



بررسی اثر تنوع مصرف انرژی بر شاخص عملکرد محیط زیست در ایران

کسری مقیمی کندلوس^{۱*}، یوسف محنت فر^۲

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد منابع و محیط زیست دانشکده اقتصاد و علوم اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

Kasra.moghimil996@gmail.com

۲- دانشیار، گروه اقتصاد انرژی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

y.mehnatfar@umz.ac.ir

تشدید بحران‌های زیست‌محیطی، افزایش انتشار آلاینده‌ها و آسیب‌پذیری اکوسیستم‌ها در ایران، در کنار وابستگی تاریخی اقتصاد کشور به سوخت‌های فسیلی، ضرورت بازنگری در ساختار مصرف انرژی و ارزیابی پیامدهای آن بر کیفیت محیط‌زیست را بیش‌ازپیش آشکار ساخته است. از این رو، پژوهش حاضر به تحلیل اثر تنوع مصرف انرژی (معکوس شاخص هرفیندال-هیرشمن) بر شاخص عملکرد محیط‌زیست ایران طی دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ می‌پردازد. در این راستا، با استفاده از داده‌های سری زمانی و به‌کارگیری الگوی خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی (ARDL)، روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان متغیرهای مورد مطالعه برآورد شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد گشایش تجاری و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر منفی و معناداری بر شاخص عملکرد محیط‌زیست دارند که بیانگر تمرکز این متغیرها بر فعالیت‌های انرژی بر و آلاینده است. همچنین تولید ناخالص داخلی در بلندمدت اثر معناداری ندارد، اما در کوتاه‌مدت با وقفه زمانی موجب بهبود نسبی عملکرد محیط‌زیست می‌شود. افزون بر این، تنوع انرژی در ایران به کاهش شاخص عملکرد محیط‌زیست منجر شده که این امر می‌تواند ناشی از غلبه سوخت‌های فسیلی و محدود بودن توسعه انرژی‌های تجدید پذیر باشد. یافته‌ها بر ضرورت اصلاح راهبردهای انرژی، تجاری و سرمایه‌گذاری با تأکید بر توسعه فناوری‌های پاک و انرژی‌های تجدید پذیر تأکید دارد.

کلمات کلیدی: تنوع مصرف انرژی، شاخص هرفیندال-هیرشمن شاخص عملکرد محیط‌زیست، روش خود رگرسیونی با وقفه توزیعی

۱. مقدمه

در چند دهه اخیر، پیشرفت‌های بزرگ اجتماعی و اقتصادی باعث افزایش شدید تقاضای انرژی در جهان شده است. با وجود تلاش برای گسترش انرژی‌های تجدید پذیر، هنوز سهم بالایی از انرژی مصرفی از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود و این وابستگی، تخریب محیط‌زیست را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی تبدیل کرده است [1]. شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI^۱) یکی از شناخته‌شده‌ترین ابزارهای جهانی برای سنجش و رتبه‌بندی عملکرد محیط‌زیستی کشورها است. این شاخص توسط مرکز حقوق و سیاست زیست‌محیطی دانشگاه ییل منتشر می‌شود و نشان می‌دهد هر کشور تا چه حد به اهداف و استانداردهای سیاست‌های زیست‌محیطی نزدیک شده است [2].

بر اساس شاخص عملکرد محیط‌زیست در گزارش آزمایشی سال ۲۰۰۶، ایران با امتیاز ۷۰.۰ در رتبه ۵۳ جهانی در میان

^۱ - Environmental Performance Index |



بیش از ۱۳۰ کشور قرار گرفت همچنین در گزارش سال ۲۰۰۸، رتبه ایران با کاهش محسوس به جایگاه ۶۷ (با امتیاز ۷۶.۹) رسید که نشان دهنده افت نسبی عملکرد زیست محیطی در مقایسه با سایر کشورها بود. طی دهه های اخیر، سرعت بالای توسعه اقتصادی و اجرای برنامه های گسترده توسعه ای در ایران اغلب بدون توجه کافی به الزامات حفاظت از محیط زیست و مدیریت پایدار منابع طبیعی پیش رفته است [3].

