

تحلیل اسنادی در شاخص شدت انرژی واقعی دیویژیا (نمونه کاربردی: صنایع کارخانه‌ای ایران)

علیمراد شریفی

دکتری اقتصاد انرژی و عضو هیأت علمی دانشگاه اصفهان، asharifi@istt.org

حامد حوری جعفری

دکتری مهندسی سیستم های انرژی و عضو هیأت علمی موسسه مطالعات بین المللی انرژی،
hhjafari@gmail.com

رحیم سلطانیان^۱

دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات تهران، ecsoltani@gmail.com
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۳۰

چکیده

مسأله بهبود کارایی انرژی در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است؛ به گونه‌ای که پژوهشگران برای اندازه‌گیری کارایی انرژی از روش‌های تفکیک شدت انرژی متفاوتی استفاده کرده‌اند، تا تغییرات کارایی انرژی را بررسی نمایند. در این پژوهش برای رتبه‌بندی تخصیص اعتبارات جهت افزایش کارایی انرژی و سرمایه‌گذاری از دیدگاه توسعه بخشی صنعت، از روشی به نام تحلیل اسنادی شاخص در تحلیل تجزیه‌ای شاخص و مطالعات انرژی استفاده شده است. با استفاده از نتایج این رتبه‌بندی راهکارهایی در جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش کارایی انرژی کشور ارائه می‌شود. تحلیل اسنادی شاخص می‌تواند به عنوان ابزاری برای ارزیابی و نظاره تغییرات کارایی انرژی در یک بررسی دقیقتر در مقایسه با روش‌هایی باشد که در ادبیات تحلیل تجزیه‌ای شاخص گزارش شده است. نتایج تحلیل اسنادی شاخص با استفاده از داده‌های مصرف انرژی و ارزش افزوده صنایع ۹ گانه ایران، بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶، حاکی از آن است که طی این دوره کارایی انرژی ۲۰/۰۹ درصد افزایش یافته است و صنایع تولید فلزات اساسی بیشترین سهم را در افزایش کارایی این دوره به عهده دارد و در نتیجه، این صنعت بیشترین اولویت سرمایه‌گذاری از دیدگاه توسعه بخشی صنعت را دارد و از دیدگاه تخصیص اعتبارات جهت افزایش کارایی انرژی نیز صنایع شیمیایی بیشترین اولویت را دارد.

طبقه‌بندی JEL: Q43, L60, C23

کلید واژه‌ها: تحلیل‌های تجزیه انرژی، شدت انرژی، اثر ساختاری، اثر شدتی خالص، تحلیل اسنادی، شاخص دیویژیا

۱- مقدمه

مطالعه کارایی انرژی در دوره‌های مختلف رشد اقتصادی کشورها، الگویی برای پیش‌بینی و برنامه‌ریزی در بخش انرژی کشورهای در حال توسعه به‌ویژه صادرکنندگان انرژی ارائه می‌دهد. برای بررسی وضعیت کارایی انرژی که به‌صورت کمترین انرژی مصرفی برای بیشترین کار انجام شده تعریف می‌شود باید به انرژی از دید یک کالای مصرفی، نهاده تولیدی و منبع درآمد ارزی کشور نگریست، زیرا درمقطع کنونی نفت یک منبع درآمد ارزی مهم و دارای ارزش راهبردی در تأمین انرژی مصرفی کشور است. طی چند دهه اخیر که اقتصاد کشور وابسته به درآمد انرژی نفت و تک محصولی بوده، تقاضای انرژی نفت و قیمت‌های آن حرف آخر را در اقتصاد داخلی زده‌اند. نوسانات قیمت‌های جهانی و داخلی انرژی همواره اقتصاد ایران را با مشکلات زیادی مواجه ساخته و لذا تحقق برنامه‌های بلندمدت و بودجه‌های سالانه کشور مستلزم انجام پیش‌بینی‌های دقیق‌تر از تقاضای انرژی می‌باشد. علاوه بر ذخایر عظیم داخلی، ایران در منطقه‌ای واقع شده که دارای بیشترین ذخیره انرژی می‌باشد و در این خصوص با شناسایی دقیق‌تری از مسائل مربوط به کارایی انرژی، به لحاظ سیاسی و اقتصادی، برنامه‌ریزی بهتری انجام می‌شود.

از آنجا که بخش صنعت سهم زیادی از تقاضای انرژی را به خود اختصاص داده و یکی از ارکان مهم اقتصاد می‌باشد، توسعه آن به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تحول ساختاری اقتصاد ایران و نیل به اقتصاد بدون نفت محسوب می‌شود. بدین منظور مطالعه شدت انرژی بخش صنعت به‌عنوان وسیله‌ای برای بررسی کارایی انرژی، امکان برنامه‌ریزی در زمینه بهینه‌سازی در این بخش را برای برنامه‌ریزان کشور عملی‌تر خواهد کرد.

در این پژوهش با استفاده از تحلیل اسنادی شاخص در مطالعات انرژی، روش‌شناسی تحلیل تجزیه شاخص از طریق کمی نمودن سهم هر نسبت انفرادی به کل درصد تغییرات عوامل مثل شاخص شدت انرژی واقعی، تعمیم داده می‌شود که به‌موجب آن در تحلیل تغییرات کارایی انرژی صنایع کشور در بین سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۷۴ یک گام به جلو برداشته می‌شود و در رتبه‌بندی سرمایه‌گذاری و ارزیابی دقیق‌تری از کارایی انرژی در صنایع ۹ گانه کشور که شامل:

- ۱- صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات
- ۲- صنایع نساجی، پوشاک و چرم
- ۳- صنایع چوب و محصولات چوبی
- ۴- صنایع کاغذ، مقوا و چاپ و انتشار
- ۵- صنایع شیمیایی
- ۶- صنایع کانی غیرفلزی
- ۷- صنایع تولید فلزات اساسی
- ۸- صنایع ماشین آلات، تجهیزات و ابزار و محصولات فلزی
- ۹- صنایع متفرقه

می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد تا این ارزیابی، در اولویت‌بندی تخصیص اعتبارات جهت افزایش کارایی انرژی و سرمایه‌گذاری از دیدگاه توسعه بخشی صنعت به‌کارگرفته شود. در مطالعات داخلی که تاکنون انجام شده از روش‌های متفاوتی برای تحلیل تجزیه‌ای شاخص استفاده شده است. ولی در این پژوهش برای اولین بار در انتخاب روش پژوهشی برای تحلیل تجزیه‌ای شاخص از آزمون‌های چهارگانه نظریه شاخص‌های عددی استفاده شده است. به عبارت دیگر این پژوهش از یک رویکرد علمی در انتخاب روش استفاده می‌کند که مهم‌ترین وجه افتراق این پژوهش نسبت به سایر پژوهش‌ها می‌باشد.

در زمینه محدوده زمانی انتخاب شده جهت تحلیل در مقاله حاضر با توجه به اینکه تحولات اساسی تغییر نوع سوخت در کشور و انتقال از سوخت‌های مایع به گاز طبیعی عمدتاً طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ صورت پذیرفت، لذا تحلیل این دوره زمانی از لحاظ کارایی انرژی و شدت انرژی و تحولات به‌وقوع پیوسته در آن بسیار پراهمیت بوده است. همچنین پس از این دوره، دیگر تحول اساسی و خاصی از لحاظ مدیریت مصرف در صنایع کشور اتفاق نیفتاد و ساختارهای توسعه‌ای آن تغییری ننمود. بنابراین با عنایت به اینکه صنایع ۹ گانه مورد بررسی همچنان جزء صنایع اساسی موجود در کشور می‌باشد، لذا نتایج حاصله حتی قابل تسری و بسط به شرایط حال در کشور نیز می‌باشد.

از جمله موارد بسیار مهم و قابل تامل دیگر اینکه متأسفانه تاکنون طرح‌های بزرگ ملی به منظور بهینه‌سازی مصرف سوخت در بخش صنایع انرژی‌بر، آن‌طور که باید و

شاید صورت نگرفته و تنها در سال‌های اخیر و در قالب ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ارتقاء نظام مالی کشور (بند ق تبصره ۲ قانون بودجه سال ۱۳۹۳)، اعتباری معادل صد میلیارد دلار برای وزارت نفت اختصاص داده شده تا در قالب آن طرح‌های بهینه‌سازی از محل صرفه‌جویی انرژی اجرا گردند. نتایج حاصل از این مقاله و اولویت‌های ارائه شده می‌تواند مبنای بسیار مناسبی جهت تعریف طرح‌های بهینه‌سازی در صنایع اولویت‌دار قرار گیرد و مصوبات لازم بر آن در طرح‌های اقتصادی اخذ شود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

در ادبیات اقتصادی، تحلیل‌های مربوط به تجزیه را می‌توان به تحلیل تجزیه شاخص^۱، تحلیل تجزیه ساختاری^۲، تحلیل سهم انتقال^۳ و تحلیل حسابداری رشد^۴، طبقه‌بندی کرد.

تحلیل تجزیه شاخص، براساس تئوری شاخص اعداد بیان می‌شود. که در اوایل دهه ۱۹۸۰ با استفاده از شاخص‌هایی چون لاسپیرز، پاشه و مارشال-اجورث بیان شده است. سپس لیو و همکاران^۵ (۱۹۹۲)، روش تطبیق وزنی دیویژیا را مطرح کردند که پایه‌ای برای ارائه روش پارامتریک عمومی توسط آنگ^۶ (۱۹۹۵)، محسوب می‌شود.

تحلیل تجزیه ساختار، پس از مقاله لئونتیف^۷ (۱۹۴۱) با عنوان روابط مقداری داده - ستانده در سیستم اقتصادی آمریکا، رواج یافت. این تحلیل از اطلاعات مربوط به جدول داده- ستانده استفاده می‌کند. امروزه جدول داده - ستانده به‌صورت گسترده در اقتصاد کمی و تحلیل‌ها به‌کار گرفته می‌شود.

تحلیل سهم انتقال، در مباحث مربوط به اقتصاد کار و مباحث منطقه‌ای به‌کار برده می‌شود. نه تنها این تحلیل ابزاری است برای بررسی نوسانات بیکاری و رشد منطقه در گذشته، بلکه تکنیکی برای پیش‌بینی روندهای آتی به حساب می‌آید که جزئیات مربوط

1. Index Decomposition Analysis
2. Structural Decomposition Analysis
3. Shift Share Analysis
4. Growth Accounting Analysis
5. Liu et all
6. Ang
7. Leontief

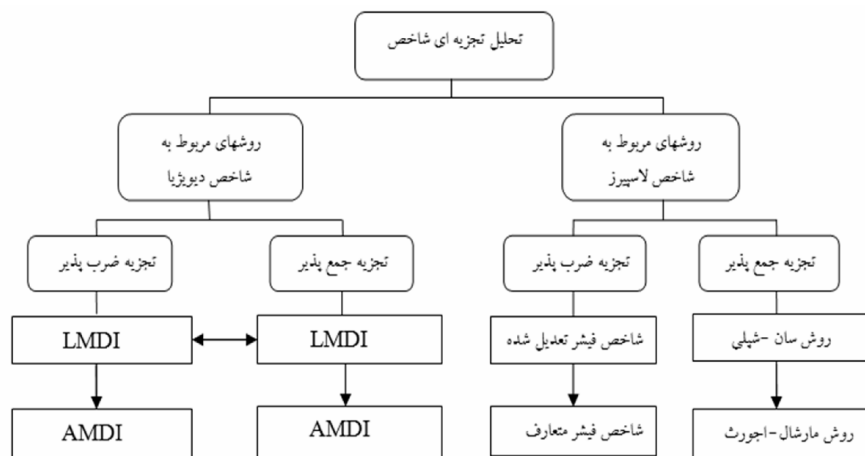
به آن در نوشته‌های پرلوف و همکاران^۱ (۱۹۶۰) و همچنین استیون ومور^۲ (۱۹۸۰) یافت می‌شود.

تحلیل حسابداری رشد، سهم عوامل در رشد اقتصادی را با تأکید بر اثر بهره‌وری بیان می‌کند (کندریک^۳ (۱۹۶۱)، جرگنسون و همکاران^۴ (۱۹۸۷)).

