-- Iranian Energy Economics------
Fall 2021, 39(10), 99-125
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.67727.1911

ATU PRESS

Original Research
Received: 27/Apr/2022
Accepted: 17/July/2022
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

# The Impact of Economic Complexity Index on Greenhouse Gas Emissions in Selected Oil Exporting Countries: A Panel Gentle Transmission Regression (PSTR) Model Approach

**Narges Khaki** — Ph.D. Student in Oil and Gas Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

**Morteza Khorsandi** * — Associate Professor, Department of Energy Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

**Teymour Mohammadi** — Professor, Department of Theoretical Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

**Ali Faridzad** — Associate Professor, Department of Energy Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

**Zahra Azizi** — Assistant Professor, Department of Economics, Alzahra University, Tehran, Iran

## Abstract

Reducing greenhouse gas emissions is one of the most important goals of the world's energy and environmental policies. Even though fossil fuels are one of the most important factors in creating pollution, their role in the structure of production and economic growth cannot be ignored. Nowadays, to measure economic growth, economists do not consider only the amount of production of goods and services, but also consider the structure of production of goods and services in terms of technical knowledge (technology level) used in them. Accordingly, in recent decades, the index of economic complexity has been proposed, and by calculating it the possibility of knowing the development of countries' levels is provided. The purpose of this study is to investigate the effect of the economic complexity index on greenhouse gas emissions in some oil exporting countries in the period from 1995 to 2019 using the panel smooth transition regression (PSTR) model. The results of the linearity test confirm the existence of a nonlinear relationship between the considered variables. Also, considering a transfer function with a threshold parameter that expresses a two-regime model is sufficient to specify the nonlinear relationship between the model variables. The slope parameter (transition speed) equals 3/1964. The test results indicate that in both regimes (first and second), the economic complexity index has a negative effect on the amount of greenhouse gas emissions.

**Keywords:** Economic Complexity Index, Greenhouse Gases, Panel smooth transition regression models, Energy Consumption Structure

**JEL Classification:** Q56 , Q53 , Q43 , C23

* Corresponding Author: Mkhorsandi57@yahoo.com
How to Cite: Khaki, N., Khorsandi, M., Mohammadi, T., Faridzad, A., Azizi, Z. (2021). The Impact of Economic Complexity Index on Greenhouse Gas Emissions in Selected Oil Exporting Countries: A Panel Gentle Transmission Regression (PSTR) Model Approach. Iranian Energy Economics, 39 (10), 99-125.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۰، شماره ۳۹، تابستان ۱۴۰۰، ۹۹-۱۲۵
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.67727.1911

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۶
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

# تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای منتخب صادرکننده نفت: رویکرد مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR)[1]

**نرگس خاکی** | دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز ، دانشگاه علامه طباطبائی ، تهران، ایران
**مرتضی خورسندی** * | دانشیار گروه اقتصاد انرژی، دانشگاه علامه طباطبائی ، تهران، ایران
**تیمور محمدی** | استاد گروه اقتصاد نظری، دانشگاه علامه طباطبائی ، تهران، ایران
**علی فریدزاد** | دانشیار گروه اقتصاد انرژی، دانشگاه علامه طباطبائی ، تهران، ایران
**زهرا عزیزی** | استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران

## چکیده

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از اهداف مهم سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی جهان است. به رغم اینکه انرژی‌های فسیلی از عوامل مهم ایجاد آلودگی به شمار می‌روند لیکن نمی‌توان نقش آنها را در ساختار تولید و رشد اقتصادی نادیده گرفت. امروزه اقتصاددانان برای سنجش رشد اقتصادی، صرفاً میزان تولید کالاها و خدمات را مد نظر قرار نمی‌دهند بلکه ساختار تولید کالاها و خدمات به لحاظ دانش فنی (سطح فناوری) به کاررفته در آنها را نیز در نظر می‌گیرند. بر این اساس، شاخص پیچیدگی اقتصادی در دهه‌های اخیر مطرح شده است که با محاسبه آن امکان آگاهی از سطح توسعه‌یافتگی کشورها فراهم می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در برخی از کشورهای صادرکننده نفت در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) است. نتایج آزمون خطی بودن، وجود رابطه غیرخطی بین متغیرها را تأیید می‌کند. همچنین، در نظر گرفتن یک تابع انتقال با یک پارامتر آستانه‌ای که بیانگر یک مدل دو رژیمی است برای تصریح رابطهٔ غیرخطی بین متغیرهای الگو کافی می‌باشد. پارامتر شیب (سرعت انتقال) برابر ۳/۱۹۶۴ است. نتایج آزمون‌ها حاکی از آن است که در هر دو رژیم (اول و دوم) شاخص پیچیدگی اقتصادی تأثیر منفی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص پیچیدگی اقتصادی، گازهای گلخانه‌ای، رگرسیون انتقال ملایم پانلی[2]، ساختار مصرف انرژی

**طبقه‌بندی JEL:** C23 , Q43 , Q53 , Q56

---

۱. مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته اقتصاد نفت و گاز دانشگاه علامه طباطبایی است.

* نویسنده مسئول: Mkhorsandi57@yahoo.com

2. Panel smooth transition regression (PSTR)

## ۱. مقدمه

گازهای گلخانه‌ای[1]، گازهای اتمسفری هستند که سطح زمین، آب و لایه‌های هوا را گرم می‌کنند. یک لایه از این گازها برای حفظ دمای زمین و حمایت از زندگی گیاهان بر سطح سیاره لازم است، اما افزایش بیش از حد آن، گرمایی را که به فضا بازتاب می‌شود را کاهش می‌دهد. بیشترین گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن هستند که برخی از این گازها توسط طبیعت هم تولید می‌شوند، اما گازهای گلخانه‌ای که توسط انسان تولید می‌شوند نسبت به دوران پیش از صنعتی شدن برخی کشورها بسیار افزایش یافته است. اکنون بیش از زمان دیگری اثرات این متغیرها بر تغییر اقلیم و تخریب روزافزون محیط زیست پدیدار شده است. این افزایش منجر به غلظت اتمسفر توسط دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن شده است که حداقل در ۸۰۰۰۰۰ سال گذشته بی‌سابقه بوده است. اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه با سایر محرک‌های انسانی، در سراسر سیستم آب و هوایی و اقیانوسی شناسایی شده است و به احتمال زیاد علت اصلی گرمایش زمین از اواسط قرن بیستم انتشار این گازها است به‌گونه‌ای‌که میانگین دمای جهانی ۰/۸۵ درجه سانتیگراد از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ افزایش یافته است. از عومل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای، رشد قابل توجه اقتصادی و افزایش جمعیت است که موجب افزایش تقاضای انرژی به‌ویژه تقاضای انرژی‌های فسیلی (تجدیدناپذیر) و تخریب محیط زیست می‌شود و این مسئله تهدید جدی برای دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود.[2] در سال ۲۰۱۹، مصرف انرژی اولیه در سراسر جهان به میزان ۱/۳ درصد افزایش یافت و پیش‌بینی می‌شود که مصرف انرژی اولیه تا سال ۲۰۲۵ در اقتصادهای نوظهور به میانگین ۳/۲ درصد در سال برسد.[3]

از سوی دیگر، در بیشتر کشورهای جهان، دستیابی به رشد اقتصادی پایدار به عنوان یکی از اهداف مهم توسعه و برنامه‌های اقتصادی، اجتماعی آن‌ها تعیین شده است و بدین‌منظور کشورها به تدریج اقتصاد خود را از اقتصاد کشاورزی مبتنی بر تولید با آلودگی بیشتر به سمت اقتصاد مبتنی بر دانش (دانش‌محور) تغییر داده‌اند (میلی و همکاران[4]، ۲۰۲۰). بنابراین در سال‌های اخیر، حرکت به سمت محصولات شتاب گرفته که بر پایه دانش و

1. Green House gases (GHG)
2. IPCC.2014
3. BP.,2020
4. Mealy et al.

فناوری تولید می‌شوند، لذا دانش به‌کار گرفته شده در تولید کالاها و خدمات به عنوان یک عامل تعیین‌کننده جدید و مؤثر در رشد و توسعه اقتصادی مورد توجه تولیدکنندگان و اقتصاددانان قرار گرفته است.

هیدالگو[1] و هاسمن (۲۰۰۹) به منظور اندازه‌گیری دانش، مهارت، تنوع و فراگیر بودن محصول، شاخصی را معرفی کردند که به آن شاخص پیچیدگی اقتصادی[2] می‌گویند. آن‌ها این شاخص را با استفاده از اطلاعات تجارت خارجی کشورها طراحی کردند که نشان‌دهندهٔ سطح توسعه‌یافتگی و تجمیع ظرفیت‌های اقتصادی یک کشور است. این شاخص، کشورها را براساس تجمیع دانش و ظرفیت‌ها تکنولوژیک، به خوبی تفکیک می‌کند. به عبارت دیگر پیچیدگی اقتصادی تمامی ظرفیت‌ها، سطح فناوری، نیروی کار ماهر و دانش لازم برای تولید را در خود جای داده و ابعاد وسیع‌تری از بهبود فناوری و دانش فنی را نشان می‌دهد. برای مثال، سنگاپور و پاکستان، محصولات مشابهی در بخش صادرات دارند اما تفاوت بسیاری در درآمد ناخالص داخلی دارند که به اعتقاد هیدالگو و هاسمن این تفاوت، به دلیل استفاده از فناوری بالاتر، بهره‌وری و ظرفیت‌های موجود در سنگاپور نسبت به پاکستان است که بیانگر شاخص پیچیدگی اقتصادی بالاتر در سنگاپور است.