برخی از مطالعات تجربی [4] نشان می دهند که افزایش تنوع در سبد مصرف انرژی، به ویژه از طریق افزایش سهم انرژی های تجدید پذیر، می تواند به بهبود شاخص های زیست محیطی منجر شود. تنوع بخشی به سبد انرژی از طریق ارتقای فناوری و افزایش سهم انرژی های تجدید پذیر می تواند بهره وری انرژی را بهبود بخشیده و وابستگی به سوخت های فسیلی را کاهش دهد. این امر ضمن کاهش آسیب پذیری کشورها در برابر نوسانات قیمت و شوک های ژئوپلیتیکی، ریسک های ناشی از تمرکز منابع انرژی را نیز محدود می کند. افزون بر این، تنوع انرژی می تواند پیامدهای منفی نفرین منابع و بی ثباتی های نهادی را تعدیل نماید. در نهایت، با تسهیل فرآیند کربن زدایی، تنوع بخشی انرژی زمینه دستیابی به رشد اقتصادی پایدار و بهبود عملکرد زیست محیطی را فراهم می سازد [5].

وضعیت زیست محیطی ایران ترکیبی از چالش ها و فرصت ها است. بهره برداری فراتر از ظرفیت زیستی در بخش زمین های زراعی و چراگاه ها و انتشار بالای گازهای گلخانه ای نشان دهنده فشار قابل توجه بر منابع طبیعی و وابستگی شدید به سوخت های فسیلی است. با این حال، بهبودهایی در دسترسی به آب شرب، بهداشت و مدیریت پسماند و همچنین توسعه نسبی انرژی های تجدید پذیر، ظرفیتهایی برای ارتقای پایداری زیست محیطی و کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی ایجاد کرده اند [6]. ساختار مصرف انرژی در ایران حاکی از تمرکز بالای منابع و فقدان تنوع مؤثر در ترکیب انرژی است. مطابق ترازنامه انرژی سال ۱۴۰۱، گاز طبیعی با سهم ۷۹/۴ درصد و فرآورده های نفتی با ۴/۸ درصد، ستون اصلی تأمین انرژی کشور را تشکیل می دهند، در حالی که سهم انرژی های تجدید پذیر قابل احتراق تنها ۰/۱۱ درصد گزارش شده است. این الگو بیانگر اتکای شدید و ساختاری اقتصاد ایران به سوخت های فسیلی بوده و نشان می دهد گذار به سمت منابع انرژی متنوع و کم کربن همچنان با چالش های جدی مواجه است [7].

اگرچه مطالعات متعددی رابطه مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن را بررسی کرده اند، اما پژوهش هایی که به طور مستقیم اثر تنوع مصرف انرژی بر یک شاخص جامع زیست محیطی مانند شاخص عملکرد محیط زیست را در چارچوب یک تحلیل سری زمانی بلندمدت برای ایران تحلیل کنند، محدود است. بیشتر مطالعات بر یک آلاینده خاص تمرکز داشته اند و کمتر به ارزیابی چندبعدی عملکرد محیط زیستی پرداخته اند. این خلأ پژوهشی، ضرورت انجام مطالعه حاضر را برجسته می کند. با توجه به چالش های زیست محیطی، تحلیل تأثیر تمرکز انرژی بر شاخص عملکرد محیط زیست در ایران اهمیت ویژه ای دارد. این پژوهش در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ انجام شده تا رابطه بین تمرکز انرژی و عملکرد محیط زیستی بررسی شده و دیدگاهی برای بهبود مدیریت منابع انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی ارائه شود.

۲. مواد و روش:

در این پژوهش با استفاده از داده های جدول زیر در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است.

جدول ۱- متغیرهای پژوهش (منبع: یافته های تحقیق)

متغیر	نماد	توصیف	واحد	منبع
شاخص عملکرد محیط زیست	EPI	برآورد کلی از وضعیت محیط زیست	درصد	یافته های تحقیق



تولید ناخالص داخلی	GDP ¹	تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت ۲۰۱۵	دلار	بانک جهانی
سرمایه گذاری مستقیم خارجی	FDI ²	خالص سرمایه از جریان ورودی به کشور	دلار	بانک جهانی
گشایش تجاری	TO ³	مجموع واردات و صادرات از کل تولید ناخالص داخلی	درصد	بانک جهانی
تنوع انرژی	ENDIV ⁴	معکوس شاخص هرفیندال - هیرشمن برای مصرف انرژی از منابع مختلف	درصد	یافته های تحقیق

در این مطالعه، مشابه با پژوهش [8] از مدل مفهومی زیر برای تبیین و مدل سازی عوامل مؤثر بر شاخص عملکرد محیط زیست استفاده شده است.

$$\ln EPI_t = B_0 + B_1 \ln GDP_t + B_2 FDI_t + B_3 \ln TO_t + B_4 ENDIV_t + B_5 Dum_t + u_t \quad (1)$$

u_t نشان دهنده جز اخلاص مدل رگرسیونی است و Dum_t متغیر مجازی برای شکست ساختاری متغیر سرمایه گذاری مستقیم خارجی است (برای سال های قبل از ۲۰۰۲ صفر و برای سال های پس از آن یک در نظر گرفته شده است).

