E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 6, No. 2 (2021) 183–209.

Paper Type: Original Article

New Insight into Development of Environmental - Economic Model Based on a Composite Environmental Quality Index: An Application of Principal Components Analysis

Hossein Ali Fakher[1], Mostafa Panahi[2,*], Karim Emami[3], Kambiz Peykarjou[3], Seyed Yaghoub Zeraatkish[4]

[1] *Department of Environmental Economics, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; imanfakher@yahoo.com.*

[2] *Department of Energy Engineering and Economics, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; m.panahi@srbiau.ac.ir.*

[3] *Department of Economics, Faculty of Management and Economics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; karim_emami@yahoo.com; k.peykarjou@srbiau.ac.ir.*

[4] *Department of Agriculture Economics, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; y.zeraatkish@srbiau.ac.ir.*

Citation:

Fakher, H. A., Panahi, M., Emami, K., Peykarjou, K., & Zeraatkish, S. Y. (2021). New insight into development of environmental - economic model based on a composite environmental quality index: an application of principal components analysis. *Journal of decisions and operations research, 6*(2), 183-209.

Received: 08/03/2021 Reviewed: 05/05/2021 Revised: 23/05/2021 Accept: 17/06/2021

Abstract

Purpose: This paper aimed to create a composite index for environmental quality. Since the results of empirical studies on economic - environmental variables nexus, considering different environmental indicators, are not consistent with each other; it seems necessary to use a comprehensive index that includes all dimensions of environmental pollution.

Methodology: Using 6 environmental indicators related to two groups of selected OPEC and OECD countries for the period 2010 to 2019 and using three methods including principal component analysis, kernel-based principal component analysis, fuzzy robust principal component analysis, the creation of a composite environmental quality index is examined.

Findings: The results showed that FRPCA method has more efficiency and ability in weighting environmental indicators than other methods due to having the lowest error criteria. Therefore, using this method, the composite index was calculated. Moreover, the results showed that along with the upward trend of economic growth, the quality of the environment follows a downward trend in OPEC countries and an upward trend in OECD countries.

Originality/Value: Based on the results, policy recommendations as well as new perspectives and suggestions for future studies are presented.

Keywords: Environmental quality indicators, Principal component analysis, Kernel-based principal component analysis, Fuzzy robust principal component analysis.

Corresponding Author: m.panahi@srbiau.ac.ir

10.22105/DMOR.2021.276820.1334

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۶، شماره ۲، (۱۴۰۰)، ۱۸۳-۲۰۹

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی

رویکردی نوین در توسعه مدل اقتصادی - محیط زیستی مبتنی بر شاخص ترکیبی کیفیت محیط زیست: کاربردی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی

حسینعلی فاخر[۱]، مصطفی پناهی[۲*]، کریم امامی[۳]، کامبیز پیکارجو[۳]، سید یعقوب زراعت کیش[۴]

[۱] گروه اقتصاد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

[۲] گروه مهندسی انرژی و اقتصاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

[۳] گروه اقتصاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

[۴] گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

چکیده

هدف: هدف از این مطالعه ایجاد یک شاخص ترکیبی برای کیفیت محیط‌زیست می‌باشد. از آنجایی که نتایج مطالعات تجربی مربوط به بررسی روابط بین متغیرهای اقتصادی و محیط‌زیستی به واسطه در نظر گرفتن شاخص‌های محیط‌زیستی مختلف، همسو با یکدیگر نمی‌باشند؛ بکارگیری یک شاخص ترکیبی که در بردارنده تمامی ابعاد آلودگی محیط‌زیست باشد، امری ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌شناسی پژوهش: در این تحقیق با استفاده از ۶ شاخص محیط‌زیستی مربوط به دو گروه از کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* طی دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ و با به‌کارگیری سه روش تحلیل مؤلفه اصلی، تحلیل مؤلفه اصلی کرنل و تحلیل مؤلفه اصلی مبتنی بر منطق فازی، ایجاد یک شاخص ترکیبی برای کیفیت محیط‌زیست مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که روش *FRPCA* نسبت به سایر روش‌ها به دلیل داشتن کمترین معیارهای خطا، از کارایی و توانایی بیشتری در وزن‌دهی شاخص‌های محیط زیستی برخوردار است. لذا با استفاده از این روش شاخص ترکیبی محاسبه گردید. در پایان، با استفاده از این شاخص ترکیبی روند رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست به‌صورت نموداری موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که همگام با روند صعودی رشد اقتصادی در کشورهای منتخب *OPEC*، کیفیت محیط‌زیست از یک روند نزولی و در کشورهای منتخب *OECD* از یک روند صعودی تبعیت می‌کند.

اصالت/ارزش افزوده علمی: همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهادات سیاستی و همچنین دیدگاه‌ها و پیشنهادات جدیدی برای مطالعات آینده ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های محیط زیستی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل مؤلفه اصلی کرنل، تحلیل مؤلفه اصلی منطق فازی.

۱- مقدمه

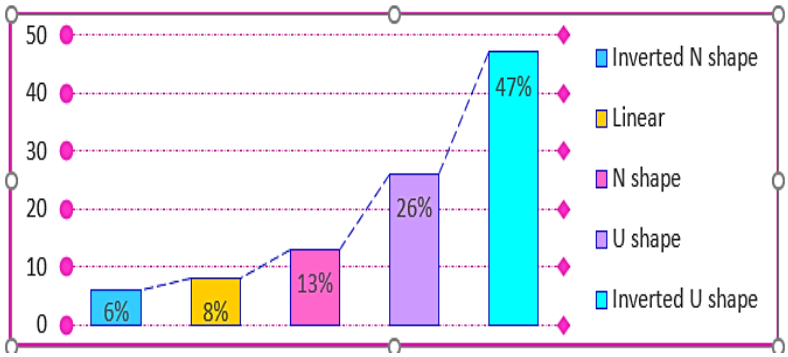
همگام با پیشرفت در رشد اقتصادی، مسئله کیفیت محیط‌زیست به یکی از مسائل مهم در حوزه اقتصاد محیط‌زیست تبدیل شد. این موضوع به‌اندازه‌ای اهمیت پیدا کرد که در کانون توجه اقتصاددانان محیط‌زیستی قرار گرفت و در مطالعات بسیار زیادی به این موضوع پرداخته شد؛ اما نکته بسیار مهمی که در این حوزه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، ارتباط بین متغیرهای مهم اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست

* نویسنده مسئول

m.panahi@srbiau.ac.ir

10.22105/DMOR.2021.276820.1334

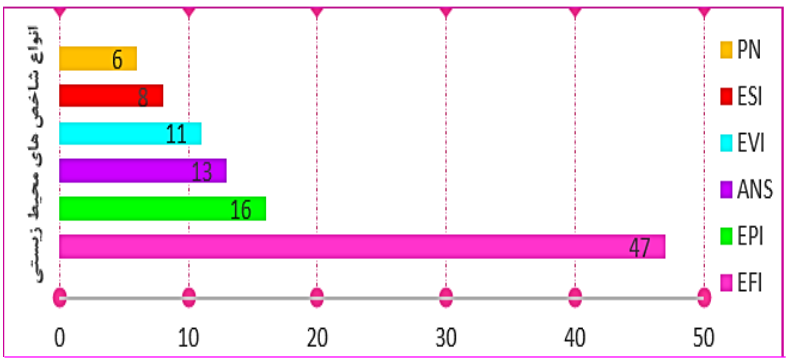
می‌باشد. اگرچه روابط بین متغیرهای اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست به‌واسطه توجیحات نظری حاصله از مطالعات تجربی انجام‌شده، موردحمایت قرارگرفته است، ولی با توجه به نتایج حاصله، هنوز جامعیت و مقبولیت کافی در مورد نوع و نحوه این روابط به دست نیاورده است (فاخر [۱]، ۲۰۲۰؛ رائی دهاقی و میر هاشمی [۲]، ۲۰۱۴). به‌عنوان‌مثال، بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست در قالب منحنی محیط‌زیستی کوزنتس، یکی از مطالعات بسیار مهمی است که در حوزه اقتصادی - محیط زیستی همواره موردتوجه بسیاری از اقتصاددانان ازجمله اقتصاددانان محیط زیستی قرارگرفته است؛ به‌طوری‌که می‌توان مطالعات انجام‌شده زیادی را در این حوزه مشاهده کرد. ولی مهم‌ترین نکته این است که این مطالعات نتایج یکسانی را نشان نداده است. این امر در **شکل ۱** به تصویر کشیده شده است. علت این امر را می‌توان در فقدان پایه نظری مستحکم و محدود بودن اغلب مطالعات *EKC* در ارتباط با شاخص‌های آلودگی و محیط‌زیستی در سطح ملی و بین‌المللی دانست (فاخر و همکاران [۳]، ۲۰۲۱؛ دوگان و همکاران [۴]، ۲۰۲۱).



شکل ۱- فراوانی نسبی انواع حالت‌های مختلف رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست.

Figure 1- Relative frequency on different types of economic growth - environmental degradation nexus.

با توجه به نتایج متضادی که حاصل کار بسیاری از محققین در این زمینه بوده است و با توجه به این‌که نوع شاخص‌های محیط‌زیستی بکار برده شده در همه این مطالعات، نماینده و شاخصی کامل و جامع برای متغیر کیفیت محیط‌زیست نمی‌باشد و به دنبال آن نتایج نامعتبر به‌دست‌آمده نمی‌توانند معیار درستی برای اتخاذ و اجرای سیاست‌های مناسب اقتصادی- محیط‌زیستی باشد، لذا به‌کارگیری شاخص‌هایی که تمامی ابعاد آلودگی محیط‌زیست را در نظر بگیرد، امری ضروری به نظر می‌رسد (فاخر [۵]، ۲۰۲۱). این در حالی است که در مطالعات تجربی گذشته تنها از یک شاخص استفاده‌شده است. این امر در **شکل ۲** به تصویر کشیده شده است [۶].



شکل ۲- میزان فراوانی نسبی استفاده از انواع شاخص‌های محیط زیستی.

Figure 2- Relative frequency in the use of a variety of environmental indicators.

---

[۱] Fakher
[۲] Raei Dehaghi and Mirhashemi
[۳] Fakher et al.
[۴] Dogan et al.
[۵] Fakher
[۶] قابل ذکر است که هر یک از شکل‌های ۱ و ۲ برگرفته از نتایج مطالعات تجربی اشاره شده در این مقاله می‌باشد.

بکارگیری این شاخص‌های محیط‌زیستی (شاخص ردپای اکولوژیکی، شاخص عملکرد محیط‌زیست، شاخص پایداری محیط‌زیست، شاخص آسیب‌پذیری محیط‌زیست، شاخص پس‌انداز خالص تعدیل‌شده و شاخص فشار بر طبیعت) به‌صورت هم‌زمان و همچنین استفاده از یک شاخص ترکیبی محیط‌زیستی می‌تواند تمامی آلاینده‌هایی که نقش مهمی در کیفیت محیط‌زیست دارند را در برگیرد. لذا این امر می‌تواند نتایج دقیق‌تری را برای ما در تحقیقات آتی ارائه دهد. ازاین‌جهت، در نظر گرفتن یک شاخص ترکیبی محیط‌زیستی (ترکیبی از ۶ شاخص محیط‌زیستی) نیز از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد.

حال، با توجه به خلاء تحقیقاتی که در خصوص امکان و نحوه به‌کارگیری و نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در محاسبه شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست وجود دارد، در این پژوهش سعی بر این است تا قابلیت کاربرد تکنیک‌های مختلف این روش یعنی تحلیل مؤلفه‌های اصلی ، تحلیل مؤلفه اصلی کرنل[۲] و تحلیل مؤلفه اصلی مبتنی بر منطق فازی[۳] را در ساختن یک شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست که ترکیبی از شاخص‌های محیط زیستی هستند، مورد آزمون قرار گیرد و نتایج به‌کارگیری آن جهت استفاده محققان آتی در تحقیقات مربوط به کیفیت محیط‌زیست، ارائه شود. این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این سؤالات است که آیا با توجه به معیارهای آماری مناسب، می‌توان تکنیک‌های مختلف تحلیل مؤلفه‌های اصلی را در ایجاد یک شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست در دو گروه از کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* بکار برد؟ کدام روش برای ساخت شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست بهترین روش می‌باشد؟ و درنهایت اینکه، معادله تخمین‌زننده شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست در روش منتخب چگونه خواهد بود؟

در ادامه ساختار مقاله بدین شکل است که در بخش «مبانی تجربی» به بررسی اجمالی مطالعات انجام‌شده پرداخته می‌شود. در بخش «روش‌شناسی و داده‌های تحقیق» به بررسی اجمالی شاخص‌های محیط‌زیستی و روش‌شناسی تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش «نتایج و بحث» نتایج مربوط به هر یک از روش‌های مورداستفاده مورد بررسی قرار می‌گیرد. خلاصه‌ای از مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده و همچنین توصیه‌های سیاستی نیز در بخش «نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی» ارائه می‌شود. در نهایت، در بخش «محدودیت‌ها و پیشنهادات برای مطالعات آینده» علاوه بر مطرح کردن محدودیت‌های موجود در این تحقیق، پیشنهاداتی هم برای مطالعات آتی ارائه خواهد شد.

۲- مبانی تجربی

در این بخش از مطالعه، ادبیات تجربی به دو بخش اختصاص می‌یابد. در بخش اول، به‌طور خلاصه نتایج تجربی مربوط به کاربرد روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در ایجاد شاخص ترکیبی در مطالعات داخلی و خارجی موردبررسی قرار می‌گیرد و به تصویر کشیده می‌شود. لازم به ذکر است که در مطالعات تجربی (داخلی و خارجی) موارد مشابهی در زمینه ساخت شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست مشاهده نشده اما در زمینه کاربرد روش تحلیل مؤلفه‌ها در ایجاد شاخص ترکیبی مربوط به متغیرهای اقتصادی مطالعات زیادی انجام‌شده که به‌طور خلاصه در این بخش ارائه‌شده است. سپس در بخش دوم، خلاصه‌ای از سایر مطالعات در رابطه با کاربرد انواع شاخص‌های محیط زیستی و همچنین، نوع رفتار دو متغیر رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست در تعامل با یکدیگر در یک جدول ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است که با توجه به بررسی اهمیت موضوع و بیان مسئله در بخش مقدمه، فراوانی نسبی کاربرد انواع شاخص‌های محیط زیستی و همچنین انواع حالت‌های مختلف (رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست) در همین بخش (بخش مقدمه) به تصویر کشیده شده است. نموداری شماتیک از استراتژی مربوط به ادبیات تحقیق در **شکل ۳** نیز ارائه شده است.

شکل ۳- نموداری شماتیک از استراتژی ادبیات تحقیق در مطالعه حاضر.

Figure 3- A schematic diagram of literature review search strategy in this study.

---

[۱] Principal Component Analysis
[۲] Kernel-Based Principal Component Analysis
[۳] Fuzzy Robust Principal Component Analysis

در انتهای این بخش، با توجه به کاستی‌های موجود در مطالعات تجربی، نوآوری‌های این تحقیق ازنظر موضوعی و روش بیان می‌شوند.

