Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره یک، فروردین ماه ۱۴۰۰

بررسی تاثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر بهره‌وری سبز در ایران

بهناز مشایخی [۱]

کامبیز هژبر کیانی [۲*]

kianikh@yahoo.com

فرزانه خلیلی [۳]

فرید عسگری [۴]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۰۲ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۲۳**

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهم‌ترین ارکان توسعه پایدار، حفاظت موثر از محیط‌زیست و مصرف بهینه منابع طبیعی است. بهره‌وری سبز یک استراتژی برای افزایش بهره‌وری و عملکرد زیست محیطی برای توسعه اجتماعی و اقتصادی است. انقلاب فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث شده است تمامی کشورها از لحاظ اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فرهنگی، امنیت، اشتغال، بهداشت، محیط‌زیست و بسیاری از متغیرهای کلان دیگر تحت تاثیر شدید این فناوری قرار گیرند، به‌طوری که امروزه این فناوری به نیروی محرکه اصلی اقتصاد جهان و توسعه پایدار تبدیل شده است. لیکن با توجه به اهمیت و تاثیرگذاری سرمایه‌گذاری مستیقم خارجی و فناوری اطلاعات و ارتباطات بر بهره‌وری سبز در این مقاله با استفاده از آزمون همجمعی جوهانسون- جوسیلیوس رابطه علی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و فناوری اطلاعات و ارتباطات و شاخص بهره‌وری سبز در ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی: تاثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر بهره‌وری سبز در ایران با استفاده از آزمون همجمعی جوهانسون- جوسیلوس در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۵۹ مورد بررسی قرار گرفته است.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان‌دهنده تاثیر مثبت و معنی‌دار شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات و تاثیر منفی و معنی‌دار سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر شاخص بهره‌وری سبز در ایران است. همچنین الگوی تصحیح خطای برداری نشان‌دهنده آهسته بودن روند تعدیل به سمت تعادل است.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم اقتصادی، واحد ابهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران

۲- استاد گروه علوم اقتصادی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران *(مسئول مکاتبات)

۳- استادیار گروه علوم اقتصادی، واحد ابهر،دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران

۴- استادیار گروه علوم اقتصادی، واحد ابهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران

www.SID.ir

Ar

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و با توجه به تاثیر منفی و معنی‌دار سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر بهره‌وری سبز که این تاثیر می‌تواند در اثر افزایش آلودگی باشد، پیشنهاد می‌شود با اتخاذ سیاست‌های لازم برای کاهش اثرات مخرب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی از جمله جایگزین کردن انرژی‌های سبز، زمینه افزایش بهره‌وری سبز را فراهم ساخت.

همچنین پیشنهاد می‌شود با وضع قوانین و استانداردهای زیست محیطی ورود سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی با آلودگی زیست محیطی کمتر صورت پذیرد. تاثیر شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات بر شاخص بهره‌وری سبز در کشور ایران مثبت و معنادار بوده، لذا به یقین می‌توان گفت جهت اجرای فرآیند بهبود مستمر و موثر بهره‌وری سبز، استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌عنوان راهکاری جهت نهادینه کردن بهره‌وری سبز ضروری می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود جهت ساخت و اجرایی کردن مفهوم بهره‌وری سبز معیارهایی مشخص شوند که الگوهای کیفی رشد و توسعه اقتصادی را به طور کامل در برگیرند.

کلمات کلیدی: فناوری اطلاعات و ارتباطات، بهره‌وری سبز، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، توسعه پایدار، الگوی تصحیح خطای برداری

www.SID.ir

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No.1, April, 2021

The Effect of Information and Communication Technology and Foreign Direct Investment on Green Productivity in Iran

Behnaz Mashayekhi[1]
Kambiz Hozhabr Kiani*[2]
kianikh@yahoo.com
Farzaneh Khalili[3]
Farid Asgari[4]

Accepted: 2018.11.14 Received:2018.08.23

Abstract

Background and Purpose: Effective protection of the environment and optimal use of natural resources is one of the most important pillars of sustainable development. Green productivity is a strategy to increase environmental productivity and performance in order to social and economic development. The Information and Communication Technology (ICT) revolution has severely affected all countries in terms of economic, social, political, cultural aspects as well as security, employment, health, the environment, and many other macro variables; so that, the technology has become the main driving force of the world's economy and sustainable development in today's world. According to the importance and the impact of Foreign Direct Investment and Information and Communication Technology on green productivity, this paper uses the Johansen-Joselius coherent test of the relationship between Foreign Direct Investment and Information and Communication Technology and the Green Productivity Index in Iran.

Materials and Methods: The effect of Information and Communication Technology and Foreign Direct Investment on green productivity has been investigated in Iran using the Johansen-Joselius coherent test during the period of 1980-2013.

Findings: According to the research findings, the Information and Communication Technology and Foreign Direct Investment have a positive and significant and a negative and significant effect of on the Green Productivity Index in Iran, respectively. Also, the vector error correction model shows that the adjustment process is slowing towards the equilibrium.

Discussion and Conclusion: According to the obtained results, and considering the negative and significant effect of Foreign Direct Investment on green productivity, which could be as a result of increased pollution, it is suggested that is possible to provide a ground to improve green productivity by adopting policies to reduce the destructive effects of Foreign Direct Investment, including the replacement of green energy.

