اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
فصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ پژوهشی)، سال چهاردهم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۳۹۸، ۱۲۵–۱۴۸

تجزیهٔ مصرف انرژی در بخش‌های صنعت و حمل‌ونقل (رهیافت تلفیق شاخص LMDI و شاخص Decoupling)

مهری هاشمی*

حمید آماده**

چکیده

مطالعه حاضر با بکارگیری شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمیِ جمعیِ زنجیره‌ای به تجزیه عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی در قالب آثار شدت انرژی، ساختاری و فعالیت در دو بخش صنعت و حمل‌ونقل کشور طی دوره زمانی ۹۳-۱۳۸۵ (میلیون بشکه معادل نفت خام) پرداخته است. سپس با استفاده از شاخص جداسازی به تحلیل ارتباط بین رشد تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی در مجموع این دو بخش پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی طی این دوره در این دو بخش افزایش داشته و این دو بخش سه حالت عدم جداسازی، جداسازی ضعیف و جداسازی منفی قوی را تجربه کرده‌اند. اثر ساختاری در توضیح تغییرات مصرف انرژی و در توضیح روند جداسازی مصرف انرژی از رشد تولید ناخالص داخلی بیشترین سهم را دارد و این نتیجه مبین این نکته است که، استفاده از صنایع با انرژی‌بری بالا نسبت به عوامل موثر دیگر، سهم بیشتری در تغییر مصرف انرژی دارد.

کلیدواژه‌ها: شاخص LMDI، اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، شاخص جداسازی
طبقه‌بندی JEL: N75, C43, L91

---

* کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشکدهٔ اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران (نویسندهٔ مسئول)، hashemi 1991m@ gmail.com

** دانشیار دانشکدهٔ اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی، amadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰٤، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

Copyright © 2018, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose

۱. مقدمه

انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تولید، از نظر اقتصادی دارای اثرات قابل توجهی می‌باشد اما دسترسی ارزان به انرژی در همه بخش‌ها به‌ویژه صنعت و حمل‌ونقل موجب عدم استفاده بهینه از این نهاده تولید شده است بطوریکه، بر اساس آمار ارائه شده توسط ترازنامه انرژی ۱۳۹۳ بخش‌های حمل‌ونقل و صنعت، بعد از بخش خانگی بیشترین سهم را در مصرف نهایی انرژی دارند و افزایش مصرف انرژی در این بخش‌ها، در سال ۱۳۹۳ به ترتیب معادل ۹.۸، ٦.۸، درصد نسبت به سال گذشته بوده و نسبت به سایر بخش‌ها رقم بالایی است (ترازنامه انرژی کشور ۱۳۹۳، ص ۲). این افزایش چشمگیر در مصرف نهایی انرژی از یک سو، محدودیت منابع انرژی و انتشار آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی از سویی دیگر، موجب شده است تا ضرورت تداوم و شتاب در اقدامات بهینه‌سازی در عرضه و تقاضای انرژی بیش از پیش ضروری شاخته شده و استفاده بهینه از انرژی همواره به عنوان یک هدف مهم در توسعه اقتصادی مد نظر قرار گیرد. لازم به ذکر است که صنعت به عنوان یک بخش پیشرو در اقتصاد و حمل‌ونقل به عنوان یک بخش زیربنایی در توسعه، سهم شایان توجهی در ارزش‌افزوده دارند. بنابراین استفاده بهینه از انرژی به عنوان یک نهاده مهم تولید در این دو بخش از اهمیت بالایی برخوردار است، بگونه‌ای که بتوان با مصرف بهینه انرژی، بیشترین بازدهی را ایجاد کرد. ناگفته نماند که سهم بالای بخش حمل‌ونقل در انتشار آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، این اهمیت را دو چندان می‌کند. رسیدن به الگوی بهینه مصرف انرژی، نیازمند آگاهی از تاثیرات این دو بخش در میزان مصرف انرژی است. بر همین اساس شناخت عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی ضروری می‌باشد که این امر مستلزم تجزیه مصرف انرژی به عوامل مختلف موثر بر آن است. از طرفی انرژی به عنوان یک نیروی محرکه در بیشتر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و مشاهدات درازمدت نشان می‌دهد که توسعه اقتصادی و مصرف انرژی در کنار رشد مجموعه اقتصاد تحقق می‌یابد و رابطه تنگاتنگی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی وجود دارد، اما ممکن است در مرحله خاصی روند معکوس اتفاق افتاده وکاهش مصرف انرژی در طول رشد اقتصادی (یا رشد تولید ناخالص داخلی) بدست آید که مشخص نمودن بازه‌ای که این روند معکوس ایجاد می‌شود حائز اهمیت است چرا که بواسطه آن می‌توان دلایل و سپس راه‌حل‌های سیاستی مناسبی را ارائه نمود و این امر مستلزم جداسازی رشد تولید ناخالص داخلی از مصرف انرژی است که با

استفاده از شاخص جداسازی (Decoupling Index) امکان‌پذیر است. از اینرو در مطالعه حاضر ابتدا سهم عوامل مختلف در تغییرات مصرف انرژی با استفاده از شاخص دیویزیای میانگین لگاریتمی (Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI) مشخص شده، سپس با در نظر گرفتنِ عوامل موثرِ حاصل از تجزیه در این بخش، رابطه بین مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی برای مجموع دو بخش صنعت و حمل‌ونقل در سطح اقتصاد ایران، با استفاده شاخص جداسازی تجریه شده و سیاست‌های مناسبی در جهت مصرف بهینه انرژی ارائه می‌شود. پژوهش حاضر با محوریت دو پرسش اساسی ارائه شده است .اول آن که، کدام عامل بیشترین نقش را در تغییرات مصرف انرژی بخش صنعت و حمل‌ونقل دارد. دوم، در چه مقطع زمانی مصرف انرژی روندی متمایز از رشد تولید ناخالص داخلی در مجموع این دو بخش را پیموده است. بنابراین، سازماندهی مقاله به این ترتیب است که در ادامه و در بخش دوم، مبانی نظری و در بخش سوم، پیشینه پژوهش بررسی شده است و روش‌شناسی پژوهش در خصوص تحلیل تجزیه عوامل موثر برمصرف انرژی با استفاده از روش شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی با تکنیک جمعیِ زنجیره‌ای و همچنین جداسازی مصرف انرژی از رشد تولید ناخالص داخلی با استفاده از شاخص جداسازی در بخش چهارم آورده شده است. در بخش پنجم، نتایج حاصل از بکارگیری روش پژوهش ارائه شده است. در پایان و در بخش ششم پیشنهادهای سیاستی با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه ارائه شده است.

۲. مبانی نظری

با توجه به محدودیت منابع انرژی و اهمیتی که انرژی در روند رشد اقتصادی کشور دارد، موجب شده است که استفاده بهینه از آن به عنوان یک هدف مهم در توسعهٔ اقتصادی مد نظر قرار بگیرد. بر همین اساس شناخت عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی ضروری می‌باشد که این امر مستلزم تجزیه مصرف انرژی به عوامل مختلفِ موثر بر تغییراتِ مصرف انرژی است. از طرفی انرژی به عنوان یک نیروی محرکه در بیشتر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و از آنجا که محور اصلی فرایند رشد اقتصادی، تولید ناخالص داخلی است، انرژی نقش موثری در رشد و توسعهٔ اقتصادی ایفا می‌کند. تحقیق حاضر عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی را بر اساس سهم هر یک از آن‌ها

تجزیه کرده، سپس از همین عوامل در توضیح روند تغییرات تولید ناخالص داخلی در کنار تغییرات مصرف انرژی —به عنوان نیروی محرکهٔ رشد اقتصادی– استفاده می‌کند.

