

بررسی ارتباط بین تولید ناخالص داخلی و رد پای اکولوژیکی به عنوان شاخص تخریب محیط زیست

مرتضی مولائی^{۱*}، احسان بشارت^۲

۱. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه ارومیه، Morteza.Molaei@gmail.com

۲. کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه ارومیه، Ehsan.Basharat67@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۱۴

چکیده

رد پای اکولوژیکی ابزار مفیدی است که می توان با استفاده از آن فشار وارد شده بر اکولوژی و محیط زیست را به اطلاع عموم جامعه رساند. همچنین، با اندازه گیری آن، سیاست گذاران می توانند برنامه های لازم را برای کاهش این فشار طراحی و اجرا کنند. به منظور اندازه گیری آثار بالقوه فعالیت ها و سیاست های آتی برنامه های توسعه بر محیط زیست، لازم است که به مطالعه ارتباط کوتاه مدت و بلندمدت رد پای اکولوژیکی و توسعه اقتصادی پرداخته شود. هدف از این مطالعه بررسی رابطه بلندمدت و کوتاه مدت تولید ناخالص داخلی سرانه و رد پای اکولوژیکی سرانه در ایران در بازه زمانی ۱۹۶۵ - ۲۰۱۱ است؛ بدین منظور از مدل خودرگرسیون با وقفه های توزیعی گسترده استفاده شد. نتایج نشان می دهد افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه هم در کوتاه مدت هم در بلندمدت تأثیر مثبتی بر رد پای اکولوژیکی سرانه دارد. ضریب تصحیح خطای به دست آمده در این مدل نشان می دهد که ۷۳ درصد از عدم تعادل رد پای اکولوژیکی سرانه تعدیل می شود و به سمت روند بلندمدت خود نزدیک می شود.

طبقه بندی JEL: Q01، Q56

واژه های کلیدی: بلندمدت، توسعه اقتصادی، رد پای اکولوژیکی، کوتاه مدت، ARDL.

مقدمه

در دهه‌های گذشته، به بررسی ارتباط بین رشد اقتصادی و تأثیرات زیست‌محیطی آن توجه بسیاری شده است. در این توجه‌ها تمرکز بر این بوده که آیا با افزایش رشد اقتصادی فشار بر محیط زیست و، در نتیجه، تخریب آن افزایش یافته یا کاهش یافته است. چنانچه در سطوح پایین درآمد رابطه‌ای مثبت بین رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست و در سطوح بالای درآمد رابطه‌ای منفی بین رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست وجود داشته باشد، ارتباط بین رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست به شکل U وارون درمی‌آید که به آن منحنی کوزنتس زیست‌محیطی^۱ (EKC) می‌گویند. طرفداران محیط زیست بر آن‌اند که به منظور حفظ محیط زیست رشد اقتصادی باید کند شود؛ در حالی که طرفداران رشد اقتصادی بر آن‌اند که رشد اقتصادی می‌تواند با حفظ محیط زیست نیز همراه باشد.

در مطالعات مختلفی به آزمون فرضیه EKC پرداخته شده است. برخی از این مطالعات فرضیه EKC را تأیید (بکرمن^۲، ۱۹۹۲؛ مکفرسون و نیزویادومی^۳، ۲۰۰۵؛ لیو و همکاران^۴، ۲۰۰۷؛ سلیمی فر و دهنوی، ۱۳۸۸؛ مهرآرا و همکاران، ۱۳۹۱؛ حسینی‌نسب و پایکاری، ۱۳۹۱؛ صادقی و صادقی، ۱۳۹۲) و برخی دیگر آن را رد کرده‌اند (روتمن^۵، ۱۹۹۸؛ رومرو-آلیوا^۶، ۲۰۰۸؛ کیرلسلی و ریدل^۷، ۲۰۱۰).

شاخص‌های مختلفی از جمله آلودگی هوا، آلودگی آب، جنگل‌زدایی، دی‌اکسید کربن، حفظ تنوع زیستی و رد پای اکولوژیکی می‌توانند شاخص تخریب محیط زیست در نظر گرفته شوند. اما، شاخص تخریب محیط زیست در اغلب مطالعات داخل کشور میزان انتشار دی‌اکسید کربن است (مولایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ حسینی‌نسب و پایکاری، ۱۳۹۱؛ صادقی و صادقی، ۱۳۹۲). اساس همه مطالعات آزمون فرضیه EKC برآزش آلودگی سرانه روی درآمد ناخالص داخلی سرانه و توان دوم آن بوده است.

-
1. Environmental Kuznets Curve
 2. Beckerman
 3. McPherson & Nieswiadomy
 4. Liu et al.
 5. Rothman
 6. Romero-Avila
 7. Kearsley & Riddel

در این مطالعه ارتباط بین رد پای اکولوژیکی و رشد اقتصادی در قالب فرضیه EKC بررسی و آزمون شد. رد پای اکولوژیکی به دلایلی برای این بررسی انتخاب شد: ۱. شاخص‌های دیگر تخریب محیط زیست (مثل جنگل‌زدایی، آلودگی آب و سایر شاخص‌هایی که در بالا ذکر شد) فقط جزء کوچکی از تخریب محیط زیست‌اند؛ در حالی که رد پای اکولوژیکی به نسبت شاخص جامع‌تری است؛ ۲. رد پای اکولوژیکی شاخصی از پایداری است (نیکمپ^۱ و همکاران، ۲۰۰۴)؛ ۳. رد پای اکولوژیکی شاخصی از کارایی اکولوژیکی است (ویدمن^۲ و همکاران، ۲۰۰۶).

