Summer (2023) 7(24): 69-82
DOI: 10.30473/JIER.2024.70065.1431
Received: 24 Dec 2023 Accepted: 12 Jan 2024

Industrial Economics Researches Open Access

ORIGINAL ARTICLE

The Effect of Green Innovation and Technology on e-waste Generation in Selected OECD Countries

Saeed Rasekhi[1*], Seyed Hamid Khodamolhosseini[2]

[1] Professor of Economics, Department of Energy Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Iran.
[2] MA Student in Energy Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Iran.

Correspondence
Saeed Rasekhi
Email: srasekhi@umz.ac.ir

How to cite
Rasekhi, S., & Khodamolhosseini, S.H. (2023). The Effect of Green Innovation and Technology on e-waste Generation in Selected OECD Countries. Industrial Economics Researches, 7(24), 69-82.

ABSTRACT
The incremental increasing generation of electronic waste has created concerns for human society, especially regarding the environment. In addition to environmental pollution, waste has harmful effects on human health. In this regard, the hypothesis of the present research is whether, along with factors such as electricity intensity, energy intensity, and urbanization, advanced technology and comparative advantage in environmentally related technologies affect the generation of e-waste. The scope of this research, based on the latest available data, is the period of 2010-2020 and 10 selected countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). The results of the present research based on the panel data model show that the comparative advantage in technologies related to the environment has a reducing effect on electronic waste and accordingly, the main recommendation of this article is to emphasize green innovations in reducing hazardous waste. It is also recommended to develop innovation and technology management in order to reduce electronic waste and sustainable development.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

KEYWORDS
Green Innovation, e-waste, Panel data, OECD.
JEL Classification: Q53, Q55, L60, C33.

© 2023, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

سال هفتم، شماره بیست‌وچهارم، تابستان ۱۴۰۲ (۸۲-۶۹)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۲

DOI: 10.30473/JIER.2024.70065.1431

نشریه علمی

پژوهش‌های اقتصاد صنعتی

«مقاله پژوهشی»

اثر فناوری و نوآوری سبز بر تولید زباله‌های الکترونیکی در کشورهای منتخب OECD

سعید راسخی*[۱]، سید حمید خدام‌الحسینی[۲]

[۱] استاد اقتصاد، گروه اقتصاد انرژی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

نویسنده مسئول:
سعید راسخی
رایانامه: srasekhi@umz.ac.ir

چکیده

افزایش فزاینده تولید زباله‌های الکترونیکی نگرانی و دغدغه‌هایی را برای جامعه بشری به‌ویژه در رابطه با محیط‌زیست ایجاد کرده است. زباله‌ها علاوه‌بر آلودگی‌های زیست‌محیطی، تأثیرات مخربی بر سلامتی انسان دارند. در این راستا، فرضیه تحقیق حاضر این است که آیا در کنار متغیرهایی همچون شدت برق، شدت انرژی و شهرنشینی، فناوری پیشرفته و مزیت نسبی در فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست بر تولید زباله‌های الکترونیکی مؤثر است. حدود این پژوهش، براساس آخرین داده‌های قابل دسترس، دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۰ و ۱۰ کشور منتخب سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر براساس الگوی داده‌های تابلویی نشان می‌دهد مزیت نسبی در فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست اثر کاهنده بر زباله‌های الکترونیکی دارد و بر این اساس، توصیه اصلی این مقاله تأکید ویژه به نوآوری‌های سبز در کاهش زباله‌های الکترونیکی خطرناک می‌باشد. همچنین توصیه می‌شود مدیریت نوآوری و فناوری در راستای کاهش زباله‌های الکترونیکی و توسعه پایدار شکل گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

واژه‌های کلیدی

فناوری‌های سبز، زباله‌های الکترونیکی، داده‌های تابلویی، OECD.

طبقه‌بندی JEL: C33, L60, Q55, Q53.

استناد به این مقاله:

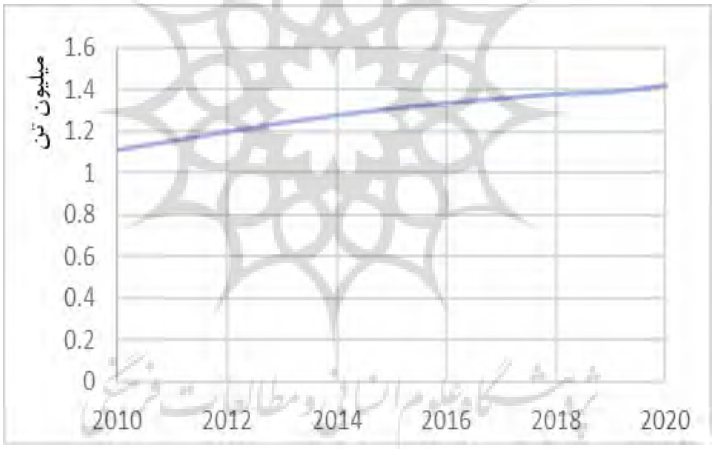
راسخی، سعید، خدام‌الحسینی، سید حمید (۱۴۰۲). اثر فناوری و نوآوری سبز بر تولید زباله‌های الکترونیکی در کشورهای منتخب OECD ، فصلنامه پژوهش‌های اقتصاد صنعتی، ۷(۲۴)، ۸۲-۶۹.

https://indeco.journals.pnu.ac.ir/

۱- مقدمه

در دنیای کنونی، پسماند یکی از اجزای جدانشدنی زندگی بشر به حساب می‌آید و در دو دهه‌ی اخیر، مدیریت پسماندهای جامد شهری به یکی از نگرانی‌های مدیریت شهری تبدیل شده است. از این‌رو جمع‌آوری و دفع پسماندها به روشی که موجب کاهش خطرات مستقیم و غیرمستقیم سلامت مردم و محیط‌زیست گردد، دارای اهمیت فراوانی است (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۱). صنعتی شدن کشورهای درحال توسعه بدان معناست که پیامدهای محیط زیستی نیز افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، باید راهی برای کنترل رشد آلودگی یافت به نحوی که با توسعه صنعتی، محیط‌زیست نیز حفظ شود. با رشد جوامع صنعتی در دهه‌های اخیر، آلودگی محیط‌زیست نیز روند روبه‌رشدی داشته است. تغییرات آب و هوایی که عمدتاً ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است از نمونه‌های برجسته در این زمینه است (تقدیسیان و میناپور، ۱۳۸۲). تغییرات فناوری بر حجم جهانی زباله‌های الکترونیکی تولیدشده تأثیر می‌گذارد. چرخه‌های کوتاه نوآوری موجب گردش مالی بالا برای تجهیزات شده ولی در مقابل میزان زباله‌های الکترونیکی را افزایش داده است. طول عمر واحدهای پردازش مرکزی در کامپیوترها از ۴ تا ۶ سال در سال ۱۹۹۷ به ۲ سال در سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است (بابو[1] و همکاران، ۲۰۰۷).

براساس مطالعه فورتی و همکاران، زباله‌های الکترونیکی تولید شده جهانی در سال ۲۰۱۹، ۵۳/۶ میلیون تن بوده است (فورتی[2] و همکاران، ۲۰۲۰). طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده از اطلاعات مرکز آمار OECD[3]، میزان زباله‌های الکترونیکی به‌عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی کشورها، ۳۹٪ اندازه‌گیری شده است و به‌دلیل ورود تکنولوژی‌های مدرن و دیجیتالی‌شدن جهان، تولید این‌گونه از زباله‌ها دارای روندی نسبتاً صعودی در اکثر کشورها است. یافته‌های مطالعه حاضر نیز نشان می‌دهد تولید زباله‌های الکترونیکی در کشورهای OECD طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۰روند صعودی و روبه‌رشدی دارد (نمودار ۱).



نمودار ۱. میانگین تولید زباله‌های الکترونیکی در کشورهای منتخب OECD طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۰ (مآخذ: سایت OECD)

اگرچه با روند شهرنشینی، توسعه‌یافتگی و افزایش رفاه، تولید زباله‌های الکترونیکی درحال افزایش است ولی عوامل مختلفی در کنترل این روند مؤثر می‌باشند. در این رابطه، نوآوری عاملی است که می‌تواند از یک‌سو مقیاس تولید محصولات الکترونیکی را افزایش دهد و بر حجم زباله‌های الکترونیکی اضافه کند و از سوی دیگر، اگر دوستدار محیط‌زیست باشد می‌تواند در رفع مشکل زباله‌های الکترونیکی مؤثر باشد. عامل دیگر سطح توسعه کشورها و قوانین موجود برای کنترل زباله‌های الکترونیکی است. کشورهای توسعه‌یافته عمدتاً دارای زیرساخت قوی برای بازیافت زباله هستند و به کمک قوانین قادر به کنترل حجم زباله هستند.

