

## تجزیه و تحلیل مصرف برق ایران: کاربرد تحلیل تجزیه شاخص و تحلیل جداسازی+

سیده حسنا موسوی<sup>۱</sup>، فرشته محمدیان<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲. استادیار گروه اقتصاد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۴ :: بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱ :: پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱)

## Analysis of Iran's Electricity Consumption: Application of Index Decomposition Analysis and Decoupling Analysis

Seydeh Hosna Mousavi<sup>1</sup>, Fereshteh Mohamadian<sup>2\*</sup>

1. Master of Energy Economics, Faculty of Literature and Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.

2. Assistant Professor in Department of Economics, Faculty of Literature and Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.

(Received: 5/Jul/2022 :: Revised: 22/Aug/2022 :: Accepted: 2/Aug/2022)

## Abstract

The main purpose of this article is to analyze Iran's electricity consumption and the relationship between electricity consumption and economic growth. For this purpose, by using the Logarithmic Mean Divisia Index approach and the non-oil real GDP, electricity consumption, energy consumption, and value-added of services, industry, and agriculture sectors, during 2001-2019, the electricity consumption was analyzed and the relationship between electricity consumption and economic growth was investigated based on decoupling analysis. Based on the results of the electricity consumption analysis, during the entire study period, only the structure effect caused a decrease in electricity consumption. According to the periodic analysis results, before the implementation of the targeted subsidies law (2001-2010), the electricity consumption because of the intensity and structure effects was reduced, and due to the production, activity, and population effects increased; and after the implementation of this law (2011-2019), only the structure effect has led to reducing the electricity consumption, and it was increased due to four effects including activity, population, intensity, and production. Based on the decoupling approach results, in the whole period, the situation of growing negative decoupling, meaning the realization of economic growth at the cost of more increasing electricity consumption and environmental pollution, was dominant. Therefore, only actualizing the energy price is not effective in managing energy consumption, hence other energy efficiencies, economic, and environmental complementary policies must be implemented simultaneously.

**Keywords:** Electricity Consumption, Decoupling Analysis, Index Decomposition Analysis, Iran

**JEL:** C43, L78, Q43

## چکیده

هدف اصلی این مقاله تجزیه و تحلیل مصرف برق ایران و رابطه مصرف برق و رشد اقتصادی است. برای این منظور با استفاده از رویکرد شاخص میانگین دیویزیای لگاریتمی دیویزیای و داده‌های تولید ناخالص داخلی واقعی بدون نفت، مصرف برق، مصرف انرژی و ارزش افزوده بخش‌های خدمات، صنعت و کشاورزی در دوره ۹۸-۱۳۸۰ مصرف برق کشور تجزیه و تحلیل شد و رابطه مصرف برق و رشد اقتصادی مبتنی بر تحلیل جداسازی بررسی شده است. براساس نتایج تجزیه و تحلیل مصرف برق، در کل دوره مطالعه، تنها اثر ساختار باعث کاهش مصرف برق شده است. مطابق نتایج تحلیل ادواری، در دوره قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها (۸۹-۱۳۸۰) مصرف برق به ترتیب به واسطه دو اثر شدت و ساختار کاهش و به دلیل سه اثر تولید، فعالیت و جمعیت افزایش یافته است؛ در دوره بعد از اجرای این قانون (۹۸-۱۳۹۰) تنها اثر ساختار در جهت کاهش مصرف برق عمل کرده و مصرف برق به واسطه چهار اثر فعالیت، جمعیت، شدت و تولید افزایش یافته است. براساس نتایج رویکرد جداسازی در تمام دوره مطالعه وضعیت جداسازی منفی رو به رشد به معنای تحقق رشد اقتصادی به قیمت افزایش بیشتر مصرف برق و آلودگی محیط زیست، وضعیت غالب است. بنابراین، واقعی کردن قیمت انرژی به تنهایی در مدیریت مصرف انرژی کارساز نیست از این رو لازم است سایر سیاست‌های کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی مکمل نیز به طور هم‌زمان اجرا شوند.

**واژه‌های کلیدی:** مصرف برق، تحلیل جداسازی، تحلیل تجزیه شاخص، ایران.

**طبقه‌بندی JEL:** C43, L78, Q43

+این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم سیده حسنا موسوی در گروه اقتصاد دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه ایلام است.

\*Corresponding Author: Fereshteh Mohamadian

\* نویسنده مسئول: فرشته محمدیان

E-mail: F.Mohamadian@ilam.ac.ir

## ۱- مقدمه

به عنوان رایج‌ترین انرژی ثانویه، برق نقش مهمی در توسعه اقتصاد ملی و بهبود استانداردهای زندگی ایفا می‌کند. مصرف برق تأثیر قابل توجهی بر رشد اقتصادی دارد و کمبود یا مازاد آن به طور مستقیم توسعه هماهنگ اقتصاد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اگرچه کمبود برق در ایران به دلایل مختلفی از جمله استفاده غیرقانونی و عدم صرفه‌جویی است؛ اما افزایش مصرف می‌تواند به دلیل افزایش جمعیت و افزایش رشد اقتصادی نیز باشد. باید توجه داشت که تقاضای انرژی در هر کشور تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ثروت، فرهنگ، جمعیت، اقلیم و اقدامات اقتصادی و اجتماعی دولت قرار دارد و توسط انواع مختلف حامل‌های انرژی از جمله سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. در همین حال، ساختار تولید برق مبتنی بر سوخت‌های فسیلی منجر به آلودگی زیست محیطی جدی شده است بنابراین، برای دستیابی به توسعه اقتصادی با وجود محدودیت منابع، درک عمیق رابطه بین مصرف برق و رشد اقتصادی می‌تواند مبنای تجربی مهمی را نه تنها برای ساختار برق کشور، بلکه برای صرفه‌جویی مؤثر در مصرف انرژی و سیاست‌های اقتصادی فراهم کند. از زمانی که کرافت و کرافت (۱۹۷۸) بحث رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را معرفی کردند، این موضوع به شکل گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفت. روش‌هایی که معمولاً برای مطالعه تعامل بین مصرف منابع انرژی و توسعه اقتصادی استفاده می‌شوند؛ شامل تحلیل رگرسیون، مدل داده-ستانده، هم‌انباشتگی و آزمون علیت گرنجر هستند. با این حال، به طور کلی، مدل‌های فوق نمی‌توانند به طور کامل عوامل مختلف مؤثر بر مصرف انرژی را آشکار کنند. تجزیه شاخص<sup>۱</sup> یک روش جدید برای محاسبه عوامل مختلف مؤثر بر مصرف انرژی است. در ادبیات موجود روش‌های متعددی برای تجزیه شاخص ارائه شده است، اما برخی از این روش‌ها ناقص هستند. در این زمینه آنگ<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) رویکردهای مختلف تجزیه شاخص را مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که روش تجزیه LMDI<sup>۳</sup> نه تنها مشخصه‌های نظری یک شاخص خوب را دارد بلکه از نظر کاربردی نیز خواصی مانند نبود خطا در اندازه‌گیری، استفاده از

داده‌های آماری کلان اقتصادی که در تمامی اقتصادها به راحتی در دسترس است، مبتنی بودن این تکنیک بر روش‌های ریاضی و عددی از جمله مزایای استفاده از این روش هستند. بنابراین، LMDI روشی کاربردی‌تر در برخورد با مسائل مربوط به تجزیه مصرف انرژی است. بسیاری از محققین LMDI و اشکال مختلف آن را برای بررسی مصرف انرژی در برخی کشورها و مناطق به کار برده‌اند (آچور و بلومی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶، آنگ و وانگ<sup>۶</sup>، ۲۰۱۵ و گونزالس و مورنو<sup>۷</sup>، ۲۰۱۵). پس از بررسی رابطه متقابل انرژی و اقتصاد، این سؤال مطرح است که آیا کشورها می‌توانند اتکا (وابستگی) به انرژی را کاهش دهند. تحلیل جداسازی<sup>۸</sup> روشی بسیار مهم برای پاسخ به این موضوع است. ایده جداسازی که توسط وون<sup>۹</sup> (۱۹۸۹) ارائه شد و اولین بار توسط ژانگ<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۰) برای بررسی مشکلات زیست محیطی مورد استفاده قرار گرفت. تاپیو<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۵) مفهوم شاخص جداسازی را پیشنهاد کرد و از این شاخص برای ارزیابی وضعیت جداسازی حجم ترافیک و انتشار دی‌اکسیدکربن از رشد اقتصادی در بخش حمل و نقل اروپا استفاده کرد. از آن زمان، شاخص جداسازی تاپیو به طور فزاینده‌ای برای شناسایی رابطه متقابل بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی و مسائل مربوط به آن مورد استفاده قرار گرفت (ژانگ و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۸ و ژانگ و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۵). تاکنون، بسیاری از محققان بر رابطه متقابل بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی تمرکز کرده‌اند با این حال، در سال‌های اخیر مطالعات محدودی به تجزیه مصرف برق در ایران پرداخته‌اند. علاوه بر این، تحقیقاتی با هدف بررسی اینکه آیا اقتصاد ایران وابستگی (اتکا) به مصرف برق را کاهش داده است یا خیر، وجود ندارد. از این رو هدف مطالعه حاضر از یک سو تجزیه و تحلیل مصرف برق ایران برای آزمون این فرضیه است که تنها تغییر ساختار اقتصادی در کاهش مصرف برق مؤثر بوده است و از سوی دیگر تحلیل رابطه مصرف برق و تولید ناخالص داخلی در راستای پاسخ به این سؤال است که کدام وضعیت جداسازی بین مصرف و رشد اقتصادی

