

إدارة النفايات الإلكترونية والتنمية المستدامة: فرص الاستثمار والتحديات الاقتصادية

Electronic Waste Management and Sustainable Development: Investment Opportunities and Economic Challengesبن عيشوية رفيقة¹¹ جامعة الجيلالي بونعامة، خميس مليانة، مخبر التنمية المحلية والمقاولة في ولاية عين الدفلى، الجزائر، r.benaichouba@univ-dbk.m.dz

تاريخ النشر: 2024/03/16

تاريخ القبول: 2024/02/06

تاريخ الاستلام: 2024/01/08

ملخص:

تتناول هذه الدراسة موضوع "التنمية المستدامة وإدارة النفايات الإلكترونية"، حيث تسعى إلى استكشاف فرص الاستثمار والتحديات الاقتصادية المرتبطة بهذا المجال، وتم التركيز في الدراسة على طرق المعالجة المستدامة للنفايات الإلكترونية، مع التركيز على الاستفادة القصوى من الموارد والحد من التأثيرات البيئية والصحية السلبية.

توصلت الدراسة إلى نتائج مهمة، حيث سُجلت النفايات الإلكترونية كأسرع فئة في معدل النمو بين فئات النفايات الصلبة، وتحتوي هذه النفايات على مواد ضارة يمكن أن تتسرب إلى المياه والتربة، مما يشكل تهديداً كبيراً للبيئة والصحة البشرية، يبرز الاستثمار في إدارة النفايات الإلكترونية كعامل رئيسي في تحقيق التنمية المستدامة، ويتم ذلك من خلال اعتماد نهج مستدام وتعزيز المشاريع والابتكارات التي تسهم في تحسين البيئة وتعزيز الاقتصاد المستدام.

كلمات مفتاحية: التنمية المستدامة، النفايات الإلكترونية، إدارة النفايات، الفرص الاستثمارية، التحديات الاقتصادية، المعالجة المستدامة.
تصنيفات JEL: O14، Q53، Q56.

Abstract:

This study explores the theme of "Sustainable Development and E-Waste Management," aiming to investigate investment opportunities and economic challenges associated with this field. The study focuses on sustainable processing methods for electronic waste, emphasizing maximizing resource utilization while minimizing negative environmental and health impacts.

The study has yielded a set of results, the most significant of which is the identification of electronic waste as the fastest-growing category within solid waste. These wastes contain harmful substances that can seep into water and soil, posing a significant threat to the environment and human health. Investing in electronic waste management can be a key factor in achieving sustainable development by adopting a responsible approach and supporting projects and innovations aimed at improving the environment and fostering sustainable economies.

Keywords: Sustainable Development; Electronic Waste; Waste Management; Investment Opportunities; Economic Challenges; Sustainable Processing.

Jel Classification Codes: O14, Q53, Q56.

1. مقدمة :

في ظل التطور السريع للتكنولوجيا، أصبحت النفايات الإلكترونية التي تُعرف بـ "e-waste"، واحدة من أسرع فئات النفايات الصلبة نموًا على مستوى العالم، حيث بلغ إنتاج هذه النفايات حوالي 53.6 مليون طن متري عالميًا في عام 2019، مسجلًا نموًا بنسبة 21% مقارنة بعام 2014 (UNEP, 2023).

على الرغم من هذا الارتفاع، يتم جمع وإعادة تدوير نسبة صغيرة جدًا من إجمالي نفايات الأجهزة الإلكترونية، حيث تقتصر على حوالي 17.4% فقط (Forti, Balde, Kuehr, & Bel, 2020, p. 9)، وهذا يشير إلى الهدر المستمر للمعادن القيمة والمواد القابلة للتدوير داخل هذه النفايات، فعلى عكس النفايات الصلبة التقليدية مثل النفايات المنزلية تتسم النفايات الإلكترونية بطبيعتها الفريدة حيث تجمع بين وجود مواد خطيرة وقيمة في الوقت نفسه.

القيمة الاقتصادية الهائلة للمعادن والمواد الموجودة في النفايات الإلكترونية تظهر جليًا، حيث يمكن أن تتجاوز قيمتها حتى الناتج المحلي الإجمالي للعديد من الدول، ورغم هذه الفوائد الاقتصادية، إلى أنه يوجد تحديات بيئية وصحية ناتجة عن وجود عناصر ضارة في تلك النفايات، كما يوجد تحديات أخرى تتعلق بالتصرف غير القانوني في هذه النفايات ونقلها بشكل غير قانوني بين الدول ذات التكاليف العالية وتلك ذات التكاليف المنخفضة حيث أن 80% من إجمالي النفايات الإلكترونية يتم شحنها عبر حدود البلدان (Baldé, Angelo, Luda, Deubzer, & Kuehr, 2022, p. 4)، مما ينجم عنه تأثيرات سلبية على البيئة على مستوى العالم.

ومما سبق، تكمن أهمية البحث في إدارة وتكنولوجيا إعادة تدوير هذه النفايات بطرق تعزز الاستدامة، ويأتي هذا المقال ليسلط الضوء على أهمية جمع وإعادة تدوير واستخدام النفايات الإلكترونية، وهذا في سبيل تقليل التأثيرات البيئية عن طريق زيادة إعادة استخدام المعدات والأجزاء، وزيادة قابلية إعادة التدوير للمواد الموجودة في النفايات الإلكترونية، وتطوير مجتمع يتعلم كيف يحقق توازنا بين التطور التكنولوجي السريع وإدارة المنتجات والمواد بشكل مسؤول.

والمنهج المتبع في الدراسة هو المنهج الوصفي، حيث تم اعتماده نظرًا لملائمته لتحليل البيانات والإحصائيات المتاحة حول موضوع النفايات الإلكترونية، كما ساهم هذا المنهج في تحليل المعطيات المتاحة من تقارير ودراسات حول التحديات والفرص الاستثمارية المتعلقة بإدارة النفايات الإلكترونية.

2. مفهوم النفايات الإلكترونية وطبيعة المشكلة

تعيش المجتمعات الحديثة في زمن تكنولوجي يشهد تقدمًا مستمرًا في مجال الإلكترونيات، حيث أصبحت الأجهزة الإلكترونية لا غنى عنها في حياة الأفراد والشركات، يرتبط زيادة استهلاك هذه الأجهزة بتفاقم مشكلة خطيرة، وهي تزايد كميات النفايات الإلكترونية. يهدف هذا القسم إلى استعراض مفهوم النفايات الإلكترونية وكيفية تأثيرها على البيئة والمجتمع، مع التركيز على تحليل طبيعة هذه المشكلة وكيفية دمجها في إطار التنمية المستدامة.

1.2 مفهوم النفايات الإلكترونية وتصنيفاتها:

يشير مصطلح النفايات الإلكترونية (E-waste) أو Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE) إلى مجموعة من النفايات التي تتألف أساسًا من معدات وأجهزة إلكترونية وكهربائية تم التخلص منها بسبب انتهاء عمرها الافتراضي أو المتقادمة بسبب التطور التكنولوجي، ويتضمن هذا النوع من النفايات مجموعة واسعة من الأجهزة، بما في ذلك الأجهزة المنزلية، وأجهزة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT)، وأجهزة الرصد والتحكم، والألعاب الإلكترونية، والهواتف النقالة، وأجهزة الحواسيب

الصغيرة (Anuardo, et al., 2023)، ومن المهم أن نلاحظ أنه لا يوجد تعريف عالمي موحد لمصطلح النفايات الإلكترونية، بل يختلف هذا التعريف من بلد لآخر ومن منطقة إلى أخرى.

فوفقاً لمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) تعرف النفايات الإلكترونية بأنها "أي جهاز يعمل بالطاقة الكهربائية وصل إلى نهاية عمره التشغيلي" (Suja, Abdul Rahman, Yusof, & Masdar, 2014, p. 1)، في حين تشمل وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA)، في تعريفها للنفايات الإلكترونية " كل من الأجهزة الكهربائية الكبيرة والصغيرة والمنتجات الإلكترونية الاستهلاكية " (Liu , Tan , Yu , & Wang, 2023) ..