تحلیل اسنادی شاخص در تحلیل تجزیه‌ای شاخص و مطالعات انرژی به کار برده می‌شود که روش‌شناسی تحلیل تجزیه شاخص را از طریق کمی نمودن سهم هر نسبت انفرادی به کل درصد تغییرات عوامل مثل شاخص شدت انرژی واقعی، تعمیم می‌دهد. تحلیل اسنادی شاخص به عنوان ابزاری برای ارزیابی و نظاره تغییرات کارایی شدت انرژی در یک بررسی دقیق‌تر در مقایسه با روش‌هایی می‌باشد که در ادبیات تحلیل تجزیه‌ای شاخص گزارش شده است.

تحلیل‌های تجزیه شاخص در دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند. گروه اول روش‌هایی که بر پایه شاخص لاسپیرز شکل گرفتند که شامل دو گروه شاخص‌های فیشر^۵ و پاشه^۶ هستند که در شاخص لاسپیرز^۷ تغییرات درصدی متغیرها در طول زمان با استفاده از وزن سال پایه اندازه‌گیری می‌شود. گروه دوم روش‌هایی هستند که به شاخص دیویژیا^۸ مربوط می‌شوند که شاخص دیویژیا جمع وزنی لگاریتمی نرخ‌های رشد متغیرها را محاسبه می‌نماید که وزن‌ها در آن تشکیل‌دهنده میزان سهم‌ها در ارزش کل هستند.

-
1. Perloff et al
 2. Stevens and Moore
 3. Kendrick
 4. Jorgenson et al
 5. Fisher Index
 6. Paasche Index
 7. Laspeyres Index
 8. Divisia Index



منبع: Ang, 2003

شکل ۱. تقسیم بندی روش های تحلیل تجزیه ای شاخص (IDA)

شاخص لاسپیرز به صورت گسترده در مطالعات اولیه روش تجزیه مورد استفاده قرار گرفته است. هوارت و همکاران^۱ (۱۹۹۱) و هم چنین پارک^۲ (۱۹۹۲)، به صورت جزئی این روش را مطرح کرده اند. شاخص پاشه، روش چندان مطرحی در مطالعات تجزیه نبوده است و از محدود مطالعات می توان به مطالعه دوبلین^۳ (۱۹۸۸)، اشاره کرد. ریتلر و همکاران^۴ (۱۹۸۷)، در مطالعه خود از روش مارشال-اجورت استفاده کرده است. روش ترنکوئیست مشابه شاخص لاسپیرز در تحلیل تجزیه ی فراوان به کار برده شده است (که به نام شاخص میانگین حسابی دیویژیا^۵ نیز بیان می شود) و توسط بوید و همکاران^۶ (۱۹۸۷)، استفاده شده است. چون این روش از اصل شاخص مشتق شده است،

1. Howarth et al
2. Park
3. Doblin
4. Reitler et al
5. Arithmetic mean Divisia
6. Boyd et al

به آن شاخص دیویژیا هم گفته می شود. آنگ و چوی^۱ (۱۹۹۷)، روش ساتو-واتیا^۲ را ارائه و اولین روش تجزیه کامل^۳ را بیان کردند و به نام شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا^۴ (LMDI II) نیز در مطالعات آورده شده است که از شاخص میانگین حسابی دیویژیا (AMDI) پیچیده تر هستند و در بسیاری از موارد به دلیل نوع اطلاعات از شاخص میانگین حسابی دیویژیا به جای آن استفاده می شود (تجلی هدیه، ۱۳۹۰).

در ادامه حالت جمع پذیر (تفاضلی)^۵ روش وارتیا^۶ توسط آنگ و همکاران^۷ (۱۹۹۸) و تکنیک ضرب پذیر (نسبی)^۸ شاخص وارتیا (LMDI I) توسط آنگ و لیو^۹ (۲۰۰۱) که ارتباط نزدیکی با روش ساتو- وارتیا داشت مطرح شد. در هر دو حالت جمع پذیر و ضرب پذیر نیازی به نرمال سازی تابع وزن ها نیست و به کارگیری فرمول ها نسبتا ساده و آسان می باشد و اثراتی که باید تخمین زده شود صرف نظر از تعداد فاکتورهای مطرح شده فرم یکسان ریاضی دارد. این تکنیک شاخص سازی در مقایسه با سایر تکنیک ها قبل از خود دارای مشخصه هایی نظیر استقلال زمانی، انعطاف پذیری محاسباتی، سازگاری در تجمیع برخوردار است.

در زمینه تحلیل های تجزیه انرژی، پژوهش های زیادی انجام شده است، در ادامه به برخی از پژوهش هایی که از نظر الگو، شاخص های مناسب و تجزیه و تحلیل به این پژوهش کمک کرده اند، اشاره می شود.

آنگ^{۱۰} (۱۹۹۴) در پژوهشی، مصرف انرژی صنایع برق تایوان و سنگاپور را با استفاده از شاخص دیویژیا^{۱۱} و با به کار بردن روش شدت انرژی از طریق دو تکنیک ضرب پذیری و جمع پذیری مورد مطالعه قرار داده است. آنگ در این پژوهش تفکیک مصرف انرژی را به صورت دوره ای و هم به صورت سالانه برای صنایع سنگاپور و تایوان در سال های

1. Ang and Choi
2. Sato-Vartia
3. Perfect Decomposition
4. Log Mean Divisia Index II (LMDI II)
5. Additive
6. Vartia
7. Ang et al
8. Multiplicative
9. Ang & Liu
10. Ang.
11. Divisia Index

۱۹۹۰-۱۹۷۰ انجام داده و به این نتیجه رسید که در سنگاپور در سال ۱۹۹۰ شدت انرژی کل ۹۹/۲ درصد مقدار آن در سال ۱۹۷۱ بوده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در صنعت سنگاپور، عامل ساختاری در جهت کاهش مصرف انرژی و عامل شدتی در جهت افزایش مصرف انرژی عمل کرده است؛ اما در صنعت تایوان در سال ۱۹۹۰، شدت انرژی کل ۸۴/۷ درصد مقدار آن در سال ۱۹۷۱ بوده است. براساس نتایج به دست آمده، عامل ساختاری در جهت افزایش مصرف انرژی و عامل شدتی در جهت کاهش مصرف انرژی عمل کرده است. مقایسه نتایج دوره‌ای و سالانه نشان می‌دهد که انحراف بین برآورد پنج روش متداول برای هر کدام از عوامل ساختاری و شدتی در تفکیک دوره‌ای نسبت به تفکیک سالانه، میل به افزایش دارد و همچنین نتایج به دست آمده از داده‌های سالانه وابسته به روشی است که مورد استفاده قرار می‌گیرد.

چوی و ری^۱ (۲۰۰۱) در پژوهش خود، تغییرات در تقاضای انرژی و شاخص‌های مربوط به آن از قبیل شدت انرژی کل و نشر دی‌اکسیدکربن، تجزیه انرژی را با استفاده از شاخص‌های اقتصادی و آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. این پژوهشگران برای تجزیه انرژی از دو تکنیک ضریبی (ضرب‌پذیری) و جمعی (جمع‌پذیری) استفاده کرده و شدت انرژی کل را به دو اثر ساختاری و شدت خالص تجزیه کرده‌اند. آنها ثابت می‌کنند که اگر از میانگین لگاریتمی دیویژیا در روش‌شناسی تجزیه استفاده شود، حالت نسبی و تقاضی می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند. آنها برای نشان دادن تقارن بین دو روش اندازه‌گیری تغییرات از مصرف الکتریسیته در صنعت و داده‌های تولیدی مربوط به کشورهای سنگاپور و تایوان از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ استفاده کرده‌اند.

بهاتاچاریا و اوساناراسامه^۲ (۲۰۰۵) تغییرات شدت انرژی صنعتی تایلند را طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۱ با استفاده از روش میانگین لگاریتمی دیویژیا بررسی کرده‌اند. آنها نشان داده‌اند که در این دوره شدت انرژی کاهش یافته است. با بررسی این کاهش شدت انرژی مشخص گردید که اثر ساختاری و اثر شدتی در کاهش شدت انرژی کل مؤثر بوده‌اند و طی سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۱ به کاهش ۸ درصدی منجر شده‌اند. اما در سال‌های دیگر این دو اثر در جهات مخالف هم حرکت کرده‌اند.

1. Choi. K. H. & Rhee

2. Bhattacharyya & Ussanarassamee

چوی و آنگ (۲۰۱۲)^۱، با استفاده از تحلیل اسنادی در شاخص دیویژیا به ارزیابی کارایی انرژی در صنایع کارخانه‌ای آمریکا طی دوره ۲۰۰۴-۱۹۸۷ پرداخته‌اند. در این پژوهش، ابتدا درصد تغییرات کارایی انرژی کل طی دوره زمانی مورد نظر با استفاده از شاخص ساتو- وارتیا به دست آمده، سپس با استفاده از تحلیل اسنادی، سهم هر بخش از درصد تغییرات کارایی انرژی کل صنعت مشخص شده است.

لیو و زای^۲ (۲۰۱۳)، تحلیل جامع غیرخطی تعدیل نامتقارن ارتباط پویا بین شدت انرژی و شهرنشینی را با استفاده از داده‌های سری زمانی ۲۰۱۰-۱۹۷۸ چین در سطح ملی و منطقه‌ای انجام می‌دهند. یافته‌های آزمون‌های سیستماتیک و تحلیل‌های آنها، وجود رابطه علی غیرخطی بین شهرنشینی و شدت انرژی را تأیید می‌کند.

طیبی (۱۳۷۷) طی مطالعه‌ای تغییرات مصرف انرژی در بخش صنعت ایران را به عوامل تولیدی، ساختاری و شدت خالص تجزیه نموده است. وی سپس به بررسی رابطه بین تولید و مصرف انرژی در این بخش پرداخته و از متدلوژی ضریب مصرف انرژی که یکی از سه روش تجزیه انرژی می‌باشد در تحقیق خود استفاده نموده و برای محاسبه ضریب مصرف هر جز یک مدل رگرسیون دو متغیره به شکل $E = kY^c$ استفاده کرده است. در این مدل E مصرف انرژی، Y ارزش تولید، C ضریب مصرف و k پارامتر ثابت می‌باشد. روش کار بدین صورت می‌باشد که در هر مورد بجای E مقدار اثر را منظور و سپس از طریق روش حداقل مربعات معمولی ضریب مصرف مربوطه را برآورد می‌نماید. محقق با محاسبه اثرات مزبور برای دوره‌های یک ساله، سه ساله و چهارساله طی دوره زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۰ ضرایب مربوطه آنها را به‌عنوان کشش مصرف انرژی نسبت به ارزش تولیدات صنعتی بر حسب مورد در قالب دو روش کلی به‌دست آورده است.

در این پژوهش از الگوی تجزیه انرژی دیویژیا استفاده شده است. در روش اول کار بدین صورت است که ابتدا بجای تغییرات کل مصرف انرژی در فرمول بالا تغییرات تولیدی، ساختاری، شدت انرژی و جزء پسماند را قرار داده و سپس ضریب مصرف را به‌تفکیک اثرات مزبور به‌دست آورده و مجموع ضرایب را به‌عنوان ضریب انرژی منظور نموده است. اجزا چهارگانه تغییر در مصرف انرژی براساس راه‌حل‌های لاسپیرز، مارشال-

1. Choi.K.H & Ang

2. Liu & Xie

اجورث در الگوی تجزیه انرژی دیویژیا برآورد شده است. در روش دوم برای تجزیه ضریب مصرف انرژی نسبت کل مصرف در سال به حاصلضرب چهار اثر تجزیه شده است. برای محاسبه هر جزء از روش میانگین ساده دیویژیا استفاده شده است.