5. Achour and Belloumi (2016)

6. B. W. Ang and Wang (2015)

7. González and Moreno (2015)

8. Decoupling Analysis

9. Von (1989)

10. Z. Zhang (2000)

11. Tapio (2005)

12. M. Zhang, Bai, and Zhou (2018),.

13. M. Zhang, Song, Su, and Sun (2015),.

1. Kraft and Kraft (1978)

2. Index decomposition

3. B. W. Ang (2005)

4. Logarithmic Mean Divisia Index

همکاران<sup>۹</sup> (۱۹۸۷) و آنگ و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۲) استفاده از شاخص دیویژیا را به عنوان جایگزینی برای شاخص لاسپیرز پیشنهاد دادند، پس از آن این روش گسترش یافت و در مطالعات بسیاری از جمله بوید و همکاران<sup>۱۱</sup> (۱۹۸۸)، لئو و همکاران<sup>۱۲</sup> (۱۹۹۲)، آنگ و لی<sup>۱۳</sup> (۱۹۹۴)، آنگ و چوی<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۷) و آنگ و لئو<sup>۱۵</sup> (۲۰۰۱) مورد استفاده قرار گرفت. شاخص لاسپیرز با استفاده از وزن‌های مبتنی بر مقادیر سال پایه درصد تغییر برخی از جنبه‌های یک گروه از اقلام در طول زمان را اندازه‌گیری می‌کند. شاخص دیویژیا یک مجموع وزنی از نرخ رشد لگاریتمی است که در آن وزن‌ها سهم اجزا در ارزش کل هستند که به صورت خطی ارائه می‌شوند. به طور کلی ساختار اصلی روش‌های مبتنی بر شاخص لاسپیرز بر اساس درصد تغییر است در حالی که ساختار اصلی روش‌های مبتنی بر شاخص دیویژیا بر اساس لگاریتم است. تورنگویست و همکاران<sup>۱۶</sup> (۱۹۸۵) مزایای استفاده از تغییرات لگاریتمی را بیان کردند، آن‌ها معتقدند که این تنها شاخص متقارن و جمعی است، در حالی که شاخص‌های مبتنی بر درصد تغییرات نامتقارن و غیرجمعی هستند. روش‌های مبتنی بر شاخص دیویژیا به دو رویکرد LMDI<sup>۱۷</sup> و AMDI<sup>۱۸</sup> تقسیم می‌شود. رویکردهای LMDI و AMDI که به عنوان شاخص‌های دیویژیا در دو فرم جمعی و ضربی مطرح می‌شوند، دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی هستند. روش AMDI اکثر ویژگی‌های تکنیک LMDI را دارد، به طوری که در بسیاری از مسائل می‌توان از آن به جای LMDI استفاده کرد و نتایج مشابهی به دست آورد. با این وجود AMDI در مقایسه با رویکرد LMDI دارای دو کاستی است؛ اول آنکه «آزمون معکوس-عامل<sup>۱۸</sup>» در روش AMDI برقرار نیست، بنابراین این روش در برخی از شرایط به طور مثال در تجزیه بین کشوری که اختلاف بزرگی در بین داده‌ها وجود دارد می‌تواند منجر به ایجاد پسماند شود. دومین کاستی روش مزبور هنگامی است که مجموعه داده‌ها حاوی مقادیر صفر است. در هر دو موقعیت مذکور روش LMDI می‌تواند به عنوان روشی

برقرار است. برای این منظور در ادامه این مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش دوم، مبانی نظری، بخش سوم، پیشینه پژوهش، بخش چهارم، مواد و روش‌ها و بخش پنجم، بحث و نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

## ۲- مبانی نظری

امروزه مدیریت کاهش مصرف انرژی یک اولویت مهم سیاست‌گذاری است به طوری که تعداد فزاینده‌ای از مطالعات شروع به تمرکز بر تجزیه تغییرات مصرف انرژی (به ویژه برق) برای شناسایی عوامل محرک آن کرده‌اند. برای تجزیه تغییرات مصرف انرژی (برق) به عوامل مختلف محرک آن تکنیک‌های زیادی در دسترس است که در میان آنها، تحلیل جداسازی<sup>۱</sup> (DA) و تحلیل تجزیه شاخص<sup>۲</sup> (IDA) دو رویکرد معمول هستند.

تحلیل تجزیه شاخص (IDA) از اواخر دهه ۱۹۷۰ برای بررسی تأثیر تغییر ساختاری بر استفاده از انرژی در صنعت معرفی و گسترش یافته است. سادگی و انعطاف‌پذیری این روش در مقایسه با دیگر روش‌های تجزیه مانند تحلیل تجزیه ساختاری داده-ستانده که در آن به جداول داده-ستانده نیاز است، به عنوان یک مزیت شمرده می‌شود. روش‌های متداول IDA در بین محققان را می‌توان به روش‌های مبتنی بر شاخص لاسپیرز<sup>۳</sup> و روش‌های مبتنی بر شاخص دیویژیا<sup>۴</sup> تقسیم کرد. روش‌های استفاده شده در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ از نظر مفهوم مشابه شاخص لاسپیرز هستند. این روش میزان سهم هر عامل در تغییر انرژی مصرفی را با ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل محاسبه می‌کند، از نمونه‌های بارز استفاده از این روش می‌توان به مطالعات جان و چاتل<sup>۵</sup> (۱۹۸۳) و مارلی<sup>۶</sup> (۱۹۸۴) که به ترتیب روند استفاده از انرژی در صنعت انگلستان و آمریکا را تجزیه و تحلیل کردند اشاره کرد. روش لاسپیرز در بسیاری از موارد منجر به ایجاد باقیمانده می‌شود. از این رو هاوارث و همکاران<sup>۷</sup> (۱۹۹۱)، پارک و هلمس<sup>۸</sup> (۱۹۹۲)، بوید و

9. G. Boyd, McDonald, Ross, and Hansont (1987)

10. B. Ang, Liu, and Chung (2002)

11. G. A. Boyd, Hanson, and Sterner (1988)

12. Liu, Ang, and Ong (1992)

13. B. W. Ang and Lee (1994)

14. B. W. Ang and Choi (1997)

15. B. W. Ang and Liu (2001)

16. Törnqvist, Vartia, and Vartia (1985)

17. Arithmetic Mean Divisia Inde

18. Factor-reversal test

1. Decoupling analysis

2. Index Decomposition Analysis

3. Laspeyers

4. Divisia

5. Jenne and Cattell (1983)

6. Marlay (1984)

7. Howarth, Schipper, Duerr, and Ström (1991)

8. Parker and Helms (1992)

جداسازی ارتجاعی (بازگشتی)<sup>۱۲</sup> تقسیم می‌شود. به طریق مشابه جداسازی منفی نیز به سه زیرشاخه جداسازی منفی رو به توسعه/ رشد<sup>۱۳</sup>، جداسازی منفی قوی<sup>۱۴</sup> و جداسازی منفی ضعیف<sup>۱۵</sup> تقسیم می‌شود؛ بنابراین بسته به نرخ رشد متغیرها و اندازه کشش می‌توان هشت حالت منطقی ممکن (در مورد جداسازی) را مشخص کرد.

باید توجه داشت که اگرچه رویکرد جداسازی به خودی خود محرک‌های تغییر و نقش اجزای مسئول افزایش یا کاهش مصرف انرژی (برق) را نشان نمی‌دهد (دیاکولاکی و ماندارا<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۷)، اما با به‌کارگیری هم‌زمان رویکرد جداسازی و رویکرد LMDI می‌توان تحلیلی جامع‌تر برای سیاست‌گذاری ارائه کرد (داس و روی<sup>۱۷</sup>، ۲۰۲۰).