حالياً، يُعتبر تعريف النفايات الإلكترونية الأكثر قبولاً على مستوى العالم هو التعريف الوارد في التوجيه الصادر عن الاتحاد الأوروبي (EU) سنة 2001 والذي يعرفها على أنها "نفايات الأجهزة الكهربائية أو الإلكترونية، والتي تشمل جميع المكونات والأجزاء الفرعية والمواد الاستهلاكية التي تكون جزءاً من المنتج في وقت التخلص منه" (Liu , Tan , Yu , & Wang, 2023) .

ويوجد العديد من الطرق لتصنيف النفايات الإلكترونية لأغراض إحصائية، ولكن أحد الأساليب الشائعة التصنيف الوارد في توجيهات الاتحاد الأوروبي للمعدات الكهربائية والإلكترونية، وفقاً له يتم تقسيم النفايات الإلكترونية إلى عشر فئات مختلفة، وتشمل: (Eurostat, 2020)

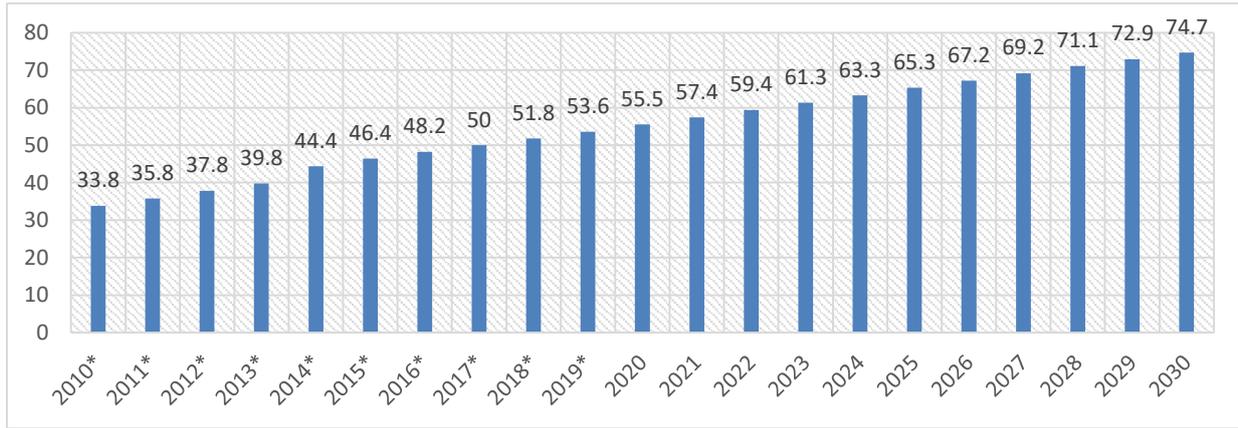
- الأجهزة الكهرومنزلية الكبيرة،
- الأجهزة الكهرومنزلية الصغيرة،
- معدات تكنولوجيا المعلومات والاتصال (IT) ،
- المعدات الاستهلاكية والألواح الكهروضوئية
- معدات الإنارة،
- الأدوات الكهربائية والإلكترونية (باستثناء الأدوات الصناعية الثابتة بمقياس كبير)
- الألعاب ومعدات الترفيه والرياضة
- الأجهزة والمعدات الطبية (باستثناء جميع المنتجات المزروعة والمصابة)،
- أجهزة المراقبة والتحكم،
- موزعات تلقائية.

ويهدف هذا التصنيف إلى تسهيل فهم نطاق النفايات الإلكترونية وتنظيم جهود إعادة تدويرها والتعامل معها بشكل فعال.

2.2 طبيعة المشكلة وزيادة كميات النفايات الإلكترونية:

يشهد العالم زيادة ملحوظة في حجم النفايات الإلكترونية، حيث تعتبر واحدة من أسرع الفئات نمواً في مجال النفايات. في عام 2019، تم إنتاج 53.6 مليون طن من النفايات الإلكترونية على مستوى العالم، بمتوسط قدره 7.3 كيلوجرام للفرد، ومن المتوقع أن يزيد إنتاج النفايات الإلكترونية إلى 74.7 مليون طن في عام 2030 (الشكل 1)، وقد يصل الإنتاج إلى 110 مليون طن في عام 2050 (Baldé, Angelo, Luda, Deubzer, & Kuehr, 2022, p. 4).

الشكل 1: النفايات الإلكترونية المتولدة في جميع أنحاء العالم من عام 2010 إلى عام 2030 (مليون طن)



المصدر: تم اعداد الشكل بالاعتماد على: (Forti , Balde, Kuehr, & Bel, 2020, p. 24)، (Statista, 2023a)

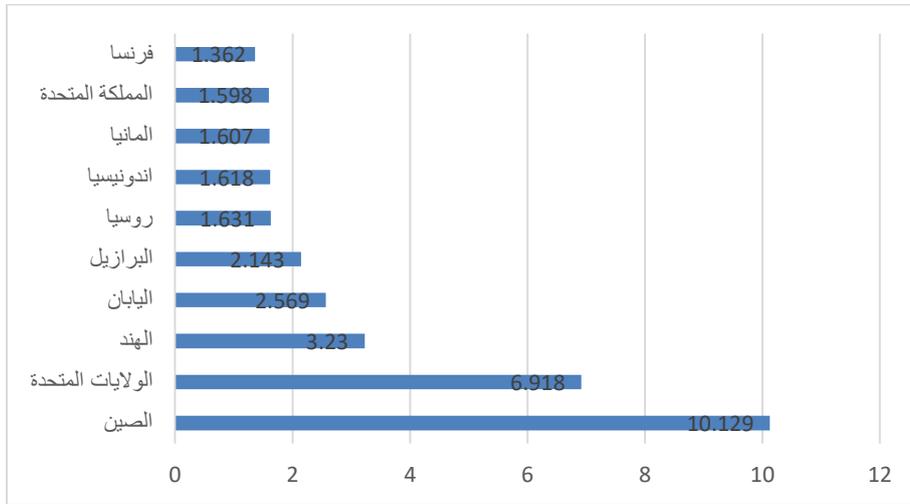
وفقاً للبيانات الواردة في الشكل 1 شهدت كمية النفايات الإلكترونية العالمية ارتفاعاً مطرداً في الفترة من عام 2010 إلى عام 2019، وبلغ حجم النفايات الإلكترونية المنتجة عالمياً حوالي 53.6 مليون طن متري بحلول عام 2019، هذا يشكل زيادة بلغت 44.4 مليون طن خلال خمس سنوات فقط (Ya'acob, Alrazi, Nik Azman, Salleh, & Md Yatim, 2023)، ويُظهر المعدل السنوي للزيادة في كمية النفايات أن الزيادة تتسارع مع مرور الوقت، ففي الفترة بين عامي 2010 و2019، كان معدل الزيادة السنوي يقارب 1.45 مليون طن، في حين من المتوقع أن يصل المعدل إلى حوالي 1.3 مليون طن في الفترة بين 2019 و2030. في عام 2019، كانت حجم النفايات الإلكترونية العالمية تتألف أساساً من معدات صغيرة بكمية تبلغ 17.4 مليون طن، ومعدات كبيرة بكمية تصل إلى 13.1 مليون طن، ومعدات تبادل الحرارة (المضخات الحرارية، المجمدات، مكيفات الهواء، الثلاجات) بحجم 10.8 مليون طن. وفي الوقت نفسه، تُمثل الشاشات والشاشات الرقمية، ومعدات تكنولوجيا المعلومات الصغيرة والاتصالات، والمصابيح نسبة أقل من إجمالي النفايات الإلكترونية التي تم إنتاجها في ذلك العام، وتحديداً: 6.7 مليون طن، و4.7 مليون طن، و0.9 مليون طن على التوالي (Forti , Balde, Kuehr, & Bel, 2020, p. 24).

ويُلاحظ أن الفئات التي شهدت نمواً في حجمها بالمقارنة مع عام 2014 هي معدات تبادل الحرارة التي شهدت زيادة سنوية بنسبة 7%، والمعدات الكبيرة بنسبة +5%، والمصابيح والمعدات الصغيرة بنسبة +4%، يُدفع هذا الاتجاه بنمو استهلاك هذه المنتجات في الدول ذات الدخل المنخفض، حيث تلعب هذه المنتجات دوراً في تعزيز مستويات المعيشة، في المقابل، شهدت معدات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الصغيرة نمواً بوتيرة أبطأ، وسجلت الشاشات والشاشات الرقمية انخفاضاً طفيفاً بنسبة -1% (Forti , Balde, Kuehr, & Bel, 2020, p. 24)، ويمكن تفسير هذا الانخفاض بأن شاشات الكريستال السائل الثقيلة والشاشات تم استبدالها مؤخراً بنماذج أخف وزناً، مما أدى إلى تقليل الوزن الإجمالي على الرغم من زيادة عدد القطع.