صالحی (۱۳۷۸) تغییرات مصرف کل انرژی در صنعت ایران را طی سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۲ بررسی نموده است. ایشان تکنیکهای آماری-ریاضی که به مدل‌های پارامتریک دیویژیا معروف هستند را در تحقیق خود به کار برده و تغییرات مصرف انرژی را از سه دیدگاه رهیافت مصرف انرژی، رهیافت شدت انرژی و رهیافت ضریب انرژی بررسی نموده است. رهیافت‌های سه گانه فوق بر داده‌های مصرف انرژی و تولید واقعی صنعت ایران طی دوره (۱۳۷۲-۱۳۵۰) اعمال گشته و علاوه بر نتایج سالیانه نتایج دوره‌ای را هم مورد بررسی قرار داده به گونه‌ای که دوره اول (۱۳۵۵-۱۳۵۰) که مصادف با اولین شوک نفتی بود و در پی آن بهای نفت به شدت افزایش پیدا کرده و دوره دوم (۱۳۶۰-۱۳۵۵) مصادف با پیروزی انقلاب اسلامی و شروع جنگ تحمیلی و دوره سوم (۱۳۶۷-۱۳۶۰) که مصادف با پایان جنگ و اولین برنامه توسعه اقتصادی - اجتماعی ایران بود.

حیدری (۱۳۸۳) طی مقاله‌ای به شناخت و بررسی صرفه‌جویی انرژی در صنایع بزرگ ایران پرداخته است. محقق از دو الگوی تغییرات مصرف انرژی و الگوی تغییرات شدت انرژی استفاده نموده است. در الگوی تغییرات مصرف انرژی، مصرف انرژی را به اثرات تولیدی، ساختاری، شدت خالص و اثر پسماند تجزیه می‌نماید. محقق از روش دیویژیا برای تحلیل و برآورد مصرف انرژی در اقتصاد ایران بهره می‌گیرد. محقق در تجزیه مصرف کل انرژی برای سطوح کلان و بخش صنعت از دو روش پارامتری دیویژیا برای این منظور استفاده می‌کند. محقق اشاره می‌کند که مناسبترین راه‌حل، راه‌حلی می‌باشد که دارای حداقل مجموع مربعات پسماندها باشد. در این مطالعه راه‌حل میانگین ساده الگوی اول دیویژیا بر اساس معیار حداقل مجموع مربعات پسماندها برای تمامی حامل‌های انرژی در اقتصاد کلان پرداخته است. محقق نتیجه می‌گیرد که روند زمانی دو اثر تولیدی و شدت خالص عمدتاً در جهت عکس یکدیگر حرکت می‌نمایند.

تجلی (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای تجزیه شدت انرژی بری در صنایع کارخانه‌ای ایران را به دو اثر ساختاری و اثر شدت بخشی در کل صنعت و صنایع ۹ گانه با استفاده از

شاخص لاسپیرز و شاخص میانگین حسابی دیویژیا (AMDI) انجام داده‌اند. بدین منظور از داده‌های مرکز آمار ایران برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر طی دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد در کل صنعت، اثر شدتی نسبت به اثر ساختاری سهم بیشتری در تغییرات اثر کل دارد. در بیش‌تر صنایع نیز اثر شدتی از اثر ساختاری تأثیرگذارتر بوده و در برخی موارد نیز هر دو اثر، موثر بوده‌اند. در بیش‌تر موارد اثر شدتی در جهت کاهش شدت انرژی بری حرکت کرده است.

در مطالعات داخلی که تاکنون انجام شده از روش‌های متفاوتی برای تحلیل تجزیه‌ای شاخص استفاده شده است. ولی در این پژوهش برای اولین بار در انتخاب روش پژوهشی برای تحلیل تجزیه‌ای شاخص از آزمون‌های چهارگانه نظریه شاخص‌های عددی استفاده شده است. به عبارت دیگر این پژوهش از یک رویکرد علمی در انتخاب روش استفاده می‌کند که مهم‌ترین وجه افتراق این پژوهش نسبت به سایر پژوهش‌ها می‌باشد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

تحلیل اسنادی شاخص، تحلیل تجزیه شاخص را از طریق کمی نمودن سهم هر نسبت انفرادی به کل درصد تغییرات عوامل مثل شاخص شدت انرژی واقعی، تعمیم می‌دهد. تحلیل اسنادی شاخص به عنوان ابزاری برای ارزیابی و نظاره تغییرات کارایی انرژی در یک بررسی دقیق‌تر در مقایسه با روش‌هایی می‌باشد که در ادبیات تحلیل تجزیه‌ای شاخص گزارش شده است.

آزمون‌های تشخیص برتری روش‌های تحلیل تجزیه‌ای شاخص:

پایه نظری روش‌های تحلیل تجزیه‌ای شاخص بر اساس نظریه شاخص اعداد^۱ است و با استفاده از چهار آزمون معکوس-عامل^۲، آزمون معکوس-زمان^۳، آزمون نسبیت^۴ و آزمون همجعی^۵ که از آزمون‌های مهم نظریه شاخص اعداد هستند، برتری روش‌های

-
1. Dex number theory
 2. Factor-reversal test
 3. Time- reversal test
 4. Proportionality test
 5. Aggregation test

تحلیل تجزیه شاخص در مقایسه با یکدیگر تشخیص داده می‌شود، در ابتدا توضیح مختصری درباره هر کدام از این آزمون‌ها داده می‌شود، سپس در جدول (۱) نتایج آزمون‌های چهارگانه در روش‌های تحلیل تجزیه‌ای شاخص نشان داده می‌شود.

آزمون معکوس - عامل

در آزمون معکوس - عامل اگر جای دو عامل بر عکس شود، نتیجه تغییر نخواهد کرد. شاخصی را که در آن آزمون برگشت عامل پذیرفته شود، شاخص ایده‌آل نامیده می‌شود. مانند شاخص ایده‌آل وارتیا، شاخص ایده‌آل ساتو- وارتیا و شاخص ایده‌آل فیشر، یعنی در هر سه این روش‌ها تجزیه به‌طور کامل انجام می‌شود و هیچ عامل پسماند توضیح داده نشده‌ای در نتایج ظاهر نمی‌شود و تفسیر نتایج به خوبی انجام می‌شود و این ویژگی از برتری‌های این روش‌ها می‌باشد.

آزمون معکوس - عامل برای شاخص فیشر به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:
اگر $Q(p^0, p^1, y^0, y^1)$ به‌عنوان یک شاخص مقداری بین دوره صفر و یک تعریف شود که در آن $p^0 > 0_N$ و $p^1 > 0_N$ و P_0 و P_1 بردار قیمت‌ها و 0_N یک تابع N بعدی از صفرها باشد) و نیز بردارهای مقداری در نظر گرفته شده $y^0 > 0_N$ و $y^1 > 0_N$ باشند و به‌طور مشابه شاخص قیمتی بین دوره صفر و یک به‌صورت $P(p^0, p^1, y^0, y^1)$ تعریف شود که تابعی از قیمت‌ها و مقادیر دو دوره است.
آزمون معکوس - عامل فیشر بیان می‌کند که:

$$P(p^0, p^1, y^0, y^1) \cdot Q(p^0, p^1, y^0, y^1) = \frac{p^1 y^1}{p^0 y^0}$$

به عبارتی حاصل ضرب شاخص قیمت ضربدر شاخص مقدار (ضرب داخلی دو بردار) باید با نسبت مخارج بین دو دوره برابر باشد (دایورت، ۱۹۷۵).

آزمون معکوس - زمان

طبق این آزمون اگر در شاخص قیمتی یا مقداری مورد نظر، زمان معکوس شود یا به‌عبارتی اگر سال پایه (t) با سال مورد تحلیل مطالعه (s) جابه‌جا شود، شاخص نسبت به انتخاب سال پایه بی‌تفاوت است (دایورت و ناکومورا، ۲۰۰۷).

$$P(p^t, p^s, y^t, y^s) = \frac{1}{P(p^s, p^t, y^s, y^t)}$$

آزمون نسبیت

در آزمون نسبیت، اگر هر یک از عناصر شاخص در مقدار مثبت λ ضرب شود، باید مقدار شاخص نیز λ برابر شود. برای مثال اگر قیمت‌های دوره t ، λ برابر شود، کل شاخص نیز باید λ برابر شود (دایورت، ناکومورا، ۲۰۰۷).

$$P(p^s, \lambda p^t, y^s, y^t) = \lambda P(p^s, p^t, y^s, y^t)$$

آزمون هم جمعی

اگر مجموعه‌ای از کالاها $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ وجود داشته باشد که شامل زیرمجموعه‌های a_k منفصل از هم باشد و $A = \bigcup_{k=1}^K a_k$ و شاخص‌های قیمتی و مقدار برای هر کدام از زیر مجموعه‌ها محاسبه شده باشد. مقدار شاخصی که با استفاده از داده‌های زیر مجموعه‌ها برای کل مجموعه به دست می‌آید، با مجموع نتایج شاخص‌های زیر مجموعه‌ها برابر باشد، روش انتخاب شده آزمون هم جمعی را می‌پذیرد. آزمون هم جمعی برای شاخص وارتیا به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \frac{L(v_{1i}, v_{0i})}{L(\sum_A v_{1j}, \sum_A v_{0j})} \log\left(\frac{P_{1i}}{P_{0i}}\right) &= \sum_{k=1}^K \sum_{A_k} \frac{L(v_{1i}, v_{0i})}{L(\sum_A v_{1j}, \sum_A v_{0j})} \log\left(\frac{P_{1i}}{P_{0i}}\right) \\ &= \sum_{k=1}^K W_k \left[\sum_{A_k} \frac{L(v_{1i}, v_{0i})}{L(\sum_A v_{1j}, \sum_A v_{0j})} \log\left(\frac{P_{1i}}{P_{0i}}\right) \right] \end{aligned}$$

که در آن $W_k = \frac{L(\sum_A v_{1j}, \sum_A v_{0j})}{L(\sum_{A_k} v_{1j}, \sum_{A_k} v_{0j})}$ و $v_i = p_i \cdot q_i$ می‌باشد.

از میان این چهار آزمون، آزمون معکوس-عامل، مهم‌ترین آزمون می‌باشد و روش‌های تحلیل تجزیه‌ای که این آزمون را بپذیرند، در میان پژوهشگران از محبوبیت خاصی برخوردارند، چون در تحلیل‌های تجزیه، عامل پسماند وجود نخواهند داشت و تجزیه به طور کامل انجام می‌شود و نتایج به طور کامل تفسیر می‌شود و در نتیجه، بخشی از تغییرات سال پایه به دوره تحلیل منتقل نمی‌شود. شاخص‌هایی را که آزمون معکوس-عامل را بپذیرند، شاخص ایده‌آل نامیده می‌شوند. مانند شاخص ایده‌آل وارتیا، شاخص ایده‌آل ساتو-وارتیا و شاخص ایده‌آل فیشر (آنگ و ژانگ، ۲۰۰۰).

در جدول (۱) ویژگی‌های شش روش شناخته شده در تحلیل تجزیه شاخص با استفاده از آزمون‌های چهارگانه با هم مقایسه شده است.

جدول ۱. ویژگی روش های تحلیل تجزیه شاخص در آزمون های چهارگانه نظریه شاخص اعداد

روش	آزمون معکوس-عامل	آزمون معکوس-زمان	آزمون نسبیت	آزمون هم جمعی
لاسپیرز	خیر	خیر	بله	بله
پاشه	خیر	خیر	بله	بله
فیشرف	بله	بله	بله	خیر
AMD I	خیر	بله	بله	خیر
وارتیا	بله	بله	خیر	بله
ساتو- وارتیا	بله	بله	بله	خیر

منبع: آنگ و همکاران، ۲۰۰۴

در جدول (۱) نتیجه پذیرش آزمون ها در هر یک از روش های مطرح شده با بله و عدم پذیرش با خیر مشخص شده است. هر چهار آزمون مطرح شده در یک روش پذیرفته نمی شود. با انجام این آزمون ها تا حدودی ضعف و قوت این روش ها نشان داده می شود.

آزمون معکوس- عامل در روش های وارتیا، ساتو- وارتیا و ایده آل فیشرف پذیرفته می شود، آزمون معکوس- عامل در روش AMD I به شکست منجر می شود و در نتیجه تفسیر نتایج در آن به درستی انجام نمی شود. آزمون معکوس- زمان در روش های AMD I، وارتیا، ساتو- وارتیا و ایده آل فیشرف پذیرفته می شود و به معنی این موضوع است که این روش ها نسبت به انتخاب سال پایه بی تفاوتند. آزمون نسبیت فقط در روش وارتیا پذیرفته نمی شود. آزمون هم جمعی در روش های لاسپیرز، پاشه و وارتیا پذیرفته می شود.

