | ۳.۴ | ۶.۲ | -۱.۶ | -۲.۶ | -۰.۵ | اثر شدت |
| <i>تولید ذغال کک و بالا پینگاه‌های نفت</i> | | | | | | | |
| -۵.۷ | ۲.۹ | -۱.۵ | -۴.۱ | ۵.۹ | ۵.۱ | ۰.۹ | تغییرات کل |
| -۶.۰ | -۱.۲ | ۰.۰ | -۱.۴ | ۴.۳ | ۴.۰ | ۱.۴ | اثر تولیدی |
| ۴.۲ | -۳.۴ | -۷.۲ | -۳.۴ | ۵.۸ | ۴.۳ | -۲.۳ | اثر ساختاری |
| -۳.۹ | ۷.۴ | ۵.۷ | ۰.۷ | -۴.۲ | -۳.۳ | ۱.۸ | اثر شدت |
| <i>تولید مواد غذایی و آشامیدنی</i> | | | | | | | |
| ۰.۷ | -۰.۳ | -۰.۸ | -۱.۸ | ۱.۸ | -۱.۳ | ۱.۳ | تغییرات کل |
| -۲.۶ | -۰.۵ | ۰.۰ | -۰.۶ | ۱.۹ | ۲.۲ | ۰.۹ | اثر تولیدی |
| ۰.۵ | ۱.۰ | ۱.۷ | ۰.۰ | -۱.۵ | -۱.۶ | ۱.۸ | اثر ساختاری |
| ۲.۸ | -۰.۸ | -۲.۵ | -۱.۲ | ۱.۴ | -۱.۹ | -۱.۴ | اثر شدت |
| <i>سایر صنعت</i> | | | | | | | |
| -۰.۲ | ۰.۹ | ۰.۲ | ۰.۳ | ۰.۷ | ۱.۲ | ۰.۰ | تغییرات کل |
| -۳.۶ | -۰.۷ | ۰.۰ | -۰.۷ | ۲.۲ | ۲.۳ | ۰.۸ | اثر تولیدی |
| -۲.۴ | -۱.۴ | ۱.۸ | ۰.۱ | -۱.۹ | -۰.۴ | ۰.۸ | اثر ساختاری |
| ۵.۸ | ۳.۰ | -۱.۶ | ۰.۹ | ۰.۵ | -۰.۷ | -۱.۵ | اثر شدت |

منبع: نتایج پژوهش

تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران... ۱۱۱

بسیاری از صنایع پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه حامل های انرژی نتوانستند خود را با شوک های قیمتی تطابق داده و از نظر کارایی و فناوری در استفاده بهینه از انرژی واکنش مناسبی از خود نشان دهند، بنابراین اثر شدت انرژی بنا به تعریف، افزایش محسوسی را پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه حامل های انرژی از خود نشان داده است. جداول (۶) و (۷) نیز تغییرات زنجیره ای شدت انرژی را بر اساس دو تکنیک ضریبی و جمعی برای کل بخش صنعت نشان می دهند. همانطور که مشاهده می شود اثر تولیدی در کاهش شدت انرژی موثر بوده هر چند اثر شدت انرژی تمامی کاهش مصرف انرژی را در دوره های پس از سال ۱۳۸۸ جبران کرده است.

جدول (۶) - تجزیه زنجیره ای ضریبی شدت انرژی بخش صنعت با استفاده از شاخص LMDI

| ۱۳۸۹-۱۳۹۰ | ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | ۱۳۸۷-۱۳۸۸ | ۱۳۸۶-۱۳۸۷ | ۱۳۸۵-۱۳۸۶ | ۱۳۸۴-۱۳۸۵ | ۱۳۸۳-۱۳۸۴ | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| ۱.۰۶۳ | ۱.۰۶۶ | ۱.۰۶۲ | ۱.۰۲۰ | ۱.۰۶۶ | ۱.۱۰۱ | ۱.۰۱۷ | تغییرات کل |
| ۰.۹۶۳ | ۰.۹۶۳ | ۱.۰۰۱ | ۰.۹۵۹ | ۱.۱۴۲ | ۱.۱۶۲ | ۱.۰۶۱ | اثر تولیدی |
| ۱.۰۲۲ | ۱.۰۱۴ | ۰.۹۵۶ | ۱.۰۱۵ | ۱.۰۶۱ | ۰.۹۸۲ | ۰.۹۷۷ | اثر ساختاری |
| ۱.۲۷۱ | ۱.۰۹۱ | ۱.۱۱۱ | ۱.۰۴۸ | ۰.۸۸۰ | ۰.۹۶۵ | ۰.۹۸۱ | اثر شدت |

