فصلنامه مطالعات محیط زیست، منابع طبیعی و توسعه پایدار
سال نهم، شماره ۳ (پیاپی: ۳۲)، پاییز ۱۴۰۴
ISSN: 2588-4255

بررسی مدیریت پسماندهای الکترونیکی با رویکرد اقتصاد سبز به‌منظور کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی

محمد پروانه[۱]، هدی خوش‌ظاهر*[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱
کد مقاله: ۶۹۶۹۴

چکـیده

هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر مدیریت پسماندهای الکترونیکی بر کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی از طریق رویکرد اقتصاد سبز است. پسماندهای الکترونیکی به‌عنوان یکی از سریع‌ترین جریان‌های زباله در جهان، حاوی عناصر سمی مانند سرب، جیوه، کادمیوم و نیکل و همچنین آلاینده‌های آلی پایدار مانند دی‌فنیل اترهای پلی برومینه (PBDE) و بی‌فنیل‌های پلی کلره (PCB) هستند که تأثیرات منفی جدی بر سلامت انسان و اکوسیستم دارند. از سوی دیگر، این پسماندها دارای فلزات گران‌بها و پایه‌ای ارزشمندی مانند طلا، نقره، مس و پالادیوم هستند که بازیافت آن‌ها می‌تواند به ایجاد اشتغال سبز، صرفه‌جویی در مصرف منابع و کاهش فشار بر محیط‌زیست کمک کند. در این پژوهش از روش ترکیبی (کیفی و کمّی) استفاده شده است. در بخش کیفی، با بهره‌گیری از روش گراندد تئوری و مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان حوزه محیط‌زیست، شاخص‌های متغیرها استخراج شد. در بخش کمّی، داده‌ها از طریق پرسشنامه از میان ۲۴۸ نفر از محققان و دانشگاهیان جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار SmartPLS و روش حداقل مربعات جزئی (PLS) تحلیل شدند. یافته‌ها نشان داد که مدیریت پسماندهای الکترونیکی به‌طور مستقیم و معناداری بر کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی تأثیر مثبت دارد. همچنین، اقتصاد سبز به‌عنوان یک متغیر میانجی، رابطه بین مدیریت پسماندهای الکترونیکی و کنترل آلودگی را تقویت می‌کند. شاخص‌های برازش مدل و مقادیر Q2 مثبت، کیفیت بالای مدل ساختاری را تأیید می‌کنند. در نهایت، پیشنهاداتی در جهت بهبود سیاست‌های مدیریتی، توسعه زیرساخت‌های بازیافت و ترویج اقتصاد چرخشی ارائه شده است.

واژگـان کلـیدی: مدیریت پسماندهای الکترونیکی، اقتصاد سبز، آلودگی محیط‌زیست، بازیافت، فلزات سنگین

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران.
۲- دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، گروه محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران.
mohammadparvaneh24@gmail.com

۱- مقدمه

صنعت الکترونیک شامل تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی است و طیف وسیعی از دستگاه‌ها مانند فناوری اطلاعات (IT[1]) و تجهیزات مخابراتی و همچنین لوازم‌خانگی بزرگ و کوچک را پوشش می‌دهد فردولم ۲(۲۰۰۸) در بازار جهانی صنعت الکترونیک به‌طور پیوسته در حال رشد و پیشرفت همراه با نوآوری‌های مستمر بوده است (فوتی ۳۲۰۲۰) عوامل مختلفی مانند تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات جدیدتر و مؤثرتر، طول عمر کوتاه تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، تعامل آسان‌تر و سریع‌تر بین تولیدکنندگان، مونتاژ کنندگان و توزیع‌کنندگان و در دسترس بودن تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در رشد این صنعت دخیل هستند (نوبل ۴۲۰۰۸)؛ به‌طوری‌که امروزه مصرف‌کنندگان می‌توانند تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را به‌صورت آنلاین، در فروشگاه‌ها و از راه‌های مختلف دیگر خریداری کنند (بابو و همکاران۵، ۲۰۰۷). تمرکز صنعت الکترونیک این است که تجهیزات نوآورانه و مقرون‌به‌صرفه ارائه کند که ازنظر عملکرد، مؤثرتر و پایدار باشد (گوسی۶، ۲۰۰۹). پایداری را می‌توان به‌عنوان تقویت استراتژی‌ها و فعالیت‌هایی که نیازهای نسل حاضر را برآورده می‌کنند و همچنین حفاظت و نگهداری منابع طبیعی برای نسل‌های آینده تعریف کرد (گوسی، ۲۰۰۹).

همان‌طور که این صنعت رشد می‌کند، استخراج منابع طبیعی مورداستفاده در تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی افزایش‌یافته که منجر به تولید ضایعات بیشتری شده و این ضایعات اثرات منفی محیط‌زیستی را تشدید می‌کند (کاستلن و همکاران۷، ۲۰۲۴). اگر پسماندهای الکترونیکی تولیدشده به‌درستی مدیریت نشود، هوا، آب‌وخاک آلوده می‌شوند و منابع طبیعی که در حال حاضر در دسترس هستند دچار افت کیفیت شدیدی می‌شوند (جوفر و موریوکا۸، ۲۰۰۵).. رشد سریع بازار صنعت الکترونیک منجر به افزایش مصرف‌گرایی و تولید تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی و به دنبال آن جایگزینی سریع آن‌ها در سازمان‌ها به دلایل بسیاری ازجمله استراتژی‌های "منسوخ شدن برنامه‌ریزی‌شده" و "منسوخ شدن بالقوه" است که توسط سازندگان استفاده می‌شود (گیلتینان۹، ۲۰۰۹). با توجه به استراتژی منسوخ شدن برنامه‌ریزی‌شده، تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی به‌گونه‌ای تولید می‌شوند که طول عمر کوتاهی داشته باشند و تعمیر یا ارتقاء آن‌ها درزمانی که به پایان چرخه حیات خود می‌رسند یا یک فناوری جدید وارد می‌شود دشوار و پرهزینه خواهد بود (پلامبک و وانگ۱۰، ۲۰۰۹)، لذا خرید یک محصول جدید برای مصرف‌کنندگان ساده‌تر، مقرون‌به‌صرفه و راحت‌تر است. چرخه حیات یک محصول شامل مجموعه‌ای از مراحل مرتبط با یکدیگر از استخراج مواد خام تا پایان عمر آن است درزمانی که عملکرد محصولات، دیگر نیازهای مالک اصلی را برآورده نمی‌کند (اندبو و همکاران۱۱، ۲۰۲۱). منسوخ شدن بالقوه استراتژی دیگری است که توسط صنعت الکترونیک استفاده می‌شود تا مصرف‌کنندگان محصولات بیشتری را خریداری کنند، نه به این دلیل که داشتن آن محصولات یک ضرورت است، بلکه صرفاً به این دلیل که آن‌ها مطلوب هستند. مصرف‌کنندگان تمایل به داشتن محصولات جدیدتر و بهبودیافته‌تر را فقط برای به‌روز ماندن و حفظ یک موقعیت اجتماعی خاص احساس می‌کنند (کوپر۱۲، ۲۰۰۴). نوآوری‌های سریع در فناوری، هزینه‌های اولیه پایین و منسوخ شدن برنامه‌ریزی‌شده و بالقوه منجر به رشد سریع صنعت الکترونیک و به‌طور هم‌زمان تولید سریع پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی در سراسر جهان به دلیل افزایش میزان دفع این محصولات شده است. (باندیوپادیای۱۳، ۲۰۱۰).