مرور ادبیات موضوع در داخل کشور حاکی از آن است که در مطالعه‌ای ارتباط بین رشد اقتصادی و رد پای اکولوژیکی بررسی نشده است. اما، در خارج از کشور مطالعات مختلفی در این زمینه انجام یافته است. در مطالعه‌ای واکرناگل^۳ و همکاران (۱۹۹۷) رد پای اکولوژیکی را برای ۵۲ کشور، که ۸۰ درصد جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند، محاسبه کردند. آن‌ها همچنین بررسی کردند که چه مقدار از مصارف این کشورها می‌تواند به وسیله منابع اکولوژیکی محلی‌شان تأمین شود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که انسان‌ها به اندازه ۳۳ درصد بیشتر از مقدار بازتولید طبیعت مصرف می‌کنند. در مطالعه‌ای دیگر، باگلیانی^۴ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های سری زمانی رد پای اکولوژیکی (۱۹۶۱ - ۲۰۰۶) برای ۱۴۱ کشور درباره فرض EKC به مطالعه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش درآمد نرخ رشد رد پای اکولوژیکی به کندی کاهش می‌یابد، ولی هیچ‌وقت متوقف نمی‌شود. هرویوکس و دارنه^۵ (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای فرض EKC را برای رد پای اکولوژیکی، به منزله شاخصی برای تخریب محیط زیست تجزیه و تحلیل کردند. وانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از رهیافت اقتصادسنجی فضایی فرض EKC را در سطح جهانی بررسی کردند. نتایج نشان داد فرضیه U وارون شکل منحنی کوزنتس زیست‌محیطی برقرار است. با توجه به اهمیت

-
1. Nijkamp
 2. Wiedmann
 3. Wackernagel
 4. Bagliani
 5. Hervieux & Darné
 6. Wang

موضوع، ارزیابی مستمر منابع با استفاده از رهیافت‌ها و ابزارهای توسعه پایدار از جمله روش رد پای اکولوژیکی می‌تواند راهکار مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های آینده در جهت کاهش فشارهای محیطی و تأمین نیازهای مصرفی به صورت صحیح باشد. در این مطالعه تلاش می‌شود در چارچوب یک الگوی نظری- تجربی اقتصادی به بررسی ارتباط بلندمدت و کوتاه‌مدت تولید ناخالص داخلی سرانه و رد پای اکولوژیکی سرانه در ایران پرداخته شود.

مفهوم و مبانی نظری- تجربی رد پای اکولوژیکی

رد پای اکولوژیکی شاخصی است که نرخ مصرف منابع و تولید ضایعات توسط انسان را با نرخ بازتولید منابع و دفع ضایعات توسط زیست‌کره مقایسه می‌کند، که بر اساس مقدار زمین مورد نیاز برای نگه‌داشتن این چرخه تعریف می‌شود. رد پای اکولوژیکی مقدار فضای بیولوژیکی مورد نیاز برای تولید منابع و دفع ضایعات ایجادشده یک جمعیت، سازمان یا فعالیت را با توجه به سیستم مدیریتی و تکنولوژیکی موجود نشان می‌دهد (مانفردا^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

در واقع، رد پای اکولوژیکی نشان می‌دهد که چه مقدار آب و زمین‌های حاصل‌خیز استفاده می‌شود تا منابع مصرفی مورد نیاز انسان‌ها تولید و همچنین ضایعات حاصل از آن دفع شود. بدین ترتیب، رد پای اکولوژیکی در جست‌وجوی برقراری ارتباط بین منابع طبیعی و تقاضای انسان‌ها از آن برای تأمین کالا، خدمات و اراضی است.

اساس شاخص رد پای اکولوژیکی شامل چندین کارکرد ویژه در نواحی تولید زیستی، مانند زمین کشاورزی، جنگل، مرتع، زمین ساخته‌شده و پهنه‌های آبی، است. یک مفهوم کلیدی در محاسبه رد پای اکولوژیکی به‌کاربردن یک واحد یکسان (هکتار) در سطح جهانی است. بدین ترتیب، مقایسه نواحی مورد مطالعه با نواحی دیگر در سطح جهانی آسان است. شاخص رد پای اکولوژیکی پیش‌درآمد برنامه‌ریزی و یکی از ابزارهای مهم و کارآمد آن است، که به تحقق پایداری کمک می‌کند (صرافی، ۱۳۷۹).

واکرناگل و ریس^۱ (۱۹۹۶) مفهوم رد پای اکولوژیکی را بیان کردند. آن‌ها تلاش کردند، با ارائه نتایج عقلایی، مجموع تقاضای اکولوژیکی برای افراد جامعه محاسبه شود. رد پای اکولوژیکی نشان می‌دهد که لازمه استفاده از منابع و دفع ضایعات به وسیله جمعیت در سطح زمین استفاده از الگوهای توسعه پایدار است. به عبارت دیگر، از آنجا که رد پای اکولوژیکی تخریب بالقوه سرمایه‌های طبیعی (نه تخریب واقعی) را اندازه‌گیری می‌کند، می‌تواند شاخصی برای تهدید پایداری تلقی شود (یوگن^۲ و همکاران، ۲۰۱۰).