۱.۲ تجزیه مصرف انرژی

از اوایل دهه ۱۹۸۰، برای ارزیابی و بررسی سیاست‌های انرژی و کمی کردن اثر تغییرات ساختاری، شدت انرژی و تغییر در حجم فعالیتِ بخش‌هایِ مختلفِ اقتصادی، از روش‌های تجزیه یا مجزاسازی به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. الگوی تجزیه جنبه ریاضی و محاسباتی داشته و به طور گسترده‌ای در تحلیل‌های عددی، برای محاسبه و تفکیک اجزاء و عوامل تغییر در یک متغیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس با روش‌های جمع‌پذیر یا ضرب‌پذیرِ خود، اجزا و عناصر تغییر در مصرف انرژی ار تفکیک کرده و به استخراجِ اثرات هر یک می‌پردازد. این روش، به تجزیهٔ آثار عواملِ موثر بر مصرف نهایی انرژی اشاره دارد و در مطالعات اقتصاد انرژی حائز اهمیت فراوان است (باصری و همکاران ۱۳۸۹، ص ۱۱۷). بر اساس این روش، تغییر کل مصرف انرژی در بخش یا بخش‌های مورد مطالعه به مجموع سه اثر ساختاری، اثر فعالیت یا تولیدی و اثر شدت انرژی تجزیه می‌شود. به طور کلی در بررسی موضوع تجزیه و برای تحلیلِ عواملِ موثر بر مصرف انرژی دو رویکرد متفاوت، تحلیل تجزیه ساختاری (Structural Decomposition Analysis, SDA) و تحلیل تجزیه شاخص (Decomposition Analysi Index, ADI) به کار گرفته می‌شود. تحلیل تجزیه ساختاری (SDA): برمبنای جداول داده–ستانده (Inpout-outpout) بوده و با استفاده از اطلاعاتی مانند ضرایب داده–ستانده و تقاضای نهایی ساخته می‌شود و به دلیل اینکه جدول داده–ستانده هر ساله در بسیاری از کشورها تهیه نمی‌شود، بنابراین در کشورهایی که این جدول برای دوره‌های نزدیک تشکیل نمی‌شود، قابل استفاده نمی‌باشد. تحلیل تجزیه شاخص (IDA): با تعریف یک تابع تعیین‌کننده که تابعی از n عامل می‌باشد، شروع می‌شود. سپس، به تجزیه این تابع به n عاملِ مزبور با استفاده از فرم‌های مختلف جمعی، ضربی و یا هر دو می‌پردازد. این روش برای مطالعات مختلف حوزه انرژی شامل عرضه و تقاضای انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با انرژی، جریان منابع، کارایی مصرف انرژی و نظارت بر روند آن و مقایسه بین کشوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش برای اولین‌بار به منظور محاسبه و تجزیه شدت وضعیت انتشار دی اکسید کربن در سال ۱۹۹۱ مورد

استفاده قرار گرفته و پس از آن در سال ۱۹۹۸ به طور فنی در تجزیه و تحلیل شدت انرژی مورد استفاده قرار گرفت (لطفی ۱۳۹٦، ص ۱۱).

روش IDA یک روش ساده است که از داده‌های تجمیع شده در سطح بخشی و در سطح کلان استفاده می‌کند و به صورت فرم جمعی و ضربی بیان می‌شود. در حالی که روش‌های دیگر تنها در فرم جمعی امکان‌پذیر هستند. مزیت این روش آن است که به داده‌های کمتری نیاز دارد و برای هر سال می‌توان شاخص‌های مربوط را تهیه نمود. از همین رو در مطالعات، روش IDA نسبت به SDA به طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ang and Liu 2007). بعد از دهه ۱۹۷۰، اهمیتِ مطالعهٔ اثرِ تغییراتِ ساختاری بر مصرف انرژی، موجب شد روش استفاده از IDA توسعه یافته و مورد توجه سیاست‌گذاران در بخش‌های مختلف قرار گیرد. به طور کلی IDA در قالب دو روش کلی، بر پایه شاخص لاسپیر (Laspeyres Index) و شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی (LMDI) طبقه‌بندی می‌شود (پورعبادالهان کویچ و همکاران ۱۳۹٤، ص ۵۳).

دو روش لاسپیرز و دیویژیا در دو تکنیک جمعی (addittive Method) و ضربی (Multiplicative Method) قابلیت تجزیه مصرف انرژی را دارند که روش تحلیل تجزیه به صورت شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی (LMDI) به دلیل ویژگی‌هایی از قبیل استقلال زمانی، انعطاف‌پذیریِ محاسباتی و امکان محاسبه مقادیر منفی و صفر از اولویت‌های محاسباتی و کاربردی برخوردار بوده، از اینرو آنگ (Ang 2004) آن را به عنوان بهترین روش محاسبه پیشنهاد کرده است. لذا در این مطالعه نیز از این شاخص استفاده شده است. این روش قادر است مصرف انرژی را به سه اثر شدت انرژی (Energy Intensity Effect)، اثر ساختاری (Structural Effect) و اثر فعالیت (Activity Effect) تجزیه نماید.

اثر شدت انرژی: شدت انرژی میزان مصرف انرژی به ازای هر واحد فعالیت (تولید یا ارزش افزوده) را نشان می‌دهد که معیار مناسبی در تعیین روند کارایی انرژی است و اثر شدت انرژی تغییرات مصرف انرژی به ازاء تغییر شدت انرژی را اندازه‌گیری می‌کند. اثر ساختاری: به تغییر در ساختارِ طبیعتِ محصولات تولیدی، ازنظر میزان انرژی‌بری در سطح بنگاه‌های تولیدی دلالت دارد. اثر فعالیت: یا اثر تولیدی نیز مربوط به تغییر در کل مصرف انرژی به واسطهٔ افزایش در تولید و حجم فعالیت‌ها می‌باشد (پورعبادالهان کویچ و همکاران ۱۳۹٤، ص ٥٤).

۲.۲ مصرف انرژی و رشد اقتصادی

از لحاظ نظری با توجه به اینکه انرژی یکی از عوامل تولید محسوب می‌گردد، مصرف انرژی به طور مستقیم بر روی رشد اقتصادی تاثیر گذار خواهد بود (مهرآرا و همکاران ۱۳۹۵). بنابراین امروزه بر خلاف گذشته تولید تابعی از نهاده نیروی کار، سرمایه و انرژی است.

$$Q = f(K, L, E)$$

در این رابطه Q محصول ناخالص داخلی، K نهاده سرمایه، L نهاده نیروی کار و E نهاده انرژی است که می‌تواند توسط حامل‌های انرژی که شامل نفت، گاز، برق، زغال‌سنگ و غیره است، تامین شود (مزینی و همکاران ۱۳۹٤، ص ۷۰). این رابطه نشان‌دهندهٔ وابستگیِ رشد اقتصادی به مصرف انرژی است. به این معنی که لازمه رشد اقتصادی مصرف انرژی بوده و عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی، قطعا بر تغییرات رشد اقتصادی نیز موثر خواهند بود. بنابراین یکی از سوالات اساسی که در این زمینه مطرح می‌شود این است که، در چه مقاطع زمانی روند رشد اقتصادی و مصرف انرژی متمایز است؟ عوامل موثر بر مصرف انرژی چه سهمی در روند رشد اقتصادی و تغییرات مصرف انرژی دارند؟

شاخص جداسازی، بهترین تکنیک برای توصیف وابستگیِ رشد اقتصادی به مصرف انرژی بوده و از آن برای کشف ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی استفاده می‌شود (Zhang & Wang 2013) . بر اساس این شاخص، می‌توان روند رشد اقتصادی و مصرف انرژی را، با استفاده از عوامل موثر بر مصرف انرژی، بررسی کرد.

مفهوم جداسازی در ابتدا توسط وُن (Von 1989) معرفی شد و ژانگ (Zhang 2000) برای اولین‌بار از این مفهوم برای کشف ارتباط بین، انتشار کربن دی اکسید و رشد اقتصادی در کشور چین، استفاده کرد. سپس این مفهوم در سال ۲۰۰۲ توسط سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (Organization for Economic Co-operation and Development 2002) به عنوان یک شاخص معرفی شد. جاکنیز(Juknys 2000) در سال ۲۰۰۳ جداسازی اولیه و جداسازی ثانویه را معرفی کرد. منظور از جداسازی اولیه، جداسازی مصرف منابع طبیعی از رشد اقتصادی و منظور از جداسازی ثانویه، جداسازی آلودگی زیست‌محیطی از مصرف منابع طبیعی است. و اگر این دو نوع جداسازی همزمان اتفاق بیافتد، گفته می‌شود جداسازی دوگانه اتفاق افتاده است. بر اساس نظریه جداسازی که جاکنیز (۲۰۰۳) ارائه داد،

تاپیو (Tapio ۲۰۰۵) در سال ۲۰۰۵ شاخص جداسازی تاپیو را در سه حالت تعریف کرد. این سه حالت شامل: عدم جداسازی، جداسازی و جداسازی منفی است. سپس تاپیو این سه حالت را به هشت حالت جزئی‌تر تفکیک کرد (Dong et al 2016) که در جداول (۱) و (۲) تحقیق حاضر، این هشت حالت همراه با توضیحات هر حالت آورده شده است.