هدف اصلی مقاله حاضر بررسی اثر نوآوری بر زباله‌های الکترونیکی، و فرضیه این تحقیق مؤید اثر منفی نوآوری بر میزان مواد زائد الکترونیکی می‌باشد. بر این اساس، به نظر می‌رسد نوآوری به خودی خود به سبز شدن اقتصاد کمک می‌کند و اگر با اقدامات و رویکردهای محیط‌زیستی همراه باشد انتظار می‌رود زباله‌های الکترونیکی را کاهش دهد. بدین‌ترتیب، نوآوری مقاله حاضر بررسی مزیت نسبی فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست در کاهش زباله‌های الکترونیکی می‌باشد. شایان گفتن است که مطالعه مشابهی در این

1. Babu
2. Forti
3. Organization for Economic Cooperation and Development

زمینه یافت نشده است اما برخی مطالعات تجربی مرتبط صورت گرفته در ادامه ارائه می‌شود.

مارینسکو[1] و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی از رویکرد داده‌های تابلویی برای ساخت یک مدل رگرسیونی بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ برای ۲۰ کشور اروپایی استفاده کردند تا نشان دهند متغیرهای سن، نرخ بیکاری، میزان تحصیلات و حداقل دستمزد بر میزان جمع‌آوری زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی تأثیر دارد. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که سن فرد بیشترین تأثیر را بر میزان جمع‌آوری زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی دارد و دومین عامل نرخ بیکاری می‌باشد که نمادی برای توصیف وضعیت اجتماعی یک جامعه است. براساس این مطالعه، متغیر مربوط به تحصیلات تأثیر مرتبطی بر میزان جمع‌آوری زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی ندارد، ولی حداقل دستمزد کمترین اثر را در جمع‌آوری زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی دارا می‌باشد. در پژوهشی دیگر که توسط ناملیس و کومیلیس[2](۲۰۱۹) برای ۱۰ کشور اروپایی طی دوره زمانی ۲۰۱۵–۲۰۰۸ و با استفاده از روش داده‌های تابلویی صورت گرفت، تأثیر تولید ناخالص داخلی، شاخص توسعه انسانی، نرخ بیکاری و انتشار دی‌اکسیدکربن بر نرخ تولید سیزده نوع زباله جامد بررسی گردید. آنان دریافتند که تولید ناخالص داخلی سرانه (GDPPC)[3]، نرخ سواد، ضریب نفوذ اینترنت و جمعیت شهری به‌طور مستقیم بر تولید زباله‌های الکترونیکی تأثیر نمی‌گذارند. نتایج نشان داد که ۹ مدل از زباله‌های جامد با تولید ناخالص داخلی همبستگی مثبت داشتند، که پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی قوی‌ترین همبستگی مثبت را داشتند. بوبلوتا و برانت[4](۲۰۲۲) با به‌کارگیری مدل داده‌های تابلویی شامل داده‌های ۳۰ کشور اروپایی طی دوره زمانی ۲۰۱۸–۲۰۰۸ فرضیه منحنی کوزنتس محیط زیستی[5] را آزمون کردند. براساس این مطالعه، شواهد قوی درباره رابطه N شکل میان رشد اقتصادی و نرخ بازیافت زباله الکترونیکی یافت شده است، به‌گونه‌ای که نرخ بازیافت زباله الکترونیکی ابتدا با رشد اقتصادی افزایش یافته و در ادامه و در مرحله بلوغ اقتصادی کاهش و سرانجام دوباره برای اقتصادهای بالغ شروع به افزایش می‌کند.

سازماندهی مقاله به این‌صورت می‌باشد که بعد از مقدمه، مبانی نظری در بخش دوم ارائه شده است. بخش سوم به تصریح و برآورد مدل و تحلیل نتایج اختصاص دارد. نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی در بخش چهارم ارائه شده است. سرانجام، منابع و مآخذ در انتهای مقاله آمده است.

۲- مبانی نظری

در دو دهه گذشته، رشد جهانی در تولید و مصرف تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی به‌صورت تصاعدی بوده است. این امر عمدتاً به‌دلیل افزایش نفوذ محصولات در بازار کشورهای درحال توسعه، توسعه بازار جایگزین در کشورهای توسعه‌یافته و به‌طور کلی نرخ بالای منسوخ شدن محصولات است (برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد[6]، ۲۰۰۷). تولید و استفاده از وسایل الکتریکی و الکترونیکی مانند کامپیوتر، لپ‌تاپ و یا تلفن همراه برای شکوفایی و رشد اقتصادی کشورها حیاتی است، ولی زباله‌های حاصل از آنها مشکلات بزرگی را برای سلامت انسان و محیط طبیعی ایجاد می‌کند (سینگ[7] و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی[8] و همکاران، ۲۰۱۵؛ جیووانیس[9]، ۲۰۱۵).

مدیریت زباله‌های الکترونیکی از کشورهای درحال توسعه گرفته تا کشورهای صنعتی به یک موضوع جهانی و نوظهور تبدیل شده است (آوشتی و لی[10]، ۲۰۱۷؛ لی[11] و همکاران، ۲۰۱۵؛ سیانوپکائو و وانگ[12]، ۲۰۱۳) و با توجه به نوآوری‌های تکنولوژیکی، روندهای تغییر لوازم الکترونیکی مصرفی، طول عمر کمتر محصولات الکترونیکی و افزایش تقاضا برای محصولات پیشرفته، شیوه‌های هدررفت زباله‌های الکترونیکی را تشدید می‌کند (جایارامان[13] و همکاران، ۲۰۱۸) زباله‌های الکترونیکی به فرآیندی اطلاق می‌شود که اشکال مختلفی از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را دربر می‌گیرند که دیگر هیچ ارزشی برای صاحبان خود ندارند (ویدمر[14] و همکاران، ۲۰۰۵). ولی مانند هر کالای دیگری، تجهیزات الکترونیکی نیز دارای عمر محدودی هستند و بعد از مدتی دور انداخته می‌شوند (اندرسون[15] و همکاران، ۲۰۱۹). سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) زباله‌های الکترونیکی را به عنوان "هر وسیله‌ای که از منبع تغذیه الکتریکی استفاده می‌کند و به پایان عمر خود رسیده است" تعریف می‌کند (برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد، ۲۰۰۷). زباله‌های

1. Marinescu
2. Namlis & Komilis
3. Gross Domestic per Capita
4. Boubellouta & Kusch-Brandt
5. Environmental Kuznets curve
6. United Nations Environment Programme
7. Singh
8. Li
9. Giovanis
10. Awashti & Li
11. Li
12. Sthiannopkao & Wong
13. Jayaraman
14. Widmer
15. Andersson

الکترونیکی، سریع‌ترین رشد را در میان زباله‌های جامد شهری جهان دارند (کارینز[1]، ۲۰۰۵؛ بلید[2] و همکاران، ۲۰۱۵؛ فورتی و همکاران، ۲۰۲۰) و با توجه به اینکه بسیاری از کشورها فاقد مقررات مناسب، آگاهی کلی و نهادهایی برای دفع مناسب، بازیافت و استفاده مجدد از زباله‌های الکترونیکی هستند، این معضل رو به افزایش است (ژنگ[3] و همکاران، ۲۰۱۹؛ شیتو[4] و همکاران، ۲۰۲۱؛ راویندرا و مور[5]، ۲۰۱۹؛ پاتیل و راماکریشنا[6]، ۲۰۲۰)، اما سیاست‌های زباله الکترونیکی عامل تعیین‌کننده توسعه هیچ کشوری نیست. بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته سیاست زباله الکترونیکی ندارند، درحالی‌که برخی از کشورهای درحال توسعه سیاست زباله الکترونیکی دارند (کامینسکی[7]، ۲۰۱۶؛ لیدل[8]، ۲۰۱۳؛ پاریاتامبی و ویکتور[9]، ۲۰۱۳). مفهوم زباله‌های الکترونیکی در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ به‌دنبال تخریب محیط‌زیست که ناشی از واردات زباله‌های خطرناک الکترونیکی به کشورهای درحال توسعه بود، آشکار شد (شینکوما و هونگ[10]، ۲۰۰۹).