امروزه پسماندهای الکترونیکی یکی از مشکلات اصلی محیط‌زیستی در سراسر جهان است. فن‌آوری‌های جدید، به‌سرعت جایگزین میلیون‌ها دستگاه آنالوگ شده که منجر به دفع آن‌ها در محل‌های دفن زباله می‌شود و برخلاف تأثیرهای نامطلوب بالقوه آن‌ها بر محیط‌زیست، این روند ادامه دارد (حبیب و همکاران۱۴، ۲۰۲۳). ظهور مداوم طرح‌های جدید، عملکردهای "هوشمند" و فناوری در ۲۰ سال گذشته باعث منسوخ شدن سریع بسیاری از اقلام الکترونیکی شده است. طول عمر بسیاری از کالاهای الکترونیکی به دلیل پیشرفت در الکترونیک، برای طراحی‌های جذاب مصرف‌کننده و مسائل بازاریابی و سازگاری، به‌طور قابل‌توجهی کوتاه شده است. به‌عنوان‌مثال، میانگین طول عمر یک کامپیوتر جدید از ۴/۵ سال در سال ۱۹۹۲ به ۲ سال در سال

1 Information Technology
2 Fredholm, 2008
3Forti,
4Noble, 2008
5 Castelan
6 Goosey, 2009
7 Babu et al., 2007
8Jofre and Morioka, 2005
9 Guiltinan, 2009
10 Plambeck and Wang, 2009
11 Andebo
12 (Cooper, 2004).
13 Bandyopadhyay, 2010
14 Habib et al., 2023

۲۰۰۵ تخمین زده‌شده و این بازه زمانی در حال کاهش بیشتر است. تحقیقات نشان می‌دهد حدود ۵۰۰ میلیون رایانه بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ تنها در ایالات‌متحده و ۶۱۰ میلیون رایانه در ژاپن تا پایان دسامبر ۲۰۱۰ از دور خارج شد. در چین از سال ۲۰۰۳، هرساله ۵ میلیون رایانه جدید و ۱۰ میلیون تلویزیون جدید خریداری‌شده است (کیدی و همکاران[1]، ۲۰۱۳).

تولید زباله‌های الکترونیکی در برخی از کشورهای درحال‌توسعه به دلیل استفاده کمتر و نیمه‌عمر طولانی‌تر کالاهای الکترونیکی که به علت محدودیت‌های مالی در مقیاس محلی و ملی این کشورها حادث می‌شود، در این مرحله چندان دلیلی برای نگرانی نیست. مشکل عمده زباله‌های الکترونیکی در کشورهای درحال‌توسعه، ناشی از واردات زباله‌های الکترونیکی و کالاهای الکترونیکی از کشورهای توسعه‌یافته است؛ زیرا این تجهیزات قدیمی‌تر و کمتر سازگاربامحیط‌زیست هستند. به‌طوری‌که ۸۰ درصد از کل این زباله‌های الکترونیکی از کشورهای توسعه‌یافته صادر می‌شود (نویس و همکاران[2]، ۲۰۲۴). وضع نامناسب و محدود قوانین، سیاست‌های نامناسب برای اجرای دفع ایمن زباله‌های الکترونیکی وارداتی و کالاهای الکترونیکی، منجر به مشکلات جدی انسانی و محیط‌زیستی در این کشورها شده است. به‌عنوان‌مثال، اثرات دفع زباله‌های الکترونیکی بر سلامت انسان به یک موضوع جدی تبدیل‌شده است. نگرانی نه‌تنها از حجم زیاد زباله‌های الکترونیکی واردشده به کشورهای درحال‌توسعه، بلکه از طیف وسیعی از مواد شیمیایی سمی مرتبط با این زباله‌ها ناشی می‌شود (چینی نی[3]، ۲۰۲۴). محققان متعددی نشان داده‌اند که فلزات سمی و مواد آلی چند هالوژنه ازجمله بی‌فنیل‌های پلی‌کلره (PCB۴[4]) و دی‌فنیل اترهای پلی‌برومینه (PBDE5[5]) می‌توانند از زباله‌های الکترونیکی رها شوند و خطرهای جدی برای انسان و محیط‌زیست ایجاد کنند (رابینسون[6]، ۲۰۲۴). لذا بعد از آگاهی از حجم بالای تنش محیط‌زیستی در این زمینه، یک راهکار مؤثر برای کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی، روی‌آوری به اقتصاد سبز در این حوزه است.