بنابراین شاخص پیچیدگی اقتصادی، معیار مناسبی برای بیان میزان توسعه‌یافتگی و پیشرفت اقتصادی کشورها است که نشان‌دهنده تغییرات ساختاری و فناورانه کشورها است. علاوه براین پیچیدگی اقتصادی می‌تواند تغییرات منطقه‌ای و بین‌المللی در رشد اقتصادی و انتشارات گلخانه‌ای را پیش‌بینی و توضیح دهد (هیدالگو، ۲۰۲۱). همچنین شاخص پیچیدگی اقتصادی برای هر کشوری می‌تواند نقشه و وضعیت فرصت‌ها و بسترهای مناسب موجود برای سرمایه‌گذاری را نشان دهد. این شاخص می‌تواند به بنگاه‌هایی کمک کند که به دنبال شناسایی موقعیت مناسب برای تولید محصولات متنوع یا شناسایی ظرفیت‌های تولیدی خاص در کشورها هستند. اهمیت پیچیدگی اقتصادی تنها به توانایی کاربردی کردن دانش جمع شده جامعه در فرآیند تولید، مربوط نمی‌شود و مواردی مانند: درجهٔ وابستگی یک اقتصاد، می‌تواند اهمیت این شاخص را بیشتر نمایان کند. زیرا، هرچه سبد صادراتی کشوری متنوع‌تر و البته دربردارنده کالاهای پیچیده‌تری[3] باشد. در این صورت،

1. Hidalgo
2. (Economic Complexity Index) ECI
۳. منظور از کالاهای پیچیده‌تر این است که این کالاها دانش بشری بیشتری را شامل می‌شود (شاهمرادی، ۱۳۹۷)

آن کشور از قدرت بیشتری در بازارهای بین‌المللی برخوردار خواهد بود و در چرخه‌های تجاری نیز می‌تواند عکس‌العمل بهتری را نشان دهد. برعکس، چنانچه سبد صادراتی کشوری محدود باشد و کالاهای موجود در آن نیز در همه‌جا قابلیت تولید داشته باشند، آن کشور در مبادلات تجاری شکننده‌تر و از مقاومت اقتصادی کمتری برخوردار است (شاهمرادی، ۱۳۹۷). حتی به عقیده برخی محققان از جمله نیاگو[1] و تئودورو[2] (۲۰۲۰) مصرف انرژی و تخریب زیست محیطی نیز تحت تأثیر پیچیدگی و تنوع محصول قرار دارد. در کنفرانس بیست و یکم آب‌وهوای پاریس[3]، مسئله کاهش تخریب محیط زیست مورد توجه جهانیان قرارگرفت و استدلال شد که کشورها می‌توانند از طریق تغییرات ساختاری در تولید همراه با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به اقتصاد کم‌کربن و رشد سبز دست یابند. بدین ترتیب دستیابی به رشد سبز و پایدار امکانپذیر می‌شود.

بنابراین بررسی عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ازجمله میزان مصرف انرژی، شاخص پیچیدگی اقتصادی، میزان جمعیت کشورها به‌ویژه جمعیت شهری و درجه باز بودن اقتصاد از اهمیت بسیاری برخوردار بوده و می‌تواند به سیاستگذاران اقتصادی و برنامه‌ریزان در مورد استفاده از انرژی و نوع آن کمک نماید، به همین دلیل، بسیاری از محققان اقتصادی در قرن بیست و یکم به این نوع موضوعات توجه کرده‌اند.

به منظور پوشش هدف این پژوهش مراحل زیر ارئه شده است. در بخش دوم پیشینه پژوهش و در بخش سوم روش تحقیق مطرح شده و در بخش چهارم یافته‌های تحقیق بیان شده است. در انتها و در بخش پنجم نتیجه‌گیری ارائه شده است.

## ۲. پیشینه پژوهش

در دو دهه اخیر، افزایش دمای زمین، تغییرات آب‌وهوایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، تأثیرات مخرب بسیاری بر محیط زیست داشته‌اند. درواقع، متغیرهای بسیاری در این پدیده مؤثر هستند اما در سال‌های اخیر، متغیر شاخص پیچیدگی اقتصادی و تأثیر آن بر انتشار گازهای آلوده‌کننده (به‌ویژه گاز دی‌اکسیدکربن)توجه محققان را جلب کرده است. شاخص پیچیدگی اقتصادی براساس میزان دانش شکل‌گرفته و توسعه‌یافتگی در هر کشور

1. Neagu
2. Teodoru
3. COP21

اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به تعاریفی که توسط هیدالگو (۲۰۲۱) در مورد شاخص پیچیدگی اقتصادی ارائه شده، پیچیدگی اقتصادی می‌تواند بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز اثرگذار باشد.

اقتصادهای پیچیده، اقتصادهایی هستند که می‌توانند مقادیر بسیار فراوانی از دانش مربوط را در بین شبکه‌های بزرگ مردمی برای تولید محصولات متنوع دانش به هم وصل کنند. در مقابل، اقتصادهای ساده‌تر، بخشی کوچک از دانش مولد را در اختیار دارند و محصولات کمتر و ساده‌تری را تولید می‌کنند که نیازمند شبکه‌هایی برای تعامل و تبادل هستند. افزایش پیچیدگی اقتصادی برای یک جامعه ضروری است، زیرا می‌تواند مقدار بیشتری از دانش مولد را در اختیار بگیرد و از آن استفاده کند. به‌علاوه می‌توان از طریق ترکیبی از محصولاتی که یک کشور قادر به تولید آن‌هاست اقدام به اندازه‌گیری آن دانش مولد کرد (شاهمرادی، ۱۳۹۷).

به لحاظ تجربی، مطالعاتی درخصوص تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی به همراه سایر متغیرها مانند مصرف انرژی، درآمد، جمعیت و ... بر میزان انتشار آلودگی‌ها از جمله دی‌اکسیدکربن و گازهای دیگر انجام شده است. ازجمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات کان و گوزگور[1] (۲۰۱۷)، دوگان و همکاران[2] (۲۰۲۱)، چو[3] (۲۰۲۰)، احمد و همکاران[4] (۲۰۲۱) و پاتا[5] (۲۰۲۱) اشاره کرد. در بیشتر این مطالعات تأثیر متغیرها بر انتشار گازی دی‌اکسیدکربن (اصلی‌ترین گاز تشکیل‌دهنده گازهای گلخانه‌ای) در قالب فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس بررسی شده است.

شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان معیار تولید نوآورانه، بیانگر ظرفیت‌های متناسب با ساختار تولید یک کشور در جهت ایجاد نوآوری و همچنین توانایی استفاده از این نوآوری‌ها در تولید است. تنوع و فراگیر بودن محصولات دو معیار مهم در محاسبه شاخص پیچیدگی اقتصادی است. منظور از تنوع محصولات، تعداد محصولات متمایزی است که یک کشور تولید می‌کند. تنوع بیشتر، نشان‌دهندهٔ دانش جمع‌شده و توانایی استفاده از تاکتیک‌ها و نوآوری‌های صورت‌گرفته در ساختار تولید یک کشور است.

1. Can and Gozgor
2. Dogan et al.
3. Chu
4. Ahmad et al.
5. Pata

فراگیر بودن محصولات، تعداد کشورهایی را نشان می‌دهدکه قادر به تولید آن محصول مشابه هستند. محصولاتی که نیازمند سطح بالای دانش هستند، تنها درکشورهایی تولید می‌شوند که فناوری و دانش تولید آن وجود دارد؛ بنابراین هرچه کالای تولیدشده، دارای پیچیدگی بیشتری باشد، از درجهٔ فراگیری کمتری برخوردار است. برای مثال، فناوری تصویربرداری پزشکی، محصولی است که تنها چند کشور (آمریکا و آلمان) صادر می‌شود، نسبت به محصولات چوبی که توسط بسیاری از کشورها صادر می‌شود، فراگیری کمتری دارد. در همین حال، آلمان و آمریکا محصولات متنوعی را صادر می‌کنند. در محاسبه پیچیدگی اقتصادی با استفاده از دو مفهوم تنوع و فراگیر بودن[1]، توانایی یک کشور در بازار تولید محصولات رقابت‌پذیر از طریق نوآوری‌های سازمانی بررسی می‌شود. درحالی‌که، معیارهای دیگر اندازه‌گیری ظرفیت‌های نوآورانه یک اقتصاد ازجمله تعداد ثبت اختراعات[2] و مخارج تحقیق وتوسعه، معیارهایی برای نشان دادن حقوق قانونی ثبت اختراع و نحوهٔ تخصیص منابع شرکت‌ها هستند، شاخص پیچیدگی اقتصادی، نشان‌دهندهٔ ظرفیت‌های موجود در ساختار تولید یک کشور است (هاسمن و همکاران[3]، ۲۰۱۳ به نقل از سویت و ماجیو[4]، ۲۰۱۵). به همین دلیل، گروهی از مطالعات در سال‌های اخیر از شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان معیار پیشرفت فناوری استفاده شده است (کن و گوزگور، ۲۰۱۷ و ناگو و تئودور[5]، ۲۰۱۹).