It is also recommended that environmental regulations and standards be imposed upon the entry of Foreign Direct Investment which could be done with less environmental pollution. The effect of

1- Ph.D. Student, Department of Economics, Abhar branch, Islamic Azad university, Abhar, Iran.
2- Prof., Department of Economics,Tehran Science And Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran. *(Corresponding Author)
3- Assistant Professor, Department of Economics, Abhar branch, Islamic Azad university, Abhar, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Economics, Abhar branch, Islamic Azad university, Abhar, Iran.

www.SID.ir

Information and Communication Technology index on Green Productivity Index is positive and significant in Iran. Therefore, it can be surely said that the use of Information and Communication Technology, as a solution for green productivity institutionalization is essential for implementing the continuous and effective process of green productivity improvement. It is also suggested to determine criteria, for the development and implementation of the green productivity concept, that fully cover the qualitative patterns of economic growth and development.

Keywords: Information and Communication Technology, Green Productivity, Foreign Direct Investment, Sustainable Development, Vector Error-Correction Model

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تحول در راهبردهای حفاظت محیط زیست، حاکی از تحول رو به تکامل رویکردهای زیست محیطی می‌باشد . در چند دهه اخیر، تحول‌های مختلف صنعتی در زمینه محیط زیست عبارت بوده‌اند از نادیده گرفتن مشکل، رقیق نمودن، کنترل آلودگی در انتهای خط، بازیافت، استفاده مجدد و پیشگیری از آلودگی که هر یک از این رویکردها در برهه زمانی خاصی مورد توجه بوده است. با توجه به روند رو به رشد صنایع و فراگیر شدن آلودگی ناشی از آن‌ها، سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا باید صنعت یا به عبارتی موتور توسعه را متوقف کرد و یا رشد آن را کند نمود یا آنکه بدون توجه به لطمات زیست محیطی و صرفاً با تکیه بر اهمیت تولید در توسعه و نقش آن در تقویت اقتصاد ملی، اجازه داده شود که صنعت با همین روال به کار خود ادامه دهد؟ بدیهی است در صورتی که صنعت تعطیل گردد و یا رشد آن کند شود، در واقع توسعه متوقف شده است و در کوران رقابت جهانی دستیابی به جایگاهی مناسب برای کشور با مشکل مواجه خواهد شد. از سوی دیگر در صورتی که اجازه داده شود صنعت به همین روند به فعالیت خود ادامه دهد، دیگر منبع آب قابل شرب، خاک قابل کشاورزی و هوای قابل تنفس باقی نخواهد ماند. استفاده درست از فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث ارتقای ظرفیت مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیست، مدیریت بحران‌های طبیعی، افزایش بهره‌وری انرژی در مقیاس جهانی و ظهور «اقتصاد سبز» به عنوان یک موتور جدید رشد اقتصاد در سراسر جهان می‌شود(۱). همچنین برخی از محققان معتقدند ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به کشورهای در حال‌توسعه منجر به افزایش آلودگی و تخریب محیط‌زیست می‌شود و نتیجه ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی برای کشور میزبان با سطح استانداردهای زیست‌محیطی پائین، افزایش آلودگی خواهد بود(۲). بر اساس الگوهای رشد درونزا، غیر از عوامل اولیه تابع تولید، متغیرهای دیگری نیز در تولید دخیل هستند که یکی از مهمترین این متغیرها، متغیر سرمایه انسانی است. لوکاس مدل‌های مربوط به سولو، آرو و غیره را مورد بررسی قرار داده و به رابطه‌ای میان تولید کل، مدل رشد سولو و ایده‌ای که سطح سرمایه انسانی به طور مستقیم در تولید موثر است، دست یافت. در این تحقیق با وارد کردن متغیرهای کلان اقتصادی همچون سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و فناوری اطلاعات و ارتباطات در کنار متغیرهای اصلی تابع تولید تاثیر متغیرهای یادشده، بر بهره‌وری سبز مورد بررسی قرار گرفته است.

استفاده درست از فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث ارتقای ظرفیت مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، مدیریت بحران‌های طبیعی، افزایش بهره‌وری انرژی در مقیاس جهانی و ظهور «اقتصاد سبز» به عنوان یک موتور جدید رشد اقتصاد در سراسر جهان می‌شود. همچنین برخی از محققان معتقدند ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به کشورهای در حال‌توسعه منجر به افزایش آلودگی و تخریب محیط‌زیست می‌شود و نتیجه ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی برای کشور میزبان با سطح استانداردهای زیست‌محیطی پائین، افزایش آلودگی خواهد بود. این گروه از محققان معتقدند که کشورهای توسعه-یافته، به‌ویژه آن‌ها که در صنایع آلاینده فعالیت دارند عمدتاً تمایل دارند صنایع آلاینده خود را به کشورهایی گسیل دارند که استانداردهای زیست محیطی ضعیف‌تری دارند. این کار اغلب در قالب تجارت و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی انجام می-شود.که نتیجه ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی برای کشور میزبان با سطح استانداردهای زیست محیطی پائین که اغلب درآمد پائینی نیز دارند، افزایش آلودگی است.

تعریف بهره‌وری سبز (GP)[1] برای اولین بار در سال ۱۹۹۴ در راستای نشست سران ۱۹۹۲ ارائه شد. که به طور همزمان منافع اقتصادی و محیط زیستی را عرضه می‌کند(۳). مفهوم بهره‌وری سبز از تلفیق دو فعالیت مهم بهبود بهره‌وری و حفاظت از محیط زیست گرفته شده است (۴).