### ۳- پیشینه تحقیق

مطالعات تجربی که به تجزیه و تحلیل مصرف برق پرداخته‌اند در دو دسته مطالعات داخلی و خارجی بررسی می‌شوند. در دسته مطالعات خارجی می‌توان به وانگ و همکاران<sup>۱۸</sup> (۲۰۱۰)، لوتز و بلیگنات<sup>۱۹</sup> (۲۰۱۱)، ژانگ و وانگ<sup>۲۰</sup> (۲۰۱۳)، ژانگ و همکاران<sup>۲۱</sup> (۲۰۱۹)، لین و رضا<sup>۲۲</sup>، وانگ و همکاران<sup>۲۳</sup> (۲۰۲۲) اشاره کرد.

وانگ و همکاران (۲۰۱۰) از روش LMDI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که اثر تکنولوژی و اثر تغییر ساختار به ترتیب از یک منحنی U شکل معکوس و U شکل برای مصرف برق صنعتی چین پیروی می‌کنند. علاوه بر این، صنایع مختلف پتانسیل صرفه‌جویی انرژی متفاوتی دارند. لوتز و بلیگنات (۲۰۱۱) روش مشابهی را به کار بردند و دریافتند که افزایش مصرف برق آفریقای جنوبی عمدتاً ناشی از عوامل تولید و تغییرات ساختاری است. ژانگ و وانگ (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص جداسازی و تجزیه و تحلیل LMDI به این نتیجه رسیدند که پیوند بازگشتی (۱۹۹۹-۲۰۰۷) و جداسازی ضعیف (۱۹۹۱-۱۹۹۹ و ۲۰۰۷-۲۰۰۹) بین مصرف برق ملی چین و تولید ناخالص داخلی وجود دارد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش

بهتر جایگزین AMDI شود. به طوری که در هر دو فرم ضربی و جمعی این شاخص، «آزمون معکوس - عامل» برقرار است، به این معنی که تجزیه تغییر در عوامل را بدون هیچ پسماندی انجام می‌دهد. ویژگی دیگر این شاخص آن است که در مسائل متفاوت به لحاظ تعداد عوامل مؤثر، از فرمول مشابهی استفاده می‌کنند. از سوی دیگر بین دو فرم ضربی و جمعی شاخص مزبور رابطه ساده‌ای وجود دارد که تفسیر آنها را آسان‌تر می‌کند. وجود ارتباط بسیار ساده و مستقیم بین روش ضربی و جمعی، یک ویژگی خوب از نظر روش‌شناسی است، بنابراین شاخص LMDI در مقایسه با سایر تکنیک‌های شاخص‌سازی از مشخصه‌های بهتری برخوردار است.

در رابطه با تحلیل جداسازی (DA) در اواخر قرن بیستم، OECD ایده جداسازی را در اختیار تحقیقات سیاست‌های کشاورزی قرار داد. در حال حاضر، سه نوع شاخص جداسازی وجود دارد. اولین شاخص جداسازی توسط OECD، ارائه شد که مبتنی بر مقدار اولیه و نهایی است و آخرین نوع شاخص را تاپیو (۲۰۰۵) معرفی کرد که متکی بر تغییر کشش و رشد است.

ویهماس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) نیز با مروری بر ادبیات مربوطه یک چارچوب جامع از جنبه‌های مختلف جداسازی ارائه کردند. آن‌ها در این مورد واژه پیوند زدایی<sup>۲</sup> را به کار بردند، در حالی که تاپیو (۲۰۰۵) واژه جداسازی را مطرح کرد. ویهماس و همکاران (۲۰۰۳) همچنین از مفهوم پیوند مجدد<sup>۳</sup> استفاده کردند که تاپیو (۲۰۰۵) به جای آن واژه جداسازی منفی<sup>۴</sup> را به کار برد علاوه بر روش ویهماس و همکاران را ارتقا بخشید. از این رو در رویکرد تاپیو (۲۰۰۵) بسته به افزایش یا کاهش متغیرها و اندازه کشش، سه وضعیت اتصال (پیوند)<sup>۵</sup>، جداسازی<sup>۶</sup> و جداسازی منفی<sup>۷</sup> متصور است. اتصال (پیوند) خود به دو زیرشاخه اتصال (پیوند) رو به توسعه/ رشد<sup>۸</sup> و اتصال (پیوند) ارتجاعی/ بازگشتی<sup>۹</sup> تقسیم می‌شود. جداسازی به سه زیرشاخه جداسازی ضعیف<sup>۱۰</sup>، جداسازی قوی<sup>۱۱</sup> و

12. Recessive decoupling

13. Expansive negative decoupling

14. Strong negative decoupling

15. Weak negative decoupling

16. Diakoulaki and Mandaraka (2007)

17. Das and Roy (2020)

18. W. Wang, Mu, Kang, Song, and Ning (2010)

19. Inglesi-Lotz and Blihnaut (2011)

20. M. Zhang and Wang (2013)

21. C. Zhang, Su, Zhou, and Yang (2019)

22. Lin and Raza (2021)

23. Y. Wang et al. (2022)

1. Vehmas et al. (2003).

2. De-linking

3. Re-linking

4. Negative decoupling

5. Coupling

6. Decoupling

7. Negative decoupling

8. Expansive coupling

9. Recessive coupling

10. Weak decoupling

11. Strong decoupling

ساختاری نیز هر یک سهمی ۲۰ و ۱۷ درصدی را بر تغییرات مصرف برق در طی این دوره داشته‌اند.

مطالعه حاضر علاوه بر تجزیه و تحلیل مصرف برق کشور، با استفاده از شاخص جداسازی، رابطه بین رشد تولید ناخالص داخلی و مصرف برق را نیز بررسی می‌کند.

#### ۴- مواد و روش‌ها

این تحقیق از دو طریق عوامل مؤثر بر مصرف برق را تحلیل می‌کند. اول، میزان مصرف برق در ایران طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ را با استفاده از تحلیل تجزیه شاخص (IDA) به عناصر سهم بخشی، ساختار اقتصادی، شدت انرژی، تولید سرانه و جمعیت، تجزیه می‌کند. دوم، روش تجزیه و تحلیل جداسازی (DA) را برای ارزیابی رابطه بین متغیرهای مرتبط و روند رشد پایدار به کار می‌گیرد.

#### ۴-۱- تحلیل تجزیه شاخص (ADI)

تحلیل تجزیه شاخص توسط بسیاری از محققان به طور گسترده برای شناسایی عوامل مؤثر بر مصرف برق استفاده شده است. آن‌ها معیارهای مطلوب بودن تخمین به این روش را به صورت، اول، داشتن مبانی نظری، دوم، سازگار بودن، سوم، سهولت بکارگیری و چهارم، سادگی تفسیر نتایج برمی‌شمارند. از میان انواع مختلف روش‌های تجزیه کامل، در این مطالعه از تکنیک تجزیه شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا (LMDI) استفاده می‌شود که توسط آنگ و چوی (۱۹۹۸) ارائه شده است. طبق مطالعه آنگ (۲۰۰۵)، از آنجایی که این روش مزیت‌های مختلفی نسبت به دیگر تکنیک‌های تجزیه کامل دارد، دارای ارجحیت است. نبود خطا در اندازه‌گیری، استفاده از داده‌های آماری کلان اقتصادی که در تمامی اقتصادها به راحتی در دسترس است، مبتنی بودن این تکنیک بر روش‌های ریاضی و عددی از جمله مزایای استفاده از این روش هستند. برای لحاظ کردن آمارهای بخشی در مصرف کلان، از معادلات (۱) و (۲) استفاده می‌کنیم.

$$C^t = \sum_i C_i^t = \sum_i \frac{C_i^t}{EC_i^t} \cdot \frac{EC_i^t}{GDP_i^t} \cdot \frac{GDP_i^t}{GDP^t} \cdot \frac{GDP^t}{POP^t} \cdot POP^t \quad (1)$$

$$C^t = \sum_i SC_i^t \cdot EI_i^t \cdot ESS_i^t \cdot P \cdot GDP^t \cdot POP^t \quad (2)$$

در معادلات بالا  $C_i^t$  مصرف کل برق کشور در سال  $t$  است.  $C_i^t$  مصرف برق بخش  $i$  در سال  $t$  است.  $EC_i^t$  مصرف کل انرژی بخش  $i$  در سال  $t$  است.  $GDP^t$  تولید

جداسازی و تجزیه شاخص عوامل مؤثر بر مصرف برق چین را طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که اثر فعالیت‌های اقتصادی عامل اصلی افزایش مصرف کل برق است. لین و رضا (۲۰۲۱) با استفاده از تجزیه شاخص و روش جداسازی میزان مصرف برق در پاکستان طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ را ارزیابی کردند. آن‌ها روش جداسازی را برای ارزیابی رابطه بین متغیرهای مرتبط و روند رشد پایدار در نظر گرفتند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که اثر ساختار اقتصادی مهم‌ترین عامل محرک رشد مصرف کل برق در کشور پاکستان است. وانگ و همکاران (۲۰۲۲) به تجزیه نیروی‌های محرکه مصرف برق منطقه‌ای در ژاپن طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ با استفاده از دو رویکرد تحلیل تجزیه شاخص و جداسازی پرداختند. نتایج رویکرد تحلیل تجزیه شاخص نشان داد که اثر شدت مصرف برق و اثر فعالیت اقتصادی هر دو غالب هستند، علاوه بر این رویکرد جداسازی نشان داد که وضعیت جداسازی در ژاپن از حالت جداسازی منفی رو به رشد به حالت جداسازی ضعیف در طول دوره مورد مطالعه تغییر کرده است.