بسیاری از محققان بر این باورند که نوآوری‌های فناورانه و استفاده از عوامل تولید با فناوری بالاتر، کارایی انرژی را بهبود بخشد. همچنین یک ساختار پیچیده‌تر تولید، کشور را قادر می‌سازد که در فعالیت‌های تولیدی خود، بهره‌وری بالاتری را تجربه کند. درنتیجه، می‌تواند مصرف انرژی را برای مقدار مشخصی از تولید کاهش داده و انتشار آلایندگی را کمتر کند (احمد و ارشدخان[6]، ۲۰۰۹).

از سوی دیگر، بهبود فناوری، سبب افزایش تولید و رشد اقتصادی شده و در کنار این رشد، میزان استفاده از انرژی‌های فسیلی شدت می‌یابد و این امر منجر به انتشار بیش از حد

1. Ubiquity
2. Patents
3. Hausmann et al.
4. Sweet & Maggio
5. Neagu & Teodoru
6. Ahmed & Arshad

گازهای گلخانه‌ای در جوّ زمین می‌شود. تلاش برای افزودن محصولات جدید به سبد تولیدی نیز سبب تغییر ترکیب تولید و تغییر در انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود. برای مثال، تغییر تولید از محصولات سنتی اولیه به محصولات صنعتی، می‌تواند به افزایش انتشار آلایندگی منجر شود (گوزگور و کن، ۲۰۱۷).

در این مطالعه، اثرات متغیرهای شاخص پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی، جمعیت شهری و درجهٔ باز بودن اقتصاد بر انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از الگوی رگرسیون انتقال ملایم تأثیر آستانه‌ای بررسی می‌شود. الگوی رگرسیون انتقال ملایم مبتنی بر وجود روابط غیرخطی بین متغیرها است و از آنجایی‌که الگوی تقاضای انرژی می‌تواند براساس تحقیقات انجام‌شده در سال‌های اخیر از یک فرآیند غیرخطی تبعیت کند (بالک[1] و فومبی، ۱۹۹۷؛ گاتلی و هانگینتون[2]، ۲۰۰۲؛ دارگی و همکاران[3]، ۲۰۰۷؛ هو و لین[4]، ۲۰۰۸ و امی و همکاران[5]، ۲۰۱۴) پس در مورد متغیر مصرف انرژی و تفسیر روابط آن با سایر متغیرها نیز می‌توان از الگوی غیرخطی استفاده کرد. همچنین درخصوص تأثیر غیرخطی متغیر پیچیدگی اقتصادی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن هم مطالعات کمی صورت گرفته است که می‌توان به مطالعه چو (۲۰۲۰) اشاره کرد.

لازم به ذکر است استفاده از الگوهای خطی متداول درخصوص متغیرهایی که دارای روابط غیرخطی هستند، می‌تواند نتایج مدل را دچار خطا کند. در این مقاله با استفاده از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم، تأثیرآستانه‌ای پیچیدگی اقتصادی، به‌عنوان یک شاخص مناسب منعکس‌کننده سطح دانش و فناوری، بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی می‌شود.

مقاله حاضر از دو منظر دارای نوآوری است:

اول: برای اولین‌بار رابطه بین پیچیدگی اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مورد کشورهای صادرکننده نفت بررسی می‌شود که در آن از متغیر شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان متغیر آستانه‌ای استفاده شده است. دوم: برای برآورد مدل از الگوی رگرسیون انتقال ملایم، یکی از برجسته‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین الگوهای تغییر وضعیت در

1. Balke and Fomby
2. Gately and Huntington
3. Dargay et al.
4. Hu and Lin
5. Omay et al.

اقتصادسنجی، درخصوص داده‌های پانلی متغیرها استفاده شده است. مطالعات بسیاری در زمینه تأثیر متغیرهایی مانند: مصرف انرژی، رشد اقتصادی، افزایش جمعیت شهرنشین و ... بر انتشار آلودگی انجام گرفته است اما در سال‌های اخیر توجه محققان به تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر سایر متغیرهای اقتصادی ازجمله انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و در برخی موارد بر انتشار گازهای گلخانه‌ای جلب شده است. البته در مطالعات داخلی این روند به تازگی شروع شده است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود.

**جدول ۱. خلاصه برخی مطالعات در مورد تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای**

| نویسنده | نمونه | روش | نتایج پژوهش |
|---|---|---|---|
| دوگان وهمکاران[1] (۲۰۲۱) | ۲۸ کشور عضو OECD | رگرسیون پانلی | نتایج مطالعه نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی و انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و مشکلات تخریب محیط زیست در کشورهای OECD مؤثر می‌باشند. |
| رومرو و گرامکو (۲۰۲۱)[2] | داده‌های ٦٧ کشور | رگرسیون پانلی | نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی به کاهش شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند؛ زیرا تولید کالاهای پیچیده به دلیل استفاده از انواع فناوری‌های پیشرفته باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود به گونه‌ای که افزایش ۰/۱ در شاخص پیچیدگی اقتصادی باعث کاهش ۲ درصدی در انتشار دی‌اکسیدکربن در دوره بعدی می‌شود. |
| ناگو[3] (۲۰۱۹) | ۲۵ کشور از اتحادیه اروپا | رگرسیون پانلی | نتایج بیانگر این است که در مرحله اولیه یعنی زمانی که کشورها اقدام به تولید محصولات پیچیده‌تر به لحاظ فناوری و دانش می‌کنند، آلودگی افزایش می‌یابد و پس از یک نقطه عطف، افزایش پیچیدگی اقتصادی باعث کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌شود. آزمون هم‌بستگی حاکی از رابطه طولانی‌مدت بین پیچیدگی اقتصادی، شدت انرژی و انتشار کربن است. همچنین مشخص شد که افزایش ۱۰ درصد شدت انرژی منجر به افزایش ۳/۹٪ در تولید گازهای گلخانه‌ای CO2 می‌شود. |

1. Dogan et al.
2. Romero and Gramkow
3. Neagu

| نویسنده | نمونه | روش | نتایج پژوهش |
|---|---|---|---|
| ناگو (۲۰۱۹) | برخی از کشورهای عضو اتحادیه اروپا | رگرسیون پانلی | در دو زیرمجموعه، رابطهٔ بلندمدت بین پیچیدگی اقتصادی، ساختار مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی شده است. (الف) اقتصادهای اروپایی با پیچیدگی اقتصادی بالاتر و (ب) اقتصادهای اروپایی با سطح پیچیدگی اقتصادی پایین‌تر. یافته‌های تجربی بیانگر وجود رابطه تعادلی بلندمدت بین پیچیدگی اقتصادی، ساختار مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر سه سطح است. پیچیدگی اقتصادی و ساختار مصرف انرژی از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کلیه پانل‌ها دارد. |
| کان و گوزگور[1] (۲۰۱۷) | کشور فرانسه | ARDL | نتایج پژوهش نشان می‌دهد که فرضیه منحنی کوزنتس محیطی (EKC) در فرانسه معتبر است. همچنین مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن اثر مثبت دارد و پیچیدگی اقتصادی بالاتر سطح انتشار دی‌اکسیدکربن را در بلندمدت کاهش می‌دهد. |
| عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) | ۹۹ کشور | داده‌های تابلویی و روش حداقل مربعات معمولی پویا | نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی اثر منفی و معنی داری بر آلودگی محیط زیست دارد. همچنین، بهبود فناوری، دانش و مهارت در اقتصاد، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد |

نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که پیچیدگی اقتصادی اثر منفی و معنی‌داری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. در بیشتر این مطالعات، فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس نیز بررسی می‌شود که بیانگر این مفهوم است که در سطوح بالاتر توسعه، رشد اقتصادی از دو جنبه بر بهبود محیط زیست اثر می‌گذارد. از یک سو با رشد اقتصادی و افزایش درآمد سرانه کشورها، توجه و آگاهی مردم به مسائل زیست‌محیطی بیشتر شده و موجب وضع قوانین بهبود محیط زیست می‌شود (پانایوتو[2]، ۱۹۹۳) و از سوی دیگر، در این مرحله از توسعه، کشورها بر توسعه دانش بنیان تمرکز کرده و با تغییرات ساختاری و جایگزینی فناوری‌های پیشرفته با فناوری های قدیمی به کاهش آلایندگی محیط زیست کمک می‌کنند (ین و همکاران[3]، ۲۰۱۵) این نتایج تجربی بیان می‌کند که با بهبود فناوری،

1. Can and Gozgor.
2. Panayotou.
3. Yin et al.

دانش و مهارت در اقتصاد (افزایش درجهٔ پیچیدگی اقتصادی)، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد.