در این مطالعه از روش خود رگرسیونی با وقفه توضیحی ($ARDL^5$) استفاده شده است. در مدل $ARDL$ ، امکان بررسی روابط کوتاه مدت و بلند مدت میان متغیرها به طور هم زمان وجود دارد که این ویژگی، مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش های اقتصادسنجی است، زیرا پویایی های کوتاه مدت و تعادل بلند مدت را در یک چارچوب واحد مورد تحلیل قرار می دهد [9]. همچنین یکی از ویژگی های روش $ARDL$ این است که امکان برآورد مدل حتی در شرایطی که متغیرها دارای درجات متفاوتی از مانایی زمانی که برخی $I(0)$ و برخی $I(1)$ هستند را فراهم می سازد [10].

۳. شاخص عملکرد محیط زیست:

شاخص عملکرد محیط زیست، ارزیابی جامعی از کیفیت کلی محیط زیست در سطح ملی ارائه کرده و ابعاد مختلفی نظیر آلودگی هوا، رد پای بوم شناختی، جنگل ها، تغییرات اقلیمی، انرژی و سایر مؤلفه های اثرگذار بر محیط زیست را در بر می گیرد. علاوه بر این، شاخص عملکرد محیط زیست نه تنها وضعیت سلامت محیطی را منعکس می کند، بلکه جنبه های مرتبط با سرزندگی اکوسیستم را نیز پوشش می دهد. از این رو، به عنوان معیاری جامع برای اندازه گیری عملکرد محیط زیستی به کار می رود و مقادیر بالاتر آن بیانگر عملکرد زیست محیطی مطلوب تر است [11]. شاخص عملکرد زیست محیطی با استفاده از ۵۸ شاخص عملکردی در ۱۱ دسته مسئله ای، ۱۸۰ کشور را بر اساس عملکرد در تغییر اقلیم، سلامت محیطی و حیات اکوسیستم رتبه بندی می کند و گزارشی داده محور از وضعیت پایداری در جهان ارائه می دهد [12].

¹ - Gross domestic product

² - Foreign direct investment

³ - Trade openness

⁴ - Energy diversification

⁵ - Autoregressive Distributed Lag



روش نرمال سازی حداقل-حداکثر (Min-Max) یکی از کارآمدترین روش های مقیاس بندی داده است که نشان داده شده می تواند عملکرد مدل ها و طبقه بندی ها را بهبود بخشد. در این مطالعه، از روش Min-Max برای برآورد شاخص عملکرد محیط زیست بر اساس مؤلفه های دانشگاه ییل و با استفاده از داده های موجود ایران در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است که در جدول (۲) نشان داده شده است.

$$Min - Max index = \frac{x - Min}{Max - Min} \quad (2)$$

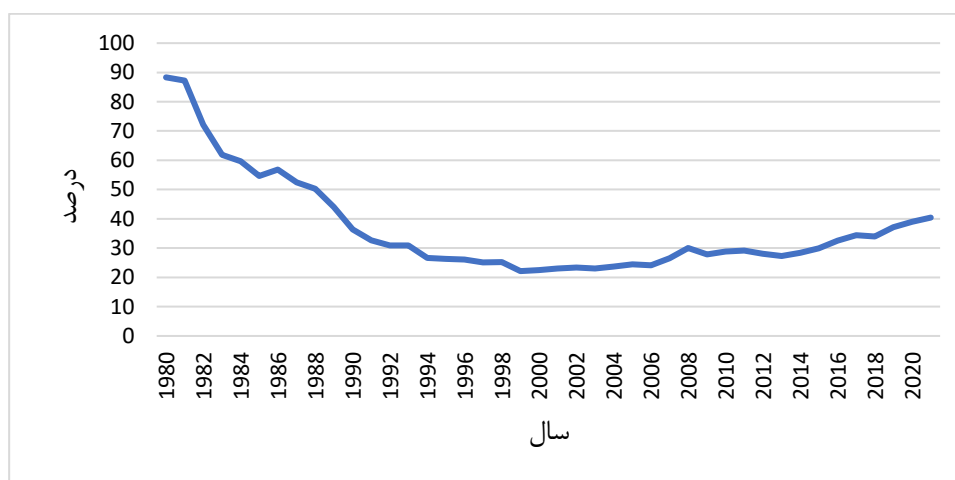
جدول ۲- متغیرهای مورد استفاده در ساخت شاخص عملکرد محیط زیست