در حوزه مطالعات داخلی علی‌رغم اینکه مطالعات مختلفی به تجزیه مصرف انرژی و عوامل مؤثر بر آن پرداخته‌اند، اما در رابطه با بررسی روند مصرف برق و رشد اقتصادی، هیچ یک از مطالعات در راستای جداسازی رابطه این دو متغیر و بررسی روند آنها نبوده است. در مطالعات داخلی تنها دو مطالعه بیابانی خامنه و صادقی سقدل (۱۳۹۳) و توانانجار و فیضی (۱۳۹۴) به تجزیه و تحلیل مصرف برق پرداخته‌اند. بیابانی خامنه و صادقی سقدل (۱۳۹۳) از شاخص LMDI برای تجزیه مصرف برق ایران در دوره ۱۳۵۳-۱۳۹۱ استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ۶۹ درصد از رشد مصرف برق به دلیل ناکارایی در مصرف ۱/۳ درصد به دلیل تغییرات ساختاری و تنها ۲۹/۷ درصد از رشد مصرف در این دوره به علت رشد فعالیت‌های اقتصادی بوده است. توانانجار و فیضی (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص LMDI کل تغییرات مصرف برق بخش خانگی بین دو سال ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ را به چهار اثر شامل اثرات ساختاری، شدت انرژی، فعالیت و جمعیتی تجزیه کردند. نتایج پژوهش آنها حاکی از آن است که اثر شدت انرژی با ۳۷ درصد، بیشترین سهم را در تغییرات مصرف برق طی این دوره داشته است. دومین اثر پیش‌راننده مصرف برق، اثر جمعیتی با سهمی معادل ۲۶ درصد از تغییرات مصرف برق بوده است. اثرات فعالیت و

## ۴-۲- تحلیل جداسازی (AD)

در اواخر قرن بیستم، OECD ایده جداسازی را در اختیار تحقیقات سیاست‌های کشاورزی قرار داد. در حال حاضر، سه نوع شاخص جداسازی وجود دارد. اولین شاخص جداسازی توسط OECD، ارائه شد که مبتنی بر مقدار اولیه و نهایی است و آخرین نوع شاخص را تاپیو (۲۰۰۵) معرفی کرد که متکی بر تغییر کشش و رشد است. بسته به افزایش یا کاهش متغیرها و اندازه کشش، سه وضعیت اتصال (پیوند)، جداسازی و جداسازی منفی متصور است. اتصال (پیوند) خود به دو زیرشاخه اتصال (پیوند) رو به توسعه / رشد و اتصال (پیوند) ارتجاعی / بازگشتی تقسیم می‌شود. جداسازی به سه زیرشاخه جداسازی ضعیف، جداسازی قوی و جداسازی ارتجاعی (بازگشتی) تقسیم می‌شود. به طریقی مشابه جداسازی منفی نیز به سه زیرشاخه جداسازی منفی رو به توسعه / رشد، جداسازی منفی قوی و جداسازی منفی ضعیف تقسیم می‌شود، بنابراین بسته به نرخ رشد متغیرها و اندازه کشش می‌توان هشت حالت منطقی ممکن (در مورد جداسازی) را مشخص کرد.

در این پژوهش بر اساس مطالعات تاپیو (۲۰۰۵) و لین و رضا (۲۰۲۱)، بین سال پایه (۰) و سال هدف (t) شاخص جداسازی مصرف برق (EC(C) و تولید ناخالص داخلی (GD-G) به وسیله  $D^t$  نشان داده می‌شود، بنابراین جداسازی نسبت درصد تغییر ( $\Delta\%$ ) در کل مصرف برق به درصد تغییر در GDP از سال پایه (۰) تا سال هدف (t) است. در این تحقیق  $D^t$  به وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$D^t = \frac{\% \Delta C}{\% G} = \frac{\frac{C^t - C^0}{C^0}}{\frac{G^t - G^0}{G^0}} \quad (9)$$

$$\frac{G^0}{C^0} \cdot \frac{\Delta C_{SC}^t + \Delta C_{EI}^t + \Delta C_{ESS}^t + \Delta C_{POP}^t + \Delta C_{POP}^t}{\Delta G^t}$$

$$D^t = D_{SC}^t + D_{EI}^t + D_{ESS}^t + D_{POP\ GDP}^t + D_{POP}^t$$

در اینجا  $D^t$  مجموع تمام شاخص‌های اتصال (پیوند) است و  $D_{SC}^t$ ،  $D_{EI}^t$ ،  $D_{ESS}^t$ ،  $D_{POP\ GDP}^t$  و  $D_{POP}^t$  نشان دهنده اثرات هر یک از عوامل در  $D^t$  هستند.

بر این اساس، حالت‌های جداسازی بین مصرف برق و تولید ناخالص داخلی به هشت حالت تقسیم می‌شود. با هدف اینکه تغییرات جزئی معنی‌دار تفسیر نشود تغییرات

ناخالص داخلی واقعی کل کشور در سال t است.  $GDP_i^t$  ارزش افزوده بخش i در سال t است.  $POP^t$  جمعیت کل کشور در سال t است.  $SC_i^t = \frac{C_i^t}{EC_i^t}$  سهم مصرف برق بخش i از کل انرژی مصرفی بخش i در سال t را نشان می‌دهد.  $EI_i^t = \frac{EC_i^t}{GDP_i^t}$  شدت انرژی بخش i در سال t را نشان می‌دهد.  $ESS_i^t = \frac{GDP_i^t}{GDP^t}$  ساختار اقتصادی را نشان می‌دهد.  $PGDP^t = \frac{GDP^t}{POP^t}$  تولید ناخالص سرانه کشور را در سال t نشان می‌دهد.

در معادله (۳)  $\Delta C_{total}^t$  نشان‌دهنده میزان تغییر در مصرف برق از سال پایه ۰ تا سال t است که بر اساس پنج عامل تأثیرگذار شامل  $\Delta C_{POP}^t$ ،  $\Delta C_{ESS}^t$ ،  $\Delta C_{EI}^t$ ،  $\Delta C_{SC}^t$  و  $\Delta C_{POP\ GDP}^t$  است.

$$\Delta C_{total}^t = \Delta C_{SC}^t + \Delta C_{EI}^t + \Delta C_{ESS}^t + \Delta C_{POP\ GDP}^t + \Delta C_{POP}^t \quad (3)$$

اجزای معادله (۳) به شرحی که در معادلات (۴) تا (۸) آمده است محاسبه خواهند شد.

$$\Delta C_{SC}^t = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \cdot \ln \left( \frac{SC_i^t}{SC_i^0} \right) \quad (4)$$

$$\Delta C_{EI}^t = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \cdot \ln \left( \frac{EI_i^t}{EI_i^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta C_{ESS}^t = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \cdot \ln \left( \frac{ESS_i^t}{ESS_i^0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta C_{POP\ GDP}^t = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \cdot \ln \left( \frac{POP\ GDP_i^t}{POP\ GDP_i^0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_{POP}^t = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \cdot \ln \left( \frac{POP^t}{POP^0} \right) \quad (8)$$

معادله (۴) تأثیر تغییرات سهم برق از کل انرژی بر روی مصرف برق را نشان می‌دهد. معادله (۵) تأثیر بازده انرژی و توسعه فناوری بر مصرف برق را محاسبه می‌کند. معادله (۶) تأثیر ساختار اقتصادی بر مصرف برق را اندازه‌گیری می‌کند. معادله (۷) تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف برق را اندازه‌گیری می‌کند و معادله (۸) تأثیر تغییر جمعیت را بر مصرف برق اندازه‌گیری می‌کند.