تولید کالا و خدمات شامل فرایندهایی است که در نتیجه و یا از طریق تخلیه مواد سمی و خطرناک، خطرات زیادی را برای

1-Green Productivity

www.SID.ir

Archive of SID

محیط زیست و سلامت ایجاد می‌کند. چنین تکنیک‌هایی ممکن است گاهی از لحاظ اقتصادی مورد توجه باشند، اما به دلیل تهدیدات بالقوه آن‌ها برای جامعه، پایدار نیستند. سیاست‌های اقتصادی که تنها بر بهره‌وری و رشد اقتصادی تکیه دارند، ممکن است منجر به یک آسیب زیست محیطی غیرقابل برگشت شوند(۵).

هوپس و ایشیکاوا[1]، بهره‌وری اقتصادی به صورت رابطه زیر بیان می‌کنند(۶):

$$Eco-eficiency = \frac{PV}{EI} \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱)؛ Eco-eficiency بیانگر کارایی اقتصادی، PV بیانگر ارزش کالا و خدمات و EI تاثیر زیست محیطی می‌باشد.

نسبت کارآیی اقتصادی به حداکثر رساندن ستانده (ارزش افزوده) برای به حداقل رساندن داده (تاثیر محیط) است. در هنگام برخورد با بیش از یک ستانده یا داده، استفاده از روش خاص ضرورت دارد. کورتلینن و کوئوسمنن[2] در سال ۲۰۰۵، با در نظر گرفتن مفهوم بهره‌وری کل عوامل، روش DEA را پیشنهاد دادند که در این روش، تراکم فشار محیطی را به‌جای شاخص خسارت زیست محیطی استفاده کردند(۷). سپس در سال ۲۰۰۸ کورتلینن[3] با بهره گیری از شاخص Malmquist با استفاده از تأثیرات تغییرات تکنولوژی و کارایی، روش بالا را گسترش داد(۸). برای تکمیل روش بیش از یک ستانده یا داده، لورس (۲۰۰۹) [4] روش MBP[5] را بسط داد که بر اساس این روش می توان رابطه زیر را نوشت(۹):

$$M = R^d = R - R^r \qquad (۲)$$

با توجه به رابطه (۲)؛ M و R^d خالص بازده سیستم، R و R^r آن بخش از جریان مواد است که از فعالیت های اقتصادی خارج شده و بازیافت می شوند. همچنین هانس و همکاران[6] به منظور سهولت سنجش کمیت کارایی اقتصادی روش هزینه فرصت براساس ارزیابی از کارایی اقتصادی سازمانی شرکت‌ها را مطرح کردند(۱۰).

با توجه رویکردی که توسط رپتو و همکاران(۱۹۹۶-۱۹۹۷)[7] معرفی شده است، از نظر ریاضی، بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP) به سادگی می‌تواند به صورت زیر تعریف شود(۱۱):

$$TFP = \frac{Q}{I} \qquad (۳)$$

در این رابطه؛ Q مقدار ستانده و I مقدار داده می‌باشد. همچنین معادله (۳) می‌تواند در شرایط رشد به صورت زیر بیان شود:

$$\dot{TFP} = \dot{Q} - \dot{I} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) نیز؛ $\dot{TFP}$ رشد TFP، $\dot{Q}$ رشد ستاده کل و $\dot{I}$ رشد داده کل می باشد. معادله فوق را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$\dot{Q} = \dot{TFP} + \dot{I} \qquad (۵)$$

با پیروی از رپتو و همکاران (۱۹۹۶)، شاخص بهره‌وری سازگار با محیط زیست با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$Q(t) = A(t)f[K(t), M(t), L(t)] \qquad (۶)$$

در معادله بالا؛ Q(t) بیانگر ستانده واقعی در سال t، همچنین K(t)، M(t) و L(t) به ترتیب نشانگر سرمایه، مواد اولیه و نیروی کار و A(t) نیز بیانگر شاخص بهره‌وری می‌باشد. از این تابع نرخ تغییرات بهره‌وری را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\frac{A(t)}{A} = \frac{Q(t)}{Q} - \left[\frac{s_k K(t)}{K} + \frac{s_m M(t)}{M} + \frac{s_l L(t)}{L}\right] \qquad (۷)$$

نرخ تغییرات بهره‌وری به عنوان تفاوت بین نرخ رشد شاخص ستانده و نرخ رشد شاخص داده تعریف می‌شود. همچنین شاخص داده ها برابر با مشتق هر یک از عوامل تولید برحسب تغیرات در ستانده می‌باشد. بنابراین ضرایب S_k، S_m و S_L از لحاظ اقتصادی نشان‌دهنده کشش بر حسب ستانده می‌باشند.

1- Huppes and Ishikawa
2- Kortelainen and Kuosmanen, (2005)
3- Kortelainen, (2008)
4- Lauwers
5- Material Balance Principle
6- Hahn, et al.
7-Repetto, et al

www.SID.ir

Archive of SID

اثرات خارجی محیطی را می‌توان با استفاده از تعریف ستانده کل به‌دست آورد. بدین صورت که، ستانده کل (W) برابر است با مجموع ستانده بازار (Q) و آلودگی (E):

$$W = Q + E \qquad (۸)$$

با فرض این‌که S_q و S_e به ترتیب ضریب ستانده بازار و آلودگی باشد، نرخ رشد ستانده کل برابر است با:

$$\frac{\dot{W}(t)}{W} = \frac{s_q \dot{Q}(t)}{Q} + \frac{s_e \dot{E}(t)}{E} \qquad (۹)$$

طبق معادله (۹) می‌توان گفت؛ نرخ تغییر ستانده کل برابر است با میانگین وزنی رشد تولید و رشد آلودگی که دارای وزنی برابر با سهم تولید و آلودگی در ارزش کل تولید است. از آن‌جا که آلودگی مضر است، قیمت سایه منفی می‌باشد. همچنین به لحاظ کیفی، تاثیر آن‌ها بر بهره‌وری همانند هزینه‌های داده‌ها است.