رد پای اکولوژیکی از دو منظر می‌تواند شاخص پایداری محسوب شود: ۱. رد پای اکولوژیکی هزینه اکولوژیکی تأمین کلیه کالاها و خدمات مصرفی انسان را محاسبه می‌کند و نشان می‌دهد که مردم نه تنها به طور مستقیم برای تولیدات کشاورزی، احداث جاده‌ها، ساختمان‌سازی و سایر فعالیت‌ها به زمین نیاز دارند، بلکه به طور غیرمستقیم نیز کالاها و خدمات مورد نیاز انسان‌ها از زمین تأمین می‌شود؛ ۲. تعبیر رد پای اکولوژیکی به عنوان شاخص پایداری به معرفی ایده ظرفیت برد^۳ منجر شده است. ظرفیت برد عبارت است از: حداکثر جمعیتی که زمین می‌تواند نیازهای آن‌ها را به طور نامحدود تأمین کند (ریس، ۲۰۰۶). ظرفیت برد در مورد گمانه‌زنی درباره امکانات و محدودیت‌های تأمین نیازهای بشر در آینده بحث می‌کند؛ در حالی که رد پای اکولوژیکی ارزیابی‌های تجربی تخریب‌های رخ داده در گذشته را مد نظر دارد.

متدولوژی و تصریح مدل

پسران و شین^۴ در سال ۱۹۹۹ الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی محدود^۵ (ARDL) را معرفی کردند. پسران^۶ و همکاران در سال ۲۰۰۱ این الگو را توسعه دادند (پسران و همکاران، ۲۰۰۱). برخلاف روش جوهانسن (که برای بررسی هم‌انباشتگی بین متغیرها استفاده می‌شود) که همه متغیرهای موجود در مدل باید $I(1)$ باشند، در این مدل متغیرها می‌توانند $I(0)$ یا $I(1)$ باشند. این روش مزایایی از قبیل درون‌ز بودن همه متغیرهای موجود

-
1. Rees
 2. Eugene
 3. carrying capacity
 4. Pesaran & Shin
 5. Autoregressive Distributed Lag model
 6. Pesaran

در مدل، قابلیت استفاده از آن بدون توجه به $I(0)$ یا $I(1)$ بودن متغیرها و برآورد هم‌زمان ضرایب کوتاه‌مدت و بلندمدت را دارد و باعث می‌شود برآوردهای سازگاری از ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت به دست آید. با یک تغییر در ARDL می‌توان مدل تصحیح خطای پویا را به دست آورد. از این الگو برای بررسی وجود یا فقدان ارتباط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین متغیرها استفاده می‌شود. در حالت کلی، ARDL به صورت معادله زیر است:

$$\alpha(L, P)Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_i(L, P)X_{it} + \theta W_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

که

$$\alpha(L, P) = 1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p \quad (2)$$

$$\beta_i(L, q_i) = \beta_i - \beta_{i1} L - \beta_{i2} L^2 + \dots + \beta_{iq_i} L^{q_i} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

در معادله فوق Y_t متغیر وابسته، α جزء ثابت، L عملگر وقفه و W_t بردار متغیرهای قطعی (عرض از مبدأ، روندهای زمانی یا متغیرهای برون‌زا با وقفه ثابت) است. در معادله فوق، ضرایب بلندمدت به صورت معادله ۴ محاسبه می‌شود:

$$\Pi = \frac{\theta(\hat{p}, \hat{q}_1, \hat{q}_2, \dots, \hat{q}_k)}{1 - \hat{a}_1 - \hat{a}_2 - \dots - \hat{a}_p} \quad (4)$$

در معادله ۴، $\theta(\hat{p}, \hat{q}_1, \hat{q}_2, \dots, \hat{q}_k)$ تخمین‌های حداقل مربعات معمولی برای کلیه ترکیبات ممکن مقادیر P را در معادله ۱ برای مدل ARDL انتخابی معرفی می‌کند. مدل تصحیح خطا (ECM) مرتبط با $\text{ARDL}(\hat{p}, \hat{q}_1, \hat{q}_2, \dots, \hat{q}_k)$ با نوشتن معادله ۱ بر حسب سطوح وقفه داده‌شده و تفاضل مرتبه اول متغیرهای Y_t ، X_{1t} ، X_{2t} ، \dots ، X_{kt} و W_t به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \Delta Y_t &= \Delta \alpha - \alpha(1, \hat{P})ECM_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta X_{it} + \theta \Delta W_{t-j} \\ &= 1P - \alpha_j \Delta Y_{t-j-i} = 1K_j = 1q - 1\beta_{ij} \Delta X_{i,t-j} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (5)$$

ECM مدل تصحیح خطاست و به صورت معادله ۶ تعریف می‌شود:

$$ECM_t = Y_t - \alpha - \sum \hat{\beta}_i X_{it} - \hat{\theta} W_t \quad (۶)$$

در معادله ۶، X_t برداری K بعدی از متغیرهای حرکت^۱ و ε_t بردار جزء خطای تصادفی با میانگین صفر و واریانس ثابت است. ضریب تصحیح خطا میزان تعدیل از روند کوتاه‌مدت به روند بلندمدت را نشان می‌دهد.

رویکرد ARDL شامل دو مرحله برای تخمین روابط بلندمدت است: مرحله اول، بررسی وجود رابطه بلندمدت در میان همه متغیرهای موجود در معادله است. پس از اطمینان از وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها، در مرحله دوم ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت تخمین زده می‌شود.