## ۳. روش تحقیق

با گسترش رویکرد داده‌های پانلی، این امکان حاصل شد تا ضرایب رگرسیونی در طول زمان و برای واحدهای مقطعی تغییر یابند. در صورتی که اثرات زمانی و مقطعی ناهمگن در داده‌ها، در مدل‌های رگرسیونی ساده به وسیله مدل ارائه شده توسط اثرات ثابت و یا تصادفی تعیین می‌شود.

رگرسیون آستانه‌ای پانلی[1] ارائه‌شده توسط هانسن (۱۹۹۹) به‌عنوان ابتدایی‌ترین مدل از بین مدل‌های گسترش یافته می‌باشد که در آن مشاهدات پانلی با توجه به مقادیر متغیر آستانه‌ای که کمتر یا بیشتر از مقدار آستانه‌ای تعیین شده باشند به چند رژیم همگن تقسیم می‌شوند. نکته قابل ذکر این است که در این مدل، مشاهداتی بسیار نزدیک به مقدار آستانه‌ای وجود دارند که به لحاظ اختلاف اندک، در دو گروه متفاوت قرار می‌گیرند و نحوه تأثیرگذاری آن‌ها با یک جهش شدید مواجه است (چیو و همکاران[2]، ۲۰۱۱). لذا در راستای تکمیل و رفع ایراد این مدل فوک و همکاران[3] (۲۰۰۴)، مدل رگرسیون انتقال ملایم را ارائه و گونزالز و همکاران[4] (۲۰۰۵) و کولیتاز و هارولین[5] (۲۰۰۶) در گسترش این مدل کوشیدند.

این مدل به‌عنوان فرم گسترش‌یافته مدل پانل آستانه‌ای با لحاظ نمودن تابع انتقال، شناخته شده است و در آن شیب تابع انتقال که بیانگر سرعت تعدیل است، تغییر ضرایب رگرسیونی در حرکت از یک رژیم به رژیم دیگر را تعیین می‌کند. گونزالز و همکاران (۲۰۰۵)، جهت بررسی رابطه میان متغیرهای موجود در مدل مورد مطالعه، مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی دو رژیمی با یک تابع انتقال به صورت رابطه (۱) تصریح می‌شود:

$$y_{it} = \mu_i + \acute{B}_0 X_{it} + \acute{B}_1 X_{it} G(q_{it}, \gamma, c) + u_{it} \qquad (۱)$$

i = 1, 2, …..N
t = 1, 2, …..T

1. Panel Threshold Regression.
2. Chiou, et al.
3. Fok et al.
4. Gonzalez et al.
5. Colletaz & Hurlin

در این رابطه، $y_{it}$ متغیر وابسته، $X_{it}$ برداری از متغیرهای برونزا، $\mu_i$ اثرات ثابت مقاطع و $u_{it}$ نیز جمله خطا است که به صورت $i.d.iN(0,\sigma_e^2)$ در نظر گرفته شده است. تابع انتقال $G(q_{it},\gamma,c)$ نیز بیانگر یک تابع پیوسته و کراندار بین صفر و یک است که توسط مقدار متغیر آستانه‌ای تعیین می‌شود.

i = 1, 2, …..N

t = 1, 2, …..T

به ترتیب، بیانگر مقاطع و ابعاد زمانی داده‌های ترکیبی (پانلی) است و به صورت تابع لجستیکی به صورت رابطه (۲) زیر تصریح می‌شود:

$$G(\gamma,c,s_t)=\left(1+exp\left\{-\gamma\prod_{j=1}^{m}(q_{it}-c_j)\right\}\right)^{-1} \qquad (۲)$$

$$\gamma>0$$

$$c_1\le c_2\le ؛\ldots..؛\le c_m$$

در رابطه بالا $\gamma$ پارامتر شیب و بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است و $G_{it}$ متغیر انتقال است که براساس مطالعه کولیتاز و هارولین می‌تواند از بین متغیرهای توضیحی، وقفه متغیر وابسته یا هر متغیر دیگری خارج از مدل که از حیث مبانی تئوریکی در ارتباط با مدل مورد مطالعه بوده و عامل ایجاد رابطه غیرخطی باشد، انتخاب شود. در این مطالعه، شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان متغیر انتقال انتخاب شده که این امر نیز برگرفته از مطالعات و مبانی نظری است. همچنین c یک بردار از پارامترهای حد آستانه‌ای یا مکان‌های وقوع تغییر رژیم است.

باتوجه به اینکه گونزالز و همکاران بیان کردند که تابع انتقال به طور معمول دارای یک یا دو حد آستانه‌ای (m = ۱ , m = ۲) است، ویژگی پیوسته و کراندار بودن تابع انتقال بین صفر و یک بررسی می‌شود. با فرض اینکه m = ۲ باشد یک تابع انتقال با دو رژیم حدی وجود دارد. بدین ترتیب که با میل کردن پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت، در صورتی که $q_{it}\ge c$ باشد. تابع انتقال مقداری عددی یک (G = ۱) دارد و در حالتی که $q_{it}<c$ باشد، تابع انتقال مقدار عددی صفر (G = ۰) دارد. با فرض m = ۱ در صورت میل کردن پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت با یک تابع انتقال سه رژیمی مواجه خواهیم بود که دو رژیم بیرونی آن مشابه و متفاوت از رژیم میانی است. بدین معنی که برای مقادیر بزرگتر و

کوچکتر از متغیر انتقال مقدار عددی یک داشته و در غیر این صورت مقدار عددی صفر خواهد داشت. شایان ذکر است که در صورت میل کردن پارامتر شیب یا سرعت انتقال میان رژیمی به سمت صفر، مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی به یک مدل رگرسیون خطی با اثرات ثابت تبدیل خواهد شد. بنابراین تابع انتقال مطابق رابطه زیر خواهد بود:

$$G(\gamma, C, q_{it}) = \begin{cases} 1 & \text{if } q_{it} \geq c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۳)$$

در نهایت، شکل تعمیم‌یافته مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی با بیش از یک تابع انتقال نیز به صورت رابطه (۴) زیر تصریح می‌شود:

$$y_{it} = \mu_i + \acute{B}_0 X_{it} + \sum_{j=1}^{r} [\acute{B}_j X_{it}]\, G_j(q_{it}^j, \gamma_j, c_j) + u_{it} \quad (۴)$$

در این فرمول r بیانگر تعداد رژیم‌های حدی (توابع انتقال) به منظور تصریح رفتار غیرخطی است. سایر موارد از قبل تعریف شده‌اند (خداوردیزاده و همکاران، ۱۳۹۸).

مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی با حذف اثرات ثابت از طریق حذف کردن میانگین‌های انفرادی و سپس با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی (که معادل تخمین زن حداکثر درستنمایی است) برآورد می‌شود. مراحل تخمین مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی به تشریح به صورت زیر است:

### ۱-۳. آزمون خطی بودن و نبود رابطهٔ غیرخطی باقیمانده‌ها

براساس مطالعات فوک و همکاران (۲۰۰۴)، گونزالز و همکاران (۲۰۰۵) و کولیتاز و همکاران (۲۰۰۶) و جوید (۲۰۱۰)[1] مراحل تخمین بدین صورت است که ابتدا آزمون خطی بودن در مقابل غیرخطی بودن انجام می‌شود و در صورت رد فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن رابطه میان متغیرها، باید تعداد توابع انتقال جهت تصریح کامل رفتار غیرخطی موجود میان متغیرها انتخاب شود. اگرچه آزمون خطی بودن می‌تواند با آزمون فرضیه صفر $H_0: \gamma = 0$ یا $H_0: B_1 = 0$ انجام شود. اما از آنجایی که مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی تحت فرضیه صفر دارای پارامترهای مزاحم نامعین است، آماره‌های آزمون هر دو فرضیه فوق غیراستاندارد هستند. برای حل این مشکل، لوکنن و همکاران[2] (۱۹۸۸) و

1. Jude
2. Luukkonen et al.

تراسورتا[1] (۱۹۸۸) استفاده از تقریب تیلور تابع انتقال را پیشنهاد کرده‌اند. همچنین، گونزالز و همکاران (۲۰۰۵) و کولیتاز و همکاران (۲۰۰۶) نیز در این خصوص تقریب تیلور تابع انتقال $G(\gamma, C, q_{it})$ را برحسب پارامتر $\gamma$ حول مقدار $\gamma = 0$ پیشنهاد نموده‌اند که به صورت رابطه (۵) زیر است:

$$y_{it} = \mu_t + B_0 X_{it} + B_1 X_{it} q_{it} + \cdots \ldots + B_m X_{it} q_{it}^m + u_{it} \qquad (۵)$$

طبق رابطه فوق رد فرضیه صفر دلالت بر وجود رابطه غیرخطی و قبول آن، بیانگر وجود رابطه خطی بین متغیرهای مدل است. به منظور آزمون این فرضیه به تبعیت از کولیتاز و هارولین از آماره‌های ضریب لاگرانژ والد، ضریب لاگرانژ فیشر و نسبت درستنمایی استفاده می‌شود.