اگر A^* به عنوان شاخص بهره‌وری برای عملکرد ستانده برابر با W تعریف شود، نرخ رشد A^* برابر است با:

$$\frac{\dot{A^*}(t)}{A^*} = \frac{s_q \dot{Q}(t)}{Q} + \frac{s_e \dot{E}(t)}{E} - \left[\frac{s_k \dot{K}(t)}{K} + \frac{s_m \dot{M}(t)}{M} + \frac{s_l \dot{L}(t)}{L}\right] \qquad (۱۰)$$

با مقایسه دو معادله (۷) و (۱۰) و با فرض اینکه؛ $s_q = 1 - s_e$ معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{\dot{A^*}(t)}{A^*} = \frac{\dot{A}(t)}{A} + s_e\left[\frac{\dot{E}(t)}{E} - \frac{\dot{Q}(t)}{Q}\right] \qquad (۱۱)$$

در معادله (۱۱)؛ S_e نشان‌دهنده ضایعات آلودگی در ستانده کل، $\dot{E}$ تغییرات ضایعات آلودگی و $\dot{Q}$ تغییرات در مقدار ستانده بازار می‌باشد. این معادله بیانگر چگونگی ارتباط دو شاخص بهره‌وری با هم است. قسمت اول سمت راست معادله بیانگر تعیین بهره‌وری معمول می‌باشد و قسمت دوم محیط زیست تعدیل‌شده را به‌دست می‌آورد. اگر علامت S_e منفی باشد رشد آلودگی از رشد تولید کندتر می‌باشد، به عبارت دیگر افزایش شاخص بهره‌وری جدید از شاخص بهره‌وری معمول سریع‌تر است. علاوه بر این، اگر تولید افزایش یابد و یا ثابت بماند، افزایش میزان آلودگی منجر به رشد بیشتر نرخ بهره‌وری از شاخص بهره‌وری اندازه‌گیری شده به‌طور معمول می‌باشد. اگر افزایش آلودگی بیشتر از تولید بازار باشد، در هر صورت، شاخص معمولی نرخ رشد بهره‌وری را افزایش خواهد داد. به عبارت دیگر، روش تعدیل شده، یک منبع رشد بهره‌وری را به‌وجود می‌آورد که روش معمول به طور کامل آن را نادیده می‌گیرد. که می‌توان گفت، این یک منبع بالقوه مهم برای افزایش بهره‌وری است.

هور و یاماماتو (۲۰۰۴)[1] برای سنجش کمیت بهره‌وری سبز با بسط رابطه کارایی اقتصاد، مدل زیر را ارائه دادند(۱۲):

$$GPI = \frac{SP/LCC}{EI} \qquad (۱۲)$$

در اینجا؛GPI شاخص بهره‌وری سبز، SP قیمت فروش، LCC هزینه چرخه زندگی و EI تاثیرات محیطی است. همچنین گاندی و همکاران (۲۰۰۶)[2] با در نظر گرفتن نسبت GPI، "تاثیرات محیطی" را با وزن دادن بصورت زیر توجیه می کنند(۱۳):

$$GPI = \frac{SP/LCC}{w1\,SWG + w2\,GWG + w3\,WC} \qquad (۱۳)$$

در این رابطه؛ SWG تولید زباله‌های جامد، GWG تولید زباله‌های گازی و WC مصرف آب می‌باشد.

روش تحقیق

تعیین و برآورد بردارهای همجمعی (یعنی ضرایب مربوط به روابط تعادلی بلندمدت) بین متغیرها با استفاده از ضرایب الگوی خود توضیح‌برداری (VAR) صورت می‌گیرد. ارتباط موجود بین الگوی VAR و همجمعی این امکان را فراهم می‌آورد تا به سادگی بردارها را از روی ضرایب الگوی خود توضیح برداری به‌دست آورد.

برای انجام آزمون همجمعی جوهانسون- جوسیلیوس[3] از آزمون‌های حداکثر مقدار ویژه[4] (λ_{max}) و آزمون اثر[5] (λ_{trace}) استفاده می‌شود. پس از تشخیص تعداد بردارهای

1- Hur & Yamamoto
2- Gandhi et al
3 - Johansen Cointegration Test
4- Maximum Eigen Value Test
5-Trace Test

www.SID.ir

Archive of SID

همجمعی با استفاده از آزمون‌های یادشده، بردارهای معمولی و نرمال به‌دست خواهد آمد.

برآورد الگو و تصریح مدل

در این قسمت تاثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات[1] و سرمایه-گذاری مستقیم خارجی[2] بر بهره‌وری سبز در ایران با استفاده از روش‌های اقتصاد سنجی مورد بررسی قرار می گیرد. در این تحقیق مدل مورد بررسی به صورت زیر می باشد:

$$LGPI = F(LK, LL, LFDI, LICT , LHC) \quad (۱۴)$$

LGPI: نشان‌دهنده لگاریتم شاخص بهره‌وری سبز می‌باشد. که در این تحقیق از نسبت تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ بر میزان انتشار CO_2 استفاده شده است(۱۴).

LK: نشان‌دهنده لگاریتم موجودی سرمایه به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳

LL: نشان‌دهنده لگاریتم تعداد جمعیت فعال

LFDI: نشان‌دهنده لگاریتم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، که به صورت واقعی است.