وتتفاقم مشكلة النفايات الإلكترونية خاصة في قارة آسيا، حيث تم إنتاج أعلى كمية من النفايات الإلكترونية في عام 2019 بلغت 24.9 مليون طن، تلتها الأمريكتان بـ 13.1 مليون طن، وأوروبا بـ 12 مليون طن، في حين أن أفريقيا وأوقيانوسيا قد أنتجتا 2.9 مليون طن و0.7 مليون طن على التوالي، حازت أوروبا على المرتبة الأولى على مستوى العالم من حيث إنتاج النفايات الإلكترونية للفرد، بمعدل 16.2 كيلوغرام للفرد، بينما جاءت أوقيانوسيا في المرتبة الثانية بمعدل 16.1 كيلوغرام للفرد، تليهما الأمريكتان بمعدل 13.3 كيلوغرام للفرد. في المقابل، كانت كميات النفايات الإلكترونية المنتجة للفرد في آسيا وأفريقيا تبلغ 5.6 و2.5 كيلوغرام على التوالي (Forti , Balde, Kuehr, & Bel, 2020, p. 13).

وعلى مستوى الدول الشكل 2 يُظهر الفرق في حجم إنتاج النفايات الإلكترونية بين مجموعة من الدول، وكيف يمكن أن يكون الاستهلاك التكنولوجي والسوق الاستهلاكية للإلكترونيات متنوعًا ومتباينًا في كل دولة.

الشكل 2: الدول الرائدة في توليد النفايات الإلكترونية على مستوى العالم في 2019



Source:(Seif, Salem, & Allam, 2023)

يوضح الشكل أعلاه أن الصين تعتبر أكبر منتج للنفايات الإلكترونية على مستوى العالم، حيث بلغ إنتاجها أكثر من 10 مليون طن في عام 2019، يُظهر هذا الرقم حجمًا هائلًا من الإلكترونيات التي تم التخلص منها في هذا البلد، بالإضافة إلى النفايات القادمة من باقي أنحاء العالم، وعلى الرغم من أن الصين كانت وجهة رئيسية للنفايات الإلكترونية العالمية على مدى العقدين الماضيين، إلا أن السلطات الصينية فرضت حظرًا على جميع واردات النفايات الصلبة، الذي دخل حيز التنفيذ في 1 يناير 2021، أدى هذا الحظر إلى توقف تدفق النفايات الإلكترونية إلى الصين من البلدان الأخرى، مما سمح للدولة بتركيز جهودها على مواجهة التحدي المتزايد لديها فيما يتعلق بإدارة النفايات الإلكترونية (Ionescu, 2022, p. 52).

يظهر الشكل نفسه أن الولايات المتحدة تحتل المرتبة الثانية في إنتاج النفايات الإلكترونية، حيث بلغ إنتاجها حوالي سبعة ملايين طن في نفس العام. يُظهر ذلك أن الإلكترونيات المستهلكة في الولايات المتحدة تسهم بشكل كبير في الإنتاج الإجمالي للنفايات الإلكترونية على مستوى العالم (Kahhat, et al., 2008)، بالإضافة إلى ذلك، تعتبر الهند والبرازيل (Santos & Ogunseitan, 2022) من المنتجين الرئيسيين للنفايات الإلكترونية، وقد كانتا أو لا تزالان الوجهة النهائية لتلك النفايات التي يتم شحنها بشكل غير قانوني من الدول الأكثر ثراءً، والتي يتم معالجتها في معظم الأحيان في مواقع غير رسمية.

تُسلط هذه التقديرات الضوء على الزيادة المستمرة في حجم النفايات الإلكترونية على مستوى العالم، ويُعزى هذا الارتفاع إلى التنمية الاقتصادية والتقدم التكنولوجي السريع، حيث يؤدي التقدم التكنولوجي إلى تسارع عمليات التخلص من المعدات الإلكترونية بسبب عدم مواكبتها للتطور، فعلى سبيل المثال في أوروبا والولايات المتحدة والصين يتم التخلص من الهواتف المحمولة في متوسط فترة أقل من سنتين (World Health Organization, 2021, p. 2)، مما يثير هذا الاتجاه تحديات بيئية واقتصادية.

3. المخاطر من النفايات الإلكترونية وفوائد الإدارة المستدامة

توفير فهم أعمق للمخاطر البيئية والاقتصادية المرتبطة بالنفايات الإلكترونية يمثل خطوة أساسية نحو تطوير استراتيجيات فعالة لإدارتها، سنتطرق في هذا القسم للمخاطر الصحية والبيئية للنفايات الإلكترونية، مع التركيز على استكشاف الفوائد الممكنة للتحويل نحو إدارة مستدامة لهذه النفايات، سيتم التركيز بشكل خاص على كيفية تحويل هذه التحديات إلى فرص استثمارية.

1.3 التأثيرات السلبية للنفايات الإلكترونية على البيئة والصحة العامة:

النفايات الإلكترونية تظهر بصورة واضحة كنوع من النفايات ذات الصفات المزدوجة- الخطورة والقيمة المواردية، (Liu , Tan , Yu , & Wang, 2023)، حيث تتميز هذه النفايات بسمات فريدة تجعلها متميزة عن النفايات الصلبة التقليدية، فمن جهة تُعتبر خطرة بسبب احتوائها على مواد كيميائية سامة تؤدي إلى تلوث المياه وتأثيرها على الحيوانات والنباتات والإنسان، وفي هذا السياق، نشدد على أهمية التصدي لهذه المشكلة البيئية والصحية بفعالية، ومن جهة أخرى، يتم التأكيد على الفوائد الكبيرة لإعادة تدوير تكوينات المعادن وغير المعادن في النفايات الإلكترونية، بفضل قابليتها لإعادة التدوير، يمكن استخراج موارد قيمة مثل النحاس والذهب والفضة، مما يسهم في تعزيز استدامة الموارد الطبيعية.

الشكل 3: العناصر المكونة للنفايات الإلكترونية.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be	Common metals										Plastic/biomass				10 Ne	
11 Na	12 Mg	Precious metals										Added elements				18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc											Rare elements				36 Kr
22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr			
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
Rare earth elements			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
Glass/fiber concrete			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Source:(Liu , Tan , Yu , & Wang, 2023)

أن النفايات الإلكترونية تتألف أساساً من المعادن الحديدية والبلاستيك والمعادن غير الحديدية بنسبة 50%، 21%، و 13% على التوالي، إلى جانب كمية معينة من الزجاج والخشب والسيراميك وما إلى ذلك ، ويجدر الإشارة ان محتوى المعادن في النفايات الإلكترونية متنوع (Thakur & Kumar, 2022, p. 6958)، حيث تحتوي على ما يصل إلى 60 نوعاً مختلفاً من المعادن (Debnath, Chowdhury, & Ghosh, 2018, p. 2)، مما يجعلها مصدراً غنياً ومتنوعاً للموارد المعدنية وحتى غير المعدنية وهذا ما يعني ان هذه النفايات تتيح فرصاً اقتصادية كبيرة في حال تم استخراج هذه المواد بطرق آمنة، حيث يُظهر تحليل القيمة الاقتصادية للموارد القابلة لإعادة التدوير وجود فرص جديدة للاستفادة منها، في المقابل وفي حالة معالجة النفايات الإلكترونية بشكل غير مسؤول قد يتسبب في التأثير البيئي السلبي الناتج عن تسرب المواد الكيميائية السامة الموجودة في معظم الأجهزة الإلكترونية إلى البيئة، وهذا ما يؤدي الى تلوث المياه وتأثيرات على الحيوانات والنباتات والإنسان.

في سياق التطرق للسموم الموجودة في النفايات الإلكترونية، يمكن ذكر العديد من المركبات (الشكل 3)، مثل: الرصاص، والمواد المثبطة للاشتعال مثل PBDEs، والديوكسينات والفورانات، والكادميوم، والزرنيخ، والزرنيق، والكروميوم، وتترتب على وجود كل من هذه السموم آثار خطيرة على البيئة وصحة الإنسان.