در اقتصادهای سرمایه‌داری پیشرفته ازجمله اتحادیه اروپا، "سبز شدن" اقتصاد به‌طور گسترده به‌عنوان عاملی نویدبخش درزمینهٔ ایجاد شغل و ارتقاء مهارت در نظر گرفته می‌شود. به‌گونه‌ای که هم‌زمان و هم‌راستا با استفاده پایدار از منابع، حفظ انرژی و هزینه‌های تولید پایین‌تر، نتایج اشتغال افراد نیز تأمین می‌شود (کاستلان[7]، ۲۰۲۴).

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اکثر محققان به مدیریت پسماندهای الکترونیک، آلودگی ناشی از آن‌ها، اثرات این آلودگی بر روی انسان و بازیافت آن‌ها پرداخته‌اند و در هیچ‌یک از مطالعات در قالب‌بندی جامع، به مدیریت پسماندهای الکترونیکی بارویکرد اقتصاد سبز در جهت کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی پرداخته نشده است که پژوهش حاضر این مهم را یک خلأ تحقیقاتی دانست.

روند گسترش اقتصاد سبز در حال حرکت از چالشی است که جامعه مدرن با آن مواجه است و دیدگاه غالب علمی در اقتصاد سبز، به‌طور فزاینده‌ای بر حل مشکلات کاهش اثرات انسانی بر محیط‌زیست، متمرکز است. درعین‌حال، سطح پیشرفت علمی و فناوری و کیفیت زندگی که تمدن مدرن به آن رسیده است، مستلزم حفظ و افزایش مصرف ویژه منابع مختلف در طولانی‌مدت است. بنابراین، فناوری‌های اقتصاد سبز که گذار به توسعه پایدار را تضمین می‌کنند، در ابتدا بر استفاده بهینه و یکپارچه از منابع تجدید ناپذیر و مشارکت حداکثری منابع تجدید پذیر در تولید کالاهای خاص برای یک دوره فرا صنعتی متمرکزشده‌اند (لوئیزو و همکاران[8]، ۲۰۱۶). به این سبب پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این سؤال است که مدیریت پسماندهای الکترونیکی بارویکرد اقتصاد سبز باید چگونه باشد که آلودگی‌های محیط‌زیستی کاهش‌یافته و بهتر کنترل شود؟

۲-روش تحقیق

تحقیق حاضر از نظر هدف، یک پژوهش کاربردی است که با رویکرد آمیخته (کیفی-کمی) به بررسی روابط بین مدیریت پسماندهای الکترونیکی، اقتصاد سبز و کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی می‌پردازد. جامعه آماری در دو بخش تعریف شده است: بخش کیفی شامل مطلعین و خبرگان متخصص در حوزه محیط‌زیست و بخش کمی شامل محققین و دانشگاهیان فعال در زمینه پسماندهای الکترونیکی و آلودگی زیست‌محیطی. با توجه به گستردگی جامعه آماری، از روش نمونه‌گیری هدفمند کوکران در بخش کیفی استفاده شده و متغیرهای اصلی تحقیق شامل مدیریت پسماندهای الکترونیکی، اقتصاد سبز و کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی تعریف شده‌اند.

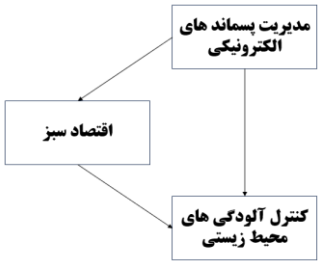
1 Kiddee et al., 2013
2 Neves et al., 2024
3 Chinenye, 2024
4 Polychlorinated Biphenyls
5 Polybrominated Diphenyl Ethers
6 Robinson, 2024
7 Kasztelan, 2024
8 Loiseau et al., 2016

۲-۱-ابزارها و روش تجزیه‌وتحلیل

برای گردآوری داده‌ها از مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان در بخش کیفی و پرسشنامه محقق‌ساخته در بخش کمی استفاده شده است. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از ابزارهای استاندارد و نرم‌افزارهای SmartPLS، SPSS و Excel انجام پذیرفته است که قابلیت اعتماد بالایی دارند.

روش تحلیل اصلی بر پایه مدل‌سازی معادلات ساختاری طراحی شده تا روابط علّی بین متغیرها بررسی شود و از طریق مطالعه کتابخانه‌ای، بررسی منابع اینترنتی و تحقیقات پیشین، زمینه نظری تحقیق تقویت شده است.

در ابتدا یک مدل اولیه برای پژوهش حاضر طراحی شد (شکل ۳-۱) که برای به دست آوردن مقادیر متغیرهای پژوهش و رسیدن به اهداف تحقیق از روش تحقیق ترکیبی (کیفی-کمّی) بهره‌گیری شد.



شکل۱ -مدل ساختاری پژوهش حاضر

۳-نتایج

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها فرآیندی چندمرحله‌ای است که در آن داده‌های جمع‌آوری‌شده از طریق ابزارهای پژوهش، خلاصه، کدبندی، دسته‌بندی و پردازش می‌شوند تا زمینه لازم برای آزمون فرضیه‌ها و برقراری ارتباطات معنادار بین متغیرها فراهم شود. در این تحقیق تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در دو سطح آمار توصیفی و آمار استنباطی انجام شده است که نقش بسزایی در پالایش مفهومی و تجربی داده‌ها و استنتاج‌های علمی دارند. این فرآیند به‌منظور بررسی صحت‌وسقم فرضیات تحقیق و دستیابی به نتایج قابل اعتماد از اهمیت خاصی برخوردار است.

۳-۱-ویژگی‌های جمعیت‌شناختی نمونه آماری

نتایج تحلیل جمعیت‌شناختی نشان می‌دهد که از مجموع ۲۴۸ نفر شرکت‌کننده در تحقیق، ۱۳۲ نفر (۳۲/۵۳ درصد) مرد و ۱۱۶ نفر (۷۹/۴۶ درصد) زن بوده‌اند. از نظر سنی، بیشترین فراوانی مربوط به گروه سنی ۳۱ تا ۴۰ سال با ۹۸ نفر (۵/۳۹ درصد) و کمترین فراوانی مربوط به گروه ۵۱ تا ۶۰ سال با ۳۰ نفر (۱/۱۲ درصد) می‌باشد. همچنین بررسی سطح تحصیلات نشان می‌دهد که اکثریت پاسخ‌دهندگان دارای مدرک لیسانس با ۸۷ نفر (۱/۳۵ درصد) بوده‌اند که پس از آن به ترتیب افراد با مدرک فوق‌دیپلم با ۷۴ نفر (۸/۲۹ درصد)، فوق‌لیسانس و بالاتر با ۵۰ نفر (۲/۲۰ درصد) و دیپلم با ۳۷ نفر (۹/۱۴ درصد) قرار دارند. این توزیع جمعیت‌شناختی نشان‌دهنده تنوع مناسب نمونه از نظر ویژگی‌های فردی است.