LICT: نشان‌دهنده لگاریتم شاخص ICT می باشد[3]. در این تحقیق از سرمایه در بخش ارتباطات استفاده شده است.

LHC: نشان‌دهنده لگاریتم شاخص سرمایه انسانی می‌باشد.

شرحی بر داده‌های آماری

در این تحقیق در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۵۹ از متغیرهای تولید ناخالص داخلی، میزان انتشار CO_2 ، موجودی سرمایه، تعداد جمعیت فعال، ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به ایران، سرمایه در بخش ارتباطات و شاخص سرمایه انسانی استفاده شده است.داده‌های مربوط به تولیدناخالص داخلی و موجودی سرمایه، تعداد جمعیت فعال و سرمایه در بخش ارتباطات از آخرین اطلاعات و آمار سری‌های زمانی بانک مرکزی ج.ا.ا استفاده شده است.داده‌های مربوط به میزان انتشار CO2 از سایت آماری World Bank (2018)، داده‌های سرمایه-گذاری مستقیم خارجی از سایت آماری Unctad Stat(2018) (این داده در این سایت به صورت دلار و اسمی موجود می‌باشد که قبل از تخمین به ریال و واقعی تبدیل شده است) و شاخص سرمایه انسانی از سایت Penn World Table (2018) استخراج شده است (۱۸)- (۱۵).

آزمون دیکی- فولر تعمیم یافته(ADF)

برای بررسی پایایی[4] و ناپایایی متغیرها از آزمون دیکی- فولر تعمیم یافته[5] بهره گرفته شده است. نتایج به‌دست آمده از تخمین به صورت جدول۱ می‌باشد.

1- Information and Communication Technologhy(ICT)

2- Foreign Direct Investment(FDI)

۳-قابل ذکر است که بخش ICT دارای چهار زیر بخش سخت افزار، نرم افزار، خدمات و ارتباطات می‌باشد. در ایران آمار زیر بخش‌ها به استثنای زیر بخش ارتباطات وجود ندارد. بنابراین سرمایه در بخش ارتباطات به عنوان شاخصی برای داده‌های ICT در ایران در نظر گرفته شده است.

4 -Stationarity

5- Agumented Dickey Fuller

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- آزمون ADF برای متغیرهای موجود در مدل

Table 1- Augmented Dickey – Fuller (ADF) Test

	در سطح		با یکبار تفاضل گیری	
متغیر	آماره ADF	Prob	آماره ADF	Prob
LGP	-۱/۸۰۸۱۷۹	۰/۶۷۷۹	-۴/۵۳۰۶۶۸	۰/۰۰۵۴
LK	-۱/۵۶۵۶۴۸	۰/۷۸۴۹	-۴/۰۸۶۰۰۸	۰/۰۱۵۹
LL	-۰/۶۹۴۲۲۷	۰/۹۶۴۴	-۴/۶۷۳۲۰۶	۰/۰۰۳۸
LFDI	-۲/۳۴۴۹۶۳	۰/۳۹۹۷	-۴/۹۹۴۹۰۶	۰/۰۰۱۷
LICT	-۱/۱۷۸۸۹۹	۰/۸۹۸۵	-۴/۲۴۱۰۵۳	۰/۰۱۰۸
LHC	-۲/۵۳۳۸۱۸	۰/۳۱۱۰	-۴/۶۷۰۰۹۳	۰/۰۰۳۵

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج آزمون ریشه‌واحد[1] در سطح متغیرها نشان می‌دهد که فرض صفر رد شده و بنابراین تمامی متغیرها ناپایا هستند. لذا پس از یکبار تفاضل‌گیری برای همه متغیرها فرض ریشه واحد رد شده و بنابراین همه متغیرها $I(1)$ می‌باشند.

با توجه به نتایج آزمون ریشه واحد بهترین روش برای این مدل روش همجمعی جوهانسن- جوسیلیوس می‌باشد. در این روش ابتدا با استفاده از آزمون حداکثر مقدار ویژه و آزمون اثر، وجود همجمعی و رابطه یا روابط تعادلی بلند مدت بین متغیرهای الگو مشخص می‌گردد. در آزمون حداکثر مقادیر ویژه وجود r بردار همجمعی در برابر فرضیه مقابل وجود r + 1 بردار همجمعی مورد آزمون قرار می‌گیرد و وجود r بردار همجمعی وقتی پذیرفته می‌شود که کمیت آماره آزمون از مقدار بحرانی آن کوچکتر باشد.

برای انتخاب تعداد وقفه بهینه می‌توان از معیار آکائیک(AIC) یا شوارتز- بیزین(SBC) یا حنان کویین(HQ) بهره جست که بیشترین مقدار جبری هر یک نشان‌دهنده وقفه بهینه مدل می‌باشد. مبنای انتخاب طول وقفه بهینه در این مدل معیار SBC بوده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده؛ مقدار حداقل، معیار AIC (۴/۱۱۲۶۸۳-) و معیارHQ(۲/۹۲۸۴۲۴-) در Lag = 2 قرار دارد و مقدار حداقل، معیارSBC (۱/۶۴۱۳۲۵-) در Lag = 1 قرار دارد. بنابراین تعداد وقفه بهینه ۱، برای VAR انتخاب می‌شود. و با توجه به حجم نمونه(داده‌های سال۱۳۹۲-۱۳۵۹) وقفه بهینه با استفاده از معیارSBC برابر با یک خواهد بود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول۲) تعداد بردار همجمعی براساس آزمون حداکثر مقدار برابر ۵ می‌باشد.