شاخص های برتر^۱

دو رویکرد اصلی در ارتباط با شاخص های عددی وجود دارد. روش بدیهی^۲ و روش اقتصادی. روش بدیهی توسط فیشرف مطرح شد که لیستی از ویژگی های مطلوب ترجیح داده شده مانند نسبیت قوی^۳، همگنی^۴، هم مقیاسی^۵ و شرکت پذیری^۶ به عنوان آکسیوم

1. Superlative Indices
2. Axiomatic Approach
3. Strong Proportionality
4. Monotonicity
5. Commensurability
6. Associativity

یا آزمون برای ما فراهم می‌کند. شاخص‌هایی که دارای ویژگی‌های بدیهی هستند متعلق به خانواده شاخص‌های شبه لگاریتم هستند.

روش‌های اقتصادی در ارتباط با شاخص‌های عددی را دایورت^۱ مطرح کرده که در آنها سعی می‌کند فرم اقتصادی را بر اساس نظریه اقتصادی مطرح کند. در روش‌های اقتصادی، شاخص کامل^۲ مطرح می‌شود که رفتار این شاخص عمدتاً مبتنی بر روش اقتصادی است. شاخص کامل، شاخصی است که بتواند تغییرات مقدار و قیمت را روی فرم تابع تولید و هزینه نشان دهد و در صورتی این شاخص کامل می‌تواند فرم انعطاف‌پذیری^۳ را نشان بدهد که بتوان آنرا به صورت مرتبه دوم سری تیلور^۴ نشان داد و به این شاخص کامل انعطاف‌پذیر، شاخص برتر گفته می‌شود. در این میان می‌توان به شاخص‌های مبتنی بر تابع ترانسلوگ^۵ اشاره کرد که انعطاف‌پذیر هستند و شاخص دیویژیا نیز یکی از شاخص‌های برتر محسوب می‌شود. ولی برخی از شاخص‌ها را نمی‌توان به صورت بسط مرتبه دوم سری تیلور نشان داد و در نتیجه این شاخص‌ها از ویژگی انعطاف‌ناپذیری برخوردارند و شاخص کامل نیستند. مانند شاخص‌های لاسپیرز و پاشه که از شاخص‌های انعطاف‌ناپذیر محسوب می‌شوند.

مطالعه‌ای توسط بارنت و چوی^۶ نشان می‌دهد که شاخص ساتو-وارتیا یک شاخص برتر است، چون تقریب مرتبه دوم شاخص نظری کنس^۷ است. از آنجائیکه شاخص وارتیا تقریب مرتبه دوم شاخص‌های عددی برتر است، دایورت آن را به عنوان شاخص کاذب برتر طبقه‌بندی می‌کند (دایورت، ۱۹۷۶).

تحلیل اسنادی شاخص دیویژیا

در ادبیات اقتصاد انرژی، شاخص شدت انرژی واقعی با استفاده از نسبت اثر شدتی انرژی در دوره (t) و (t-1) به صورت رابطه $\frac{R_t}{R_{t-1}}$ برای اندازه‌گیری تغییرات اثر شدتی انرژی تعریف می‌شود.

1. Diewert
2. Exact Index
3. Flexible Form
- 4-Taylor Second Series
- 5-Translog Function
6. Barnett and Choi
7. Theoretical Konüs index

تغییرات در شاخص شدت انرژی واقعی، اغلب به عنوان تقریبی برای تغییرات کارایی انرژی به کار می رود. در حالی که شاخص ساختاری صنعت از تغییرات در ساختار صنعت به دست می آید.

تحلیل مورد نظر با تعریف شاخص شدت انرژی کل شروع می شود:

E به عنوان کل مصرف انرژی در صنعت و Y به عنوان کل تولید صنعت یک کشور در نظر گرفته می شود. فرض می شود که N بخش صنعتی وجود دارد و E_i و Y_i به ترتیب مصرف انرژی و سطح تولید در بخش i است. شدت انرژی بخشی i به صورت $I_i = \frac{E_i}{Y_i}$ و سهم تولید صنعت با $S_i = \frac{Y_i}{Y}$ تعریف می شود. پس شدت انرژی کل $I = \frac{E}{Y}$ می تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{Y_i} \frac{Y_i}{Y} = \sum_{i=1}^n I_i S_i \quad (1)$$

رابطه (۱) نشان دهنده این است که تغییر در I ممکن است به خاطر تغییر در شدت انرژی بخشی I_i و یا تغییر در ترکیب تولید S_i باشد.

تغییرات شدت انرژی کل سال پایه صفر در مقایسه با تغییرات شدت انرژی کل سال t ، با نسبت $\frac{I_t}{I_0}$ یا با تفاضل $I_t - I_0$ بیان می شود که هر کدام از این معیارها برتری هایی دارد. برای مثال تغییرات نسبی کوتاه و مختصر هستند در حالی که تغییرات مطلق (تفاضلی) می تواند اطلاعاتی فراهم نماید که فهم آنها بسیار آسان است. انتخاب بین این دو معیار ممکن است به شاخص کلی که مطالعه می شود وابسته باشد. جهت بررسی شدت انرژی کل ممکن است تکنیک نسبی ترجیح داده شود به ویژه اگر بررسی شدت انرژی با شاخص هایی معین شده باشد. در مصرف انرژی ملی داده شده در واحدهای فیزیکی هر دو معیار می تواند به آسانی پذیرفته شود. برای مطالعه امکان ارتباط بین این دو معیار، بحث با تکنیک نسبی که همراه با تکنیک تفاضلی است شروع می شود.

در ابتدا از دو طرف رابطه (۱)، دیفرانسیل گرفته می شود:

$$\frac{dI}{dt} = \sum_{i=1}^n S_i \frac{dI_i}{dt} + \sum_{i=1}^n I_i \frac{dS_i}{dt} \quad (2)$$

سپس دو طرف رابطه (۲) به شدت انرژی کل (I) تقسیم می شود:

$$\frac{dI}{dt} \frac{1}{I} = \sum_{i=1}^n S_i \frac{dI_i}{dt} \frac{1}{I_i} + \sum_{i=1}^n I_i \frac{dS_i}{dt} \frac{1}{I S_i} \quad (3)$$

$$\frac{dI}{I} \frac{1}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i I_i}{I} \frac{dI_i}{I_i} \frac{1}{dt} + \sum_{i=1}^n \frac{S_i I_i}{I} \frac{dS_i}{S_i} \frac{1}{I} \frac{1}{dt} \quad (۴)$$

$$\frac{d \ln I}{dt} = \sum_{i=1}^n W_i \frac{d \ln I_i}{dt} + \sum_{i=1}^n W_i \frac{d \ln S_i}{dt}, \quad W_i \equiv \frac{S_i I_i}{I} = \frac{E_i}{E} \quad (۵)$$

از دو طرف رابطه (۵) انتگرال گرفته می‌شود:

$$\int_{t-1}^t \frac{d \ln I}{dt} dt = \sum_{i=1}^n \int_{t-1}^t W_i \frac{d \ln I_i}{dt} dt + \sum_{i=1}^n \int_{t-1}^t W_i \frac{d \ln S_i}{dt} dt \quad (۶)$$

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n \int_{t-1}^t W_i \frac{d \ln I_i}{dt} dt \right) \exp \left(\sum_{i=1}^n \int_{t-1}^t W_i \frac{d \ln S_i}{dt} dt \right) \quad (۷)$$

عبارت اول در سمت راست رابطه (۷)، انتگرال شاخص شدتی دیویژیا و عبارت دوم انتگرال شاخص سهم است. در تحلیل تجزیه انرژی، شاخص شدتی و شاخص سهم به ترتیب اثر شدتی انرژی و اثر ترکیب تولید یا اثر ساختاری را نشان می‌دهند. از آنجا که رابطه (۷) به فرم ضربی داده شده، تجزیه به عنوان حالت ضربی شناخته می‌شود. براساس قضیه ارزش میانگین برای انتگرال، رابطه (۷) می‌تواند به صورت فرم تقریب گسسته نوشته شود:

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n W_i^* \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right) \exp \left(\sum_{i=1}^n W_i^* \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \right) \quad (۸)$$

که $t_{k,w} \in [t-1, t]$ و $W_i^* \equiv W_{i(t_{k,w})}$

به طور تجربی رابطه (۸) باید با روش محاسبه بهم پیوسته مرتبط به کار رود و فاصله زمانی انتخاب شده در این روش، کوچکترین فاصله ممکن مطابق با داده‌ها می‌باشد.

با استفاده از این روش رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \frac{I_t}{I_{t-1}} &= \exp \left(\sum_{i=1}^n W_{i,t}^* (\ln I_{i,t} - \ln I_{i,t-1}) \right) \exp \left(\sum_{i=1}^n W_{i,t}^* (\ln S_{i,t} - \ln S_{i,t-1}) \right) \\ &= \exp \left(\sum_{i=1}^n W_{i,t-1}^* (\ln I_{i,t-1} - \ln I_{i,t-2}) \right) \exp \left(\sum_{i=1}^n W_{i,t-1}^* (\ln S_{i,t-1} - \ln S_{i,t-2}) \right) \end{aligned}$$

...

$$\frac{I_1}{I_0} = \exp \left(\sum_{i=1}^n W_{i,1}^* (\ln I_{i,1} - \ln I_{i,0}) \right) \exp \left(\sum_{i=1}^n W_{i,1}^* (\ln S_{i,1} - \ln S_{i,0}) \right)$$

و به طور کلی:

$$\frac{I_t}{I_0} = \exp \left(\sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n W_{i,j}^* (\ln I_{i,j} - \ln I_{i,j-1}) \right) \exp \left(\sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n W_{i,j}^* (\ln S_{i,j} - \ln S_{i,j-1}) \right)$$

با توجه به اینکه W_i^* از قبل تعیین شده، رابطه (۸) فرمول اولیه تقریب گسسته برای مدل زمانی پیوسته است که توسط رابطه (۷) ارائه شده است. در تئوری شاخص اعداد، رابطه (۷) فرمول‌های تقریب گسسته شناخته شده زیادی دارد که به شکل رابطه (۸) بیان می‌شود.

برای نشان دادن ویژگی تقارن بین دو تکنیک ضرب‌پذیر و جمع‌پذیر تغییرات لگاریتمی، تغییرات اندازه‌گیری شده بر حسب تفاضل‌ها با گرفتن انتگرال از دو طرف رابطه (۳) در فاصله $[t-1, t]$ به دست می‌آید:

$$I_t - I_{t-1} = \sum_{i=1}^n \int_{t-1}^t S_i \frac{dI_i}{dt} dt + \sum_{i=1}^n \int_{t-1}^t I_i \frac{dS_i}{dt} dt \quad (9)$$

عبارت اول در سمت راست رابطه (۹) می‌تواند به‌عنوان اثر تغییرات شدت انرژی و عبارت دوم به‌عنوان تغییرات ترکیب تولید تفسیر شود. از آنجا که رابطه (۹) به شکل جمعی است، این روش تجزیه نیز به‌عنوان تکنیک جمع‌پذیر شناخته می‌شود. نظریه میانگین ارزش انتگرال این اجازه را می‌دهد که رابطه (۹) به‌صورت زیر بازنویسی شود:

$$I_t - I_{t-1} = \sum_{i=1}^n S_i^* (I_{i,t} - I_{i,t-1}) + \sum_{i=1}^n I_i^* (S_{i,t} - S_{i,t-1}) \quad (10)$$

$$t_{k,S}, t_{k,I} \in [t-1, t] \text{ با } I_i^* \equiv I_{i(t_{k,I})} \text{ و } S_i^* \equiv S_{i(t_{k,S})}$$

به طور مشابه رابطه (۱۰) باید با روش محاسبه به هم پیوسته مرتبط که در آن فاصله زمانی حداقل فاصله ممکن داده‌ها را دارد به کار گرفته شود:

$$I_t - I_{t-1} = \sum_{i=1}^n S_{i,t}^* (I_{i,t} - I_{i,t-1}) + \sum_{i=1}^n I_{i,t}^* (S_{i,t} - S_{i,t-1})$$

$$I_{t-1} - I_{t-2} = \sum_{i=1}^n S_{i,t-1}^* (I_{i,t-1} - I_{i,t-2}) + \sum_{i=1}^n I_{i,t-1}^* (S_{i,t-1} - S_{i,t-2})$$

...

$$I_1 - I_0 = \sum_{i=1}^n S_{i,1}^* (I_{i,1} - I_{i,0}) + \sum_{i=1}^n I_{i,1}^* (S_{i,1} - S_{i,0})$$

و به‌طور کلی مشاهده می‌شود:

$$I_t - I_0 = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n S_{ij}^* (I_{i,j} - I_{i,j-1}) + \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n I_{ij}^* (S_{i,j} - S_{i,j-1})$$

رابطه (۱۰) نیز فرمول تقریب گسسته اولیه برای مدل زمان پیوسته ارائه شده توسط رابطه (۹) است، که در آن متغیرهای ستاره‌دار به‌وسیله چند فرم کاربردی مناسب به‌عنوان معیار نسبی جایگزین می‌شوند.