جداسازی ارتجاعی (بازگشتی) است که در این حالت GDP و مصرف برق هر دو کاهش می‌یابند و  $elasticity < 1.2$  است. به طور مشابه سه زیر گروه جداسازی منفی شامل، یکی جداسازی منفی رو به توسعه/ رشد است که در آن GDP و مصرف برق هر دو افزایش می‌یابند و  $elasticity > 1.2$  است. دومی جداسازی منفی قوی است که در آن GDP کاهش و مصرف برق افزایش می‌یابد و  $elasticity < 0$  است. سوم جداسازی منفی ضعیف است که زمانی رخ می‌دهد که GDP و مصرف برق هر دو کاهش می‌یابند و  $0 < elasticity < 0.8$  است. به طور خلاصه این هشت حالت در جدول ۱ ارائه شده است.

مثبت یا منفی ۲۰ درصد در مقدار پایه کشش (کشش برابر با ۱) همچنان به معنی اتصال (پیوند) تفسیر می‌شود، بنابراین اتصال (پیوند) به صورت مقادیر کشش در بازه  $[0.8, 1.2]$  تعریف می‌شود. از طرف دیگر نرخ رشد متغیرها به خودی خود می‌تواند مثبت یا منفی باشد که به صورت اتصال (پیوند) رو به توسعه/ رشد و اتصال (پیوند) ارتجاعی/ بازگشتی بیان می‌شوند. سه زیر گروه جداسازی نیز شامل، اول، جداسازی ضعیف که در آن GDP و مصرف برق هر دو افزایش می‌یابند و  $0 < elasticity < 0.8$  است، دوم جداسازی قوی است که در آن GDP رشد می‌کند و مصرف برق کاهش می‌یابد و  $elasticity < 0$  است و حالت سوم

جدول ۱. وضعیت‌های جداسازی بر اساس رویکرد تاپیو (۲۰۰۵)

if $D^t > 1.2, \% \Delta C > 0, \text{ and } \% \Delta GDP > 0$	جداسازی منفی رو به رشد	۱
if $D^t > 1.2, \% \Delta C < 0, \text{ and } \% \Delta GDP < 0$	جداسازی بازگشتی	۲
if $D^t < 0, \% \Delta C < 0, \text{ and } \% \Delta GDP > 0$	جداسازی قوی	۳
if $D^t < 0, \% \Delta C > 0, \text{ and } \% \Delta GDP < 0$	جداسازی منفی قوی	۴
if $0 < D^t < 0.8, \% \Delta C > 0, \text{ and } \% \Delta GDP > 0$	جداسازی ضعیف	۵
if $0 < D^t < 0.8, \% \Delta C < 0, \text{ and } \% \Delta GDP < 0$	جداسازی منفی ضعیف	۶
if $0.8 < D^t < 1.2, \% \Delta C > 0, \text{ and } \% \Delta GDP > 0$	پیوند رو به رشد	۷
if $0.8 < D^t < 1.2, \% \Delta C < 0, \text{ and } \% \Delta GDP < 0$	پیوند بازگشتی	۸

منبع: تاپیو ۲۰۰۵

#### ۴-۳- داده‌ها

رو گروه نفت و گاز طبیعی ارزش افزوده بخش صنعت خارج شده است و به همین دلیل در مورد تولید ناخالص داخلی کل کشور نیز داده GDP بدون نفت به صورت GDP حقیقی بدون نفت به سال پایه ۱۳۹۰ در نظر گرفته شده است. علاوه بر این در این تحقیق از داده‌های جمعیت انتشار یافته مرکز آمار استفاده شده است.

#### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

##### ۵-۱- تحلیل نتایج

با اعمال روش LMDI و به‌کارگیری روابط (۳ تا ۸)، نتایج تجزیه مصرف برق ایران در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به اینکه اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها نقطه عطفی در تحلیل‌های اقتصاد انرژی ایران است از این رو تحلیل نتایج به دو صورت سالانه و ادواری (قبل و بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها) ارائه می‌شود.

این مقاله اقتصاد کشور در قالب سه بخش صنعت، کشاورزی و خدمات را در دوره ۱۳۸۰-۱۳۹۸ مورد مطالعه قرار می‌دهد. داده‌های انرژی از تراژنامه انرژی ایران جمع‌آوری شده است. متغیر مصرف انرژی شامل مصارف انرژی، مصارف غیرانرژی و سایر مصارف است که کل مصارف انرژی بخش‌ها منهای سایر مصارف در نظر گرفته شده است. مصرف برق بخش‌ها به مصرف نهایی برق بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات اشاره دارد که مصرف برق بخش خدمات عبارت است از مصارف انرژی خانگی، عمومی و تجاری بعلاوه مصارف حمل و نقل، زیرا ارزش افزوده بخش خدمات شامل حمل و نقل نیز هست بنابراین مصارف بخش حمل و نقل در اینجا در نظر گرفته شده است. در رابطه با ارزش افزوده بخش صنعت با توجه به اینکه ارزش افزوده گروه نفت و گاز طبیعی در بخش صنعت گزارش می‌شود و این امر منجر به افزایش ارزش افزوده بخش صنعت می‌شود بنابراین شدت انرژی این بخش دچار تورش می‌شود از این

جدول ۲. تجزیه مصرف برق کشور بر اساس روش LMDI

سال	$\Delta C_{SC}^t$	$\Delta C_{EI}^t$	$\Delta C_{ESS}^t$	$\Delta C_{POP\ GDP}^t$	$\Delta C_{POP}^t$	$\Delta C_{total}^t$
۱۳۸۰	۲,۵۳	-۱,۱۴	-۰,۰۳۵	۱,۳۸۷	۰,۹۲۱	۳,۶۶۴
۱۳۸۱	۰,۹۵۸	-۱,۴۶۶	۰,۰۶۵	۳,۸۷۵	۰,۸۹۸	۴,۳۳
۱۳۸۲	۲,۱۲۱	۰,۱۵	-۰,۰۴۳	۳,۱۱۶	۰,۹۷۸	۶,۳۲۲
۱۳۸۳	۰,۶۷۹	-۰,۲۴۳	-۰,۳۰۶	۴,۰۸۳	۱,۰۶۷	۵,۲۸
۱۳۸۴	-۱,۷۵۱	۰,۳۵۵	۰,۲۰۶	۴,۲۵	۱,۱۳۹	۴,۱۹۹
۱۳۸۵	-۰,۰۷۳	-۰,۴۶۶	-۰,۲۹	۶,۰۶۸	۱,۲۷	۶,۵۰۹
۱۳۸۶	-۲,۸۵۶	۰,۴۳۸	-۰,۳۱۷	۶,۲۳۶	۱,۰۹۳	۴,۵۹۴
۱۳۸۷	۲,۹۳۱	۲,۲۲۸	-۰,۸۰۷	۰,۴۴۵	۱,۱۶۳	۵,۹۵۹
۱۳۸۸	۳,۰۸۹	-۰,۷۳۸	۰,۴۹	۰,۸۳۱	۱,۲۳۵	۴,۹۰۷
۱۳۸۹	۴,۲۵۱	-۰,۵۶۹	۰,۲۵۸	۲,۹۰۷	۱,۳۲۲	۸,۱۶۹
۱۳۹۰	-۰,۲۶۶	۵,۵۲۹	-۱,۲۶۸	-۳,۳۷۷	۱,۳۹	۲,۰۰۷
۱۳۹۱	۳,۹	۵,۲۶۶	-۰,۶۰۴	-۴,۰۹	۱,۳۷۳	۵,۸۴۴
۱۳۹۲	-۱,۲۷۳	۰,۴۱۴	-۱,۱۰۹	۳,۵۳۳	۱,۴۳۲	۲,۹۹۷
۱۳۹۳	۶,۵۶۲	-۱,۱۲۸	۰,۷۱۶	۲,۲۴۵	۱,۵۱۶	۹,۹۱۱
۱۳۹۴	۸,۱۳۲	-۱,۶۲	۰,۷۶۷	-۲,۳۸۵	۱,۶۲۴	۶,۵۱۸
۱۳۹۵	-۳,۰۲۱	-۴,۱۵۶	۰,۳۶۲	۹,۴۹۹	۱,۶۹۶	۴,۳۸۱
۱۳۹۶	۷,۳۴۳	-۵,۱۸	-۰,۶۰۷	۵,۸۱	۲,۰۴	۹,۴۰۷
۱۳۹۷	-۷,۷۸۶	۱۲,۷۹	-۰,۸۱۲	-۴,۷۴۹	۱,۸۵۲	۱,۲۹۵
۱۳۹۸	۱,۷۵۶	۱,۴۶۰	۰,۲۱۹	۳,۳۰۰	۱,۸۴۶	۸,۵۸۱