1- Unit Root Test

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تعیین تعداد بردارهای همجمعی براساس آزمون حداکثر مقدار ویژه

Table 2- Maximum Eigen Value Test

H_0	H_1	آماره آزمون λ_{max}	مقدار بحرانی در سطح۹۵٪	Prob
r = ۰	r = ۱	۱۶۲/۵۲۲۱	۱۱۷/۷۰۸۲	۰/۰۰۰۰
r ≤ ۱	r = ۲	۱۰۳/۱۰۱۰	۸۸/۸۰۳۸	۰/۰۰۳۲
r ≤ ۲	r =۳	۶۸/۴۳۳۹۸	۶۳/۸۷۶۱۰	۰/۰۱۹۷
r ≤ ۳	r =۴	۴۵/۵۴۴۷۶	۴۲/۹۱۵۲۵	۰/۰۲۶۷
r ≤ ۴	r =۵	۲۶/۱۰۴۹۰	۲۵/۸۷۲۱۱	۰/۰۴۶۸
r ≤ ۵	r = ۶	۹/۱۹۶۱۷۴	۱۲/۵۱۷۹۸	۰/۱۶۸۶

منبع: یافته‌های تحقیق

آزمون دیگری که برای این منظور طراحی شده، آزمون اثر است. در این آزمون نیز مادامی که کمیت آماره آزمون از مقدار بحرانی آن بزرگتر باشد، فرضیه صفر(وجودr بردار همجمعی) در برابر فرضیه مقابل(بیش از r بردار همجمعی) رد می‌شود و هنگامی فرضیه صفر(وجودr بردار همجمعی) پذیرفته خواهد شد که مقدار آماره آزمون از کمیت بحرانی آن کوچکتر باشد. از این رو بر اساس اطلاعات مندرج در جدول۳ می‌توان وجود r = 1 بردار همجمعی را پذیرفت.

جدول ۳- تعیین تعداد بردارهای همجمعی بر اساس آزمون اثر

Table 3-Trace Test

H_0	H_1	آماره آزمون λ_{trace}	مقدار بحرانی در سطح۹۵٪	Prob
r =۰	r ≥۱	۵۹/۴۲۱۰۸	۴۴/۴۹۷۲۰	۰/۰۰۰۶
r ≤ ۱	r ≥ ۲	۳۴/۶۶۷۰۰	۳۸/۳۳۱۰۱	۰/۱۲۴۳
r ≤ ۲	r ≥۳	۲۲/۸۸۹۲۳	۳۲/۱۱۸۳۲	۰/۴۲۶۲
r ≤ ۳	r ≥ ۴	۱۹/۴۳۸۶	۲۵/۸۲۳۲۱	۰/۲۷۶۷
r ≤ ۴	r ≥ ۵	۱۶/۹۰۸۷۲	۱۹/۳۸۷۰۴	۰/۲۷۶۷
r ≤ ۵	r ≥ ۶	۹/۱۹۶۱۷۴	۱۲/۵۱۷۹۸	۰/۱۶۸۶

منبع: یافته‌های تحقیق

پس در نتیجه با توجه به آزمون حداکثر مقادیر ویژه ۵ و آزمون اثر ۱ بردار همجمعی بلند مدت به‌دست می‌آید. یعنی یک رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیرهای الگو برقرار است. در روش جوهانسون و جوسیلیوس اگر تعداد بردارهای همجمعی بیش از یک بردار باشد، بر اساس علامت و مقدار ضرایب در چارچوب سازگاری با نظریه، بردار نهائی انتخاب می‌شود. در این تحقیق با توجه به این‌که آزمون‌های حداکثر مقدار ویژه و اثر نتایج متفاوت دارند، بنا به اصل صرفه‌جویی یک بردار که نتیجه λ_{trace} می‌باشد، انتخاب شده است.

از آن‌جایی که در این تحقیق اثر موجودی سرمایه، جمعیت فعال، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات و شاخص سرمایه انسانی روی شاخص بهره‌وری سبز

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی می‌شود لذا عمل نرمال کردن بردار همجمعی بر اساس متغیر وابسته شاخص بهره‌وری سبز انجام می‌گیرد(جدول۴).

جدول ۴- بردار همجمعی و نرمال شده

Table 4- Cointegration and Normalized Vectors

متغیر / بردار	LGPI	LK	LL	LFDI	LICT	LHC	TREND
بردار نرمال نشده	۱/۰۰۰۰۰۰	-۰/۲۶۴۸۷۸ (۰/۰۹۵۷۵)	-۰/۹۵۳۹۲۸ (۰/۲۵۸۵۸)	۰/۳۳۱۴۲۳ (۰/۰۶۹۴۹)	-۰/۹۳۱۱۴۱ (۰/۴۵۹۱۹)	-۰/۳۲۹۰۱۵ (۰/۷۷۷۷۰)	۰/۱۵۶۹۶ (۰/۱۹۸۹۲)
بردار نرمال شده	-	۰/۲۶۴۸۷۸	-۰/۹۵۳۹۲۸	-۰/۳۳۱۴۲۳	۰/۹۳۱۱۴۱	۰/۳۲۹۰۱۵	-۰/۱۵۶۹۶

منبع: یافته‌های تحقیق

اعداد داخل پارانتز نشان‌دهنده انحراف‌معیار است و آماره t محاسبه شده نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تمامی ضرایب متغیرها می‌باشد.