منبع	متغیر	ابعاد
World bank	Carbon dioxide (CO ₂) emissions (total) excluding LULUCF (Mt CO ₂ e)	تغییرات اقلیم
World bank	Methane (CH ₄) emissions (total) excluding LULUCF (Mt CO ₂ e)	
World bank	Nitrous oxide (N ₂ O) emissions (total) excluding LULUCF (Mt CO ₂ e)	
our world in data	Per capita greenhouse gas emissions in CO _x , equivalents	
Emissions Database for Global Atmospheric Research	black carbon	
World bank	pm 2.5	سلامت محیطی
World bank	People using safely managed drinking water services (% of population)	
Emissions Database for Global Atmospheric Research	sulfur dioxide	
Emissions Database for Global Atmospheric Research	carbon monoxide	
Emissions Database for Global Atmospheric Research	Non-methane volatile organic compound	
our world in data	Deaths from air pollution	
our world in data	unsafe sanitation(number of deaths attributed to unsafe sanitation per 100,000 people)	
World bank	Forest area (% of land area)	سرزندگی اکوسیستم
World bank	Level of water stress: freshwater withdrawal as a proportion of available freshwater resources	
World bank	Water productivity	



our world in data	Red List Index(extinction risk for groups of species)	
our world in data	Pesticides Use(tonnes of pesticide consumption per year)	

پس از نرمال سازی داده ها با استفاده از روش حداقل-حداکثر (Min-Max) ، شاخص ترکیبی عملکرد محیط زیست ایران بر اساس میانگین حسابی مقادیر نرمال شده متغیرها محاسبه و برآورد گردید.



شکل ۱- شاخص عملکرد محیط زیست (منبع: یافته های تحقیق)

۴. شاخص تنوع انرژی:

تنوع بخشی به سبد انرژی به فرآیند وارد کردن منابع مختلف انرژی در ترکیب تولید و افزایش سهم تولید از هر یک از این منابع اشاره دارد، به گونه ای که وابستگی انحصاری به یک منبع واحد کاهش یابد و ساختار تأمین انرژی از تمرکز بر یک منبع خاص دور شود [13]. در مطالعات اقتصاد انرژی و بوم شناسی، شاخص های رایج برای اندازه گیری تمرکز عمدتاً شامل شاخص هرفیندال-هیرشمن (HHI^1) و شاخص آنتروپی (EI^2) هستند. در بوم شناسی، شاخص های سیمپسون و شانون-وینر^۳ نیز برای ارزیابی تنوع و تمرکز گونه ها کاربرد گسترده ای دارند. باین حال، در حوزه امنیت انرژی و تحلیل های مرتبط با اقتصاد انرژی، شاخص هرفیندال-هیرشمن به دلیل قابلیت سنجش دقیق سهم هر منبع و میزان تمرکز سبد انرژی، بیشترین استفاده را دارد [14].

شاخص معکوس هرفیندال-هیرشمن یکی از رایج ترین معیارهای سنجش تنوع انرژی در ادبیات اقتصاد انرژی است این شاخص برای ارزیابی میزان پراکندگی منابع انرژی به کار می رود که به صورت زیر تعریف می گردد [15].

$$ENDIV = \frac{1}{HHI} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N s_i^2} \quad (3)$$

¹ - Herfindahl-Hirschman Index

² - Entropy Index

³ - Shannon-Wiener Index



S_i سهم هر منبع از کل مصرف انرژی در یک سال است. این شاخص عددی بین یک و بی نهایت است و هرچه این شاخص به یک نزدیک تر باشد نشان دهنده تنوع کمتر در مصرف انرژی و هر چه این شاخص به بی نهایت نزدیک تر باشد نشان دهنده تنوع بیشتر در مصرف انرژی است.