۲-۱- مطالعات تجربی داخلی و خارجی

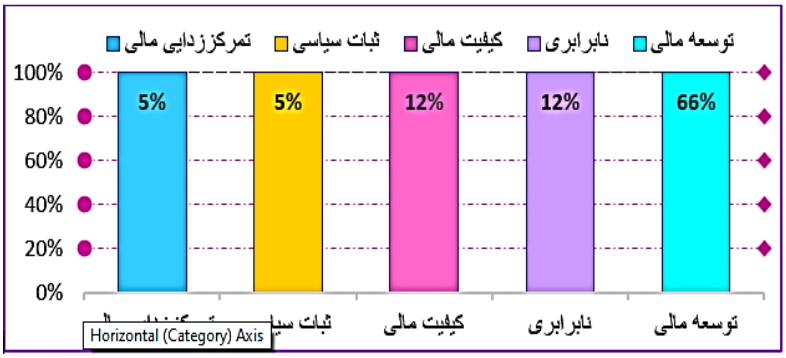
محمدی و همکاران (۲۰۲۰)، رابطه بین تمرکززدایی مالی و رشد اقتصادی را در استان‌های ایران طی بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۴ موردبررسی قراردادند. آن‌ها با در نظر گرفتن پنج شاخص تمرکززدایی مالی و با به‌کارگیری از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی اقدام به استخراج یک شاخص ترکیبی برای متغیر تمرکز دایی مالی کردند و سپس تأثیر این شاخص ترکیبی را بر رشد اقتصادی موردبررسی قراردادند. کازرونی و همکاران (۲۰۲۰)[۲]، در مطالعه‌ای به بررسی اثر ثبات سیاسی بر رشد اقتصادی در کشوهای منتخب سازمان همکاری اسلامی (*OIC*) در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۸۶ پرداختند. آن‌ها در مطالعات خود با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی شاخص ترکیبی ثبات سیاسی را طراحی کردند و رابطه آن را با متغیر رشد اقتصادی موردبررسی قراردادند. بهشتی و همکاران (۲۰۲۰)[۳]، در مقاله‌ای رابطه علیت پویا میان توسعه مالی، آزادسازی تجارت و رشد اقتصادی در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۷ را موردبررسی و تحلیل قراردادند. آن‌ها در مطالعات خود از شاخص ترکیبی توسعه مالی مبتنی بر رویکرد تحلیل مؤلفه‌های اساسی استفاده کردند. احمدی و همکاران (۲۰۲۰)[۴]، در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص ترکیبی توسعه‌یافتگی منطقه‌ای به بررسی پویای انتقال نابرابری منطقه‌ای در استان‌های ایران در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۵ پرداختند. آن‌ها با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت ایجاد این شاخص ترکیبی نابرابری اقدام کردند. مولانا و همکاران (۲۰۲۰)[۵]، در مطالعه‌ای برای بررسی نقش توسعه مالی در کاهش فقر ایران طی بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۶۸ از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (*PCA*) برای ایجاد شاخص ترکیبی توسعه مالی استفاده کردند. نتایج مربوط به تحلیل‌های اولیه داده‌ها نشان داد که روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت استخراج شاخص‌های مؤثر که نقش مهمی در بیان کلی ابعاد توسعه‌یافتگی دارند، روشی کاربردی و مناسب می‌باشد. طاهری بازخانه و همکاران (۲۰۱۹)[۶]، رابطه پویای بین ادوار مالی با ادوار تجاری و شکاف تورم را در اقتصاد ایران طی بازه زمانی ۱۳۹۵:۴-۱۳۶۹:۱موردبررسی قراردادند. در این مطالعه، جهت ایجاد شاخص ترکیبی وضعیت مالی برای اقتصاد ایران از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. نتایج آزمون‌های اولیه این روش بیان‌کننده مناسب بودن و کارایی بالای این روش در ایجاد شاخص ترکیبی بوده است. درنهایت رابطه بین شاخص ترکیبی ایجادشده با شکاف تورم موردبررسی قرار گرفت. کریمی موغاری و براتی (۲۰۱۷)[۷]، با ارائه و تحلیل یک شاخص ترکیبی چندبعدی به شناسایی و تعیین عوامل اصلی سطح نابرابری منطقه‌ای در ایران طی بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۰ پرداختند. در این مطالعه برای ایجاد شاخص ترکیبی و سنجش سطح توسعه منطقه‌ای از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد.

فتحی آسی و همکاران (۲۰۲۱)[۸] با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک شاخص ترکیبی برای توسعه مالی ایجاد کردند و در رگرسیون تخمینی، جهت بررسی تأثیر آن بر متغیر مصرف انرژی مورداستفاده قراردادند. کاسی و همکاران (۲۰۲۰)[۹]، در مطالعه‌ای جهت بررسی رابطه بین کیفیت نهادی، توسعه مالی و رشد اقتصادی در کشورهای *MENA* برای بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۹۰ از یک شاخص ترکیبی توسعه مالی و یک شاخص ترکیبی کیفیت نهادی استفاده کردند. در این مطالعه، از روش تحلیل مؤلفه اصلی (*PCA*) جهت ایجاد شاخص‌های ترکیبی استفاده شد و سپس تأثیر شاخص ترکیبی توسعه مالی و شاخص ترکیبی کیفیت نهادی بر رشد اقتصادی موردبررسی قرار گرفت. آلیمزیرو و همکاران (۲۰۲۰)[۱۰] با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک شاخص ترکیبی برای متغیر امنیت انرژی ساختند و نتایج بیان‌کننده مناسب بودن و قابل‌اعتماد بودن استفاده از این روش در ایجاد شاخص ترکیبی می‌باشد. شوئیب و همکاران (۲۰۲۰)[۱۱]، رابطه بین توسعه مالی و تخریب محیط‌زیست را با ساختن یک شاخص ترکیبی برای متغیر توسعه مالی طی بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۹ در دو گروه از کشورهای *D8* و *G8* موردبررسی قراردادند. آن‌ها برای ایجاد شاخص ترکیبی توسعه مالی از روش تحلیل مؤلفه اصلی (*PCA*) استفاده کردند. ایماموگلو (۲۰۱۹)[۱۲]، با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (*PCA*) برای کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته در بازه

[۱] Mohammadi et al.
[۲] Kazerooni et al
[۳] Beheshti et al.
[۴] Ahmadi et al.
[۵] Molana et al.
[۶] Taheri Bazkhaneh et al.
[۷] Karimi Moughari and Barati
[۸] Fathi Assi et al.
[۹] Kassi et al.
[۱۰] Alemzero et al.
[۱۱] Shoaib et al.
[۱۲] Imamoglu

زمانی ۲۰۱۴-۱۹۶۰ یک شاخص ترکیبی برای متغیر توسعه مالی ایجاد کرد. سپس نقش شاخص توسعه مالی را در تقاضای انرژی و کیفیت محیط‌زیست موردبررسی قرارداد. شجا رحمان و همکاران [۱] (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای برای بررسی تأثیر توسعه مالی بر کیفیت محیط‌زیست در کشور پاکستان طی دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۷۰، از شاخص ترکیبی توسعه مالی به‌عنوان متغیر مستقل در مدل استفاده کردند. آن‌ها برای ساختن این شاخص ترکیبی از روش تحلیل مؤلفه اصلی (*PCA*) استفاده کردند. لیو و همکاران [۲] (۲۰۱۹)، با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی روند تغییرات و دلایل اصلی انتشار دی‌اکسید نیتروژن جهت کاهش آلودگی را در شهر ووهان چین طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۱۲ موردبررسی و تحلیل قراردادند. آن‌ها با استفاده از این روش، یک شاخص ترکیبی را محاسبه کردند که می‌توان از آن در رگرسیون‌های تخمینی استفاده کرد. سینگ و آنجا [۳] (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی را در جهت ایجاد یک شاخص ترکیبی بکار بردند. آن‌ها با استفاده از این روش اقدام به محدود کردن ۵ شاخص (که بیان‌کننده قسمت‌های مختلفی از بخش مالی بودند) به یک مؤلفه اصلی کرده و به تحلیل شاخص ترکیبی توسعه مالی پرداختند. ریزک و سلیمان [۴] (۲۰۱۸)، با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی و با استفاده از شش شاخص کافمن [۵]، یک شاخص ترکیبی کیفیت نهادی [۶] را در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۶ ساختند و سپس تأثیر متغیرهای اقتصادی را بر این شاخص ترکیبی موردبررسی قراردادند. فایسال و همکاران [۷] (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای تأثیر شاخص ترکیبی توسعه مالی را بر مصرف انرژی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۳ موردبررسی قراردادند. آن‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای ایجاد این شاخص ترکیبی توسعه مالی استفاده کردند. اویانگ و لی [۸] (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی اقدام به محدود کردن ۶ شاخص توسعه مالی به یک مؤلفه اصلی کردند تا با ایجاد یک شاخص ترکیبی توسعه مالی به تحلیل آن بپردازند.

با توجه به مطالعات انجام‌شده که در بالا به‌صورت مختصر به آن‌ها پرداخته شد، فراوانی نسبی مربوط به انواع شاخص‌های ترکیبی در حوزه اقتصاد که با استفاده از روش‌ها تحلیل عاملی، ایجادشده است در **شکل ٤** به تصویر کشیده شده است.



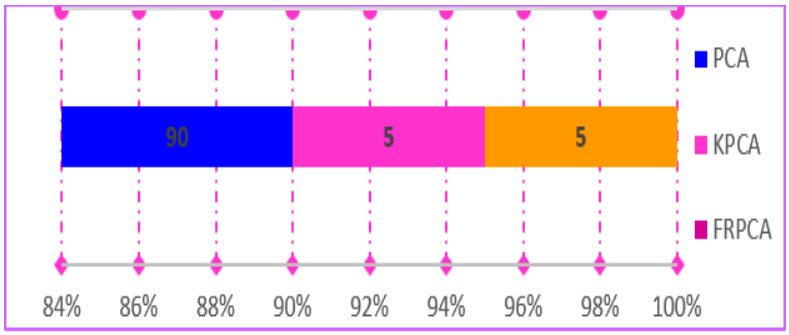
شکل ۴- فراوانی نسبی مربوط به انواع شاخص‌های ترکیبی.

Figure 4- Relative frequency related to variety of composite indicators.

علاوه بر این، بر اساس مطالعات تجربی گذشته که در بالا بدان اشاره شد، فراوانی نسبی مربوط به به‌کارگیری انواع روش‌های تحلیل عاملی برای ایجاد شاخص‌های ترکیبی نیز در **شکل ٥** به‌خوبی به تصویر کشیده شده است (قابل‌ذکر است که فراوانی نسبی به‌کارگیری انواع شاخص‌های ترکیبی در **شکل ٤** و میزان فراوانی نسبی مربوط به به‌کارگیری انواع روش‌های مؤلفه اصلی در **شکل ٥** برگرفته از نتایج مطالعات تجربی اشاره‌شده در این مقاله می‌باشد).

---

[۱] Shujah-ur-Rahman et al.
[۲] Liu et al.
[۳] Singh and Aneja
[٤] Rizk and Slimane
[٥] Kaufman Indicators
[٦] Composite Institutional Quality Indicator
[۷] Faisal et al.
[۸] Ouyang and Li



شکل ۵- میزان فراوانی نسبی استفاده از انواع روش‌های تحلیل عاملی.
Figure 5- Relative frequency related to variety of factor analysis methods.

۲-۲- کاربرد انواع شاخص‌های محیط زیستی

در **جدول ۱** خلاصه‌ای از سایر مطالعات تجربی در رابطه با کاربرد انواع شاخص‌های محیط‌زیستی و نوع رفتار دو متغیر رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست نسبت به یکدیگر مبتنی بر شش شاخص، ارائه‌شده است. همان‌طور که قبلاً بدان اشاره شد، با توجه به مطرح‌شدن اهمیت موضوع و بیان مسئله در بخش مقدمه، فراوانی نسبی کاربرد انواع شاخص‌های محیط‌زیستی و همچنین انواع حالت‌های مختلف (رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست) در همین بخش (بخش مقدمه) با رسم شکل ارائه شد.

جدول ۱- خلاصه‌ای از سایر مطالعات گذشته مبتنی بر شش شاخص محیط زیستی.
Table 1- A brief review of empirical studies based on six environmental indicators.

Results	Country	Period	Author/s
Ecological Footprint Index (EFI)			
Linear	Thailand	1974-2016	کانگ‌بومای و همکاران (۲۰۲۰)
Mixed: EKC, U-shaped	Developing countries	1990-2016	فاخر (۲۰۱۹)
EKC	BRICST countries	1980-2014	دوگان و همکاران (۲۰۲۰)
EKC	Pakistan	1970-2014	حسن و همکاران (۲۰۱۹)
Mixed: EKC, U-shaped	15 MENA countries	1975-2007	چارفدین و مرابت (۲۰۱۷)
U-shaped	Qatar	1980-2011	مرابت و السامرا (۲۰۱۶)
U-shaped	EU countries	1980-2013	دستک و همکاران (۲۰۱۸)
Mixed: EKC, U-shaped	industrialized countries	1977-2013	دستک و سارکدی (۲۰۱۹)
Mixed: EKC, U-shaped	17 countries in Africa	1971-2013	سارکدی (۲۰۱۸)
EKC	Turkey	1986-2018	گودیل و همکاران (۲۰۲۰)
Mixed: N-shaped, U-shaped	BRICS economies	1992-2013	وانگ (۲۰۱۹)
N-shaped	five EU countries	1985-2016	بالسالوبر لورنته و همکاران (۲۰۱۸)
Mixed: EKC, U-shaped	G7 countries	1970-2014	ایلانچی و اوزگار (۲۰۱۹)
N-shaped, Inverted N-shaped	OECD countries	1980-2010	اوزیکچی و ازدمیر (۲۰۱۷)
N-shaped	sixteen CEE countries	1991-2014	شجارحمان و همکاران (۲۰۱۹)
EKC, U-shaped	top 10 innovative economies	1990-2015	گورمس و آیدین (۲۰۲۰)
EKC	BRICS economies	1992-2016	دنیش و همکاران (۲۰۲۰)

[۱] Kongbuamai et al.
[۲] Fakher
[۳] Hassan et al.
[۴] Charfeddine and Mrabet
[۵] Mrabet and Alsamara
[۶] Destek et al.
[۷] Destek and Sarkodie
[۸] Sarkodie
[۹] Godil et al.
[۱۰] Wang
[۱۱] Balsalobre-Lorente et al.
[۱۲] Yilanci and Ozgur
[۱۳] Özokcu and Özdemir
[۱۴] Gormus and Aydin

جدول ۱- (ادامه).

Table 1- (Continued).