۳-۲-نتایج تحلیل توصیفی

در این بخش هر یک از متغیرهای اصلی به‌صورت مجزا موردبررسی قرار گرفتند که در هر یک از بررسی‌های انجام‌شده میزان شاخص مرکزی و پراکندگی داده‌ها تعیین‌شده است. در جدول ۱ تایج حاصل از بررسی شاخص‌های مرکزی (شامل میانگین، میانه و مُد داده‌ها) و شاخص پراکندگی (شامل انحراف معیار داده‌ها) به همراه بیشینه و کمینه داده‌ها برای متغیرهای این پژوهش نمایش داده‌شده است.

جدول۱-تحلیل توصیفی متغیرهای پژوهش (n=۲۴۸)

متغیرهای پژوهش	میانگین	میانه	مُد	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
مدیریت پسماندهای الکترونیکی	3.2	3.1	2.9	7.	1.9	4.8
کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی	3.2	3.0	2.9	6.	2.4	4.7
اقتصاد سبز	3.3	3.1	3.1	6.	2.2	4.6

مطابق با نتایجی که در جدول 1زارش‌شده است روشن می‌گردد که در مطالعه حاضر متغیرها در بین افراد نمونه پژوهش از وضعیت نسبتاً مطلوبی (متناظر با میانگین برآورد شده)، برخوردار می‌باشد. به‌طوری‌که نتایج تحلیل توصیفی مؤید آن است که در این متغیرها مقدار عددی بالاتر از حد متوسط گزارش‌شده است. درنهایت آن‌که انحراف معیار داده‌ها با توجه به مقدار ثبت‌شده برای کمینه و بیشینه، پایین بودن میزان پراکندگی داده‌ها را نشان داده است. نحوه توزیع داده‌ها در ادامه از طریق آزمون‌های نرمالیته موردبررسی قرارگرفته است.

۳-۳-آزمون تعیین توزیع داده‌ها

به‌منظور تعیین توزیع داده‌ها از آزمون‌های کولموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو ویلک بهره گرفته شد. نتایج این آزمون‌ها در جدول ۲ ارائه‌شده است.

لازم به ذکر است که در آزمون‌های بررسی نرمال بودن، فرض صفر، مدنظر قرار می‌دهد که توزیع داده‌ها نرمال است و در فرض مخالف آن نیز این گزاره موردبررسی قرار می‌گیرد که توزیع داده‌ها به‌صورت غیرنرمال می‌باشد. درصورتی‌که سطح معناداری گزارش‌شده برای این آزمون‌ها از مقدار ۰/۰۵ کمتر باشد نشان می‌دهد که داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند. و بر همین اساس باید از آزمون‌های ناپارامتریک همچون آزمون همبستگی اسپیرمن برای تعیین رابطه میان متغیرها بهره گرفت.

جدول۱- نتایج آزمون‌های نرمالیته (n=۲۴۸)

متغیرهای پژوهش	Smirnova-Kolmogorov			Wilk-Shapiro		
	Statistic	df	.Sig	Statistic	df	.Sig
مدیریت پسماندهای الکترونیکی	۰/۱۶۰	۲۴۸	۰/۰۰۰	۰/۹۰۳	۲۴۸	۰/۰۰۰
کنترل آلودگی‌های محیطزیستی	۰/۲۷۰	۲۴۸	۰/۰۰۰	۰/۷۴۷	۲۴۸	۰/۰۰۰
اقتصاد سبز	۰/۲۴۵	۲۴۸	۰/۰۰۰	۰/۷۹۲	۲۴۸	۰/۰۰۰

همان‌طور که در جدول۲ مشخص است، مقدار سطح معناداری آزمون از مقدار معیار یعنی ۰/۰۵ کمتر می‌باشد ($p<0.05$)؛ بر همین اساس در ادامه برای تحلیل‌های استنباطی از آزمون‌های مناسبی همچون همبستگی اسپیرمن و همچنین مدل‌سازی معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی (PLS) بهره گرفته‌شده است.

۳-۴-بررسی روابط میان متغیرها

در این بخش، روابط میان متغیرهای پژوهش شامل مدیریت پسماندهای الکترونیکی، کنترل آلودگی‌های محیطزیستی و اقتصاد سبز مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور سنجش میزان وابستگی و ارتباط بین این متغیرها، از روش آماری ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است. مقدار این ضریب، که بین ۱- و ۱+ متغیر است، نشان‌دهنده قابلیت بیان یک متغیر به صورت تابعی یکنوا از متغیر دیگر است. همبستگی کامل (۱+ یا ۱-) زمانی اتفاق می‌افتد که متغیری به طور کامل تابعی یکنوا از متغیر دیگر باشد، به این معنی که تغییرات در یک متغیر به طور دقیق و پیوسته با تغییرات در متغیر دیگر مرتبط است. محاسبات ضریب همبستگی پیرسون، با استفاده از نرم‌افزار PLs یا نرم‌افزارهای مشابه انجام شده است. نتایج ضریب همبستگی میان متغیرهای مدل، در جدول۳ گزارش شده است. لازم به ذکر است که حجم نمونه مورد استفاده برای این تحلیل، n=۲۴۸ بوده است.