منبع: یافته‌های تحقیق

و ۱۳۹۸ نیز اثر تولید با ۳/۵۳۳ و ۹/۴۹۹ و ۳/۳۰ میلیون بشکه معادل نفت خام بیشترین تأثیر را در افزایش مصرف برق دارد. در نهایت جدول (۲) نشان می‌دهد که اگر چه در سال ابتدای دوره مورد مطالعه (۱۳۸۰) اثر فعالیت با ۲/۵۳ میلیون بشکه معادل نفت خام نقش غالب در افزایش مصرف برق دارد، اما در سال انتهایی دوره مورد مطالعه (۱۳۹۸) اثر تولید با ۳/۳۰ میلیون بشکه معادل نفت خام بیشترین تأثیر را در افزایش مصرف برق دارد. جالب توجه اینکه در کل دوره مورد مطالعه تنها اثر ساختار باعث کاهش مصرف برق به میزان ۳/۱۱ میلیون بشکه معادل نفت خام شده است در حالی که چهار اثر تولید (به میزان ۴۲/۹۸۴ میلیون بشکه معادل نفت خام)، فعالیت (به میزان ۲۷/۲۲۶ میلیون بشکه معادل نفت خام)، جمعیت (به میزان ۲۵/۸۵۵ میلیون بشکه معادل نفت خام) و شدت (به میزان ۱۱/۹۲۴ میلیون بشکه معادل نفت خام) باعث افزایش مصرف برق شده‌اند. البته اثر جمعیت در تمام سال‌ها باعث افزایش مصرف برق شده است. در تحلیل ادواری، در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ قبل از اجرای

در تحلیل سالانه، برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ مصرف برق اندکی بیش از ۵ درصد افزایش یافته است که در این دوره سهم اثر تولید و جمعیت به عنوان مهم‌ترین عوامل محرک توسعه یک کشور، در افزایش مصرف برق قابل توجه است و به ترتیب از ۱/۳۸۷ و ۰/۹۲۱ در سال ۱۳۸۰ به ۶/۲۳۶ و ۱/۰۹۳ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۶ افزایش یافته‌اند. برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ اثر فعالیت با تغییر ۴۵ درصدی بیشترین تأثیر را در افزایش مصرف برق دارد و سهم آن از ۲/۹۳۱ به ۴/۲۵۱ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یافته است. به طور مشابه در سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ نیز اثر فعالیت با ۶/۵۶۲، ۸/۱۳۲ و ۷/۳۴۳ میلیون بشکه معادل نفت خام نقش غالب را در افزایش مصرف برق دارد. جالب توجه اینکه در دو سال ابتدای اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها یعنی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ اثرات ساختار و تولید باعث کاهش مصرف برق شده‌اند در حالی که اثر شدت نقش غالب در افزایش مصرف برق با ۵/۵۲۹ و ۵/۲۶۶ میلیون بشکه معادل نفت خام دارد. در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵



۱۳۹۸ بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها مصرف برق تنها به واسطه اثر ساختار (به میزان ۲/۳۳۶ میلیون بشکه معادل نفت خام) کاهش یافته است. در حالی که در این دوره چهار اثر فعالیت، جمعیت، شدت و تولید به ترتیب معادل ۱۵/۳۴۷، ۱۴/۷۶۹، ۱۳/۳۷۵ و ۹/۷۸۶ میلیون بشکه معادل نفت خام منجر به افزایش مصرف برق شده‌اند. به عبارتی حدود ۲۹ درصد از افزایش مصرف برق ناشی از اثر فعالیت بوده است و اثر جمعیت، شدت و تولید سهمی معادل ۲۸، ۲۵ و ۱۸ درصد دارند. لازم به ذکر است در این دوره می‌توان اثر تحریم‌های اقتصادی بر مصرف برق بخش‌ها را به وضوح مشاهده کرد چرا که در این دوره علاوه بر وجود رکود، واردات تجهیزات با مصرف برق بهینه محدود شده و باعث افزایش مصرف و ناکارایی شده است. با به‌کارگیری رابطه (۹)، در جدول (۳) نقش هر یک از عوامل مؤثر بر مصرف برق در روند جداسازی بین مصرف برق و رشد اقتصادی مشاهده می‌شود که برآیند آنها در جدول (۴) مویید وضعیت‌های مختلف جداسازی بین مصرف برق و رشد اقتصادی است.

قانون هدفمندی یارانه‌ها مصرف برق به ترتیب به واسطه دو اثر شدت (به میزان ۱/۴۵۱ میلیون بشکه معادل نفت خام) و اثر ساختار (به میزان ۰/۷۷۹ میلیون بشکه معادل نفت خام) کاهش یافته است. در حالی که در این دوره به ترتیب سه اثر تولیدی (به میزان ۳۳/۱۹۸ میلیون بشکه معادل نفت خام)، اثر فعالیت (به میزان ۱۱/۸۷۹ میلیون بشکه معادل نفت خام) و جمعیت (به میزان ۱۱/۰۸۶ میلیون بشکه معادل نفت خام)، باعث افزایش مصرف برق شده‌اند، به عبارتی ۵۹ درصد از افزایش مصرف برق در دوره قبل از هدفمندی یارانه‌ها ناشی از تولیدی است سپس به ترتیب اثرات فعالیت و جمعیت سهمی معادل ۲۱ و ۲۰ درصد دارند که این به معنی عدم استفاده بهینه از برق است، در این دوره اگر چه اثر ساختاری و شدت گویای این است که از صنایع با انرژی‌بری کمتری استفاده شده است اما مقدار این دو اثر در حدی نبوده است که باعث کاهش مصرف برق شود و در نهایت اینکه در کل دوره قبل از هدفمندی یارانه‌ها مصرف برق ۵۳/۹۳۳ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یافته است. در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا

جدول ۳. محاسبه شاخص جداسازی و اجزای آن

سال	$D_{SC}^t$	$D_{EI}^t$	$D_{ESS}^t$	$D_{POP\ GDP}^t$	$D_{POP}^t$	$D^t$
۱۳۸۰	۱,۱۱	-۰,۵	-۰,۰۱۵	۰,۶۰۸	۰,۴۰۴	۱,۶۰۷
۱۳۸۱	۰,۲	-۰,۳۰۶	۰,۰۱۴	۰,۸۰۹	۰,۱۸۷	۰,۹۰۴
۱۳۸۲	۰,۵۲۷	۰,۰۳۷	-۰,۰۱۱	۰,۷۷۴	۰,۲۴۳	۱,۵۷۱
۱۳۸۳	۰,۱۳۲	-۰,۰۴۷	-۰,۰۵۹	۰,۷۹۴	۰,۲۰۷	۱,۰۲۶
۱۳۸۴	-۰,۳۲۲	۰,۰۶۵	۰,۰۳۸	۰,۷۸۲	۰,۲۱	۰,۷۷۳
۱۳۸۵	-۰,۰۱	-۰,۰۶۳	-۰,۰۳۹	۰,۸۲۳	۰,۱۷۲	۰,۸۸۲
۱۳۸۶	-۰,۳۸۳	۰,۰۵۹	-۰,۰۴۳	۰,۸۳۷	۰,۱۴۷	۰,۶۱۷
۱۳۸۷	۱,۸۶۷	۱,۴۱۹	-۰,۵۱۴	۰,۲۸۳	۰,۷۴۱	۳,۷۹۶
۱۳۸۸	۱,۵۱۷	-۰,۳۶۲	۰,۲۴۱	۰,۴۰۸	۰,۶۰۷	۲,۴۱۱
۱۳۸۹	۱,۰۲۵	-۰,۱۳۷	۰,۰۶۲	۰,۷۰۱	۰,۳۱۹	۱,۹۶۹
۱۳۹۰	۰,۱۳۶	-۲,۸۲۹	۰,۶۴۹	۱,۷۲۸	-۰,۷۱۱	-۱,۰۲۷
۱۳۹۱	-۱,۴۹۲	-۲,۰۱۵	۰,۲۳۱	۱,۵۶۵	-۰,۵۲۵	-۲,۲۳۶
۱۳۹۲	-۰,۲۵۴	۰,۰۸۳	-۰,۲۲۱	۰,۷۰۶	۰,۲۸۶	۰,۵۹۸
۱۳۹۳	۱,۷۸۹	-۰,۳۰۸	۰,۱۹۵	۰,۶۱۲	۰,۴۱۳	۲,۷۰۳
۱۳۹۴	-۱۰,۹۸۸	۲,۱۸۹	-۱,۰۳۶	۳,۲۲۳	-۲,۱۹۵	-۸,۸۰۷
۱۳۹۵	-۰,۲۶۳	-۰,۳۶۲	۰,۰۳۲	۰,۸۲۷	۰,۱۴۸	۰,۳۸۲
۱۳۹۶	۰,۹۴۱	-۰,۶۶۳	-۰,۰۷۸	۰,۷۴۴	۰,۲۶۱	۱,۲۰۵
۱۳۹۷	۲,۷۲۵	-۴,۴۷۷	۰,۲۸۴	۱,۶۶۲	-۰,۶۴۸	-۰,۴۵۳
۱۳۹۸	۰,۳۴۵	۰,۲۸۷	۰,۰۴۳	۰,۶۴۸	۰,۳۶۳	۱,۶۸۶