على سبيل المثال، تحتوي معظم الأجهزة الإلكترونية على الرصاص، ويتم إطلاقه في الهواء نتيجة حرق الإلكترونيات في مراكز إعادة التدوير أو في مرافق التخلص من النفايات البلدية، ويمكن للرصاص الذي يتم إطلاقه الانتقال على مسافات طويلة قبل أن يتسرب على الأرض، حيث يتماسك عادةً مع جزيئات التربة، كما يمكن للرصاص أن ينتقل من التربة إلى المياه الجوفية، ومن حالات التلوث

بالرصاص نتيجة التعامل غير المسؤول مع مشكلة النفايات الإلكترونية نذكر حالة مدينة جويو في الصين، التي كانت تراكيز الرصاص في الهواء 3.1-4.6 مرات أكثر من تراكيزه في بعض المدن الكبيرة مثل سيول وطوكيو (Wilson, 2023).

ويمكن أن يكون التعرض للرصاص عبر الهواء، الغبار، الماء، والتربة، حيث يتعرض الإنسان لتأثيرات خطيرة تشمل تلف الجهاز العصبي، وضعف في الأطراف، زيادة في ضغط الدم أو فقر الدم، وعند مستويات أعلى، يمكن أن يسبب الرصاص تلفاً في الدماغ والكلية، مع الإشارة بكون الأطفال هم أكثر عرضة لتسمم الرصاص من الكبار، وقد يؤدي التعرض المستمر إلى ولادة أطفال أصغر حجماً وتقليل القدرات العقلية، ويجدر بالذكر أن الأطفال الذين يعملون في تفكيك النفايات الإلكترونية في الصين يظهرون مستويات أعلى من الرصاص في الدم مقارنة بالأطفال الذين يعيشون في مناطق أخرى من الصين (Wilson, 2023).

وفي نفس السياق، يؤثر الرصاص أيضاً على الحياة البرية والنباتات، ونفس الأمر ينطبق على الديوكسينات التي تنبعث أثناء حرق الأسلاك والبلاستيك، والكادميوم الذي يمكن أن يتسرب خلال تفكيك منتجات إلكترونية مثل البطاريات، والزئبق الذي يوجد في المصابيح الفلورية ويُطلق أثناء حرق النفايات الإلكترونية (انظر الجدول رقم 1).

الجدول 1: مكونات النفايات الإلكترونية وتأثيرها على صحة الإنسان

المادة	مصدر النفايات الإلكترونية	التأثير على الصحة البشرية
الزرنيخ (As)	شاشات أنبوب الفوسفور، وصمامات الثنائيات، ولوحات الدوائر المطبوعة	يسبب مختلف أنواع السرطان وأمراض الجلد، ويؤثر على الجهاز التنفسي والقلبي، ويضر الجهاز التناسلي والجهاز التنفسي.
مبثبات اللهب البرومية (BFR)	مبثبات اللهب للأجهزة الإلكترونية	يسبب اضطرابات في الجهاز الهرموني والتناسلي، ومشاكل في الغدة الدرقية والكبد، ويشمل أيضاً تأثيرات على الجهاز العصبي للأطفال.
النحاس (Cu)	لوحات الدوائر المطبوعة	يسبب الإسهال واضطرابات في الكبد.
الكروم (Cr)	أقراص الكمبيوتر، والهيكل الخارجي للكمبيوتر، وأنايب الفوسفور، والبطاريات	يسبب ضرراً للدماغ والأوعية الدموية والجهاز التنفسي والكلية.
الليثيوم (Li)	البطاريات	يؤثر على الجهاز العصبي والجهاز الهضمي.
الزئبق (Hg)	المصابيح، والبطاريات، والمفاتيح	يؤثر على الجهاز العصبي المركزي والكلية.
النيكل (Ni)	البطاريات وأنايب الكرات الطرفية	يسبب أمراض الجلد والرئة، ويسبب أيضاً أنواعاً مختلفة من السرطان.
الكادميوم (Cd)	لوحات الدوائر المطبوعة، والمفاتيح، وشرائح النصف الموصلة	سرطاني للغاية، ويؤثر على العظام والكلية والجهاز التنفسي.
ديوكسينات البولي كلوريد (PCDDs)	نواتج الاحتراق	تعطيل الجهاز العصبي ويسبب أنواعاً مختلفة من السرطان.
هيدروكربونات الأروماتية (PAH)	النواتج كنتاج جانبي للاحتراق	التعرض المهني يمكن أن يؤدي إلى أنواع مختلفة من السرطان، وهو مسؤول أيضاً عن التأثيرات على النظام الإنجابي والتنموي.

Source:(Thakur & Kumar, 2022, p. 6959)

ويزداد التعرض للمواد السامة السابقة الذكر في حالة التخلص غير الامن لهذه النفايات او في حالة عمليات إعادة تدوير الإلكترونيات غير الرسمية، والتي غالباً ما يتم تنفيذ هذا النوع من الاعمال غير رسمية في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل التي لديها

قوى عاملة هائلة ولا تزال البنية التحتية لإدارة النفايات غير متطورة بشكل كامل، خاصة في قارات آسيا، وتحديداً في الصين ، الهند، باكستان، الفلبين، تايلاند، فيتنام، وبنغلاديش بالإضافة إلى أفريقيا، في كل من غانا، نيجيريا، والكاميرون وأمريكا الوسطى والجنوبية، وتحديداً في تشيلي، المكسيك وأوروغواي (World Health Organization , 2021, p. 6)، يُجرى إعادة تدوير الإلكترونيات غير الرسمية إما في مواقع كبيرة لتخلص النفايات أو في ورش صغيرة لإعادة التدوير، وغالبًا ما يعيش العديد من المشغلين وعائلاتهم في محيط هذه المواقع أو بالقرب منها، وتتم العملية " باستخدام طرق منخفضة التكنولوجيا مثل التفكيك اليدوي والحرق المفتوح والغسيل بالحمض لاستخراج المعادن الثمينة" (Lucier & Gareau, 2020, p. 2).

عمليات إعادة تدوير الإلكترونيات غير الرسمية تعتمد على تقنيات يدوية وبدائية، وكثيرًا ما يُنفذ هذا النوع من العمليات بواسطة الأطفال والمراهقين، تتضمن هذه العمليات الذوبان الحراري للوحات الإلكترونية بواسطة النار لاستخراج المعادن والرقائق القيمة، وحرق أسلاك الكابل لاستخراج النحاس، وتنظيف بواسطة مذيبات خطيرة، وأخيرًا حرق المواد القليلة القيمة، قد يتم معالجة المعادن المستخرجة لاحقًا بواسطة تحسين المعدن وعمليات الصهر لتنقية هذه المعادن، وكثيرًا ما يتم ذلك في بيئات تحدث فيها معالجة مخلفات المعادن من تيارات النفايات المختلفة لفصل المواد حسب الكثافة والمغناطيسية (Forti , Balde, Kuehr, & Bel, 2020).

عمليات إعادة التدوير هذه تعرض العمال لمجموعة من المواد الضارة، بما في ذلك المعادن ومثبطات اللهب والمذيبات العضوية والملدنات والغبار والجزيئات المحملة بالمواد السامة ومنتجات الاحتراق مثل الهيدروكربونات الأرومات الحلقية والدايوكسينات، بالإضافة إلى ذلك، يكون أفراد أسرهم عرضة بشكل مباشر أو غير مباشر للمواد السامة المستخرجة من معالجة الإلكترونيات، سواء في المنزل أو بالقرب من مواقع إعادة التدوير غير الرسمية.

في الجدول 2، يُسلط الضوء على المخاطر المترتبة على إعادة تدوير الإلكترونيات بشكل غير رسمي، والتي تؤثر على العمال والسكان المحيطين والبيئة، وتشكل هذه المخاطر تحديات كبيرة للصحة والبيئة، مُسهمًا في التلوث الهوائي والتراخي والمائي، وتسبب مشاكل صحية للأفراد.