مدل تصحیح خطا به صورت معادله ۷ است:

$$\Delta EF_t = \alpha_1 + \alpha_2 t + \alpha_{EF} EF_{t-1} + \alpha_{GDP} GDP_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta EF_{t-i} + \sum_{j=1}^q \alpha_j \Delta GDP_{t-j} + \mu_t \quad (۷)$$

که در معادله ۷، α_{EF} و α_{GDP} ضرایب بلندمدت و α_i و α_j ضرایب کوتاه‌مدت را نشان می‌دهند. در مرحله اول از روابط مذکور به منظور اجرای آزمون F برای بررسی وجود رابطه بلندمدت میان متغیرها استفاده می‌شود. آماره F آزمون این مسئله است که همه ضرایب وقفه‌های سطح متغیر برابر صفرند. به عبارت دیگر، در این آزمون فرضیه صفر و آلترناتیو آن به صورت زیر است:

$$\begin{cases} H_0: \alpha_{EF} = \alpha_{GDP} = 0 \\ H_1: \alpha_{EF} \neq \alpha_{GDP} \neq 0 \end{cases}$$

دو مقدار بحرانی F وقتی که متغیرهای مستقل $I(d)$ هستند؛ به طوری که $0 \leq d \leq 1$ باشد، شرایط آزمون هم‌انباشته را فراهم می‌کند. ارزش پایین‌تر فرض می‌کند متغیرها $I(0)$ هستند و ارزش بالاتر فرض می‌کند که رگرسورها $I(1)$ هستند. اگر آماره F محاسباتی از حد بالای مقدار بحرانی بزرگ‌تر باشد، فرضیه صفر، یعنی فقدان رابطه بلندمدت، رد می‌شود. ولی اگر آماره آزمون کوچک‌تر از حد پایین مقدار بحرانی باشد، فرضیه صفر یا فقدان رابطه بلندمدت را نمی‌توان رد کرد. نهایتاً، اگر آماره بین حد بالا و

1. forcing variables

حد پایین ارزش‌های بحرانی قرار بگیرد، نتیجه غیرقطعی است. در مرحله دوم، چنانچه وجود هم‌انباشتگی تأیید شود، مدل ARDL شرطی (p,q) بلندمدت برای EF_t به ترتیب می‌تواند به صورت معادله ۸ برآورد شود:

$$EF_t = \alpha_1 + \alpha_T T + \sum_{i=1}^p \alpha_i EF_{t-i} + \sum_{j=1}^q \alpha_j GDP_{t-j} + \mu_t \quad (8)$$

در این مدل مقادیر p و q با استفاده از معیار شوارتز-بیزین (SBC) انتخاب می‌شود. در مرحله سوم و آخر، پارامترهای پویای کوتاه‌مدت به وسیله برآورد یک مدل تصحیح خطای مرتبط با تخمین‌های بلندمدت به دست می‌آید. مدل تجربی تصحیح خطای این مطالعه به صورت معادله ۹ است:

$$\Delta EF_t = \delta_1 + \delta_t t + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta EF_{t-i} + \sum_{j=1}^q \delta_j \Delta GDP_{t-j} + \theta ECM_{t-1} + \mu_t \quad (9)$$

که در آن δ_i و δ_j ضرایب پویای کوتاه‌مدت هم‌گرایی مدل به بلندمدت و θ ضریب سرعت تعدیل است.

داده‌های تحقیق

داده‌های سری زمانی به کار گرفته شده در این مطالعه شامل داده‌های رد پای اکولوژیک سرانه (EF) و تولید ناخالص داخلی سرانه (GDP) ایران برای دوره زمانی ۱۹۶۵ - ۲۰۱۱ است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از گزارش‌های سالانه شبکه جهانی رد پای^۱، سایت سیاره زنده^۲ و سایت بانک جهانی^۳ گرفته شده است. همان طور که شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد، در دوره مورد نظر رد پای اکولوژیکی و درآمد ناخالص داخلی سرانه نوساناتی داشته‌اند، اما هر دوی این متغیرها روند افزایشی را طی کرده‌اند. حداقل و حداکثر مقدار رد پای اکولوژیکی به ترتیب برابر با یک و ۲/۹ هکتار برای هر نفر و میانگین آن ۱/۰۸ هکتار برای هر نفر بوده است. همچنین، حداقل، حداکثر و متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه به ترتیب برابر با ۱۳۹۶/۰۳، ۳۳۱۶/۳۱ و ۲۳۱۲/۶۸ دلار برای هر نفر است.

-
1. Global Footprint Network
 2. Living Planet
 3. World Bank

برآورد الگوی تجربی

ارتباط بین رد پای اکولوژیکی و درآمد ناخالص داخلی سرانه می‌تواند به صورت خطی یا درجه دوم تصریح شود. از آنجا که هدف از این مطالعه بررسی ارتباط بلندمدت و کوتاه‌مدت این متغیرهاست، که از طریق الگوی ARDL امکان‌پذیر است، ارتباط خطی پویا^۱ بین آن‌ها فرض شد. در این بخش نخست ایستایی متغیرها سپس نتایج برآورد الگوها برای سه رابطه پویا، بلندمدت و کوتاه‌مدت صورت پذیرفت که نتایج آن‌ها در ادامه آمده است.

بررسی ایستایی متغیرها

پیش از برآورد مدل، باید آزمون ایستایی برای همه متغیرها انجام شود تا اطمینان حاصل شود که هیچ یک از متغیرها انباشته^۲ از مرتبه دو، یعنی $I(2)$ ، نیستند و بدین وسیله از نتایج ساختگی اجتناب شود. هنگام وجود متغیرهای $I(2)$ در مدل، آماره‌های F و W اعتمادناپذیرند، زیرا این آزمون‌ها مبتنی بر این فرض‌اند که همه متغیرهای موجود در مدل $I(0)$ یا $I(1)$ هستند (پسران و همکاران، ۲۰۰۱)؛ در نتیجه، ضروری است آزمون ایستایی برای اطمینان از نبود متغیرهای $I(2)$ در مدل انجام شود.