جدول۴ بردار همجمعی و نرمال شده متغیرها را نشان می‌دهد همان‌طوری‌که مشخص است بردار همجمعی نسبت به متغیر LGPIنرمال شده است و بردار نرمال شده را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$LGPI = 0.265\ LK + 0.954\ LL - 0.331\ LFDI + 0.931\ LICT + 0.329\ LHC - 0.16 Trend$$
$$(2.76626)\quad (3.68916)\quad (-4.76922)\quad (2.02780)\quad (4.23070)\quad (-0.78906)$$

اعداد داخل پارانتز بیانگر آماره t می‌باشد. با توجه به مقدارآماره t تاثیر ضرایب متغیرهای موجودی سرمایه، جمعیت فعال، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، شاخص ICT و شاخص سرمایه انسانی بر شاخص بهره‌وری سبز معنی‌دار می‌باشد. همچنین موجودی سرمایه، جمعیت فعال، شاخص ICT و شاخص سرمایه انسانی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر شاخص بهره‌وری سبز دارد، اما سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تاثیر منفی و معنی‌داری بر شاخص بهره‌وری سبز دارد.

با توجه به نتایج بلند مدت، تاثیر موجودی سرمایه بر شاخص بهره‌وری سبز مثبت و معنی‌دار است و در ازای تغییر ۱٪ در موجودی سرمایه، بهره‌وری سبز حدود ۰/۲۶۵٪ افزایش می‌یابد. همچنین ضریب جمعیت فعال حدود ۰/۹۵۴ می‌باشد که نسبت به موجودی سرمایه دارای ضریب بزرگتری است. این تاثیر به دو دلیل می‌تواند رخ دهد؛ در جریان تولید، افزایش جمعیت فعال یا باعث افزایش تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت و یا باعث کاهش میزان انتشار CO_2 در روند تولید می‌شود که در نتایج به‌دست آمده برای ایران طی دوره مورد تحقیق، نیروی کار نسبت به موجودی سرمایه تاثیر بیشتری در بهره‌وری سبز دارد که این تاثیر می‌تواند بیشتر در خصوص کاهش آلودگی هوا باشد. تاثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر روی شاخص بهره‌وری سبز منفی و معنی‌دار می‌باشد که ضریب تاثیر حدود ۰/۳۳۱ می‌باشد. این تاثیر می‌تواند در اثر افزایش آلودگی باشد. همچنین تاثیر ICT و سرمایه انسانی بر بهره‌وری سبز مثبت و معنی‌دار است که ضرایب آن به ترتیب حدود ۰/۹۳۱و ۰/۳۲۹ می‌باشد. با توجه به نتایج بلندمدت، جمعیت فعال و شاخص ICT بیشترین تاثیر مثبت را بر روی بهره‌وری سبز دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

برای بررسی اعتبار نتایج تخمین بلندمدت، آزمون دو فرض کلاسیک فقدان خودهمبستگی بین پسماندهای مدل و فقدان ناهمسانی واریانس ضروری می‌باشد. برای بررسی مشکل خودهمبستگی از آزمون LM برای ۲ وقفه و برای ناهمسانی واریانس از آماره Chi-sq استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل در جدول ۵ فرضیه صفر آزمون LM بیانگر رد وجود خودهمبستگی می‌باشد که با توجه به نتایج بدست آمده در هر دو وقفه فقدان خود همبستگی دیده می‌شود. همچنین برای ناهمسانی واریانس فرضیه صفر بیانگر همسانی واریانس می‌باشد که نتایج به‌دست آمده نبود مشکل ناهمسانی را نشان می‌دهد.

جدول ۵- نتایج آزمون خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس مدل

Table 5- Heteroskedasticity and Autocorrelation Results

آزمون	آماره	ضریب آماره	Prob
خودهمبستگی	LM Lag=1	۲۵/۱۸۷۵۳	۰/۹۱۱۴
	LM Lag=2	۳۸/۲۹۵۹۹	۰/۳۶۵۷
ناهمسانی واریانس	Chi-sq	۳۲۰/۳۹۶۴	۰/۱۳۹۰

منبع: یافته‌های تحقیق

الگوی تصحیح خطا[1]

بر اساس نتایج الگوی کوتاه‌مدت (جدول۶) ضریب-VECM(1) در معادله حدود ۹٪ می‌باشد این امر حاکی از آن است که اگر از دوره زمانی t به t + 1 حرکت کنیم به میزان حدود ۰/۰۹ از عدم تعادل شاخص بهره‌وری سبز از مسیر بلند مدتش توسط متغیرهای الگو اصلاح شده و به سمت روند بلند مدت تعادلی خود حرکت می‌کند. به‌عبارت دیگر حدود ۱۱ دوره طول می‌کشد تا تعادل بلندمدت ایجاد شود. منفی و کوچکتر از واحد بودن این ضریب و معنادار بودن آن به معنی اثبات همجمعی و رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیرهای توضیحی (تایید نتایج آزمون همجمعی)می‌باشد ضمن این‌که دال بر وجود رابطه علیت از سوی متغیرهای توضیحی بر LGPI در بلندمدت نیز است.