جدول۳- نتایج ضریب همبستگی میان متغیرها (n=۲۴۸)

	مدیریت پسماندهای الکترونیکی	کنترل آلودگی‌های محیطزیستی	اقتصاد سبز
مدیریت پسماندهای الکترونیکی	1		
کنترل آلودگی‌های محیطزیستی	780.	1	
اقتصاد سبز	797.	859.	1

همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین تمامی متغیرهای اصلی، همبستگی بالا وجود دارد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که میان متغیرهای اصلی همبستگی مثبت وجود دارد و بدین معناست که با افزایش هر یک از این متغیرها، متغیرهای دیگر نیز افزایش پیدا می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد قوی‌ترین ارتباط بین متغیر کنترل آلودگی‌های محیطزیستی و اقتصاد سبز وجود دارد.

بر همین اساس با توجه به آن‌که آزمون همبستگی روابط قوی میان متغیرهای مدل را تأیید نموده است در ادامه به بررسی میزان تأثیرگذاری متغیرها و همچنین برازش مدل پرداخته‌شده است. علاوه بر این، در مدل‌سازی از ضریب تعیین برای تعیین میزان پیش‌بینی یا قدرت تبیین گری متغیرها بر روی متغیر وابسته یعنی کنترل آلودگی‌های محیطزیستی بهره گرفته شد. در ادامه ضرایب تأثیر میان متغیرهای پژوهش بر اساس مدل مفهومی با بهره‌گیری از مدل‌سازی معادلات ساختار (در دو بخش تحلیل عاملی تأییدی و تحلیل مسیر) موردبررسی قرارگرفته است.

۳-۵-مدل‌سازی معادلات ساختاری

در این بخش به بررسی برازش مدل تحقیق با استفاده از نرم‌افزار PLS-smart پرداخته‌شده است.

-سنجش پایایی متغیرها و ارزیابی مدل

در ابتدا میزان اعتبار مدل با استفاده از ضرایب به شرح جدول ۴ سنجیده شد. این نتایج نشان می‌دهد اعتبار مدل ساختاری قابل‌قبول است.

جدول۲- شاخص‌های برازش مدل

نوع شاخص	نام شاخص	دامنه مطلوب	مقدار به‌دست‌آمده
مقتصد	SRMR	SRMR <0.05	۰/۰۴۹
	Chi^2/df	$0<\frac{X^2}{df}<5$	۳/۵۴۲
تطبیقی	NFI	NFI >0.9	۰/۹۷۸

	CFI	CFI >0.9	۰/۹۲۷
مطلق	GFI	GFI >0.9	۰/۹۶۱
	theta-RMS	theta <0.05-RMS	۰/۰۴۲

برای بررسی کیفیت ابزارهای اندازه‌گیری نیز از شاخص Q2 بهره‌گیری شد. مقادیر Q2 برای هر یک از متغیرهای اصلی در جدول ۴-۵ منعکس‌شده است.

جدول۳- مقدار عددی شاخص اعتبار Q2

نام متغیر	مجموع مجذورات مشاهدات (SSO)	مجموع مجذورات خطاهای پیش‌بینی (SSE)	(SSE/SSO-Q² (=1
مدیریت پسماندهای الکترونیکی	3720	3301.87	0.112
کنترل آلودگی‌های محیطزیستی	10416	9002.91	0.136
اقتصاد سبز	8928	7815.05	0.125

مقادیر مثبت Q2 نشان می‌دهد که مدل اندازه‌گیری از کیفیت مناسب برخوردار است.

نتایج مربوط به آلفای کرونباخ، روایی همگرا (CV[1]) و پایایی ترکیبی (CR[2]) خروجی PLs در جدول 6منعکس‌شده است. هرگاه یک سازه یا متغیر پنهان با چند سؤال (گویه‌های قابل‌مشاهده) اندازه‌گیری شود، برای اطمینان از اینکه این سؤالات واقعاً هم‌راستا و مرتبط باهمان سازه هستند، باید میزان همبستگی بین این سؤالات بررسی شود. این کار با استفاده از مفهوم روایی همگرا انجام می‌شود.

اگر بارهای عاملی (یعنی ضریب همبستگی هر سؤال با سازه) بین سؤالات بالا باشد، نشان می‌دهد که سؤالات پرسشنامه به‌خوبی مفهوم مشترک سازه را می‌سنجند و پرسشنامه ازنظر همگرایی معتبر است.

به‌عبارت‌دیگر، این بررسی کمک می‌کند اطمینان حاصل کنیم که ابزار اندازه‌گیری ما دقیقاً همان ویژگی یا مفهومی را می‌سنجد که هدف‌گذاری کرده‌ایم.

برای روایی همگرا باید میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE[3]) محاسبه شود. این شاخص توسط فورنل و لارکر در سال ۱۹۸۱ معرفی شد. معیار AVE نشان‌دهنده میانگین واریانس به اشتراک گذاشته‌شده بین هر سازه با شاخص‌های خود است. به بیان ساده‌تر AVE میزان همبستگی یک سازه با شاخص‌های خود را نشان می‌دهد که هرچه این همبستگی بیشتر باشد، برازش نیز بیشتر است. فورنل و لارکر معتقدند روایی همگرا زمانی وجود دارد که AVE از ۰/۵ بزرگ‌تر باشد.

روایی همگرا زمانی وجود دارد که CR از ۰/۷ بزرگ‌تر باشد. همچنین CR باید از AVE بزرگ‌تر باشد. در این صورت هم شرط روایی همگرا وجود خواهد داشت. به‌طور خلاصه داریم:

$$AVE > 0.5 \qquad CR > AVE \qquad CR > 0.7$$

جدول٤- پایایی و میانگین واریانس استخراج‌شده متغیرهای اصلی

نام متغیر	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی	میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE)
مدیریت پسماندهای الکترونیکی	0.742	0.806	0.711
کنترل آلودگی‌های محیطزیستی	0.888	0.902	0.806
اقتصاد سبز	0.865	0.884	0.789