در حال حاضر دو نوع شاخص جداسازی برای کشف ارتباط بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از این شاخص‌ها، شاخص جداسازی تاپیو است و به لحاظ فنی شاخص جداسازی تاپیو نشان دهنده میزان مصرف انرژی در مقایسه با تغییراتGDP است. یعنی اگر یک درصد GDP تغییر کند، مصرف انرژی چند درصد تغییر می‌کند؟

اگر مقدار این شاخص برابر با واحد باشد به معنی همگام بودن تغییر مصرف انرژی و تغییر تولید ناخالص داخلی است، اگر مقدار این شاخص کوچک‌تر از یک باشد، گویای این واقعیت است که رشد مصرف انرژی آهسته‌تر از رشد تولید ناخالص داخلی بوده و به طور کلی نشان‌دهنده‌ی جداسازی است و بزرگ‌تر از یک بودن این شاخص به این معنی سریع‌تر بودن رشدِ مصرف انرژی نسبت به رشد تولید ناخالص داخلی است. علامت مثبت و منفی هم نشان‌دهنده افزایش یا کاهشِ رشدِ این دو متغیر است. نوع دوم شاخص جداسازی بر اساس روش IDA بدست می‌آید و همانطور که گفته شد، این شاخص می‌تواند بر اساس شاخص دیویژیا یا شاخص لاسپیرز باشد. از آنجاییکه در این حالت شاخص جداسازی تاپیو با روش تجزیهٔ IDA ترکیب می‌شود، بنابراین می‌تواند موثرتر عمل کرده و حالت‌های جداسازی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را بر اساس عواملِ موثر حاکم بر تغییرات مصرف انرژی، مشخص کند. لازم به ذکر است که مفهوم عامل جداسازی یک اصطلاح کلی است و به همه فعالیت‌هایی که بطور مستقیم و غیرِمستقیم باعث کاهش مصرف انرژی شوند، اشاره دارد. این عامل یا عوامل شامل: اقدامات افزایش بهره‌وری انرژی، حرکت به سمت فعالیت‌هایی با مصرف انرژی کمتر و تغییر الگوی مصرف انرژی و غیره است (علی‌زاده ۱۳۹۵، ص ۹).

۳. مطالعات تجربی

علی‌رغم اینکه مطالعات تجربی گسترده‌ای در زمینه تجزیه مصرف انرژی در داخل و خارج کشور صورت گرفته، اما مطالعات داخلی در زمینه جداسازی فقط در حوزه محیط زیست بوده

است. بنابراین در این مطالعه برای اولین‌بار شاخص جداسازی همراه با شاخص تجزیه، در حوزه انرژی استفاده شده است. در ادامه به جدیدترین و مهم‌ترین این مطالعات که به این پژوهش یاری رسانده‌اند اشاره می‌شود.

ژانگ و دا (Zhang and Da 2015) بر اساس شاخص LMDI، شاخص جداسازی را برای تجزیه و تحلیل، جداسازی بین انتشار CO_2 و رشد اقتصادی در چین معرفی کردند و به این نتیجه رسیدند که رشد اقتصادی عامل اصلی انتشار CO_2 طی دوره مورد مطالعه است. در مطالعات آن‌ها شدت انرژی و ساختار مصرف انرژی نقش مهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. علاوه براین کاهش شدت انرژی و تصفیه ساختار مصرف انرژی، تسهیل‌کننده اصلی جداسازی بین انتشار CO_2 و رشد اقتصادی در چین هستند. ژانگ و همکاران (Zhang et al 2015) با استفاده از شاخص جداسازی به جداسازی ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشور چین پرداخته و با استفاده از عوامل تاثیرگذار بر مصرف انرژی، حالت‌های جداسازی را برای سال‌های مورد مطالعهٔ چین تعیین کرده و در نهایت با تحلیل این حالت‌ها و دلایل بروز آن، توصیه‌های سیاستی مفیدی را ارائه داده‌اند. فریتاس و کانِکوا(Freitas and Kaneko 2011) ابتدا شاخص جداسازی را براساس عوامل تاثیرگذارِ بدست آمده از شاخص تجزیه تعریف کرده و سپس جداسازیِ بین نرخ رشد فعالیت‌های اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، در کشور برزیل را طی دوره ۲۰۰۹-۲۰۰٤ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بخش حمل‌ونقل و بخش صنعت، مصرف‌کنندگان اصلی منابع تجدیدپذیر بوده و سه عاملِ شدت انرژی، فعالیت‌های اقتصادی و فشار جمعیتی از علل اصلی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند.

رِن وهمکاران (Ren et al 2014) با استفاده از روش تاپیو به این نتیجه رسیده‌اند که صنایع تولیدیِ چین طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۹٦ چهار مرحله جداسازی را تجربه کرده است. جداسازی منفیِ قوی (۱۹۹-۱۹۹٦)، جداسازی ضعیف (۲۰۰۱-۲۰۰۰)، جداسازی منفی گسترده (۲۰۰٤-۲۰۰۲) و مجددا جداسازی ضعیف (۲۰۱۰-۲۰۰۵). وانگ و همکاران (Wang et al 2013) ترکیبی از شاخص جداسازی و روش LMDI را برای تجزیه و تحلیل سهمِ عواملِ موثر برمصرف برق در چین طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۱ مورد استفاده قرار داده‌اند و نتایج حاکی از آن است که اثر فعالیت اقتصادی بیشترین سهم را در افزایش مصرف برق، و اثر شدت انرژی

بیشترین سهم را در کاهش مصرف برق داشته است. علی‌زاده (۱۳۹۵) به توصیفِ عوامل موثر بر انتشار دی اکسید کربن در زیربخش‌های صنعتی ایران طی دوره زمانی ۹۱-۱۳۸٤، پرداخته و با استفاده از شاخص LMDI اثر تغییر هریک از این عوامل را بر تغییرات انتشار دی اکسید کربن مورد بررسی قرار داده است. در نهایت با استفاده از شاخص جداسازی به تحلیل ارتباط بین انتشار دی اکسید کربن و رشد اقتصادی در این زیربخش‌ها پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که، سه حالت: عدم جداسازی، جداسازی ضعیف و جداسازی قوی، طی سال‌هایِ مورد مطالعه وجود دارد. تغییرات اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر ضریب انتشار و اثر ترکیبِ سوخت‌های مصرفی به ترتیب بیشترین نقش را در افزایش انتشار دی اکسید کربن، و تغییرات اثر شدت انرژی، بیشترین سهم را در کاهش انتشار دی اکسید کربن دارد. همانطور که مشاهده می‌شود، با بکارگیری شاخص جداسازی، مشخص می‌شود که در چه مقاطع زمانی رشد اقتصادی روندی متمایز یا غیر متمایز با مصرف انرژی را طی کرده و سهم هر یک از عواملِ موثر بر تغییرات مصرف انرژی، در این روند به چه صورت بوده است.

طی سال‌های اخیر، مطالعات داخلی زیادی در زمینه تجزیه مصرف انرژی، همچنین مطالعاتی در خصوص رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی چه در سطح بخش‌های اقتصادی و چه در سطح زیربخش‌های صنعتی و صنایع انرژی‌بر، در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. از آنجاییکه تجزیه مصرف انرژی با استفاده از روش‌های اقتصاد سنجی امکان‌پذیر نیست مطالعات داخلی در رابطه با این موضوع، با استفاده از شاخص دیویژیا به تجزیه مصرف انرژی و عوامل موثر بر آن، در بعضی از بخش‌های اقتصادی پرداخته‌اند و هیچ یک تجزیه مصرف انرژی را برای دو بخش صنعت و حمل‌ونقل، به عنوان بخش‌های مهم اقتصادی که سهم قابل توجهی در مصرف انرژی و ایجاد ارزش‌افزوده دارند، به صورت همزمان و در قالب تجمیعِ نتایج، مورد مطالعه قرار نداده‌اند. در رابطه با بررسی روند مصرف انرژی و رشد اقتصادی نیز، هیچ یک از این مطالعات در راستایِ جداسازی رابطه این دو متغیر و بررسی روند این دو متغیر نبوده و فقط با استفاده از روش تودا و یاماموتو، علیت گرنجری بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است. لذا مطالعه حاضر از دو منظر نسبت به مطالعات قبلی متفاوت است: الف) عوامل موثر بر مصرف انرژی با استفاده از روشِ شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی، برای دو بخش اقتصادی صنعت و حمل‌ونقل و با بکارگیری تکنیک تجزیه جمعیِ زنجیره ای (سری زمانی) تجزیه شده، سپس

مشخص شده است که هر اثر چه نقشی در مصرف انرژی این دو بخش، در طول دوره مـورد مطالعه دارد. ب) با استفاده از شاخص جداسازی، رابطه بین رشـد تولیـد ناخـالص داخلـی و مصرف انرژی از نظر روند تغییر این دو متغیر نسبت به یکدیگر، مورد بررسی قـرار گرفتـه و در این بخش، شاخص LMDI با شاخص جداسازی ترکیب شـده تـا بـه واسـطه‌ی آن بتـوان تحلیل دقیق‌تری از روند تغییر این دو متغیر، در مجموع دو بخش ارائه داد.