جدول ۶- معادله الگوی تصحیح خطای برداری برای ΔLGPI

Table 6-Vector Error Correction Model (VECM)

متغیر	D(LGPI)	آماره t
VECM(-1)	-۰/۰۸۶۱۶۶	-۱/۸۸۲۸۰
D(LGPI(-1))	-۰/۰۱۳۱۷۲	-۰/۰۶۵۱۰
D(LK(-1))	-۰/۰۷۹۲۵۳	-۱/۷۳۳۸۹
D(LL(-1))	-۰/۱۱۷۳۹۳	-۱/۰۹۲۴۲
D(FDI(-1))	۰/۰۳۴۷۳۴	۱/۱۸۸۴۷
D(ICT(-1))	۰/۱۲۷۶۴۳	۰/۴۹۷۶۰
D(LHC(-1))	۰/۴۴۴۱۶۷	۲/۱۵۵۳۶
C	-۰/۸۰۴۰۴۴	-۱/۹۱۵۴۶
R^2 = ۰/۳۳		

منبع: یافته‌های تحقیق

1-Error Correction Model

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج بلندمدت، تاثیر موجودی سرمایه بر شاخص بهره‌وری سبز مثبت و معنی‌دار می‌باشد و در ازای ۱٪ تغییر در موجودی سرمایه، بهره‌وری سبز حدود ۰/۲۶۵٪ افزایش می‌یابد. همچنین ضریب جمعیت فعال حدود ۰/۹۵۴ می‌باشد که نسبت به موجودی سرمایه دارای ضریب بزرگتری است. تاثیر سرمایه-گذاری مستقیم خارجی بر شاخص بهره‌وری سبز منفی و معنی‌دار است و ضریب تاثیر حدود ۰/۳۳۱می‌باشد. همچنین تاثیر ICT بر بهره‌وری سبز مثبت و معنی‌دار بوده و با افزایش ۱ درصدی در شاخص ICT بهره‌وری سبز حدود ۰/۹۳۱٪ افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده ICT و FDI در بلندمدت در جهت خلاف یکدیگر عمل می‌کنند. در نهایت تاثیر سرمایه انسانی بر بهره‌وری سبز مثبت و معنی‌دار بوده و ضریب آن حدود ۰/۳۲۹ می‌باشد. با توجه به نتایج بلندمدت جمعیت فعال و شاخص ICT بیشترین تاثیر مثبت را بر روی بهره‌وری سبز دارد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و با توجه به تاثیر منفی و معنی‌دار سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر بهره-وری سبز که این تاثیر می‌تواند در اثر افزایش آلودگی باشد، پیشنهاد می‌شود با اتخاذ سیاست‌های لازم برای کاهش اثرات مخرب FDI از جمله جایگزین کردن انرژی‌های سبز، زمینه افزایش بهره‌وری سبز را فراهم ساخت.

همچنین پیشنهاد می‌شود با وضع قوانین و استانداردهای زیست محیطی ورود سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی با آلودگی زیست محیطی کمتر صورت پذیرد.

تاثیر شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات بر شاخص بهره‌وری سبز در کشور ایران مثبت و معنادار بوده، لذا به یقین می‌توان گفت جهت اجرای فرآیند بهبود مستمر و موثر بهره‌وری سبز، استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌عنوان راهکاری جهت نهادینه کردن بهره‌وری سبز ضروری می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود جهت ساخت و اجرایی کردن مفهوم بهره‌وری سبز معیارهایی مشخص شوند که الگوهای کیفی رشد و توسعه اقتصادی را به طور کامل در برگیرند.

Reference

1. Saleisi,M., Ehsani,A., Alavipour,F., Chehar Azar,F.2013. The Effect of Information and Communication Technology in Sustainable Development of the Environment. Quarterly Journal of Environmental Education and Sustainable Development. 2(5), 53-72, (In Persian).
2. Copeland, B. R. & M. S. Taylor (2003) ."Trade and the Environment", Princeton University Press.
3. Gaur, S., Matta, G. and Singh, V., 2011. Importance and Role of Green Productivity in Industries: A Review, Enviroment Conservation Journal 12(1&2), pp.129-133
4. Johannson and Kobbert., 2006. Handbook on Green Productivity, Asian Productivity Organization.
5. MOEA., 2017. Guidelines on Energy Development, Ministry of Economic Affairs, Taiwan.
6. Huppes, G. and Ishikawa, M.(2005). A framework for quantified eco-efficiency analysis. Journal of Industrial Ecology, 9(4), 25-41.
7. Kortelainen, M. and Kuosmanen, T.(2005). "Measuring eco-efficiency of production with data Envelopment Analysis " Journal of Industrial Ecology, 9(4). 4, 59-71.
8. Kortelainen, M. (2008). Dynamic environmental performance analysis: A malmquist index approach. *Ecological Economic*, vol. 64, 701-715.
9. Lauwers, L.(2009). Justifying the incorporation of the materials balance principle into frontier-based eco-efficiency models. *Ecological Economic*, vol. 68, 1605-1614.

www.SID.ir

Archive of SID

10. Hahn, T. Figge, F., Liesen, A. and Barkemeyer, R.(2010). Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: A methodolohy and its application to the CO2-efficiency of German companies. *Journal of Environmental Management*, vol. 91,1997-2007.
11. Repetto, R., Rotham, D., Faeth, P., Austin, D., 1996. Has Environmental Protection Really Reduced Productivity Growth? We Need Unbiased Measures. World Resource Institute, Washington, DC.
12. Hur, T., Kim, I. and Yamamoto, R.,2004. "Measurement of green productivity and its improvement," Journal of Cleaner Production, vol. 12, pp. 673–683.
13. Gandhi, N. M. D., Selladurai, V. and Santhi, P. "Green productivity indexing: A practical step toward integrating environmental protection into corporate performance," International Journal of Productivity and Performance Management, 2006, vol. 55, No. 7, pp. 594-606.
14. Emami Meybodi, A., Khoshkamol Khosroshahi, M,. Mahdavi, R, A,.2015. Efficiency and Productivity an Economic Perspective", Allameh Tabatabaei University Press, First Edition,234.
15. https://www.cbi.ir.
16. World Bank (2018).
17. Penn World Table (2018)
18. Unctad Stat(2018)

www.SID.ir