Journal of Environmental and Natural Resource Economics
Volume 4, Number 10, Winter 2024, pp. 163-189
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.84298.204

ATU PRESS

Original Research
Received: 13/February/2025
Accepted: 3/June/2025
ISSN: 2538-4791
eISSN: 2538-483X

The Effects of Urbanization on Ecological Footprint in Developing Countries: A Smooth Transition Regression Model

Pouria Mahmoudi — Master's Student in Economics - Theoretical, University of Tehran, Tehran, Iran.

Amirhossein Anvari — PhD Student in Health Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Ehsan Rasoulinezhad * — Associate Professor, Faculty of World Studies, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abstract

Introduction

The rapid pace of urbanization, depletion of environmental resources, and growing ecological concerns in developing countries have made sustainable urban development a crucial challenge. Urbanization, while essential for economic progress, can intensify environmental pressures unless managed in parallel with green development policies. This study investigates the effects of urbanization on the ecological footprint in 35 developing countries over the period 1990–2023. By applying the Panel Smooth Transition Regression (PSTR) model, the nonlinear and threshold-based relationship between urbanization and environmental degradation is analyzed. The findings indicate that, at the early stages of urbanization, the ecological footprint increases with a significant coefficient of 1.33. However, once the urban population surpasses the threshold of 50 million, the effect reverses, suggesting that urban maturity and better infrastructure may reduce ecological pressures. Additionally, GDP growth is positively associated with the ecological footprint (coefficient = 3.29), indicating increased consumption and emissions in the growth process. Trade openness demonstrates a slight negative impact (coefficient = –0.01), while the share of renewable energy significantly reduces the ecological footprint (coefficient = –0.67), highlighting its role in environmental protection. The interaction term between GDP and urbanization also reveals a negative coefficient, implying that integrated policies combining economic growth with urban environmental planning can effectively mitigate ecological degradation.

* Corresponding Author: e.rasoulinezhad@ut.ac.ir

How to Cite: Mahmoudi, P., Anvari, A., Rasoulinezhad, E. (2024). The Effects of Urbanization on Ecological Footprint in Developing Countries: A Smooth Transition Regression Model. Journal of Environmental and Natural Resource Economics, 10(4), pp. 163-189.

Introduction

With the urban population growing from 30% in 1950 to more than 55% in 2018 and projected to reach 68% by 2050 developing countries face mounting pressure on their ecosystems due to unplanned urban expansion. Urbanization affects ecological footprints through increased resource use, carbon emissions, and land-use change. Managing these dynamics requires understanding the complex and nonlinear relationship between urbanization and environmental sustainability. This study contributes to the literature by evaluating the ecological impact of urban expansion while accounting for economic, trade, and energy factors. By examining the threshold dynamics of urbanization, we aim to identify when and how urban growth transitions from being environmentally detrimental to potentially beneficial.

Methods and Materials

The empirical analysis uses data from 35 developing countries between 1990 and 2023. The ecological footprint is measured as the dependent variable, while explanatory variables include urbanization, GDP per capita, trade openness, renewable energy share, and an interaction term between GDP and urbanization. The Panel Smooth Transition Regression (PSTR) model is employed to capture nonlinear effects and transition dynamics. This model allows for smooth transitions between regimes, reflecting how the impact of urbanization varies at different levels of development and infrastructure.

Results and Discussion

The PSTR analysis confirms a nonlinear relationship between urbanization and the ecological footprint. In countries with an urban population below the 50-million threshold, increased urbanization intensifies environmental stress. However, beyond the threshold, urbanization contributes to ecological improvement, likely due to better infrastructure, planning, and technological adoption. GDP growth is consistently linked with higher ecological pressure, while trade openness slightly mitigates environmental impacts. Most notably, the use of renewable energy shows a robust negative effect on the ecological footprint, emphasizing the importance of energy transition strategies. The negative coefficient on the GDP–urbanization interaction term indicates that combining economic growth with sustainable urban planning can counterbalance environmental degradation.

Conclusion

The results of this study highlight the dual role of urbanization in developing countries. Urban growth initially increases ecological pressure, but after reaching a threshold, it can lead to environmental improvements. Thus, promoting compact cities, investing in green infrastructure, and increasing the share of renewable energy are essential for sustainable urban development. Policymakers must consider the complex interactions among economic growth, urbanization, and environmental sustainability. Integrated strategies that align urban expansion with environmental

protection can help developing countries move toward a greener future and reduce their ecological footprint.

Keywords: Developing countries, Ecological footprint, PSTR model, Urbanization

JEL Classification: Q56 , R11 , C22

فصلنامه محیط زیست و منابع طبیعی
سال ٤، شماره ١٠، زمستان ١٤٠٣، صفحات ١٦٣-١٨٩
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.84298.204

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳
ISSN: ۴۷۹۱-۲۵۳۸
eISSN: ۴۸۳-۲۵۳۸X

بررسی اثرات شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای در حال توسعه: الگوی رگرسیون انتقال ملایم

پوریا محمودی | دانشجوی ارشد رشته اقتصاد ـ نظری، دانشگاه نهران، تهران، ایران.
امیرحسین انواری | دانشجوی دکتری اقتصاد سلامت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
احسان رسولی‌نژاد * | دانشیار دانشکده مطالعات جهان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

شهرنشینی به‌عنوان یکی از روندهای ساختاری در کشورهای در حال توسعه، نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات زیست‌محیطی ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی در ۳۵ کشور در حال توسعه طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ انجام شده است. برای تحلیل رابطه غیرخطی و آستانه‌ای میان متغیرها، از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانل (PSTR) استفاده شده است که قابلیت تحلیل اثرات متفاوت شهرنشینی در سطوح مختلف توسعه را فراهم می‌آورد. نتایج مدل نشان داد که شهرنشینی در مراحل اولیه با ضریب مثبت ۱/۳۳ موجب افزایش ردپای اکولوژیکی می‌شود، اما پس از عبور از آستانه مشخصی (۵۰ میلیون نفر)، این اثر معکوس شده و به کاهش ردپای اکولوژیکی منجر می‌شود. همچنین، تولید ناخالص داخلی اثر افزایشی (۳/۲۹) و باز بودن تجاری اثر کاهنده (۰/۰۱-) بر ردپای اکولوژیکی داشته‌اند. یافته‌ها نشان داد که افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با ضریب منفی ۰/۶۷ به‌طور معناداری باعث کاهش فشار زیست‌محیطی می‌شود. اثر منفی متغیر تعاملی شهرنشینی و تولید ناخالص داخلی نیز بیانگر آن است که تلفیق توسعه اقتصادی با سیاست‌های محیط زیستی می‌تواند روند تخریب اکولوژیکی را مهار کند. این نتایج تأکید می‌کنند که در صورت عبور از آستانه شهرنشینی و بهره‌گیری مؤثر از انرژی‌های پاک، می‌توان مسیر توسعه را به سوی پایداری زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه هدایت کرد.

کلیدواژه‌ها: شهرنشینی، ردپای اکولوژیکی، الگوی رگرسیون انتقال ملایم (PSTR)، کشورهای در حال توسعه

طبقه‌بندی JEL: Q56, R11, C22

* نویسنده مسئول: e.rasoulinezhad@ut.ac.ir

۱. مقدمه

شهرنشینی به‌عنوان فرآیندی چندبُعدی در حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی، الگوهای تولید و مصرف بشر را دگرگون ساخته و درنتیجه فشار فزاینده‌ای بر اکوسیستم‌های محلی و جهانی وارد کرده است (ستو و همکاران، ۲۰۱۲). نمود عینی این فشار در شاخص «ردپای اکولوژیکی» آشکار می‌شود؛ شاخصی که بار مصرف منابع و ظرفیت جذب پسماندهای انسان را در واحد هکتار زیست‌بوم اندازه‌گیری می‌کند (واکرناگل و ریس، ۱۹۹۶). بدین‌ترتیب، ردپای اکولوژیکی نشان می‌دهد جوامع برای تداوم شیوه زندگی خود تا چه حد فراتر از توان بازتولید طبیعت گام می‌نهند.

براساس گزارش سازمان ملل متحد (۲۰۱۸)، سهم جمعیت شهری جهان از ۳۰ درصد در سال ۱۹۵۰ به ۵۵ درصد در ۲۰۱۸ رسیده و پیش‌بینی می‌شود تا ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد افزایش یابد. این رشد شتابان، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، موجب بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی، تغییر گسترده کاربری اراضی، افزایش مصرف انرژی فسیلی و تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی شده است. مطالعه‌های موجود نشان می‌دهند انتشار کربن ناشی از فعالیت‌های شهری به یکی از اصلی‌ترین محرک‌های تغییرات اقلیمی تبدیل شده و الگوهای گسترش شهری، به‌ویژه در آسیا و آفریقا، پیامدهای منطقه‌ای و جهانی چشمگیری به همراه داشته است (محمدی‌نیا، ۱۴۰۳).

برآوردهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (۲۰۲۰) حاکی است بیش از ۹۰ درصدِ افزایش جمعیت شهری جهان تا میانه قرن جاری در کشورهای در حال توسعه روی خواهد داد؛ کشورهایی که اغلب با کمبود سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های سبز و فناوری‌های پاک مواجه‌اند. برای نمونه، در آفریقا بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ حدود چهار هزار و پانصد شهر جدید شکل گرفته و جمعیت شهری این قاره پانصد میلیون نفر افزایش یافته است. اگرچه این رشد، فرصت‌های اقتصادی تازه‌ای پدید آورده است، اما نبود برنامه‌ریزی یکپارچه شهری به شکل‌گیری سکونتگاه‌های غیررسمی، کمبود خدمات عمومی و افزایش آلودگی‌ها انجامیده است.

چارچوب نظری آی‌پی‌ای‌تی[1] (IPAT) و نسخه پیشرفته‌تر آن، مدل استیرپِت (STIRPAT)[2]، توضیح می‌دهد که ردپای اکولوژیکی تابعی از جمعیت، سطح رفاه و

1. Impact Population Affluence Technology
2. Stochastic Impacts Regression Population Affluence Technology

فناوری است. شهرنشینی از رهگذر هر سه مؤلفه بر ردپای اکولوژیکی اثر می‌گذارد: نخست با تمرکز جمعیت، دوم با افزایش سرانه مصرف، و سوم با نوع فناوری‌های تولید و دفع پسماند. افزون بر این، فرضیه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی نشان می‌دهد که در مراحل آغازین توسعه، فشار بر محیط زیست افزایش می‌یابد اما پس از عبور از یک آستانه درآمدی یا فناورانه می‌تواند کاهش پیدا کند. شواهد جدید حاکی است که برای ردپای اکولوژیکی، این مسیر می‌تواند غیرخطی و آستانه‌ای باشد؛ به‌ویژه زمانی که انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور معنادار جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند (گالی و همکاران، ۲۰۱۲).

از همین رو، بسیاری از پژوهشگران بر ضرورت گذار به انرژی‌های پاک مانند خورشیدی، بادی و هیدرو تأکید کرده‌اند (پادپری، ۱۴۰۳؛ بنی نعیمه و همکاران، ۱۴۰۳). در کنار آن، راهبرد شهر فشرده در برابر گسترش افقی و توسعه حمل‌ونقل عمومی پاک دو سیاست مکمل برای کاستن از شدت مصرف انرژی و زمین به شمار می‌روند. با وجود این، یارانه سنگین سوخت‌های فسیلی و ضعف استانداردهای ساخت‌وساز در بیشتر کشورهای در حال توسعه همچنان مانعی جدی بر سر راه کاهش ردپای اکولوژیکی شهرهاست.

در این میان، کشورهای در حال توسعه با چالشی دوگانه مواجه‌اند؛ از یک سو نیاز به توسعه اقتصادی و پاسخگویی به نیازهای جمعیتی دارند و از سوی دیگر با تهدیدهای زیست‌محیطی ناشی از شهرنشینی بدون برنامه روبه‌رو هستند. در چنین شرایطی، استفاده هوشمندانه از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر خورشیدی، بادی و هیدروالکتریک می‌تواند نقش مهمی در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، کنترل آلودگی و بهبود کیفیت زندگی شهری ایفا کند (پادپری، ۱۴۰۳؛ بنی نعیمه و همکاران، ۱۴۰۳). تحقق این هدف، مستلزم طراحی سیاست‌های شهری پایدار، توسعه زیرساخت‌های زیست‌محیطی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در مدیریت شهری است؛ تا از طریق رویکردی جامع، پیامدهای منفی زیست‌محیطی ناشی از شهرنشینی کاهش یابد و مسیر حرکت به سوی توسعه پایدار هموار شود.

ردپای اکولوژیکی، که معیاری برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی است، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به دلیل سرعت بالای شهرنشینی، رشد چشمگیری داشته است (عبید و همکاران، ۲۰۲۱). این افزایش عمدتاً ناشی از بهره‌برداری

بی‌رویه از منابع طبیعی، افزایش تولید زباله، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و گسترش آلودگی‌های زیست‌محیطی است (گالی و همکاران، ۲۰۱۲). این پژوهش به تحلیل اثرات شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای در حال توسعه پرداخته و عوامل کلیدی موثر در افزایش این فشار زیست‌محیطی را بررسی می‌کند. همچنین، راهکارها و سیاست‌هایی برای کاهش اثرات منفی ناشی از شهرنشینی و کاهش ردپای اکولوژیکی ارائه می‌دهد (چن و همکاران، ۲۰۱۶).

با در نظر گرفتن رشد سریع جمعیت و تغییرات اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، توجه به ابعاد زیست‌محیطی در فرآیند شهرنشینی امری ضروری به نظر می‌رسد. هدف این پژوهش، بررسی و تحلیل اثرات زیست‌محیطی ناشی از روند شهری‌شدن در این کشورها طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ و ارائه پیشنهادهایی برای کاهش پیامدهای منفی آن است.

۲. پشینه پژوهش

محمدی‌نیا و همکاران (۱۴۰۳) در تحقیق جدید خود به بررسی رابطه غیرخطی بین جهانی شدن، رشد اقتصادی، توسعه مالی و ردپای اکولوژیکی در ایران طی دوره زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۴۰۰ پرداخته‌اند. این تحقیق با استفاده از مدل غیرخطی NARDL نشان داده است که تأثیر شوک‌های مثبت و منفی جهانی شدن و توسعه مالی بر ردپای اکولوژیکی در بلندمدت یکسان نیست و اثرات نوسانات این متغیرها غیرمتقارن نمی‌باشد. در عین حال، اثر شوک‌های مثبت و منفی رشد اقتصادی بر ردپای اکولوژیکی یکسان نبوده و رابطه غیرخطی دارد. به علاوه، نتایج نشان داد که توسعه مالی به‌طور مثبت و معنادار بر ردپای اکولوژیکی تأثیرگذار است، به‌طوری‌که افزایش شاخص توسعه مالی منجر به افزایش مصرف انرژی و مواد اولیه، و درنتیجه افزایش ردپای اکولوژیکی می‌شود.

پارسا شریف و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به تحلیل عوامل مؤثر بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای منتخب آسیا و اروپا در دوره زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ پرداخته‌اند. این پژوهش با استفاده از روش پانل خودبازگشت به بررسی ارتباط کوتاه‌مدت و بلندمدت ردپای اکولوژیکی با متغیرهایی نظیر تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی، درجه باز بودن تجارت و توسعه مالی پرداخت. نتایج نشان داد که مصرف انرژی، توسعه مالی و تولید ناخالص داخلی به طور مثبت با ردپای اکولوژیکی مرتبط هستند، در حالی که باز بودن تجارت و توان دوم تولید ناخالص داخلی رابطه منفی با ردپای اکولوژیکی دارند.

طرازکار و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی مشابه، اثرات رشد اقتصادی، مصرف انرژی، ظرفیت زیستی و آزادسازی تجاری بر ردپای اکولوژیکی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بین ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی رابطه مثبت و میان آزادسازی تجاری و ردپای اکولوژیکی رابطه منفی وجود دارد. همچنین، افزایش مصرف انرژی به افزایش ردپای اکولوژیکی منجر می‌شود. این تحقیق نشان‌دهنده ارتباط N شکل بین رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست در منطقه خاورمیانه است.

دلیری (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی رابطه غیرخطی بین جای پای اکولوژیک و رشد اقتصادی در کشورهای D8 پرداخته است. با استفاده از مدل PSTAR، این تحقیق فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس را برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۶ ارزیابی کرده است. نتایج نشان داد که در سه کشور مالزی، مصر و ترکیه فرضیه کوزنتس تایید شده، در حالی که در سایر کشورهای این گروه، ارتباط به شکل U وارونه نبوده است. در ایران نیز رابطه تولید ناخالص داخلی سرانه و جای پای اکولوژیک به شکل N است.

جعفری و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای برای ایران در سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۴، به بررسی تأثیر آلودگی زیست‌محیطی و مصرف انرژی بر توسعه پایدار و نقش سرمایه انسانی در رشد اقتصادی پرداخته‌اند. این تحقیق با استفاده از مدل گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) نشان داد که سرمایه انسانی در ایران به دلیل عدم توجه به کیفیت آموزش و مشاغل نامرتبط با تحصیلات، نتوانسته است موجب افزایش رشد اقتصادی شود. همچنین، توسعه فناوری‌های کاهنده انرژی به کاهش مصرف انرژی و آلودگی کمک کرده است.