اهمیت رویکرد یکپارچه برای رسیدگی به چالش‌ها در مدیریت زباله‌های الکترونیکی در جامعه مدرن بسیار مهم است(ایخلیل[11]؛ ۲۰۱۸). مدیریت زباله‌های الکترونیکی، مدیریت فعالیت‌های مرتبط با تولید، ذخیره‌سازی، جمع‌آوری، انتقال، پردازش و دفع زباله‌های الکترونیکی است که باید با رعایت اصول اقتصادی، انرژی، زیبایی‌شناسی و حفاظت از محیط‌زیست صورت گیرد (کیوگورگا[12]، ۱۹۹۵). آگاهی از پیامدهای اجتماعی زباله‌های الکترونیکی به حداقل رساندن آلودگی محیط‌زیست و اثرات منفی بر سلامت انسان است. آلودگی بصری می‌تواند با تأثیرگذاری بر کیفیت زندگی جامعه، سلامت روانی و جسمی ایجاد کند (جانا و دی[13]، ۲۰۱۵) ولی انتخاب وسایل سبز و سازگار با محیط‌زیست برای نیازهای روزمره افراد مهم است. ارزیابی چرخه حیات یکی از فرآیندهای قدرتمند برای شناسایی اثرات زیست‌محیطی دفع محصولات الکترونیکی است (کیدی[14] و همکاران، ۲۰۱۳) و در دسترس بودن اطلاعات مناسب برای افراد، بینش آنها را برای خرید محصولات سبز بالا می‌برد (لوجاکونو و زاکایی[15]، ۲۰۰۴). جهانی شدن زباله‌های الکترونیکی پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی و بهداشتی دارد زیرا کشورهای درحال توسعه با چالش‌های اقتصادی مواجه هستند و زیرساخت‌های لازم برای مدیریت صحیح زباله‌های خطرناک از جمله بازیافت یا چارچوب‌های نظارتی مؤثر برای مدیریت زباله‌های خطرناک را ندارند (رویکرد استراتژیک به مدیریت بین‌المللی مواد شیمیایی[16]، ۲۰۰۹). حجم زباله‌های الکترونیکی بازیافتی در سال‌های گذشته رو به افزایش بوده است، اما این روند با رشد سریع‌تر تولید زباله‌های الکترونیکی در جهان همگام نیست (فورتی و همکاران، ۲۰۲۰). زباله‌های الکترونیکی حاوی انواع مختلفی از مواد خطرناک مانند جیوه، کادمیوم، بروم و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای هستند (فورتی و همکاران، ۲۰۲۰؛ ایلانکن[17] و همکاران، ۲۰۱۸) و اگر مدیریت ضعیفی داشته باشد، خطرات جدی برای سلامت انسان و محیط‌زیست ایجاد خواهد کرد. مواد خطرناک موجود در زباله‌های الکترونیکی می‌توانند باعث مسمومیت عصبی مزمن، سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی، نارسایی اندام‌هایی مانند کبد و کلیه و سایر مشکلات شدید سلامتی شوند (ایلانکن و همکاران، ۲۰۱۸). حجم بالای زباله‌های الکترونیکی به‌دلیل داشتن طراحی سمی و پیچیده که به سختی از هم جدا می‌شوند، به‌طور چشمگیری به محیط‌زیست آسیب می‌زند. محدودیت‌های مالی دلیل دیگری است که افراد در روش‌های دفع سبز تمرین نمی‌کنند و فقدان قوانین سختگیرانه منجر به دفع نامناسب زباله‌های الکترونیکی در محل دفن زباله می‌شود (کوارتا[18] و همکاران، ۲۰۱۴). افراد تمایل دارند تلفن همراه قدیمی خود را پس از پایان عمر نگهداری کنند و عادت دارند زباله‌های الکترونیکی را به همراه زباله‌های خانگی معمولی دفع کنند (بابایمی[19] و همکاران، ۲۰۱۶). سطح آگاهی بالاتر در مورد عمل دفع اصولی، اثرات خطرناک منفی را به حداقل می‌رساند. این رفتارهای افراد نه تنها به آنها کمک می‌کند بلکه باعث ایجاد آگاهی در کل جامعه می‌شود (نواگو و اوکنی[20]، ۲۰۱۶).

آگاهی از مکان‌های دفع دور از محل زندگی نیز به افراد کمک می‌کند تا آلودگی را در محل به حداقل برسانند. یک سیستم دفع

1. Cairns
2. Baldé
3. Zhang
4. Shittu
5. Ravindra & Mor
6. Patil & Ramakrishna
7. Kaminsky
8. Liddle
9. Pariatamby & Victor
10. Shinkuma & Huong
11. Ikhlayel
12. Kiogora
13. Jana & De
14. Kidee
15. Lojacono & Zaccai
16. Strategic Approach to International Chemicals Management
17. Ilankoon
18. Kwarta
19. Babayemi
20. Nwagwu & Okuneye

به‌روز می‌تواند تأثیر منفی فعالیت‌های دفع را بر محیط‌زیست کاهش دهد و به‌طور رضایت‌بخشی خطرات بالقوه ناشی از شیوه‌های مدیریت زباله‌های الکترونیکی را دفع کند (پینتو[۱]، ۲۰۰۸). داشتن دانش کافی در مورد روش‌های دفع زباله‌های الکترونیکی نیز نقش مهمی در حفظ منابع طبیعی، جلوگیری از آسیب‌رساندن جدی جبران‌ناپذیر به محیط‌زیست و سلامت افراد ایفا می‌کند (دورایسامی[۲] و همکاران، ۲۰۱۷). زباله‌های الکترونیکی را می‌توان از طریق فرآیند سوزاندن در محل دفن زباله دفع کرد، اما این عمل به‌عنوان یک فعالیت مجرمانه شناخته می‌شود. دفن زباله مواد سمی را به آب‌های زیرزمینی منتقل می‌کند و پیامد آن منجر به انتشار گازهای سمی در جو می‌شود (کیدی و همکاران، ۲۰۱۳). از دیگر مزایای بازیافت می‌توان به کاهش گازهای گلخانه‌ای (GHG)[۳]، حفظ انرژی و مواد، و اثرات کمتر بر سلامت انسان و ایجاد شغل اشاره نمود (هوتا[۴] و همکاران، ۲۰۱۴). کشورهایی که نرخ بازیافت بالاتری دارند زباله کمتری تولید می‌کنند (اسلام[۵] و همکاران، ۲۰۱۹؛ آنتونی و مارزتی[۶]، ۲۰۱۹) و گازهای گلخانه‌ای کمتری منتشر می‌کنند (ماگازینو[۷] و همکاران، ۲۰۲۰؛ تورنر[۸] و همکاران، ۲۰۱۵) اما انگیزه اصلی مدیریت زباله از این واقعیت ناشی می‌شود که زباله‌های الکترونیکی حاوی مقادیر زیادی مواد گرانبها و باارزش هستند (ژنگ[۹] و همکاران، ۲۰۱۹). با انگیزه‌های اقتصادی، بازیافت زباله‌های الکترونیکی به یک روش رایج در برخی از کشورهای درحال توسعه مانند چین، هند و پاکستان تبدیل شده است (ژنگ[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۷).