روش‌های گوناگونی برای اجرای آزمون ریشه واحد وجود دارد؛ به وسیله این روش‌ها می‌توان ایستایی متغیرها را بررسی کرد. در این مطالعه از آزمون دیکی-فولر تعمیم‌یافته (ADF) استفاده شده است. ولی، پیش از آزمون‌های ریشه واحد، برای اطمینان از نوع معادله آزمون ADF، تجزیه و تحلیل نموداری داده‌های سری زمانی مفید است. با بررسی این نمودارها می‌توان تعیین کرد که در معادلات مورد استفاده برای آزمون ایستایی سری‌های زمانی، معادله بدون عرض از مبدأ و جزء روند باشد یا شامل عرض از مبدأ ولی بدون روند یا شامل هر دو جزء عرض از مبدأ و روند باشد (گرین^۳، ۲۰۱۱).

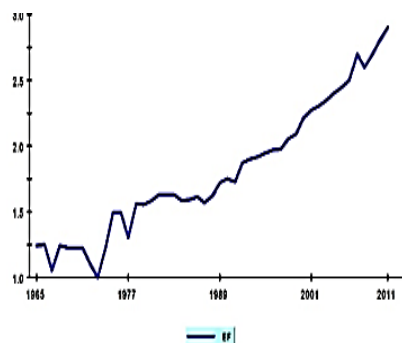
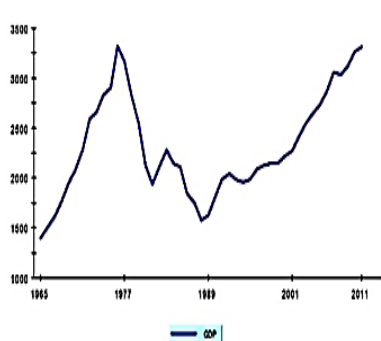
در شکل‌های ۱ و ۳ نمودار سری زمانی متغیر رد پای اکولوژیکی سرانه و تبدیل لگاریتمی آن و در شکل‌های ۲ و ۴ نمودار سری زمانی متغیر GDP و تبدیل لگاریتمی آن ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار سری‌های زمانی هر چهار متغیر

۱. به دلیل ورود وقفه‌های متغیرها در این الگو به آن الگوی پویا اطلاق شده است.

2. integrate

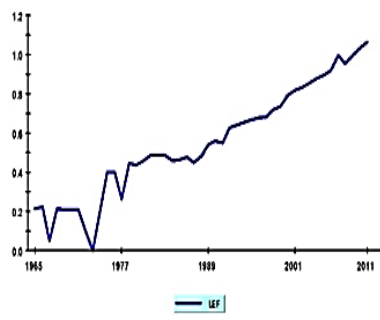
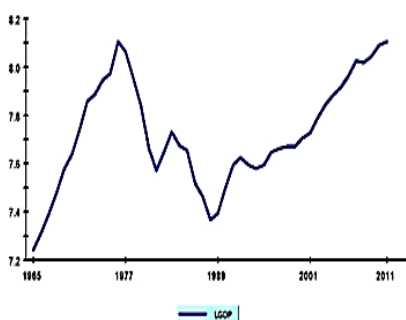
3. Greene

دارای عرض از مبدأ هستند، ولی سری زمانی EF و لگاریتم آن دارای یک روند ثابت و مشخص است؛ در حالی که سری زمانی GDP و لگاریتم آن در طول زمان روند مشخصی ندارد. بنابراین، برای سری زمانی EF از معادله شامل جزء عرض از مبدأ و روند و برای سری زمانی GDP از معادله شامل جزء عرض از مبدأ و بدون روند استفاده خواهد شد؛ جدول ۱ نتایج آن نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که متغیر EF ایستا از مرتبه یک، یعنی $I(1)$ ، بوده، ولی متغیر GDP پس از یک بار تفاضل‌گیری نیز ایستا نیست. اما، تفاضل مرتبه دوم آن ایستا است. به عبارت دیگر، متغیر درآمد ناخالص داخلی سرانه $I(2)$ است؛ در نتیجه، نمی‌توان برای چنین داده‌هایی از الگوی ARDL استفاده کرد. به دلیل $I(2)$ بودن متغیر GDP، از شکل لگاریتمی متغیرها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد تبدیل لگاریتمی متغیرهای انباشته از مرتبه دو یا بیشتر نیستند.



شکل ۲. روند تولید ناخالص داخلی سرانه

شکل ۱. روند رد پای اکولوژیکی سرانه



شکل ۳. روند لگاریتم رد پای اکولوژیکی سرانه

شکل ۴. روند لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه

جدول ۱. آزمون ریشه واحد

متغیر	مقدار بحرانی ADF	آماره محاسباتی
رد پای اکولوژیکی سرانه I(0)	-۳,۵۲	-۲,۳۵
درآمد ناخالص داخلی سرانه I(0)	-۶,۰۱	-۲,۹۳
تفاضل مرتبه اول رد پای اکولوژیکی سرانه I(1)	-۲,۹۳	-۶,۲۳
تفاضل مرتبه اول درآمد ناخالص داخلی سرانه I(1)	-۳,۶۰	-۲,۹۴
تفاضل مرتبه دوم درآمد ناخالص داخلی سرانه I(2)	-۲,۹۳	-۷,۵۶
لگاریتم رد پای اکولوژیکی سرانه I(0)	-۳,۵۲	-۴,۱۵
لگاریتم درآمد ناخالص داخلی سرانه I(0)	-۲,۹۳	-۱,۷۶
تفاضل مرتبه اول لگاریتم رد پای اکولوژیکی سرانه I(1)	-۳,۵۲	-۶,۷۷
تفاضل مرتبه اول لگاریتم درآمد ناخالص داخلی سرانه I(1)	-۲,۹۳	-۳,۵۸