Results	Country	Period	Author/s
Ecological Footprint Index (EFI)			
EKC	USA	1980-2016	پاتا [۱] (۲۰۲۱)
Environmental Performance Index (EPI)			
EKC, Inverted N-shaped	28 oil-producing countries	2002-2014	السالیح و همکاران (۲۰۲۰)
Mixed: EKC, N-shaped	Development countries	2000-2013	اوزکان و همکاران (۲۰۱۹)
Mixed: EKC, U-shaped	Developing countries	1996-2016	فاخر و همکاران (۲۰۱۸)
EKC	166 countries	2000-2016	نیگو و همکاران (۲۰۱۷)
EKC	elected OECD countries	2002-2012	چانگ و هائو (۲۰۱۷)
EKC	elected OPEC countries	2000-2012	شاه‌آبادی و همکاران (۲۰۱۷)
Adjusted Net Saving (ANS)			
EKC	OECD countries	2001-2012	گاندا (۲۰۱۹)
Linear	213 countries	1970-2008	آسیچی (۲۰۱۳)
Linear	Qatar	1980-2016	صلاح الدین و گاو (۲۰۱۹)
-	Development countries	2001-2006	پیتر (۲۰۱۰)
-	36 selected countries	1971-2000	نن [۲] (۲۰۰۹)
Pressure on Nature (PN)			
Linear	213 countries	1970-2008	آسیچی (۲۰۱۳)
-	77 countries	2000-2015	چن و همکاران (۲۰۲۰)
Environmental Sustainability Index (ESI)			
-	South Asia	1992–2005	چارن کیت و کومار (۲۰۱۴)
-	Iceland	2005-2017	اولافسن و همکاران (۲۰۱۴)
Environmental Vulnerability Index (EVI)			
-	China	2007-2014	هو و همکاران (۲۰۱۹)
-	Iceland	2005-2017	اولافسن و همکاران (۲۰۱۴)
-	China	1990-2015	دای و همکاران (۲۰۲۰)
-	Taiwan	2000-2014	لی و لین (۲۰۲۰)

با نگاهی به مطالعات گذشته و با توجه به کاستی‌های موجود در آن‌ها در حوزه به‌کارگیری روش‌های تحلیل مؤلفه جهت ایجاد شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست، تحقیق حاضر به چند دلیل ازنظر موضوعی و روش دارای نوآوری می‌باشد و همین امر آن را از سایر مطالعات انجام‌گرفته در این زمینه متمایز می‌نماید. اول این‌که برای اولین بار در این مطالعه جهت ایجاد شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست از شش شاخص محیط‌زیستی و همچنین از روش‌های مختلف تحلیل عاملی استفاده‌شده است. دوم این‌که در این تحقیق قابلیت کاربرد تکنیک‌های مختلف تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل مؤلفه اصلی کرنل و تحلیل مؤلفه اصلی مبتنی بر منطق فازی جهت ایجاد یک شاخص ترکیبی برای کیفیت محیط‌زیست موردبررسی قرار می‌گیرد و در آخر به تحلیل مقایسه‌ای نتایج هر یک از این روش‌ها با یکدیگر پرداخته می‌شود. درنهایت، در این مطالعه دو گروه از کشورها (کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD*) به ترتیب به‌عنوان کشورهایی که در مراحل اولیه رشد اقتصادی هستند و کشورهایی که این مراحل اولیه را طی کرده و توسعه‌یافته می‌باشند، موردبررسی قرار می‌گیرند؛ چراکه شاخص‌های محیط‌زیستی بین این دو گروه از کشورها با یکدیگر متفاوت هستند.

---

[۱] Pata
[۲] Elsalih et al.
[۳] Ozcan et al.
[۴] Fakher et al.
[۵] Neagu et al.
[۶] Chang and Hao
[۷] Shahabadi et al.
[۸] Ganda
[۹] Asici
[۱۰] Salahuddin and Gow
[۱۱] Peter
[۱۲] Gnègnè
[۱۳] Chen et al.
[۱۴] Charoenkit and Kumar
[۱۵] Olafsson et al.
[۱۶] Ho et al.
[۱۷] Dai et al.
[۱۸] Lee and Lin

۳- داده‌های و روش‌شناسی تحقیق

در این بخش از مطالعه، ابتدا به بررسی اجمالی شاخص‌های محیط‌زیستی که به‌عنوان داده‌های اصلی تحقیق در نظر گرفته‌شده، پرداخته می‌شود و در ادامه، روش‌شناسی تحقیق به‌اختصار موردبررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱- توصیف و اندازه‌گیری شاخص‌های محیط‌زیستی

در این مطالعه، از داده‌های مربوط به کشورهای منتخب *OPEC* و کشورهای منتخب *OECD* استفاده‌شده است. به علت در دسترس نبودن آمار و اطلاعات مربوط به همه کشورها در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* که دارای داده‌ها و اطلاعات آماری کامل‌تری نسبت به بقیه کشورها بودند، انتخاب و در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفتند.

جدول ۲- توصیف مختصری از شاخص‌های محیط زیستی مورداستفاده در این تحقیق.
Table 2- A brief description of environmental indicators used in this study.

متغیرها (حروف اختصاری)	توصیف متغیرها
شاخص ردپای اکولوژیکی (EFI)	برای محاسبه ردپای اکولوژیکی، زمین به پنج کاربری مختلف تقسیم می‌شود. تمامی کالاها و خدمات مصرفی انسان در این پنج کاربری اراضی شکل می‌گیرد و شامل کشاورزی، زمین مرتعی، زمین جنگلی (در دو گروه ردپای جذب کربن و ردپای تولیدات)، پهنه‌های دریایی و زمین‌های ساخته‌شده است.
شاخص پس‌انداز خالص تعدیل‌شده (ANS)	این شاخص ترکیبی از سرمایه‌گذاری در سه شکل سرمایه فیزیک، انسانی و طبیعی می‌باشد و از چهار جزء مهم یعنی صرفه‌جویی خالص ملی، هزینه جاری آموزش، رانت منابع (تخلیه انرژی، مواد معدنی و جنگل) و آسیب ناشی از دی‌اکسید کربن تشکیل می‌شود.
شاخص فشار بر طبیعت (PNI)	این شاخص به‌عنوان یک شاخص برای بررسی اثر فعالیت‌های اقتصادی بر وضعیت خرابی‌های زیست‌محیطی استفاده‌شده است که متشکل از چهار جزء مجموع خرابی دی‌اکسید کربن سرانه، کاهش مواد معدنی سرانه، کاهش انرژی سرانه و کاهش خالص جنگل سرانه (جنگل‌زدایی سرانه) می‌باشد.
شاخص عملکرد محیط‌زیست (EPI)	این شاخص بر دو هدف اصلی حفاظت از محیط‌زیست (ازجمله کاهش فشارهای محیط زیستی بر سلامت انسان‌ها و ارتقای وضعیت زیست‌بوم‌ها) و مدیریت صحیح منابع طبیعی تأکید دارد که این دو مؤلفه توسط ۱۶ شاخص در ۶ زمینه «سلامت محیط‌زیست»، «کیفیت هوا»، «کیفیت منابع آب»، «تنوع زیستی و زیستگاه»، «کیفیت منابع طبیعی مولد» و «انرژی پایدار» اندازه‌گیری می‌شود. همه شاخص‌ها، زیرگروه‌ها و گروه‌ها دارای وزن مشخصی در هر یک از شاخص‌ها می‌باشند.
شاخص پایداری محیط‌زیست (ESI)	این شاخص، توانایی و قابلیت‌های کشورها را برای حمایت از محیط‌زیست در چندین دهه آینده ارزیابی می‌کند. این شاخص از ۷۶ گروه داده آماري که در قالب ۲۱ شاخص پایداری محیط‌زیستی ادغام‌شده‌اند، استخراج می‌شود.
شاخص آسیب‌پذیری محیط‌زیست (EVI)	این شاخص وضعیت آسیب‌پذیری محیط‌زیست کشورها را نشان می‌دهد؛ ترکیبی از ۵۲ شاخص فرعي استفاده می‌شود که از این تعداد شاخص‌ها، ۳۲ شاخص را شاخص‌های خطر، ۸ شاخص استواری و ۱۲ شاخص نیز با عنوان شاخص‌های خسارت وارده بر محیط‌زیست طبقه‌بندی می‌شوند.

در این راستا از ۶ شاخص محیط‌زیستی استفاده‌شده است که در **جدول ۲** به معرفی اجمالی هر یک از این شاخص‌ها پرداخته‌شده است. این شاخص‌های محیط‌زیستی عبارتند از شاخص ردپای اکولوژیکی[۱] ، شاخص عملکرد محیط‌زیست[۲] ، شاخص پایداری محیط‌زیست[۳] ، شاخص آسیب‌پذیری محیط‌زیست[۴] ، شاخص پس‌انداز خالص تعدیل‌شده[۵] و شاخص فشار بر طبیعت[۶] . داده‌های مربوط به این شاخص‌ها

[۱] Ecological Footprint Index
[۲] Environmental Performance Index
[۳] Environmental Sustainability Index
[۴] Environmental Vulnerability Index
[۵] Adjusted Net Saving
[۶] Pressure on Nature

از منابع مختلفی جمع‌آوری‌شده است که عبارتند از بانک جهانی، گزارش‌های سالانه منتشرشده توسط مرکز قوانین و سیاست‌های زیست‌محیطی دانشگاه ییل و مرکز بین‌المللی اطلاعات علوم زمین دانشگاه کلمبیا، شبکه جهانی ردپای اکولوژیکی[۱] و حساب ملی ردپای اکولوژیکی[۲].

۳-۲- روش‌شناسی تحقیق

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های آماری شناخته‌شده‌ای است که به‌عنوان روشی در کاهش داده‌ها، در مطالعات بسیاری مورداستفاده قرارگرفته است. این روش در تعریف ریاضی، یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد به‌طوری‌که اولین بزرگ‌ترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگ‌ترین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و این فرایند برای مابقی واریانس‌ها ادامه پیدا خواهد کرد. در حقیقت اولین مؤلفه اساسی، یک ترکیب خطی از پیش‌بینی‌های اصلی است که بیشترین واریانس موجود در مجموعه داده‌ها را در برمی‌گیرد (لیو و همکاران، ۲۰۱۹). هرچه دامنه تغییرات موجود در اولین مؤلفه بالاتر باشد، اطلاعات موجود در این مؤلفه بیشتر است. هیچ مؤلفه دیگری نمی‌تواند بیش از مؤلفه اصلی اول دامنه تغییرات داشته باشد. نتیجه محاسبه اولین مؤلفه اصلی، خطی است که نزدیک‌ترین خط به داده‌ها محسوب می‌شود. بر این اساس، این روش، مؤلفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تأثیر در واریانس را دارند، حفظ می‌کند. جهت تعیین مؤلفه یا مؤلفه‌های لازم در این روش، از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود که شامل سه معیار می‌باشند. اولین معیار، ترسیم مقادیر ویژه در مقابل تعداد مؤلفه‌های اساسی می‌باشد که تحت عنوان نمودار اسکری[۳] شناخته می‌شود. در این نمودار تغییر در میزان اهمیت مقادیر ویژه برای هر مؤلفه اساسی مشخص می‌باشد. دومین معیار، مقدار ارزش ویژه می‌باشد. مقدار ارزش ویژه مؤلفه‌هایی که بزرگ‌تر از دو باشد در نظر گرفته می‌شوند و از سایر مؤلفه‌ها با مقادیر ویژه کمتر از دو چشم‌پوشی می‌شود. سومین معیار، مقدار واریانس مربوط به مؤلفه‌ها می‌باشد. مؤلفه‌هایی که درصد واریانس آن‌ها بالاتر است (واریانس بیشتری از پراکندگی را توضیح می‌دهند) برای ساخت شاخص ترکیبی در نظر گرفته می‌شوند. جهت مطالعه بیشتر در مورد روش‌های مورداستفاده در این تحقیق (روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل مؤلفه اصلی مبتنی بر منطق فازی و تحلیل مؤلفه اصلی کرنل) به مطالعات ژانگ و انکه[۴] (۲۰۱۷) مراجعه شود.

مراحل انجام این روش‌ها را می‌توان بدین‌صورت بیان کرد که در مرحله اول، نرمال‌سازی و هم‌جهت کردن شاخص‌های مورداستفاده می‌باشد. با توجه به اینکه برخی از شاخص‌های محیط‌زیستی نشان‌دهنده تخریب محیط‌زیست می‌باشند و برخی دیگر نشان‌دهنده بهبود کیفیت محیط‌زیست می‌باشند، از نرمال‌سازی به روش رومینا[۵] استفاده می‌شود. با استفاده از این روش همه شاخص‌ها دارای جهت یکسان خواهند بود و جنبه مثبت پیدا می‌کنند. بدان معنا که هراندازه مقدار عددی این شاخص‌ها بیشتر می‌شود، بیان‌کننده بهبود در کیفیت محیط‌زیست خواهد بود. این روش با **معادله (۱)** نشان داده می‌شود:

$$n_{ij}\begin{cases}\dfrac{x_{ij}}{maxx_{ij}} & For\ positive\ proxies\\ \dfrac{minx_{ij}}{x_{ij}} & For\ negative\ proxies\end{cases} \qquad (۱)$$

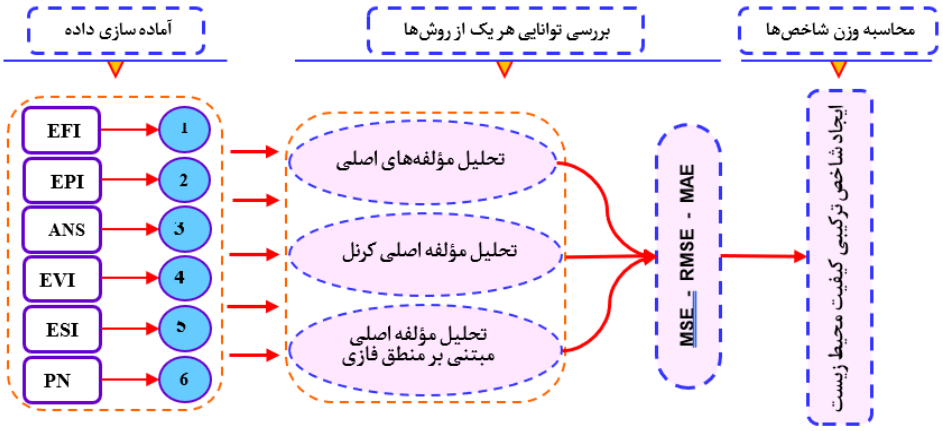
مرحله دوم، تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی است. روش‌های مختلفی وجود دارند که از طریق آن‌ها قادر به تعیین و تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی خواهیم بود که عبارتند از ماتریس همبستگی، ضریب *KMO* که مقدار آن همواره بین صفر و یك در نوسان است و آزمون کرویت بارتلت[۶]. درنهایت با استفاده از سه روش مذکور اقدام به استخراج مؤلفه‌ها و تحلیل نتایج خواهد شد.

مدل مفهومی تحقیق را می‌توان به‌صورت **شکل ٦** تبیین کرد. در این شکل، ابتدا شش شاخص محیط‌زیستی، در مرحله پیش فرایند (تحلیل همبستگی) موردبررسی قرارگرفته و سپس وارد فرایند تحلیل و بررسی توسط هر یک از روش‌های مورداستفاده می‌شود. در مرحله

---

۱ Global Footprint Network
۲ National Footprint Account
۳ Scree Plot
٤ Zhong and Enke
٥ Rumina
٦ Bartlett's Test of Sphericity

بعد، با توجه به توانایی هر یک از روش‌ها در تعیین مؤلفه‌ای که توانایی بالاتری در تعریف واریانس درون داده‌ها دارد و همچنین، با توجه به کمترین معیارهای خطا، یکی از روش‌ها جهت ایجاد شاخص ترکیبی انتخاب می‌شود.



شکل ۶- مدل مفهومی تحقیق.

Figure 6- The conceptual model in this study.