رشد قابل توجه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)[۱۱]، صنعت الکترونیک و توسعه اقتصادی در درجه اول مسئول تولید غیرقابل کنترل زباله‌های الکترونیکی هستند (حسین[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۵؛ نیدهیداسان[۱۳] و همکاران، ۲۰۱۴؛ ترازونو[۱۴] و همکاران، ۲۰۰۶؛ کارینز، ۲۰۰۵). در سراسر جهان، تولید سرانه ناخالص داخلی، ضریب نفوذ اینترنت، زباله‌های الکترونیکی و جمعیت شهری از شاخص‌های رشد یک اقتصاد محسوب می‌شوند(سو و دولان[۱۵]، ۲۰۱۴، سورکو گردیک[۱۶] و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به جوامع پویا، شهری و مجازی حال حاضر، پرداختن به این نکته بسیار مهم است که اقتصادهای با تولید ناخالص داخلی بالا، ضریب نفوذ اینترنت، مصرف محصولات الکترونیکی بالاتری را تجربه می‌کنند و انتظار می‌رود مقادیر بالاتری از زباله‌های الکترونیکی داشته باشند (پاپلی[۱۷] و همکاران، ۲۰۲۱؛ هان[۱۸] و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر انتظار می‌رود که سطح مالی یک کشور و همچنین استاندارد زندگی شهروندان آن بر تولید زباله جامد تأثیر بگذارد. هرچه رشد اقتصادی بیشتر باشد و جامعه‌ای مصرف‌کننده‌تر باشد، این توقع حاصل می‌گردد که تولید زباله جامد بیشتر باشد (ژیاناکیتسیدو[۱۹] و همکاران، ۲۰۱۶؛ ویرا و متئوس[۲۰]، ۲۰۱۸). توسعه هر کشور به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم با استفاده از ابزارهای الکترونیکی مرتبط است (گنروویچ و ایوانجکو[۲۱]، ۲۰۱۷؛ لیتل و لوسیر[۲۲]، ۲۰۱۷؛ وو[۲۳] و همکاران، ۲۰۱۲). با افزایش توسعه اقتصادی در کشورها، سطح بالاتری از زباله‌های الکترونیکی تولید می‌شود و کشورهای توسعه‌یافته پتانسیل بالاتری برای حفظ سیستم زباله الکترونیکی دارند (لی و همکاران، ۲۰۱۵). کارشناسان مقادیر تولید زباله‌های الکترونیکی را مانند یک اثر منطقی از پیشرفت فناوری، به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته توصیف کرده‌اند (سونگ[۲۴] و همکاران، ۲۰۱۶) از این‌رو انتظار می‌رود با افزایش قدرت خرید ساکنین کشورهای درحال توسعه، تولید زباله‌های الکترونیکی در این کشورها به زودی از کشورهای توسعه‌یافته پیشی بگیرد (لی و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش مقدار زباله‌های الکترونیکی نشانه‌ای از رونق اقتصادی فزاینده است زیرا تولید زباله با ثروت اقتصادی ارتباط تنگاتنگی دارد و کشورهایی که دارای تولید ناخالص داخلی بالاتری هستند، معمولاً تولید زباله الکترونیکی بالاتری نسبت به کشورهایی که دارای تولید ناخالص داخلی پایین‌تری هستند، تولید می‌کنند (آوشتی[۲۵] و همکاران، ۲۰۱۸؛ هویزمن[۲۶]، ۲۰۱۰؛ کوش و هیلز[۲۷]،

1. Pinto
2. Duraisamy
3. Green House Gases
4. Hotta
5. Islam
6. Antoni & Marzetti
7. Magazzino
8. Turner
9. Zhang
10. Zhang
11. Information Communications Technology
12. Hossain
13. Needhidasan
14. Terazono
15. Soo & Doolan
16. Sverko Grdic
17. Popli
18. Han
19. Giannakitsidou
20. Vieira & Matheus
21. Generowicz & Iwanejko
22. Little & Lucier
23. Wu
24. Song
25. Awasthi
26. Huisman
27. Kusch & Hills

۲۰۱۷؛ کومار[1] و همکاران، ۲۰۱۷). ضریب نفوذ اینترنت با نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه برای کشورهای درحال توسعه مرتبط است (جیوانی و سؤارز[2]، ۲۰۰۸؛ کورنیوان[3] و همکاران، ۲۰۱۵) و در آخرین شاخص توسعه مشخص شده است که ضریب نفوذ اینترنت، زیرساخت‌های الکترونیکی و جمعیت شهری در محاسبه رشد اقتصادی یک کشور نقش دارند (دانگ[4] و همکاران، ۲۰۲۱؛ سوو و دولان، ۲۰۱۴) پس نه تنها تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر مثبتی بر نفوذ اینترنت دارد، بلکه نفوذ اینترنت نیز تولید ناخالص داخلی یک کشور را افزایش می‌دهد (آسونگو و اُدهیامبو[5]، ۲۰۲۰)، صادرات را نیز تقویت می‌کند (گراچنکو[6] و همکاران، ۲۰۲۰) و فرصت‌های شغلی جدیدی را ایجاد می‌نماید (ژو[7] و همکاران، ۲۰۱۸) و در نتیجه تولید ناخالص داخلی یک کشور را افزایش می‌دهد. اقتصادها پس از ظهور اینترنت سریع‌تر رشد کرده‌اند و رشد جمعیت شهری نیز افزایش پیدا کرده است که منجر به سطح بالاتری از تولید زیرساخت‌های الکترونیکی شده است(ژنگ و منگ[8]، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۸). یک کشور با سطح سواد بالاتر، ضریب نفوذ اینترنت بیشتری خواهد داشت (وینسنت[9]، ۲۰۱۶) و ضریب نفوذ اینترنت نیز به متغیرهای باسوادی و نرخ شهرنشینی بستگی دارد (وینسنت، ۲۰۱۶؛ کورنیوان و همکاران، ۲۰۱۵). نرخ سواد بالاتر با استفاده بیشتر از ابزار و تجهیزات همراه است که به نوعی منجر به تولید زیرساخت‌های الکترونیکی بیشتر می‌شود (پاپلی و همکاران، ۲۰۲۱).

جمعیت باسواد به‌دنبال اینترنت است و جوانان به آن وابسته می‌شوند (زیا[10]، ۲۰۲۰). این امر موجب افزایش نفوذ اینترنت و در نتیجه موجب افزایش زیرساخت‌های الکترونیکی می‌شود (زازو[11]، ۲۰۰۶). از نظر اقتصادی، شهرنشینی و افزایش تقاضا برای کالاهای مصرفی در مناطق مختلف جهان، تقاضا و عرضه محصولات الکترونیکی را افزایش داده است (بابو و همکاران، ۲۰۰۷). سطح سواد بالاتر، منجر به فعالیت اقتصادی بالاتر، مصرف محصولات الکترونیکی و در نتیجه انتظار تولید بیشتر زیرساخت‌های الکترونیکی می‌شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۹). نرخ سواد بالاتر، استفاده از تلفن همراه را افزایش می‌دهد (زیا[12]، ۲۰۲۰) که یکی از بزرگ‌ترین نوع از زیرساخت‌های الکترونیکی در جهان است (گالنگ و بالستروس[13]، ۲۰۱۸). افزایش نرخ سواد و جمعیت شهری، نیاز به سیاست‌های مدیریت و دفع زباله‌های الکترونیکی را بیش از پیش کرده است (زازو، ۲۰۰۶). میزان استفاده از اینترنت در جمعیت شهری در مقایسه با جمعیت روستایی زیاد است (پترائوسکین و زیلینسکاس[14]، ۲۰۱۵) و در هر کشوری، بیشترین تراکم کاربران اینترنت در مراکز شهری است (کای‌اوغلو و نوال[15]، ۲۰۱۷). مصرف گوشی‌های هوشمند و تجهیزات هوشمند در شهر بسیار بالا است و استفاده از آنها به نفوذ اینترنت بستگی دارد که باعث تولید بالای زباله‌های الکترونیکی می‌شود (آسونگو[16]، ۲۰۱۸). استفاده از اینترنت توسط افراد به‌وسیله‌ی گوشی‌های هوشمند و تجهیزات الکترونیکی مانند لپ‌تاپ و کامپیوتر صورت می‌گیرد. این ابزارها با استفاده از صنایع تکنولوژیکی تولید می‌گردند و همچنین در زندگی امروزی بشر، نقش مهمی را ایفا می‌کنند، پس در نتیجه می‌توانند به تولید زباله‌های الکترونیکی منجر شوند.

۳- تصریح و برآورد مدل و تحلیل نتایج

برای آزمون فرضیه تحقیق حاضر از مدل داده‌های تابلویی طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۰ برای کشورهای منتخب OECD شامل استرالیا، کانادا، شیلی، کلمبیا، انگلستان، ژاپن، کره جنوبی، نیوزلند، سوئیس و ایالات متحده آمریکا استفاده شده است. با توجه به مبانی نظری، پیشینه پژوهش و ادبیات موضوع، الگوی تحقیق به صورت معادله (۱) است.

$$EWI_{i,t}: \beta_0 + \beta_1 EI_{i,t} + \beta_2 EI_{i,t} * HITECHEX_{i,t} + \beta_3 EI_{i,t} * \mathrm{ENTECH}_{i,t} + \beta_4 ELI_{i,t} + \beta_5 ELI_{i,t} * HITECHEX_{i,t} + \beta_6 ELI_{i,t} * \mathrm{ENTECH}_{i,t} + \beta_7 UPOP_{i,t} + \beta_8 HITECHEX_{i,t} + \beta_9 GDPPC_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

معادله (۱)

مدل تحقیق حاضر براساس مبانی نظری و پیشینه پژوهش تصریح شده است. در عین‌حال مدل این مقاله، تا حدودی به مطالعات ناملیس و کومیلیس (۲۰۱۹) و مارینسکو و همکاران (۲۰۱۳) شباهت دارد، ولی در مقایسه، دارای نوآوری‌هایی است که در مقدمه به آنها اشاره شده است.