از مقاله دایورت که در مقاله بنت^۱ و منتگمری^۲ به آن ارجاع داده شده است، می‌توان فرم‌های کاربردی متغیرهای ستاره‌دار را مشاهده کرد که به معادله (۱۰) یک هویت ریاضی می‌دهند. در تحلیل تجزیه انرژی، این ویژگی به‌عنوان تجزیه کامل^۳ شناخته می‌شود و این ویژگی مطلوب باعث می‌شود عامل پسماند توضیح داده نشده در نتایج تجزیه وجود نداشته باشد.

فرمول بنت توسط روابط زیر تعریف می‌شود:

$$I_i^B \equiv \frac{I_{i,t} + I_{i,t-1}}{2} \quad \text{و} \quad S_i^B \equiv \frac{S_{i,t} + S_{i,t-1}}{2} \quad (11)$$

فرم کاربردی معادله (۱۱) شبیه رابطه معروف ترنکوئیست در تحلیل تجزیه انرژی است. می‌توان به آسانی نشان داد که فرمول بنت برای رابطه (۱۰) یک ویژگی ریاضی تعیین می‌کند در حالی که در فرمول ترنکوئیست این ویژگی مطرح نیست. فرمول منتگمری بسیار پیچیده‌تر از فرمول بنت است ولی در زمینه شاخص‌های تغییر لگاریتمی فرمول جذابی است. فرمول زیر را از مقاله منتگمری انتخاب شده است و با یک اصلاح جزئی در رابطه (۱۰) قرار داده می‌شود:

$$I_i^M \equiv \frac{L(I_{i,t}, S_{i,t}, I_{i,t-1}, S_{i,t-1})}{L(S_{i,t}, S_{i,t-1})} \quad \text{و} \quad S_i^M \equiv \frac{L(I_{i,t}, S_{i,t}, I_{i,t-1}, S_{i,t-1})}{L(I_{i,t}, I_{i,t-1})} \quad (11)$$

(L) به‌عنوان تابع میانگین لگاریتمی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$L(x, y) = \begin{cases} (x-y)/(\ln x - \ln y), & x \neq y \\ x & x = y \end{cases}$$

مفهوم میانگین لگاریتمی در ادبیات تجزیه دیویژیا توسط آنگ و چوی معرفی شده است. در مقایسه با فرم‌های دیگر، رابطه (۱۲) این برتری را دارد که برای هر دو تکنیک ضرب‌پذیر و جمع‌پذیر یک روند تجزیه پیوسته فراهم می‌نماید. در رابطه زیر تکنیک جمع‌پذیر شدت انرژی کل با جای‌گذاری S_i^M و I_i^M به ترتیب با S_i^* و I_i^* در معادله (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$I_{t-1} = \sum_{i=1}^n \frac{L(I_{i,t}, S_{i,t}, I_{i,t-1}, S_{i,t-1})}{L(I_{i,t}, I_{i,t-1})} (I_{i,t} - I_{i,t-1}) +$$

-
1. Bennet
 2. Montgomery
 3. Perfect Decomposition.

$$\sum_{i=1}^n \frac{L(I_{i,t} \cdot S_{i,t}, I_{i,t-1} \cdot S_{i,t-1})}{L(S_{i,t}, S_{i,t-1})} (S_{i,t} - S_{i,t-1}) \quad (۱۴)$$

با تقسیم هر دو طرف معادله (۱۲) به $L(I_{i,t}, I_{i,t-1})$ و با گرفتن exp از دو طرف معادله (۱۲)، در نهایت تکنیک ضرب پذیر به صورت زیر حاصل می شود:

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L(I_{i,t} \cdot S_{i,t}, I_{i,t-1} \cdot S_{i,t-1})}{L(I_{i,t}, I_{i,t-1})} \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right)$$

$$\exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L(I_{i,t} \cdot S_{i,t}, I_{i,t-1} \cdot S_{i,t-1})}{L(S_{i,t}, S_{i,t-1})} \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \right)$$

از نتایج بالا می توان مشاهده کرد که یک ارتباط نزدیک و ساده بین تکنیک جمع پذیر و ضرب پذیر تجزیه تغییرات کل وجود دارد. معادله (۱۴) یک تقریب گسسته از معادله (۷) در فرم تقریب نمونه معادله (۸) است و شاخص منتگمری - واریتا نامیده می شود و تجزیه را به دو اثر شدتی و ساختاری انجام می دهد. که به ترتیب با $\frac{R_t}{R_{t-1}}$ و $\frac{S_t}{S_{t-1}}$ نشان داده می شود:

$$\frac{R_t}{R_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L(I_{i,t} \cdot S_{i,t}, I_{i,t-1} \cdot S_{i,t-1})}{\sum_{i=1}^n L(I_{i,t}, I_{i,t-1})} \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right)$$

$$\frac{S_t}{S_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L(I_{i,t} \cdot S_{i,t}, I_{i,t-1} \cdot S_{i,t-1})}{\sum_{i=1}^n L(I_{i,t}, I_{i,t-1})} \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \right)$$

که

$$W_i^{M-V} = \frac{L(I_{i,t} \cdot S_{i,t}, I_{i,t-1} \cdot S_{i,t-1})}{\sum_{i=1}^n L(I_{i,t}, I_{i,t-1})}$$

شاخص ساتو- واتیا نیز با استفاده از روابطی مشابه به شکل نهایی زیر ارائه می شود:

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L\left(\frac{E_{i,t}}{E_t}, \frac{E_{i,t-1}}{E_{t-1}}\right)}{\sum_{i=1}^n L\left(\frac{E_{i,t}}{E_t}, \frac{E_{i,t-1}}{E_{t-1}}\right)} \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right) \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L(I_{i,t} \cdot S_{i,t}, I_{i,t-1} \cdot S_{i,t-1})}{\sum_{i=1}^n L\left(\frac{E_{i,t}}{E_t}, \frac{E_{i,t-1}}{E_{t-1}}\right)} \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \right)$$

که در آن اثر شدتی و ساختاری به ترتیب برابر است با $\frac{R_t}{R_{t-1}}$ و $\frac{S_t}{S_{t-1}}$ که در روابط

(۱۷) و (۱۸) نشان داده است:

$$\frac{R_t}{R_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L(E_{i,t}/E_t, E_{i,t-1}/E_{t-1})}{\sum_{i=1}^n L(E_{i,t}/E_t, E_{i,t-1}/E_{t-1})} \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right) \quad (۱۷)$$

$$\frac{s_t}{s_{t-1}} = \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{L(E_{i,t}/E_t, E_{i,t-1}/E_{t-1})}{\sum_{i=1}^n L(E_{i,t}/E_t, E_{i,t-1}/E_{t-1})} \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \right)$$

که

$$W_I^{S-V} = \frac{L(E_{i,t}/E_t, E_{i,t-1}/E_{t-1})}{\sum_{i=1}^n L(E_{i,t}/E_t, E_{i,t-1}/E_{t-1})}$$

در حالت کلی می‌توان تجزیه را با استفاده از رابطه زیر نشان داد:

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \frac{R_t}{R_{t-1}} \times \frac{S_t}{S_{t-1}} \quad (۱۹)$$

که $\frac{I_t}{I_{t-1}}$ شاخص شدت انرژی کل، $\frac{R_t}{R_{t-1}}$ شاخص شدت انرژی واقعی و $\frac{S_t}{S_{t-1}}$ شاخص ساختاری صنعت است.

در ادبیات اقتصاد انرژی، شاخص شدت انرژی واقعی $\frac{R_t}{R_{t-1}}$ بیشتر به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری تغییر شدت انرژی حقیقی از دوره $t-1$ تا t به کار می‌رود و از آن به‌طور گسترده‌ای در روند کارایی انرژی در بخش اقتصادی استفاده می‌شود. تمرکز اصلی پژوهش ما بر روی اثر تغییرات ساختاری داده شده به‌وسیله شاخص تغییر ساختاری نیست ولی اثر ساختاری را نیز می‌توان در یک روش مشابه شاخص شدت انرژی واقعی تفسیر نمود.

به‌عنوان تعمیم تحلیل یک دوره‌ای، تجزیه چند دوره‌ای شاخص شدت انرژی کل دیویژیا می‌تواند به‌صورت زیر تعریف شود:

$$\frac{I_T}{I_0} = \prod_{t=1}^T \frac{I_t}{I_{t-1}} = \prod_{t=1}^T \left(\frac{R_t}{R_{t-1}} \times \frac{S_t}{S_{t-1}} \right) = \prod_{t=1}^T \frac{R_t}{R_{t-1}} \times \prod_{t=1}^T \frac{S_t}{S_{t-1}} = \frac{R_T}{R_0} \times \frac{S_T}{S_0} \quad (۲۰)$$

در سمت راست معادله، محصول تجمعی شاخص یک دوره‌ای به شاخص‌های زیرتجزیه شده است:

$$\frac{S_T}{S_0} = \prod_{t=1}^T \frac{S_t}{S_{t-1}} \quad (۲۱)$$

$$\frac{R_T}{R_0} = \prod_{t=1}^T \frac{R_t}{R_{t-1}} \quad (۲۲)$$

از دیدگاه نظری شاخص‌های $\frac{S_T}{S_0}$ و $\frac{R_T}{R_0}$ می‌توانند بدون محاسبات زنجیره‌ای، تعریف شوند. اگر چه در تحلیل کاربردی، محاسبات زنجیره‌ای توصیه شده، از اینرو هر فرمول شاخص عددی در تحلیل تجزیه‌ای شاخص یک تقریب گسسته شاخص پیوسته زمانی

انتگرال دیویژیاست. بنابراین با کوچکتر شدن فاصله زمانی $[t-1, t]$ تقریب بهتر می شود. در مطالعات تحلیل تجزیه ای شاخص، داده های سری زمانی سالیانه معیار هستند و به طور عمومی برای محاسبات زنجیره ای استفاده می شوند.

تحلیل اسنادی برای تغییرات شدت انرژی واقعی اندازه گیری شده به وسیله شاخص دیویژیا به کار برده می شود. دو مسئله در اینجا به وجود می آید: مسئله اول این است که چگونه شاخص دیویژیا به فرم یک شاخص میانگین حسابی نوشته شود در حالی که ماهیت تحلیل اسنادی به صورت میانگین حسابی تعریف شده و شاخص دیویژیا یک شاخص میانگین هندسی است. برای حل این مشکل از روش پیشنهادی رینزدرف و بالک^۱ که بین شاخص میانگین هندسی و شاخص میانگین حسابی ارتباط برقرار می کند، استفاده می شود. مسئله دوم تحلیل اسنادی، شاخص زنجیره ای است. یک تعریف ساده برای تحلیل اسنادی شاخص زنجیره ای ارائه می شود که این تعریف مرسوم قابل کاربرد، فقط برای تعمیم شاخص های با وزن ثابت می باشد.

۳-۳-۱- تحلیل اسنادی یک دوره ای شاخص دیویژیا

در زمینه حساب های ملی، رینزدرف روشی را برای تبدیل شاخص میانگین هندسی به شاخص میانگین حسابی ارائه کرده اند. از طرف دیگر بالک روشی را برای تبدیل شاخص میانگین حسابی به شاخص میانگین هندسی مطرح کرده است. اکنون در اینجا روشی برای تبدیل یک شاخص میانگین هندسی به شاخص میانگین حسابی پیشنهاد می شود. نتیجه نهایی مشابه روش رینزدرف و بالک است ولی استخراج آن روشن تر و دقیق تر است.