سروار و همکاران[1] (۲۰۲۴) در مطالعه «تأثیر شهرنشینی و توسعه انسانی بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای OECD و غیرOECD با استفاده از داده‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ بررسی کردند که چگونه شهرنشینی، تولید ناخالص داخلی و شاخص توسعه انسانیبا ردپای اکولوژیکی در دو گروه کشور متفاوت مرتبطند. یافته‌ها نشان می‌دهد در کشورهای OECD، شهرنشینی و GDP رشد ردپای اکولوژیکی را افزایش می‌دهد، اما HDI و صنعتی شدن اثر منفی دارند؛ در مقابل، در کشورهای غیر-OECD، GDP و HDI اثر مثبت و شهرنشینی و صنعتی شدن اثر منفی داشته‌اند. این نتایج به تفاوت‌های ساختاری کشورها در رابطه بین شهرنشینی و فشار محیطی اشاره دارد.

1. Sarvar et al

وانگ و فانگ[1] (۲۰۲۱) در پژوهش خود با عنوان "تأثیرات شهرنشینی بر انتشار کربن: یک مطالعه تجربی" به بررسی تأثیرات شهرنشینی بر انتشار کربن پرداخته‌اند. در این پژوهش نشان داده شده است که شهرنشینی از طریق رشد جمعیت شهری، مصرف انرژی نهایی و تغییرات ساختاری در اقتصاد، منجر به افزایش انتشار کربن می‌شود. همچنین، این پژوهش تأکید کرده است که بخش‌های مختلف شهری، مانند ساختمان‌ها و حمل‌ونقل، نقش اساسی در تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. بر اساس این نتایج، مصرف انرژی در بخش‌های مختلف شهری، به‌ویژه در حمل‌ونقل و ساختمان‌ها، نقش مهمی در گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی دارد.

هوورو همکاران[2] (۲۰۲۱) در مقاله خود با عنوان "پیامدهای عدالت زیست‌محیطی در معیارهای مکان‌یابی توسعه زیرساخت‌های شهری" به بررسی عدالت زیست‌محیطی در زیرساخت‌های شهری پرداخته است. او نشان داد که جوامع حاشیه‌ای و کم‌برخوردار بیشتر در معرض آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از آلودگی هوا و دسترسی محدود به منابع طبیعی قرار دارند. این نابرابری‌ها باعث افزایش مشکلات بهداشتی، اقتصادی و اجتماعی در این جوامع می‌شود. به این ترتیب، این پژوهش بر اهمیت توجه به عدالت زیست‌محیطی در طرح‌های شهری تأکید دارد و پیشنهاد می‌کند که برنامه‌ریزی‌های شهری باید به گونه‌ای باشد که جوامع آسیب‌پذیر در نظر گرفته شوند.

روی[3] و همکاران (۲۰۲۰) در گزارش خود تحت عنوان «شهرها و تغییرات اقلیمی» بر نقش حکمرانی مؤثر و سیاست‌های زیست‌محیطی در ایجاد شهرهای پایدار تأکید کرده است. آن‌ها بر سیاست‌هایی مانند کاهش انتشار کربن، توسعه حمل‌ونقل عمومی و مسکن پایدار تأکید داشتند و آن‌ها را به‌عنوان راه‌حل‌هایی برای مقابله با بحران‌های زیست‌محیطی مطرح کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حکمرانی مؤثر و سیاست‌های زیست‌محیطی می‌توانند کیفیت زندگی را در برابر بحران‌های زیست‌محیطی افزایش دهند.

پژوهش حاضر از چند منظر دارای نوآوری مفهومی و روش‌شناختی است که آن را از مطالعات پیشین متمایز می‌سازد. نخست آن‌که برخلاف اغلب مطالعات گذشته که عمدتاً از مدل‌های خطی یا هموار برای بررسی تأثیر شهرنشینی بر متغیرهای زیست‌محیطی استفاده

1. Wang & Fang
2. Hoover et al
3. Revi

کرده‌اند، این مطالعه با بهره‌گیری از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانل (PSTR)، رابطه غیرخطی و آستانه‌ای میان شهرنشینی و ردپای اکولوژیکی را تحلیل می‌کند. این رویکرد امکان شناسایی تغییر تدریجی رفتار متغیر وابسته در سطوح مختلف شهرنشینی را فراهم کرده و می‌تواند نقاط تغییر جهت در اثرگذاری را نمایان سازد؛ موضوعی که در مدل‌های خطی قابل ردیابی نیست.

از سوی دیگر، برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که صرفاً از شاخص‌هایی چون انتشار کربن یا مصرف انرژی به‌عنوان نماینده عملکرد زیست‌محیطی استفاده کرده‌اند، در این تحقیق از شاخص «ردپای اکولوژیکی» بهره گرفته شده است که نمایی جامع‌تر از فشار انسان بر منابع طبیعی ارائه می‌دهد. افزون بر این، ورود متغیرهای تعاملی نظیر ترکیب شهرنشینی و تولید ناخالص داخلی، بررسی نقش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، و تحلیل اثر باز بودن تجاری، بُعد ترکیبی و واقع‌گرایانه‌تری به مدل داده است. این تلفیق نظری و تجربی، چارچوبی نوین برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی در شرایط واقعی کشورهای در حال توسعه فراهم کرده و به‌ویژه برای سیاست‌گذاری شهری و زیست‌محیطی می‌تواند راهگشا باشد.

۳. روش‌شناسی و داده‌ها

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر توسعه شهرنشینی بر عملکرد زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه انجام شده است. دوره زمانی مطالعه از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بوده و داده‌های سالانه در این بازه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این داده‌ها شامل شاخص ردپای اکولوژیکی سرانه (EF) به‌عنوان نمایانگر عملکرد زیست‌محیطی و شاخص شهرنشینی به‌عنوان متغیر آستانه‌ای است. داده‌های مربوط به ردپای اکولوژیکی از شبکه ردپای جهانی (GFN) و اطلاعات مربوط به شهرنشینی و تولید ناخالص داخلی (GDP) از بانک جهانی جمع‌آوری شده‌اند. داده‌های مربوط به تولید انرژی‌های تجدیدپذیر (REP) نیز از آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) استخراج شده‌اند.

برای تحلیل داده‌ها، از مدل پنل تغییرات ملایم انتقال رگرسیون (PSTR) استفاده شده است. این مدل برای ارزیابی تأثیر شهرنشینی بر عملکرد زیست‌محیطی مناسب است، زیرا می‌تواند اثرات غیرخطی و هموار انتقال بین رژیم‌های مختلف را تحلیل کند. این ویژگی امکان شناسایی تغییرات عملکرد زیست‌محیطی در سطوح مختلف شهرنشینی را فراهم می‌کند و به تحلیل دقیق‌تر ارتباطات بین متغیرها کمک می‌کند.

مدل PSTR که توسط گونزالز و همکاران (۲۰۰۵) توسعه داده شده، نسخه‌ای تعمیم‌یافته از مدل آستانه‌ای پنل (PTR) هنسن (۱۹۹۹) است. برخلاف مدل PTR که انتقال بین رژیم‌ها را ناگهانی فرض می‌کند، مدل PSTR این انتقال را هموارتر می‌بیند و به همین دلیل برای تحلیل بسیاری از نظریه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی کاربرد بیشتری دارد.

مدل عمومی PSTR به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_{it}= \mu_i + \beta_0 X_{it} + \beta 1 X_{it} g(q_{it} ; \gamma , c) + u_{it} \quad (۱)$$

در این معادله، Y_{it}، متغیر وابسته (ردپای اکولوژیکی)، X_{it}، متغیر مستقل (سطح شهرنشینی)، μ_i، اثر ثابت فردی، u_{it}، خطای مدل و $g(qit ; \gamma , c)$ تابع انتقال که به متغیر آستانه‌ای q_{it} وابسته است.

تابع انتقال به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g(q_{it} ; \gamma , c) = \frac{1}{1+\exp(-\gamma(qit-c)} \quad (۲)$$

که در آن، q_{it}، لگاریتم طبیعی نرخ شهرنشینی (lnUrb) به‌عنوان متغیر آستانه‌ای، c، پارامتر مکان (آستانه)، γ، پارامتر شیب یا میزان همواری است. این تابع مقادیری بین ۰ و ۱ می‌گیرد و انتقال بین رژیم‌ها را تعیین می‌کند. وقتی γ مقدار بالایی داشته باشد، انتقال بین رژیم‌ها سریع‌تر خواهد بود، و در صورت کاهش مقدار γ، انتقال هموارتر خواهد شد.