٤. روش‌شناسی تحقیق

در ابتدا با بکارگیری شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی عوامل مـوثر بـر تغییـرات مصـرف انرژی را در قالب سه اثر شدت انرژی، اثر ساختاری و اثر فعالیت تجزیـه کـرده و سـپس بـا استفاده شاخص جداسازی به تحلیل ارتباط بین رشد مصرف انـرژی و رشـد تولیـد ناخـالص داخلیِ مجموع این دو بخش می‌پردازیم.

۱.۴ روش تجزیه مصرف انرژی

براساس مطالعات آنگ (Ang B. W 2005) فرض کنید که مقدار V یک متغیر کـلان مـرتبط بـا انرژی باشد در صورتی که n عامل بـر تغییـرات V در طـی زمـان مـوثر باشـند و تمامـا قابـل اندازه‌گیری باشند، به عنوان n متغیر شـامل X_n، ...، X_2، X_1 شـناخته مـی‌شـوند. فـرض کنیـد اندیس i به عنوان بخش یا زیربخش متغیر کلان مورد مطالعه باشد، آنگاه در سطح بخش‌هـا یـا زیربخش‌ها داریم: $V_i = X_{1.i}.X_{2.i}.\dots.X_{n.i}$

تحلیل تجزیه شاخصی در حالت عمومی به صورت زیر خواهد بود.

$$V = \sum_i V_i = \sum_i X_{1,i} \times X_{2,i} \times \dots \times X_{n,i} \qquad (۱)$$

متغییـــر مـــورد مطالعـــه از $V^0 = \sum_i X^0_{1.i}.X^0_{2.i}.\dots.X^0_{n.i}$ در دوره صـــفر تـــا $V^T = \sum_i X^T_{1.i}.X^T_{2.i}.\dots.X^T_{n.i}$ در دوره T تغییر می‌کند. در تجزیه جمعی، تجزیه ازتفاضل ارائـه شده در رابطه (۲) به صورت حاصل جمع اجزاء حاصل می‌شود:

$$\Delta V_{tot} = V^T - V^0 = \Delta V_{x,1} + \Delta V_{x,2} + \dots + \Delta V_x \qquad (۲)$$

اندیس tot بیان کننده کل یا تمامی تغییرات است و سمت راست معادلات (۲)، آثار مرتبط با عوامل معادله (۱) را نشان می‌دهد. در رویکرد جمعیِ شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی، فرمول عمومی برای اندازه گیری اثر عامل kام در سمت راست معادله (۲)، به صورت معادله (۳) است:

$$\Delta V_{xk} = \sum_i L\left(V_i^T \times V_i^0\right) \times Ln\left(\frac{X_{k,i}^T}{X_{k,i}^0}\right) = \sum \frac{V_i^T - V_i^0}{LnV_i^T - V_i^0} \times Ln\left(\frac{X_{k,i}^T}{X_{k,i}^0}\right) \qquad (۳)$$

در خصوص مصرف انرژی در بخش‌های صنعت و حمل‌ونقل، عواملی که در تغییرات مصرف انرژی نقش دارند شامل اثر شدت انرژی، اثر ساختاری و درنهایت اثر فعالیت است که براساس معادله (۱) به صورت زیرخواهد بود:

$$E_T = \sum_i E_i = \sum \frac{E_i}{Q_i} \times \frac{Q_i}{Q} \times Q = \sum I_T \times S_T \times \zeta \qquad (٤)$$

در معادله (٤)، E کل مصرف انرژی در کل اقتصاد است و $Q(=\sum_i Q_i)$ سطح کل تولید در اقتصاد می‌باشد و $S_T = \frac{Q_i}{Q}$ و $I_T = \frac{E_i}{Q_i}$ نیز به ترتیب سهم فعالیت و سهم شدت انرژی بخش iام می‌باشند. بر اساس معادلات (۲) داریم:

$$\Delta V_{tot} = E^T - E^0 = \Delta E_{\text{int}} + \Delta E_{str} + \Delta E_a \qquad (۵)$$

اندیس‌های act،str و int به ترتیب دلالت بر سطح تولید، ساختار فعالیت اقتصاد و شدت انرژی بخش‌های اقتصادی دارند. تجزیه عوامل موثر بر تغییرات مصرف به سه اثر شدت انرژی، اثر ساختاری و اثر فعالیت، به معنی این است در تکنیک جمعی با مثبت بودن هریک از آثار فوق، نتیجه می‌گیریم که مصرف انرژی از نظر تولیدی، یا به واسطه تغییر ساختار و یا از منظر افزایش شدت انرژی، افزایش یافته است و اعدا منفی عکس موضوع فوق را نشان می‌دهند. علاوه بر روش تجزیه شدت انرژی انتخاب دوره زمانی دارای اهمیت است. تجزیه مصرف انرژی می‌تواند به دو شکل تجزیه دودوره‌ای یا دوزمانه (Period-Wise Decomposition) و زنجیره‌ای یا سری زمانی (Chain-linked Decomposition) باشد. روش دوزمانه نیاز به اطلاعات تنها دو دوره زمانی دارد و تغییرات مصرف انرژی را بین سال مبنا و سال مقصد، بدون در نظر گرفتن سال‌های میانی محاسبه می‌کند و این روش به دلیل فقدان

آمار و اطلاعات سال‌های میانی تحلیل دقیقی ارائه نمی‌دهد. اما روش دوم شامل تجزیه سالانه تغییرات مصرف انرژی و در نهایت تجمیع این تغییرات است که در این روش به دلیل در نظر گرفتن اطلاعات تمامی سال‌ها، تحلیلِ تجزیه مصرف انرژی به شکل دقیق‌تری صورت می‌گیرد (فریدزاد ۱۳۹٤، ص ١٦).

در این مطالعه نیز از روش دقیق‌تر زنجیره‌ای (سری زمانی) برای تجزیه و تحلیل بهره گرفته شده است. با انجام این محاسبات میزان تغییر مصرف انرژی در مجموع دو بخش مورد مطالعه قرار گرفته و همچنین سهم هر یک از عوامل موثرِ ذکر شده در تغییرات مصرف انرژیِ مجموع این دو بخش، مشخص می‌شود. از بین این عوامل موثر که در تغییر مصرف انرژی نقش دارند، عاملی که بیشترین قدرت توضیح‌دهندگی را در تغییرات مصرف انرژی و همچنین بیشترین سهم را در رابطه با جداسازیِ روندِ تولید ناخالص داخلی از مصرف انرژی دارد، شناسایی می‌شود.

۲.۴ شاخص جداسازی

همانطور که پیش‌تر بیان شد، شاخص تجزیه با شاخص جداسازی برای بررسی روند رشد تولید ناخالص داخلی همراه با مصرف انرژی، در بخش‌های اقتصادی ترکیب می‌شود. براساس تعریف ارائه شده توسط تاپیو (Tapio 2005)، شاخص جداسازی بین سال مبنا (سال صفر) و سال مقصد (سال T)، یعنی D^T به صورت نسبت درصد تغییر انرژی استفاده شده به درصد تغییر تولید ناخالص داخلی (GDP) تعریف می‌شود.

$$D^T = \frac{\delta E^T}{\delta Q^T} = \frac{\frac{E^T - E^0}{E^0}}{\frac{Q^T - Q^0}{Q^0}} \qquad (٦)$$

که در آن T: سال، δE^T:درصد تغییر مصرف انرژی، δQ: درصد تغییر GDP ، E^T: مصرف انرژی در سال T، E^0: مصرف انرژی در سال ۰، Q^T: GDP در سال T و Q^0: GDP در سال ۰ است.

باتوجه به رابطه انرژی که در معادله (4) مشخص شده است تئوری LMDI شاخص جداسازی بین سال مبنا و سال مقصد را به سه فاکتور تجزیه می‌کند.

$$D^T = \Delta D_{\text{int}}^T \times \Delta D_{str}^T \times \Delta D_{act}^T \quad (۷)$$

که در آن ΔD_{int}^T: اثر شدت انرژی، ΔD_{str}^T: اثر ساختاری اقتصادی و ΔD_{act}^T: اثر فعالیت (اثر تولیدی) است.