همان طور که می دانیم شاخص دیویژیا در یک فرم تغییر لگاریتمی می تواند به سادگی به صورت شاخص میانگین هندسی زیر تعریف شود:

$$\ln \frac{R_1}{R_0} = \sum_{i=1}^N W_i \ln \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} \Leftrightarrow \frac{R_1}{R_0} = \prod_{i=1}^N \left(\frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} \right)^{W_i} \quad (23)$$

اکنون π_i که شاخص میانگین هندسی نسبت $\frac{R_1}{R_0}$ را به یک شاخص میانگین حسابی تبدیل می کند به صورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{R_1}{R_0} = \frac{\sum_{i=1}^N \pi_i I_{i,1}}{\sum_{i=1}^N \pi_i I_{i,0}} \quad (24)$$

معادله (۲۴) با تعریف $S_{i,0}$ و $S_{i,1}$ که در زیر آورده شده است تعمیم می‌یابد:

$$S_{i,0} \equiv \frac{\pi_i I_{i,0}}{\sum_{k=1}^N \pi_k I_{k,0}}, \quad S_{i,1} \equiv \frac{\pi_i I_{i,1}}{\sum_{k=1}^N \pi_k I_{k,1}} \quad (25)$$

سپس از دو رابطه (۲۶) و (۲۷) که توسط بالک تعریف شده است، استفاده می‌شود:

$$\sum_{i=1}^N L(S_{i,1}, S_{i,0}) \ln \frac{S_{i,1}}{S_{i,0}} = 0 \quad (26)$$

$$\ln \frac{S_{i,1}}{S_{i,0}} = \ln \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} - \ln \frac{R_1}{R_0} \quad (27)$$

با جای‌گذاری رابطه (۲۷) در رابطه (۲۶) و حل معادله برای $\frac{R_1}{R_0}$ یک تغییر لگاریتمی دیگر برای $\frac{R_1}{R_0}$ به دست می‌آید که به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\ln \frac{R_1}{R_0} = \sum_{k=1}^N \frac{L(S_{i,1}, S_{i,0})}{\sum_{i=1}^N L(S_{k,1}, S_{k,0})} \ln \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} = \sum_{k=1}^N \frac{\pi_i L(I_{i,1}, I_{i,0} \frac{R_1}{R_0})}{\sum_{i=1}^N \pi_k L(I_{k,1}, I_{k,0} \frac{R_1}{R_0})} \ln \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} \quad (28)$$

با مقایسه دو فرم تغییرات لگاریتمی معادلات (۲۳) و (۲۸) به خصوص وزن‌های آنها π_i به دست می‌آید:

$$\pi_i = \frac{W_i}{L(I_{i,1}, I_{i,0} \frac{R_1}{R_0})} \quad (29)$$

با جای‌گذاری مقدار π_i به دست آمده از معادله (۲۹) در معادله (۲۸)، رابطه‌ای مشابه رابطه (۲۳) به دست می‌آید که جمع W_i ها در آن برابر یک است. از آنجایی که رابطه (۲۹) برای اولین بار توسط رینزدرف مطرح شد، فرمول رینزدرف نامیده می‌شود. این فرمول بین شاخص میانگین هندسی و شاخص میانگین حسابی ارتباط برقرار می‌کند. بنابراین برای تحلیل اسنادی شاخص شدت انرژی واقعی دیویژیا فرمولی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{R_1}{R_0} - 1 = \sum_{i=1}^N S_i \left(\frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} - 1 \right) \quad (30)$$

که:

$$S_i = \frac{\pi_i I_{i,0}}{\sum_{k=1}^N \pi_k I_{k,0}} = \frac{\frac{W_i}{L(I_{i,1}, I_{i,0} \frac{R_1}{R_0})} I_{i,0}}{\sum_{k=1}^N \frac{W_k}{L(I_{k,1}, I_{k,0} \frac{R_1}{R_0})} I_{k,0}} \quad (31)$$

نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که جمع وزن‌ها (W_i) در شاخص منتگمری واریتا برابر یک نیست و در بیشتر موارد نزدیک به یک است و در نتیجه شاخص منتگمری واریتا، یک شاخص میانگین حقیقی نیست و شرط استفاده از فرمول

رینز درف را ندارد. ولی این مشکل برای شاخص ساتو- واریتا وجود ندارد و در نتیجه تحلیل اسنادی شاخص دیویژیا با استفاده از شاخص ساتو-واریتا انجام می‌شود (آنگ و چوی، ۲۰۱۲).

تحلیل اسنادی چند دوره‌ای شاخص دیویژیا

طبق تعریف شاخص شدت انرژی واقعی زنجیره‌ای داده شده در معادله (۱۰)، نوع متفاوتی از شاخص زنجیره‌ای در زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \frac{R_T}{R_0} - 1 &= \frac{R_T}{R_0} - \frac{R_0}{R_0} = \left(\frac{R_T}{R_0} - \frac{R_{T-1}}{R_0} \right) + \left(\frac{R_{T-1}}{R_0} - \frac{R_{T-2}}{R_0} \right) + \left(\frac{R_{T-2}}{R_0} - \frac{R_{T-3}}{R_0} \right) + \dots + \left(\frac{R_1}{R_0} - \frac{R_0}{R_0} \right) \\ &= \frac{R_{T-1}}{R_0} \left(\frac{R_T}{R_{T-1}} - 1 \right) + \frac{R_{T-2}}{R_0} \left(\frac{R_{T-1}}{R_{T-2}} - 1 \right) + \frac{R_{T-3}}{R_0} \left(\frac{R_{T-2}}{R_{T-3}} - 1 \right) + \dots + \frac{R_0}{R_0} \left(\frac{R_1}{R_0} - 1 \right) \\ &= \sum_{t=1}^T \frac{R_{t-1}}{R_0} \left(\frac{R_t}{R_{t-1}} - 1 \right) \quad (32) \end{aligned}$$

رابطه (۳۲) نشان‌دهنده این است که تغییرات درصدی یک شاخص زنجیره‌ای، جمع تجمعی درصد تغییرات تحلیل یک دوره‌ای در فاصله زمانی $[t-1, t]$ است که به جای زمان صفر در نسبت $\frac{R_{t-1}}{R_0}$ می‌باشد.

با جای‌گذاری معادله (۳۰) در معادله (۳۲) رابطه تحلیل اسنادی چند دوره‌ای زنجیره‌ای شاخص دیویژیا به دست می‌آید:

$$\frac{R_T}{R_0} - 1 = \sum_{t=1}^T \frac{R_{t-1}}{R_0} \left(\frac{R_t}{R_{t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{R_{t-1}}{R_0} S_{i,t-1,t} \left(\frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} - 1 \right) \quad (33)$$

که:

$$S_{i,t-1,t} = \frac{\frac{W_{i,t-1,t}}{L(I_{i,t}, I_{i,t-1}, \frac{R_t}{R_{t-1}})} I_{i,t-1}}{\sum_{k=1}^N \frac{W_{k,t-1,t}}{L(I_{k,t}, I_{k,t-1}, \frac{R_t}{R_{t-1}})} I_{k,t-1}} \quad (34)$$

که از زمان شروع محاسبه شده است (آنگ و چوی، ۲۰۱۲).

۴- یافته‌های تحلیل اسنادی و تجزیه و تحلیل آنها

در این قسمت به تجزیه شدت انرژی کل در حالت یک دوره‌ای و چنددوره‌ای زنجیره‌ای در کل صنعت با استفاده از روش شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا پرداخته می‌شود. سپس تحلیل اسنادی یک دوره‌ای و چنددوره‌ای در شاخص دیویژیا برای صنایع ۹ گانه طی دوره زمانی ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ بررسی می‌شود. تجزیه شدت انرژی کل و تحلیل اسنادی در حالت یک دوره‌ای و چنددوره‌ای بر اساس داده‌های سری زمانی برای سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ انجام شده که بر اساس این داده‌ها سال ۱۳۷۴ به‌عنوان سال پایه در نظر گرفته شده است.

تجزیه شدت انرژی در کل صنایع با استفاده از روش شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا

در جدول (۲) نتایج تجزیه شدت انرژی کل سالیانه یک دوره‌ای و چند دوره‌ای زنجیره‌ای کل صنعت با استفاده از روش شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا طی دوره زمانی ۱۳۷۴-۱۳۸۶ نشان داده شده است. در هر مورد شاخص شدت انرژی کل دقیقاً از حاصل ضرب شدت انرژی ساختاری و شدت انرژی واقعی به‌دست می‌آید. نتایج جدول (۲) بر اساس روش استاندارد به‌کار گرفته شده در مطالعات تحلیل تجزیه انرژی به‌دست آمده‌اند و تغییرات تخمین زده شده در شدت انرژی واقعی کل صنعت کشور را طی دوره زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. در ادامه از نتایج تجزیه چند دوره‌ای زنجیره‌ای کل صنعت در تفسیر کارایی انرژی صنایع نه گانه استفاده خواهد شد.

جدول ۲. تجزیه شدت انرژی کل یک دوره‌ای و چند دوره‌ای در کل صنعت

تحلیل یک دوره‌ای (سال پایه، بلافاصله سال قبلی است)			تحلیل چند دوره‌ای (سال پایه ۱۳۷۴)		
سال	شدت انرژی کل	اثر شدتی	اثر ساختاری	شدت انرژی کل	اثر شدتی
۱۳۷۵	۱.۰۰۲۹	۰.۹۵۹۶	۱.۰۴۵۱	۱.۰۰۲۹	۰.۹۵۹۶
۱۳۷۶	۰.۹۴۸۷	۰.۹۷۲۴	۰.۹۷۵۷	۰.۹۵۱۵	۰.۹۳۳۱
۱۳۷۷	۱.۱۰۱۶	۱.۰۸۴۳	۱.۰۱۵۹	۱.۰۴۸۱	۱.۰۱۱۸
۱۳۷۸	۱.۰۳۱۷	۱.۰۳۸۶	۰.۹۹۳۴	۱.۰۸۱۳	۱.۰۵۰۸
۱۳۷۹	۰.۹۵۹۸	۰.۹۴۶۸	۱.۰۱۳۸	۱.۰۳۷۹	۰.۹۹۴۸
۱۳۸۰	۰.۹۳۳۳	۰.۹۲۲۳	۱.۰۱۱۸	۰.۹۶۸۶	۰.۹۱۷۶
۱۳۸۱	۰.۹۲۸۸	۰.۹۵۶۵	۰.۹۷۱۰	۰.۸۹۹۶	۰.۸۷۷۷
۱۳۸۲	۰.۹۳۸۹	۰.۹۱۷۱	۱.۰۲۳۸	۰.۸۴۴۷	۰.۸۰۵۰
۱۳۸۳	۱.۰۲۷۶	۱.۰۴۰۱	۰.۹۸۸۰	۰.۸۶۸	۰.۸۳۷۳
۱۳۸۴	۰.۹۲۷۶	۰.۹۶۲۰	۰.۹۶۴۲	۰.۸۰۵۲	۰.۸۰۵۴
۱۳۸۵	۰.۸۶۷۰	۰.۹۴۳۶	۰.۹۱۸۸	۰.۶۹۸۱	۰.۷۶۰۰
۱۳۸۶	۱.۲۵۸۷	۱.۰۵۱۴	۱.۱۹۷۱	۰.۸۷۸۶	۰.۷۹۹۱

منبع: محاسبات محقق

تحلیل اسنادی در شاخص دیویژیا

با استفاده از تحلیل اسنادی، می‌توان در تحلیل تغییرات درصدی تخمین زده شده در شدت انرژی واقعی صنایع کشور و یا در شدت انرژی ساختاری صنایع کشور یک گام به جلو برداشت. نتایج جزئیات هر بخش در روش تحلیل اسنادی، اطلاعات اضافی در مورد سهم تغییرات شدت انرژی واقعی و در نتیجه کارایی انرژی هر بخش طی دوره مورد مطالعه را فراهم می‌نماید.