تحلیل مدل PSTR شامل سه مرحله زیر است:

۱. آزمون خطی بودن: این آزمون برای بررسی نیاز به استفاده از مدل غیرخطی PSTR انجام می‌شود. فرض صفر (H_0) نشان‌دهنده خطی بودن مدل است. برای آزمون این فرض، از بسط تیلور مرتبه اول استفاده شده و فرضیه خطی بودن با آماره F آزمون می‌شود:

$$F = \frac{(RSS0-RSS1)/m}{RSS1/(n-k)} \quad (۳)$$

که در آن، RSS_0، مجموع مربعات خطاهای مدل خطی، RSS1، مجموع مربعات خطاهای مدل PSTR، m، تعداد پارامترهای فرضیه، n، تعداد مشاهدات، k، تعداد پارامترهای مدل است.

۲. تعیین تعداد رژیم‌ها: پس از رد فرضیه خطی بودن، تعداد رژیم‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی تعیین می‌شود. این فرآیند با آزمون فرضیات متوالی انجام می‌شود، به‌طوری‌که

فرض صفر (H_0: r = k) در برابر فرض مقابل (H_1: r = k) آزمون می‌شود. این روند ادامه می‌یابد تا فرض صفر پذیرفته شود.

۳. برآورد مدل: در این مرحله، اثرات ثابت فردی حذف و مدل با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی (NLS) برآورد می‌شود. ضرایب مدل با استفاده از مقادیر تابع انتقال (g) به تفکیک رژیم‌های مختلف محاسبه و تفسیر می‌شوند.

در مدل PSTR، ضرایب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\beta(_{qit}) = \beta_0 + \beta_1 g(q_{it} ; \gamma , c) \quad (۴)$$

وقتی مقدار تابع انتقال صفر باشد (g = 0)، ضرایب برابر با β_0 هستند، و اگر مقدار تابع انتقال برابر با ۱ باشد (g=1)، ضرایب برابر با $\beta_0 + \beta_1$ خواهند بود. برای مقادیر بین ۰ و ۱، ضرایب میانگین وزنی β_0 و β_1 هستند.

٤. نتایج و بحث

در تحلیل داده‌های پنل، قبل از مراحل برآورد مدل، باید وابستگی مقطعی و مانایی برای تمام سری‌های زمانی پنل بررسی شوند. وابستگی مقطعی به این معنی است که هر شوکی که در یک واحد رخ می‌دهد، می‌تواند بر سایر واحدها نیز تأثیر بگذارد. نادیده گرفتن این همبستگی بین واحدها می‌تواند منجر به نتایج سوگیرانه و ناسازگار شود. بنابراین، به‌عنوان اولین گام تحلیل، باید بررسی شود که آیا وابستگی مقطعی در تمامی سری‌ها وجود دارد یا خیر. پس از آن، مانایی سری‌ها باید با استفاده از آزمون‌های ریشه واحد نسل اول تحت فرض استقلال واحدها بررسی شود؛ در صورتی که این فرض برقرار نباشد، از آزمون‌های ریشه واحد نسل دوم که وابستگی مقطعی را در نظر می‌گیرند، استفاده می‌شود.

در گام اول تحلیل، وجود وابستگی مقطعی با استفاده از آزمون براش پاگان بررسی شد، که برای حالت T>N مناسب‌تر است. فرضیه صفر این آزمون بیان می‌کند که واحدها از یکدیگر مستقل هستند، در حالی که فرضیه مقابل ادعا می‌کند که بین مقاطع وابستگی وجود دارد. مطابق با نتایج ارائه‌شده در جدول ۱، فرضیه صفر در تمام سطوح معنی‌داری معمول برای هر سری و مدل رد شد. این نتیجه نشان می‌دهد که تمام سری‌های پنل به یکدیگر وابسته هستند و وجود وابستگی مقطعی را تأیید می‌کند.

جدول ۱. نتایج آزمون وابستگی مقطعی

متغیرها	آماره براش ـ پاگان	مقدار احتمال
تولید ناخالص داخلی	٦٧	۰/۰۰
شهرنشینی	۱۳۷	۰/۰۰
باز بودن تجاری	٤٥	۰/۰۰
ردپای اکولوژیکی	۸٥	۰/۰۰
سهم انرژی تجدیدپذیر	۳٥	۰/۰۰
مدل	٦۲	۰/۰۰

ماخذ: یافته‌های پژوهش

برای بررسی مانایی سری‌ها، از آزمون ریشه واحد پنل نسل دوم (CIPS) آزمون مقطعاً تقویت‌شده (Im–Pesaran–Shin)، که توسط پسران (۲۰۰۷) توسعه‌یافته و وابستگی مقطعی را لحاظ می‌کند، استفاده شده است. نتایج این آزمون در جدول ۳ ارائه گردیده است. فرضیه اصلی این آزمون بر وجود ریشه واحد دلالت دارد. با مقایسه آماره‌های آزمون با مقادیر بحرانی، فرضیه صفر در تمامی سطوح معنی‌داری به شدت رد شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تمامی متغیرها، هم در مدل با مقدار ثابت و هم در مدل با مقدار ثابت و روند، مانا هستند.

جدول ۲. نتایج آزمون ریشه واحد مقطعی

متغیرها	اماره	مقدار احتمال	سطح	اماره	مقدار احتمال	تفاضل مرتبه اول
تولیدناخالص داخلی	-۲/٥٤	۰/۳٤	نامانا	-٥/۲۸	۰/۰۱	مانا
بازبودن تجاری	-۲/۳۱	۰/٤٤	نامانا	-۳/۹٦	۰/۰۱	مانا
سهم انرژی تجدیدپذیر	-۱/٥٤	۰/۷٦	نامانا	-٥/۲۱	۰/۰۱	مانا
شهرنشینی	-۱/۷۳	۰/٦۸	نامانا	٥/۰۷	۰/۰۱	مانا
ردپای اکولوژی	-۱/۹۲	۰/٦۰	نامانا	-٤/٦۱	۰/۰۱	مانا

ماخذ: یافته‌های پژوهش

براساس نتایج تحلیل وابستگی مقطعی و آزمون ریشه واحد، تصمیم گرفته شد که تحلیل رگرسیون انتقال ملایم پانل برای داده‌ها مناسب است. اولین گام در تحلیل رگرسیون انتقال ملایم، آزمون خطی بودن است. این آزمون همچنین نشان می‌دهد که آیا تغییر رژیم در داده‌ها معنادار است یا خیر. علاوه بر این، مرحله آزمون خطی بودن در تحلیل رگرسیون

انتقال ملایم پانل برای تعیین متغیر انتقال نیز استفاده می‌شود، همان‌طورکه توسط هورلین[1] و کولتاز[2] (۱۴۰) پیشنهاد شده است. این فرآیند برای تمام متغیرهای انتقال احتمالی تکرار می‌شود و متغیری که به طور قوی‌تری فرضیه خطی بودن را رد کند، به‌عنوان متغیر انتقال انتخاب می‌شود. براساس روش‌شناسی رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR)، پس از انجام آزمون مانایی متغیرهای مدل، گام بعدی آزمون خطی بودن در مقابل وجود الگوی رگرسیون انتقال ملایم پانلی است. این آزمون برای بررسی این موضوع انجام می‌شود که آیا رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته در چارچوبی خطی قابل توضیح است یا به الگوی غیرخطی نیاز دارد. فرضیه صفر این آزمون، خطی بودن مدل است؛ به این معنا که اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته در تمامی سطوح یکسان است. در مقابل، فرضیه مقابل نشان‌دهنده وجود رابطه‌ای غیرخطی است که بسته به مقادیر متغیر انتقال تغییر می‌کند.

در این پژوهش، متغیر شهرنشینی به‌عنوان متغیر انتقال (آستانه‌ای) در مدل انتخاب شده است. انتظار می‌رود که تأثیر متغیرهای مستقل بر ردپای اکولوژیکی، به‌عنوان متغیر وابسته، بسته به سطوح مختلف شهرنشینی تغییر کند. به عبارت دیگر، سطوح مختلف شهرنشینی ممکن است رابطه میان متغیرهای مستقل و وابسته را به‌طور قابل‌توجهی تغییر دهد. این تغییرات ممکن است ناشی از تفاوت در بهره‌وری اقتصادی، الگوهای مصرف انرژی یا سیاست‌های محیط زیستی در مراحل مختلف توسعه شهرنشینی باشد.