و هر کدام از این اثرات به صورت زیر تعریف می‌شوند[۱]:

$$\Delta D_{\text{int}}^T = \frac{Q^0}{E^0 \times \Delta Q^T} \sum \frac{E_i^T - E_i^0}{Ln\left(E_i^T\right) - Ln\left(E_i^0\right)} \times Ln\left(\frac{I^T}{I^0}\right) \quad (۸)$$

$$\Delta D_{str}^T = \frac{Q^0}{E^0 \times \Delta Q^T} \sum \frac{E_i^T - E_i^0}{Ln\left(E_i^T\right) - Ln\left(E_i^0\right)} \times Ln\left(\frac{S^T}{S^0}\right) \quad (۹)$$

$$\Delta D_{act}^T = \frac{Q^0}{E^0 \times \Delta Q^T} \sum \frac{E_i^T - E_i^0}{Ln\left(E_i^T\right) - Ln\left(E_i^0\right)} \times Ln\left(\frac{Q^T}{Q^0}\right) \quad (۱۰)$$

جدول زیر ضوابط و معیارهای جداسازی ارائه شده توسط تاپیو (۲۰۰۵) را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، می‌بایست با استفاده از δE و δQ ، D را که همان شاخص جداسازی است بدست آورده و باتوجه به اینکه D در کدام یک از این حالت‌های هشت‌گانه قرار می‌گیرد، حالت جداسازی را تعیین کرد.

جدول(۱): حالت‌های جداسازی بر اساس شاخص جداسازی

	حالت	δE	δQ	D^T
جداسازی منفی	جداسازی منفی گسترده(۱)	+	+	$D >$ ۱/۲
	جداسازی منفی قوی(۲)	+	-	$< D$.
	جداسازی منفی ضعیف(۳)	-	-	۰/۸ $\geq D >$.
جداسازی	جداسازی ضعیف(٤)	+	+	۰/۸ $\geq D >$.
	جداسازی قوی(۵)	-	+	$< D$.
	جداسازی بازگشتی(٦)	-	-	$D >$ ۱/۲
عدم جداسازی	عدم جداسازی(اتصال) گسترده(۷)	+	+	۱/۲ $\geq D >$ ۰/۸
	عدم جداسازی(اتصال) بازگشتی(۸)	-	-	۱/۲ $\geq D >$ ۰/۸

منبع: ژانگ و همکاران (۲۰۱٤)

با توجه به جدول (۱) و با توجه به تغییرات دو مولفه رشد تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی می‌توان هشت حالت مختلف را متصور شد که عبارتند از:

جدول(۲): توضیح حالت‌های جداسازی

حالت	مفهوم
(۱)	با افزایش رشد مصرف انرژی رشد تولید ناخالص داخلی هم افزایش یافته است اما، نرخ رشد مصرف انرژی سریع‌تر از نرخ رشد تولید ناخالص داخلی است.
(۲)	مصرف انرژی افزایش یافته اما، رشد تولید ناخالص داخلی کاهش یافته است.
(۳)	با کاهش مصرف انرژی، رشد تولید ناخالص داخلی هم کاهش یافته اما، نرخ رشد مصرف انرژی آهسته تر از نرخ رشد تولید ناخالص داخلی است.
(۴)	مصرف انرژی و رشد تولید ناخالص داخلی افزایش یافته است اما، نرخ رشد مصرف انرژی آهسته تر از نرخ رشد تولید ناخالص داخلی است.
(۵)	مصرف انرژی کاهش و رشد تولید ناخالص داخلی افزایش یافته است.
(۶)	مصرف انرژی و رشد تولید ناخالص داخلی کاهش یافته است اما، نرخ مصرف انرژی سریع تر از نرخ رشد منفی تولید ناخالص داخلی است.
(۷)	با افزایش رشد تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی زیاد شده است و سرعت افزایش هر دو یکسان است.
(۸)	با کاهش رشد تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی هم کاهش یافته و نرخ کاهش هر دو یکسان است.

منبع: ژو و بای (YANFANG ZHOU, YANPING BAI 2016)

۵. تحلیل نتایج

بر اساس آمارهای مربوط به مصرف انرژیِ بخش‌هایِ صنعت و حمل‌ونقل کشور طی دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۵ و همچنین آمارهای مربوط به تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابتِ سال ۱۳۷۶، ابتدا با استفاده از روش تجزیهٔ جَمعیِ زنجیره‌ای، عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی در این دو بخش تجزیه و تحلیل شده و در بخش بعد، با در نظر گرفتنِ این عوامل موثر و با بکارگیری شاخص جداسازی، به جداسازی مصرف انرژی از رشد تولید ناخالص داخلیِ مجموع دو بخش صنعت و حمل‌ونقل پرداخته می‌شود. در نهایت روند این دو متغیر در قالب حالت‌های جداسازی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۱.۵ تحلیلِ تجزیه جمعیِ زنجیره‌ایِ مصرف انرژی(۹۳-۱۳۸۵)

نتایج تجزیه جمعیِ زنجیره‌ای شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی در جدول (۳) و (٤) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات کل مصرف انرژی در دو بخش حمل‌ونقل و صنعت متفاوت است.

جدول(۳): تجزیه زنجیره‌ای جمعی مصرف انرژی بخش‌های حمل‌ونقل و صنعت ایران با استفاده از شاخص LMDI طی دوره ۹۳-۱۳۸۵

سال	۸۶-۸۵	۸۷-۸۶	۸۸-۸۷	۸۹-۸۸	۹۰-۸۹	۹۱-۹۰	۹۲-۹۱	۹۳-۹۲
حمل‌ونقل								
تغییرات کل	-۱/۳۰	۱۲/۳۰	۲٦/۵۰	-۱۷/۳۰	۵/۰۰	۱۲/۷۰	۱۰/۱۰	**۳/۳۰**
اثر شدت	-۲۸/۸۱	-۸/۸۳	۸/٦۱	-۲٦/۱۰	-۱۱/۲۳	-۳/۳۵	-۱۱/۱۱	**۱/۲۱**
اثر ساختاری	۱۱/٤۰	۱۷/۰۵	۱۰/۲۳	-۷/۱۷	۵/۱۰	۳۰/۵۸	۲۵/۱۱	**۱۲/۵۰۲**
اثر تولیدی	۱٦/۱۰	٤/۰۷	۷/٦٤	۱۵/۹۷	۱۱/۱۲	-۱٤/۵۳	-۳/۹۰	**۶/۵۸**
صنعت								
تغییرات کل	٤۱/۷۰	۱٦/۷۰	۵/۳۰	۲۲/۵۰	۱۲/۱۰	۹/۹۰	-۱/۲۰	**۲/۶۰۰**
اثر شدت	۲۵/۳۲	۵/۱۷	-۱۱/۳٦	۱۱/۰۷	۳/۸۳	٤۳/۱۲	۳/۹۵	**-۲/۲۰**
اثر ساختاری	۳/۲۱	۷/۸۰	۹/۸٦	-۲/۳۲	-۲/۹۳	-۱۸/٤۹	-۱/۲۸	**۱/۴۹**
اثر تولیدی	**۱۳/۱۶**	**۳/۷۱**	**۶/۸۰**	**۱۴/۷۶**	**۱۱/۱۹**	**-۱۴/۷۳**	**-۳/۸۶**	**۶/۳۱۱**

منبع: نتایج پژوهش

در بخش حمل‌ونقل، همانطور که مشاهده می‌شود در تمامی دوره‌ها مصرف انرژی به واسطه اثر ساختاری و سپس اثر فعالیت افزایش یافته است، به‌جز ۸٦-۱۳۸۵ و ۸۹- ۱۳۸۸ که اثر شدت انرژی با بیشترین سهم در هر دو دوره، باعث کاهش مصرف انرژی به میزان ۲۸/۸۱۲ و ۲٦/۱۰ میلیون بشکه معادل نفت خام شده است و این به معنی استفاده بهینه از انرژی طی این دو دوره می‌باشد. در همین بخش رکود عمیق که از سال ۱۳۸۹ اغاز شد در قالبِ اثر فعالیتِ منفی طیِ دوره‌های ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ اثر خود را نشان می‌دهد. علی‌رغم اینکه اثر شدتی نیز در این دوره ها منفی است، اما مجموع این دو اثر نتواسته است بر اثر ساختاریِ مثبت در مصرف انرژی غلبه کند و نهایتا مصرف انرژی در این دوره نه تنها کاهش نیافته بلکه نسبت به دوره‌های قبل خود نیز بیشتر شده است. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش مصرف انرژی دراین دوره‌ها بیش از آنکه ناشی از اثر شدت و اثر فعالیت باشد، ناشی از اثر ساختاری در قالبِ بکارگیریِ صنایع انرژی‌بر بوده است. لازم به ذکر

است که اثر شدتی مثبت در بازه ۹۳-۱۳۹۲ گویای اثری است کـه تحـریم‌هـای اقتصـادی بـر بخش حمل‌ونقل گذاشته است، چراکه در این دوره واردات تجهیزات با مصرف انـرژی بهینـه محدود شده و باعث افزایش مصرف ناکارایِ انرژی شده است. همانطور که مشاهده مـی‌شـود، اثر ساختاری و اثر فعالیت هم در این دوره مثبت بوده و رقم بالایی دارند، که رکـود اقتصـادی در این دوره می‌تواند یکی از دلایل این افزایش مصـرف باشـد. اثـر سـاختاری در بـازه ۹۱-۱۳۹۰ بیشترین افزایش و دربازه ۸۹-۱۳۸۸ بیشترین کاهش را نشان می‌دهد یعنـی در بـازه ۹۱-۱۳۹۰ که همزمان با اجرای قانون هدفمندی حامل‌های انرژی و رکود عمیق ایران است، بخـش حمل‌ونقل از صنایع انرژی‌برتری استفاده کرده است. بنابراین اثر شـدتی و اثـر فعالیـت منفـی نتواسته افزایش مصرف انرژی ناشی از آن را خنثی کند و در نتیجه مصرف انرژی در ایـن بـازه بسیار بیشتر از دور قبل خود افزایش یافته است.