1. Kumar
2. Geovanny & Suarez
3. Kurniawan
4. Dong
5. Asongu & Odhiambo
6. Gerachenko
7. Zhu
8. Zhang & Meng
9. Vincent
10. Zia
11. Zazzau
12. Zia
13. Galang & Ballesteros
14. Petrauskiene & Zilinskas
15. Kayaoglu & Naval
16. Asongu

معرفی متغیرهای مدل (۱) و علائم مورد انتظار ضرایب آن نیز در جدول (۱) ارائه شده است. براساس این جدول، اثر انتظاری شدت انرژی (شامل انرژی فسیلی) مشخص نیست. همان‌گونه که در مبانی نظری نیز بیان شد کاهش شدت انرژی به معنای افزایش کارایی انرژی و استفاده بهتر از آن در جریان تولید و مصرف است. از سمت تولید، افزایش کارایی عوامل تولید از جمله انرژی به افزایش ستانده با میزان کمتری نهاده منجر می‌شود و از سمت مصرف نیز کارایی انرژی موجب افزایش طول عمر محصول مورد استفاده می‌شود. بدین‌ترتیب، شدت انرژی در هر دو سمت تولید و مصرف می‌تواند تأثیر مثبتی بر محیط‌زیست از جمله کاهش زباله‌های الکترونیکی داشته باشد. حال اگر این افزایش بهره‌وری در صنایعی با تکنولوژی قدیمی و انرژی‌بر باشد، مصرف انرژی افزایش می‌یابد که می‌تواند موجب افزایش زباله الکترونیکی گردد. در این حالت، اگر شدت انرژی با تکنولوژی‌های پیشرفته و نوآوری سبز همراه گردد می‌تواند تولید زباله‌های الکترونیکی را کاهش دهد. در مقابل، انتظار می‌رود که شدت برق موجب افزایش زباله الکترونیکی شود ولی اگر شدت برق با تکنولوژی پیشرفته و نوآوری سبز همراه شود، انتظار می‌رود اثر منفی بر تولید زباله‌های الکترونیکی داشته باشد. همچنین، شهرنشینی مطابق انتظار اثر مثبت بر زباله الکترونیکی دارد. در مقابل، درآمد سرانه بالاتر (به‌عنوان شاخص توسعه‌یافتگی) می‌تواند از میزان زباله‌های الکترونیکی بکاهد. سرانجام انتظار می‌رود توسعه فناوری و نوآوری سبز اثر منفی بر تولید زباله‌های الکترونیکی داشته باشد.

در مدل تحقیق از مزیت نسبی در فناوری‌ها و نوآوری‌های مرتبط با محیط‌زیست استفاده شده است که براساس گزارش مندرج در پایگاه داده این متغیر (OECD)، مزیت نسبی در فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست، شاخصی از تخصص در نوآوری‌های محیط زیستی در یک کشور نسبت به میانگین جهانی است و نحوه محاسبه آن به‌صورت نسبت سهم اختراعات و فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست در کشورها از کل اختراعات و فناوری‌ها به سهم اختراعات و فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست در جهان از کل اختراعات و فناوری‌ها اعلام شده است. در ادامه، توصیف متغیرهای تحقیق در جدول (۲) ارائه شده است. در این رابطه، همان‌گونه که جدول (۲) نشان می‌دهد، میانگین زباله‌های الکترونیکی در کشورهای مورد بررسی طی دوره زمانی حدوداً ۴۱۵۹/. درصد (از GDP) بوده است. البته این شاخص طی دوره زمانی مورد بررسی در بازه ۳/. و ۵۷/. قرار گرفته است که نشانگر انحراف معیار ۰۶۸۵/. می‌باشد.

جدول ۱. معرفی متغیرهای تحقیق

نام متغیر	معرفی متغیر	نحوه اندازه‌گیری	منابع	واحد اندازه‌گیری	علامت مورد انتظار
EWI	زباله‌های الکترونیکی	میزان زباله الکترونیکی تولید شده در سال به‌عنوان درصدی از GDP	OECD	بر حسب درصدی از GDP	
EI	شدت انرژی	نسبت بین عرضه انرژی و تولید ناخالص داخلی در برابری قدرت خرید سال ۲۰۱۷	WorldBank		مثبت/ منفی
HITECHEX	فناوری پیشرفته	صادرات فناوری پیشرفته	World Bank	برحسب درصدی از صادرات تولیدشده توسط فناوری پیشرفته	منفی
ENTECH	مزیت نسبی فناوری‌های مرتبط با محیط زیست	نسبت اختراعات مرتبط با محیط‌زیست در کشورها به اختراعات مرتبط با محیط‌زیست در جهان	OECD	برحسب یک عدد یک از نسبت اختراعات سبز در کشورها به اختراعات سبز در جهان به‌دست می‌آید	منفی
ELI	شدت برق	نسبت بین مصرف برق کل به تولید برق کل	OECD و World Bank		مثبت
UPOP	جمعیت شهری	نسبت جمعیت شهری به کل جمعیت	World Bank	بر حسب درصدی از کل جمعیت	مثبت
GDPPC	تولید ناخالص داخلی سرانه	تولید سرانه ناخالص داخلی تقسیم بر جمعیت بر حسب دلار	World Bank	بر حسب دلار	منفی

منبع: پژوهش حاضر

جدول ۲. توصیف متغیرهای تحقیق

متغیرها	EWI	EI	ELI	UPOP	HITECHEX	ENTECH	GDPPC
میانگین	/۴۱۵۹	۴۰/۰۸۴	/۷۵۳۵	۸۳/۱۵۰۶	۱۷/۳۹	۱/۰۳۳۲	۴۲۲۰۷/۲۵۰۸
میانه	/۳۹۸۴	۳/۹۵	/۹۴۳۸	۸۲/۰۸	۱۷/۷۴	/۹۹	۴۲۷۲۹/۴۸
حداکثر	/۵۶۹۱	۷/۱۷	/۹۸۶۴	۹۱/۷۸۲	۳۶/۳۹	۲/۲۶	۹۰۴۷۶/۷۶
حداقل	/۲۹۹۴	۱/۶۴	/۷۹۵۶	۷۳/۶۰۷	۴/۶۸	/۵۹	۵۳۰۴/۲۸۹
انحراف معیار	/۰۶۸۵	۱/۵۳۸۲	/۰۴۹۷	۴/۶۴۰۳	۷/۵۹۲۵	/۳۸۸۱	۲۱۶۳۷/۴
تعداد مشاهدات	۱۱۰	۱۱۰	۹۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۱۰

منبع: پژوهش حاضر

براساس جدول (۲)، میانگین متغیرهای شدت انرژی و شدت برق دوره زمانی مورد مطالعه به‌ترتیب ۴۰/۰۸۴ و ۷۵۳۵/. می‌باشد. میزان شدت انرژی(نسبت مصرف انرژی به GDP) در بازه ۱/۶۴ و ۷/۱۷ قرار دارد و همچنین میزان شدت برق در بازه ۷۹۵۶/. و ۹۸۶۴/. در نوسان است. این دو متغیر دارای انحراف معیار به‌ترتیب برابر ۱/۵۳۸۲ و ۰۴۹۷/. می‌باشند. میانگین‌های محاسبه‌شده مطابق جدول (۲) برای متغیرهای جمعیت شهری معادل ۸۳/۱۵۰۶، صادرات فناوری پیشرفته برابر با ۱۷/۳۹ و برای متغیر مزیت نسبی در فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست معادل ۱/۰۳۳۲ است. بازه متغیرهای ذکر شده بین ۷۳/۶۰۷ و ۹۱/۷۸۲ برای جمعیت شهری با انحراف معیار ۴/۶۴۰۳، صادرات فناوری پیشرفته دارای بازه ۴/۶۸ و ۳۶/۳۹ با انحراف معیاری معادل ۷/۵۹۲۵ است و برای مزیت نسبی در فناوری‌های مرتبط با محیط زیست نیز این بازه بین ۵۹/. و ۲/۲۶ با انحراف معیاری معادل ۳۸۸۱/. می‌باشد. متغیر تولید سرانه ناخالص داخلی که نمادی برای اندازه‌گیری سطح توسعه یافتگی کشورها محسوب می شود دارای میانگین ۴۲۲۰۷/۲۵۰۸ است و بین بازه‌های ۵۳۰۴/۲۸۹ و ۹۰۴۷۶/۷۶ قرار دارد و انحراف معیار آن نیز معادل ۲۱۶۳۷/۴ است.