ماخذ: یافته‌های تحقیق

حال، پس از اطمینان از درجه ایستایی متغیرها، مدل بر اساس روش ARDL تخمین زده می‌شود. نتایج حاصل از تخمین معادله پویا، در جدول ۲ نشان داده شده است. شایان ذکر است برای جلوگیری از کاهش درجه آزادی از معیار شوارتز-بیزین برای انتخاب وقفه بهینه استفاده شده است. نتایج تخمین کوتاه‌مدت نشان می‌دهد تولید ناخالص داخلی سرانه ارتباط مثبت با رد پای اکولوژیکی سرانه دارد؛ ولی ضریب آن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با صفر ندارد. به عبارت دیگر، افزایش تولید ناخالص داخلی به صورت آنی و در کوتاه‌مدت روی رد پای اکولوژیکی سرانه تأثیر معنی‌داری ندارد.

پس از تخمین معادله پویا باید با اجرای آزمون F از وجود رابطه بلندمدت اطمینان حاصل کرد؛ انتهای جدول ۲ نتایج آن را نشان می‌دهد. مطابق نتایج به دست آمده، به دلیل اینکه مقدار آماره F محاسباتی بزرگ‌تر از حد بحرانی بالا در سطح ۹۵ درصد است، فرض صفر مبنی بر فقدان رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل رد می‌شود. به عبارت بهتر، رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود دارد. همچنین، علاوه بر آماره F مقدار آماره W محاسباتی نیز وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها را تأیید می‌کند. سطح معنی‌داری به دست آمده برای آزمون خودهمبستگی و تصریح مدل نیز به ترتیب برابر با ۰/۹۱۶ و ۰/۷۳۱ است که نشان می‌دهد خودهمبستگی بین اجزای اخلاص مدل وجود ندارد و متغیر مهم حذف‌شده‌ای از مدل نیز وجود ندارد.

جدول ۲. نتایج مدل پویای ARDL(2,2)

متغیر	ضریب	آماره t (سطح معنی داری)
LEF(-1)	۰٫۵۶	۴٫۰۹ (۰٫۰۰)
LEF(-2)	-۰٫۲۹	-۲٫۱۲ (۰٫۰۴)
LGDP	۰٫۱	۰٫۷۱ (۰٫۴۸)
LGDP(-1)	-۰٫۳۵	-۱٫۴۷ (۰٫۱۵)
LGDP(-2)	۰٫۳۵	۲٫۵۷ (۰٫۰۱)
C	-۰٫۷۶	-۲٫۲۹ (۰٫۰۳)
T	۰٫۱۵	۵٫۰۶ (۰٫۰۰)
آزمون وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها		
آماره F	حد پایین (ضریب اطمینان ۰٫۹۵)	حد بالا (ضریب اطمینان ۰٫۹۵)
۱۴٫۱۸	۷٫۱۱	۷٫۹۰
آماره والد	حد پایین (ضریب اطمینان ۰٫۹۵)	حد بالا (ضریب اطمینان ۰٫۹۵)
۲۸٫۳۶	۱۴٫۲۱	۱۵٫۸۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

پس از اطمینان از وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها، باید به برآورد ضرایب بلندمدت اقدام کرد. نتایج حاصل از برآورد رابطه بلندمدت (جدول ۳) نشان می‌دهد در بلندمدت تولید ناخالص داخلی سرانه رابطه مثبت و معنی‌داری با رد پای اکولوژیکی سرانه دارد؛ به طوری که در بلندمدت با افزایش یک درصدی تولید ناخالص داخلی سرانه مقدار رد پای اکولوژیکی سرانه ۰٫۱۴ درصد افزایش می‌یابد.

جدول ۳. نتایج تخمین معادله بلندمدت ARDL(2,2)

متغیر	ضریب	سطح معنی داری) t آماره
LGDP	۰٫۱۴	۲٫۳۴ (۰٫۰۲۵)
C	-۱٫۰۴	-۲٫۴۲ (۰٫۰۳۱)
T	۰٫۰۲	۲۳٫۶۰ (۰٫۰۰)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در ادامه، برای بررسی نحوهٔ تعدیل عدم تعادل‌های کوتاه‌مدت در رد پای اکولوژیکی به سمت تعادل‌های بلندمدت از مدل تصحیح خطا استفاده شده است. ضریب تصحیح خطا نشان می‌دهد که چند دوره طول می‌کشد تا رد پای اکولوژیکی سرانه به روند بلندمدت خود بازگردد. جدول ۴ نتایج حاصل از تخمین مدل تصحیح خطا را نشان می‌دهد. ضریب ECM به دست آمده $-۰٫۷۳$ است، یعنی در هر دوره ۷۳ درصد از عدم تعادل تعدیل شده و به سمت روند بلندمدت خود نزدیک می‌شود.