۳-۶-تحلیل عاملی تأییدی

مهم‌ترین هدف تحلیل عاملی تأییدی، تعیین میزان توان مدل عامل از قبل تعریف‌شده با مجموعه‌ای از داده‌های مشاهده‌شده است. به عبارتی تحلیل عاملیأییدی درصدد تعیین این مسئله است که آیا تعداد عامل‌ها و بارهای متغیرهایی که روی این عامل‌ها اندازه‌گیری شده‌اند با آنچه بر اساس تئوری و مدل نظری انتظار می‌رفت انطباق دارد. به عبارتی، این نوع تحلیل عاملی به آزمون میزان انطباق و همنوایی بین سازه نظری و سازه تجربی تحقیق می‌پردازد. در این‌روش، ابتدا تغییرها و شاخص‌های مربوطه بر اساس تئوری اولیه انتخاب می‌شوند و سپس از تحلیل عاملی استفاده می‌شود تا ببینیم که آیا این تغییرها و شاخص‌ها آن طوری که پیش‌بینی می‌شد روی عامل‌های پیش‌بینی‌شده بار (لود) شده‌اند یا این‌که ترکیب آن‌ها عوض‌شده و روی عامل‌های دیگری بارشده‌اند؟

بارهای عاملی از طریق محاسبه مقدار همبستگی شاخص‌های یک سازه با آن سازه محاسبه می‌شود. اگر این مقدار برابر و یا بیشتر از مقدار ۰.۴ شود، می‌توان آن را قابل‌قبول دانست (هیر و همکاران، ۲۰۱۷)؛ این امر مؤید آن است که واریانس بین سازه و شاخص‌های آن از واریانس خطای اندازه‌گیری آن سازه بیشتر بوده و پایایی در مورد آن مدل اندازه‌گیری قابل‌قبول است. در

1 Convergent Validity
2 Composite Reliability
3 Average Variance Extracted

مدل‌سازی معادلات ساختاری به بررسی دو شاخص «اعداد معناداری «t و ««R^2» پرداخته می‌شود. درصورتی‌که مقدار ضرایب معناداری t از ۱.۹۶، ۲.۵۸ و ۳.۲۷ بیشتر باشد، نشان از صحت رابطه بین سازه‌ها و درنتیجه تأیید فرضیه‌های پژوهش، به ترتیب در سطح اطمینان ۹۵٪، ۹۹٪ و ۹۹.۹٪ دارد (هیر و همکاران، ۲۰۱۷). در ادامه ابتدا با بهره‌گیری از شاخص اعداد معناداری به تعیین میزان برازش مدل‌های اندازه‌گیری پرداخته‌شده است و در ادامه در مدل ساختاری پژوهش با بهره‌گیری از ضریب تعیین (R^2) میزان برازش مدل ساختاری موردبررسی قرارگرفته است.

بعد از تعیین تحلیل عاملی تأییدی هر یک از سازه‌های پژوهش، به بررسی مدل ساختاری از طریق ارائه مدل تحلیل مسیر پرداخته‌شده است. درصورتی‌که در تحلیل عاملی تأییدی مقادیر ضرایب معناداری بالاتر از ۱/۹۶ حاصل گردد می‌توان بیان داشت که سازه‌های پژوهش به‌خوبی توسط شاخص‌های آشکار سنجش و تبیین می‌شوند و امکان مدل‌سازی میسر می‌باشد.

۳-۷-مدل تحلیل مسیر

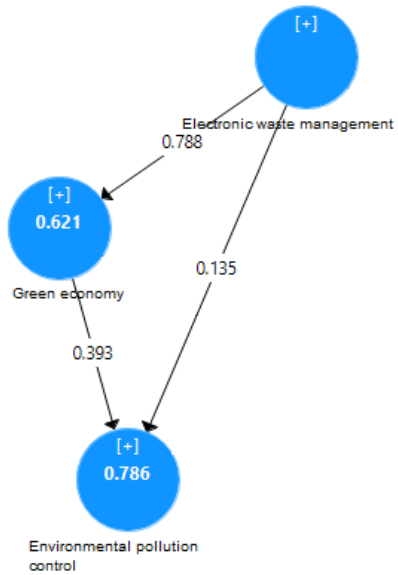
تحلیل مسیر تکنیکی برای بررسی ارتباط و وابستگی میان متغیرها است. مدل معادلات ساختاری یک ساختار علّی خاص بین مجموعه‌ای از سازه‌های غیرقابل مشاهده است. یک مدل معادلات ساختاری از دو مؤلفه تشکیل‌شده است، یک مدل ساختاری که ساختار علّی بین متغیرهای پنهان را مشخص می‌کند و یک مدل اندازه‌گیری که روابط بین متغیرهای پنهان و متغیرهای مشاهده‌شده را تعریف می‌کند. در تحلیل مسیر مدل اندازه‌گیری موجود نیست و فقط شامل مدل علّی ساختار است. تحلیل مسیر فقط بر روی متغیرهای مشاهده‌شده قابل انجام است. در این بخش به بررسی ضرایب میان متغیرهای پژوهش پرداخته‌شده است که به آن‌ها ضرایب اثر رگرسیون در روابط میان متغیرها اطلاق می‌گردد. در جدول۷و شکل۲ضرایب اثر رگرسیون نمایش داده‌شده است. همچنین در جدول۸مقادیر R2 و R2 تعدیل‌شده برای متغیرهای هدف آورده شده است.

جدول۵ -ضرایب اثر رگرسیون در روابط میان متغیرها

	مدیریت پسماندهای الکترونیکی	کنترل آلودگی‌های محیطزیستی	اقتصاد سبز
مدیریت پسماندهای الکترونیکی		0.771	0.407
کنترل آلودگی‌های محیطزیستی			
اقتصاد سبز		0.801	

جدول٦ -مقادیر R2 و R2 تعدیل‌شده برای متغیرهای هدف

متغیر	R Square	R Square Adjusted
اقتصاد سبز	0.621	0.619
مدیریت پسماندهای الکترونیکی	0.786	0.779