در این بخش به تحلیل اسنادی در شاخص دیویژیا، در حالت‌های یک دوره‌ای و چند دوره‌ای زنجیره‌ای در صنایع ۹ گانه با استفاده از روش شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا پرداخته شده است.

تحلیل اسنادی یک دوره‌ای در شاخص دیویژیا برای کل صنایع نه گانه

نتایج تحلیل اسنادی یک دوره‌ای شاخص شدت انرژی واقعی که با استفاده از روش شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا و معادلات (۱۹) و (۲۰) مطرح شد، در جدول (۳) نشان داده شده است. ستونی که با عنوان درصد تغییرات شدت انرژی واقعی بعد از سال قبلی مشخص شده، درصد تغییر شدت انرژی واقعی بلافاصله بعد از سال قبلی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، روش تحلیل اسنادی این تغییر را به‌طور مقداری به ۹ بخش صنعتی تخصیص می‌دهد. حاصل جمع آنها دقیقاً برابر تغییر درصدی شدت انرژی واقعی بخش‌هاست. آخرین ردیف جدول (۳)، میانگین سالیانه درصد تغییرات را نشان می‌دهد که در طی دوره ۱۳۸۶-۱۳۷۴ کاهش سالیانه ۱.۶۱ درصد را در شدت انرژی واقعی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که صنایع تولید فلزات اساسی بیشترین سهم را در این کاهش دارد.

جدول ۳. تحلیل اسنادی یک دوره‌ای در شاخص دیویژیا برای کل صنایع نه گانه

سال	درصد تغییرات شدت انرژی واقعی بعد از سال قبلی و دخانیات	صنایع مواد غذایی، پوشاک و آشامیدنی	صنایع نساجی، پوشاک و چرم	صنایع چوب و محصولات چوبی	صنایع کاغذ، مقوا و چاپ و انتشار	صنایع شیمیایی	صنایع کانی غیرفلزی	صنایع تولید فلزات اساسی	صنایع ماشین آلات، تجهیزات	صنایع متفرقه
۱۳۷۵	-۵.۶۷۹۸	۰.۰۳۵۱	-۰.۱۸۲۳	-۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۱۱	۰.۰۸۵۰	-۰.۳۴۴۳	-۵.۲۴۳۵	-۰.۰۳۰۴	۰.۰۰۰۰
۱۳۷۶	-۷.۵۱۲۵	۰.۰۵۷۱	-۰.۱۱۶۸	-۰.۰۰۰۲	۰.۰۱۳۱	۰.۰۱۷۴	۰.۹۰۲۵	-۸.۴۹۶۳	۰.۱۱۰۷	۰.۰۰۰۰
۱۳۷۷	۸.۸۶۳۰	۰.۲۱۷۹	۰.۰۵۷۶	۰.۰۰۵۸	۰.۰۶۹۵	۰.۱۵۷۷	-۰.۰۰۸۱	۸.۳۷۵۴	۰.۰۶۰۲	۰.۰۰۰۰
۱۳۷۸	۶.۴۴۳۹	-۰.۱۹۴۰	۰.۰۲۲۵	-۰.۰۰۰۵	-۰.۰۲۶۷	۰.۱۵۱۶	۰.۵۴۹۶	۵۸.۰۷۴	۰.۱۳۸۵	۰.۰۰۰۰
۱۳۷۹	-۸.۰۱۹۳	-۰.۰۸۹۳	-۰.۰۴۴۹	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۰۹	۰.۲۵۱۸	-۱.۰۹۳۴	-۷.۰۸۸۲	۰.۰۴۲۶	۰.۰۰۰۰
۱۳۸۰	-۴.۴۲۹۰	-۰.۰۷۰۵	-۰.۰۱۶۴	-۰.۰۰۱۶	-۰.۰۱۷۰	-۰.۰۶۲۹۰	-۱.۴۷۵۳	-۱.۹۶۵۸	-۰.۲۵۳۵	۰.۰۰۰۰
۱۳۸۱	-۵.۷۵۹۹	-۰.۰۶۹۸	-۰.۰۴۰۳۰	-۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۴۶	۰.۰۴۱۰	-۰.۰۵۲۷	-۵.۴۷۵۰	۰.۱۹۵۲	۰.۰۰۰۰
۱۳۸۲	-۹.۶۹۷۴	-۰.۰۵۵۱	-۰.۰۷۵۶	-۰.۰۰۰۲	-۰.۰۳۵۸	-۰.۱۷۱۳	-۰.۰۶۰۹۲	-۸.۷۱۵۳	-۰.۰۳۳۰	۰.۰۰۰۰
۱۳۸۳	۸.۴۸۶۵	-۰.۰۸۶۹	-۰.۱۱۶۵	-۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۲۶	۰.۲۳۳۰	-۰.۱۸۸۸	۸.۷۰۸۳	-۰.۰۶۴۱	۰.۰۰۰۰
۱۳۸۴	-۷.۵۲۲۸	۰.۱۱۷۸	-۰.۱۴۴۱	۰.۰۰۰۰	-۰.۰۰۱۹	-۰.۰۰۹۵	-۰.۰۶۱۸	-۷.۶۹۸۷	۰.۳۶۰۷	۰.۰۰۰۰
۱۳۸۵	-۳.۳۲۶۸	-۰.۱۲۴۴	-۰.۰۴۴۹	۰.۰۰۰۷	-۰.۰۱۲۱	۰.۷۲۹۴	-۱.۹۹۶۴	-۱.۱۳۳۱	-۰.۷۴۶۰	۰.۰۰۰۰
۱۳۸۶	۴.۷۷۵۰	-۰.۰۵۱۲	-۰.۰۴۸۱	-۰.۰۰۰۳	-۰.۰۱۰۳	۱.۲۷۶۷	۱.۴۰۱۳	۲.۴۳۸۸	-۰.۲۳۲۰	۰.۰۰۰۰
میانگین	-۱.۶۱	-۰.۰۳۱۷	-۰.۰۸۴۶	-۰.۰۰۰۳	-۰.۰۰۱۲	۰.۱۷۸۵	-۰.۲۴۵۹	-۱.۳۸۵۷	-۰.۰۳۸۲	۰.۰۰۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

تحلیل اسنادی چند دوره‌ای زنجیره‌ای در شاخص دیویژیا برای کل صنایع ۹ گانه

نتایج مشابهی نیز برای تحلیل اسنادی چند دوره‌ای در جدول (۴) خلاصه شده است. از آنجایی که سال ۱۳۷۴ پایه است، ستون تغییرات درصد انرژی واقعی ۱۳۷۴ به بعد، حاصل جمع تغییرات درصد تجمعی بخش‌هاست. در آخرین ردیف جدول (۴)، دیده می‌شود که بخش صنایع تولید فلزات اساسی بیش از نیمی از کاهش کل ۲۰۰۹٪ درصد در شاخص شدت انرژی واقعی کل را طی دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ را بر عهده دارد.

جدول ۴. تحلیل اسنادی چند دوره‌ای زنجیره‌ای در شاخص دیویژیا برای کل صنایع ۹ گانه

منبع: محاسبات محقق

سال	درصد تغییرات شدت انرژی بعد از ۱۳۷۴	صنایع غذایی، آشامیدنی و دخانیات	صنایع نساجی، پوشاک و چرم	صنایع چوب و محصولات چوبی	صنایع کاغذ، مقوا و انتشار	صنایع شیمیایی	صنایع کانی غیرفلزی	صنایع تولید فلزات اساسی	صنایع ماشین آلات، تجهیزات	صنایع متفرقه
۱۳۷۵	-۵۶۷۹۸	۰۰۳۵۱	-۰۱۸۲۳	-۰۰۰۰۵	۰۰۰۱۱	۰۰۸۵۰	-۰۳۴۴۳	-۵۲۴۳۵	-۰۰۳۰۴	۰۰۰۰۰
۱۳۷۶	-۱۲۸۸۹۰	۰۰۸۹۹	-۰۲۹۴۴	-۰۰۰۰۸	۰۰۱۳۷	۰۱۰۱۷	۰۵۲۱۸	-۱۳۳۹۶۸	۰۰۷۵۸	۰۰۰۰۰
۱۳۷۷	-۴۶۱۸۷	۰۲۹۳۲	-۰۲۴۰۷	-۰۰۰۴۶	۰۰۷۸۶	۰۲۴۸۸	۰۴۴۶۲	-۵۵۸۱۵	۰۱۳۲۰	۰۰۰۰۰
۱۳۷۸	۱۹۰۱۲	۰۰۹۶۹	-۰۳۱۷۹	-۰۰۰۰۴	۰۰۵۱۶	۰۴۰۲۲	۱۰۰۲۲	۰۲۹۴۴	۰۲۷۲۲	۰۰۰۰۰
۱۳۷۹	-۶۵۲۵۴	۰۰۰۳۱	-۰۲۶۵۱	-۰۰۰۰۹	۰۰۵۲۵	۰۶۶۶۸	-۰۱۴۶۸	-۷۱۵۳۸	۰۳۱۶۹	-۰۰۰۰۱
۱۳۸۰	-۱۰۹۳۱۶	-۰۰۶۷۰	-۰۲۸۱۴	-۰۰۰۰۶	۰۰۳۵۶	۰۰۴۱۰	-۱۶۱۴۴	-۹۱۰۹۵	۰۰۶۴۸	-۰۰۰۰۱
۱۳۸۱	-۱۶۲۱۶۸	-۰۱۳۱۰	-۰۶۵۱۲	-۰۰۰۱۱	۰۰۳۹۹	۰۰۷۸۷	-۱۶۶۲۸	-۱۴۱۳۳۳	۰۲۴۳۹	۰۰۰۰۱
۱۳۸۲	-۲۴۷۲۸۲	-۰۱۷۹۴	-۰۷۱۷۵	-۰۰۰۲۸	۰۰۰۸۵	۰۰۷۱۶	-۲۱۹۷۵	-۲۱۷۸۲۶	۰۲۱۴۹	-۰۰۰۰۱
۱۳۸۳	-۱۷۸۹۶۹	-۰۲۴۹۳	-۰۸۱۱۳	-۰۰۰۳۹	۰۰۱۰۶	۰۱۱۵۹	-۲۳۴۹۵	-۱۴۷۷۲۷	۰۱۶۳۳	-۰۰۰۰۱
۱۳۸۴	-۲۴۱۹۵۴	-۰۱۵۰۷	-۰۹۳۱۹	-۰۰۰۳۸	۰۰۰۹۰	۰۰۳۶۴	-۲۴۰۱۲	-۲۱۳۱۸۵	۰۴۶۵۳	-۰۰۰۰۱
۱۳۸۵	-۲۶۸۷۵۰	-۰۲۵۰۸	-۰۹۶۸۱	-۰۰۰۳۲	-۰۰۰۰۷	۰۶۲۳۹	-۴۰۰۹۲	-۲۲۱۳۱۱	-۰۱۳۵۶	-۰۰۰۰۱
۱۳۸۶	-۲۰۰۰۹۸	-۰۲۸۹۸	-۱۰۰۴۶	-۰۰۰۳۴	-۰۰۰۸۵	۲۵۹۲۲	-۳۵۹۴۳	-۱۷۴۷۷۷	-۰۳۱۱۹	-۰۰۰۰۱

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

از آنجا که پرسش اصلی پژوهش در مورد تخصیص اعتبارات جهت افزایش کارایی انرژی و سرمایه‌گذاری از دیدگاه توسعه بخشی صنعت است، لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحلیل اسنادی یک دوره‌ای و چند دوره‌ای، دو سری اولویت‌بندی بر مبنای شاخص کارایی انرژی قابل ارائه است. اول اولویت‌بندی تخصیص اعتبارات

سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت در صنایع ۹ گانه جهت افزایش کارایی انرژی و کاهش شدت انرژی در این صنایع که در این مورد اولویت با صنایعی است که سهم کمی در درصد تغییرات کارایی انرژی دارند. اولویت تخصیص اعتبارات جهت افزایش کارایی انرژی به این معنی است که برای بهینه‌سازی در مصرف سوخت یا در جهت کاهش شدت انرژی و افزایش کارایی انرژی با ساختار فعلی اقتصاد، صنایعی باید اعتبار دریافت کنند که بیشترین شدت انرژی را دارند، چون در این صنایع برای تولید مقدار معینی ارزش افزوده، انرژی زیادی مصرف می‌شود. به عبارتی صنعتی که شدت انرژی بیشتری دارد برای بهینه‌سازی در جهت کاهش شدت انرژی اعتبار بیشتری دریافت می‌کند و اعتبار تخصیص داده شده موجب بهبود بازده تجهیزات و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود که به موجب آن از انتشار گازهای گلخانه‌ای که اثرات مخربی بر محیط‌زیست دارد، جلوگیری می‌شود. اولویت‌بندی ارائه شده از این دیدگاه در صنایع شیمیایی، صنایع متفرقه، صنایع چوب و محصولات چوبی و صنایع کاغذ، مقوا، چاپ و انتشار، بیشترین اولویت تخصیص اعتبارات از دیدگاه افزایش کارایی انرژی و کاهش شدت انرژی را دارند.