منبع: نتایج پژوهش

در خصوص نتایج مربوط به دوره ۱۳۸۹-۱۳۹۰ در جدول (۷) به دلیل ورود به دوره رکود در کشور، صنایع از تمامی ظرفیت خود استفاده نکرده اند، بنابراین اثر تولیدی کاهش مصرف انرژی را به میزان ۴۳/۷۵ میلیون بشکه معادل نفت خام به دنبال داشته است. در خصوص دو اثر ساختاری و شدت انرژی که پیشتر به تغییر ساختار فعالیت های اقتصادی و کارایی انرژی بازمی گردد، مشاهده می شود که با افزایش مصرف انرژی روبه رو بوده ایم که بیشتر به انعطاف ناپذیری سیستم انرژی و مقیاس تولید بازمی گردد. هر چند این احتمال می رود با شدت گرفتن تحریم های اقتصادی، ورود تجهیزات با فناوری بالا به کشور محدودیت دیگری را ایجاد کرده باشد که از تبعات آن کاهش کارایی انرژی و افزایش اثر شدت انرژی خواهد بود.

جدول (۷) - تجزیه زنجیره ای جمعی شدت انرژی صنایع انرژی بر با استفاده از شاخص LMDI

| ۱۳۸۹-۱۳۹۰ | ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | ۱۳۸۷-۱۳۸۸ | ۱۳۸۶-۱۳۸۷ | ۱۳۸۵-۱۳۸۶ | ۱۳۸۴-۱۳۸۵ | ۱۳۸۳-۱۳۸۴ | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| ۱۳.۳۰ | ۱۳.۱۰ | ۱۱.۶۰ | ۳.۷۰ | ۱۱.۳۰ | ۱۵.۸ | ۲.۶ | تغییرات کل |
| -۴۳.۷۵ | -۷.۶۲ | ۰.۱۰ | -۷.۶۷ | ۲۳.۵۲ | ۲۴.۵ | ۹.۱ | اثر تولیدی |
| ۴.۷۴ | ۲.۸۵ | -۸.۷۵ | ۲.۷۰ | ۱۰.۵۲ | -۲.۹ | -۳.۵ | اثر ساختاری |
| ۵۲.۳۱ | ۱۷.۸۷ | ۲۰.۲۵ | ۸.۶۷ | -۲۲.۷۴ | -۵.۸ | -۳.۰ | اثر شدت |

منبع: نتایج پژوهش

در نهایت، نتایج تجمیع شده حاصل از دو روش دو دوره‌ای و روش دقیق‌تر و قابل اعتمادتر زنجیره‌ای (سری زمانی) (به دلیل استفاده از داده‌ها و اطلاعات سال‌های میانی) در جدول (۸) مقایسه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهند که در تجزیه ضربی، تغییرات شدت انرژی با در نظر گرفتن آثار زنجیره‌ای، افزایش بیشتری نسبت به حالت دو دوره‌ای را نشان می‌دهد و تغییرات کل از ۱/۴۶۶ به ۱/۴۷۵ افزایش یافته است. همچنین اثر تولیدی و شدتی انرژی در این تغییر رویکرد محاسباتی، نسبت به حالت دو دوره‌ای مقادیر کمتری را نشان می‌دهد.

جدول (۸) - مقایسه نتایج تجمیع شده تجزیه شدت انرژی در روش دو دوره‌ای و روش زنجیره‌ای (سری زمانی)

| تجزیه ضربی | | تجزیه جمعی | | |
|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| دو دوره‌ای | زنجیره‌ای | دو دوره‌ای | زنجیره‌ای | |
| ۱.۴۶۶ | ۱.۴۷۵ | ۷۱.۴۰۰ | ۷۱.۴۰۰ | تغییرات کل |
| ۱.۰۶۵ | ۱.۰۶۵ | -۱.۷۷۵ | ۱۱.۷۶۴ | اثر تولیدی |
| ۱.۰۱۹ | ۱.۰۵۲ | ۵.۶۲۰ | ۳.۴۹۹ | اثر ساختاری |
| ۱.۳۵۱ | ۱.۳۱۸ | ۶۷.۵۵۵ | ۵۶.۱۳۷ | اثر شدت |