شکل۲-تحلیل مسیر (ضریب اثر رگرسیون) در مدل مفهومی پژوهش

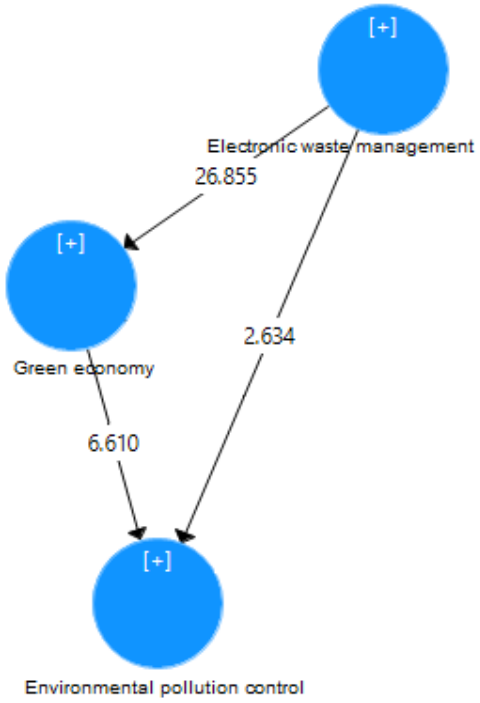
نتایج به‌دست‌آمده در این بخش نشان می‌دهد که تقریباً در تمامی موارد یعنی در تمامی مسیرهایی که نمایش داده‌شده است مقدار ضریب رگرسیون مقدار قابل‌قبولی را گزارش نموده است.

شایان‌ذکر است علاوه بر ضرایب مسیر که نتایج مهمی را به همراه داشته است، می‌توان به ضریب تعیین نیز اشاره داشت که از طریق مقادیر عددی در درون سازه‌ها به نمایش گذاشته‌شده است (شکل ۲).

در ادامه از مدل اعداد معناداری به‌منظور تعیین این‌که ضرایب رگرسیون گزارش‌شده معنادار می‌باشند و یا خیر بهره گرفته‌شده است. در این مدل درصورتی‌که مقدار اعداد معناداری از 1.96 بیشتر باشد، مسیر معنادار تلقی شده و در غیر این صورت، نشان‌دهنده عدم‌تأیید مسیر موردنظر می‌باشد و به عبارتی فرضیه در آن مسیر رد می‌گردد (هیر و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج مدل اعداد معناداری در جدول ۹و شکل شماره ۳ به شرح ذیل می‌باشد:

جدول۷-مقادیر استاندارد معیار، مقدار T و مقدار Pvalue برای مسیر بدون واسطه

P Values	T Statistics (|O/STDEV|)	Standard Deviation (STDEV)	Sample Mean (M)	Original Sample (O)	
0	25.013	0.031	0.771	0.771	مدیریت پسماندهای الکترونیکی - کنترل آلودگی‌های محیطزیستی



شکل۳ مدل ترسیم‌شده پژوهش همراه با ضرایب معناداری t

مطابق با شکل۲ می‌توان بیان داشت مجموعه عواملی که در این مدل بر روی اقتصاد سبز و کنترل آلودگی‌های محیطزیستی تأثیرگذار بودند، می‌توانند به ترتیب به میزان ۶۲ و ۷۸ درصد از تغییرات را تبیین نمایند. نتایج در شکل۳ نیز نشان می‌دهد که در تمامی مسیرها مقدار ضریب معناداری بالاتر از ۱/۹۶ است.

همچنین در جدول ۱۰ برای مسیر دارای میانجی، مقادیر معناداری برای آماره T آورده شده است.

جدول۸- مقادیر استاندارد معیار، مقدار T و مقدار Pvalue برای مسیر دارای میانجی

P Values	T Statistics (|O/STDEV|)	Standard Deviation (STDEV)	Sample Mean (M)	Original Sample (O)	
0	5.771	0.057	0.328	0.326	مدیریت پسماندهای الکترونیکی- اقتصاد سبز - کنترل آلودگی‌های محیطزیستی

۳-۸- بررسی نقش متغیر میانجی

از آزمون سوبل برای بررسی معناداری تأثیر متغیر میانجی استفاده شد. در این آزمون، یک مقدار value-Z از طریق فرمول به دست می‌آید که در صورت بیشتر شدن قدر مطلق این مقدار از ۱/۹۶ می‌توان در سطح اطمینان ۹۵ درصد، معنادار بودن تأثیر میانجی یک متغیر را تأیید نمود. نتایج آزمون در جدول ۱۱ منعکس‌شده است.

جدول۹-نتایج آزمون Sobel برای بررسی نقش متغیر میانجی

مسیر دارای واسطه	a	b	Sa	Sb	Value-Z
مدیریت پسماندهای الکترونیکی- اقتصاد سبز - کنترل آلودگی‌های محیطزیستی	0.801	0.523	0.027	0.059	8.488

یافته‌های به‌دست‌آمده حاکی از آن است که در سطح اطمینان بالا می‌توان معنادار بودن تأثیر متغیر میانجی (اقتصاد سبز) را تأیید نمود؛ زیرا مقدار قدر مطلق آماره z بالاتر از ۱/۹۶ به دست آمد.

۴-بحث و نتیجه‌گیری

پسماندهای الکترونیکی امروزه یکی از معضلات اصلی محیطزیستی در سراسر جهان محسوب می‌شود که به دلیل انقلاب دیجیتال، نوآوری‌های فناوری و چرخه‌های کوتاه نوآوری به سرعت در حال افزایش است. این پسماندها حاوی مواد خطرناکی مانند فلزات سنگین، سرب و جیوه هستند که در صورت عدم مدیریت صحیح، محیطزیست را آلوده کرده و خطرات جدی برای سلامت انسان ایجاد می‌کنند. تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۱۰ میلیون تن پسماند الکترونیکی در جهان تولید شود که کشورهایی مانند چین و هند به‌عنوان مهم‌ترین تولیدکنندگان، حدود ۴۰ میلیون تن از این حجم را تشکیل خواهند داد.

نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین مدیریت اصولی پسماندهای الکترونیکی و کنترل آلودگی‌های محیطزیستی وجود دارد (t=۲.۶۳۴). مدیریت یکپارچه پسماند که شامل تولید، تفکیک، انتقال، تصفیه، بازیافت و دفع می‌شود، نقش بسزایی در کنترل آلودگی‌ها دارد. با این حال، باید در نظر داشت که بازیافت هر محصولی نمی‌تواند ۱۰۰ درصد کارآمد باشد و همیشه در مراحل مختلف فرآوری، پسماندهای باقی‌مانده تولید می‌شود که آلودگی‌های ناشی از آن‌ها باید تحت کنترل باشد. همچنین کشورهای توسعه‌یافته تمایل دارند پسماندهای خود را به کشورهای درحال‌توسعه صادر کنند که این موضوع اهمیت کنترل آلودگی را بیشتر می‌نماید.