قبل از تخمین معادله (۱)، جهت اطمینان از کاذب نبودن رگرسیون[1]، آزمون ایستایی[2] متغیرها انجام شده و در جدول (۳) گزارش گردیده است. براساس این جدول، تمامی متغیرها به جز متغیر جمعیت شهری(UPOP) در سطح یک، ایستا هستند. آزمون انگل[3] روی پسماند مدل اجرا گردید و مدل در سطح صفر، ایستا بوده و بنابراین، مشکل جدی درباره کاذب بودن مدل رگرسیون منتخب وجود ندارد. بعد از اطمینان از کاذب نبودن معادله رگرسیونی منتخب، در ادامه نتایج برآورد معادله (۱) طی دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ برای کشورهای منتخب OECD در قالب جدول (۴) ارائه گردیده است. همان‌گونه که این جدول نشان می‌دهد معادله (۱) ضریب تعیین تعدیل‌شده[4] مناسبی دارد به‌گونه‌ای که متغیرهای مستقل، ۸۴ درصد از متغیر وابسته را توضیح می‌دهند و همچنین، براساس آزمون F کل رگرسیون در سطح ۱ درصد معنادار است. ضرایب برآوردی برای آزمون لیمر[5] و آزمون هاسمن[6] نیز به‌ترتیب نشان می‌دهد که مدل ارائه شده به‌صورت داده‌های تابلویی است و همچنین تصادفی بودن مدل نیز تأیید می‌گردد.

جدول ۳. آزمون ایستایی متغیرهای تحقیق

متغیر	احتمال
EWI	۰
ELI	۰
UPOP	/۹۹۹۹
EI	/۰۰۰۶
GDPPC	/۰۰۰۱
HITECHEX	/۰۳۶۴
ENTECH	/۰۰۱۵
RESIDUAL	/۰۱۷۱

منبع: پژوهش حاضر

1. Non-falsification of regression
2. Stationary Test
3. Engle Test
4. Adjusted R-squared
5. Limer Test
6. Hausman Test

جدول ٤. نتایج تخمین معادله ۱

متغیرها توضیحی	ضریب برآوردی	میزان احتمال	آماره t	نتیجه آزمون
C	./۰۴۱۷	./۱۵۳۱	۱/۴۴۰۸	معنادار در سطح ۸۵٪
EI	−./۰۷۸۶	.۰۰۰۰	−۵/۱۹۰۹	معنادار در سطح ۱٪
EI * HITECHEX	./۰۰۲۴	./۰۰۰۶	۳/۵۶۴	معنادار در سطح ۱٪
EI * ENTECH	./۰۲۵۶	./۰۰۸۸	۲/۶۷۷۸	معنادار در سطح ۱٪
ELI	۲/۱۵۱۶	.۰۰۰۰	۶/۲۰۷۲	معنادار در سطح ۱٪
ELI * HITECHEX	−./۰۸۰۸	.۰۰۰۰	−۵/۵۶۷۸	معنادار در سطح ۱٪
ELI * ENTECH	−./۴۱۳۳	./۰۷۳۶	−۱/۸۰۹۹	معنادار در سطح ۷٪
UPOP	./۰۰۳۷	.۰۰۰۰	۱۱/۵۴۱	معنادار در سطح ۱٪
HITECHEX	./۰۰۸۶	.۰۰۰۰	۱۹/۰۰۸	معنادار در سطح ۱٪
GDPPC	−۳/۱۶	.۰۰۰۰	−۱۹/۹۲۱۲	معنادار در سطح ۱٪
$\overline{R^2}$	./۸۴			متغیرهای مستقل ۸۴٪ از متغیر وابسته را توضیح می‌دهند.
F سطح احتمال	۳۳/۲۲	.۰۰۰۰		تأیید معناداری کل رگرسیون در سطح معناداری ۱٪
آزمون F لیمر	۲۴/۹۵	.۰۰۰۰		تأیید مدل داده‌های تابلویی
آزمون هاسمن	۲۲۴/۵۹	.۰۰۰۰		تأیید تصادفی بودن مدل

منبع: پژوهش حاضر

همان‌گونه که جدول(۴) نشان می‌دهد شدت انرژی اثر منفی و معنادار بر زباله الکترونیکی (به‌عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی) دارد. این ضریب دارای علامت مورد انتظار و مطابق با ادبیات تحقیق است. در توجیه این نتیجه می‌توان بیان کرد که کاهش شدت انرژی اولاً از سمت تولیدکننده موجب می‌شود محصولات بیشتری تولید شود و بنابراین میزان زباله افزایش یابد. ثانیاً از سمت مصرف‌کننده موجب می‌شود مصرف کالاهای انرژی‌بر به خاطر کاهش هزینه‌های مربوطه افزایش یابد و این موجب افزایش زباله‌های الکترونیکی می‌شود. این نتیجه به‌ویژه برای کشورهای منتخب که عموماً قدرت خرید بالایی دارند منطقی به نظر می‌رسد. همچنین این یافته می‌تواند به این دلیل باشد که با ورود تکنولوژی به بخش صنعت، مصرف انرژی‌های فسیلی با انرژی‌های نوین جایگزین‌شده که عموماً انرژی برق می‌باشد که خود همین عامل سبب افزایش تولید زباله‌های الکترونیکی است. بدین‌ترتیب، به نظر می‌رسد صِرف کاهش شدت انرژی نمی‌تواند زباله الکترونیکی را کاهش دهد، اگرچه کاهش شدت انرژی ممکن است بر آلاینده‌های دیگر مؤثر باشد. ضریب متغیر شدت برق اثر مثبت و معنادار و مورد انتظار بر تولید زباله‌های الکترونیکی دارد. این نتیجه دور از انتظار نمی‌باشد زیرا تولید زباله‌های الکترونیکی به میزان تجهیزات الکترونیکی و بنابراین، شدت مصرف برق وابسته است. در عین‌حال، براساس اثر منفی و معنادار متغیرهای تعاملی، زمانی که شدت برق با فناوری پیشرفته و مزیت نسبی در فناوری‌های مرتبط با محیط‌زیست همراه می‌شود، تولید زباله‌های الکترونیکی را کاهش می‌دهد.

ضریب برآوردی صادرات فناوری پیشرفته مثبت و مطابق انتظار و معنادار در سطح ۱٪ به‌دست آمده است. تکنولوژی به خودی خود موجب افزایش زباله‌های الکترونیکی می‌شود. این موضوع را می‌توان این‌گونه تفسیر نمود که با تولید محصولات جدید با استفاده از فناوری‌های نوین، محصولات قدیمی از چرخه مصرف خارج گشته و به زباله تبدیل می‌گردند که باعث افزایش زباله‌های الکترونیکی می‌گردند.

افزایش درآمد سرانه موجب کاهش زباله الکترونیکی می‌شود. ضریب این متغیر منفی و معنادار در سطح ۱٪ برآورد شده است. شایان گفتن است که کشورهای توسعه‌یافته امکانات و قوانین بیشتری برای بازیافت زباله‌های الکترونیکی دارند که یافته اخیر با مطالعات (لی و همکاران، ۲۰۱۵) مرتبط است. در مقابل، ضریب جمعیت شهری مثبت، مطابق انتظار و در سطح ۱٪ نیز معنادار به‌دست آمده است. براساس این یافته، افزایش جمعیت شهری موجب افزایش زباله‌های الکترونیکی می‌شود. با گسترش شهرنشینی و استفاده از امکانات و تکنولوژی‌ها، میزان تولید زباله‌های الکترونیکی نیز افزایش می‌یابد که با این یافته با مطالعات تجربی (ژنگ و منگ، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۸) سازگار است.