در شرایطی که نتایج به دست آمده از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی دلالت کند و یا به عبارت دیگر، فرضیه خطی بودن مدل مورد پذیرش قرار نگیرد. در مرحله بعدی باید تعداد توابع انتقال جهت تصریح کامل رفتار غیرخطی انتخاب شود. برای این منظور، فرضیه صفر وجود یک تابع انتقال در مقابل فرضیه وجود حداقل دو تابع انتقال آزمون می‌شود. فرآیند این آزمون نیز مشابه آزمون خطی بودن است. با این تفاوت که تقریب سری تیلور از تابع اتقال دوم مورد آزمون قرا می گیرد که به صورت رابطه (۶) تصریح می‌شود:

$$y_{it} = \mu_t + B_0 X_{it} + B_1 X_{it} q_{it} G\left(q_{it}^{(1)}, \gamma, c\right) + B_{21} X_{it} q_{it}^{(2)} \ldots \ldots + B_{2m} X_{it} q_{it}^{(2)m} + u_{it} \qquad (۶)$$

اکنون با توجه به رابطه فوق آزمون نبود رابطه غیرخطی باقیمانده توسط آزمون فرضیه صفر

$$H_0: B_{21} = \cdots \ldots = B_{2m} = 0$$

انجام می‌شود. در صورتی که فرضیه صفر رد نشود، لحاظ کردن یک تابع انتقال جهت بررسی رابطه غیرخطی میان متغیرهای تحت بررسی کفایت می‌کند و اگر فرضیه صفر در این آزمون رد شود، حداقل دو تابع انتقال در مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی وجود خواهد داشت و در ادامه باید فرضیه صفر وجود دو تابع انتقال در مقابل فرضیه وجود حداقل سه تابع انتقال آزمون شود.

1. Terasvirta

### ۲-۳. انتخاب تعداد مکان‌های آستانه‌ای

در این پژوهش، براساس پیشنهاد کولیتاز و هارولین (۲۰۰۶) و جوید (۲۰۱۰)، دو مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی با یک و دو حد آستانه‌ای تخمین زده می‌شود و برای هر کدام از این مدل‌ها، مقادیر مجموع مجذور باقی مانده‌ها، معیار شوارتز و معیار آکائیک به‌عنوان معیارهای تعیین‌کننده تعداد مکان‌های آستانه‌ای لازم برای تصریح بهترین مدل، محاسبه می‌شود. مراحل تخمین مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

الف) آزمون فرضیه خطی بودن در مقابل فرضیه وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی که با استفاده از آماره‌های ضریب لاگرانژ والد، ضریب لاگرانژ فیشر و نسبت درستنمایی برای یک و دو واحد آستانه‌ای ($m = ۱ , m = ۲$) آزمون می‌شود.

ب) در این مرحله باید وجود رابطهٔ غیرخطی باقیمانده را به‌منظور تعیین تعداد توابع انتقال بررسی کرد. براساس مطالعهٔ گونزالز و همکاران و کولیتاز و هارولین، فرضیهٔ صفر وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی با یک تابع انتقال در مقابل فرضیه وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی با حداقل دو تابع انتقال آزمون می‌شود.

ج) حالت بهینه میان تابع انتقال با یک یا دو حد آستانه‌ای انتخاب می‌شود. برای این منظور مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی متناظر با هریک از این حالات برآورد شده و از میان آن‌ها براساس معیارهای مجموع مجذور باقی‌مانده‌ها، شوارتز و آکائیک مدل بهینه انتخاب می‌شود و پس از انتخاب مدل بهینه، در نهایت، مدل تخمین زده می‌شود.

به‌طورکلی، مزیت عمده این رویکرد علاوه بر اینکه قابلیت مشخص کردن تعداد دفعات و زمان تغییر رژیم را دارد. سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر را نیز نشان می‌دهد. در این مدل تغییر در رژیم‌ها با شکست ساختاری به صورت درون‌زا توسط مدل مشخص می‌شود. به همین دلیل نیازی به وارد کردن متغیر موهومی و یا بررسی جداگانه شکست ساختاری نیست. (خداوردیزاده و همکاران، ۱۳۹۸).

## ٤. یافته‌ها

در این پژوهش، تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی و ساختار مصرف انرژی و سایر متغیرهای مذکور بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای آمریکا، نروژ، روسیه، کانادا، ایران، عراق، اندونزی، ونزوئلا، نیجریه، سودان، لیبی در دوره زمانی ۲۰۱۹-۱۹۹۵ با

استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی بررسی شده است. داده‌های پژوهش از سایت بانک جهانی[1]، آژانس بین‌المللی انرژی[2]، سایت مؤسسه فناوری ماساچوست[3] و سایر سایت‌های مرتبط جمع‌آوری شده است. الگوی اقتصادسنجی این تحقیق برگرفته از مدل گونزالز و همکاران (۲۰۰۵) به صورت رابطه (۷) است:

$$(GHG/POP)it = B_0 ECIit + B_1 ECSPit + B_2 DEit + B_3 URit + G(q_{it}, \gamma, c)\,[\alpha_0 ECIit + \alpha_1 ECSPit + \alpha_2 DEit + \alpha_3 URit] + u_{it} \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، متغیرهای مدل عبارتند از: متغیر انتشار گازهای گلخانه‌ای سرانه که به‌عنوان متغیر وابسته و از تقسیم میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای مورد نظر بر جمعیت کل این کشورها محاسبه شده است. متغیر بعدی شاخص پیچیدگی اقتصادی است که بر پایه تعداد و پیچیدگی کالاهایی طراحی شده است که یک کشور براساس مزیت نسبی خود صادر می‌کند و در اینجا به‌عنوان متغیر تأثیرگذار بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شده است. متغیر بعدی، ساختار مصرف انرژی[4] که براساس نسبت مصرف انرژی تجدیدناپذیر (فسیلی) به کل مصرف نهایی بیان شده است. متغیر بعدی درجه باز بودن اقتصاد[5] است که از نسبت مجموع صادرات و واردات به تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود. آخرین متغیر توضیحی، میزان جمعیت شهری[6] است. در این پژوهش، متغیر لگاریتم شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان متغیر آستانه‌ای (انتقال) در نظر گرفته شده است، زیرا وجود شاخص پیچیدگی اقتصادی امکان ایجاد رابطه غیرخطی بین متغیرها را متحمل می‌سازد و انتظار می‌رود با تغییر شاخص پیچیدگی اقتصادی در کشورهای مختلف میزان سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز تغیر یابد.

## ۱-٤. آزمون ایستایی[7]

براساس ادبیات اقتصادسنجی، قبل از هرگونه تخمین و برای جلوگیری از بروز رگرسیون‌های کاذب، باید ابتدا از ایستا بودن متغیرها اطمینان حاصل کرد. اگر متغیرهای

1. World development indicators
2. International energy agency (IEA)
3. Massachusetts institute of technology (MIT)
4. Share of final energy consumption generating pollution
5. The degree of openness of the economy
6. Urban population

۷. این آزمون در محیط نرم‌افزار EViews انجام شده است.

مدل ایستا باشند، تخمین‌های مدل مشکل رگرسیون ساختگی را نخواهند داشت. برای بررسی مانایی متغیرها از آزمون لوین[1]، لین وچو استفاده شده است. در این آزمون، فرضیه صفر مبتنی بر وجود ریشه واحد است. خلاصه نتایج آزمون در جدول شماره (۲) نشان می‌دهد که کلیه متغیرهای پژوهش در سطح ایستا هستند و لذا فرضیه صفر آزمون مبتنی بر وجود ریشه واحد رد می‌شود و بنابراین مشکلی از جهت ادامه برآورد مدل وجود ندارد.