یافته‌های تحقیق نشان داد که اقتصاد سبز تأثیر مثبت و معنی‌داری بر کنترل آلودگی‌های محیطزیستی دارد (t=۶.۶۱۰). اقتصاد سبز به‌عنوان سیستم اقتصادی با هدف حذف اتلاف و استفاده مستمر از منابع، تعداد مواد خام برداشت‌شده را محدود می‌کند و شیوه‌های مدیریت پسماند را بهبود می‌بخشد. در این رویکرد، پسماند به‌عنوان یک منبع در نظر گرفته می‌شود که باعث کاهش آلودگی می‌گردد. اقتصاد سبز در برابر اقتصاد خطی که دارای ماهیت زیان‌بار علیه محیطزیست است، باعث کاهش تخریب منابع طبیعی و افزایش سرمایه طبیعی می‌شود.

نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها تأیید کرد که اقتصاد سبز در رابطه بین مدیریت اصولی پسماندهای الکترونیکی و کنترل آلودگی‌های محیطزیستی نقش میانجی معنی‌داری دارد (Z-value>۱.۹۶). این یافته نشان می‌دهد که وقتی مدیریت پسماندهای الکترونیکی به‌طور اصولی پیاده‌سازی شود و همراه با اجرای اقتصاد سبز باشد، کنترل بهینه‌تر آلودگی‌های محیطزیستی حاصل می‌شود. برچسب‌های سبز و استانداردهای پایداری که در سال‌های اخیر رشد یافته‌اند، به ایجاد اقتصاد جدید و سبزتر کمک می‌کنند و به‌کارگیری این رویکرد در مدیریت پسماندهای الکترونیکی بسیار ضروری است.

بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود مسئولین ذی‌ربط در امر مدیریت پسماندهای الکترونیکی، ابعاد مختلف اقتصاد سبز را در این حوزه به رسمیت شناخته و گام‌های مؤثری در جهت پیاده‌سازی آن بردارند. همچنین ضروری است که قوانین و سیاست‌های مناسب برای اجرای دفع ایمن زباله‌های الکترونیکی وضع شود تا از مشکلات جدی انسانی و محیطزیستی جلوگیری شود. در نهایت، اجرای مدیریت یکپارچه پسماند همراه با رویکرد اقتصاد سبز، راهکاری مؤثر برای کنترل آلودگی‌های محیطزیستی و حفظ منابع طبیعی محسوب می‌شود.

منابع

- Andebo, E., & Wingale, G. (2021). Electronic waste generation and environmental management in Asia and Pacific countries: A systematic review. Emerging Contaminants, 7, 245.۲۶۵-
- Babu, B. R., Parande, A. K., & Basha, C. A. (2007). Electrical and electronic waste: A global environmental problem. Waste Management & Research, 25(4), 307.۳۱۸-
- Bandyopadhyay, A. (2010). E-waste management: An emerging environmental and health challenge. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 7(4), 311.۳۲۰-
- Castelan, M. (2024). The Green Economy: Job Creation and Skill Development in the EU. European Economic Review.
- Cesaro, A., & Belgiorno, V. (2016). E-waste recycling: A review of pre-processing and recovery methods. Waste Management, 58, 21.۳۴-
- Cooper, T. (2004). Inadequate life? Evidence of consumer attitudes to product obsolescence. Journal of Consumer Policy, 27(4), 421.۴۴۹-
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). 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).
- Forti, V., et al. (2018). The Global E-waste Monitor 2018. United Nations University.
- Fredholm, L. (2008). The EU WEEE Directive: a step towards extended producer responsibility for electronics. Environmental Law & Policy, 38.۱۰-۱ ,(۲-۱)
- Guiltinan, J. (2009). Creative destruction and destructive creations: Environmental ethics and planned obsolescence. Journal of Business Ethics, 89(1), 19.۲۸-
- Habib, M. A., et al. (2023). The rapid replacement of analog technologies and its environmental consequences. Journal of Environmental Informatics, 41(1), 23.۳۴-
- Jofre, P., & Morioka, S. N. (2005). Sustainability through life cycle management in the electronics and mechanics industries: Challenges and opportunities. Journal of Cleaner Production, 13(14), 1273-.۱۲۸۴
- Kiddee, P., Naidu, R., & Wong, M. H. (2013). Electronic waste: An emerging issue in rapidly developing countries. Chemosphere, 93(9), 1833.۱۸۴۲-
- Kitchin, R. (2018). The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures & Their Consequences. Sage.
- Kong, L., et al. (2019). Smart city surveillance systems: A review. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(3), 1996.۲۰۰۹-
- Loiseau, E., et al. (2016). Green economy and related concepts: An overview. Journal of Cleaner Production, 139, 361.۳۷۱-
- Noble, D. F. (2008). The religion of technology: The divinity of man and the spirit of invention. Knopf Doubleday Publishing Group.
- Plambeck, L. L., & Wang, Q. (2009). Effects of e-waste regulations on new product introduction. Management Science, 55(5), 714.۷۲۹-
- Richthofen, G. V., et al. (2019). A review of smart city development in Singapore. Cities, 93, 25.۳۴-
- Robinson, B. H. (2024). E-waste: an emerging global-scale environmental crisis. Environmental Science & Technology.
- Vidyarsana, N., & Dilan, C. (2021). E-Waste Management in Indonesia: Barriers Analysis. Jurnal Ekonomi dan Pembangunan, 10(1), 1.۱۵-
- Whitney, D. E., & Webb, J. W. (2008). The e-waste problem. IEEE Spectrum, 45(6), 44.۴۹-
- Ye, H., & Kankanhalli, A. (2018). Economic factors influencing the affordability of electronics. Information Systems Research, 29(4), 838.۸۵۴-
- Zahir, Z. (2019). Cloud Platforms for Smart City Data Analytics. IEEE Cloud Computing, 6(4), 14.۲۱-