نتایج آزمون خطی بودن برای دو حالت یک آستانه (m=1) و دو آستانه(m=2) در جدول شماره ۳ ارائه شده است. برای مدل با یک آستانه، تمامی آماره‌های آزمون والد، فیشر و نسبت درست‌نمایی در سطح معناداری ۵ درصد نشان‌دهنده رد فرضیه صفر هستند. این نتایج تأیید می‌کنند که رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته خطی نیست و از یک الگوی غیرخطی تبعیت می‌کند. در این حالت، یک آستانه کافی است تا تغییرات بین دو رژیم را توضیح دهد.

در مقابل، برای مدل با دو آستانه (m = 2)، مقادیر احتمال تمامی آزمون‌ها نشان می‌دهد که افزودن آستانه دوم ضروری نیست. به عبارت دیگر، نتایج بیانگر آن است که مدل با یک آستانه (دو رژیم) بهترین گزینه برای توضیح روابط غیرخطی بین متغیرهاست. این نتیجه، بهینه‌ترین حالت را برای توضیح رفتار غیرخطی روابط بین متغیرها با توجه به داده‌های موجود ارائه می‌دهد.

1. Hurlin
2. Colletaz

جدول ۳. نتایج آزمون غیرخطی بودن

	Test	m = 1 آماره	m = 1 مقدار احتمال	m = 2 آماره	m = 2 مقدار احتمال
H_0: r = 0 H_1: r = 1	Wald Test (LM)	۲۸۰	۰/۰۰	۱۵/۲۰	۰/۱۲
	Fisher Test (LMF)	۸٦	۰/۰۱	۱/۳۵	۰/۸۳
	Likelihood Ratio Test (LRT)	۱۵۱	۰/۰۰	٤/٦۵	۰/٤۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

٤-۲. آزمون نبود رابطه غیرخطی باقیمانده‌ها

پس از اثبات وجود رابطه غیرخطی میان متغیرهای پژوهش، مرحله بعد تعیین تعداد رژیم‌های حدی مورد نیاز برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی میان متغیرها است. این مرحله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا تعداد رژیم‌های حدی میزان پیچیدگی مدل را تعیین کرده و بر دقت آن در توصیف روابط میان متغیرها تأثیر می‌گذارد. براساس روش‌های ارائه‌شده توسط پژوهشگران پیشین، فرضیه صفر بیانگر وجود رابطه غیرخطی با دو رژیم حدی است، در حالی که فرضیه مقابل به بررسی وجود رابطه غیرخطی با سه رژیم حدی می‌پردازد. هدف این آزمون، بررسی ضرورت افزودن یک رژیم حدی جدید به مدل است.

برای آزمون این فرضیه، ابتدا مدل با دو رژیم حدی تخمین زده شد و مقادیر آماره‌های مربوط به آن شامل والد، فیشر و نسبت درست‌نمایی محاسبه شد. سپس، مدل با سه رژیم حدی تخمین زده شده و آماره‌های مشابه محاسبه و در جدول شماره ۴ ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهند که در حالت سه رژیم حدی، مقادیر احتمال تمامی آماره‌ها بزرگ‌تر از سطح خطای پنج درصد هستند. این امر بیانگر آن است که افزودن رژیم حدی سوم به مدل، بهبود معناداری در عملکرد مدل ایجاد نمی‌کند.

جدول ٤. نتایج آزمون عدم باقی‌ماندن غیرخطی‌بودن

	Test	m = 1 آماره	m = 1 مقدار احتمال	m = 2 آماره	m = 2 مقدار احتمال
H_0:r=1 H_1:r=2	Wald Test (LM)	٤/۲٤	۰/۰۳	۳/۷۹	۰/۱۵
	Fisher Test (LMF)	٤/۱۷	۰/۰٤	۱/۸۵	۰/۱۵
	Likelihood Ratio Test (LRT)	٤/۲۸	۰/۰۳	۳/۸۲	۰/۱٤

ماخذ: یافته‌های پژوهش

پس از تعیین تعداد تابع انتقال و حد آستانه بهینه، یک مدل دو رژیمی برآورد شد. این مدل به منظور تحلیل رفتار متغیرها در دو رژیم مختلف طراحی شده است. نتایج این مدل در جدول شماره (۵) ارائه شده است. پارامتر شیب (سرعت انتقال) که بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است، برابر ۰/۱۳۴۲ است. این مقدار نشان‌دهنده شدت و سرعت تغییرات تابع انتقال بین دو رژیم است و بیان می‌کند که انتقال بین رژیم‌ها به صورت تدریجی و با سرعت متوسط صورت می‌گیرد.

علاوه بر این، مکان وقوع تغییر رژیم که نشان‌دهنده نقطه آستانه برای انتقال رفتار متغیرها از رژیم اول به رژیم دوم است، برابر ۵۰ است. این مقدار مشخص می‌کند که تغییرات رفتار متغیرها زمانی رخ می‌دهد که مقدار شاخص جمعیت به این آستانه نزدیک یا از آن عبور کند.

جدول ۵. نتایج برآورد الگو PSTR

متغیر توضیحی	مدل خطی	مدل غیرخطی
عرض از مبدأ	۲/۲۶	۰/۶۳
تولید ناخالص داخلی	۰/۱۶	۳/۲۹
سهم انرژی تجدیدپذیر	-۰/۶۱	-۰/۶۷
شهرنشینی	۱/۳۳	٤/۹۱
بازبودن تجاری	-۰/۲۸	-۰/۰۱
تولید ناخالص داخلی * شهرنشینی	-۰/۲۵	-۰/۳۳

ماخذ: یافته‌های پژوهش

براساس این نتایج، زمانی که مقدار شاخص جمعیت کمتر از ۵۰ باشد، رفتار متغیرها در چارچوب رژیم اول قرار دارد. این رژیم ممکن است نشان‌دهنده شرایط خاصی مانند کاهش تراکم جمعیتی یا رفتارهای اقتصادی و اجتماعی مشخصی باشد. در مقابل، زمانی که مقدار شاخص جمعیت از ۵۰ عبور کند، رفتار متغیرها به رژیم دوم منتقل می‌شود. رژیم دوم ممکن است نشان‌دهنده افزایش جمعیت و تغییرات مرتبط با آن در متغیرهای اقتصادی، اجتماعی یا محیطی باشد.

همچنین، شیب انتقال (γ) که برابر ۰/۱۳۴۲ برآورد شده است، نشان می‌دهد که این انتقال میان دو رژیم به صورت تدریجی و نه ناگهانی رخ می‌دهد. این مقدار نشان‌دهنده سرعت متوسط تغییرات در پاسخ متغیرها به تغییرات جمعیت در اطراف مقدار آستانه است. به عبارت دیگر، تأثیر جمعیت بر رفتار متغیرهای وابسته (مانند شاخص پیچیدگی اقتصادی) به صورت

خطی رخ نمی‌دهد، بلکه به تدریج و با افزایش جمعیت از مقدار آستانه تغییر رفتارها محسوس‌تر می‌شود.

این مدل، ابزاری قدرتمند برای درک بهتر روابط غیرخطی میان جمعیت و سایر متغیرهای اقتصادی و اجتماعی ارائه می‌دهد. تحلیل این روابط می‌تواند به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران در طراحی استراتژی‌های بهینه برای مدیریت تغییرات اقتصادی و اجتماعی کمک کند. به طور خاص، مدل نشان می‌دهد که عبور از مقدار آستانه جمعیت (۵۰) می‌تواند آغازگر رفتارهای جدیدی در سیستم‌های اقتصادی باشد که نیازمند توجه ویژه در سیاست‌گذاری‌ها است.

جدول ٦. نتایج آزمون غیرخطی بودن

نتایج ازمون حطی بودن		
	آماره	احتمال
Wald Test (LM)	٤/٢٤	۰/۰۳
Fisher Test (LMF)	٤/١٧	۰/۰٤
Likelihood Ratio Test (LRT)	٤/٢٨	۰/۰۳
متغبر آستانه	شهرنشینی	
مقدار آستانه	۵۰	

ماخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌های خطی و غیرخطی (PSTR) و با توجه به اینکه ضرایب متغیرها در کشورهای مختلف و در طول زمان ثابت نیستند و با تغییر متغیر انتقال (که در اینجا شاخص شهرنشینی است) و پارامتر شیب، این ضرایب تغییر می‌کنند، مقادیر عددی موجود در جدول شماره (۶) نمی‌توانند به‌طور مستقیم تفسیر شوند. بنابراین، لازم است که تمرکز اصلی بر روی علائم ضرایب باشد و این علائم باید مورد بررسی و تحلیل دقیق قرار گیرند. برای دستیابی به تحلیل شفاف‌تر، دو رژیم حدی اول و دوم در مدل در نظر گرفته شده‌اند.