۴- نتایج و بحث

در این قسمت، همبستگی دوبه‌دو میان هر یک از ویژگی‌ها یا اطلاعات (٦ مورد) در اختیار، در **جدول ۳** موردبررسی قرار می‌گیرد و در ادامه، با استفاده از ویژگی انتخاب‌شده، سه روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل مؤلفه اصلی کرنل و تحلیل مؤلفه اصلی مبتنی بر منطق فازی اجرا می‌شود. ابتدا توسط چند شکل، مقایسه تحلیلی میان این سه روش انجام می‌گیرد. سپس، توانایی سه روش مورداستفاده در این تحقیق (*PCA*، *KPCA* و *FRPCA*) بر اساس میزان تعریف واریانس درون اطلاعات و همچنین، بر اساس معیارهای ارزیابی عملکرد مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در انتها، با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده از روش منتخب، شاخص ترکیبی برای دو گروه از کشورهای موردبررسی ساخته می‌شود و روند این شاخص ترکیبی هم‌زمان با روند رشد اقتصادی بررسی و تحلیل می‌گردد.

۴-۱- تحلیل همبستگی و آزمون مناسب بودن داده‌ها

در گام تحلیل همبستگی، همبستگی دوبه‌دو میان هر یک از ویژگی‌ها یا اطلاعات (٦ مورد)، محاسبه‌شده و متغیرهایی که همبستگی بالای ۰/٦ با یکدیگر داشته باشند انتخاب‌شده و از میان آن‌ها یکی انتخاب می‌شود؛ زیرا می‌توان ادعا کرد که اطلاعات موجود در هر یک از این متغیرها می‌تواند تا حدودی توسط دیگری بیان شود و با حذف یکی از آن‌ها در محاسبات بعدی اثر مثبت ایجاد خواهد شد. همچنین نتایج آزمون معناداری مربوط به آماره همبستگی برای هر دو گروه از کشورهای موردبررسی مورد آزمون قرار گفته و نتایج آن نیز در **جدول ۳** آورده شده است.

جدول ۳ میزان همبستگی دوبه‌دو میان ویژگی‌ها برای دو گروه از کشورهای منتخب را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، در هر دو گروه از کشورهای منتخب، ویژگی‌های ۳ و ٤ با یکدیگر همبستگی نسبتاً بالایی دارند؛ بنابراین، در تحلیل هر یک از روش‌های مورداستفاده در تحقیق از ویژگی‌های ۱، ۲، ۳، ۵ و ٦ استفاده خواهد شد.

از سوی دیگر جهت برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها جهت انجام تحلیل عاملی علاوه بر آزمون *KMO*، از آزمون کرویت بارتلت استفاده می‌شود.

فاخر و همکاران / تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۶، شماره تابستان ۱۴۰۰، صفحه: ۲۰۹-۱۸۳

جدول ۳- تحلیل همبستگی میان ویژگی‌های ۶ گانه و آزمون معناداری.
Table 3- Correlation analysis between 6 characteristics and significance test.

متغیرها	EFI	EPI	ESI	EVI	ANS	PN
کشورهای منتخب OPEC						
EFI	1	0/13	- 0/30	- 0/16	- 0/11	0/04
EPI	0/13	1	0/46	0/32	0/06	- 0/15
ESI	- 0/30	0/46	1	0/69	0/04	- 0/28
EVI	- 0/16	0/32	0/69	1	0/12	- 0/09
ANS	- 0/11	0/06	0/04	0/12	1	0/20
PN	0/04	- 0/15	- 0/28	- 0/09	0/20	1
EFI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EPI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ESI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EVI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
کشورهای منتخب OECD						
EFI	1	-0/02	0/05	-0/15	0/06	0/05
EPI	-0/02	1	0/25	0/21	- 0/10	- 0/18
ESI	0/05	0/25	1	0/60	- 0/10	- 0/26
EVI	-0/15	0/21	0/60	1	0/02	- 0/06
ANS	0/06	- 0/10	- 0/10	0/02	1	0/26
PN	0/05	- 0/18	- 0/26	- 0/06	0/26	1
EFI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
کشورهای منتخب OPEC						
EPI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ESI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EVI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

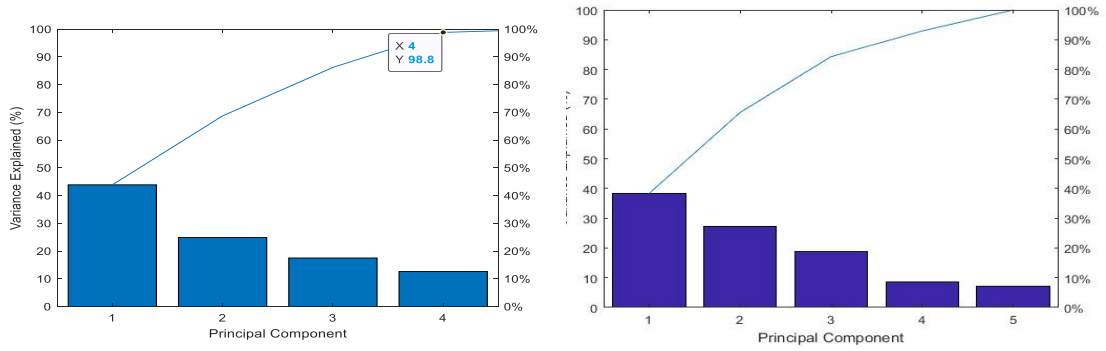
جدول ۴- نتایج آزمون KMO و آزمون بارتلت.
Table 4- Results of KMO and Bartlett's Test.

		کشورهای منتخب OPEC	کشورهای منتخب OECD
آزمون کایزن- میر- اولکین		0.809	0.781
آزمون بارتلت	Approx. Chi-square	1768.336	1566.321
	Dg.	78	71
	Sig.	0.000	0.000

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در **جدول ۴**، چون مقدار کایزن- میر- اولکین (*KMO*) برای دو گروه از کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* به ترتیب معادل ۰/۸۰۹ و ۰/۷۸۱ است، بنابراین، داده‌های مربوط به این دو گروه از کشورها برای انجام تحلیل عاملی مناسب می‌باشند.

۴-۲- نتایج PCA

پس از انجام *PCA*، میزان توانایی هر یک از مؤلفه‌های اساسی (۵ عدد برابر با تعداد ویژگی‌ها) در تعریف واریانس میان داده‌ها محاسبه شد. همان‌طور که در **شکل ۷** و در ارتباط با کشورهای منتخب *OPEC* مشاهده می‌شود، توسط مؤلفه‌های اساسی ۱ تا ٤ از مجموع ۵ مؤلفه بیش از ۹۵% اطلاعات درون مجموعه تعریف می‌شود. این در حالی است که توسط مؤلفه اساسی اول که ضرایب آن به‌عنوان ضرایب اصلی ساختن شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند، تنها ٤۳/۸۵ یعنی تقریباً معادل ٤٤% اطلاعات درون داده‌ها تعریف می‌شود. این امر نیز در مورد کشورهای منتخب *OECD* صادق است با این تفاوت که توسط مؤلفه اساسی اول که ضرایب آن به‌عنوان ضرایب اصلی ساختن شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند، تنها ۳۸/۳۳ یعنی تقریباً معادل ٤۰% اطلاعات درون داده‌ها تعریف می‌شود.

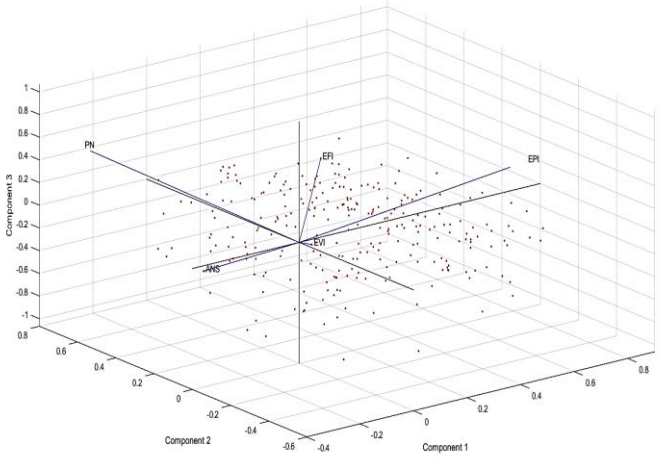


(الف) (ب)

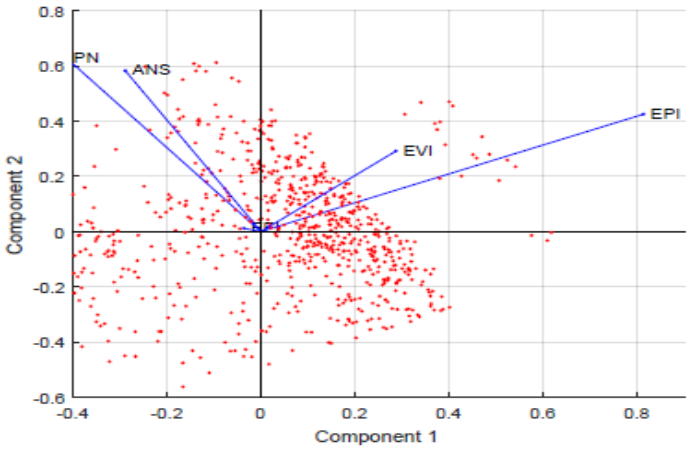
شکل ۷- میزان تعریف واریانس اطلاعات توسط مؤلفه‌های اساسی برتر: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 7- Definition of information variance by the best principal components: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

برای نمایش تأثیر هر یک از ویژگی‌های پنج‌گانه (انتخاب‌شده بر اساس تحلیل همبستگی) در هر یک از سه مؤلفه اساسی ابتدایی، نمودار *biplot* حاصل از *PCA* در **شکل ۸** ارائه‌شده است. همان‌طور که کاملاً مشخص است، ویژگی *EPI* بیشترین اهمیت و وزن را در مؤلفه اساسی اول دارد. درحالی‌که ویژگی *PN* بیشترین اهمیت را در مؤلفه اساسی دوم دارد. این موضوع برای هر دو گروه از کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* صادق است.



(الف)

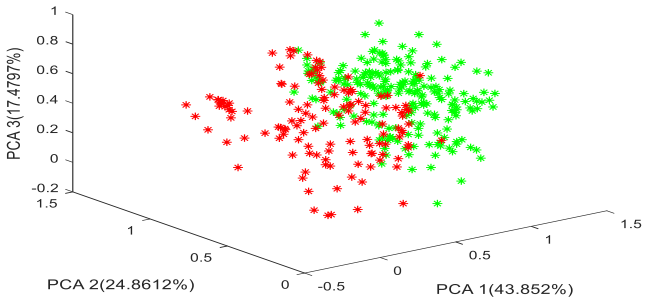


(ب)

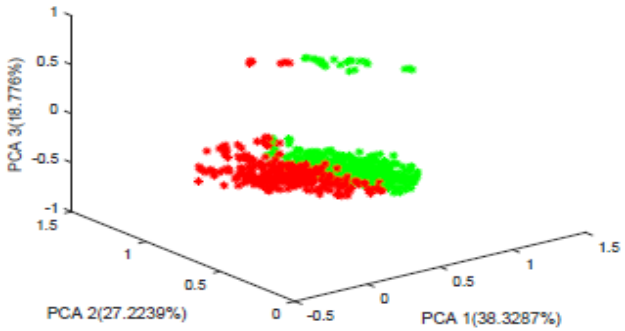
شکل ۸- میزان تأثیر ویژگی‌ها در سه مؤلفه اساسی ابتدایی: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 8- The effect of features in the three basic components: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

برای نمایش بیشتر تفاوت توانایی هر یک از مؤلفه‌های اساسی *PCA* در تعریف واریانس اطلاعات موجود، ابتدا با روش *K-means* داده‌ها به دو خوشه تجزیه شدند. سپس، میزان تفکیک میان خوشه‌ها از دید مؤلفه‌های اساسی اول تا سوم در **شکل ۹** و همچنین تمام مولفه‌ها در **شکل ۱۰** مقایسه شدند. در **شکل ۹** و در ارتباط با هر دو گروه از کشورهای منتخب، مشخص است که به‌صورت کلی، میزانی همپوشانی در تفکیک میان خوشه‌ها با دید از نگاه مؤلفه‌های اساسی وجود دارد. بااین‌حال، بخش عمده‌ای از تفکیک از دید مؤلفه اول صورت می‌گیرد (محور *x*) و نقش دو مؤلفه دیگر در ایجاد تفکیک ناچیزتر است. این تفاوت در تعریف خوشه‌ها را می‌توان با وضوح بیشتری در **شکل ۱۰** برای هر دو گروه مشاهده کرد.



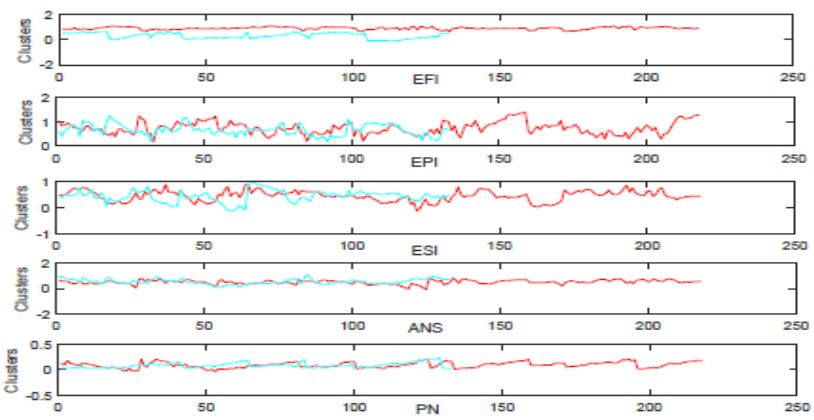
(الف)



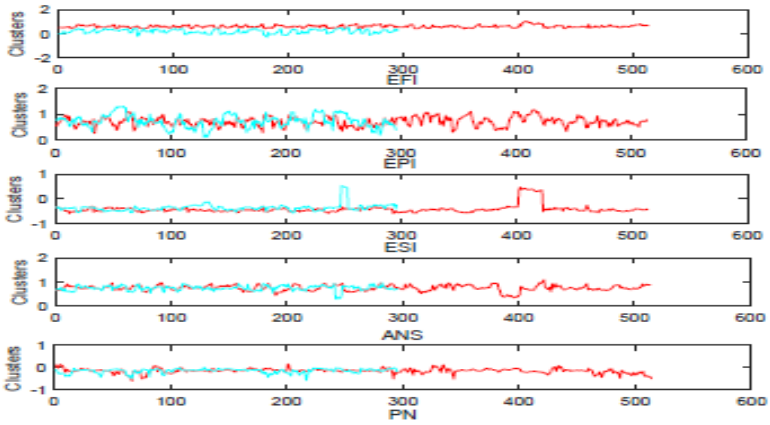
(ب)

شکل ۹- میزان توانایی هر یک از سه مؤلفه اساسی ابتدایی در تعریف خوشه‌ها: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 9- The ability of each of the three basic components to define clusters: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰- میزان توانایی هر یک مؤلفه اساسی در تعریف خوشه‌ها: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

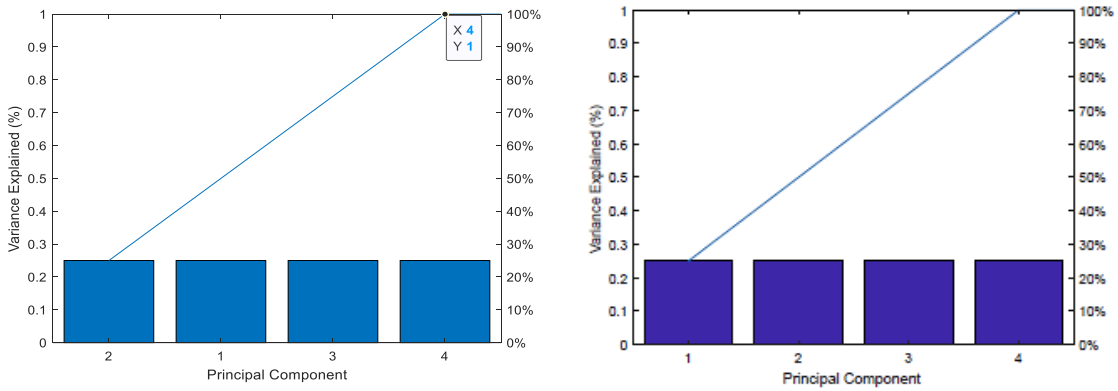
Figure 10- The ability of each of the principal components to define clusters: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

همان‌طور که از **شکل ۱۰** مشخص است، تنها مؤلفه اساسی اول توانسته است تفکیک مناسبی میان دو خوشه تعریف کند. به‌عبارت‌دیگر، این مؤلفه توانایی نسبی در بیان اطلاعات متمایزکننده و قابل‌اتکا درباره کیفیت محیط‌زیست را دارد.