نوع دوم اولویت‌بندی، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری از دیدگاه توسعه بخشی صنعت می‌باشد. قابل ذکر است که در تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری، شاخص‌هایی از جمله سودآوری و رقابت‌پذیری، نسبت سرمایه به نیروی کار و... نیز مورد توجه قرار می‌گیرند اما آنچه در اینجا مبنای تعیین اولویت سرمایه‌گذاری قرار گرفته، صرفه‌جویی در مصرف انرژی است و این اولویت‌بندی تنها از دیدگاه صرفه‌جویی در مصرف انرژی ارائه شده و سایر موارد و شاخص‌ها لحاظ نشده است. منظور از اولویت سرمایه‌گذاری از دیدگاه توسعه بخشی صنعت این است که برای رسیدن به توسعه اقتصادی، باید در صنایعی سرمایه‌گذاری انجام شود که بیشترین کارایی انرژی و کمترین شدت انرژی را دارند یا به عبارت دیگر مصرف انرژی کمتری به ازای هر واحد ارزش افزوده دارند، چون سرمایه‌گذاری در این صنایع، موجب پیشرفت هرچه سریعتر اقتصاد می‌شود. به عبارتی صنایعی برای گسترش باید اعتبار بیشتری دریافت کنند که شدت انرژی کمتری دارند، در نتیجه این سرمایه‌گذاری ساختار فعلی اقتصاد دچار تغییر و تحول می‌شود. اولویت‌بندی ارائه شده از این دیدگاه در صنایع تولید فلزات اساسی و صنایع کانی

غیرفلزی، بیشترین اولویت سرمایه گذاری از دیدگاه توسعه بخشی صنعت را دارند و بقیه صنایع در اولویت های بعدی قرار می گیرند.

پیشنهادهای اجرایی

با توجه به اینکه درصد تغییرات شدت انرژی نشان دهنده کارایی انرژی است، لذا در صنایع شیمیایی، صنایع متفرقه، صنایع چوب و محصولات چوبی و صنایع کاغذ، مقوا، چاپ و انتشار که درصد تغییرات شدت انرژی نزدیک به صفر و بالاتر می باشد، توصیه می شود با بهبود بازده تجهیزات، ممیزی انرژی، جانشینی حامل های انرژی و استفاده از ابزار قیمتی این اثر را کاهش داده و از این طریق سبب صرفه جویی در مصرف انرژی و افزایش کارایی انرژی شده و با گسترش تولیدات صنایع فلزات اساسی و صنایع کانی غیرفلزی، موجبات رشد سریع تر صنعت را فراهم آورد. قابل ذکر است که این پیشنهادات زمانی قابل اجرا هستند که ماهیت صنعت اجازه افزایش کارایی را بدهد.

منابع

- آخانی زهرا (۱۳۷۸)، برآورد تقاضای سوخت در بخش حمل و نقل ایران (۱۳۷۴-۱۳۵۶)، مجله برنامه و بودجه شماره ۳۹-۳۸، صفحات ۱۲۹ تا ۱۵۴.
- بهره وری و شدت انرژی در ایران و جهان. اداره بررسی ها و سیاست های اقتصادی بانک مرکزی، دایره نیرو، اردیبهشت ۱۳۸۹.
- تجلی هدیه (۱۳۹۰)، تجزیه شدت انرژی بری در صنایع کارخانه های ایران، فصل نامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۸، صفحات ۲۵ تا ۵۸.
- ترازنامه انرژی کشور (۱۳۹۳)، تهران، وزارت نیرو.
- ترازنامه هیدروکربوری کشور (۱۳۹۳)، مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی، وزارت نفت.
- حیدری، ابراهیم و حسین صادقی (۱۳۸۳)، شناخت و بررسی رفتار صرفه جویی انرژی در صنایع ایران، فصل نامه پژوهش های اقتصادی ایران، شماره ۱۱ و ۱۲، صفحات ۳۱-۵۵.

دهقان، زهرا (۱۳۸۵)، تجزیه شدت انرژی در صنایع کشور طی دوره زمانی (۱۳۸۲-۱۳۷۴)، فصل نامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال دهم، شماره ۳۵، تابستان ۱۳۸۷، صفحات ۷۹-۱۱۰.

سیف اله، مراد (۱۳۸۷)، شدت انرژی: عوامل تأثیرگذار و تخمین یک تابع پیشنهادی، فصل نامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال پنجم، شماره ۱۸، صفحات ۲۰۱-۱۷۷.

فطرس، محمد حسن (۱۳۸۹)، بررسی تأثیر شدت انرژی و گسترش شهرنشینی بر تخریب محیط زیست در ایران (تحلیل هم‌جمعی) - محیط‌شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۶۰، زمستان ۹۰، صفحه ۱۳-۲۲.

قاسمی نژاد، محمد مهدی (۱۳۸۴)، تحلیل شدت انرژی بخش حمل و نقل ریلی نسبت به حمل و نقل جاده‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد علوم اقتصادی دانشگاه اصفهان.

قوانین برنامه سوم و چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران. صفدری، مهدی (۱۳۸۲)، تحلیلی از روند شدت انرژی در کشورهای OECD- فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۲۸، ۹۵-۱۱۸.

گلی، زینت (۱۳۸۹)، بررسی شدت انرژی کشور و تجزیه آن با استفاده از شاخص ایده‌آل فیشر در ایران، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال هجدهم، شماره ۵۴، ص ۳۵ تا ۵۴.

نیلی، مسعود (۱۳۸۲)، خلاصه مطالعات طرح استراتژی توسعه صنعتی کشور، چاپ دوم، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.

هژیر کیانی، کامبیز-امینی علیرضا (۱۳۷۵)، شاخص دیویژیا و کاربرد آن در تابع تولید، بررسی مقدار مصرف نهاده کود در کشت گندم آبی در استان سمنان، نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه، شماره ۱۵، صفحات ۳۵ تا ۵۸.

مرکز آمار ایران، آمار کارگاه‌های بزرگ صنعتی کشور، سال‌های مختلف.

یوسفی سیاوش (۱۳۷۸)، بررسی تحولات مصرف انرژی کشور در برنامه‌های اول و دوم توسعه، برنامه و بودجه، شماره ۴۶ و ۴۷، ص ۱۹۴ تا ۱۵۵.

- Ang, B.W. Bin, Su, (2011), Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments, *Energy Economics* 34,177-188.
- Ang, B.W.Choi Ki Hong, (2011), Attribution of changes in Divisia real energy intensity index - An extension to index decomposition analysis, *Energy economics* 29,609-635.
- Ang B.W, Mu A.R, Zhou P,(2010), "Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends ",*Energy Economics* 32 , 1209–1219.
- Ang ,B.W. Liua, F.L. Chung, Hyun-Sik, (2004), A generalized Fisher index approach to energy decomposition, *Energy Economics* 26,757-763.
- Ang,B.W,Choi.Ki.Hong, (2003) , Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference, *Energy economics* 25,615-624.
- Ang,B.W,(1994), Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?, *Energy policy* 32 ,1131-1139.
- Ang, B.W, Lee, S.Y, (1994), Decomposition of industrial energy consumption: Some methodological and application issue, *Energy Economics* 16 83-92.
- Ang, B.W, Liu, F.L, Chew, E.P, 2003, Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis, *Energy Policy* 31 (14), 1561–1566.
- Alc'antara,V. Duarte, R, (2004), "Comparison of Energy Intensities in European Union Countries. Results of A Structural Decomposition Analysis", *Energy Policy* 32, 177–189.
- Bhattacharyya, S. Ussanarassamee, A,(2002), "Changes in Energy Intensities of Thai Industry between (1981) and (2000): Decomposition Analysis", *Energy Policy* 30, 995–1002.
- Boyd, G.A, Roop, J.M, 2004, A note on the Fisher ideal index decomposition for structural change in energy intensity, *The Energy Journal* 25 (1), 87–101.
- Choi, K.H , Ang, B.W, (2003), Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference, *Energy Economics* 25, 615–624.
- Diewert W.E, Nakamura A.O,(2007),The measurmnt of productivity for nations, , *Handbook of Econometrics*, 6A,chapter66.
- Diewert, W.E, (1976), Exact and superlative index numbers, *J Econometrics* 4,114–145.

Gardner,Elkhafif,A.T, (1993), Understanding Industrial Energy Use:Structural and Energy Intensity Change in Ontario, Energy Economics 20,29-41.

Huang, (1993), Industrial Energy Use and Structural Change:A Csase Study of the Peoples Republic of China, Energy Economics 15, 131-136.

Kounetas, Konstantinos et al,(2013), Is energy intensity important for the productivity growth of EET adopters?, Energy economics 34, 930-941.

Liua,Yaobin, Xieb,Yichun, (2013), Asymmetric adjustment of the dynamic relationship between energy intensity and urbanization in China, Energy economics 36,43-54.

Ma C.B, Stern D.I,(2008), "China's Changing Energy Intensity Trend: A Decomposition Analysis", Energy Economics 30, 1037-1053.

Tugcu Can Tansel et al,(2012), Renewable and non-renewable energy consumption and economic growthrelationship revisited: Evidence from G7 countries, Energy economics 34 ,1942-1950.

Unander,F, (2007), "Decomposition of Manufacturing Energy-use in IEA Countries", Applied Energy 84, 771-780.

Vartia,Yrj,(1976), The ideal log-change index number.Rev.Econ.Stat 58,223-228.

Weber ,(2009), "Measuring Structural Change and Energy Use: Decomposition of the US Economy from (1997 to 2002)", Energy Policy 37, 1561-1570.

Attribution Analysis in Divisia Real Energy Intensity Index (Application Model: Iranian Manufacturing Industry)

Alimorad Sharifi

Associate Professor of Energy Economics in Isfahan University, asharifi@istt.org

Hamed Huri Jafari

Faculty Member of IIES, hhjafari@gmail.com

Rahim Soltanian¹

M.A Graduate in Economics in Isfahan University, ecsoltani@gmail.com

Received: 2017/05/10 Accepted: 2017/11/21

Abstract

In this paper we introduce an approach which is referred to as the attribution analysis of index to the IDA and energy studies. This approach extends the methodology of IDA by quantifying the contribution of each individual attribute to the overall percent change of factors, such as real energy intensity. Our study demonstrates that this method can be used to assess and monitor changes of industrial energy efficiency in greater depth than what has been reported in the literature. We can also apply the technique to analyze the structural change index in a symmetrical way.

In this study we apply the proposed method to the real energy intensity index in the multiplicative Logarithmic Mean Divisia Index (M-LMDI) approach, a major IDA technique. Since the M-LMDI is based on geometric mean type indices and chain computation, we need an appropriate method to cope with the difficulties that arise.

We use a standard model of two factors such that the aggregate energy intensity index is the product of the real energy intensity index and the structural change index. The proposed attribution analysis, however, is not restricted to the number of factors. It can be similarly employed in other IDA studies, such as energy-related carbon dioxide emissions where the number of factors is often more than two. We can use this approach in all cases where factors are expressed as either geometric mean or arithmetic mean indices.

This study presents a numerical illustration of the proposed method using the energy consumption and real value added data of the Iranian manufacturing industry.

JEL Classification: Q43, L60, C23

Keywords: Energy Decomposition Analysis, Energy Intensity, Structural Effect, Pure Intensity Effect, Divisia Index, Attribution Analysis.

1. Corresponding Author