الجدول 2: التعرض الموثق والمشتبه به للعمال والسكان المجاورين والبيئة في عمليات إعادة التدوير الرسمية وغير الرسمية للنفايات الإلكترونية

المتضررون	التدوير الرسمي	التدوير غير الرسمي
العمال/مشغلو التدوير	انخفاض منخفض في خطر التعرض، ولكن لا توجد استطلاعات شاملة	تعرض مرتفع للمواد الكيميائية الضارة المتعلقة بالنفايات التكنولوجية وأيضًا لمنتجات الاحتراق. يستغل المراهقين والأطفال في كثير من الأحيان.
السكان المجاورين والأقارب	انخفاض خطر التعرض؛ ولكن يمكن أن يكون الخطر في حالة معالجة مشتركة غير كافية للنفايات الإلكترونية ونفايات البلدية	تعرض مرتفع للمواد الكيميائية الضارة المتعلقة بالنفايات التكنولوجية ومنتجات الاحتراق (خاصة إذا كانت المساكن في موقع الإلقاء أو داخل مرفق إعادة التدوير).
البيئة (التعرض غير المباشر للسكان العاميين)	انخفاض خطر التعرض المشتبه به، ولكن لا توجد استطلاعات شاملة	تعرض مرتفع للمواد الكيميائية الضارة المتعلقة بالنفايات التكنولوجية ومنتجات الاحتراق.

Source:(Adam, et al., 2021, p. 4)

يظهر الجدول أعلاه أن عمليات إعادة التدوير الرسمية قد اتخذت إجراءات لتقليل مستويات التعرض للعمال والسكان المحليين والبيئة، على النقيض، يُشير التدوير غير الرسمي إلى مستويات تعرض أعلى للعمال والسكان المجاورين والبيئة، مما يبرز أهمية تطبيق إجراءات فعالة للتحكم في المخاطر وضمان سلامة العمليات غير الرسمية لإعادة التدوير.

2.3 الإدارة المستدامة للنفايات الإلكترونية، والفرص الاستثمارية:

كما سبق وأشرنا في عام 2019، وصل إجمالي النفايات الإلكترونية المنتجة على مستوى العالم إلى 53.6 مليون طن، تم توثيق إدارة نسبة ضئيلة تقدر بـ 17.4 في المئة فقط (9.3 مليون طن) من هذا الإجمال، والتي تتيح إعادة تدوير موارد قيمة بقيمة 9.4 مليار دولار أمريكي (Baldé, Angelo, Luda, Deubzer, & Kuehr, 2022, p. 9)، تتضمن الحديد والذهب والنحاس ومواد أخرى قيمة.

بالنسبة لحوالي 82.6 في المئة (44.3 مليون طن) من النفايات الإلكترونية المنتجة، فإن مصيرها يظل غير معروفًا أو غير مسجلًا. حيث تم معالجة هذه النفايات وإعادة تدويرها بطرق غير موثقة، أو ربما تم التخلص منها بطرق غير ملائمة، مثل التفريغ أو الحرق أو التداول، مما نتج عنه فقدانًا محتملاً في القيمة الإجمالية قدره 47.6 مليار دولار أمريكي من المعادن الثمينة (Baldé, Angelo, Luda, Deubzer, & Kuehr, 2022, p. 9).

مع الإشارة ان جهود تدوير النفايات الإلكترونية قد شهدت زيادة بلغت 1.8 مليون طن منذ عام 2014، بمعدل نمو سنوي يقارب 0.4 مليون طن، ومع ذلك، زاد إجمالي إنتاج النفايات الإلكترونية بنسبة 9.2 مليون طن، مع معدل نمو سنوي يقارب 2 مليون طن (Forti, Balde, Kuehr, & Bel, 2020, p. 23). وهذا يظهر أن جهود إعادة التدوير لا تتسارع بنفس الوتيرة مع النمو العالمي للنفايات الإلكترونية.

مستقبلاً، وفي حال معالجة 100% من النفايات الإلكترونية من خلال الأنشطة الرسمية، يمكن تلبية ما يقرب من 85 إلى 95 في المئة من الطلب على الموارد الضرورية لإنتاج الإلكترونيات (Ghulam & Abushammala, 2023)، يشكل ذلك فرصة هامة للاستثمار في هذا القطاع.

إعادة تدوير النفايات الإلكترونية تترتب عليها فوائد بيئية واقتصادية متعددة، مثل توفير الطاقة والتقليل من استخراج المعادن من العمليات الاستخراج التقليدية وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (Gomathi & Rupesh, 2018, p. 1106)، كما تساعد عمليات إعادة التدوير وإعادة الاستخدام في حل مشكلة نقص المواد الخام، فعلى سبيل المثال، تقوم شركة زيروكس بتفكيك الآلات الناسخة المعاد تدويرها وإعادة استخدامها، ويتيح استخدام قطع المعاد تدويرها في إنتاج ناسخات جديدة توفير نسبة تتراوح بين 40% إلى 65% من التكلفة مقارنةً بالسابق، من الناحية الاقتصادية، يمكن لعمليات إعادة الإنتاج وإعادة التصنيع أن توفر حوالي 50% من التكلفة مقارنةً بإنتاج منتجات جديدة، وتقل بشكل كبير من استهلاك الطاقة والمواد بنسب تصل إلى 60% و70% على التوالي. وبالتالي (Tan, Wang, Zheng,, & Cheng, 2022, p. 1).

وبالعودة لدور استخدام المعادن المعاد تدويرها بدلاً من المعادن الخام في توفير الطاقة، يُظهر الجدول 3 التباين في توفير الطاقة اعتمادًا على نوع المعدن المستخرج.

الجدول 3: تباين توفير الطاقة بناءً على نوع المعدن المستخرج

نوع المعدن	تباين توفير الطاقة (%)
النحاس	85
الفولاذ	74
الرصاص	65
الزنك	60
المعادن الثمينة	>80

Source: (Gomathi & Rupesh, 2018, p. 1106)

يوضح الجدول 3 الفوائد البارزة لاسترجاع المواد والمعادن من النفايات الإلكترونية بدلاً من استخراج المواد الخام، حيث يظهر تحقيق وفرة كبيرة في الطاقة، على سبيل المثال، يؤدي إعادة تدوير النحاس إلى توفير طاقة بنسبة 85%، في حين يسفر إعادة تدوير الفولاذ عن توفير طاقة بنسبة 74%، بالإضافة إلى ذلك، تُسهم إعادة تدوير الرصاص والزنك في توفير الطاقة بنسب تصل إلى 65% و60% على التوالي. فيما يتعلق بالمعادن الثمينة، التي تشمل مثل هذه المعادن القيمة كالذهب والفضة، يظهر الجدول نسباً عالية جداً لتوفير الطاقة تفوق 80%.

بالإضافة إلى ما تم ذكره، تلعب مشاريع إعادة تدوير النفايات الإلكترونية دوراً حيوياً في خلق فرص عمل، حيث تتخذ بعض القطاعات المرتبطة بهذه العملية دوراً كبيراً في ذلك، مثل قطاعات إعادة التدوير والإصلاح وإعادة الاستخدام، وتوفر هذه القطاعات الكثير من فرص العمل وتسهم بشكل هام في تعزيز التوظيف المحلي، على سبيل المثال، في مدينة جويو في الصين يشتغل حوالي 100 ألف عامل في ورش تدوير النفايات الإلكترونية. يتم إعادة تدوير نحو 15,000 طن يومياً في هذا الموقع، مما يمثل أكثر من 80% من القوى العاملة المحلية (Miliute-Plepiene & Youhanan, 2019, p. 23).

من الواضح مما سبق أن الاستثمار في مجال إعادة تدوير النفايات الإلكترونية يشكل خياراً استراتيجياً يجب مراعاته، تظهر أسباب عدة لدعم هذا الاستثمار، حيث تبرز أهمها الحاجة الملحة للحد من التلوث البيئي والمساهمة في التخفيف من تأثيرات تغير المناخ، وعلى الرغم من أهمية إعادة تدوير النفايات الإلكترونية للتخلص منها بشكل فعال، يظهر أن العملية قد تواجه مجموعة من التحديات.

4. التحديات التي تعيق التطبيق الفعال لإدارة النفايات الإلكترونية

يتناول هذا الجزء مجموعة متنوعة من التحديات التي تعترض جهود إدارة النفايات الإلكترونية وتحقيق التنمية المستدامة، سيعمق في التحديات المادية التي تواجه الشركات والمؤسسات، بالإضافة إلى الجوانب التشريعية والقانونية التي قد تكون عائقاً أو داعماً لجهود الإدارة المستدامة، كما سنتناول أيضاً الحركة الدولية للنفايات الإلكترونية وتأثيرها، بالإضافة إلى التحديات الثقافية والمجتمعية التي يمكن أن تعيق تنفيذ استراتيجيات فعالة في هذا السياق.