جدول ۴. نتایج مدل تصحیح خطا (ECM)

متغیر	شرح متغیر	ضریب	آمارهٔ t (سطح معنی‌داری)
DLEF1	تفاضل مرتبهٔ اول لگاریتم رد پای اکولوژیکی سرانه	۰٫۲۹	۲٫۱۲ (۰٫۰۴۱)
dLGDP	تفاضل مرتبهٔ اول درآمد ناخالص سرانه	۰٫۱۰	۰٫۷۱ (۰٫۴۸)
dLGDP1	وقفهٔ اول تفاضل مرتبهٔ اول درآمد ناخالص سرانه	-۰٫۳۵	۲٫۵۷ - (۰٫۰۱۴)
dT	تفاضل مرتبهٔ اول روند زمانی	۰٫۱۵	۵٫۰۶ (۰٫۰۰)
Ecm(-1)	ضریب تصحیح خطا	-۰٫۷۳	۵٫۱۲ - (۰٫۰۰)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه مفهوم رد پای اکولوژیکی به منزلهٔ شاخص تخریب محیط زیست تشریح شد و با استفاده از داده‌های سری زمانی برای دورهٔ ۱۹۶۵ - ۲۰۱۱ و الگوی ARDL ارتباط کوتاه‌مدت و بلندمدت آن با تولید ناخالص داخلی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد هم در کوتاه‌مدت هم در بلندمدت ارتباط مثبت بین تولید ناخالص داخلی سرانه و رد پای اکولوژیکی سرانه وجود دارد، اما ارتباط کوتاه‌مدت از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. به بیان دیگر، در کوتاه‌مدت ارتباطی بین رد پای اکولوژیکی و GDP سرانه وجود ندارد، ولی در بلندمدت، با افزایش GDP سرانه، رد پای اکولوژیکی سرانه نیز افزایش می‌یابد و در روند توسعه محیط زیست آسیب می‌بیند و تخریب می‌شود. در این مطالعه، فقدان ارتباط درجهٔ دوم بین رد پای اکولوژیکی و GDP سرانه در کوتاه‌مدت و بلندمدت تأیید شد که نشان از رد

فرضیه EKC دارد.^۱ این نتیجه برخلاف نتایج برخی محققان از جمله بکرمن (۱۹۹۲)، مکفرسون و نیزویادومی (۲۰۰۵)، ليو و همکاران (۲۰۰۷)، سلیمی فر و دهنوی (۱۳۸۸)، مهرآرا و همکاران (۱۳۹۱)، حسینی نسب و پایکاری (۱۳۹۱) و صادقی و صادقی (۱۳۹۲) و موافق با نتایج روتمن (۱۹۹۸)، رومرو-آلیوا (۲۰۰۸) و کیرلسلی و ریدل (۲۰۱۰) است. برای بررسی نحوه تعدیل از عدم تعادل کوتاه‌مدت به روند بلندمدت جمله تصحیح خطا با استفاده از مدل تصحیح خطا برآورد شد. ضریب جمله تصحیح خطای به‌دست‌آمده از این مدل نشان می‌دهد که در هر دوره ۷۳ درصد از عدم تعادل در سرانه رد پای اکولوژیکی تعدیل شده و به سمت روند بلندمدت خود نزدیک شده است. نتیجه کلی این تحقیق نشان می‌دهد که در بلندمدت، با افزایش GDP سرانه، منابع زیست‌محیطی تخریب می‌شود و رد پای اکولوژیکی سرانه افزایش می‌یابد.

منابع

۱. حسینی نسب، ابراهیم و پایکاری، سمیه (۱۳۹۱). بررسی تأثیر رشد اقتصادی و آزادسازی تجاری بر آلودگی محیط زیست، دومانهنامه بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی، ۹ و ۱۰، ۶۱ - ۸۲.
۲. سلیمی فر، مصطفی و دهنوی، جلال (۱۳۸۸). مقایسه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در کشورهای عضو OECD و کشورهای در حال توسعه: تحلیل مبتنی بر داده‌های پانل، مجله دانش و توسعه، ۱۷(۲۹)، ۱۸۱ - ۲۰۰.
۳. صادقی، سمیه و صادقی، ثریا (۱۳۹۲). پیامدهای زیست‌محیطی رشد اقتصادی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی: شواهدی از کشورهای در حال توسعه، فصلنامه پژوهش‌های بازرگانی، ۷۰، ۷۷ - ۹۲.
۴. صرافی، مظفر (۱۳۷۹). شهر پایدار چیست؟، فصلنامه مدیریت شهری، ۴، ۶ - ۱۰.

۱. نویسندگان این مطالعه، در صورت نیاز، می‌توانند نتایج برآورد تابع درجه دوم را در اختیار محققان علاقه‌مند قرار دهند.