۴-۳- نتایج KPCA

مشابه با روش *PCA*، روش *KPCA* نیز اجراشده و میزان توانایی هر یک از مؤلفه‌های اساسی (۵ عدد برابر با تعداد ویژگی‌ها) در تعریف واریانس میان اطلاعات محاسبه شد. همان‌طور که در **شکل ۱۱** و در ارتباط با هر دو گروه از کشورهای منتخب مشاهده می‌شود، در این روش نیز توسط مؤلفه‌های اساسی ۱ تا ٤ از مجموع ۵ مؤلفه بیش از ۹۵% اطلاعات درون مجموعه تعریف می‌شود. این در حالی است که توسط مؤلفه اساسی اول تا چهارم، هرکدام با تعریف ۲۵% اطلاعات درون داده‌ها تأثیر برابری دارند.

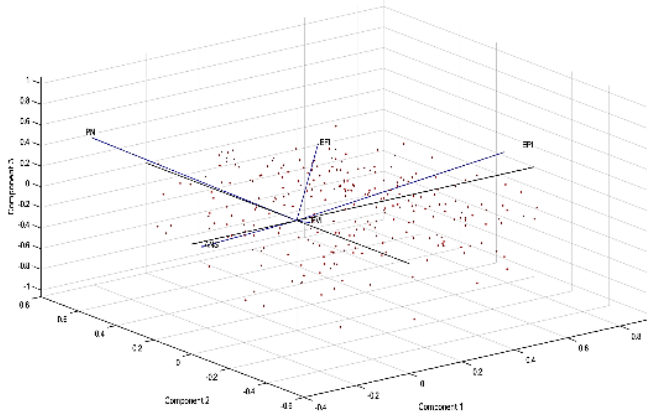
برای نمایش تأثیر هر یک ویژگی‌های پنج‌گانه (انتخاب‌شده از تحلیل همبستگی) در هر یک از سه مؤلفه اساسی ابتدایی، نمودار *biplot* حاصل از *KPCA* در **شکل ۱۲** و در ارتباط با هر دو گروه از کشورهای منتخب، ارائه‌شده است. همان‌طور که کاملاً مشخص است، در کشورهای منتخب *OPEC*، ویژگی *EPI* بیشترین اهمیت و وزن را در مؤلفه اساسی اول دارد. درحالی‌که ویژگی *EFI* بیشترین اهمیت را در مؤلفه اساسی دوم دارد. درحالی‌که در کشورهای منتخب *OECD* ویژگی *PN* بیشترین اهمیت و وزن را در مؤلفه اساسی اول دارد. درحالی‌که ویژگی *ESI* بیشترین اهمیت را در مؤلفه اساسی دوم دارد.



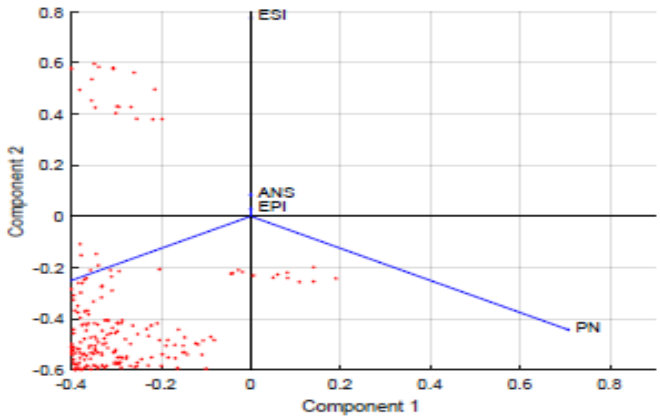
(الف) (ب)

شکل ۱۱- میزان تعریف واریانس اطلاعات توسط مؤلفه‌های اساسی برتر: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 11- Definition of information variance by the best principal components: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.



(الف)

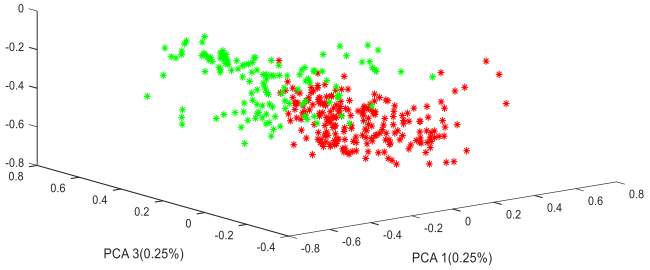


(ب)

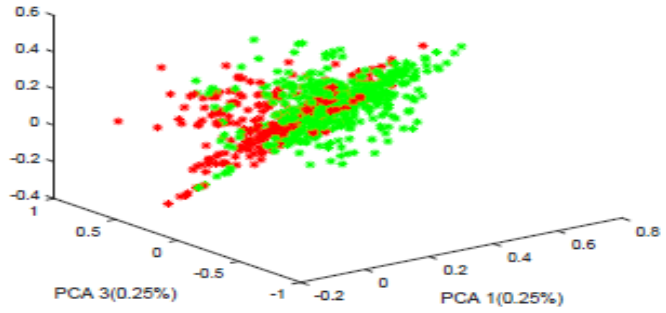
شکل ۱۲- میزان تأثیر ویژگی‌ها در سه مؤلفه اساسی ابتدایی: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 12- The effect of features in the three basic components: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

برای نمایش بیشتر تفاوت توانایی هر یک از مؤلفه‌های اساسی *KPCA* در تعریف واریانس اطلاعات موجود، ابتدا با روش *K-means* داده‌ها به دو خوشه تجزیه شدند. سپس، میزان تفکیک میان خوشه‌ها از دید مؤلفه‌های اساسی اول تا سوم در **شکل ۱۳** و همچنین تمام مولفه‌ها در **شکل ۱٤** مقایسه شدند. در **شکل ۱۳** و در ارتباط با هر دو گروه از کشورهای منتخب، مشخص است که به‌صورت کلی، میزانی همپوشانی در تفکیک میان خوشه‌ها با دید از نگاه هیچ‌کدام از مؤلفه‌ها به‌صورت کامل وجود ندارد. بااین‌حال، بخش عمده‌ای از تفکیک از دید مؤلفه اول صورت می‌گیرد (محور x) و نقش دو مؤلفه دیگر در ایجاد تفکیک ناچیزتر است. این تفاوت در تعریف خوشه‌ها را می‌توان با وضوح بیشتری در **شکل ۱٤** در ارتباط با هر دو گروه از کشورها منتخب دید.



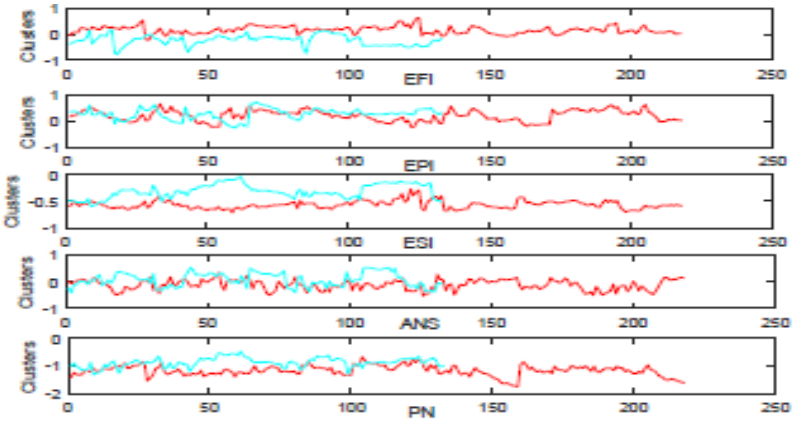
(الف)



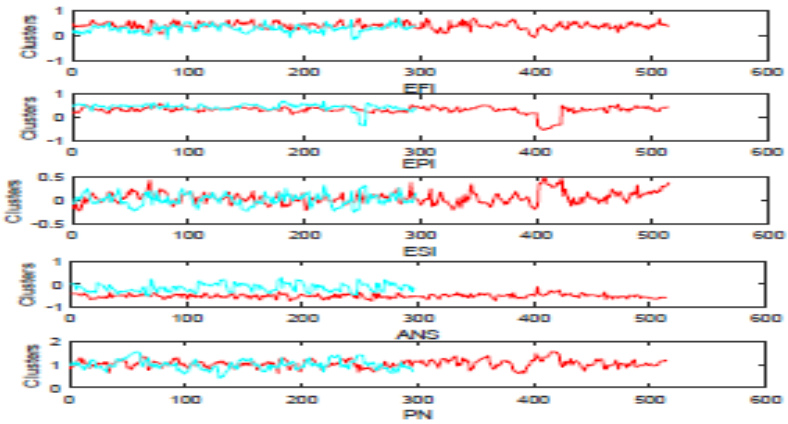
(ب)

شکل ۱۳- میزان توانایی هر یک از سه مؤلفه اساسی ابتدایی در تعریف خوشه‌ها: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 13- The ability of each of the three basic components to define clusters: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.



(الف)



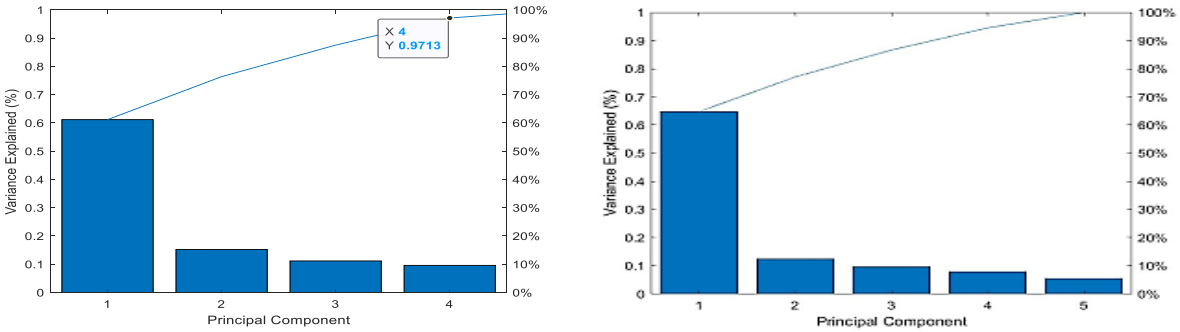
(ب)

شکل ۱۴- میزان توانایی هر یک مؤلفه اساسی در تعریف خوشه‌ها: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 14- The ability of each of the principal components to define clusters: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

همان‌طور که از **شکل ۱۴** مشخص است، تنها مؤلفه اساسی اول توانسته است تفکیک نسبتاً مناسبی میان دو خوشه تعریف کند. به‌عبارت‌دیگر، این مؤلفه توانایی کمی در بیان اطلاعات متمایزکننده و قابل‌اتکا درباره کیفیت محیط‌زیست را دارد.

روش *FRPCA* نیز انجام‌شده و شکل‌های لازم آورده شده‌اند. همان‌طور که در **شکل ۱۵** مشاهده می‌شود، توسط مؤلفه‌های اساسی ۱ تا ٤ از مجموع ۵ مؤلفه بیش از ۹۵% اطلاعات درون مجموعه (مربوط به کشورهای منتخب *OPEC*) و حدود ۹۵% اطلاعات درون مجموعه (مربوط به کشورهای منتخب *OECD*) تعریف می‌شود. این در حالی است که توسط مؤلفه اساسی اول که ضرایب آن به‌عنوان ضرایب اصلی ساختن شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند، در ارتباط با کشورهای منتخب *OPEC* بیش از ٦١% اطلاعات درون داده‌ها و در کشورهای منتخب *OECD* بیش از ۶۵% اطلاعات درون داده‌ها تعریف می‌شود.

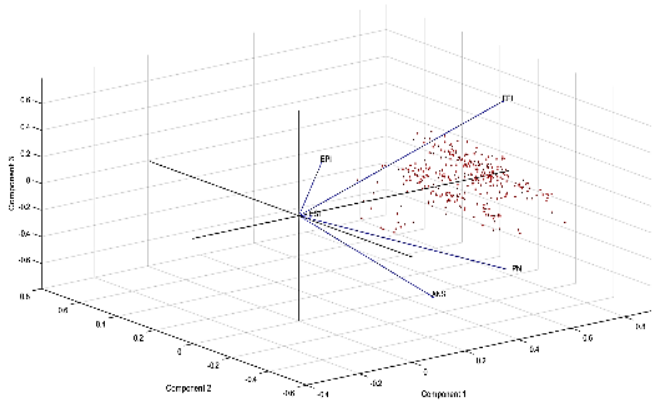


(الف) (ب)

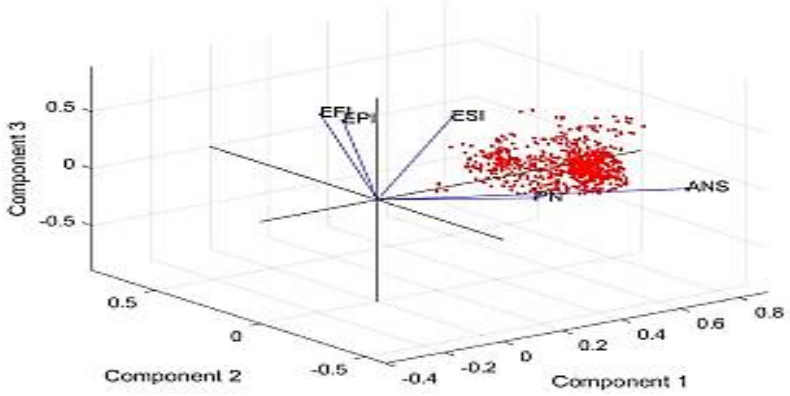
شکل ۱۵- میزان تعریف واریانس اطلاعات توسط مؤلفه‌های اساسی برتر: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 15- Definition of information variance by the best principal components: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

برای نمایش تأثیر هر یک از ویژگی‌های پنج‌گانه (انتخاب‌شده بر اساس تحلیل همبستگی) در هر یک از سه مؤلفه اساسی ابتدایی، نمودار *biplot* حاصل از *FRPCA* در **شکل ١٦** در ارتباط با هر دو گروه از کشورهای منتخب ارائه‌شده است. همان‌طور که مشخص است، بر اساس **شکل ١٦** و در ارتباط با کشورهای منتخب *OPEC*، ویژگی *EFI* بیشترین اهمیت و وزن را در مؤلفه اساسی اول دارد؛ این در حالی است که ویژگی *ANS* بیشترین اهمیت را در مؤلفه اساسی دوم دارد؛ اما در ارتباط با کشورهای منتخب *OECD*، ویژگی *ESI* بیشترین اهمیت و وزن را در مؤلفه اساسی اول دارد؛ این در حالی است که ویژگی *ANS* بیشترین اهمیت در مؤلفه اساسی دوم را به خود اختصاص داده است.