منبع: نتایج پژوهش

در تجزیه جمعی اما اختلاف نتایج قدری محسوس‌تر است، هر چند تغییرات کل در هر دو رویکرد محاسباتی به مقدار یکسانی رسیده است (۷۱/۴ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش در شدت مصرف انرژی)، اما اثر تولیدی در حالت زنجیره‌ای به شکل دقیق‌تر نشان می‌دهد که اثر تولیدی سهم بسزایی در کاهش مصرف انرژی داشته است که نتایج ارائه شده حاصل از جداول (۴) و (۵) را نیز تأیید می‌کند در حالی که اثر شدتی بر مبنای همان نتایج جداول (۴) و (۵) و همچنین جدول (۸)، اثر تولیدی کاهش شدت انرژی را حثی کرده است. این نتایج در حالت دو دوره‌ای نشان می‌دهد بدون اطلاعات سال‌های میانی نتیجه گرفته می‌شود که تمامی عوامل تولیدی، ساختاری و شدت انرژی از عوامل تقویت کننده شدت انرژی در بخش صنعت هستند.

۷- نتیجه گیری و پیشنهادات سیاستی

در این مطالعه با استفاده از روش تجزیه شدت انرژی با استفاده از شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا در دو شکل ضربی و جمعی و همچنین دو شکل زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای، پنج صنعت انرژی بر کشور در خصوص تغییرات شدت انرژی در بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که در دوره مورد بررسی انرژی با افزایش مصرف در نهایت افزایش شدت همراه بوده است. این نتیجه در هر دو حالت زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای یکسان بوده است.

همچنین بیشترین سهم از افزایش شدت انرژی به ترتیب مربوط به صنایع تولید محصولات کانی غیرفلزی، تولید مواد و محصولات شیمیایی و فلزات اساسی بوده است و عمده‌ترین عامل افزایش شدت انرژی در میان صنایع انرژی‌بر، اثر شدت انرژی بوده که در نهایت اثر تولیدی را که در دوره بررسی عامل اصلی کاهش شدت انرژی بوده است را خنثی کرده است.

عمده‌ترین اثر در توضیح تغییرات شدت انرژی در صنایع انرژی‌بر به ترتیب مربوط به اثر شدت انرژی، اثر تولیدی و در نهایت اثر ساختاری است. در این میان اثر ساختاری کمترین سهم را در توضیح تغییرات شدت انرژی در دوره مورد بررسی داشته است.

مقایسه نتایج در حالت تجزیه ضربی نشان می‌دهد که نتایج دو دوره‌ای و ضربی تقریباً مشابه هم بوده و اثر یکسان تغییرات شدت انرژی را نشان می‌دهد هر چند نتایج تجزیه زنجیره‌ای به دلیل دربر گرفتن اطلاعات سال‌های میانی از اعتبار بیشتری برخوردار هستند.

در خصوص تجزیه جمعی شرایط تا حدی متفاوت است و مشاهده می‌شود در حالت دو دوره‌ای اثر تولیدی عامل افزایش شدت انرژی است در حالی که در حالت دقیق‌تر زنجیره‌ای ما با کاهش شدت انرژی همراه هستیم. بنابراین مشاهده می‌شود بر همین مبنا اثر ساختاری تغییرات شدت انرژی را در حالت زنجیره‌ای به شکل واقع‌بینانه‌تری نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج یادشده، مشاهده می‌شود که چه به لحاظ تجزیه جمعی و چه تجزیه ضریبی صنایع کشور به سمت انرژی‌بری بیشتر در حال حرکت هستند که تغییرات کل موید این نتیجه هستند. از آنجایی که تولید این نوع صنایع وابستگی شدیدی به بخش انرژی دارد از این رو با حرکت به سمت انرژی‌بری، جایگزینی عوامل تولید به ویژه جایگزینی انرژی به جای سرمایه محتمل است، زیرا با توجه به فقدان اثر سیگنال‌های قیمتی حامل‌های انرژی و رقابتی نبودن بازار کالا و خدمات، انتظار می‌رود صنایع به جای پرداختن به مساله بهره‌وری انرژی و استفاده از تجهیزات سرمایه‌ای با کارایی بالاتر به دلیل گران تمام شدن هزینه‌های تولید در مقایسه با پرداخت هزینه‌های انرژی به نگهداشت تجهیزات پر مصرف انرژی در دست خود اقدام کرده و در نهایت به افزایش مصرف انرژی دامن می‌زنند و به اصطلاح انرژی در بلندمدت جایگزین عامل سرمایه خواهد شد.