٤- نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی اثر تکنولوژی پیشرفته و مزیت نسبی در فناوری‌های مرتبط با محیطزیست، بر تولید زباله‌های الکترونیکی است. محدوده مکانی مورد بررسی این پژوهش کشورهای OECD شامل استرالیا، کانادا، شیلی، کلمبیا، انگلستان، ژاپن، کره جنوبی، نیوزلند، سوئیس و ایالات متحده آمریکا و دوره بررسی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد.

یافته‌های تحقیق حاضر نشان می‌دهد هدایت تحقیق و توسعه و نوآوری، به سمت نوآوری‌های مرتبط با محیطزیست بر کاهش زباله‌های الکترونیکی مؤثر است. بدین‌ترتیب، نظام نوآوری کشور باید بتواند مدیریت مناسبی در رابطه با اختراعات و نوآوری‌ها داشته باشد به‌گونه‌ای که علاوه‌بر افزایش رفاه اقتصادی، محیطزیست نیز در اولویت سیاست‌گذاران قرار گیرد تا توسعه پایدار حاصل گردد. از مهم‌ترین نتایج این پژوهش می‌توان به اثر تعاملی مزیت نسبی کشورها در نوآوری‌های سبز و شدت برق بر زباله الکترونیکی اشاره کرد که طبق انتظار، منفی به‌دست آمده است. همچنین در صورتی که شدت برق با تکنولوژی‌های پیشرفته همراه گردد می‌تواند از تولید زباله‌های الکترونیکی جلوگیری کند. از این‌رو با توجه به مسائل و مشکلات مهم ذکر شده در مقدمه در مورد پیامدهای منفی زباله‌های الکترونیکی بر سلامتی انسان و محیطزیست، به‌عنوان یک توصیه سیاستی پیشنهاد می‌گردد، کشورها با حمایت‌های همه‌جانبه در امر تحقیق و توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌های سبز، انگیزه لازم را برای مخترعان و سرمایه‌گذاران ایجاد کنند تا به کاهش زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی و همچنین توسعه پایدار دست یابند.

منابع و مآخذ

تقوایی، مسعود؛ موسوی، میرنجف؛ کاظمی‌زاده، شمس‌اله؛ قنبری، حکیمه. (۱۳۹۱). مدیریت پسماند جامد شهری، گامی در توسعه پایدار مطالعه موردی: شهر زنجان. نشریه *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۳(۱۲)، ۵۸-۴۱.

تقدیسیان، حسین و میناپور، سعید، (۱۳۸۲). تغییر آب و هوا، آنچه باید بدانیم. انتشارات *مرکز تحقیقات زیست‌محیطی سازمان حفاظت محیط‌زیست*، دفتر طرح ملی آب و هوا.

References

Andersson, M., Ljunggren Sœderman, M. and Sand_en, B. (2019), "Adoption of systemic and sociotechnical perspectives in waste management, WEEE and ELV research", Sustainability, 11(6), 1677.

Antoni, G. D., & Marzetti, G. V. (2019). Recycling and waste generation: An estimate of the source reductioneffect of recycling programs. *Ecological Economics, 161*, 321–329.

Asongu, S.A. (2018), "Conditional determinants of mobile phones penetration and mobile banking in Sub-Saharan Africa", Journal of the Knowledge Economy, 9(1), 81-135.

Asongu, S.A., & Odhiambo, N.M. (2020). Foreign direct investment, information technology and economic growth dynamics in Sub-Saharan Africa. *Telecommunications Policy*, 44(1),101838.

Awasthi, A. K., Cucchiella, F., D'Adamo, I., Li, J., Rosa, P., Terzi, S., Wei, G., & Zeng, X. (2018). Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. *Science of the Total Environment*.46-53.

Awasthi, A.K., Li, J., 2017. Management of electrical and electronic waste: a comparative evaluation of China and India. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 76, 434–447.

Babayemi, J. O., Osibanjo, O., & Weber, R. (2017). Material and substance flow analysis of mobile phones in Nigeria: a step for progressing e-waste management strategy. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *19*(2), 731-742.

Babu, B.R., Parande, A.K., & basha, Ch. A. (2007). Electrical and electronic waste: a global environment problem. *Waste Manage & Research*, 25, 307-318.

Boubellouta, B., & Brandt, S.K. (2022). Driving factors of e-waste recycling rate in 30 European countries: new evidence using a panel quantile regression of the KEC hypothesis coupled with the STIRPAT model. *Environment, Development and Sustainability*.7533-7560.DOI:10.1007/s10668-022-02356-w.

Baldé, C. P., Wang, F., Kuehr, R., & Huisman, J. (2015). *The global e-waste monitor 2014: Quantities, flows and resources*. United Nations University.

Cairns, C.N. (2005). E- waste and the consumer: Improving options to reduce, reuse and recycle. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the environment.* 237-247.

Division of Technology, Industry and Economics (DTIE), International Environmental Technology Centre. 2007a. *E-waste: Inventory assessment manual*

Dong, F., Li, J., Zhang, X. and Zhu, J. (2021). Decoupling relationship between haze pollution and economic growth: a new decoupling index, *Ecological Indicators*, 129, 107859.

Duraisamy, S., Narayanappa, R. R., & Sobagiah, R. T. (2017). Self reported practice of e-waste disposal and awareness about its health hazards among people at various levels in selected urban slums of Bangalore: a cross sectional study. *International Journal of Community Medicine And Public Health*, *4*(6), 2146-2150

Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).

Galang, M.G.K. and Ballesteros, F. (2018). Estimation of waste mobile phones in the Philippines using neural networks, *Global Nest Journal*, 20(4). 767-772.

Generowicz, A. & Iwanejko, R. (2017). Environmental risks related to the recovery and recycling processes of waste electrical and electronic equipment (WEEE), *Problemy Ekorozwoju*, 12(2). 181-192.

Geovanny, C. & Suarez, L. (2008), Factors affecting internet adoption in Latin America, in 2008 *Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, 947-951.

Gerachenko, I.P., Kuldiaeva, A.A., Dus, J.P., Dyrka, S. & Seitakhmetova, N.L. (2020). Forecast of development of the global E-commerce market. *The Bulletin*. 4(36). 157-164.

Giannakitsidou, O., Tsagkanos, A., & Giannikos, I. (2016). Correlation of municipal solid waste production and treatment with socioeconomic indexes. *International Journal of Environment and Waste Management*, 18(4), 303-316.

Giovanis, E. (2015). Relationship between recycling rate and air pollution: waste management in the state of Massachusetts. *Waste Management*. 40, 192–203.

Han, Y., Li, H., Xiao, Y., Li, A. & Zhu, T. (2021). Influential path of social risk factors toward suicidal behavior—evidence from Chinese sina weibo users 2013–2018. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 1-14.

Hossain, M.S., Al-Hamadani, S.M.Z.F., & Rahman, M.T. (2015). E-waste: a challenge for sustainable development. *Journal of Health & Pollution*. 5, 3–11.

Hotta, Y., Visvanathan, C., & Kojima, M. (2016). Recycling rate and target setting: challenges for standardized measurement. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *18*(1), 14-21.

Huisman, J. (2010). *WEEE recast: From 4 kg to 65%: The compliance consequences*. United Nations University.

Ikhlayel, M. (2018). An integrated approach to establish e-waste management systems for developing countries. *Journal of Cleaner Production*, *170* (1), 119-130.

Ilankoon, I.M.S.K., Ghorbani, Y., Chong, M.N., Herath, G., Moyo, T., & Petersen, J. (2018). E-waste in the international context - a review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery. *Waste Management*. 82, 258–275.

Islam, R., Nazifa, T. H., Yuniarto, A., Uddin, A. S. M. S., Salmiati, S., & Shahid, S. (2019). An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, *95*, 10–21.

Jana, M. K., & De, T. (2015). Visual pollution can have a deep degrading effect on urban and suburban community: a study in few places of bengal, india, with special reference to unorganized billboards. *European Scientific Journal, ESJ, 11*(10), 1-14.

Jayaraman, Krishnaswamy, Vejayon, Seela, Raman, Shruthi., & Mostafiz. (2018). The proposed e-waste management model from the conviction of individual laptop disposal practices- an empirical study in Malaysia. *Journal of Cleaner*

Production, 208, 688-696.

Kaminsky, J.A. (2016). Cultured construction: global evidence of the impact of national values on piped-to-premises water infrastructure development, *Environmental Science and Technology*, 50(14). 7723-7731.