(الف)

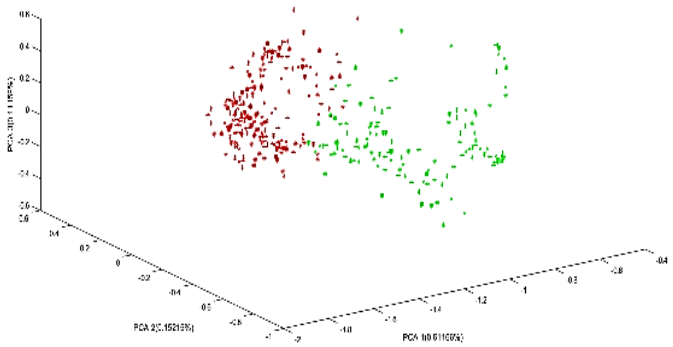


(ب)

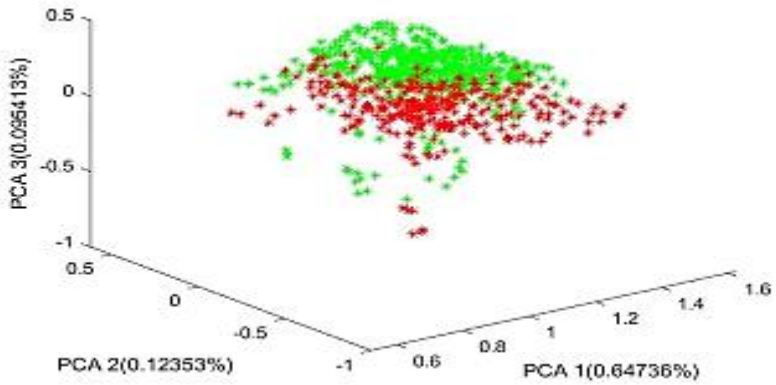
شکل ۱۶- میزان تأثیر ویژگی‌ها در سه مؤلفه اساسی ابتدایی: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 16- The effect of features in the three basic components: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

برای نمایش بیشتر تفاوت توانایی هر یک از مؤلفه‌های اساسی *FRPCA* در تعریف واریانس اطلاعات موجود، ابتدا با روش *K-means* داده‌ها به دو خوشه تجزیه شدند. سپس، میزان تفکیک میان خوشه‌ها از دید مؤلفه‌های اساسی اول تا سوم در **شکل ۱۷** و همچنین تمام مؤلفه‌ها در **شکل ۱۸** برای هر دو گروه از کشورهای منتخب مقایسه شدند. در **شکل ۱۷** مشخص است که به‌صورت کلی، میزان همپوشانی در تفکیک میان خوشه‌ها با دید از نگاه مؤلفه‌های اساسی در این روش (مربوط به هر دو گروه از کشورهای منتخب) از دو روش قبل کمتر است. در این روش، تفکیک مناسب میان دو خوشه توسط دو مؤلفه اول و دوم ایجادشده است.



(الف)

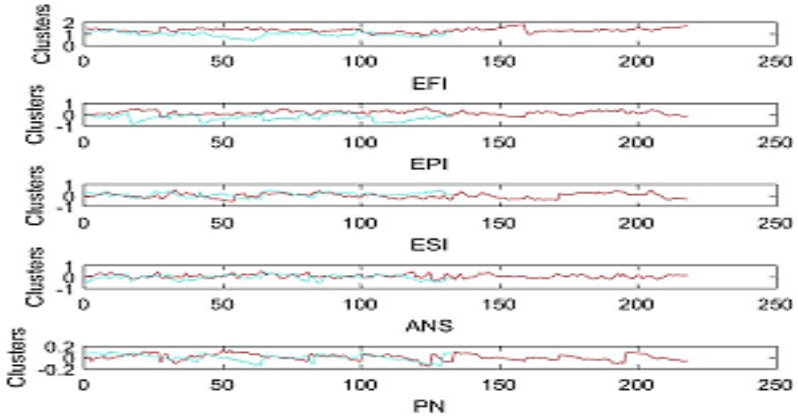


(ب)

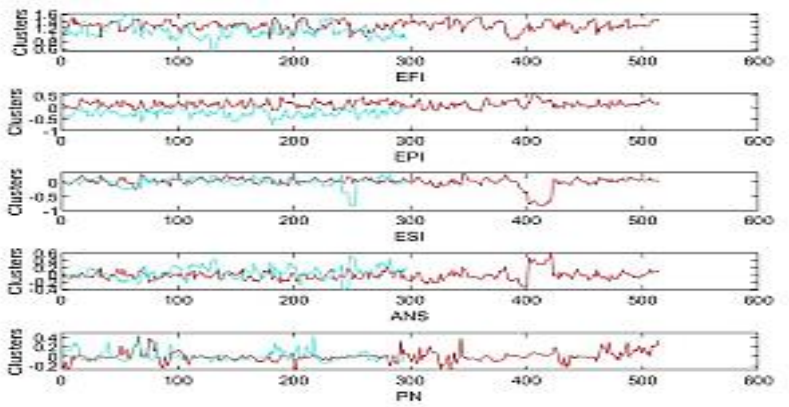
شکل ۱۷- میزان توانایی هر یک از سه مؤلفه اساسی ابتدایی در تعریف خوشه‌ها: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 17- The ability of each of the three basic components to define clusters: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

در **شکل ۱۸** مشخص است که در مقایسه مستقل هر یک از مؤلفه‌ها، مؤلفه اساسی اول روش *FRPCA* در هر دو گروه از کشورهای منتخب، توانایی مناسبی را در تفکیک میان خوشه‌ها از خود نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۸- میزان توانایی هر یک مؤلفه اساسی در تعریف خوشه‌ها: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 18- The ability of each of the principal components to define clusters: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

۴-۵- تحلیل مقایسه‌ای بین سه روش PCA، KPCA و FRPCA

برای انجام یک مقایسه کامل‌تر، توانایی هر یک از مؤلفه‌های اساسی محاسبه‌شده توسط سه روش *PCA*، *KPCA* و *FRPCA* در تعریف اطلاعات درون داده‌ها در **جدول ۵** ارائه شده است.

نتایج **جدول ۵** بر اساس روش تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی (*PCA*) برای کشورهای منتخب *OPEC*، حاکی از آن است که تقریباً ۴۴% از تغییرات به‌وسیله عامل اول (اولین مؤلفه اصلی) توضیح داده می‌شود و به دنبال آن دومین و سومین مؤلفه اصلی هرکدام به ترتیب ۲۴/۸۶% و ۱۷/۴۸% از تغییرات را نشان می‌دهد. در آخر، چهارمین و پنجمین مؤلفه سهم کمتری در توضیح تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند. برای کشورهای منتخب *OECD*، این نتایج حاکی از آن است که اولین عامل با مقدار ۳۸/۳۳ بیشترین اهمیت و سهم را در شاخص ترکیبی محیط‌زیست داشته است. پس‌ازآن عامل دوم و سوم به ترتیب با مقادیر ۲۷/۲۲ و ۱۸/۷۸ سهم کمتری را به خود اختصاص می‌دهند. در آخر، عامل چهارم و پنجم به ترتیب با مقادیر ۸/۵۹ و ۷/۰۸ اهمیت کمتری در ایجاد شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست دارند. نتایج مربوط به کشورهای منتخب *OPEC* بر اساس روش تحلیل مؤلفه اصلی کرنل (*KPCA*)، حاکی از آن است که تمامی عوامل به‌جز عامل پنجم با مقادیر ۰/۲۵ سهم برابر و یکسانی را در توضیح تغییرات به خود اختصاص داده‌اند. این نتیجه، در مورد کشورهای منتخب *OECD*، نیز صادق است. همچنین، نتایج **جدول ۵** بر اساس روش تحلیل مؤلفه اصلی مبتنی بر منطق فازی (*FRPCA*) برای کشورهای منتخب *OPEC*، حاکی از آن است که ۰/۶۱% از تغییرات به‌وسیله عامل اول (اولین مؤلفه اصلی) توضیح داده می‌شود و به

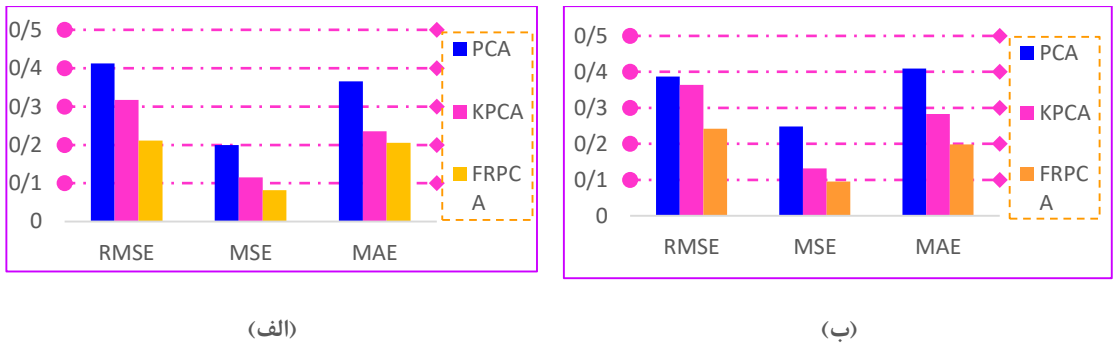
دنبال آن دومین و سومین مؤلفه اصلی هرکدام به ترتیب ۰/۱۵% و ۰/۱۱% از تغییرات را نشان می‌دهد. در آخر، چهارمین و پنجمین مؤلفه سهم کمتری در توضیح تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند. برای کشورهای منتخب *OECD*، این نتایج حاکی از آن است که ۶۵% از تغییرات به‌وسیله عامل اول (اولین مؤلفه اصلی) توضیح داده می‌شود و به دنبال آن دومین و سومین مؤلفه اصلی هرکدام به ترتیب ۱۲% و ۱۰% از تغییرات را نشان می‌دهد. مابقی مؤلفه‌ها سهم کمتری در توضیح تغییرات کیفیت محیط‌زیست را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۵- مقایسه سه روش بر مبنای تعریف واریانس میان داده‌ها.

Figure 5- Comparison of three methods based on the definition of variance between data.

مؤلفه‌ها	PCA		KPCA		FRPCA	
کشورهای منتخب OPEC						
	واریانس	واریانس تجمعی	واریانس	واریانس تجمعی	واریانس	واریانس تجمعی
1	0/4385	0/4385	0/25	0/25	0/61	0/61
2	0/2486	0/6871	0/25	0/50	0/15	0/76
3	0/1748	0/8619	0/25	0/75	0/11	0/88
4	0/1260	0/9879	0/25	1	0/10	0/97
5	0/0121	1	0	1	0/03	1
کشورهای منتخب OECD						
1	0/3833	0/3833	0/25	0/25	0/65	0/65
2	0/2722	0/6555	0/25	0/50	0/12	0/77
3	0/1878	0/8433	0/25	0/75	0/10	0/87
4	0/0859	0/9292	0/25	1	0/08	0/95
5	0/0708	1	-	1	0/05	1

جهت اطمینان از انتخاب روشی با بیشترین کارایی، عملکرد روش‌های مذکور (*PCA*، *KPCA* و *FRPCA*) بر اساس معیارهای ارزیابی عملکرد (معیارهای خطا) (*MSE*[۱]، *RMSE*[۲]، *MAE*[۳]) موردبررسی قرار می‌گیرد. روشی دارای کارایی مناسب و قابل‌قبول است که از کمترین معیارهای خطا برخوردار باشد. نتایج این معیارها در **شکل ۱۹** ارائه‌شده است.



شکل ۱۹- معیارهای ارزیابی عملکرد مربوط به روش‌های مورداستفاده در تحقیق: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.

Figure 19- Performance evaluation criteria related to the methods used in the research: (a) Selected OPEC countries, (b) Selected OECD countries.

نتایج حاکی از آن است که روش *FRPCA* به دلیل داشتن کمترین معیار خطا، نسبت به سایر روش‌ها از کارایی و توانایی بیشتری برخوردار می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل سه روش مذکور (*PCA*، *KPCA* و *FRPCA*) و نتایج مربوط به معیارهای ارزیابی عملکرد این روش‌ها، روش *FRPCA* به‌عنوان روش بهینه جهت ساختن شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست انتخاب شد. همان‌طور که مشخص است در دو گروه از کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD*، عامل اول (اولین مؤلفه اصلی) تغییرات را نسبت به سایر مؤلفه‌ها بهتر توضیح می‌دهد. بر این اساس، مطالعه حاضر از اولین مؤلفه اصلی جهت ساختن یک شاخص ترکیبی برای کیفیت محیط‌زیست استفاده می‌کند. قبل از محاسبه شاخص ترکیبی، لازم است که تضمین کنیم که مجموع وزن‌ها برابر واحد باشد. برای اینکه مجموع وزن‌ها برابر واحد باشد،

---

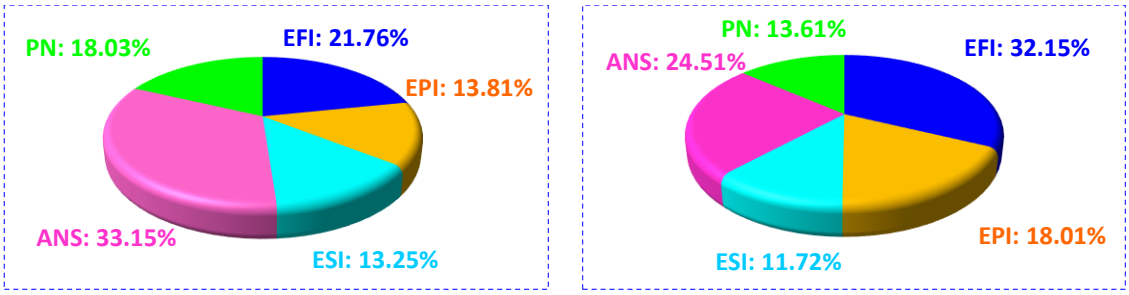
[۱] Mean Squared Error
[۲] Root Mean Squared Error
[۳] Mean Absolute Error

ابتدا قدر مطلق مقادیر مؤلفه انتخاب‌شده (مؤلفه اصلی اول) شاخص‌ها، با یکدیگر جمع می‌شوند. سپس مقدار مؤلفه اول مربوط به هر شاخص بر این مجموع تقسیم می‌شود. وزن هر یک از شاخص‌های محیط‌زیستی برای دو گروه از کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* در **جدول ۶** ارائه‌شده است.

جدول ۶- وزن‌های مربوط به شاخص‌های محیط زیستی بر اساس روش FRPCA.
Table 6- The weights of environmental indicators based on FRPCA method.