در بخش صنعت نیز به‌جز یک دوره در تمامی دوره‌ها مصرف انرژی افزایش یافته اسـت. علت اصلی افزایش مصرف انرژی در این بخش اثر شدت و سپس اثر فعالیـت مثبـت در ایـن دوره‌ها است و با اینکه اثر ساختاری اغلب دوره‌ها منفی است اما سهم اثر شدت و اثـر فعالیـت در افزایش مصرف انرژی بیشتر بوده و در مجموع باعث افزایش مصرف انـرژی شـده اسـت. بطوریکه مثلا در بازه‌ی ۸۹-۱۳۸۸، اثر فعالیت باعث افزایش مصـرف انـرژی تـا ۱٤ میلیـون بشکه معادل نفت خام و اثر شدتی باعث افزایش مصرف انـرژی تـا ۱۱ میلیـون بشـکه معـادل نفت خام شده است و مجموع این دو اثر، منجر بـه بیشـترین افـزایش مصـرف انـرژی شـده است. همچنین اثر ساختاری گویای این است که از صنایع با انرژی‌بـری کمتـری در ایـن بـازه استفاده شده است اما مقدار این اثر در حدی نبوده است که باعث کاهش مصرف انرژی شود و در نهایت عدم استفاده بهینه از انرژی و بکارگیری تمام ظرفیت تولید منجر به افزایش مصـرف انرژی شده است. در نهایت اینکه در کل دوره مورد مطالعه، در بخش حمـل‌ونقـل، مصـرف انرژی به میزان ۷۸/۳۰۰ میلیون بشکه نفت خام افزایش یافته است کـه سـهم اثـر سـاختاری، فعالیت و اثر شدت به ترتیب ۱۰٤/۸۳٦، ٤۳/۰۸۱ و ٦۹/٦۱۸- میلیون بشکه معادل نفت خـام می‌باشد و در بخش صنعت مصرف انرژی به اندازه ۱۲۸/٦۰۰۰ میلیـون بشـکه معـادل نفـت خام افزایش یافته است که سهم اثر ساختاری، فعالیت و شـدت انـرژی بـه ترتیـب ۱۲/۳۳٤، ۳۷/۳٦۳ و ۷۸/۹۰۱ میلیون بشکه معادل نفت خـام اسـت. بـه عبـارتی حـدود ٦۱ درصـد از تغییرات مصرف انرژی در بخش صنعت ناشی اثر شـدتی بـوده اسـت و اثـر فعالیـت و اثـر ساختاری سهمی معادل ۹/۵ و ۲۹ درصد را دارند و این به معنی عدم استفاده بهینه از انـرژی

در این بخش نسبت به بخش حمل‌ونقل می‌باشد. درنهایت تجمیع نتایج تجزیه جمعی زنجیره‌ای در این دو بخش می‌تواند توضیح دهد که در مجموع، روند تغییرات مصرف انرژی در این دو بخش به چه صورت بوده و هر اثر در این روند چه تاثیر و سهمی داشته است.

جدول(۴): نتایج تجمیع شده تجزیه جمعی زنجیره‌ای مصرف انرژی در بخش‌های حمل‌ونقل و صنعت ایران با استفاده از شاخص LMDI طی دوره ۹۳-۱۳۸۵

سال	۱۳۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	۹۲-۹۳
تغییرات کل	٤٠/٤٠	۲۹/۰	۳۱/۸۰	٦/۲۰	۱۷/۱۰	۲۲/٦۰	۸/۹۰	**۵۰/۹۰**
اثرشدت	-۳/٤۹	-۳/٦٥	-۲/۷٥	-۱٥/۰۳	-۷/۳۹	۳۹/۷٦	-۷/۱٦	**۹/۰۰**
اثرساختاری	۱٤/٦۱	۲٤/۸٦	۲۰/۱۰	-۹/٥۰	۲/۱٦	۱۲/۰۹	۲۳/۸۳	**۲۸/۹۹**
اثر فعالیت	۲۹/۲۷	۷/۷۹۶	۱۴/۴٥	۳۰/۷۳۹	۲۲/۳۲	-۲۹/۲۶	-۷/۷۷	**۱۳/۸۹٥**

منبع: یافته‌های پژوهش

بر اساس اعداد مثبت مندرج در ردیف تغییرات کل جدول (٤)، می‌توان دریافت که، مصرف انرژی در تمامی بازه‌ها افزایش یافته است و در این روند علی‌رغم اینکه اثر شدت اغلب منفی بوده اما نتواسته است باعث کاهش مصرف انرژی شود و درنهایت مصرف انرژی به علت اثر ساختاری و اثر فعالیتِ مثبت، افزایش یافته است. با توجه به نتایج این بخش می‌توان گفت، در بخش صنعت اثر شدت انرژی، در بخش حمل‌ونقل اثر ساختاری و در مجموع دو بخش نیز اثر ساختاری بیشترین قدرت توضیح‌دهندگی را در تغییرات مصرف انرژی دارد. به عبارتی طی دوره مورد مطالعه مصرف انرژی به میزان ۲۰٦/۹۰۰ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یافته است که سهم اثر ساختاری به میزان ۱۱۷/۱۷۱۰، سهم اثر فعالیت ۸۰/٤٤٥ میلیون بشکه معادل نفت خام است. در حالی که اثر شدت فقط باعث افزایش مصرف انرژی به میزان ۹/۲۸۳ میلیون بشکه معادل نفت خام شده است که نسبت به دو اثر دیگر سهم ناچیزی است.

۲.۵ تحلیل نتایج شاخص جداسازی (۹۳-۱۳۸۵)

همانطور که پیش‌تر بیان گردید، جداسازی حاصل تقسیمِ درصد تغییرات مصرف انرژی به درصد تغییرات تولید ناخالص داخلی است که صورت این کسر را با استفاده از شاخص LMDIتجزیه کرده تا به واسطه‌ی آن بتوان با ترکیب این دو شاخص نتایج جداسازی را بر

اساس عوامل موثر تحلیل نمود. از آنجاییکه تمرکز این پژوهش بـر روی دو بخـش صـنعت و حمل‌ونقل می‌باشد، پس در بکارگیری این شاخص نیـز از متغیرهـای رشـد تولیـد ناخـالص داخلی و مصرف انرژیِ این دو بخش استفاده می‌شود. پس از محاسبه این شاخص با توجه بـه نتایج بدست آمده در جدول (٤) و همچنین با توجه به جدول (۲) که حالت‌هـای جداسـازی معرفی شده توسط تاپیو می‌باشد، به ارائه و تفسیر حالت‌هـای جداسـازی در مجمـوع ایـن دو بخش طی دوره مورد مطالعه می‌پردایم. با توجه به جدول (۵) و بـا توجـه بـه اینکـه درصـد تغییر تولید ناخالص داخلی به جز یک دوره در بقیه دوره‌هـا مثبـت اسـت پـس مجمـوع دو بخش صنعت و حمل‌ونقل طـی دوره ۹۳-۱۳۸۵ سـه حالـت عـدم جداسـازی، جداسـازی ضعیف و جداسازی منفی قوی را تجربه کرده‌اند.