۵. مراحل برآورد مدل:

به منظور جلوگیری از بروز رگرسیون کاذب و اطمینان از اعتبار نتایج برآورد، مانایی متغیرهای پژوهش با استفاده از آزمون های ریشه واحد مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج آزمون مانایی گزارش شده در جدول (۳) بیانگر وضعیت مانایی متغیرهای پژوهش در سطوح مختلف تفاضل گیری است. همان طور که در جدول (۳) مشاهده می شود، نتایج آزمون های دیکی-فولر تعمیم یافته (ADF^1) نشان می دهد که هیچ یک از متغیرهای پژوهش مانا از مرتبه دوم $I(2)$ نیستند و متغیرها حداکثر از مرتبه یک $I(1)$ می باشند، شرایط لازم برای به کارگیری روش خود رگرسیونی با وقفه های توزیعی (ARDL) فراهم است.

جدول ۳- نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) (منبع: یافته های تحقیق)

وضعیت	تفاضل مرتبه اول		سطح		متغیر
	سطح معناداری	آماره	سطح معناداری	آماره	
$I(0)$			۰/۰۲۵۸	-۳/۲۲۵۱	EPI
$I(1)$	۰/۰۰۰۱	-۵/۸۱۸۲	۰/۳۷۰	-۲/۴۰۶۵	FDI
$I(1)$	۰/۰۰۰۲	-۵/۶۷۱۰	۰/۲۲۱	-۲/۷۵	GDP
$I(1)$	۰/۰۰۰۲	-۵/۶۵۸۵	۰/۲۳۱۱	-۲/۷۲۹۰	GDP2
$I(1)$	۰/۰۰۰۶	-۵/۲۹۵۰	۰/۸۸	-۱/۲۷۵۹	ENDIV
$I(1)$	۰/۰۰۲	-۴/۷۱۳۸	۰/۰۷۳	-۳/۳۴۵۳	TRADEOPP

شکل (۲) خروجی نرم افزار ایویوز را نشان داده می دهد، همان طور که مشاهده می شود برای انتخاب مدل با وقفه بهینه از معیار اطلاعاتی شوارتز استفاده شده است که در بین تمامی مدل ها، مدل $ARDL(1,0,2,0,0)$ برآورد شده است.

¹ - Augmented Dickey-Fuller



Dependent Variable: EPI
Method: ARDL
Date: 02/13/26 Time: 19:33
Sample (adjusted): 1982 2021
Included observations: 40 after adjustments
Maximum dependent lags: 4 (Automatic selection)
Model selection method: Schwarz criterion (SIC)
Dynamic regressors (4 lags, automatic): FDI GDP TRADOPP ENDIV
Fixed regressors: DUMFDI C
Number of models evaluated: 2500
Selected Model: ARDL(1, 0, 2, 0, 0)
Note: final equation sample is larger than selection sample

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
EPI(-1)	0.771907	0.064701	11.93043	0.0000
FDI	-2.15E-11	1.09E-11	-1.971608	0.0576
GDP	0.048972	0.191493	0.255740	0.7998
GDP(-1)	0.281334	0.213876	1.315405	0.1980
GDP(-2)	-0.246573	0.148489	-1.660546	0.1069
TRADOPP	-0.152407	0.061376	-2.483151	0.0186
ENDIV	-0.496399	0.201842	-2.459343	0.0197
DUMFDI	0.145573	0.053989	2.696358	0.0112
C	-0.620945	1.600813	-0.387894	0.7007
R-squared	0.982112	Mean dependent var	3.480834	
Adjusted R-squared	0.977495	S.D. dependent var	0.319174	
S.E. of regression	0.047881	Akaike info criterion	-3.045082	
Sum squared resid	0.071071	Schwarz criterion	-2.665085	
Log likelihood	69.90165	Hannan-Quinn criter.	-2.907687	
F-statistic	212.7465	Durbin-Watson stat	2.406874	
Prob(F-statistic)	0.000000			

شکل ۲- نتایج برآورد مدل ARDL(1,0,2,0,0) (منبع: یافته‌های تحقیق)

با توجه به شکل (۳) چون مقدار آماره F آزمون هم جمعی باند مقدار $7/39$ به دست آمده که در تمامی سطوح اطمینان بالاتر از حد بحرانی بالا $I(1)$ است، بنابراین وجود فرضیه صفر آزمون مبنی بر عدم وجود رابطه بلندمدت رد می‌شود پس می‌توان گفت بین متغیرها یک رابطه بلندمدت برقرار است. نتیجه مدل بلندمدت نشان می‌دهد که به‌غیر از تولید ناخالص داخلی تمامی متغیرها در فاصله اطمینان 90 درصد و 95 درصد معنادار هستند. با افزایش یک واحد سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، لگاریتم شاخص عملکرد محیط‌زیست به میزان $11-9/42E$ واحد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش یک واحد لگاریتم گشایش تجاری، لگاریتم شاخص عملکرد محیط‌زیست به میزان $0/6681$ واحد کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش یک واحد لگاریتم شاخص تنوع انرژی، لگاریتم شاخص عملکرد محیط‌زیست $2/1763$ واحد کاهش می‌یابد.