۵. مولایی، مرتضی، کاوسی کلاشمی، محمد و رفیعی، حامد (۱۳۸۹). بررسی رابطه هم‌جمعی درآمد سرانه و انتشار سرانه دی‌اکسید کربن و وجود منحنی کوزنتس زیست‌محیطی دی‌اکسید کربن در ایران، علوم محیطی، ۸(۱)، ۲۰۵ - ۲۱۶.
۶. مهرآرا، محسن، امیری، حسین و حسینی سرخ‌بوزی، محمد (۱۳۹۱). رابطه مصرف انرژی و درآمد: آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس با استفاده از رویکرد مدل‌های رگرسیونی انتقال ملایم پانل، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۶۲، ۱۷۱ - ۱۹۴.
7. Bagliani, M., Bravo, G. & Dalmazzone, S. (2008). A Consumption-Based Approach to Environmental Kuznets Curves Using the Ecological Footprint Indicator, *Ecological Economics*, 65, 650-651.
8. Beckerman, W. (1992). Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?, *World Development*, 20 (4), 481-496.
9. Bicknell, K.B., Ball, R.J., Cullen, R. & Bigsby, H.R. (1998). New Methodology for the Ecological Footprint with an Application to New Zealand Economy, *Ecological Economics*, 27, 149-160.
10. Boutaud, A., Gondran, N. & Brodhag, C. (2004). Local Environmental Quality Versus (Global) Ecological Carrying Capacity: What Might Alternative Aggregated Indicators Bring to the Debates about Environmental Kuznets Curves and Sustainable Development?, *International Journal of Sustainable Development*, 9, 297-310.
11. Caviglia-Harris, J., Chambers, D. & Kahn, J. (2009). Taking the "U" Out of Kuznets, A Comprehensive Analysis of the EKC and Environmental Degradation, *Ecological Economics*, 4, 1149-1159.
12. DeFries, R.S., Foley, J.A. & Asner, G.P. (2004). Land-Use Choices: Balancing Human Needs and 558 Ecosystem Function, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(5), 249-257.
13. Eugene, A.R., Andreas, D., Thomas, D. & Carlo, J. (2010). *Human Footprints on the Global Environment: Threats to Sustainability*, MIT Press, United States of America.
14. Greene, W.H. (2012). *Econometric Analysis (7ed)*, Prentice Hall Publishing, New York, USA.
15. Hammond, G. (2005). *People, Planet and Prosperity: the Determinants of Humanity Environmental Footprint*, Natural Resources Forum.

16. Hervieux, M.S. & Darné, O. (2014). Production and consumption-based approaches for the Environmental Kuznets Curve in Latin America using ecological footprint, Document de Travail Working Paper, Lemana, EA 4272, www.univ-nantes.fr/iemn-iae/recherche.
17. Kearsley, A. & Riddell, M. (2010). A Further Inquiry into the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve, *Ecological Economics*, 69(4), 905-919.
18. Khan–Ashfaq, H. (1997). Employment Creation Effects of Pakistan Exports, *The Pakistan Development Review*, 30(4), 865-877.
19. Liu, X.Z., Heilig, G.K., Chen, J.M. & Heino, M. (2007). Interactions between Economic Growth and Environmental Quality in Shenzhen, China's First Special Economic Zone, *Ecological Economics*, 62(3-4), 559-570.
20. Mansur, A. Masih, M. & Masih, R. (2002). Propagative Causal Price Transmission among International Stock Markets: Evidence from the Pre- and Post-Globalization Period, *Global Finance Journal*, 13, 63-91.
21. McPherson, M.A. & Nieswiadomy, M.L. (2005). Environmental *Kuznets Curve: Threatened Species and Spatial Effects*, *Ecological Economics*, 55(3), 395-407.
22. Monfreda, C., Wackernagel, M. & Deumling, D. (2004). Establishing National Natural Capital Accounts Based on Detailed Ecological Footprint and Biological Capacity Assessments, *Land Use Policy*, 21, 231-246.
23. Nijkamp, P., Rossi, E. & Vindigni, G. (2004). Ecological Footprints in Plural: A Meta-Analytic Comparison of Empirical Results, *Regional Studies*, 38, 747-765.
24. Ouattara, B. (2004). Foreign Aid and Fiscal Policy in Senegal, Mimeo University of Manchester.
25. Parkin, S. (2000). Sustainable Development: the Concept and the Practical Challenge, *Proceedings of the ICE – Civil Engineering*, 138(6), 3-8.
26. Pesaran, M.H., Shin, Y. & Smith, R.J. (2001). Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships, *Journal of Applied Econometrics*, 16, 289-326.

27. Rees, W.E. (2006). Ecological Footprints and Bio-Capacity: Essential Elements in Sustainability Assessment, Chapter 9 in Jo Dewulf and Herman Van Langenhove (eds.), *Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment*, pp. 143-158, Chichester, UK: John Wiley and Sons.
28. Romero-Avila, D. (2008). Questioning the Empirical Basis of the Environmental Kuznets Curve for CO₂: New Evidence from a Panel Stationarity Test Robust to Multiple Breaks and Cross-Dependence, *Ecological Economics*, 64(3), 559-574.
29. Rothman, D. (1998). Environmental Kuznets Curves – Real Progress or Passing the Buck? A Case for Consumption-Based Approaches, *Ecological Economics*, 25(2), 177-194.
30. Shahbaz Akmal, M. (2007). Stock Returns and Inflation: An ARDL Econometric Investigation Utilizing Pakistani Data, *Pakistan Economic and Social Review*, 45(1), 89-105.
31. Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Callejas Linares, A., Lopez Warren-Rhodes, K., Sadovy, Y. & Cesar, H. (2003). Marine Ecosystem Appropriation in the Indo-Pacific: A Case Study of the Live Reef Fish Food Trade, *Ambio*, 32(7), 481-488.
32. Wackernagel, M. & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Gabriola Island, BC: New Society Publishers.
33. Wackernagel, M., Onisto, L., Linares, C.L., Falfán, I.S.L., Garcia, J.M., Guerrero, A.I.S. & Guerrero, M.G.S. (1997). *Ecological Footprints of Nations: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They Have?*, Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum, International Council for Local Environmental Initiatives, Toronto.
34. Wang, Y., Kang, L., Wu, X. & Xiao, Y. (2013). Estimating the Environmental Kuznets Curve for Ecological Footprint at the Global Level: A Spatial Econometric Approach, *Ecological Indicators*, 34, 15-21.
35. Wiedmann, T., Minx, J., Barret, J. & Wackernagel, M. (2006). Allocating Ecological Footprints to Final Consumption Categories with Input-Output Analysis, *Ecological Economics*, 56, 28-48.