رژیم حدی اول: در این حالت، پارامتر شیب به سمت منفی بی‌نهایت میل می‌کند و مقدار متغیر انتقال (شاخص شهرنشینی) کمتر از حد آستانه قرار دارد. در این وضعیت، مقدار تابع انتقال برابر صفر می‌شود و مدل به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$Eco = 2.26 + 0.16Gdp - 0.28Open + 1.33Urb - 0.61Ren - 0.25Gdp*Urb \quad (۵)$$

این رژیم نشان‌دهنده شرایطی است که در آن تغییرات اقتصادی تأثیری بر کاهش ردپای اکولوژیکی ندارند و تابع انتقال برابر با صفر است.

رژیم حدی دوم: در این حالت، زمانی که مقدار شاخص شهرنشینی از حد آستانه عبور می‌کند و پارامتر شیب به سمت مثبت بی‌نهایت میل می‌کند، مقدار تابع انتقال به یک می‌رسد. در این رژیم، مدل به صورت زیر است:

$$Eco = 0.63 + 3.29Gdp - 0.01Open + 4.91\ Urb - 0.67Ren - 0.33Gdp*Urb \quad (۶)$$

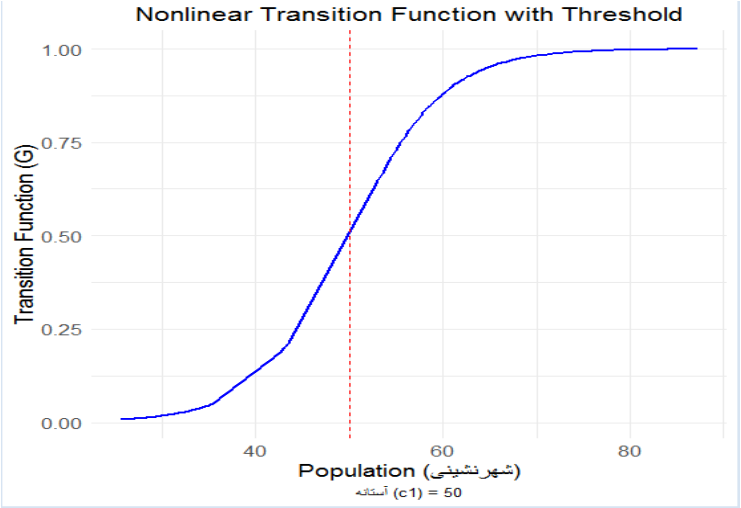
در این رژیم، اثرات شاخص شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی کاملاً مشهود است و مدل نشان می‌دهد که در شرایطی که میزان شهرنشینی از حد آستانه بیشتر می‌شود، تغییرات اقتصادی تأثیر معناداری بر کاهش ردپای اکولوژیکی خواهند داشت.

نتایج مدل‌های دو رژیم نشان می‌دهند که شاخص شهرنشینی در هر دو مدل خطی و غیرخطی اثر منفی بر ردپای اکولوژیکی دارد. به این معنا که افزایش شهرنشینی به کاهش ردپای اکولوژیکی منجر می‌شود. این نشان‌دهنده این است که توسعه شهری و بهبود زیرساخت‌ها، همراه با پیشرفت‌های علمی و مهارتی در نیروی کار، می‌تواند به طور قابل توجهی در کاهش ردپای اکولوژیکی در کشورهای مورد مطالعه نقش داشته باشد.

در شکل (۱)، تابع انتقال غیرخطی به‌عنوان یک تابع Sشکل برای متغیر شهرنشینی نمایش داده شده است که اثر آن بر ردپای اکولوژیکی نشان داده می‌شود. مقدار آستانه که با خط عمودی قرمز نشان داده شده است، مقدار ۵۰ میلیون نفر برای شهرنشینی است. تابع انتقال به‌طور تدریجی از صفر شروع می‌شود و پس از رسیدن به مقدار آستانه (۵۰ میلیون نفر)، به سرعت افزایش می‌یابد و به عدد ۱ نزدیک می‌شود.

در رژیم اول، که مقدار شهرنشینی کمتر از آستانه است، اثر تابع انتقال تقریباً صفر است. به عبارت دیگر، در این مرحله، افزایش در میزان شهرنشینی تأثیر قابل توجهی بر ردپای اکولوژیکی نخواهد داشت. اما پس از عبور از حد آستانه، اثر شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی به‌طور سریع افزایش می‌یابد، که نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه در تعاملات شهری و تأثیرات آن‌ها بر محیط زیست است.

این نمودار نشان‌دهنده اثر غیرخطی شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی است، به‌طوری‌که در ابتدا تغییرات شهرنشینی تأثیرات محدودی دارند، اما پس از عبور از یک حد مشخص (آستانه)، اثرات آن‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. این مدل می‌تواند به ما کمک کند تا درک بهتری از تأثیرات شهرنشینی بر تغییرات زیست‌محیطی و توسعه پایدار به‌دست آوریم، به‌ویژه زمانی که سطح شهرنشینی از حد آستانه عبور کند.



شکل ۱. تابع انتقال و مقدار استانه‌ای

در این مطالعه، شاخص شهرنشینی (Urb) تأثیر منفی بر ردپای اکولوژیکی دارد. این بدان معناست که افزایش شهرنشینی به کاهش ردپای اکولوژیکی منجر می‌شود. این نتایج نشان می‌دهند که رشد و توسعه شهرها به‌طور مستقیم در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی تأثیر دارد، به‌ویژه زمانی که سطح توسعه زیرساخت‌ها و فناوری‌های سبز در مناطق شهری ارتقا پیدا کند.

تولید ناخالص داخلی (GDP) در کشورهای در حال توسعه تأثیر مثبتی بر ردپای اکولوژیکی دارد، به این معنا که با افزایش تولید ناخالص داخلی، احتمالاً میزان مصرف منابع انرژی و گازهای گلخانه‌ای نیز افزایش می‌یابد. فاخر و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود نشان دادند افزایش تولید ناخالص داخلی منجر به تخریب محیط زیست در کشورها در حال توسعه و توسعه‌یافته می‌شود. این امر می‌تواند ناشی از افزایش تولید صنعتی، مصرف بیشتر انرژی‌های فسیلی و گسترش فعالیت‌های اقتصادی در کشورها باشد که به تبع آن تأثیرات منفی بر محیط زیست خواهد داشت.

متغیر باز بودن تجاری (Open) نشان‌دهنده تأثیر منفی بر ردپای اکولوژیکی است. اوکلل[1] و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود در مورد کشورهای در حال توسعه به ارتباط منفی بین باز بودن تجاری و ردپای اکولوریکی در کشورهای در حال توسعه رسیدند. در کشورهای

1. Okelele et al

در حال توسعه، افزایش صادرات ممکن است باعث افزایش استفاده از انرژی‌های فسیلی شود که این خود به افزایش آلودگی و ردپای اکولوژیکی منتهی خواهد شد. در این کشورها که بیشتر از انرژی‌های فسیلی استفاده می‌شود، گسترش تجارت باعث تولید بیشتر گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

متغیر سهم انرژی تجدیدپذیر (REN) در مدل‌های مورد بررسی تأثیر منفی و معنی‌داری بر ردپای اکولوژیکی دارد. این نشان می‌دهد که افزایش سهم انژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی مصرفی می‌تواند به کاهش آلودگی و ردپای اکولوژیکی کمک کند. به عبارت دیگر، تغییر در ساختار مصرف انرژی و جایگزینی منابع انرژی تجدیدپذیر به جای انرژی‌های فسیلی می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی ایفا کند. کریمی خرمی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه خود درخصوص تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر کیفیت محیط زیست در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به این نتیجه رسیدند که در هر دو گروه از کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و بهبود کیفیت محیط زیست می‌شود، با این تفاوت که ضرایب تأثیر متغیرها در کشورهای توسعه‌یافته بزرگتر از کشورهای در حال توسعه است و در این گروه از کشورها، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر بیشتری بر کیفیت محیط زیست دارد.

متغیر تعاملی تولید ناخالص داخلی و شهرنشینی نیز در مدل‌ها بررسی شد. این متغیر نشان می‌دهد که هم‌زمانی رشد تولید ناخالص داخلی و افزایش شهرنشینی می‌تواند اثرات پیچیده‌ای بر کاهش ردپای اکولوژیکی داشته باشد. به عبارت دیگر، در شرایطی که شهرنشینی افزایش می‌یابد و در کنار آن تولید ناخالص داخلی نیز رشد می‌کند، ممکن است اثرات منفی این دو متغیر بر محیط زیست کاهش یابد، به شرطی که این رشد اقتصادی همراه با ارتقاء فناوری‌های سبز و زیرساخت‌های شهری مناسب باشد.