4.1 التكاليف المرتبطة بتنفيذ أنظمة فعالة لإدارة النفايات الإلكترونية:

في معظم دول العالم لا تزال القدرات التنظيمية أو المالية أو التقنية اللازمة لإدارة النفايات الإلكترونية غير متطورة تماماً، أو في بعض الحالات غير موجودة على الإطلاق في الدول ذات الدخل العالي، يمكن أن يتم خلط النفايات الإلكترونية مع أنواع أخرى من النفايات وقد لا تخضع للخطوات العلاجية الخاصة المطلوبة، أو يمكن تصدير النفايات إلى الدول ذات الدخل المتوسط والمنخفض (Baldé, Angelo, Luda, Deubzer, & Kuehr, 2022, p. 16). كلا الحالتين تؤدي إلى كفاءة أقل من حيث الموارد والبيئة، في الدول ذات الدخل المتوسط والمنخفض، يُدير القطاع غير الرسمي في معظم الأحيان النفايات الإلكترونية، حيث يتم التعامل معها في ظروف أقل جودة وليست وفقاً لأحدث العمليات والتقنيات.

4.2 تحديات التحكم في حركة النفايات الإلكترونية عبر الحدود:

تنقسم حركة النفايات الإلكترونية عبر الحدود إلى حركة مراقبة وحركة غير مراقبة، في عام 2019 تجاوزت 5.1 مليون طن من النفايات الإلكترونية حدود الدول، ما يمثل حوالي 10 في المئة من إجمالي النفايات الإلكترونية على مستوى العالم (Baldé, Angelo, Luda, Deubzer, & Kuehr, 2022, p. 8)، والتي بلغت 53.6 مليون طن، وتنقسم حركة النفايات الإلكترونية عبر الحدود إلى حركة مراقبة وحركة غير مراقبة.

فيما يخص الحركة المراقبة، يشير التقرير إلى أن 1.8 مليون طن من النفايات الإلكترونية عبر الحدود تتم بشكل مراقب، حيث يتم شحن المواد التي تُعتبر نفايات خطرة وفقاً لنظام التحكم في اتفاقية بازل، أو المواد التي تُشحن كلوحات دوائر مطبوعة منفصلة، وهي جزء من قيمة عالية، إلى معالجين متخصصين.

على النقيض، تُجرى 3.3 مليون طن من الحركة غير المراقبة، حيث تُصدر كأجهزة إلكترونية مستعملة أو نفايات إلكترونية من الدول ذات الدخل العالي إلى الدول ذات الدخل المتوسط والمنخفض، وتتدفق هذه الحركة تدريجياً إلى الطبقة الفقيرة داخل الدولة المستلمة.

هذه الحركة تحدث على مستوى القارات (مثل من أوروبا إلى أفريقيا أو من الشرق إلى جنوب شرق آسيا) وتشمل أيضاً الحركة داخلية داخل القارات (مثل من أوروبا إلى شرق أوروبا)، ومعظم البلدان المستلمة هي مناطق ذات دخل منخفض ومتوسط وتفتقر إلى بنية تحتية فعالة لإدارة المواد الخطرة في النفايات الإلكترونية، مما يسهم في سوء إدارة النفايات الإلكترونية في هذه البلدان، ويتسبب في تلوث للصحة البشرية والبيئة (Baldé, Angelo, Luda, Deubzer, & Kuehr, 2022, p. 11).

ومن هنا تنشأ تحديات فيما يتعلق بالرصد والتفتيش، حيث تظهر أن قدرات التفتيش محدودة بالمقارنة مع الحركة الإجمالية عبر الحدود. وتُظهر التقديرات أن الكميات المحجوزة من النفايات الإلكترونية كتجارة غير قانونية في الاتحاد الأوروبي، في عام 2019، تتراوح بين 2 و17 ألف طن فقط، مما يُظهر أن قدرات التفتيش محدودة بشكل كبير مقارنة بالحركات غير المراقبة الضخمة (Forti, Balde, Kuehr, & Bel, 2020).

في مواجهة هذه التحديات، تم تطوير تشريعات على مستوى وطني وإقليمي ودولي لمراقبة والسيطرة على هذه الحركة. وفي هذا الصدد نشير إلى اتفاقية بازل باعتبارها الاتفاقية العالمية الوحيدة حول النفايات الخطرة، والتي تشمل النفايات الإلكترونية.

3.4.4 التحديات التشريعية في تحقيق تنظيم فعال وتشجيع الاستثمار:

تواجه الحكومات والشعوب تحدياً هائلاً في إدارة ومعالجة النفايات الإلكترونية بشكل آمن، وعلى الرغم من ذلك، يتمثل التحدي الرئيسي في الممارسات الغير مستدامة المتبعة لاستخراج المعادن الثمينة من هذه النفايات، والتي ترتبط بالتلوث البيئي وتشكل تهديداً لصحة الإنسان، مما يجعل إدارة وتنظيم النفايات الإلكترونية قضية ذات أهمية خاصة، ومن هنا جاء اتخاذ سلسلة من التشريعات والقوانين في العديد من الدول للتعامل مع مشكلة النفايات الإلكترونية، بما في ذلك التنقل العابر للحدود، واستخدام المكونات الضارة بشكل أقل، والمعالجة الرسمية للنفايات الإلكترونية المنتجة.

ويجدر بالذكر أنه في عام 2019، تم تغطية 78 دولة حول العالم بتشريعات وسياسات وتنظيمات تتعلق بمعالجة النفايات الناتجة عن الأجهزة الإلكترونية والكهربائية، ويمثل ذلك حوالي 71% من إجمالي سكان العالم (Statista, 2023) وهو تقدم كبير عن العام 2017 حيث كانت الدول 67 (تمثل 66 في المئة من السكان) (Wagner, et al., 2022, p. 19)، ومع ذلك، لا يعني وجود السياسات أو التشريعات بالضرورة تنفيذاً ناجحاً أو وجود أنظمة كافية لإدارة النفايات الإلكترونية بشكل مستدام بيئياً.

علاوة على ذلك، تختلف أنواع النفايات الإلكترونية التي تغطيها التشريعات بشكل كبير عبر الدول، وهذا يفسر أيضاً صعوبات تنسيق كميات النفايات الإلكترونية التي تم جمعها وإعادة تدويرها، حيث يمكن للعديد من الدول التي اعتمدت بالفعل تشريعات النفايات الإلكترونية زيادة التغطية لتشمل جميع المنتجات، فعلى سبيل المثال، في الولايات المتحدة، تشمل المنتجات الإلكترونية للمستهلك المدرجة في سلسلة تقارير وكالة حماية البيئة الأمريكية الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في المنازل والمؤسسات التجارية مثل الشركات والمؤسسات، وتصنف كمنتجات فيديو وصوت ومعلومات، لذلك العديد من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية خارج نطاق

التشريعات في الولايات المتحدة، مثل جميع أجهزة التبريد والتجميد، ومعظم الأجهزة الكبيرة مثل غسالات الصحون والمجففات وغيرها، بالإضافة إلى بعض الأجهزة الصغيرة والمصاييح (ITU, 2017, p. 48).

ونشير لكون ان أكثر المناطق تقدماً في تشريعات إدارة النفايات الإلكترونية توجد في أوروبا، حيث يتم جمع وإعادة تدوير كميات كبيرة من النفايات الإلكترونية، البلدان الأخرى التي سجلت تقدماً في جمع وإعادة تدوير النفايات الإلكترونية تشمل شمال أمريكا وشرق آسيا وجنوب آسيا، على النقيض، تُلاحظ في عدة مناطق عدم وجود تشريعات وطنية لإدارة النفايات الإلكترونية تماماً، كما هو الحال في أجزاء كبيرة من أفريقيا ومنطقة الكاريبي ووسط آسيا وشرق آسيا وميلانيزيا وبولينيزيا ومايكرونيسيا.