**جدول شماره ۲ : نتایج آزمون ریشه واحد لوین، لین وچو**

| متغیر | آزمون ریشه واحد لوین، لین وچو | |
|---|---|---|
| | آماره آزمون | احتمال آماره |
| انتشار سرانه گازهای گلخانه‌ای | ۱/۵۷۷۵ | ۰/۰۵۷۳ |
| شاخص پیچیدگی اقتصادی | ۱/۹۸۷۰ | ۰/۰۲۳۵ |
| ساختار مصرف انرژی | ۱/۸۱۷ | ۰/۰۳٤٦ |
| درجه باز بودن اقتصاد | ۲/۰۰٤ | ۰/۰۲۲۵ |
| جمعیت شهری | ۲/٤۲۷ | ۰/۰۰۷٦ |

مأخذ: محاسبات پژوهش

## ۲-٤. آزمون وجود رابطه غیرخطی

مطابق روش‌شناسی رگرسیون انتقال ملایم پانلی، بعد از آزمون مانایی، برای تصریح یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی، باید آزمون خطی بودن در مقابل وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی را انجام داد. در این آزمون، فرضیه صفر بیانگر خطی بودن مدل و فرضیه مقابل نشانگر وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی است. همان‌طورکه قبلاً اشاره شد، متغیر لگاریتم شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان متغیر آستانه‌ای (انتقال) در نظر گرفته شده است.

در صورت رد فرضیه صفر (مبنی بر خطی بودن رابطه بین متغیرها) و قبول فرضیه مقابل، روابط بین متغیرها از یک الگوی غیرخطی تبعیت خواهد کرد و در این صورت باید تعداد توابع آستانه‌ای (انتقال) مورد نیاز برای تصریح کامل رفتار غیرخطی بین متغیرهای الگو را مشخص کرد.

1. Levine

نتایج آزمون[1] در جدول شماره (۳) آورده شده است. برطبق جدول شماره (۳)، تمامی آماره‌های ضریب لاگرانژ والد[2]، ضریب لاگرانژ فیشر[3] و نسبت درستنمایی[4] برای آزمون یک رژیم در مقابل دو رژیم وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی را در سطح معناداری ۵ درصد تأیید می‌کنند. به عبارت دیگر، نتایج بر تبعیت روابط بین متغیرها از یک الگوی غیرخطی رگرسیون انتقال ملایم پانلی صحه می‌گذارند.

**جدول شماره ۳. آزمون وجود رابطه غیرخطی برای کشورهای منتخب**

| $H_0 : r = 0$<br>$H_1 : r = 1$ | m=۱ | | | m=۲ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Wald Tests (LMW) | Fisher Tests (LMF) | LRT Tests (LRT) | Wald Tests (LMW) | Fisher Tests (LMF) | LRT Tests (LRT) |
| | ۱۷/۹۴۹<br>(۰/۰۰۱) | ٤/٥٣٩<br>(۰/۰۰۱) | ۱۸/٥٦٦<br>(۰/۰۰۱) | ٥/٦٧٥<br>(۰/۲۲٥) | ۱/۳۲۷<br>(۰/۲٦۰) | ٥/۷۳٥<br>(۰/۲۲۰) |

مأخذ: محاسبات پژوهش

توجه: M بیانگر تعداد مکان‌های آستانه‌ای و r بیانگر تعداد رژیم‌های حدی (توابع انتقال) است. مقادیر احتمال مربوط به هر آماره داخل پرانتز گزارش شده است.

در این پژوهش، باتوجه به نتایج آزمون، تمامی آماره‌های ضریب لاگرانژ والد، ضریب لاگرانژ فیشر و نسبت درستنمایی نشان می‌دهند که برای حد آستانه‌ای $m = ۱$ و تعداد رژیم‌های حدی $r = ۱$ از یک الگوی غیرخطی پیروی می‌کنند. زیرا فرضیه صفر با توجه به احتمالات مربوط به هر آماره (در سطح ۵ درصد) رد شده و فرضیه مقابل یعنی $r = ۱$ پذیرفته می‌شود بنابراین رابطه غیرخطی بین متغیرها وجود دارد.

در ادامه، با توجه به اینکه ممکن است چندین حد آستانه‌ای برای متغیرهای مدل وجود داشته باشد (نوع تابع انتقال ممکن است LSTR1 یا LSTR2 باشد) دوباره آزمون برای $r = ۱$ و اینبار $m = ۲$ انجام می‌شود. با توجه به نتایج جدول شماره (۳) فرضیه صفر ($H_0 : r = ۰$) در سطح $m = ۲$ هم رد می‌شود. پس وجود رابطه غیرخطی برای ($m = ۱$) قابل قبول می‌باشد. این مسئله بدین‌معنی است که در این الگو، یک رژیم حدی ($r = ۱$) با دو مکان آستانه‌ای وجود دارد.

---

۱. کدنویسی مدل PSTR و آزمون‌های مربوط در محیط نرم‌افزار Matlab انجام شده است.

2. Wald tests (LMW)
3. Fisher tests (LMF)
4. LRT tests (LRT)

### ۳-٤. آزمون نبود رابطه غیرخطی باقیمانده‌ها

پس از اثبات وجود یک رابطه غیرخطی بین متغیرهای پژوهش، برای تعیین تعداد رژیم‌های حدی (توابع انتقال)، وجود رابطه غیرخطی باقیمانده بررسی می‌شود. بدین‌منظور، براساس مطالعه گونزالز و همکاران (۲۰۰۵) و کولیتاز و هارولین (۲۰۰۶)، فرضیه صفر، وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی با دو رژیم حدی در مقابل فرضیه مخالف، وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی با سه رژیم حدی آزمون می‌شود که نتایج آن در جدول شماره (۴) گزارش شده است. بدین منظور، یک‌بار مدل را با m =۱ و r بهینه مربوط به آن برآورد کرده و مقادیر آماره‌های اطلاعاتی ضریب لاگرانژ والد، ضریب لاگرانژ فیشر و نسبت درستنمایی را در جدول شماره (۴) قرارداده و بار دیگر مدل را با m = ۲ و r بهینه مربوط به آن برآورد و آماره‌های اطلاعاتی مذکور در جدول قرار داده می‌شود. با توجه به جدول شماره (۴)، حالت وجود دو رژیم حدی r = ۱ قابل قبول است. بنابراین در این الگو، یک نقطه آستانه‌ای و دو رژیم حدی مورد قبول است. درواقع، نتایج آماره‌های والد، فیشر و نسبت درستنمایی نشان می‌دهند که لحاظ کردن دو رژیم حدی و تابع انتقال از نوع LSTR1 برای توضیح رابطه غیرخطی میان متغیرهای مدل کافی است.

**جدول شماره ٤. آزمون وجود رابطه غیرخطی باقیمانده**

| H۰ : r = ۱<br>H۱ : r = ۲ | m=۱ | | | m=۲ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Wald Tests (LMW) | Fisher Tests (LMF) | LRT Tests (LRT) | Wald Tests (LMW) | Fisher Tests (LMF) | LRT Tests (LRT) |
| | ۱۷/۹٤۹<br>(۰/۰۰۱) | ٤/٥۳۹<br>(۰/۰۰۱) | ۱۸/٥٦٦<br>(۰/۰۰۱) | ۳/۳۹۸<br>(۰/۹۰۷) | ۰/۳۸۱<br>(۰/۹۳۰) | ۳/٤۲۰<br>(۰/۹۰٥) |

ماخذ: محاسبات پژوهش

### ٤-٤. تعیین تعداد مکان‌های آستانه‌ای در دو رژیم حدی (تابع انتقال)

بعد از تعیین مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی با دو رژیم حدی، باید حالت بهینه میان دو رژیم حدی با یک یا دو حد آستانه‌ای انتخاب شود. در این پژوهش، طبق پیشنهاد کولیتاز و هارولین (۲۰۰۶) دو مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی با یک و دو حد آستانه‌ای تخمین زده شده و برای هر کدام مقادیر مجموع مجذور باقیمانده‌ها، معیارهای شوارتز و آکائیک به عنوان معیارهایی که تعداد مکان‌های آستانه‌ای لازم برای تبیین بهتر مدل محاسبه می‌شود. نتایج این آزمون در جدول شماره (۵) آورده شده است.

**جدول شماره ۵: تعیین تعداد مکان‌های آستانه‌ای در یک رژیم حدی (تابع انتقال)**

| m = ۲ | | | m = ۱ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| مجموع مجذور | معیار آکائیک | معیار شوارتز | مجموع مجذور | معیار آکائیک | معیار شوارتز |
| ۰/۵۲۲ | -٦/١٤٩ | -٦/۰۰٤ | ۰/۵۱۹ | -٦/۰۲۷ | -٦/١٥٩ |

مأخذ: محاسبات پژوهش

با توجه به معیارهای شوارتز و آکائیک، تعداد بهینه حد آستانه‌ای تعیین می‌شود. یک مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی با یک رژیم حدی (تابع انتقال) و یک حد آستانه‌ای برای بررسی رفتار غیرخطی میان متغیرهای پژوهش انتخاب می‌شود.

## ٥-٤. تخمین مدل

پس از تعیین تعداد تابع انتقال و حد آستانه‌ای بهینه، یک مدل دو رژیمی برآورد می‌شود. نتایج این مدل در جدول شماره (۶) آورده شده است.