نتایج این مدل‌ها به وضوح نشان می‌دهند که در کشورهای در حال توسعه، تغییرات در شاخص شهرنشینی و ساختار اقتصادی می‌توانند به کاهش ردپای اکولوژیکی منجر شوند. این امر تأکید می‌کند که توجه به توسعه شهری و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، همراه با افزایش زیرساخت‌ها و فناوری‌های سبز، می‌تواند تأثیر قابل توجهی در بهبود وضعیت زیست‌محیطی کشورهای در حال توسعه داشته باشد. ازاین‌رو، سیاست‌گذاران باید به‌طور همزمان بر سیاست‌های زیست‌محیطی، توسعه شهری و استفاده از فناوری‌های نوین در تولید

انرژی تأکید کنند تا روند کاهشی در ردپای اکولوژیکی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه را تسریع کنند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، هدف اصلی بررسی تأثیر شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای در حال توسعه طی سال‌های ۲۰۲۳-۱۹۹۰ می‌باشد. با توجه به تنوع موجود در این کشورها از نظر سطح توسعه اقتصادی، ساختار مصرف انرژی و میزان استفاده از منابع تجدیدپذیر، تأثیرات شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی ممکن است متفاوت باشد. ازاین‌رو، تحلیل اثرات متغیرهایی مانند شاخص شهرنشینی، متغیر باز بودن تجاری، سهم انرژی تجدیدپذیر از کل انرژی مصرفی و متغیر تعاملی تولید ناخالص داخلی و شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌های خطی و غیرخطی (PSTR) و تحلیل تأثیرات شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای در حال توسعه، به وضوح مشاهده می‌شود که تغییرات در شاخص شهرنشینی و ساختار اقتصادی این کشورها تأثیرات متفاوتی بر ردپای اکولوژیکی دارد. این نتایج براساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ و با استفاده از مدل‌های پویای سطح پنل و مدل PSTR به دست آمده است.

در این تحقیق، مدل خطی نشان داد که افزایش شهرنشینی منجر به افزایش مصرف منابع طبیعی و انرژی‌های فسیلی می‌شود و به تبع آن، ردپای اکولوژیکی افزایش می‌یابد. به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه با زیرساخت‌های ضعیف، فشار بر منابع طبیعی ناشی از رشد جمعیت شهری می‌تواند اثرات منفی بر محیط زیست به همراه داشته باشد. این یافته همسو با یافته های پژوهش گالی و همکاران (۲۰۱۲) است که نشان می دهند افزایش شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه موجب افزایش آلودگی و فشار بر منابع طبیعی می‌شود.

با این حال، در مدل غیرخطی (PSTR) مشاهده شد که اثرات شهرنشینی بر رد پای اکولوژیکی در شرایط خاص و با عبور از حد آستانه، تغییرات چشمگیری خواهد داشت. در این مدل، هنگامی که جمعیت شهری از یک حد خاص عبور می‌کند (برای مثال ۵۰ میلیون نفر)، اثرات منفی آن بر محیط زیست کاهش یافته و بهبودهایی در بهره‌وری منابع طبیعی و به‌ویژه در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر مشاهده می‌شود. این یافته نشان می‌دهد که کشورهای در حال توسعه پس از رسیدن به سطح بالای شهرنشینی، می‌توانند از فناوری‌های

سبز و منابع انرژی تجدیدپذیر به‌طور مؤثرتر استفاده کنند که باعث کاهش ردپای اکولوژیکی می‌شود. این تأثیر به‌ویژه در شرایطی مشاهده می‌شود که این کشورها همراه با توسعه شهری، زیرساخت‌ها و فناوری‌های سبز را نیز تقویت می‌کنند.

در کنار این، متغیر باز بودن تجاری نیز نقش مؤثری در مدل‌های خطی و غیرخطی دارد. نتایج نشان می‌دهند که در کشورهای در حال توسعه، افزایش باز بودن تجارت معمولاً با افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی و به تبع آن افزایش ردپای اکولوژیکی همراه است. این افزایش مصرف انرژی، به‌ویژه در بخش‌هایی که بیشتر به انرژی‌های فسیلی وابسته هستند، موجب افزایش آلودگی و گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

همچنین، متغیر سهم انرژی تجدیدپذیر در مدل‌ها تأثیر منفی و معنیداری بر ردپای اکولوژیکی دارد. این نتایج نشان می‌دهند که کشورهای در حال توسعه با جایگزینی منابع انرژی تجدیدپذیر به جای انرژی‌های فسیلی، می‌توانند نقش مؤثری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود وضعیت محیط زیست ایفا کنند. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه می‌تواند اثرات مثبتی بر کاهش ردپای اکولوژیکی داشته باشد.

متغیر تعاملی تولید ناخالص داخلی و شهرنشینی نیز در مدل‌های بررسی‌شده نشان می‌دهد که هم‌زمانی رشد تولید ناخالص داخلی و شهرنشینی می‌تواند اثرات پیچیده‌ای بر کاهش ردپای اکولوژیکی داشته باشد. این اثرات می‌توانند در صورتی که رشد اقتصادی همراه با ارتقاء فناوری‌های سبز و بهبود زیرساخت‌ها باشد، کاهش یابند.

بر مبنای یافته‌های این مطالعه، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران در کشورهای در حال توسعه به منظور کاهش ردپای اکولوژیکی ناشی از شهرنشینی، توسعه زیرساخت‌های شهری را به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کنند که با اصول پایداری زیست‌محیطی همسو باشد. این امر مستلزم آن است که توسعه شهرها همزمان با گسترش حمل‌ونقل عمومی پاک، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، تقویت سیستم‌های بازیافت و مدیریت پسماند صورت گیرد. از سوی دیگر، نتایج پژوهش حاکی از آن است که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر منفی و معناداری بر ردپای اکولوژیکی دارد. بنابراین، گسترش بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، بادی و سایر منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه در مناطقی با ظرفیت جغرافیایی مناسب، باید در اولویت برنامه‌های توسعه‌ای قرار گیرد.

از سوی دیگر، با توجه به آنکه باز بودن تجاری در بسیاری از کشورها منجر به افزایش مصرف انرژی فسیلی شده، ضروری است سیاست‌های تجاری با معیارهای زیست‌محیطی تلفیق شوند. به عبارت دیگر، واردات کالاهای انرژی‌بر و آلاینده باید با محدودیت‌هایی همراه گردد و هم‌زمان، مشوق‌هایی برای صادرات فناوری‌ها و محصولات دوست‌دار محیط زیست طراحی شود. همچنین، پیوند میان رشد اقتصادی و حفاظت محیط زیست باید تقویت شود؛ به این معنا که سیاست‌های رشد اقتصادی بر پایه بهره‌وری انرژی، حمایت از نوآوری‌های سبز، ارتقاء استانداردهای زیست‌محیطی صنایع و اعمال مالیات‌های زیست‌محور تنظیم گردد.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود که نظام‌های پایش و ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی در سطح شهری و ملی تقویت شود تا اثربخشی سیاست‌ها به صورت مستمر ارزیابی شده و در صورت نیاز اصلاحات لازم انجام گیرد. دستیابی به کاهش پایدار در ردپای اکولوژیکی تنها در صورتی ممکن است که سیاست‌های محیط زیستی، تجاری و شهری در قالب یک برنامه‌ریزی کل‌نگر و هماهنگ اجرایی شود و تعامل نهادهای دولتی، بخش خصوصی و جامعه مدنی در این مسیر تداوم یابد.

٦. تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

ORCID

Pouria Mahmoudi https://orcid.org/0009-0001-3144-8102
Amirhossein Anvari https://orcid.org/0009-0005-1585-6439
Ehsan Rasoulinezhad https://orcid.org/0000-0002-7726-1757

۷. منابع

بنی‌نعیمه، سارا. (۱۴۰۳). نوآوری‌های نوین در مدیریت اثرات تغییرات اقلیمی بر آلودگی‌های آب و هوایی استان خوزستان، *سومین کنفرانس بین المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی، نوآوری و تکنولوژی*، شهر بروکسل ـ بلژیک.

پادپری، راضیه؛. (۱۴۰۳). نقش مدیریت زیرساخت های شهری در کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، *بیست و ششمین کنفرانس ملی شهرسازی ،معماری ،عمران و محیط زیست*، خراسان شمالی، ایران.

پارسا شریف، حدیثه؛ امیرنژاد، حمید؛ تسلیمی، مهسا. (۱۴۰۰). بررسی عوامل مؤثر بر ردپای اکولوژیکی کشورهای منتخب آسیا و اروپا، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۱۳(۲)، ۱۷۲-۱۵۵.

جعفری، سعید؛ اسفندیاری، مرضیه؛ پهلوانی، مصیب. (۱۳۹۹). نقش سرمایه انسانی در رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی در راستای توسعه پایدار در ایران، مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۹(۳۴)، ۱۰۷-۷۷.