کشورهای منتخب OPEC		کشورهای منتخب OECD	
شاخص‌های محیط‌زیستی	وزن‌ها	شاخص‌های محیط‌زیستی	وزن‌ها
شاخص ردپای اکولوژیکی	0/2176	شاخص ردپای اکولوژیکی	0/3215
شاخص عملکرد محیط‌زیست	0/1381	شاخص عملکرد محیط‌زیست	0/1801
شاخص پایداری محیط‌زیست	0/1325	شاخص پایداری محیط‌زیست	0/1172
پس‌انداز خالص تعدیل‌شده	0/3315	پس‌انداز خالص تعدیل‌شده	0/2451
شاخص فشار بر طبیعت	0/1803	شاخص فشار بر طبیعت	0/1361

جهت مشاهده بهتر از میزان سهم هر شاخص در شاخص ترکیبی، وزن‌های محاسبه‌شده در **شکل ۲۰** نیز به تصویر کشیده شده است.



(الف) (ب)

شکل ۲۰- سهم هر یک از شاخص‌ها در ایجاد شاخص ترکیبی: (الف) کشورهای منتخب OPEC، (ب) کشورهای منتخب OECD.
Figure 20- The contribution of each index in creating a composite index: (a) Selected OPEC countries و (b) Selected OECD countries.

با توجه به تحلیل نتایج به‌دست‌آمده و انتخاب روش *FRPCA* به‌عنوان روش بهینه جهت ساختن شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست، این شاخص ترکیبی به‌صورت میانگین وزنی ۵ شاخص انتخاب‌شده (ضرب هر یک از شاخص‌های محیط‌زیستی منتخب در وزن و اهمیت آن‌ها در کل تغییرات) طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ برای هر یک از دو گروه کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* قابل‌محاسبه خواهد بود. بر اساس **جدول ۶** و توضیحات بالا (در رابطه با مجموع وزن‌ها)، بیان ریاضی اولین مؤلفه اصلی (که بیشترین سهم در کیفیت محیط‌زیست و ایجاد شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست را دارد) را می‌توان در **جدول ۷** به‌صورت زیر نشان داد.

بنابراین با استفاده از روابط بالا (که در کادر قرمز قرار دارند)، می‌توان شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست را برای هر یک از دو گروه کشورهای منتخب *OPEC* و *OECD* در بازه زمانی موردبررسی محاسبه و در رگرسیون‌های تخمینی مورداستفاده قرارداد.

همان‌طور که مشخص است، در **جدول ۷** مربوط به کشورهای منتخب *OPEC*، شاخص‌های پس‌انداز خالص تعدیل‌شده و ردپای اکولوژیکی (به ترتیب با مقادیر وزنی ۳۳/۱۵% و ۲۱/۷۶%) دارای بیشترین اهمیت در توضیح وضعیت کیفیت محیط‌زیست و بیشترین نقش در ایجاد شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست می‌باشند. سپس، شاخص فشار بر طبیعت (با مقدار وزنی ۱۸/۰۳%) وزن و اهمیت بیشتری را در توضیح وضعیت محیط‌زیست به خود اختصاص داده است. هر یک از شاخص‌های عملکرد محیط‌زیست و پایداری محیط‌زیست (به ترتیب با مقادیر وزنی ۱۳/۸۱% و ۱۳/۲۵%) کمترین وزن و اهمیت را در توضیح کیفیت محیط‌زیست و ایجاد شاخص ترکیبی به خود اختصاص داده‌اند.

در مورد کشورهای منتخب *OECD* نیز شاخص ردپای اکولوژیکی (با مقدار وزنی ۳۲/۱۵%) بیشترین وزن و اهمیت را در توضیح کیفیت محیط‌زیست نسبت به سایر شاخص‌ها به خود اختصاص داده است. بعدازآن، هر یک از شاخص‌های پس‌انداز خالص تعدیل‌شده و عملکرد محیط‌زیست (به ترتیب با مقادیر وزنی ۱۳/۶۱% و ۱۱/۷۲%) دارای اهمیت کمتری نسبت به شاخص ردپای

اکولوژیکی می‌باشند. درنهایت، هر یک از شاخص‌های فشار بر طبیعت و پایداری محیط‌زیست به ترتیب با مقادیر وزنی ۰/۳۸۵% و۰/۳۵۲% و ۰/۲۸۸%) در توضیح وضعیت محیط‌زیست و ایجاد شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست کمترین نقش و اهمیت را دارند

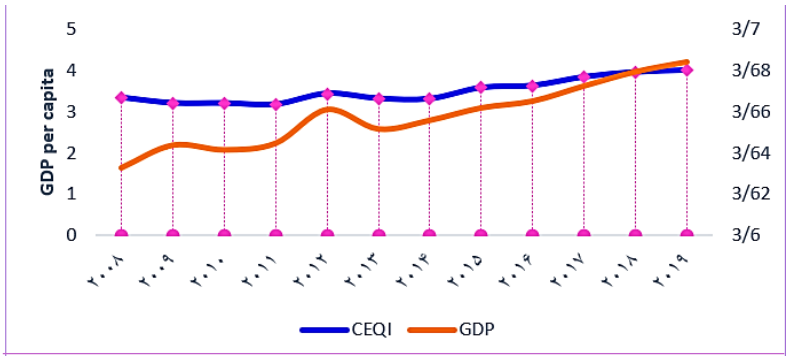
جدول ۷- محاسبه شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست.

Table 7- Calculation of composite environmental quality index.

کشورهای منتخب OPEC
$CEQI=[0.2176 \quad 0.1381 \quad 0.1325 \quad 0.3315 \quad 0.1803]\begin{bmatrix} EFI \\ EPI \\ ESI \\ ANS \\ PN \end{bmatrix}$
$CEQI=0.2176\ EFI+0.1381\ EPI+0.1325\ ESI+0.3315\ ANS+0.1803\ PN$
کشورهای منتخب OECD
$CEQI=[0.3215 \quad 0.1801 \quad 0.1172 \quad 0.2451 \quad 0.1361]\begin{bmatrix} EFI \\ EPI \\ ESI \\ ANS \\ PN \end{bmatrix}$
$CEQI=0.3215\ EFI+0.1801\ EPI+0.1172\ ESI+0.2451\ ANS+0.1361\ PN$

۴-۶- تحلیل هم‌زمان روند شاخص ترکیبی و رشد اقتصادی

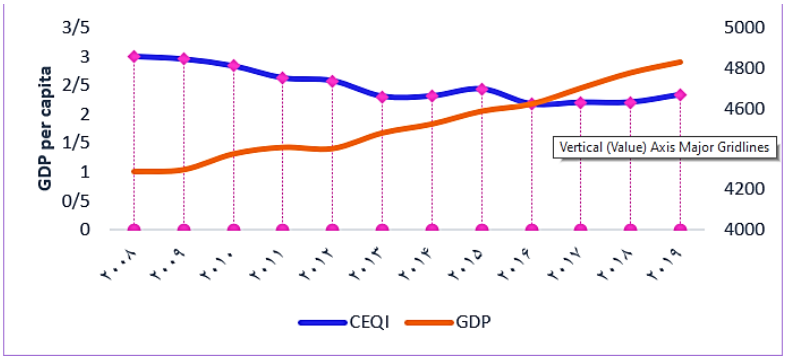
در این بخش، روند شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست هم‌زمان با روند تولید ناخالص داخلی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم رشد اقتصادی متناسب با واقعیات اقتصاد دو گروه از کشورهای موردبررسی در این تحقیق در دو نمودار به‌صورت مجزا ارائه و تحلیل می‌شود. روند شاخص ترکیبی و شاخص رشد اقتصادی برای کشورهای منتخب *OECD* در **شکل ۲۱** ارائه‌شده است.



شکل ۲۱- تعامل بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست در کشورهای منتخب OECD.

Figure 21- Interaction between economic growth and environmental quality in selected OECD countries.

همان‌طور که در **شکل ۲۱** مشاهده می‌شود، رابطه بین رشد اقتصادی و شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست از یک رابطه مستقیم تبعیت می‌کند؛ به‌گونه‌ای که همگام با افزایش رشد اقتصادی، کیفیت محیط‌زیست افزایش‌یافته و ما با تخریب محیط‌زیست مواجه نیستیم. می‌توان بیان کرد که با توجه به قوانین محیط زیستی حاکم بر فرایند تولید و همچنین مشوق‌های مناسب محیط زیستی در فرایندهای مربوط به تولید کالاها و همچنین ارائه خدمات، تولیدکنندگان به مصرف بهینه از منابع طبیعی و انرژی سوق پیدا کرده و درنتیجه، این امر منجر به کاهش در تخریب محیط‌زیست شده است.



شکل ۲۲- تعامل بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست در کشورهای منتخب OPEC.

Figure 22- Interaction between economic growth and environmental quality in selected OPEC countries.

روند شاخص ترکیبی و شاخص رشد اقتصادی برای کشورهای منتخب *OPEC* در **شکل ۲۲** ارائه‌شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، رابطه بین رشد اقتصادی و شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست از یک رابطه معکوس تبعیت می‌کند؛ به‌گونه‌ای که همگام با افزایش رشد اقتصادی، کیفیت محیط‌زیست کاهش‌یافته و ما با تخریب محیط‌زیست مواجه هستیم. در تحلیل این نتیجه می‌توان بیان کرد که در مراحل ابتدایی رشد اقتصادی با توجه به اولویت بالای تولید و اشتغال نسبت به محیط‌زیست پاک در این گروه از کشورها، استفاده از منابع طبیعی و مصرف انرژی افزایش پیدا کرده و این امر منجر به تخریب محیط‌زیست شده است. در ادامه، با توجه به قوانین محیط‌زیستی (هرچند کمرنگ و ضعیف)، به سمت مصرف بهینه از منابع طبیعی و انرژی تمایل پیدا کرده‌اند و این امر منجر به کاهش تخریب محیط‌زیست شده است؛ اما با توجه به ضعیف بودن قوانین محیط‌زیستی و عدم وجود مشوق‌های لازم جهت رعایت کامل قوانین محیط‌زیستی، انگیزه‌ها کاهش‌یافته و کیفیت محیط‌زیست از اولویت خارج‌شده و جای خود را به تولید و اشتغال داده است. به دنبال آن شاهد افزایش در تخریب محیط‌زیست هستیم.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای سیاستی

همان‌طور که قبلاً بیان شد، مطالعات زیادی در مورد رابطه بین متغیرهای مهم اقتصادی چون رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست موردبررسی قرار گرفت؛ اما با توجه به نتایج متفاوت و متضادی که حاصل کار این تحقیقات بوده است و با توجه به این‌که نوع شاخص‌های محیط‌زیستی بکار برده شده در همه این مطالعات، نماینده و شاخصی کامل و جامع برای متغیر کیفیت محیط‌زیست نمی‌باشد و به دنبال آن نتایج نامعتبر به‌دست‌آمده نمی‌توانند معیار و ملاک درستی برای اتخاذ و اجرای سیاست‌های مناسب اقتصادی- محیط‌زیستی باشد، به‌کارگیری شاخص‌هایی که تمامی ابعاد آلودگی محیط‌زیست را در نظر بگیرد، امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا با توجه به خلاء تحقیقاتی که در خصوص امکان و نحوه به‌کارگیری و نتایج تکنیک‌های مختلف تحلیل مؤلفه‌های اصلی در محاسبه یک شاخص ترکیبی محیط زیستی وجود دارد، این انگیزه ایجاد شد تا در این مطالعه، قابلیت کاربرد تکنیک‌های مختلف این روش یعنی تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل مؤلفه اصلی کرنل و تحلیل مؤلفه اصلی مبتنی بر منطق فازی در ساختن یک شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست که ترکیبی از شاخص محیط زیستی مختلف هستند، مورد آزمون قرار گیرد و نتایج به‌کارگیری آن جهت استفاده محققان آتی در تحقیقات مربوط به کیفیت محیط‌زیست، ارائه شود. لذا این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این سؤالات است که آیا با توجه به معیارهای آماری مناسب، می‌توان تکنیک‌های مختلف تحلیل مؤلفه‌های اصلی را در ایجاد یک شاخص ترکیبی محیط‌زیست در دو گروه از کشورهای منتخب بکار برد؟ کدام روش برای ساخت شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست بهترین روش می‌باشد؟ و درنهایت اینکه، معادله تخمین‌زننده آن‌ها در هر یک از این سه روش چگونه خواهد بود؟

نتایج نشان داد که اولاً، روش *FRPCA* نسبت به سایر روش‌ها به دلیل داشتن کمترین معیارهای خطا، از کارایی و توانایی بیشتری در وزن‌دهی شاخص‌های محیط زیستی برخوردار است. دوما، توانایی روش *FRPCA* در تعریف واریانس اطلاعات موجود با استفاده از ٤ مؤلفه اصلی بیشتر از دو روش دیگر است. سوما، مؤلفه اساسی اول در روش *FRPCA* در مقایسه با مؤلفه‌های اول در دو روش دیگر توانایی بسیار بالاتری در تعریف واریانس درون داده‌ها دارد. چهارم اینکه، با توجه به توانایی اشاره‌شده در نکته اول و دوم و همچنین، اصل استفاده از ضرایب مؤلفه اساسی اول در ساختن شاخص ترکیبی، ضرایب مؤلفه اساسی اول از روش *FRPCA* مناسب‌ترین مقادیر حاضر برای ساختن شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست هستند. در آخر نیز با استفاده از روش منتخب اقدام به ساخت شاخص ترکیبی

شد و روند این شاخص با شاخص رشد اقتصادی در دو کشور موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که رابطه بین رشد اقتصادی و شاخص ترکیبی کیفیت محیط‌زیست در کشورهای منتخب *OECD* از یک رابطه مستقیم و در کشورهای منتخب *OPEC* از یک رابطه معکوس تبعیت می‌کند.

توصیه می‌شود با توجه به اینکه شاخص ترکیبی ایجادشده نسبت به هر یک از شاخص‌های محیط‌زیستی منفرد ابعاد بیشتری از آلودگی محیط‌زیست را در نظر می‌گیرد و شاخصی جامع و کامل‌تر است، در تحقیقات مختلفی که در حوزه تأثیر متغیرهای اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست انجام می‌شود، به‌عنوان متغیر محیط زیستی در مدل‌های اقتصادی مورداستفاده قرار گیرد.