**جدول شماره ٦. نتایج برآورد الگو PSTR**

| متغیر وابسته: لگاریتم نسبت انتشار گازهای گلخانه ای به جمعیت | | |
|---|---|---|
| ضرایب رگرسیون | رژیم | متغیر توضیحی |
| -۰/۱۹۲۲*** | بخش خطی | لگاریتم شاخص پیچیدگی اقتصادی |
| -۱/۸۹۷۲*** | بخش غیرخطی | |
| ۰/۱۵۰۵*** | بخش خطی | لگاریتم ساختار مصرف انرژی |
| ۰/۲۳۳۵* | بخش غیرخطی | |
| ۰/۵۲۰۷*** | بخش خطی | لگاریتم جمعیت شهرنشینی |
| ۰/۸٦۸۲*** | بخش غیرخطی | |
| ۰/۰٤٥٦* | بخش خطی | لگاریتم باز بودن اقتصاد |
| -۰/۱۹۵۲*** | بخش غیرخطی | |

مأخذ: محاسبات پژوهش

پارامتر شیب (سرعت انتقال) بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است که برابر ۳/۱۹۶۴ است. مکان وقوع تغییر رژیم نیز ۲/۴۷۷۹ است که مقدار آنتی لگاریتم آن ۱/۱۸- است. لذا تا زمانی که مقدار شاخص پیچیدگی اقتصادی کمتر از ۱/۱۸- است، رفتار متغیرها مطابق رژیم اول خواهد بود. در صورتی که مقدار شاخص پیچیدگی اقتصادی از ۱/۱۸- بیشتر شود رفتار متغیرها مطابق رژیم دوم خواهد بود.

**جدول شماره ۷. نتایج آزمون غیرخطی بودن**

| نتایج آزمون غیر خطی بودن | | |
|---|---|---|
| Wald Tests (LM) | W =۱۷/۹٤۹ | pvalue = ۰/۰۰۱ |
| Fisher Tests (LMF) | F = ٤/٥۳۹ | pvalue = ۰/۰۰۱ |
| LRT Tests (LRT) | LRT =۱۸/٥٦٦ | pvalue = ۰/۰۰۱ |
| متغیر آستانه‌ای و مقدار آستانه | | |
| متغیر آستانه‌ای | لگاریتم شاخص پیچیدگی اقتصادی | |
| مقدار آستانه | ۲/٤۷۷۹ | |

*: معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد / **: معنی‌دار در سطح ۵ درصد / ***: معنی‌دار در سطح ۱ درصد
مأخذ: یافته‌های پژوهش

به دلیل اینکه ضرایب متغیرها برای کشورهای مختلف و در طول زمان یکسان نیست و با توجه به متغیر انتقال (شاخص پیچیدگی اقتصادی) و پارامتر شیب تغییر می‌کند، مقادیر عددی جدول شماره (۷) را نمی‌توان به طور مستقیم تفسیر کرد و فقط باید علامت‌ها را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. بنابراین برای بیان واضح‌تری از نتایج، دو رژیم حدی اول و دوم را تعریف می‌شود. رژیم حدی اول: حالتی است که پارامتر شیب به سمت منفی بی‌نهایت میل می‌کند و مقدار متغیر انتقال (شاخص پیچیدگی اقتصادی) کمتر از حد آستانه‌ای است، در این حالت تابع انتقال مقدار عددی صفر دارد و مدل به صورت زیر در می‌آید:

$$Log\text{GHGP}_{it} = -0/1922 Log\text{ECI}_{it} + 0/1505 Log\text{ECSP}_{it} + 0/0456 Log\text{DE}_{it} + 0/5207 Log\text{UR}_{it}$$

رژیم حدی دوم: حالتی است که متغیر انتقال (شاخص پیچیدگی اقتصادی) بزرگتر از مقدار آستانه بوده و پارامتر شیب به سمت مثبت بی‌نهایت میل می‌کند، در این حالت تابع انتقال مقدار عددی یک دارد و مدل در این رژیم به صورت زیر در می‌آید:

$$Log\text{GHGP}_{it} = -1/8972 Log\text{ECI}it + 0/2335 Log\text{ECSP}it - 0/1952 Log\text{DE}it + 0/8682 Log\text{UR}it$$

با توجه به نتایج دو رژیم، مشخص می‌شود که متغیر شاخص پیچیدگی اقتصادی در هر دو رژیم خطی و غیرخطی تأثیر عکس (منفی) بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد بدین معنی که افزایش شاخص پیچیدگی اقتصادی منجر به کاهش آلودگی خواهد شد. به عبارت

دیگر توسعه فناورانه، ساختاری و افزایش سطح دانش و مهارت نیروی کار در یک اقتصاد به طور معنی‌داری در همه کشورهای مورد مطالعه می‌تواند باعث کاهش آلودگی‌های ناشی از گازهای گلخانه‌ای بشود.

این نتیجه در پژوهش‌های دیگری مانند کن و گزگور (۲۰۱۷) اثبات شده است آن‌ها نشان دادندکه اثر پیچیدگی اقتصادی در بلندمدت، بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کشور فرانسه، منفی و معنی‌دار بوده است. بنابراین حرکت اقتصاد کشورها به سمت یک اقتصاد فناورانه، متنوع و دانش محور می‌تواند علاوه بر دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی بالاتر به کاهش آلودگی ازجمله انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر باشد؛ ازاین‌رو، لازم است سیاستگذاران در کنار سایر سیاست‌هایی که با هدف کاهش آلودگی اعمال می‌کنند، به ساختار تولید و دانش محور بودن اقتصاد نیز توجه کنند.

در مورد متغیر ساختار مصرف انرژی، در هر دو رژیم علامت این متغیر مثبت هست. با توجه به تعریفی که از متغیر ساختار مصرف انرژی در این پژوهش ارائه شده است؛ ساختار مصرف انرژی درواقع سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر از کل انرژی است و افزایش میزان ساختار مصرف انرژی به معنی مصرف بیشتر از انرژی های تجدیدناپذیر (فسیلی) است که منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، زیرا سهم عمده‌ای از گازهای گلخانه‌ای را گاز دی‌اکسیدکربن تشکیل می‌دهد و این گاز عمدتاً براثر سوختن منابع انرژی فسیلی تولید می‌شود. در مورد سایر متغیرهای توضیحی، مانند متغیر شهرنشینی نیز در هر دو رژیم تأثیر این متغیر نشان‌دهندهٔ اثر مثبت بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. بدین معنی که با افزایش جمعیت به‌ویژه در بخش شهری، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد. این مسئله می‌تواند مربوط به افزایش مصرف انرژی به ویژه انرژی‌های فسیلی و افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن باشد.

متغیر درجه باز بودن اقتصاد: در رژیم خطی که بیشتر شامل کشورهای در حال توسعه است افزایش صادرات منجر به افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای می‌شود چون افزایش تولید منجر به استفاده بیشتر از انرژی خواهد شد. چون در این گونه کشورها بیشتر از انرژی‌های فسیلی استفاده می‌شود پس گسترش صادرات منجر به افزایش آلودگی خواهد شد. در بخش غیرخطی که بیشتر درمورد کشورهای توسعه یافته است ازآنجاکه این کشورها بیشتر صنایع آلاینده را به کشورهای دیگر منتقل کرده‌اند افزایش صادرات منجر به افزایش آلودگی نخواهد شد.

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات فزاینده آب‌وهوایی و اقلیمی در زمین که بیشتر بر اثر آلودگی‌های به وجود آمده توسط انسان‌ها می‌باشد، موجب شده است که محققان و پژوهشگران توجه ویژه‌ای به عوامل اثرگذار بر انتشار گازهای آلوده‌کننده و ازجمله گازهای گلخانه‌ای بنمایند. امروزه، ارتباط بین توسعه اقتصادی و محیط زیست از مهمترین موضوعات توسعه پایدار محسوب می‌شود . نتایج این پژوهش، نشان می‌دهد که افزایش پیچیدگی اقتصادی منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. اغلب مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است نیز تأثیر منفی شاخص پیچیدگی اقتصادی بر انتشار آلایندگی (گازهای گلخانه‌ای) را تأیید کرده‌اند. بدین ترتیب افزایش درجه پیچیدگی اقتصادی می‌تواند به افزایش کیفیت محیط زیست و کاهش انتشار آلاینده به ویژه گازهای گلخانه‌ای منجر شود.

نتایج مطالعه حاضر که با استفاده از داده‌های موجود در کشورهای منتخب صادرکننده نفت و به صورت پانل و در قالب مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی انجام شده است نیز نتیجه مشابهی را نشان می‌دهد. این امر بیانگر این است که حرکت کشورها به سمت فناوری‌های جدید و ساختار تولید پیچیده‌تر، می‌تواند به بهبود وضعیت محیط زیست در این کشورها کمک نماید و این مسئله می‌تواند به‌عنوان نقشه راه برای برنامه‌ریزان اقتصادی و سیاستگذاران توسعه اقتصادی مدنظر قرار گیرد. با توجه به دغدغه‌های زیست‌محیطی موجود و اهداف کشورهای در حال توسعه به منظور دستیابی به جهانی پاک ، ضروروی است که از فناوری‌های بهتر و قوانین دوستدار طبیعت و مالیات‌های زیست محیطی بیشتر استفاده شود تا از انتشار بیشتر گازهای آلاینده به ویژه گازهای گلخانه‌ای جلوگیری شود.