دلیری، حسن. (۱۳۹۹). ارتباط بین جای پای اکولوژیک و رشد اقتصادی در کشورهای D8: آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس با استفاده از مدل PSTR، تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، ۱۱(۳۹)، ۱۱۱-۸۱.

ساعدپناه، مهین؛ امان‌اللهی، جمیل؛ قربانی، فرشید. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دمای سطح زمین در مناطق سرد و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان سنندج)، نشریه محیط زیست طبیعی, ۷۴(۱)، ۸۹-۶۹.

طرازکار، محمدحسن؛ کارگر ده‌بیدی، نوید؛ اسفنجاری کناری، رضا؛ قربانیان، عفت. (۱۳۹۹). اثر رشد اقتصادی بر تخریب محیط زیست در منطقه خاورمیانه: کاربرد ردپای اکولوژیکی، منابع طبیعی ایران، ۷۳(۱)، ۹۰-۷۷.

فاخر، حسینعلی؛ عابدی، زهرا؛ شایگانی، بیتا. (۱۳۹۷). بررسی رابطه باز بودن تجاری و مالی با ردپای اکولوژیکی، فصلنامه مدلسازی اقتصادی، سال یازدهم، شماره ۴، ۴۹-۶۷.

فرحی، هادی؛ درویشی، هادی. (۱۳۹۸). بررسی اثر جهانی‌شدن بر رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه. *دومین کنفرانس بین‌المللی تحولات نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری، تهران.*

فقه‌مجیدی، علی؛ صمدی‌پور، شهال؛ سالمی، فریبا. (۱۳۹۸). تأثیر جهانی شدن بر رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه، فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان، شماره ۲۵، ۴۵-۳۰.

کریمی خرُمی، اصغر؛ فرهمند، محمدرضا؛ زمانی، محمدرضا. (۱۴۰۱). تحلیل تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر کیفیت محیط‌زیست با توجه به نقش سرمایه انسانی. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۸(۷۵)، ۲۴۴-۲۲۹.

محمدی‌نیا، مریم؛ عباسی، غلامرضا؛ باصری، بیژن؛ رحیمی، رضا. (۱۴۰۳). بررسی رابطه غیرخطی مابین جهانی شدن، رشد اقتصادی، توسعه مالی و رد پای اکولوژیکی در ایران. فصلنامه اقتصاد مالی، ۱۸(۶۸)، ۲۸۰-۲۶۱.

محمودی‌مقداد، علی؛ دامن‌کشیده، مرجان؛ نصابیان، شهریار. (۱۴۰۰). اثرات شاخص اقتصاد دانش‌بنیان بر رشد اقتصادی کشورهای اسلامی: مدل آزمون باروسالای مارتین، فصلنامه اقتصاد مالی، دوره ۱۵(۵۶)، ۲۴۱-۲۱۷.

References

Abid, A., Majeed, M. T., & Luni, T. (2021). Analyzing ecological footprint through the lens of globalization, financial development, natural resources, human capital and urbanization. Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences, 15(4), 765-795.

Alessandro Galli, Thomas Wiedmann, Ertug Ercin, Doris Knoblauch, Brad Ewing, & Stefan Giljum. (2012). Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. Ecological Indicators, 16, 100-112.

Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data* (3rd ed.). John Wiley and Sons.

Baltagi, B. H. (2008). *Econometric analysis of panel data*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.

Bani-Naimeh, S. (2024). New innovations in managing the impacts of climate change on air and water pollution in Khuzestan Province. The 3rd International Conference on Recent Advances in Engineering, Innovation and Technology, Brussels, Belgium. [in Persian]

Barro, R. J., & Lee, W. (1993). International comparisons of educational attainment. *Journal of Monetary Economics*, 32, 361-394.

Chen, S.-T., & Chang, H.-T. (2016). Factors that affect the ecological footprint depending on the different income levels. AIMS Energy, 4(4), 557-573.

Colletaz, G., & Hurlin, C. (2006). Threshold Effects in the Public Capital Productivity: An International Panel Smooth Transition Approach (LEO Working Paper No. 1669). Laboratoire d'Économie d'Orléans. (econpapers.repec.org)

Deliri, H. (2020). The relationship between ecological footprint and economic growth in D8 countries: Testing the environmental Kuznets hypothesis using the PSTR model. Economic Modeling Research, 11(39), 81-111. [in Persian]

Fagh-Majidi, A., Samadipour, S., & Salemi, F. (2019). The impact of globalization on the economic growth of developing countries. Strategic and Macro-Policy Journal, 25, 30-45. [in Persian]

Fakhr, H., Abedi, Z., & Shaygani, B. (2018). Investigating the relationship between trade and financial openness with ecological footprint. Quarterly Journal of Economic Modeling, 11(4), 49-67. [in Persian]

Farahi, H., & Darvishi, H. (2019). Investigating the effect of globalization on economic growth in developing countries. The 2nd International Conference on New Developments in Management, Economics, and Accounting, Tehran. [in Persian]

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., & Giljum, S. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a "footprint

family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. Ecological Indicators, 16, 100-112.

Hoover, F. A. (2021). Environmental justice implications of siting criteria in urban infrastructure development. Environmental Justice, 14(4), 149-162.

Jafari, S., Esfandiari, M., & Pahlavani, M. (2020). The role of human capital in economic growth, energy consumption, and environmental pollution toward sustainable development in Iran. Applied Economics Studies of Iran, 9(34), 77-107. [in Persian]

Karimi-Khorrami, A., Farahmand, M. R., & Zamani, M. (2022). Analyzing the impact of renewable energy consumption on environmental quality considering the role of human capital. Energy Economics Studies Quarterly, 18(75), 229-244. [in Persian]

Mahmoudi-Moghadam, A., Daman-Keshideh, M., & Nasabian, Sh. (2021). The effects of the knowledge-based economy index on economic growth in Islamic countries: Barro-Sala-i-Martin test model. Financial Economics Quarterly, 15(56), 217-241. [in Persian]

Mohammadinia, M., Abbasi, Gh., Baseri, B., & Rahimi, R. (2024). Nonlinear relationship between globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint in Iran (1981–2021). Financial Economics Quarterly, 18(68), 261-280. [in Persian]

OECD & European Union. (2020). Cities in the World: A new perspective on urbanisation. OECD Publishing.

Okelele, D. O., Lokina, R., & Ruhinduka, R. D. (2022). Effect of trade openness on ecological footprint in sub-Saharan Africa. African Journal of Economic Review, 10 (1), 209-233.

Organisation for Economic Co operation and Development. (2020). Cities in the World: A new perspective on urbanisation (OECD / EU 2020). OECD Publishing.

Padpari, R. (2024). The role of urban infrastructure management in reducing the effects of climate change. The 26th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil.

Parsa-Sharif, H., Amirnejad, H., & Taslimi, M. (2021). Investigation of factors affecting the ecological footprint of selected Asian and European countries. Agricultural Economics Research, 13(2), 155-172. [in Persian]

Revi, A., Roberts, D., Klaus, I., Bazaz, A., Krishnaswamy, J., Singh,(2022). The Summary for Urban Policymakers of the IPCC's Sixth Assessment Report. Indian Institute for Human Settlements.

Saedpanah, M., Amanollahi-Jamil, & Ghorbani, F. (2021). Investigating the effect of land-use changes on land surface temperature in cold and semi-arid regions (Case study: Central district of Sanandaj). Natural Environment Journal, 74(1), 69-82. [in Persian]

Sarwar, N., Bibi, F. U. N., Junaid, A., & Alvi, S. (2024). Impact of urbanization and human development on ecological footprints in OECD and non‐OECD countries. Heliyon, 10(19), e38058.

Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon storage. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(40), 16083 -16088.

Tarazkar, M. H., Karegar-Dehbidi, N., Esfanjari-Kenari, R., & Ghorbanian, A. (2020). The effect of economic growth on environmental degradation in the Middle East region: Application of ecological footprint. Natural Resources of Iran, 73(1), 77-90. [in Persian]

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). World urbanization prospects: The 2018 revision (ST/ESA/SER.A/420).

Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth*. New Society Publishers. 176 pages.

Wang, W. Z., & Fang, L. (2021). Impacts of urbanization on carbon emissions: An empirical study. Energy Policy, 151(C): 1-15.

استناد به این مقاله: محمودی، پوریا؛ انواری، امیرحسین؛ رسولی‌نژاد، احسان. (۱۳۹۹). بررسی اثرات شهرنشینی بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای در حال توسعه: الگوی رگرسیون انتقال ملایم، فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، ۱۰(۴)، صفحات ۱۶۳-۱۸۹.

Journal of Environmental and Natural Resource Economics licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.