منبع: یافته‌های تحقیق

سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۳، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ مشاهده می‌شود که در کنار رشد اقتصادی و رشد مصرف برق شاخص جداسازی نیز مقادیر بزرگ‌تر از ۱/۲ را اختیار می‌کند. پیوند رو به رشد نشان دهنده وابستگی نزدیک و رابطه متقابل بین رشد اقتصاد و مصرف برق است این نوع رابطه در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۵ رخ داده است که شاخص جداسازی مقداری بیش از ۸/۰ و کمتر از ۱/۲ است. با این حال، پیوند رو به رشد برای توسعه اقتصادی پایدار در بلندمدت مضر است. از منظر تحلیل جداسازی مناسب‌ترین وضعیت، جداسازی قوی است که نشان دهنده کاهش مصرف برق همراه با بهبود رشد اقتصادی است که متاسفانه حتی با اجرایی شدن قانون هدفمندی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹ این وضعیت برای ادوار بعد از اجرای این قانون نیز مشاهده نشد. این مهم نشان می‌دهد که در سیاست‌گذاری در راستای توسعه پایدار جهت دستیابی به رشد اقتصادی با مصرف کمتر انرژی و حفاظت محیط‌زیست سیاست‌های قیمتی به تنهایی کارساز نیست از این رو لازم است سایر سیاست‌های کارایی انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی مکمل نیز به طور هم‌زمان اجرا شوند.

از نظر همبستگی رشد اقتصادی و مصرف انرژی، همان‌طور که در جدول (۴) آمده است، اگر در طی یک دوره زمانی نرخ رشد اقتصادی بیش از رشد مصرف انرژی (برق) و مقدار شاخص جداسازی بین صفر و ۰٫۸ باشد، وضعیت جداسازی ضعیف نامیده می‌شود این نوع جداسازی در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۶، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ رخ داده است. هنگامی که مصرف برق با کاهش رشد اقتصاد افزایش می‌یابد و مقدار شاخص جداسازی کوچک‌تر از صفر است، رابطه پیوند از بین می‌رود. این را جداسازی منفی قوی می‌نامند این نوع جداسازی در سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ رخ داده است که نشان می‌دهد در سال‌های ابتدایی بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها علی‌رغم افزایش قیمت انرژی به دلیل عدم تطابق و اصلاح ساختار تولید به ویژه عدم به‌کارگیری ماشین‌آلات و تجهیزات به‌روز، با کارایی بالا و مصرف کمتر انرژی، کاهش رشد اقتصادی با رشد مثبت مصرف برق همراه است. اما جداسازی منفی رو به رشد نشان دهنده یک حالت توسعه غیرمنطقی است که پیشرفت اقتصاد به قیمت مصرف زیاد برق و آلودگی محیط‌زیست تمام می‌شود، این نوع جداسازی در

جدول ۴. وضعیت جداسازی رشد مصرف برق از رشد اقتصادی

وضعیت جداسازی	D <sup>t</sup>	%ΔC	%ΔGDP	سال
جداسازی منفی روبه رشد	۱٫۶۰۷	۰٫۰۶۸۷۰۷۲۱	۰٫۰۴۲۷۶۴۱	۱۳۸۰
پیوند روبه رشد	۰٫۹۰۴	۰٫۰۷۵۹۷۰۹۹	۰٫۰۸۴۰۷۱۱	۱۳۸۱
جداسازی منفی روبه رشد	۱٫۵۷۱	۰٫۱۰۳۱۰۳۲۳	۰٫۰۶۵۶۰۹۵	۱۳۸۲
پیوند روبه رشد	۱٫۰۲۶	۰٫۰۷۸۰۵۲۷۴	۰٫۰۷۶۰۵۶۵	۱۳۸۳
جداسازی ضعیف	۰٫۷۷۳	۰٫۰۵۷۵۷۴۹۸	۰٫۰۷۴۴۹۷۴	۱۳۸۴
پیوند روبه رشد	۰٫۸۸۲	۰٫۰۸۴۳۹۵۹۹	۰٫۰۹۵۶۴۵۵	۱۳۸۵
جداسازی ضعیف	۰٫۶۱۷	۰٫۰۵۴۹۲۹۳۶	۰٫۰۸۹۰۶۱۷	۱۳۸۶
جداسازی منفی روبه رشد	۳٫۷۹۶	۰٫۰۶۷۵۴۰۶۷	۰٫۰۱۷۷۹۱۱	۱۳۸۷
جداسازی منفی روبه رشد	۲٫۴۱۱	۰٫۰۵۲۲۰۶۲۷	۰٫۰۲۱۶۱۴۷	۱۳۸۸
جداسازی منفی روبه رشد	۱٫۹۶۹	۰٫۰۸۲۷۴۴۷	۰٫۰۴۱۸۶۰۵	۱۳۸۹
جداسازی منفی قوی	-۱٫۰۲۷	۰٫۰۱۷۷۲۰۴	-۰٫۰۱۸۲۱۴	۱۳۹۰
جداسازی منفی قوی	-۲٫۲۳۶	۰٫۰۵۴۱۱۲۵۵	-۰٫۰۲۳۹۳۳۹	۱۳۹۱
جداسازی ضعیف	۰٫۵۹۸	۰٫۰۲۶۰۴۲۷۴	۰٫۰۴۳۵۰۳۵	۱۳۹۲
جداسازی منفی روبه رشد	۲٫۷۰۳	۰٫۰۸۳۹۸۹۶	۰٫۰۳۱۰۵۰۳	۱۳۹۳
جداسازی منفی قوی	-۸٫۸۰۷	۰٫۰۵۰۸۳۱۵۸	-۰٫۰۵۵۷۸۱	۱۳۹۴
جداسازی ضعیف	۰٫۳۸۲	۰٫۰۳۲۵۶۴۰۹	۰٫۰۸۵۳۳۱۸	۱۳۹۵
جداسازی منفی روبه رشد	۱٫۲۰۵	۰٫۰۶۷۷۱۳۲۶	۰٫۰۵۶۱۹۸۸	۱۳۹۶
جداسازی منفی قوی	-۰٫۴۵۳	۰٫۰۰۸۷۳۲۰۴	-۰٫۰۱۹۲۶۱	۱۳۹۷
جداسازی منفی روبه رشد	۱٫۶۸۶	۰٫۰۵۷	۰٫۰۳۴	۱۳۹۸

منبع: یافته‌های تحقیق

## ۵-۲- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مصرف برق نقش قابل توجهی در افزایش مصرف انرژی در سراسر جهان بازی می‌کند و ارتباط تنگاتنگی با توسعه اقتصادی دارد که کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست، بنابراین در مطالعه حاضر عوامل مؤثر بر مصرف برق با استفاده از رویکرد LMDI در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ تجزیه شد. علاوه بر این با استفاده از شاخص جداسازی تاپیو، رابطه بین رشد تولید ناخالص داخلی و مصرف برق از نظر وضعیت تغییر این دو متغیر نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج تجزیه LMDI نشان می‌دهد که اگرچه در سال ابتدای دوره مورد مطالعه (۱۳۸۰) اثر فعالیت نقش غالب در افزایش مصرف برق داشته است، اما در سال انتهای دوره مورد مطالعه (۱۳۹۸) اثر تولید با ۳/۳۰ میلیون بشکه معادل نفت خام بیشترین تأثیر را در افزایش مصرف برق دارد. جالب توجه اینکه در کل دوره مورد مطالعه تنها اثر ساختار باعث کاهش مصرف برق شده است در حالی که چهار اثر تولید، فعالیت، جمعیت و شدت باعث افزایش مصرف برق شده‌اند. در تحلیل ادواری، نتایج LMDI همچنین نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها مصرف برق به ترتیب به واسطه دو اثر شدت و اثر ساختار کاهش یافته است. در حالی که در این دوره به ترتیب سه اثر تولیدی، فعالیت و جمعیت باعث افزایش مصرف برق شده‌اند، به عبارتی ۵۹ درصد از افزایش مصرف برق در دوره قبل از هدفمندی یارانه‌ها ناشی از اثر تولیدی است سپس به ترتیب اثرات فعالیت و جمعیت به ترتیب سهمی معادل ۲۱ و ۲۰ درصد دارند که به معنای عدم استفاده بهینه از برق است. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها مصرف برق تنها به واسطه اثر ساختار کاهش یافته است. در حالی که در این دوره چهار اثر فعالیت، جمعیت، شدت و تولید به ترتیب معادل ۱۵/۳۴۷، ۱۴/۷۶۹،

## منابع

بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.  
بیابانی خامنه، کاظم و صادقی سقدل، حسین (۱۳۹۳). "تجزیه مصرف برق در ایران رویکرد شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا". کنفرانس بین‌المللی برق، دوره ۲.  
ترازنامه انرژی، دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی، وزارت نیرو.