الجدول 4: ملخص للأنظمة القانونية في بعض البلدان الناجحة حيث تتم إدارة النفايات الإلكترونية بشكل فعال

الأساليب	العناصر المستهدفة	الأساس القانوني	البلد
-- نظام المسؤولية الموسعة (EPR) - رسوم الاسترداد المتقدمة - برنامج تعليمي	تولد أساساً من المنازل - التلفزيونات، الحواسيب الشخصية، مشغلات الفيديو، إلخ.	-قوانين في 25 ولاية (لا توجد قانون فيدرالي خاص بالنفايات الإلكترونية)	الولايات المتحدة
-قيود استخدام المواد الخطرة في المعدات الإلكترونية -- نظام المسؤولية الموسعة (EPR) - نظام جمع مجاني معدل الجمع -معدل إعادة التدوير والاسترداد	- 6 فئات (أكثر من 100 عنصر) أنشئت في 15 أوت 2018	- توجيه RoHS - توجيه WEEE	الاتحاد الأوروبي
أهداف جمع وإعادة التدوير متماثلة لتوجيه WEEE	-تتماشى مع توجيه WEEE	-قانون المعدات الكهربائية والإلكترونية (ElektroG)	ألمانيا
أهداف جمع وإعادة التدوير متماثلة لتوجيه WEEE	-تتماشى مع توجيه WEEE	-تنظيم WEEE Elektroaltgeräteverord nung (EAG-VO)	النمسا
-هدف جمع وإعادة التدوير والاسترداد هو نفسه كما هو موجود في توجيه WEEE. -النظام المستخدم للجمع يُديره Recupel.	تتماشى مع توجيه WEEE	-بما أن السلطة على مستوى إقليمي، قد صدرت كل من الثلاث مناطق (فلاندرز، والونيا، وبروكسل) مراسيمها وقوانينها الخاصة.	بلجيكا
- نظام المسؤولية الموسعة (EPR) - نظام إعادة الاستلام. -معدلات إعادة التدوير لأربعة عناصر. -أهداف جمع للنفايات الإلكترونية الصغيرة.	4عناصر: التلفزيونات، غسالات الملابس، مكيفات الهواء، الثلاجات (بما في ذلك الفريزر) - 28 فئة من النفايات الصغيرة	-قانون إعادة تدوير الأجهزة المنزلية - قانون إعادة تدوير النفايات الإلكترونية الصغيرة	اليابان

Source: (ESCAP, 2021, p. 14)

*: توجيه WEEE يشير إلى توجيه الاتحاد الأوروبي بشأن النفايات الكهربائية والإلكترونية (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive).

** توجیه RoHS یعنی توجیه الاتحاد الأوروبي بشأن استخدام بعض المواد الخطرة في المعدات الكهربائية والإلكترونية RoHS. تعني "Restriction of Hazardous Substances"، وهو إطار قانوني يُفرض قيوداً على استخدام بعض المواد الضارة في صناعة المعدات الكهربائية والإلكترونية.

يظهر هذا الجداول والبيانات أمثلة عن الأنظمة القانونية والاستراتيجيات التي اتخذتها مختلف الدول لإدارة النفايات التكنولوجية الإلكترونية بشكل مسؤول، مع التركيز على نظم المسؤولية الموسعة للمنتج (EPR) وغيرها من التدابير التنظيمية، ويعكس ذلك التنوع في النهج المتبعة من قبل الدول لإدارة النفايات الإلكترونية بشكل مسؤول، حيث يظهر تركيزها على مفهوم المسؤولية الموسعة للمنتج وتطبيقه في حياتها اليومية للمحافظة على البيئة وتحقيق أهداف التنمية المستدامة.

نموذج المسؤولية الموسعة للمنتج يلتزم بمفهوم "الشخص الذي يلوث يدفع"، ويعزز المنتجين لتحمل المسؤولية الكاملة عن منتجاتهم وتأثيرها البيئي على مدى حياتها، وهو نهج فعال لتحسين إدارة النفايات وتشجيع على الإنتاج والاستهلاك المستدام.

4.4.4 تحديات قلة المشاركة المجتمعية في إدارة النفايات الإلكترونية:

يساهم المستهلكون بشكل غير مباشر (نقص الوعي البيئي) في زيادة النفايات الإلكترونية التي تؤثر على الهواء والماء والتربة أثناء التخلص منها بشكل غير سليم وعملية إعادة التدوير (Ramachandran, Kanakadhurga, & Prabakaran, 2022)، لذلك من الضروري لجيل المستقبل أن يتعلم ويتصرف بمسؤولية تجاه إدارة النفايات الإلكترونية، وهذا يفسر نقل المعرفة في سن مبكرة من خلال برامج التوعية والأنشطة التعليمية، سيتم تضمين مجموعة متنوعة من أصحاب المصلحة مثل المستهلكين، ومصنعي المعدات الأصلية، وشركاء إعادة التدوير، وقطاعات الشركات، والقطاعات الحكومية، والأكاديميين، وممثلي المنظمات غير الحكومية، ومولدي المستهلكين بالجملة، في عملية نقل المعرفة لتسهيل اتباع نهج شامل لإدارة النفايات الإلكترونية بشكل سليم بيئياً، وبدلاً من تحميل كل قطاع عبئاً، يجب اعتبار ذلك مسؤولية اجتماعية لخلق جو أخضر وصحي (Murthy & Ramakrishna, 2022, p. 13).

5. خاتمة:

في ختام هذا المقال، الذي استعرضنا فيه إدارة النفايات الإلكترونية وتأثيرها على التنمية المستدامة، يظهر بوضوح أن هناك فرصاً استثمارية ضخمة في هذا القطاع المتنامي، تتجلى هذه الفرص في إمكانية استرجاع الموارد الثمينة والمعادن من النفايات الإلكترونية، وكذلك في تطوير تقنيات وعمليات فعالة لإعادة تدوير هذه المواد بشكل صحي وصديق للبيئة، وهذا من خلال اعتماد استراتيجيات مستدامة وتشجيع الابتكار في مجال إدارة النفايات الإلكترونية، ويمكن للدول والشركات أن تسهم بفعالية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة. ويتضمن ذلك دعم البحث والتطوير لتحسين عمليات إعادة التدوير وتقنيات الفصل الفعالة.

مع ازدياد التحديات البيئية والاقتصادية، يمكن للاستثمار في مجال إدارة النفايات الإلكترونية أن يكون عاملاً أساسياً في تحقيق التنمية المستدامة، وهذا من خلال تبني نهج مستدام في هذا السياق، يمكن للمشاريع والابتكارات أن تسهم في تحسين البيئة وتعزيز الاقتصاد المستدام.

تتطلب التحديات المرتبطة بإدارة النفايات الإلكترونية جهداً مشتركاً من المجتمع الدولي، والحكومات، والشركات، والمجتمع المدني. بالتصدي بجدية لهذه التحديات، مما يمكن من تحقيق أهداف التنمية المستدامة والمحافظة على بيئة صحية ومستدامة للأجيال القادمة.

نتائج الدراسة: كما خلصت هذه الورقة إلى جملة من النتائج أهمها:

- تشهد النفايات الإلكترونية أسرع معدل نمو في فئة النفايات الصلبة،

- تحتوي النفايات الإلكترونية على مواد ضارة، والتي يمكن أن تتسرب إلى المياه والتربة، مما يشكل تهديدًا للبيئة والصحة البشرية،
 - يمكن استخدام النفايات الإلكترونية كمصدر ثانوي للموارد الثمينة، مما يخفف من الضغط على الموارد الأولية.
 - إعادة تدوير النفايات الإلكترونية تُسهم في فوائد بيئية واقتصادية، منها توفير الطاقة وتقليل استخراج المعادن من العمليات التقليدية، وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، كما تلعب هذه العمليات دورًا في حل مشكلة نقص المواد الخام وتوفير فرص عمل للسكان المحليين،
 - تتطلب إدارة النفايات الإلكترونية تقنيات متقدمة وتكنولوجيات صديقة للبيئة.
 - هناك إجراءات قانونية عالمية لتنظيم إدارة النفايات الإلكترونية وتعزيز استخدام الموارد بشكل فعال، وتشمل أيضًا قيودًا على تصدير أو استيراد هذا النوع من النفايات،
 - هناك اتجاه عالمي نحو تضمين مبدأ المسؤولية الموسعة للمنتجين ضمن الأنظمة القانونية والاستراتيجيات المتعلقة بإدارة النفايات التكنولوجية الإلكترونية، يهدف هذا الاتجاه إلى تعزيز إنتاج منتجات مصممة لإعادة الاستخدام.
- التوصيات:** بناء على ما تقدم من نتائج يمكن تقديم جملة من المقترحات:
- تعزيز الوعي حول مخاطر وآثار النفايات الإلكترونية على البيئة والاقتصاد. يمكن ذلك من خلال الحملات التوعوية وورش العمل للمجتمع والشركات.
 - دعم وتعزيز التشريعات المحلية التي تنظم إعادة تدوير النفايات الإلكترونية وتشجيع الممارسات الصديقة للبيئة.
 - يُنصح بتشجيع الاستثمار في البحث والتطوير لتطوير تقنيات جديدة لفصل المواد وإعادة تدويرها بشكل فعال ومستدام.
 - من الضروري التشجيع على دعم المشاريع التي تسعى إلى إعادة تصنيع الأجهزة القديمة بشكل فعال لتقليل الضغط على الموارد الطبيعية.
 - من الضروري دعم المبادرات الدولية في مجال إدارة النفايات الإلكترونية للحد من الحركة غير القانونية.
 - تعزيز الابتكار في تكنولوجيا إعادة تدوير النفايات الإلكترونية وتطوير أساليب فعالة ومستدامة.
 - من الضروري ان تقوم الدول بخلق أسواق جديدة للمواد المسترجعة من النفايات الإلكترونية.