۶- محدودیت‌ها و پیشنهادهای برای مطالعات آینده

علیرغم اینکه مطالعه حاضر، دیدگاه‌ها و نتایج مهمی را در ارتباط با به‌کارگیری روش‌های مختلف در جهت ایجاد یک شاخص ترکیبی (شاخصی که با در نظر گرفتن تمامی ابعاد آلودگی محیط‌زیست بتواند نماینده و شاخصی کامل و جامع برای متغیر کیفیت محیط‌زیست باشد) ارائه داد، اما با محدودیت‌هایی نیز مواجه بوده است. به دلیل محدودیت در دسترسی به داده‌ها، استفاده از شاخص‌های موردنظر در تحقیق برای تمامی کشورهای عضو *OPEC* و *OECD* امکان‌پذیر نبود. لذا از داده‌های مربوط به کشورهای منتخب این دو گروه در مدل تحقیق استفاده شد. از طرف دیگر، باید توجه داشت نتایج به‌دست‌آمده تنها برای دوره زمانی ذکرشده معتبر می‌باشد و برای کاربرد در سایر دوره‌های زمانی، محاسبات باید دوباره انجام و موردبررسی و تحلیل قرار گیرند. همچنین، جهت ارتقای کیفی و کمی مطالعات آینده، پیشنهاداتی در این مقاله ارائه می‌شود که این پیشنهادات برای پژوهش‌های بعدی در زمینه اقتصاد و محیط‌زیست می‌تواند کمک شایانی به نویسندگان نماید. پیشنهاد می‌شود تا این شاخص ترکیبی برای سه گروه از کشورهای منتخب توسعه‌یافته، کمتر توسعه‌یافته و توسعه‌نیافته ایجاد شود و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردد چراکه این امر می‌تواند دیدگاه‌های جدیدی را برای مطالعات آینده به همراه داشته باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، علاوه بر این شش شاخص مورداستفاده در تحقیق از سایر شاخص‌های محیط زیستی جهت ایجاد شاخص ترکیبی نیز استفاده شود.

توافقنامه نویسندگان

نویسندگان، نسخه نهایی ارسال‌شده را مشاهده و تأیید کرده‌اند. همچنین تضمین می‌شود که مقاله، اثر اصلی نویسندگان بوده، قبلاً چاپ‌نشده و در حال حاضر تحت انتشار نمی‌باشد.

منابع مالی

نویسندگان اعلام می‌کنند هیچ نوع بودجه یا کمک‌هزینه تحقیق در طی مطالعه مذکور دریافت نشده است.

تعارض با منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌کنند که در انتشار مقاله ارائه‌شده تضاد منافعی وجود ندارد.

منابع

Ahmadi, M., Falahati, A., & Delangizan, S. (2020). Transition dynamic analysis of the regional disparity in Iran (case study: Iran Provinces). *Quarterly journal of quantitative economics*, *17*(1), 85-119. (**In Persian**). https://doi.org/10.22055/jqe.2019.27789.1984

Asici, A. A. (2013). Economic growth and its impact on environment: a panel data analysis. *Ecological indicators*, *24*, 324-333. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.06.019

Alemzero, D. A., Sun, H., Mohsin, M., Iqbal, N., & Nadeem, M. (2020). Assessing energy security in Africa based on multi-dimensional approach of principal composite analysis. *Environmental science and pollution research*, *28*, 2158-2171. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10554-0

Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO2 emissions? *Energy policy*, *113*, 356–367. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050

Beheshti, M., Memarnejad, A., Torabi, T., & Hosseini, S. S. (2020 in press). Investigation of the dynamic relationship between trade liberalization, financial development and economic growth in selected countries around the world (a new approach to financial development index). *Quarterly journal of economic growth and development research*, (**In Persian**). DOI: 10.30473/egdr.2020.52186.5744

Bishop, Ch. M. (ed.). (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.

Chang, C. P., & Hao, Y. (2017). Environmental performance, corruption and economic growth: global evidence using a new data set. *Applied economics*, *49*(5), 498–514. https://doi.org/10.1080/00036846.2016.1200186

Charfeddine, L., & Mrabet, Z. (2017). The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: a panel data analysis for 15 MENA countries. *Renewable and sustainable energy reviews*, *76*, 138–154. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.031

Charoenkit, S., & Kumar, S. (2014). Environmental sustainability assessment tools for low carbon and climate resilient low-income housing settlements. *Renewable and sustainable energy reviews*, *38*, 509-525. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.012

Chen, J., Li, Z., Song, M., & Dong, Y. (2020). Decomposing the global carbon balance pressure index: evidence from 77 countries. *Environmental science and pollution research*, *28*, 7016-7031. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11042-1

Dai, X., Gao, Y., He, X., Liu, T., Jiang, B., Shao, H., & Yao, Y. (2020). Spatial-temporal pattern evolution and driving force analysis of ecological environment vulnerability in Panzhihua City. *Environmental science and pollution research*, *28*, 7151-7166. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11013-6

Danish., Ulucak, R., & Khan, S.U-D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable cities and society*, *54*, 101996. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996

Wang, Z. (2019). Does biomass energy consumption help to control environmental pollution? Evidence from BRICS countries. *Science of the total environment*, *670*, 1075-1083.

Destek, M. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development. *Science of the total environment*, *650*, 2483–2489. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.017

Destek, M. A., Ulucak, R., & Dogan, E. (2018). Analyzing the environmental Kuznets curve for the EU countries: the role of ecological footprint. *Environmental science and pollution research*, *25*, 29387–29396. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2911-4

Dogan, E., Ulucak, R., Kocak, E., & Isik, C. (2020). The use of ecological footprint in estimating the environmental Kuznets Curve hypothesis for BRICST by considering cross-section dependence and heterogeneity, *Science of the total environment*, *723*(25), 138063. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138063

Elsalih, O., Sertoglu, K., & Besim, M. (2020). Environmental performance, comparative advantage of crude oil and the role of institutional quality. *Environmental science and pollution research*, *27*, 3489–3496. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06838-9

Fakher, H. A. (in Press). The threshold impact of financial development on the composite environmental quality index with emphasis on the role of research and development: using multi-criteria decision making and principal component analysis. *Decisions and operations research*, (**In Persian**). https://doi.org/10.22105/dmor.2021.272043.1321

Fakher, H. A., Panahi, M., Emami, K., Peykarjou, K., & Zeraatkish, S. (2021). New insights into development of an environmental – economic model based on a composite environmental quality index: a comparative analysis of economic growth and environmental quality trend. *Environmental energy and economic research*, *5*(3), 1-24. https://doi.org/10.22097/eeer.2021.280746.1192

Fakher, H. A. (2020). Analytical insights on the relationship between economic growth and environmental degradation in framework of EKC hypothesis and various environmental indicators. *Innovation management and operational strategies*, *1*(3), 252-268. (**In Persian**). https://doi.org/10.22105/imos.2021.272348.1032

Fakher, H. A. (2019). Investigating the determinant factors of environmental quality (based on ecological carbon footprint index). *Environmental science and pollution research*, *26*(10), 10276-10291. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04452-3

Fakher, H. A., Ahmadian, M., Abedi, Z., & Shaygani, B. (2018). Bayesian econometrics approach in determining of effecting factors on pollution in developing countries (based on environmental performance index). *Pollution*, *4*(3), 447-457. https://doi.org/10.22059/poll.2018.243987.335

Faisal, F., Tursoy, T., & Berk, N. (2018). Linear and non-linear impact of Internet usage and financial deepening on electricity consumption for Turkey: empirical evidence from asymmetric causality. *Environmental science and pollution research*, *25*(12), 11536–11555. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1341-7

Fathi Assi, D. A., Isiksal, A. Z., & Tursoy, T. (2021). Renewable energy consumption, financial development, environmental pollution, and innovations in the ASEAN +3 group: evidence from (P-ARDL) model. *Renewable energy*, *165*(1), 689-700. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.052

Ganda, F. (2019). The environmental impacts of financial development in OECD countries: a panel GMM approach. *Environmental science and pollution research*, *26*, 6758–6772. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04143-z

Gnègnè, Y. (2009). Adjusted net saving and welfare change. *Ecological economics*, *68*, 1127–1139. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.08.002

Godil, D. I., Sharif, A., Rafique, S., & Jermsittiparsert, K. (2020). The asymmetric effect of tourism, financial development, and globalization on ecological footprint in Turkey. *Environmental science and pollution research*, *27*, 40109–40120. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09937-0

Gormus, S., & Aydin, M. (2020). Revisiting the environmental Kuznets curve hypothesis using innovation: new evidence from the top 10 innovative economies. *Environmental science and pollution research*, *27*, 27904–27913. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09110-7

Hassan, S. T., Xia, E., Khan, N. H., & Ali shah, S. M. (2019). Economic growth, natural resources, and ecological footprints: evidence from Pakistan. *Environmental science and pollution research*, *26*, 2929–2938. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3803-3

Ho, H. Ch., Wong, M. S., Man, H. Y., Shi, Y., & Abbas, S. (2019). Neighborhood-based subjective environmental vulnerability index for community health assessment: development, validation and evaluation. *Science of the total environment*, *654*, 1082–1090. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.136

Imamoglu, H. (2019). The role of financial sector in energy demand and climate changes: evidence from the developed and developing countries. *Environmental science and pollution research*, *26*(2), 22794–22811. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05499-y

Karimi Moughari, Z., & Barati, J. (2017). Determining the level of regional inequality in provinces of Iran: analysis of multidimensional composite index. *Journal of economic growth and development research*, *7*(26), 49-70. (**In Persian**). http://egdr.journals.pnu.ac.ir/article_2592.html?lang=en

Kassi, D. F., Sun, G., & Ding, N. (2020). Does governance quality moderate the finance-renewable energy-growth nexus? Evidence from five major regions in the word. *Environmental science and pollution research*, *27*, 12152–12180. https://doi.org/10.1007/s11356-020-07716-5

Kazerooni, A., Asgharpur, A., & Nafisi Moghadam, M. (2020). The effect of political stability and democracy on economic growth in selected countries of the organization of islamic cooperation: dynamic panel approach (SYS-GMM). *Quarterly journal of economic growth and development research*, *10*(39), 55-74. (**In Persian**). https://doi.org/10.30473/egdr.2018.41244.4880

Kongbuamai, N., Zafar, M. W., Zaidi, S. A. H., & Liu, Y. (2020). Determinants of the ecological footprint in Thailand: the influences of tourism, trade openness, and population density. *Environmental science and pollution research*, *27*(32), 40171-40186. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09977-6

Lee, Y., & Lin, S. (2020). Vulnerability and ecological footprint: a comparison between urban Taipei and rural Yunlin, Taiwan. *Environmental science and pollution research*, *27*, 34624–34637. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05251-6

Liu, D., Deng, Q., Ren, Z., Zhou, Z., Song, Z., Huang, J., & Hu, R. (2020). Variation trends and principal component analysis of nitrogen oxide emissions from motor vehicles in Wuhan City from 2012 to 2017. *Science of the total environment*, *704*, 134987. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134987

Mohammadi, N., Haji, G., & Fotros, M. H. (2020). The impact of combined fiscal decentralization on economic growth in proviences of Iran. *Quarterly journal of economic growth and development research*, *10*(38), 98-75. (**In Persian**). https://doi.org/10.30473/egdr.2019.46573.5221

Molana, S. M., Najafizadeh, S. A., Haji, G., & Sarlak A. (2020). The role of financial development in poverty reduction in Iran using the principal component analysis Method (PCA). *Biquarterly journal of economic research*, *11*(22), 127-158. (**In Persian**). https://doi.org/10.29252/epj.2020.10247.1816

Mrabet, Z., & Alsamara, M. (2016). Testing the Kuznets Curve hypothesis for Qatar: a comparison between carbon dioxide and ecological footprint. *Renewable and sustainable energy reviews*, *70*, 1366-1375 http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.039

Neagu, O., Ardelean, D. I., & Lazăr, V. (2017). How is environmental performance associated with economic growth? A world cross-country analysis. *Studia universitatis vasile goldiș arad, seria științe economice*, *27*(3), 15-32. https://doi.org/10.1515/sues-2017-0010

Olafsson, S., Cook, D., Davidsdottir, B., & Johannsdottir, L. (2014). Measuring countries′ environmental sustainability performance – a review and case study of Iceland. *Renewable and sustainable energy reviews*, *39*, 934-948. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.101

Ouyang, Y., & Li, P. (2018). On the nexus of financial development, economic growth, and energy consumption in China: new perspective from a GMM panel VAR approach. *Energy economics*, *71*, 238-252. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.02.01

Ozcan, B., Tzeremes, P., & Dogan, E. (2019). Re-estimating the interconnectedness between the demand of energy consumption, income, and sustainability indices. *Environmental science and pollution research*, *26*, 26500–26516. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05767-x

Özokcu, S., & Özdemir, Ö. (2017). Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. *Renewable and sustainable energy reviews*, *72*, 639–647. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.059

Pata, U. K. (2021). Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO_2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. *Environmental science and pollution research*, *28*, 846–861. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10446-3

Peter, H. (2010). Determinants of the adjusted net saving rate in developing economies. *International review of applied economics*, *24*(5), 591-608. https://doi.org/10.1080/02692170903426070

Raei Dehaghi, M., & Mirhashemi, S. M. (2014). The role of institutional development indexes in attracting foreign investment in selected OPEC member countries. *Journal of applied research on industrial engineering*, *1*(5) 307-319. http://www.journal-aprie.com/article_43068.html

Rizk, R., & Slimane, M. B. (2018). Modelling the relationship between poverty, environment, and institutions: a panel data study. *Environmental science and pollution research*, *25*(31), 31459–31473. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3051-6

Salahuddin, M., & Gow, J. (2019). Effects of energy consumption and economic growth on environmental quality: evidence from Qatar. *Environmental science and pollution research*, *26*, 18124–18142. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05188-w

Sarkodie, S. A. (2018). The invisible hand and EKC hypothesis: what are the drivers of environmental degradation and pollution in Africa?. *Environmental science and pollution research*, *25*, 21993–22022. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2347-x

Shahabadi, A., Samari, H., & Nemati, M. (2017). Factors affecting environmental performance index (EPI) in selected OPEC Countries. *Iranian economic review*, *21*(3), 457-467. https://doi.org/10.22059/ier.2017.62925

Shujah-ur-Rahman, Chen, S., Saud, S., Saleem, N., & Bari, M. W. (2019). Nexus between financial development, energy consumption, income level, and ecological footprint in CEE countries: do human capital and biocapacity matter? *Environmental science and pollution research*, *26*, 31856–31872. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06343-z

Shoaib, H. M., Rafique, M. Z., Nadeem, A. M., & Huang, S. (2020) Impact of financial development on CO_2 emissions: a comparative analysis of developing countries (D_8) and developed countries (G_8). *Environmental science and pollution research*, *27*, 12461–12475. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06680-z

Shujah-ur-Rahman, Chen S, Saleem N, & Bari, M. W. (2019). Financial development and its moderating role in environmental Kuznets curve: evidence from Pakistan. *Environmental science and pollution research*, *26*(19), 19305–19319. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05290-z

Singh, N., & Aneja, R. (2019). Estimation of financial development of India: a PCA approach. *Journal of information and computational science*, *9*(12), 899-908. https://doi.org/10.12733.JICS. 2019.V9I12.535569.11296

Taheri Bazkhaneh, S., Ehsani, M. A., & Gilak Hakim Abadi, M. T. (2019). The investigating of the dynamic relationship between financial cycles with business cycles and the inflation gap in Iran: an application of Wavelet transform. *Quarterly journal of economic growth and development research*, *9*(33), 121-140. (**In Persian**). https://doi.org/10.30473/egdr.2018.4482

Weinberger, Kilian Q., Sha, Fei, and Saul, Lawrence K. (2004, July). Learning a kernel matrix for nonlinear dimensionality reduction. *21st international conference on machine learning* (ICML-04) (pp. 839-846). https://doi.org/10.1145/1015330.1015345

Yilanci, V., & Ozgur, O. (2019). Testing the environmental Kuznets curve for G7 countries: evidence from a bootstrap panel causality test in rolling windows. *Environmental science and pollution research*, *26*, 24795–24805. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05745-3

Zhong, X., & Enke, D. (2017). Forecasting daily stock market return using dimensionality reduction. *Expert systems with applications*, *67*, 126-139. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.09.027