Levels Equation Case 2: Restricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FDI	-9.42E-11	5.15E-11	-1.830291	0.0768
GDP	0.367101	0.295886	1.240681	0.2240
TRADOPP	-0.668179	0.282203	-2.367727	0.0243
ENDIV	-2.176305	0.438850	-4.959110	0.0000
C	-2.722335	7.376126	-0.369074	0.7146
EC = EPI - (-0.0000*FDI + 0.3671*GDP -0.6682*TRADOPP -2.1763*ENDIV - 2.7223)				
F-Bounds Test Null Hypothesis: No levels relationship				
Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	7.393876	10%	2.2	3.09
k	4	5%	2.56	3.49
		2.5%	2.88	3.87
		1%	3.29	4.37
Finite Sample: n=40				
Actual Sample Size	40	10%	2.427	3.395
		5%	2.893	4
		1%	3.967	5.455

شکل ۳- نتایج آزمون باند نتایج مدل بلندمدت خطی (ARDL) (منبع: یافته‌های تحقیق)

در شکل (۴) مدل تصحیح خطا و ضرایب مدل کوتاه‌مدت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب تصحیح خطا از لحاظ آماری معنی‌دار و از لحاظ قدر مطلق کوچک‌تر از ۱ است که نشان می‌دهد ۲۲ درصد از انحراف از تعادل بلندمدت، در هر دوره به سمت تعادل اصلاح می‌شود. در کوتاه‌مدت وقفه مرتبه اول تولید ناخالص داخلی در فاصله اطمینان ۹۰ درصد معنادار است و ضریب این متغیر نشان می‌دهد که با افزایش یک واحد لگاریتم تولید ناخالص داخلی لگاریتم شاخص عملکرد محیط‌زیست ۰/۲۴۶۵ واحد افزایش می‌یابد.

ECM Regression Case 2: Restricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(GDP)	0.048972	0.152091	0.321994	0.7496
D(GDP(-1))	0.246573	0.124595	1.979002	0.0568
DUMFDI	0.145573	0.017324	8.402886	0.0000
CointEq(-1)*	-0.228093	0.031778	-7.177647	0.0000
R-squared	0.700063	Mean dependent var	-0.019194	
Adjusted R-squared	0.675068	S.D. dependent var	0.077947	
S.E. of regression	0.044432	Akaike info criterion	-3.295082	
Sum squared resid	0.071071	Schwarz criterion	-3.126195	
Log likelihood	69.90165	Hannan-Quinn criter.	-3.234018	
Durbin-Watson stat	2.406874			

* p-value incompatible with t-Bounds distribution.

شکل ۴- برآورد مدل کوتاه‌مدت خطی (ARDL) (منبع: یافته‌های تحقیق)

در شکل (۵) نتایج آزمون‌های خودهمبستگی بروش-گادفری، ناهمسانی واریانس بروش-پاگان-گادفری و آزمون نرمال بودن جز اخلاص را نشان می‌دهد. مطابق نتایج آزمون‌ها مدل دارای هیچ‌کدام از مشکلات نقض فروض کلاسیک نمی‌باشد.

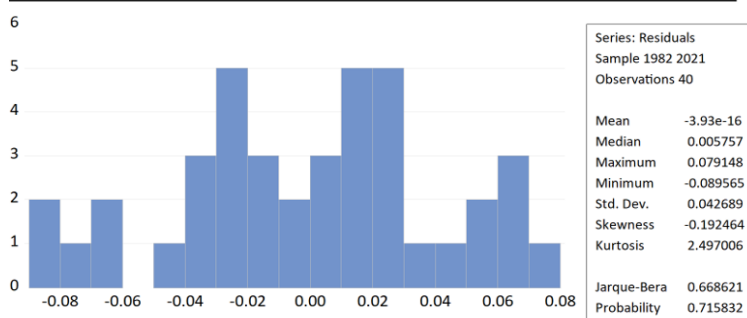


Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:
Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags

F-statistic	1.655517	Prob. F(2,29)	0.2085
Obs*R-squared	4.098951	Prob. Chi-Square(2)	0.1288