## ٦. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

## ۷. سپاسگزاری

از راهنمایی‌های ارزشمند اساتید محترم آقایان جناب دکتر مرتضی خورسندی، جناب دکتر تیمور محمدی و جناب دکتر علی فریدزاد و سرکار خانم دکتر زهرا عزیزی تشکر می‌نمایم.

**ORCID**

Narges Khaki https://orcid.org/0000-0003-0564-7332
Morteza Khorsandi https://orcid.org/0000-0002-3398-4782
Teymour Mohammadi https://orcid.org/0000-0003-4394-774X
Ali Faridzad https://orcid.org/0000-0002-1777-709X
Zahra Azizi https://orcid.org/0000-0002-4797-5345

## ۸. منابع

ترابی، تقی؛ خواجویی‌پور، امین؛ طریقی، سمانه و پاکروان، محمد. (۱۳۹۴). تأثیر مصرف انرژی، رشد اقتصادی و تجارت خارجی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران. *فصلنامه مدلسازی اقتصادی*، سال نهم، شماره ۱، پیاپی ۲۹، بهار ۱۳۹۴، صفحات ۸۴-۶۳.

خداوردیزاده، محمد؛ خداوردیزاده، صابر؛ جانی، سیاوش و علی خلیلی. (۱۳۹۸). تأثیر آستان‌های تورم بر رشد اقتصادی کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه: رویکرد مدل رگرسیون انتقال مالیم پانلی (PSTR). *فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)*، دوره ۱۶، شماره ۱، بهار، صفحات ۹۹-۷۷

شاهمرادی، بهروز. (۱۳۹۷). *اطلس پیچیدگی اقتصادی*. سزار هیدالگو، سباستیان بوتوس، مایکل کوسیا، سارا چانگ، جوان جیمنز، الکساندر سیمونس، آیلدریم، محمد، تهران، شرکت چاپ و نشر بازرگانی.

صادقی، سید کمال. (۱۳۹۲). بررسی رابطه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و آلودگی آب در ایران با نگرش اقتصاد محیط زیست. *فضای جغرافیایی*، دوره ۱۳، شماره ۴۳، صفحات ۲۲۷-۲۰۹.

عزیزی، زهرا؛ دارائی، فاطمه و ناصری بروجنی، علیرضا. (۱۳۹۸). تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر آلودگی محیط زیست. *سیاست‌گذاری پیشرفت اقتصادی*، سال هفتم پاییز و زمستان، شماره ۲ (پیاپی ۲۰) صفحات ۲۱۹-۲۰۱.

کارگر دهبیدی، نوید و اسماعیلی، عبدالکریم. (۱۳۹۵). تأثیر رشد اقتصادی، مصرف انرژی، آزادسازی تجاری و شهرنشینی بر آلودگی محیط زیست در منطقه منا در طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۹۵. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، شماره ۴، دوره ۲، صفحات ۸۲۴-۸۱۵.

## References

Ahmad,Mahmood,ZahoorAhmed,AbdulMajeed,BoHuang(2021).An environmental impact assessment of economic complexity and energy consumption: Does institutional quality make a difference?. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol 89, article 106603.

Ahmed, U., & ArshadKhan, M. (2009). Energy demand in Pakistan: A disaggregate analysis. *The Pakistan Development Review*, 47(4), pp. 437-455.

Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S.& Pimentel, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 15(2), pp. 91-95.

Arouri, A., Youssef, B. & Mhenni, H. (2012). Energy consumption, Economic Growth and CO2 Emission Middle East and North African Countries. *EnergyPolicy*,45, pp. 126-135.

Balke, N. S. & Fomby, T. B. (1997). Threshold Cointegration. *International economic review*, pp. 627-645.

Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?. *World Development*, 20(4), pp. 481-496.

Can, M.& Gozgor, G. (2017). The impact of economic complexity on carbon emissions: Evidence from France. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, pp. 16364-16370.

Chiou.T.Y, KaiChan.H, Ettice. F, HoChung.S(2011). The influence of greening the suppliers and green innovation on environmental performance and competitive advantage in Taiwan's Transportation. Research Part E: *Logistics and Transportation Review.* Vol 47, (6), pp. 822-836.

Choi, S., Smith, B. & Boyd, J.H. (1996). Inflation, Financial Markets, and Capital Formation. Federal Reserve Bank of St. *Louis Review*, (78), pp. 41-58.

Chu, L.K. (2020). Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. *Applied economics letters*. 28(7), pp. 612-616.

Colletaz, G. and Hurlin, C. (2006). Threshold Effects of the Public Capital Productivity: An International Panel Smooth Transition Approach. Working Paper, 1/2006, LEO, Université d'Orléans.

Dargay, J. M., Gately, D. & Huntington, H. G. (2007). Price and Income Responsiveness of World Oil Demand, by Product. *Energy Modeling Forum Working Paper EMF OP* 61.

Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), pp. 431-455.

Doğan, Buhari, Oana M. Driha,Daniel Balsalobre Lorente,Umer Shahzad(2021). The mitigating effects of economic complexity and renewable energy on carbon emissions in developed countries. *Sustainable Development*, 29(1), pp. 1-12.

Gately, D., and Huntington, H. G. (2002). The Asymmetric Effects of Changes in Price and Income on Energy and Oil Demand. *The Energy Journal*, 23(1), pp. 19-55.

Gonzalez, A., Terasvirta, T., Van Dijk, D. (2005). Panel Smooth Transition Regression Models. *SEE/EFI Working paper Series in Economics and Finance* (604), pp. 1-33.

Fok, D., Van Dijk, D. & P. Franses (2004). A Multi- Level Panel STAR Model for US Manufacturing Sectors., Working Paper, University of Rotterdam.

Hanif, Imran (2018). Impact of fossil fuels energy consumption, energy policies, and urban sprawl on carbon emissions in East Asia and the Pacific: A panel investigation. *Energy*, (21), pp. 16-24.

Hansen, B. E. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of Econometrics*, 93, pp. 345-368.

Hu, J. L., and Lin, C. H. (2008). Disaggregated Energy Consumption and GDP in Taiwan: A Threshold Co-Integration Analysis. *Energy Economics*, 30(5), pp. 2342-2358.

Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(26), pp. 10570-10575.

Hidalgo, C. A (2021). Economic complexity theory and applications. Nature, (3), pp.92–113.

Jude, E. (2010). Financial Development and Growth: A Panel Smooth Regression Approach. *Journal of Economic Development*, (35), pp. 15-33.

KangyinDong,GalHochman,YaqingZhang,RenjinSun,HuiLi,HuaLiao(2018). CO2 emissions, economic and population growth, and renewable energy: Empirical evidence across regions. *Energy Economics*, (75), pp. 180-192.

Min Lim, L., &Ye, K., & Khoon Yoo, S. (2014). Oil consumption CO2 emission, and economic growth: Evidence from the Philippines. *Sustainability*, (6), pp. 967-979.

Mealy,P. and Teytelboym, A.(2020). Economic complexity and the green economy. Research, (8), Article 103948.

Neagu, Olimpia (2019). The Link between Economic Complexity and Carbon Emissions in the European Union Countries: A Model Based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) Approach. *Sustainability*, (17), pp. 300-326.

Neagu, O. & Teodoru, M. C. (2020). The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries. *Sustainability*, 11(2), pp. 497-526.

Omay, T., Hasanov, M., and Ucar, N. (2014). Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from Nonlinear Panel Cointegration and Causality Tests. *Applied Econometrics*, 34(2), pp. 36-55.

Panayotou, T. (1993). *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development (No. 992927783402676)*. International Labour Organization.

Pata.U.K(2021). Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. *Environmental Science and Pollution Research*, (28), pp. 846-861.

Romero, J.P., Gramkow, C. (2021). Economic complexity and greenhouse gas emissions. *World Development*, (139), Article 105317.

Sari, Ramazan, Ugur Soytas(2008). The relationship between disaggregate energy consumption and industrial production in the United States: An ARDL approach. *Energy Economics*, 30(5), pp.2302-2313.

Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), pp. 1419-39.

Yin, J., Zheng, M., & Chen, J. (2015). The effects of environmental regulation and technical progress on CO2 Kuznets curve: An evidence fromChina. *Energy Policy*, (77), pp. 97-108.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**استناد به این مقاله:** خاکی، نرگس؛ خورسندی، مرتضی؛ محمدی، تیمور؛ فریدزاد، علی؛ عزیزی، رها. (۱۴۰۰). تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای منتخب صادرکننده نفت: رویکرد مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR)، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۳۹ (۱۰)، ۹۹-۱۲۵.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.