6. قائمة المراجع:

- Liu , K., Tan , Q., Yu , J., & Wang, M. (2023, March). A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 2(1), 1-16. doi:https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100028
- Suja, F., Abdul Rahman, R., Yusof, A., & Masdar, M. (2014, September 30). e-Waste Management Scenarios in Malaysia. *Journal of Waste Management*, 2014, 1-7. doi:https://doi.org/10.1155/2014/609169
- Adam, B., Göen, T., Paul, T., Adliene, D., Batinic, B., Budnik, L., . . . Au, W. (2021, March). From inequitable to sustainable e-waste processing for reduction of impact on human health and the environment. *Environmental Research*, 194, 1-7. doi:https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110728
- Anuardo, R. G., ESPUNY, M., Costa, A., Gil Espuny , A., Kazancoglu, Y., Kandsamy, J., & de Oliveira , O. (2023, September 25). Transforming E-Waste into Opportunities: Driving Organizational

- Actions to Achieve Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 15(19), 1-21. doi:<https://doi.org/10.3390/su151914150>
- Baldé, C., Angelo, E., Luda, V., Deubzer, O., & Kuehr, R. (2022). *Global Transboundary E-waste Flows Monitor 2022*. GERMANY: UNITAR, Sustainable Cycles (SCYCLE) Programme. Retrieved from https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2022/06/Global-TBM_webversion_june_2_pages.pdf
- Debnath, B., Chowdhury, R., & Ghosh, S. (2018, May 23). Sustainability of metal recovery from E-waste. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(6), 1-13. doi:DOI:10.1007/s11783-018-1044-9
- Eurostat. (2020, December 11). *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) by waste management operations (env_waselee)*. Consulté le December 30, 2023, sur the statistical office of the European Union: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_waselee_esms.htm
- ESCAP. (2021, June 22). *Toward sustainable e-waste management in Asia and the Pacific*. Retrieved from United Nations the Economic and Social Commission for Asia and the Pacific: https://www.unescap.org/sites/default/d8files/knowledge-products/E-waste%20Policy%20Brief_New%20Tem_Final.pdf Forti , V., Balde, C., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). *The global e-waste monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. Retrieved from United Nations University/United Nations Institute for Training and Research, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf
- Ghulam , S., & Abushammala, H. (2023). Challenges and Opportunities in the Management of Electronic Waste and Its Impact on Human Health and Environment. *Sustainability*, 15(3), 1-22. doi: <https://doi.org/10.3390/su15031837>
- Gomathi, N., & Rupesh , P. (2018, June 8). Study on business opportunities extracted from e-waste a review. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.33), 1106-1109. doi:<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.33.17917>
- Ionescu, R. (2022, May 10). E-waste management in emerging markets. *Revista Estrategia Organizacional*, 11(2), 49-64. doi: <https://doi.org/10.22490/25392786.6114>
- ITU. (2017). *Chapter 8 Status of E-waste Legislations*. Retrieved January 1, 2024, from International Telecommunication Union: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20-%20Chapter%208.pdf>
- Kahhat, R., Kim, J., Xu, M., Allenby, B., Williams, E., & Zhang, P. (2008). Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), 955-964. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.002>
- Lucier, C., & Gareau, B. (2020). Electronic waste recycling and disposal: An overview. In H.-D. Saleh, *Assessment and Management of Radioactive and Electronic Wastes* (pp. 1-12). Germany: Books on Demand: Norderstedt. doi:DOI: 10.5772/intechopen.85983
- Miliute-Plepiene, J., & Youhanan, L. (2019). *E-waste and raw materials: from environmental issues to business models*. Retrieved from IVL Swedish Environmental Research Institute : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552269/FULLTEXT01.pdf>

- Murthy , V., & Ramakrishna, S. (2022). A Review on Global E-Waste Management: Urban Mining towards a Sustainable Future and Circular Economy. *Sustainability* 2022,, 14(2), 1-18. doi:<https://doi.org/10.3390/su14020647>
- Ramachandran , R., Kanakadhurga, D., & Prabaharan, N. (2022,, April ,). Electronic waste: A critical assessment on the unimaginable growing pollutant, legislations and environmental impacts. *Environmental Challenges*, 7, 1-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100507>
- Santos, S., & Ogunseitan , O. (2022, November). E-waste management in Brazil: Challenges and opportunities of a reverse logistics model. *Environmental Technology & Innovation*, 28. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102671>
- Seif, R., Salem, F., & Allam, N. (2023). E-waste recycled materials as efficient catalysts for renewable energy technologies and better environmental sustainability. *Environment, Development and Sustainability*(2023), 1-36. doi:<https://doi.org/10.1007/s10668-023-02925-7>
- Statista. (2023, February 6). *Countries covered by electronic waste legislation, policy, and regulation from 2014 to 2019*. Retrieved January 1, 2024, from <https://www.statista.com/statistics/1154905/projection-ewaste-generation-worldwide/>
- Statista. (2023a, July 18). *Electronic waste generated worldwide from 2010 to 2019*. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/499891/projection-ewaste-generation-worldwide/>
- Tan, M., Wang, B., Zheng,, K., & Cheng, H. (2022). Pricing Strategies of Dual-Recycling Channels considering Refurbishing and Remanufacturing of WEEE. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/9000057>
- Thakur, P., & Kumar, S. (2022). Evaluation of e-waste status, management strategies, and legislations. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(2022), 6957–6966. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03383-2>
- UNEP. (2023, OCT 10). *Sustainable Future of E-waste*. Retrieved from United Nations Environment Programme: <https://www.unep.org/ietc/news/story/sustainable-future-e-waste#>
- Wagner, M., Baldé, C., Luda, V., Nnorom, I., Kuehr, R., & Iattoni, G. (2022). *The Regional E-waste Monitor for Latin America 2022- Results for the 13 countries participating in project UNIDO-GEF 5554*. Retrieved from UNITAR,Sustainable Cycles (SCYCLE) Programme: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ENG_Final.pdf
- Wilson, D. (2023, December 16). *Toxins in WEEE (E-waste)*. Retrieved from WEEE: Waste Electrical and Electronic Equipment, UW Electrical & Computer Engineering: <https://ewaste.ece.uw.edu/students/impacts/>
- World Health Organization . (2021). *Children and digital dumpsites: e-waste exposure and child health*. Retrieved from World Health Organization : <https://api.globalewaste.org/publications/file/276/Children-and-Digital-Dumpsites-E-waste-Exposure-and-Child-Health.pdf>
- Ya’acob, N., Alrazi, B., Nik Azman, N., Salleh, S., & Md Yatim, N. (2023). E-Waste Recycling Behaviour in Malaysia – A Review. In A. Jaaffar, S. Buniamin, N. Rahman, N. Othman, N. Mohammad, S. Kasavan, . . . N. Redzuan, *Accelerating Transformation towards Sustainable and Resilient Business: Lessons Learned from the COVID-19 Crisis* (pp. 462-474). European: European Proceedings of Finance and Economics. doi:<https://doi.org/10.15405/epfe.23081.40>