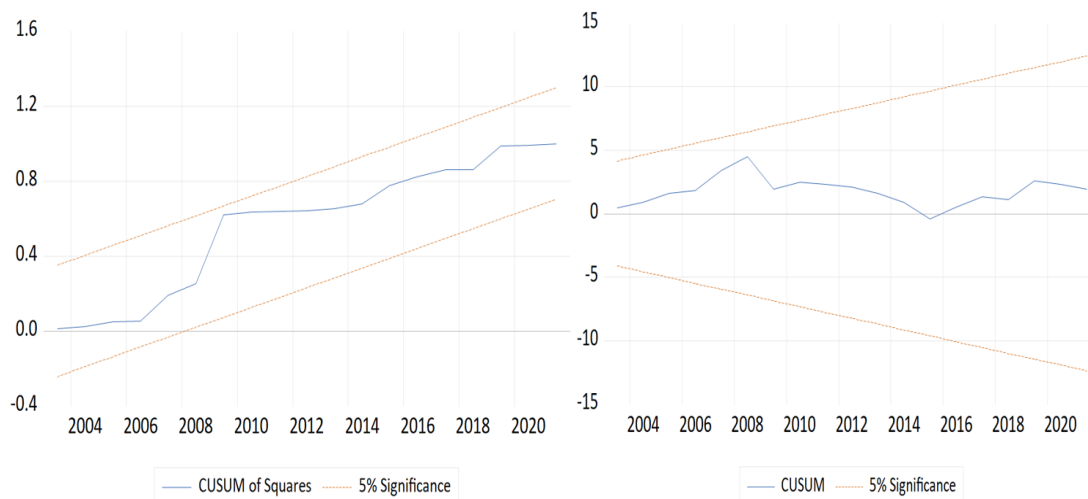
Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey
Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	0.799146	Prob. F(8,31)	0.6078
Obs*R-squared	6.838861	Prob. Chi-Square(8)	0.5541
Scaled explained SS	3.074543	Prob. Chi-Square(8)	0.9296



شکل ۵- نتایج آزمون های نقض فرض کلاسیک (منبع: یافته های تحقیق)

مطابق شکل (۶) آزمون CUSUM و CUSUM of Squares در محدوده فواصل اطمینان ۹۵ درصد قرار میگیرد، بنابراین فرضیه صفر مبنی بر پایداری ضرایب در طول زمان رد نمی شود. در نتیجه، مدل از پایداری ساختاری برخوردار است.



شکل ۶- آزمون (CUSUM) و (CUSUM of Squares) (منبع: یافته های تحقیق)

۶. نتیجه گیری:



این پژوهش باهدف تحلیل اثر تنوع مصرف انرژی (معکوس شاخص هرفیندال-هیرشمن) بر شاخص عملکرد محیط زیست ایران در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ انجام شده است. به منظور بررسی روابط کوتاه مدت و بلندمدت میان متغیرهای مورد مطالعه، از الگوی خود رگرسیون با وقفه های توزیعی (ARDL) استفاده شده است.

نتایج این مطالعه نشان می دهد که گشایش تجاری اثر منفی و معنی دار بر شاخص عملکرد محیط زیست در ایران دارد این موضوع می تواند بیان گر این امر باشد که گشایش تجاری در ایران به دلیل وابستگی بالای صادرات به منابع انرژی فسیلی و صنایع انرژی بر، موجب افزایش تولید و مصرف سوخت های فسیلی و در نتیجه تشدید آلودگی و انتشار آلاینده ها می شود. از این رو، توسعه تجارت در غیاب استانداردهای زیست محیطی سخت گیرانه می تواند اثر منفی و معناداری بر شاخص عملکرد محیط زیست داشته باشد.

سرمایه گذاری مستقیم خارجی اثر منفی بر شاخص عملکرد محیط زیست دارد به عبارتی می توان بیان کرد که سرمایه گذاری مستقیم خارجی در ایران عمدتاً به سمت بخش های انرژی بر و آلاینده هدایت شده است؛ از این رو، انتقال فناوری های کم کیفیت یا تمرکز بر صنایع استخراجی می تواند موجب افزایش آلودگی و تخریب محیط زیست شود. تولید ناخالص داخلی در بلندمدت اثر معناداری ندارد اما در کوتاه مدت با وقفه موجب افزایش شاخص عملکرد محیط زیست می شود. نتایج همچنین نشان می دهد که تنوع انرژی در ایران به کاهش شاخص عملکرد محیط زیست منجر شده است. این یافته می تواند ناشی از آن باشد که با توجه به سهم بالای سوخت های فسیلی در سبد انرژی کشور، افزایش تنوع عمدتاً از محل جابه جایی درون گروهی بین سوخت های فسیلی—به ویژه افزایش سهم گاز طبیعی نسبت به نفت—صورت گرفته و نه از طریق توسعه گسترده انرژی های تجدید پذیر؛ بنابراین، این نوع تنوع لزوماً به بهبود کیفیت محیط زیست منجر نشده است. با توجه به نتایج تحقیق، پیشنهادهای زیر ارائه می گردد:

۱. همسوسازی سیاست های گشایش تجاری با مقررات و استانداردهای زیست محیطی سخت گیرانه و هدایت ساختار صادرات به سمت کالاهای و فناوری های کم کربن.
۲. مدیریت هدفمند سرمایه گذاری مستقیم خارجی با تأکید بر جذب فناوری های پاک، ارتقای بهره وری انرژی و توسعه صنایع سبز به جای فعالیت های آلاینده.
۳. بازطراحی سیاست تنوع بخشی انرژی با تمرکز بر توسعه انرژی های تجدید پذیر و کاهش سهم سوخت های فسیلی در سبد انرژی کشور.

مراجع

- [1] U. Al-mulali, C. Weng-wai, L. Sheau-ting, and A. Hakim, "Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation," *Ecol. Indic.*, vol. 48, pp. 315–323, 2014, doi: 10.1016/j.ecolind.2014.08.029.
- [2] M. Ansari, M. Hassan, M. Farzadkia, and E. Ahmadi, "Dynamic assessment of economic and environmental performance index and generation , composition , environmental and human health risks of hospital solid waste in developing countries ; A state of the art of review," *Environ. Int.*, vol. 132, no. April, p. 105073, 2019, doi: 10.1016/j.envint.2019.105073.



- [3] M. Kelij, M. T. Yazdi, and M. Taghvaei, "Iranian journal of educational Sociology," vol. 3, no. 2, pp. 81–95, 2020.
- [4] H. Acaroğlu, H. Melissa, K. Fausto, and P. García, "Testing the environmental Kuznets curve hypothesis in terms of ecological footprint and - CO 2 emissions through energy diversification for Turkey," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 30, no. 22, pp. 63289–63304, 2023, doi: 10.1007/s11356-023-26278-w.
- [5] G. Gozgor and S. Reddy, "Does energy diversification cause an economic slowdown ? Evidence from a newly constructed energy diversification index," *Energy Econ.*, vol. 109, no. March, p. 105970, 2022, doi: 10.1016/j.eneco.2022.105970.
- [6] مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی (۱۴۰۳)، ارزیابی جایگاه محیط زیستی ایران در شاخص های بین المللی
- [7] وزارت نیرو (۱۴۰۱)، ترازنامه انرژی کشور
- [8] R. M. Adeel-Farooq, J. O. Raji, and G. M. Qamri, "Does financial development influence the overall natural environment? An environmental performance index (EPI) based insight from the ASEAN countries," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 25, no. 6, pp. 5123–5139, 2023, doi: 10.1007/s10668-022-02258-x.
- [9] G. Altinay, "Short-run and long-run elasticities of import demand for crude oil in Turkey," *Energy Policy*, vol. 35, no. 11, pp. 5829–5835, 2007, doi: 10.1016/j.enpol.2007.07.015.
- [10] Y. Shin and R. J. Smith, "BOUNDS TESTING APPROACHES TO THE ANALYSIS," vol. 326, no. February, pp. 289–326, 2001, doi: 10.1002/jae.616.
- [11] Q. Wang and Y. Geng, "Revisited Globalization ' s Impact on Total Environment : Evidence Based on Overall Environmental Performance Index," 2021.
- [12] et al. (2024). Block, S., Emerson, J. W., Esty, D. C., de Sherbinin, A., Wendling, Z. A., "Environmental Performance Inde," New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. epi.yale.edu.
- [13] M. M. Akrofi, "An analysis of energy diversification and transition trends in Africa," *Int. J. Energy Water Resour.*, no. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s42108-020-00101-5.
- [14] F. Triguero-ruiz, A. Avila-cano, and F. Trujillo, "Measuring the diversification of



energy sources : The energy mix,” *Renew. Energy*, vol. 216, no. March, p. 119096, 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.119096.

- [15] B. Nibedita and M. Irfan, “Energy mix diversification in emerging economies: An econometric analysis of determinants,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 189, no. September 2023, 2024, doi: 10.1016/j.rser.2023.114043.