هر چند این تفسیر، از نتایج حاصل از این مطالعه استخراج نشده است، اما تغییرات مصرف انرژی در بخش صنایع انرژی‌بر که به سمت انرژی‌بری بیشتر در حرکت هستند، پیامدهای سیاستی مطرح شده را به همراه دارد. بنابراین نیاز است تا سیاستگذاران اقدامات عملی را در این خصوص صورت دهند.

یکی از مواردی که با هدف کمک به بهره‌وری انرژی و کاهش شدت انرژی می‌تواند صورت گیرد، افزایش توان صنایع انرژی‌بر در بهبود بهره‌وری انرژی و ارائه تسهیلات ارزان قیمت به منظور انتقال از فناوری‌های با انرژی‌بری بالا به سمت فناوری‌های با انرژی‌بری پایین تر است.

همچنین آموزش مدیران ارشد و مدیران فنی صنایع در امر بهینه‌سازی مصرف انرژی با ارائه دستورالعمل‌ها و اجرای قوانین مناسب و ارائه مشوق‌های مالیاتی، مشوق‌های صادراتی و مانند آن می‌تواند به کاهش در مصرف انرژی در این صنایع کمک شایانی کند.

هنوز هم بسیاری از صنایع انرژی‌بر کشور طرح‌های جایگزینی خود برای انتقال فناوری و تحمل هزینه‌های آن را منوط به روشن شدن وضعیت نهایی قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی پس از اجرای کامل طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی می‌دانند، از این رو تعویق در این اقدامات اساسی می‌تواند همچنان دلیلی برای ادامه افزایش شدت انرژی در بخش صنعت باشد.

۶- منابع

الف) فارسی

- ۱- ابونوری، عباسعلی و نیکبان، آزاده (۱۳۸۸)؛ «عوامل موثر بر شدت مصرف انرژی به روش دیویژیا (مطالعه موردی سیمان تهران)»، *فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی*، سال سوم، شماره ۱ «پیاپی ۷»، صص. ۷۷-۹۲.
- ۲- بهبودی، داود، اصلانی نیا، نسیم مهین و سجودی، سکینه (۱۳۸۹)؛ «تجزیه‌ی شدت انرژی و بررسی عوامل موثر بر آن در اقتصاد ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هفتم، شماره ۲۶، پاییز ۱۳۸۹، صص. ۱۰۵-۱۳۰.
- ۳- خلیلی عراقی، منصور، شرزهی، غلامعلی و برخوردار، سجاد (۱۳۹۱)؛ «تحلیل تجزیه انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در ایران»، *فصلنامه محیط‌شناسی*، سال سی و هشتم، شماره ۶۱، بهار ۱۳۹۱، صص. ۹۳-۱۰۴.
- ۴- دامن کشیده، مرجان، نظری، محسن و سادات رضائی، الهام (۱۳۸۹)؛ «بررسی عوامل موثر بر انتشار CO_2 در ایران»، *فصلنامه علوم اقتصادی*، سال سوم، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۸۹، صص. ۶۳-۷۹.
- ۵- شریفی، علیمراد، صادقی، مهدی، نفر، مهدی و دهقان شبانی، زهرا (۱۳۸۷)؛ «تجزیه شدت انرژی در صنایع ایران»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال دهم، شماره ۳۵، صص. ۷۹-۱۱۰.
- ۶- گلی، زینت و اشرفی، یکتا (۱۳۸۹)؛ «بررسی شدت انرژی کشور و تجزیه آن با استفاده از شاخص ایده آل فشر در ایران»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، سال هجدهم، شماره ۵۴، صص. ۳۵-۵۴.
- ۷- گودرزی راد، رضا (۱۳۸۸)؛ «بررسی علل تغییر مصرف انرژی بخش صنعت ایران با استفاده از روش تجزیه»، هفتمین همایش ملی انرژی، سال ۱۳۸۸.
- ۸- مرکز آمار ایران (۱۳۹۳)؛ *سالنامه آماری: بخش صنعت، انرژی و حساب‌های ملی*.