Kayaoglu, A. and Naval, J. (2017), Urbanisation, education and the growth backlog of Africa, *Journal of African Economies*, 26(5), 584-606.

Kiddee, P., Naidu, R., & Wong, M. H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management, 33*(5), 1237-1250.

Kiogora J. (1995). Solid Waste Management in Low Income Residentail Areas of Nairobi City. University of Nairobi: MA Planning Thesis.

Kumar, A., Holuszko, M. and Espinosa, D.C.R. (2017). E-waste: an overview on generation, collection, legislation and recycling practices, *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 32-42.

Kurniawan, A., Zakia, I., Wartika, E. & Austin, A.G.G. (2015). Accelerating internet penetration to rural areas: a government-sponsored internet-kiosks deployment project in Garut Regency, West Java of Indonesia. *International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications*, 1-6.

Kusch, S., & Hills, C.D. (2017). The link between E-Waste and GDP_ New Insights from data from the pan-European Region. *Resources*. 6(15).

Kwatra, S., Pandey, S., & Sharma, S. (2014). Understanding public knowledge and awareness on e-waste in an urban setting in India: A case study for Delhi. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *25*(6), 752-765.

Li, J., Yang, J. and Liu, L. (2015), "Development potential of e-waste recycling industry in China", Waste Management and Research, *The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 33(6). 533-542.

Li, J., Zeng, X., Chen, M., Ogunseitan, O.A., & Stevels, A. (2015). Control-Alt-Delete: rebooting solutions for the e-waste problem. *Environmental Science & Technology*. 49(12),7095–7108. DOI:10.1021/acs.est.5b00449.

Liddle, B. (2013). Population, affluence, and environmental impact across development: evidence from panel cointegration modeling, *Environmental Modelling and Software*, 40. 255-266.

Little, P.C. and Lucier, C. (2017). Global electronic waste, third party certification standards, and resisting the undoing of environmental justice politics, *Human Organization*, 76(3). 204-214.

Lojacono, G., & Zaccai, G. (2004). The evolution of the design-inspired enterprise. *MIT Sloan management review*, *45*(3), 75.

Magazzino, C., Mele, M., & Schneider, N. (2020). The relationship between municipal solid waste and greenhouse gas emissions: Evidence from Switzerland. *Waste Management, 113*, 508–520.

Marinescu, C., Ciocoiu, C. N., & Cicea., C. (2016). Socioeconomic factors affecting E-Waste collection rate in countries from European Union. *Challenge of Modern Management*, 3(4), 152-160.

Namlis, K. G., & Komilis, D. (2019). Influence of four socioeconomic indices and the impact of economic crisis on solid waste generation in Europe. *Waste Management*, 89(2019)- 190-200.

Needhidasan, S., Samuel, M., & Chidambaram, R. (2014). Electronic waste–an emerging threat to the environment of urban India. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 12(36).

Nwagwu, W., & Okuneye, M. (2016). Awareness and Attitudes of Small-Scale Information Technology Business Operators in Lagos, Nigeria Toward E-Waste Hazards. *Journal of Global Information Technology Management*, 19(4), 267-282.

Onyon L. (2009). Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM)- Emerging Policy Issues, *International Conference on Chemicals Management*. Geneva.

Pariatamby, A. & Victor, D. (2013). Policy trends of e-waste management in Asia, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(4). 411-419.

Patil, R.A. and Ramakrishna, S. (2020). A comprehensive analysis of e-waste legislation worldwide, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13). 14412-14431.

Petrauskiene, R. and Zilinskas, G. (2015). The impact of internet penetration on political participation in litvania, in Kusis, *Economic Science for Rural Development.* Latvia University of Agriculture, Jelgava, 122-131.

Pinto, V. N. (2008). E-waste hazard: The impending challenge. *Indian journal of occupational and environmental medicine*, *12*(2), 65-70.

Popli, K., Park, C., Han, S.-M. & Kim, S. (2021). Prediction of solid waste generation rates in urban region of Laos using socio-demographic and economic parameters with a multi linear regression approach. *Sustainability*, 13(6), 3038.

Ravindra, K. and Mor, S. (2019). E-waste generation and management practices in Chandigarh,

Indiaand economic evaluation for sustainable recycling, *Journal of Cleaner Production, Elsevier*, 221. 286-294.

Shinkuma, T., & Huong , M.,T.,N. (2009). The flow of E- Waste material in the Asian region and a reconsideration of International Trade Policies on E- waste. *Environmental Impact Assessment, 29*(1), 25-31.

Shittu, O.S., Williams, I.D. and Shaw, P.J. (2021). Global E-waste management: can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges, *Waste Management, Pergamon*, 120. 549-563.

Singh, N., Duan, H & Tang, Y. (2020). Toxicity evaluation of e-waste plastics and potential repercussions for human health. *Environment International*. 137

Song, Q., Li, J., Liu, L., Dong, Q., Yang, J., Liang, Y., & Zhang, C. (2016). Measuring the generation and management status of waste office equipment in China: a case study of waste printers. *Journal of Cleaner Production*. 112 (2016), 4461–4468.

Soo, V.K. and Doolan, M. (2014). Recycling mobile phone impact on life cycle assessment. Procedia CIRP, edited by Lien, T., *Elsevier Science*, 15. 263-271.

Sthiannopkao, S., Wong, M.H. (2013). Handling e-waste in developed and developing countries: initiatives, practices, and consequences. *Science of The Total Environment*, 1147-1153.

Sverko Grdic, Z., Krstinic Nizic, M. & Rudan, E. (2020). Circular economy concept in the context of economic development in EU countries, *Sustainability*, 12(7), 3060.

Terazono, A., Murakami, S., Abe, N., Inanc, B., Moriguchi, Y., Sakai, S., Kojima, M., Yoshida, A., Li, J., & Yang, J. (2006). Current status and research on E-waste issues in Asia. *Journal of Mater Cycles Waste Manag* 8, 12.

Turner, D. A., Williams, I. D., & Kemp, S. (2015). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. *Resources, Conservation and Recycling, 105*, 186–197.

Vieira, V.H.A.M., & Matheus, D.R. (2018). The impact of socioeconomic factors on municipal solid waste generation in Sao Paulo, Brazil. *Waste Management & Research*, 1-7. DOI: 10.1177/0734242X17744039

Vincent, R.C. (2016). The internet and sustainable development: communication dissemination and the digital divide, *Perspectives on Global Development and Technology*, 15. 605-637.

Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., & Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental impact assessment review*, *25*(5), 436-458.

Wu, K., Xu, X., Peng, L., Liu, J., Guo, Y. and Huo, X. (2012). Association between maternal exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) from electronic waste recycling and neonatal health outcomes, *Environment International*, 48. 1-8.

Zazzau, V.-E. (2006). Becoming information literate about information technology and the ethics of toxic waste, *Libraries and the Academy*, 6(1). 99-107.

Zhang, L., Geng, Y., Zhong, Y., Dong, H. & Liu, Z. (2019). A bibliometric analysis on waste electrical and electronic equipment research. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(21), 21098-21108. DOI: 10.1007/s11356-019-05409-2.

Zhang, L., Geng, Y., Zhong, Y., Dong, H. & Liu, Z. (2019). A bibliometric analysis on waste electrical and electronic equipment research. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(21), 21098-21108. DOI: 10.1007/s11356-019-05409-2.

Zhang, M., Feng, G., Yin, W., Xie, B., Ren, M., Xu, Z., Zhang, S & Cai, Z. (2017). Airborne PCDD/Fs in two e-waste recycling regions after stricter environmental regulations. *Journal of Environmental Sciences*. 62, 3–10.

Zhang, Z. & Meng, X. (2019). Internet penetration and the environmental Kuznets curve: a cross national analysis, *Sustainability*, 11(5). 1358.

Zhu, Q., Skoric, M.M. & Peng, T.Q. (2018). Citizens' use of the internet and public service delivery. *International Journal of Public Administration in the Digital Age*, 5(3), 32-42.

Zia, A. (2020a). Exploring consumers intent to download mobile application on android vs. iOS platforms in Saudi Arabia, *Pacific Business Review International*, 12(12). 154-182.

Zia, A. (2020b). Exploring factors influencing online classes due to social distancing in COVID-19 pandemic: a business students perspective, *International Journal of Information and Learning Technology*, 37(4). 197-211.