جدول(۵): نتایج جداسازی بین مصرف انرژی و رشد مجموع دو بخش حمل‌ونقل و صنعت بر اساس عوامل موثر در تغییرات مصرف انرژی دو بخش با استفاده از شاخص جداسازی

حالت	شاخص جداسازی تاپیو	شاخص جداسازی	سال
عدم جداسازی	$۱/۲ \geq D > ۰/۸$	۱	۱۳۸۵-۸٦
عدم جداسازی	$۰/۸ \geq D > ۱/۲$	۰/۹۹٤	۱۳۸٦-۸۷
عدم جداسازی	$۰/۸ \geq D > ۱/۲$	۰/۹۰۸	۱۳۸۷-۸۸
جداسازی ضعیف	$۰/۸ \geq D > ۰$	۰/۲٦٤	۱۳۸۸-۸۹
جداسازی ضعیف	$۰/۸ \geq D > ۰$	۰/۷۹۳	۱۳۸۹-۹۰
جداسازی منفیِ قوی	$D < ۰$	-۰/۷۱۰	۱۳۹۰-۹۱
عدم جداسازی	$۰/۸ \geq D > ۱/۲$	۱/۰۳۷	۱۳۹۱-۹۲
عدم جداسازی	$۰/۸ \geq D > ۱/۲$	۱/۱۸۵	۱۳۹۲-۹۳

منبع: یافته‌های پژوهش

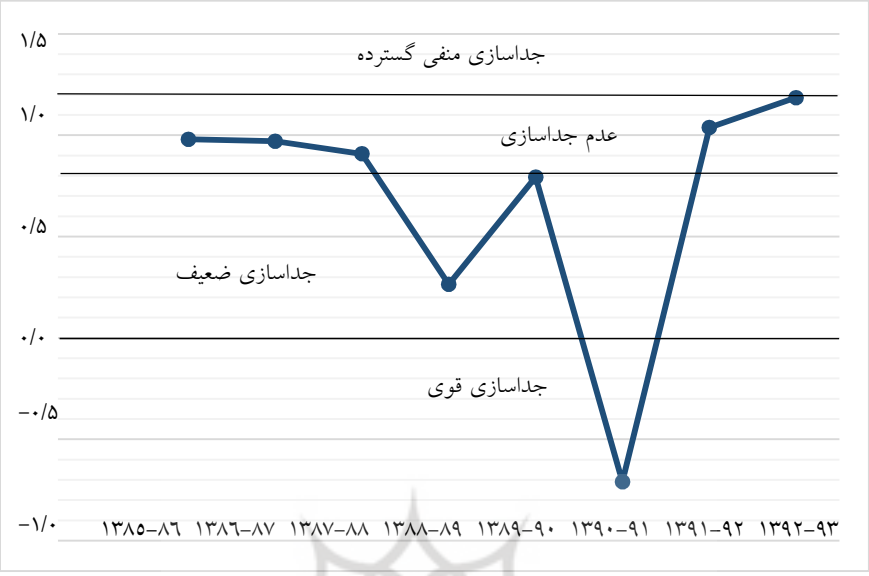
جدول (۵) نشان می‌دهد که، در دوره ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ جداسازی ضـعیف اتفـاق افتاده است. به عبارتی در این دوره، با افزایش رشد تولید ناخالص داخلیِ دو بخش صنعت و حمل‌ونقل مصرف انرژی هم افزایش یافته اما نرخ رشد مصرف انرژی آهسته‌تـر از نـرخ رشـد مجموع دو بخش بوده که با توجه به نتایج موجـود در جـدول (٤) مشـاهده مـی‌شـود، اثـر ساختاری و اثر شدتِ منفی منجر به کاهش مصرف انرژی شده و منجر به کنـد شـدنِ رونـد افزایش مصرف انرژیِ ناشی از اثر فعالیت شده است. در بازه‌ی ۹۱-۱۳۹۰ کـه اقتصـادِ رکـود

عمیق را تجربه می‌کند، مجموع دو بخش صنعت و حمل‌ونقل جداسازی منفیِ قوی را تجربه کرده‌اند، به این معنی که در این بازه با وجودی که مصرف انرژی افزایش یافته، رشد تولید ناخالص داخلی مجموع این دو بخش کاهش یافته است و روندی کاملا غیرهمزمان بین این دو متغیر مشاهده می‌شود. در این دوره کاهش رشد تولید ناخالص داخلی در قالب اثر فعالیت منفی سعی در کاهش مصرف انرژی داشته اما اثر شدتی با سهم قابل توجهی در کنار اثر ساختاری، در مجموع باعث افزایش مصرف انرژی شده که سهم بالای اثر شدت در توضیح افزایش مصرف انرژی خود دلیلی بر جداسازی منفی قوی در این دوره است.

در بقیه دوره‌ها، عدم جداسازی گسترده اتفاق افتاده است که به معنی افزایش رشد اقتصادی و افزایش مصرف انرژی به صورت همزمان و با نرخ تقریبا یکسان است. در تمامی دوره‌هایی که این نوع جداسازی را تجربه می‌کنند، اثر ساختاری و اثر فعالیت باعث افزایش مصرف انرژی شده و سهم قابل توجهی در توسعه جداسازی داشته‌اند به غیر از دوره ۹۲-۱۳۹۱ که در این دوره علی‌رغم اینکه کاهش ارزش‌افزودهٔ بخش صنعت در قالب اثر فعالیت سعی در کاهش مصرف انرژی داشته اما، سهم چشمگیر اثر ساختاری، اثر فعالیت و اثر شدت را خنثی کرده و در نهایت باعث افزایش مصرف انرژی در کنار افزایش تولید ناخالص داخلی دو بخش گردیده است.

نتایج جداسازی بین مصرف انرژی و ارزش‌افزوده دو بخش صنعت و حمل‌ونقل طی دوره ۹۳-۱۳۸۵ را می‌توان به صورت نمودار (۱) نیز نشان داد. تقسیم‌بندی این نمودار بر اساس مقادیر گفته شده در جدول (۱) می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار(۱): جداسازی بین رشداقتصادی و مصرف انرژی بخش‌های حمل‌ونقل و صنعت ایران طی دوره۹۳-۱۳۸۵

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول (٦) نیز می‌توان سهم هر یک از عوامل موثر بر مصرف انـرژی ایـن دو بخـش را در روند جداسازی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی این دو بخش مشاهده کرد.

جدول(۶): تجزیه شاخص جداسازی بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی مجموع دوبخش حمل‌ونقل و صنعت در کشور ایران طی دوره ۹۳-۱۳۸۵

سال	$\frac{\delta E^T}{E^0}$	$\frac{\delta G^T}{G^0}$	ΔD_{int}	ΔD_{str}	ΔD_{act}	D^T
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	-۰/۰۸٦	۰/۳٦۰	۰/۷۲۲	۱/۰۰
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۰/۰۵۸	۰/۰۵۹	-۰/۱۲۵	۰/۸۵۲	۰/۲٦۷	۰/۹۹٤
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۰/۰٦۰	۰/۰٦٦	-۰/۷۹	۰/۵۷٤	۰/٤۱۳	۰/۹۰۸
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۰/۰۱۱	۰/۰٤۲	-۰/٦٤۰	-۰/٤۰۵	۱/۳۰۹	۰/۲٦٤
۱۳۸۹-۱۳۹۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۸	-۰/۳٤۳	۰/۱۰۱	۱/۰۳٦	۰/۷۹۳
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۰/۰۳۹	-۰/۰۵۵	-۱/۲٤۹	-۰/۳۸۰	۰/۹۱۹	-۰/۷۱۰
۱۳۹۱-۱۳۹۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱٤	-۰/۸۳٤	۲/۷۷۷	-۰/۹۰٦	۱/۰۳۷
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۰/۰۸۳	۰/۰۷۰	۰/۲۱۰	۰/۶۷۵	۰/۳۰۰	۱/۱۸۵

منبع :یافته‌های پژوهش

به طور کلی در دوره‌های ۸۷-۱۳۸٦، ۸۸-۱۳۸۷، ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ اثر ساختاری بیشتر از اثر شدت و اثر فعالیت در جداسازی موثر بوده است. در بازه ۹۲-۱۳۹۱ اثر فعالیت و اثر شدت باعث کاهش مصرف انرژی شده و نقش مثبت در جداسازی داشته‌اند اما اثر ساختاری باعث افزایش مصرف انرژی شده و نقش منفی در جداسازی داشته است. در بازه ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ سهم اثر فعالیت بیشتر از دو اثر دیگر است. و اثر شدت فقط در بازه ۹۱-۱۳۹۰ سهمی بیشتر از دو اثر دیگر دارد و همین مسئله هم منجر به جداسازی منفیِ قوی در این دوره شده است.

با توجه به جدول (٤) در تجزیه مصرف انرژی، اثر ساختاری در مجموع بیشترین سهم را از نظر توضیح‌دهندگی دارد و با توجه به نتایج جداسازی نیز، سهم اثر ساختاری در توضیح جداسازیِ ارتباط بین روند مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلیِ مجموع این دو بخش، بیشتر از دو اثر دیگر است.