۱۳/۳۷۵ و ۹/۷۸۶ میلیون بشکه معادل نفت خام منجر به افزایش مصرف برق شده‌اند. به عبارتی حدود ۲۹ درصد از افزایش مصرف برق ناشی از اثر فعالیت بوده است و اثر جمعیت، شدت و تولید سهمی معادل ۲۸، ۲۵ و ۱۸ درصد دارند. لازم به ذکر است در این دوره می‌توان اثر تحریم‌های اقتصادی بر مصرف برق بخش‌ها را به وضوح مشاهده کرد چرا که در این دوره علاوه بر وجود رکود، واردات تجهیزات با مصرف برق بهینه محدود شده و باعث افزایش مصرف و ناکارایی شده است.

بر اساس نتایج رویکرد جداسازی تاپیو در تمام دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ وضعیت جداسازی منفی رو به رشد که نشان‌دهنده یک حالت توسعه غیرمنطقی است که پیشرفت اقتصاد به قیمت مصرف زیاد برق و آلودگی محیط‌زیست تمام می‌شود، وضعیت غالب است و جداسازی قوی که مناسب‌ترین وضعیت جداسازی و نشان‌دهنده کاهش مصرف برق همراه با بهبود رشد اقتصادی است حتی با اجرایی شدن قانون هدفمندی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹ برای سال‌های بعد از اجرای این قانون نیز مشاهده نشد، بنابراین در درجه اول اجرا و نظارت بر اجرای قوانین و استانداردهای بهبود کارایی انرژی توسط یک نهاد مستقل پیشنهاد می‌شود. دوم، به‌روز کردن تکنولوژی تولید می‌تواند زمینه‌ساز کاهش مصرف برق باشد. سوم، همانطور که نتایج این مطالعه نشان می‌دهد واقعی کردن قیمت انرژی (اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها) به تنهایی در جهت مدیریت کاهش مصرف انرژی کارساز نیست از این رو لازم است سایر سیاست‌های کارایی انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی مکمل نیز به طور هم‌زمان اجرا شوند. چهارم، سیاست‌گذاری در راستای ارائه تسهیلات ارزان قیمت به منظور انتقال از فناوری‌های پر مصرف، به سمت فناوری‌های با مصرف کمتر و بازدهی بالاتر گام مهمی برای دستیابی به توسعه پایدار خواهد بود.

توانا نجار، امیر و فیضی، مهدی (۱۳۹۴). "بررسی تغییرات مصرف برق بخش خانگی ایران با استفاده از روش تحلیل تجزیه شاخص". دهمین همایش بین‌المللی انرژی.  
مرکز آمار ایران، نتایج کلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن.

- Achour, H., & Belloumi, M. (2016). Decomposing the influencing factors of energy consumption in Tunisian transportation sector using the LMDI method. *Transport policy*, 52(16), 64-71.
- Ang, B., Liu, F., & Chung, H. (2002). Index numbers and the Fisher ideal index approach in energy decomposition analysis. National University of Singapore: Department of Industrial and Systems Engineering, 32(9), 1131-1139.
- Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, 33(7), 867-871.
- Ang, B. W., & Choi, K.-H. (1997). Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *The Energy Journal*, 18(3), 59-73.
- Ang, B. W., & Lee, S. (1994). Decomposition of industrial energy consumption: some methodological and application issues. *Energy Economics*, 16(2), 83-92.
- Ang, B. W., & Liu, F. L. (2001). A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy*, 26(6), 537-548.
- Ang, B. W., & Wang, H. (2015). Index decomposition analysis with multidimensional and multilevel energy data. *Energy Economics*, 51(15), 67-76.
- Boyd, G., McDonald, J. F., Ross, M., & Hansont, D. A. (1987). Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: a Divisia index approach. *The Energy Journal*, 8(2), 77-96.
- Boyd, G. A., Hanson, D. A., & Sterner, T. (1988). Decomposition of changes in energy intensity: a comparison of the Divisia index and other methods. *Energy Economics*, 10(4), 309-312.
- Das, N., & Roy, J. (2020). India can increase its mitigation ambition: An analysis based on historical evidence of decoupling between emission and economic growth. *Energy for Sustainable Development*, 57(20), 189-199.
- Diakoulaki, D., & Mandaraka, M. (2007). Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO2 emissions in the EU manufacturing sector. *Energy Economics*, 29(4), 636-664.
- González, P. F., & Moreno, B. (2015). Analyzing driving forces behind changes in energy vulnerability of Spanish electricity generation through a Divisia index-based method. *Energy conversion and management*, 92(15), 459-468.
- Howarth, R. B., Schipper, L., Duerr, P. A., & Ström, S. (1991). Manufacturing energy use in eight OECD countries: decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity. *Energy Economics*, 13(2), 135-142.
- Inglesi-Lotz, R., & Blignaut, J. N. (2011). South Africa's electricity consumption: A sectoral decomposition analysis. *Applied Energy*, 88(12), 4779-4784.
- Jenne, C. A., & Cattell, R. K. (1983). Structural change and energy efficiency in industry. *Energy Economics*, 5(2), 114-123.
- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 3(2), 401-403.
- Lin, B., & Raza, M. Y. (2021). Analysis of electricity consumption in Pakistan using index decomposition and decoupling approach. *Energy*, 214(21), 1-14.
- Liu, X., Ang, B., & Ong, H. (1992). The application of the Divisia index to the decomposition of changes in industrial energy consumption. *The Energy Journal*, 13(4), 20-48.
- Marlay, R. C. (1984). Trends in industrial use of energy. *Science*, 226(4680), 1277-1283.
- Parker, B., & Helms, M. M. (1992). Generic strategies and firm performance in a declining industry. *MIR: Management International Review*, 32(1), 23-39.
- Tapio, P. (2005). Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport policy*, 12(2), 137-151.
- Vehmas, J., Malaska, P., Luukkanen, J., Kaivo-oja, J., Hietanen, O., Vinnari, M., & Ilvonen, J. (2003). Europe in the global battle of sustainability: Rebound strikes back? *Advanced Sustainability Analysis. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, series discussion and working papers*, 7(2003), 1-107.
- Von. (1989). *Erdpolitik: Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt*, Ernst Ulrich von Weizsäcker, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. *environment law*, 1(1), 397-398.
- Wang, W., Mu, H., Kang, X., Song, R., & Ning, Y. (2010). Changes in industrial electricity consumption in china from 1998 to 2007. *Energy Policy*, 38(7), 3684-3690.
- Wang, Y., Liu, Y., Huang, L., Zhang, Q., Gao, W., Sun, Q., & Li, X. (2022). Decomposition the driving force of regional electricity consumption in Japan from 2001 to 2015. *Applied Energy*, 308(22), 118-365.

- Zhang, C., Su, B., Zhou, K., & Yang, S. (2019). Analysis of electricity consumption in China (1990–2016) using index decomposition and decoupling approach. *Journal of cleaner production*, 209(19), 224-235.
- Zhang, M., Bai, C., & Zhou, M. (2018). Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling relationship between coal consumption and economic growth in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(18), 454-462.
- Zhang, M., Song, Y., Su, B., & Sun, X. (2015). Decomposing the decoupling indicator between the economic growth and energy consumption in China. *Energy Efficiency*, 8(6), 1231-1239.
- Zhang, M., & Wang, W. (2013). Decoupling analysis of electricity consumption from economic growth in China. *Journal of Energy in Southern Africa*, 24(2), 57-66.
- Zhang, Z. (2000). Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: An economic analysis and policy implications. *World development*, 28(4), 739-752.