ب) انگلیسی

- 1- Achao C., Schaeffer R. (2009), "Decomposition Analysis of the Variations in Residential Electricity Consumption in Brazil for the

- 1980-2007 Period: Measuring the Activity, Intensity and Structure Effect”, *Energy Policy*, Vol.37, pp. 5208-5220.
- 2- Ang B.W. (2005), “The LMDI Approach to Decomposition Analysis: a Practical Guide”, *Energy Policy*, Vol.33, pp. 867-871.
- 3- Ang, B.W. and Zhang F.Q. (2000), “A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies”, *Energy*, Vol.25, pp.1149-1176.
- 4- Ang, B.W., Mu. A.R. and Zhou. P. (2010), “Accounting Frameworks for Tracking Energy Efficiency Trends”, *Energy Economics*, Vol.32, pp.1209-1219.
- 5- Ang, B.W., Xu, X.Y. and Su, B. (2015), “Multi-Country Comparisons of Energy Performance: The Index Decomposition Analysis Approach”, *Energy Economics*, Vol.47, pp.68-76.
- 6- Ang, B.W. and Lee, S.Y. (1994), “Decomposition of Industrial Energy Consumption: Some Methodological and Application Issues”, *Energy Economics*, Vol.16, Issue.2, pp.83-92
- 7- Ang, B.W. (2004), “Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Methods?”, *Energy Policy*, Vol.32, pp. 1131-1139.
- 8- Boyd G. A., Roop J. M. (2004), “A Note on the Fisher Ideal Index Decomposition for Structural Change in Energy Intensity”, *The Energy Journal*, Vol.25, No.1. pp.87-101.
- 9- Boyd, G., McDonald, J.F., Ross, M. And Hanson, D.A. (1987), “Separating the Changing Composition of U.S. Manufacturing Production from Energy Efficiency Improvements: A Divisia Index Approach”, *The Energy Journal*, Vol.8, No.2, pp.77-96.
- 10- Farla J. C. M., Blok K. (2000), “Energy Efficiency and Structural Change in the Netherlands, 1980-1995” *Journal of Industrial Ecology*, Vol.4, No.1, pp.93-117.
- 11- Hatzigeorgiou E., Polatidis, H. and Haralambopoulos D. (2008), “CO2 Emissions in Greece for 1990-2002: A Decomposition Analysis and Comparison of Results Using the Arithmetic Mean Divisia Index and Logarithmic Mean Divisia Index techniques”, *Energy*, Vol. 33, pp.492-499.

- 12- Jenne J, Cattell R. (1983), "Structural Change and Energy Efficiency in Industry", *Energy Economics*, Vol.5, No.2, pp.114-123.
- 13- Mairet N., Decellas F. (2009), "Determinants of Energy Demand in the French Service Sector: A Decomposition Analysis", *Energy Policy*, Vol.37, pp.2734-2744.
- 14- Myers, J & L. Nakamura (1978), "Saving Energy in Manufacturing", Cambridge, MA: Ballinger.
- 15- Reddy BS, Ray BK. (2010), "Decomposition of Energy Consumption and Energy Intensity in Indian Manufacturing Industries", *Energy Sustainable Development*, Vol. 14, pp.35-47.
- 16- Stevens, P. (2000), *The Economics of Energy*, Vol.1, Edward-Elgar Publications.
- 17- Sun JW. (1998), "Accounting for Energy Use in China, 1980-94". *Energy*, Vol.23, pp.835-849.
- 18- Szep, T.S. (2013), "Eight Methods for Decomposing the Aggregate Energy Intensity of the Economic Structure", *Theory Methodology Practice (TMP)*, Vol.9, No.1, pp.77-84.
- 19- Wang W.W., Liu R, Zhang M and Li H.N (2013), "Decomposing the Decoupling of Energy Related CO2 Emissions and Economic Growth in Jiangsu Province", *Energy Sustainable Development*, Vol.17, pp.62-71.
- 20- Wang, W. Liu, X., Zhang, M. And Song, X. (2014), "Using a New Generalized LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index) Method to Analyze China's Energy Consumption", *Energy*, Vol. 67, pp.617-622.