٦. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه مصرف انرژی مشاهده شد که صنعت و حمل‌ونقل کشور به سمت انرژی‌بری بیشتر در حال حرکت بوده و رقم تغییرات کل موید این نتیجه است. همچنین نتایج نشان داد که، در بخش صنعت اثر شدت انرژی، در بخش حمل‌ونقل اثر ساختاری و در مجموع دو بخش نیز اثر ساختاری بیشترین قدرت توضیح‌دهندگی را در تغییرات مصرف انرژی دارد. از طرفی نتایج حاصل از شاخص جداسازی نشان داد که، اثر ساختاری نسبت به دو اثر شدت انرژی و اثر فعالیت، بیشترین قدرت توضیح‌دهندگی را در رابطه با روندِ جداسازی مصرف انرژی از تولید ناخالص داخلی دارد و این به معنی حرکت ساختار این دو بخش مهم اقتصادی به سمت استفاده از تجهیزات با انرژی‌بری بالا می‌باشد. نقش غالب اثر شدت در بخش صنعت گویای این واقعیت است که، کارایی و صرفه‌جویی انرژی در بخش صنعت رخ نداده است. بنابراین، در درجه اول، وجود قوانین و استانداردهای تدوین شده برای افزایش کارایی انرژی، همچنین اجرا و نظارت بر اجرای آن توسط یک نهاد مستقل و قدرتمند و در درجه دوم، نو کردن فناوری تولید در بخش صنعت و واقعی کردن قیمت انرژی، می‌تواند زمینه کاهش شدت انرژی و افزایش صرفه‌جویی انرژی در این بخش را فراهم نمایند. همچنین سهم چشمگیر اثر ساختاری در بخش

حمل‌ونقل و در مجموع دو بخش، بر ضرورت بازنگری در سیاست‌های حوزه انرژی تاکید می‌کند. به طوری که از تغییر ساختارهای تولید به سمت انرژی‌بری بیشتر جلوگیری شود و به نظر می‌رسد در این راستا، ارائه تسهیلات ارزان قیمت به منظور انتقال از فناوری‌های با انرژی‌بری بالا، به سمت فناوری‌های با انرژی‌بری پایین که می‌تواند متضمن بیشترین بازدهی از کمترین میزان انرژی باشد، در نیل به این هدف موثر باشد.

پی‌نوشت

۱. برای آگاهی بیش‌تر، بنگرید به هاشمی (۱۳۹۷)، صص ٤٧-٤٤.

کتاب‌نامه

باصری، بیژن، درخشانیان، شهاب، و شفیعی، سعیده (۱۳۸۹)، «بررسی سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از روش مجزاسازی انرژی (مطالعه موردی شرکت‌های پگاه فارس، تهران و اصفهان»، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفتم، شماره ۲۵، تابستان ۱۳۸۹، صص ۱٤۱-۱۱۳.

پورعبادالهان کویچ، محسن، پناهی، حسین، شهبازی هومونلو،شهریار، و صالحی ابر، خدیجه (۱۳۹٤)، «تجزیه عوامل موثر بر تغییرات مصرف انرژی در زیربخش‌های صنعتی ایران: مقایسه روش‌های لاسپیرز و دیویژیا»، فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، دور ۲ ، شماره ٤، صص. ۷۰-٤۹.

ترازنامه انرژی کشور(۱۳۹۳).

علی‌زاده، الهام (۱۳۹۵)، «تجزیه‌ای در جداسازی انتشار دی اکسید کربن از رشد اقتصادی در زیربخش‌های صنعتی ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۸٤»، چهارمین کنفرانس ملی مدیریت، اقتصاد و حسابداری، ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۵، دانشگاه تبریز.

غنی‌کسب، نسرین (۱۳۹۳)، «تجزیه مصرف انرژی و انتشار کربن دی اکسید در پالایشگاه‌های ایران با استفاده از شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا»، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه علامه طباطبایی، دانشکده اقتصاد.

فریدزاد، علی (۱۳۹٤)، «تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی‌بر ایران با استفاده از روش شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا با تاکید بر رویکرد زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای». پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، سال چهارم، شماره۱۵، تابستان۱۳۹٤، صص ۸۷-۱۱۷.

لطفی، شبنم (۱۳۹٦)، «تجزیه شدت انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران: رویکرد ترکیبی تحلیل تجزیه شاخصی و تحلیل تجزیه مبتی بر تولید»، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال بیست‌وششم، شماره ۸۵ بهار ۱۳۹۷، صص ۱۵۱-۱۸۷.

مزینی، امیرحسین، عصاری آرانی، عباس، افشاریان، بهناز و رسولی، احمد (۱۳۹٤)، «بازتعریف رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران (رویکرد بخشی-استانی)»، فصلنامه مدلسازی اقتصادی، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹٤، صص ۸۹-٦۷.

مهرآرا، محسن، رضائی برگشادی، صادق و حامدی، سهیلا (۱۳۹۵)، «تاثیر مصرف انرژی بر رشد اقتصادی ایران؛ رهیافت بیزی»، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال دوم، شماره۳، تابستان ۱۳۹۵، صص ۱۰۱-٦۱.

مرکز آمار ایران (۱۳۹۳)، سالنامه آماری، بخش حساب‌های ملی.

هاشمی، مهری (۱۳۹۷)، «تجزیه مصرف انرژی در ایران: رهیافت تلفیق شاخص LMDI و شاخص Decoupling»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه‌طباطبایی، زمستان ۱۳۹۷، صص ٤۷-٤٤.

Ang B. W. and N.Liu (2007), Energy decomposition analysis: IEA model versus other method. Energy Policy, 35(3) PP 1426-1432.

Ang B.W (2005), The LMDI Approach to Decomposition Analysis: a practical Guide. Energy Policy. Vol.33, PP 867-871.

Ang, B. W (2004), Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? Energy Policy, 32, 1131–1139.

Bai Dong, Ming Zhang, Hailin Mu, Xuanming Su (2016), Study on decoupling analysis between energy consumption and economic growth in Liaoning Province. Energy Policy, 97, PP 414-420.

Bithas, K., & Kalimeris, P (2013), Re-estimating the decoupling effect: is there an actual transition towards a less energyintensive economy? Energy, 51, PP 78–84.

Caiman, J. Cahill and P.O'Gallacho'ir Brian (2010), Monitoring Energy Efficiency Trends in European Industry: Which Top-Down Method Should be Used? Energy Policy, Vol. 38, PP 6910-6918.

Climent, F., & Pardo, A (2007), Decoupling factors on the energy–output linkage: the Spanish case. Energy Policy, 35, PP 522–528

De Freitas, Luciana and Kaneko, Shinji (2011), Decomposing the Decoupling of CO2 Emissions and Economic Growth in Brazil Ecological Economics, Vol. 70, PP 1459 – 1469.

Dong J.F, Deng c, Wang X.M, Zhang X.L. (2016), Multilevel Index Decomposition of Energy-Related Carbon Emissions and Their Decoupling from Economic Growth in Northwest China. Energy 2016, 9, 680.

Dong J.F, Jiang X.T, Wang X.M, Li R.R. (2016), Multilevel Index Decomposition of Energy-Related Carbon Emissions and Its Decoupling With Economic Growth in USA. Sustainability 8, 857

Hoekstra, R. Van Den Bergh, Jc. (2003), Comparing Structural Decomposition Analysis And Index, Energy Econ, Vol.25, PP 39-64.

Ming Zhang, Yan Song, Bin Su, Xiumei Sun (2015), Decomposition the decoupling indicator detween the economic growth and energy consumption in china.Energy Efficiency (2015), 8: 1231-1239.

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth. Sustainable Development. SG/SD (2002), 1/Final. Website: http://www. olis.oecd.org/olis/2002doc.nsf/LinkTo/sg-sd (2002)1-final accessed on August 28, 2010.

Ren, Shenggang, Yin, Honguan and Chen, Xiaohong (2014), Using LMDI the Decoupling of Carbon Dioxide Emissions by Industry, Environmental Development .Vol. 9, PP 61 – 75.

Tapio, Petri (2005), Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road in Finland Between 1970 and 2001,Transport Policy .Vol. 12, PP 137 – 151

Wang, W., Liu, R., Zhang, M. and Li, H (2013), Decomposing the Decoupling of Energy-Related CO2 Emissions and Economic Growth in Jiangsu Province, Energy for Sustainable Development. Vol. 17, No. 1, PP 62-71.

Yanfang Zhou, Yanping Bai (2016), "Decoupling Economic Growth from Energy Consumption: an Analysis of Beijing, China, journal of Residuals Science & Technology, Vol. 13, No. 7.

Yanfang Zhou, Yanping Bai (2016), "Decoupling Economic Growth from Energy Consumption: an Analysis of Beijing, China, journal of Residuals Science & Technology, Vol. 13, No.7

Zhang, Z. X (2000), Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: an economic analysis and policy implications. World Development, 28, PP 739–75.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی