RESPONSE INNOVATION LAB

FIELD READY
FOR HUMANITARIAN INNOVATION
الابتكار الإنساني في الميدان

World Vision

إدارة النفايات الإلكترونية في حلب

ورقة بحثية تقنية

مقدّمة ونبذة عامة [1]

تشكل النفايات الإلكترونية (E-waste) مثل الهواتف المحمولة، وأجهزة الكمبيوتر، والتلفزيونات، والبطاريات، والأجهزة الكهربائية المنزلية التي انتهى عمرها الافتراضي أو لم تعد تُستَخدم تهديداً بيئياً وصحياً متزايداً على مستوى العالم بسبب احتوائها على معادن ثقيلة سامة (كالرصاص والزئبق والكادميوم) ومركبات كيميائية ضارة، مما يستدعي إدارة خاصة لتجنب تأثيرها السلبي على البيئة وصحة الإنسان، وتأتي سوريا ضمن الدول التي تعاني من تصاعد هذه المشكلة. في ظل النمو السكاني والتطور التكنولوجي وانتشار الأجهزة الإلكترونية بأسعار معقولة وتدني الوعي البيئي وغياب التشريعات والإطار المؤسسي حيث لا توجد قوانين أو أنظمة واضحة وملزمة لإدارة النفايات الإلكترونية على المستوى الوطني إنما دخلت سوريا في اتفاقيات تخص النفايات الخطرة بشكل عام مثل اتفاقية بازل واتفاقية روتردام واتفاقية ستوكهولم واتفاقية ميناماتا، كما لا توجد بنية تحتية منظمة لجمع ومعالجة النفايات الإلكترونية، بالإضافة إلى آثار الأزمة حيث ساهمت النزاعات والأوضاع الاقتصادية الصعبة في تعقيد المشكلة.

يسلط هذا التقرير الضوء على قضية النفايات الإلكترونية في حلب - سوريا، مركزاً على الوضع الحالي وآثاره، مع محاولة لتقدير كمياتها وآليات التجميع والمعالجة المتبعة، مع الإشارة إلى أن البيانات التفصيلية على مستوى المدن (مثل حلب) شحيحة أو غير متوفرة بينما توجد كمية تقديرية للأجهزة الإلكترونية المتوفرة في السوق 4.6 كغ للفرد.

هدف الورقة هو: تقديم تحليل تقني- بحثي لحالة النفايات الإلكترونية في حلب، وتحديد نقاط التدخّل العملية، وإعداد توصيات قابلة للتنفيذ لآليات التجميع، إعادة الاستخدام، وإعادة التدوير في بيئة الموارد المحدودة.

جدول المحتويات

مقدّمة ونبذة عامة [1] 2

الملخص التنفيذي 4

منهجية إعداد هذه الورقة البحثية 6

الفصل الأول: الوضع الحالي والتحديات 9

الوضع الحالي في حلب وتأثيراته على توليد النفايات الإلكترونية 9

حالات توليد وتجميع ومعالجة النفايات الإلكترونية 11

(على مستوى سوريا) [1] 11

تقديرات كمية ونوعية للنفايات الإلكترونية في حلب[3] 11

تقديرات كمية النفايات الإلكترونية في حلب 12

التحديات المؤسسية والبيئية في إدارة النفايات الإلكترونية في حلب 13

الفصل الثاني: حلول عملية ونماذج 15

تقنية مجربة 15

1. **التجربة الأردنية** 15
2. **التجربة الحلبية** 17
3. **التجربة اللبنانية:** 18
4. **التجربة المصرية:** 20
5. **مبادرات الأمم المتحدة** 21
6. **تجارب آسيا الجنوبية:** 23
7. **التجربة الغانية والنيجيرية:** 23
8. **إمكانية التطبيق في حلب: الاستفادة من التجارب الإقليمية** 24

الفصل الثالث: مسارات مقترحة للتجميع وإعادة التدوير 26

الفصل الرابع: الإرشادات التنفيذية للتطبيق الآمن والقابل للتوسع 32

الفصل الخامس: نقاط الدخول 37

والتوصيات الاستراتيجية 37

المراجع 41

الملخص التنفيذي

1. نبذة عامة

تستعرض هذه الورقة تحليلًا شاملاً لتحدي النفايات الإلكترونية (E-waste) في مدينة حلب، سوريا، ضمن سياق من انهيار البنية التحتية، وضعف التشريعات، وغياب الأنظمة الرسمية للإدارة الآمنة لهذا النوع من النفايات الخطرة.

تُشكّل النفايات الإلكترونية - الناتجة عن الهواتف المحمولة، وأجهزة الكمبيوتر، والتلفزيونات، والبطاريات، والأجهزة الكهربائية المنزلية والألواح الشمسية التالفة - تهديدًا بيئيًا وصحيًا متزايدًا. فهي تحتوي على معادن ثقيلة سامة مثل الرصاص والزئبق والكادميوم، ومركبات كيميائية ضارة، تلوث التربة والمياه الجوفية والهواء عند التخلص منها بطرق عشوائية، مثل الحرق أو الطمر في المكبات العامة.-[2]

الوضع في حلب:

- **التوليد:** يقدر إجمالي النفايات الإلكترونية المتولدة في حلب الكبرى (3.5-4 ملايين نسمة) بين 8,000 إلى 12,000 طن سنويًا، بمعدل 2.5-3 كغ/فرد.
- **المصادر:** تهيمن أجهزة الاتصالات والحواسيب (35-40%) والأجهزة المنزلية الصغيرة رديئة الجودة (25-30%)، مع نمو ملحوظ في نفايات تجهيزات الطاقة البديلة (10-15%) مثل الألواح الشمسية الرديئة، ومصابيح LED (10-12%).
- **الإدارة الحالية:** لا توجد بنية تحتية نظامية. تهيمن عمليات الجمع والتفكيك غير الرسمية (النباشون، محلات الصيانة) باستخدام ممارسات خطيرة (الحرق، التكسير) دون إجراءات سلامة، مما يعرض صحة العاملين والبيئة لخطر كبير.
- **التحديات الرئيسية:** غياب الإطار القانوني والمؤسسي، ضعف البنية التحتية، هيمنة القطاع غير الرسمي، نقص البيانات والمعرفة التقنية، محدودية الوعي المجتمعي، وتأثيرات الأزمة الاقتصادية والصراع.

تم إعداد الورقة بناءً على منهجية تشاركية تعتمد على مدخلات فعالية تخطيط التحديات (سبتمبر 2025)، وجلسات التفكير التصميمي، وهاكاثون أفكار ابتكارية أفرزت سبعة مشاريع نموذجية، ومراجعة الأدبيات والتجارب الإقليمية، والمقابلات مع أصحاب المصلحة المحليين.

2. التوصيات الرئيسية

تقدم الورقة مسارًا عمليًا مرحليًا لإدارة النفايات الإلكترونية في حلب، قائمًا على اللامركزية والاستفادة من الموارد المحلية، مع التوصيات التالية:

أولاً: على المدى القصير (مرحلة تجريبية: 6-12 شهر)

1. **إنشاء شبكة مجتمعية للتجميع:** إقامة 10-15 نقطة تجميع موزعة على أحياء حلب الرئيسية، بالتعاون مع البلديات والمنظمات المحلية، مجهزة بحاويات ملونة لفصل أنواع النفايات (بطاريات، أجهزة صغيرة، شاشات، إلخ).
2. **تأسيس مركز تفكيك آمن محلي:** إنشاء ورشة أو مركز فرز وتفكيك أولي (بمساحة 100-200 م²) مجهز بأدوات بسيطة وتهوية، مع التركيز على استخلاص المواد القابلة لإعادة الاستخدام أو التدوير المحلي (أسلاك نحاس، معادن، بلاستيك).
3. **إطلاق برنامج إعادة التأهيل:** إنشاء ورشة مركزية (في جامعة أو معهد) لإصلاح وإعادة تأهيل الأجهزة المستعملة القابلة للإصلاح (حواسيب، أجهزة اتصالات) وإعادة توزيعها على المؤسسات التعليمية والمجتمعية.
4. **دمج وتدريب القطاع غير الرسمي:** تنفيذ برنامج تدريبي قصير (20-30 ساعة) للعاملين في جمع الخردة على مبادئ التفكيك الآمن والفرز، لتحويلهم إلى شركاء فاعلين في المنظومة.
5. **حملة توعية مجتمعية:** إطلاق حملة توعوية مكثفة لتعريف السكان بمخاطر النفايات الإلكترونية وأهمية تسليمها لنقاط الجمع.

ثانياً: على المدى المتوسط (1-3 سنوات)

1. **تطوير إطار تنظيمي محلي:** سن لوائح بلدية تنظم عملية جمع وتخزين النفايات الإلكترونية، ومنح تراخيص مشروطة لمراكز التفكيك الملتزمة بالمعايير.
2. **تعزيز الجدوى الاقتصادية:** تطوير نموذج تمويل جزئي ذاتي من خلال بيع المواد الخام المستخلصة (نحاس، ألمنيوم)، واستكشاف فرص الشراكة مع القطاع الخاص المحلي.
3. **تطوير آلية للمعالجة النهائية:** إنشاء شراكات مع جهات إقليمية (الأردن، لبنان، تركيا) أو برامج الأمم المتحدة (وفق اتفاقية بازل) لتصدير المكونات الخطرة أو عالية القيمة (كالبوردات الإلكترونية) للمعالجة في منشآت متخصصة.

ثالثاً: على المدى الطويل (3-5 سنوات)

1. **وضع سياسة وطنية:** العمل على إطار تشريعي وطني لإدارة النفايات الإلكترونية، يعتمد على مبدأ المسؤولية الممتدة للمنتج (EPR)، يُلزم المستوردين والمصنعين بالمشاركة في إدارة نفايات منتجاتهم.
2. **تأسيس نظام مراقبة وبيانات:** تطوير قاعدة بيانات وطنية لتتبع كميات النفايات الإلكترونية المنتجة والمُعالجة.
3. **التحول نحو الاقتصاد الدائري:** تحفيز إنشاء صناعات محلية صغيرة تعتمد على المواد المعاد تدويرها من النفايات الإلكترونية، مما يخلق فرص عمل خضراء.

منهجية إعداد هذه الورقة البحثية

تم إعداد هذه الورقة وفق منهجية بحثية وتطبيقية تعتمد على الدمج بين التحليل التقني والمشاركة المجتمعية والخبرة العملية في السياق السوري. واستندت عملية التطوير إلى أربعة مصادر رئيسية للمعرفة والمعلومات:

1. **مدخلات فعالية تحديد التحديات(E-Waste Challenge Mapping Convening Event)**

عُقدت فعالية تشاركية واسعة في مدينة حلب بتاريخ 16أيلول 2025 برعاية مؤسسة Field Ready Syria، بالتعاون مع منظمة World Vision Syria ومختبر الاستجابة للابتكار (Response Innovation Lab) وبمشاركة أكثر من 20 جهة من المؤسسات المحلية والقطاع الخاص والجامعات والمنظمات الدولية. وقد شكّلت نتائج تحليل الوضع الراهن، وخريطة أصحاب المصلحة، وأولويات التدخّل، الأساس الأولي لتحديد محاور الورقة.

2. **جلسة التفكير التصميمي مع فرق الابتكار**

تم تنفيذ جلسة تفكير تصميمي (Design Thinking Workshop) مع المبتكرين، بهدف تحليل تحديات النفايات الإلكترونية وتطوير أفكار حلول تقنية قابلة للتطبيق. وقد ساهمت النقاشات وتمارين التفكير التصميمي في تعميق فهم التحديات التقنية والسلوكية ووضع رؤية واقعية لمسارات إدارة النفايات الإلكترونية والمعالجة.

3. **هاكاثون الأفكار الابتكارية**

أُطلق هاكاثون متخصص لدعم تطوير سبعة مشاريع ابتكارية تم اختيارها وفق معايير مهنية.

RESPONSE INNOVATION LAB

FIELD READY
FOR HUMANITARIAN INNOVATION
الابتكار الإنساني في الميدان

World Vision

عنوان المشروع	نوع النفايات المستهدفة	الهدف الرئيسي	آلية التعامل مع النفايات	الابتكار الرئيسي	النتائج والأثر المتوقع
الحاوية الذكية المستدامة للنفايات الإلكترونية	الأجهزة الإلكترونية المنزلية الصغيرة	منع وصول النفايات الإلكترونية إلى المكبات وتطبيق الاقتصاد الدائري	تصميم حاوية ذكية من مواد معاد تدويرها، تصنيف تلقائي، واجهة توعوية للمستخدم	حاوية قابلة لإعادة التدوير 100% يمكن تحويلها إلى مواد بناء ومنتجات جديدة	تقليل البصمة الكربونية 60%، إعادة استخدام 90% من المواد، نموذج استدامة متكامل
التعدين الحيوي	لوحات الدوائر المطبوعة	استخلاص المعادن الثقيلة بطريقة آمنة بيئياً	استخدام الفطور لامتصاص المعادن من محاليل حمضية خفيفة	تطبيق تكنولوجيا الامتصاص الحيوي للمعادن من النفايات	تقليل التلوث، استرجاع معادن مثل النحاس والزنك، استخدام الكتلة الحيوية كأسمدة
إعادة تدوير الألواح الشمسية لتحقيق الاقتصاد الدائري	الألواح الشمسية التالفة	تقليل تراكم النفايات الإلكترونية وتعزيز الاستدامة	الفصل الميكانيكي والكيميائي للمواد	تطوير آلية لإعادة تدوير الألواح لاستخراج المواد القابلة لإعادة الاستخدام	تقليل التأثيرات البيئية واستعادة المواد وتعزيز الاقتصاد الدائري
من النفايات إلى التكنولوجيا	البوردات الإلكترونية	الحد من الأضرار البيئية واستغلال المكونات المفيدة	فصل ومعالجة ميكانيكية وكيميائية آمنة	إنتاج لوحات PCB جديدة من نفايات إلكترونية	طرح منتج جديد منخفض الكلفة وصديق للبيئة في السوق
تدوير والاستفادة من التجهيزات الطبية المنسقة	الأجهزة الطبية الخارجة عن الخدمة	إعادة استخدام المكونات وتقليل الهدر في القطاع الطبي	فرز المواد والمكونات للاستفادة منها في الإصلاح أو التصنيع	استعادة القيمة من الأجهزة المنسقة عبر إصلاحها أو تفكيكها	إصلاح أجهزة طبية وإعادة توظيف المكونات الفعالة
منصة E-Cycle Hub لجمع وإعادة استخدام النفايات الإلكترونية	الأجهزة المنزلية، الشاشات، المصابيح، الأجهزة الصغيرة	تحويل النفايات إلى موارد اقتصادية عبر الجمع والإصلاح	منصة رقمية تجمع الأجهزة وتتابعها عبر QR ونظام نقاط تحفيزي	تحويل مفهوم "التخلص" إلى "الاستثمار في الموارد" باستخدام تطبيق ذكي	خلق فرص عمل خضراء، تقليل النفايات في المكبات، دعم الاقتصاد الدائري
مكتبة الأجزاء الإلكترونية في حلب – E-Parts Library	أجهزة حاسوب وهواتف ولوحات إلكترونية تالفة	تحويل النفايات إلى موارد تعليمية تدعم الابتكار	جمع وفرز القطع، إنشاء مكتبة للأجزاء الصالحة، تدريب الشباب	أول مكتبة موارد إلكترونية مفتوحة للابتكار في سوريا	تدريب الشباب، جمع 3 أطنان نفايات، دعم المشاريع الابتكارية، خفض التلوث

تم اختيار مشروعي منصة E-Cycle Hub ومكتبة الأجزاء الإلكترونية في حلب – E-Parts Library بين المشاريع السبعة لدعمها وتمويلها

وقد ساهمت المخرجات الأولية للأفكار، وطرق معالجتها لتحدي النفايات الإلكترونية، والنتائج المتوقعة من النماذج الأولية، في إثراء محتوى الورقة من حيث الحلول التقنية الملائمة للموارد المتاحة محليًا.

4. مراجعة أدبيات وتجارب إقليمية ودولية

اعتمد فريق البحث على مراجعة منهجية لمجموعة واسعة من التقارير والمنشورات الحديثة في مجال إدارة النفايات الإلكترونية، بما في ذلك:

- Global E-Waste Monitor 2024
- تجارب لبنان، الأردن، مصر، غانا، نيجيريا، وجنوب آسيا
- دروس عمليات Field Ready السابقة في شمال غرب سوريا ضمن مشاريع إعادة تدوير النفايات الطبية والإلكترونية وقد ساهم ذلك في بناء مقارنات منهجية وتكييف أفضل الممارسات وفق السياق الحلبي.

5. المقابلات والاستشارات التقنية

أجرى الفريق مجموعة مقابلات ومشاورات تقنية مع ممثلين من: البلدية، مديرية البيئة، القطاع الخاص (ورش الصيانة والخردة)، أساتذة جامعيين، ومع منظمات إنسانية تعمل في مجال البيئة والطاقة. وقد ساعدت هذه المدخلات في تطوير توصيات قابلة للتنفيذ ومبنية على الواقع.

خلاصة المنهجية

اعتمدت هذه الورقة على منهجية تشاركية وجمع بيانات متعددة المصادر، تجمع بين:

- التحليل التقني،
- الخبرة الميدانية المحلية،
- الأدلة العالمية،
- وأفكار الشباب والمبتكرين.

وبذلك فهي تقدّم إطارًا عمليًا وقابلاً للتطبيق يتناسب مع إمكانيات مدينة حلب واحتياجاتها. و ليس نموذجًا نظريًا فقط.

الفصل الأول: الوضع الحالي والتحديات

الوضع الحالي في حلب وتأثيراته على توليد النفايات الإلكترونية

شهدت مدينة حلب خلال السنوات الماضية تدهوراً واسعاً في البنية التحتية والخدمات العامة نتيجة النزاع الطويل في سوريا، ما انعكس بشكل مباشر على أنماط الاستهلاك ومستوى المعيشة. فقد أدى الانخفاض الكبير في الدخل الفردي وتراجع القدرة الشرائية للسكان إلى توجه واسع نحو اقتناء أجهزة إلكترونية وكهربائية منخفضة الجودة ذات أعمار تشغيلية قصيرة، تُستورد غالباً من أسواق غير منظمة أو من منشأ غير موثوق.

من أبرز هذه الأجهزة مصابيح الإضاءة بتقنية LED منخفضة الكلفة، والتي تُنتج بكميات كبيرة دون التزام بالمعايير الفنية أو مواصفات الأمان الكهربائي، مما يجعلها عرضة للعطل خلال فترة تشغيل قصيرة (أقل من عام في بعض الحالات). كما انتشرت في الأسواق تجهيزات أخرى مثل السخانات التحريضية منخفضة الجودة، ومحوّلات الطاقة التجارية (inverters)، والألواح الكهروشمسية الرديئة، التي تساهم في توليد كميات متزايدة من النفايات الإلكترونية بسبب قصر عمرها الافتراضي وصعوبة صيانتها أو إعادة استخدامها.

يُضاف إلى ذلك انتشار استيراد الأجهزة الإلكترونية المستعملة، ولا سيما الحواسيب المحمولة وأجهزة الاتصالات والهواتف الذكية، والتي تكون في معظمها قريبة من نهاية عمرها التشغيلي عند دخولها الأسواق المحلية. ومع غياب نظم صيانة فعالة أو شبكات لإعادة التأهيل، تتحول هذه الأجهزة سريعاً إلى نفايات يصعب التخلص منها بشكل آمن.

من جهة أخرى، يعاني سكان حلب من عدم استقرار التغذية الكهربائية، إذ تُسجَّل انقطاعات طويلة ومتكررة في التيار، ما دفع السكان إلى الاعتماد على مصادر تغذية بديلة مثل المولدات الخاصة أو أنظمة الطاقة الشمسية الصغيرة. غير أن رداءة نوعية التيار الكهربائي وتذبذب الفولتية الناتج عن هذه المصادر يؤدي إلى تسارع تهالك الأجهزة الإلكترونية وتلف مكوناتها الداخلية، خاصة في غياب أنظمة حماية كهربائية أو منظمات جهد (stabilizers). هذا التفاعل بين سوء نوعية الأجهزة وسوء نوعية التغذية يشكل دائرة مغلقة تسرّع من توليد كميات متزايدة من النفايات الإلكترونية ضمن المدينة والمناطق المحيطة بها.

إحصائيات لقاءات مع أصحاب المحلات

محل Black Phone لتجهيزات وصيانة الهواتف. المحمولة

قطع متعطلة عند فرز البضاعة المستوردة الجديدة:

سماعات سلكية (1-40)% حسب النوعية جيدة/سيئة.

سماعات بلوتوث: حسب تاريخ تصنيع البطارية وعادة

لا يكون ظاهراً فيعتمد على ذمة المستورد أو البائع:

(0-5)% للجيدة وقد تصل إلى 40% للسيئة.

أعطال شواحن الموبايل: (0-3)% حسب النوعية.

الموبايل التالف تؤخذ منه قطع مثل:

1. مايك
2. سماعة
3. icالشحن إذا توافقت مع أجهزة أخرى.
4. مستشعر البصمة
5. باقي البوردات تباع بالكيلو لسحب المعادن الثمينة (تحوي نسب ضئيلة ذهب وفضة)

أكبر نسب لأعطال الموبايلات هي للشاشات ومآخذ الشحن. حيث مآخذ الشحن عبارة عن قطعة معدنية صغيرة بينما الشاشات تشكل الحجم والوزن الأكبر من النفايات الإلكترونية

محلات موبايلات أورانج ستور

الناتج اليومي التقريبي من النفايات الإلكترونية لكل مركز (له 4 مراكز في حلب):

٥ شاشات عاطلة أو مكسورة

٣ بطاريات عاطلة أو منتفخة

شاصيهات داخلية أو خارجية عدد 2

فلاتات شحن او فلات وصل أو بصمات عدد 5

حالات توليد وتجميع ومعالجة النفايات الإلكترونية

(على مستوى سوريا) [1]-

التوليد: يتم توليد النفايات الإلكترونية من القطاعين المنزلي والتجاري/الصناعي. لا توجد إحصاءات دقيقة عن كميات التوليد.

التجميع: تتم غالبية عمليات الجمع بشكل غير رسمي من قبل:

- "الصيّادين" (النباشين): يجمعون الأجهزة من حاويات النفايات العامة أو يشترونها بأسعار زهيدة من المنازل
- محلات بيع وصيانة الأجهزة الإلكترونية: تقوم بشراء الأجهزة القديمة أو المعطلة لأجزائها القابلة لإعادة الاستخدام أو البيع.

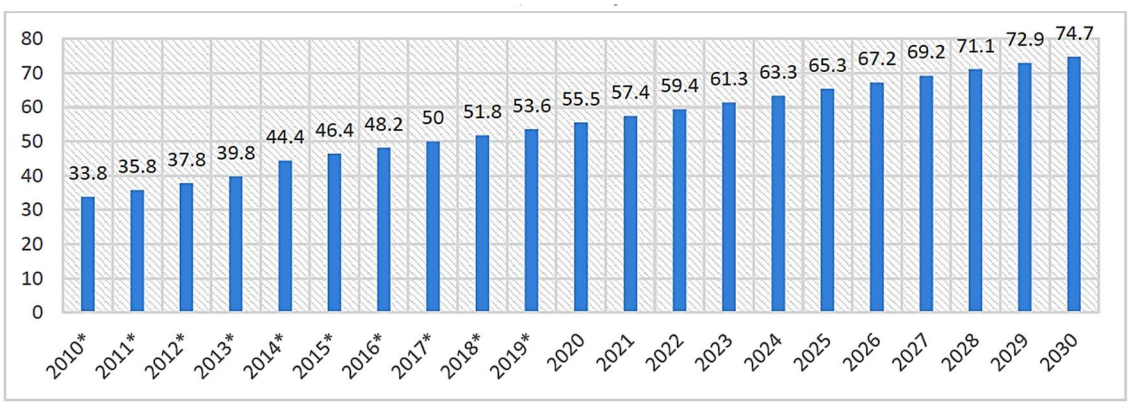
المعالجة: لا توجد قوانين أو أنظمة واضحة وملزمة لإدارة النفايات الإلكترونية على المستوى الوطني، كما لا توجد بنية تحتية منظمة لجمعها ومعالجتها. ولكن تتم إعادة التدوير بطرق غير رسمية:

يتم تفكيك الأجهزة يدوياً في ورشات صغيرة أو في العراء لاستخلاص المعادن ذات القيمة (مثل النحاس والألمنيوم والذهب بكميات ضئيلة).

ممارسات خطيرة: تتم هذه العمليات غالباً دون أي إجراءات سلامة، حيث يتم حرق الكابلات لاستخراج النحاس، أو تكسير الأنابيب الكاثودية في الشاشات مما يؤدي لتحرير غازات وأتربة سامة. يتم التخلص من المواد المتبقية (البلاستيك، الزجاج) مع النفايات البلدية أو رميها في المكبات العشوائية، مسببة تلوث التربة والمياه الجوفية.

تقديرات كمية ونوعية للنفايات الإلكترونية في حلب[3]-

بحسب الإحصائيات والتوقعات تتزايد كمية النفايات الإلكترونية المنتجة عالمياً مع الزمن كما في شكل 1:



الشكل 1: إحصائيات وتوقعات النفايات الإلكترونية المتولدة عالمياً من عام2010 إلى 2030 (مليون طن) -**[4]**

إن غياب نظام وطني متكامل لرصد وإدارة النفايات الإلكترونية في سوريا يجعل من الصعب الحصول على بيانات دقيقة حول كمياتها وتوزعها الجغرافي. ومع ذلك، يمكن بناء تقديرات تقريبية بالاستناد إلى مؤشرات الاستهلاك السكاني، وعدد الأجهزة المتداولة، ومعدل إنتاج الفرد من النفايات الإلكترونية في الدول ذات الدخل المنخفض والمتوسط، بحسب تقرير الرصد العالمي للنفايات الإلكترونية (Global E-waste Monitor 2024) الصادر عن الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) وجامعة الأمم المتحدة (UNU)

وفقاً لهذه المصادر، يبلغ متوسط إنتاج الفرد من النفايات الإلكترونية في البلدان ذات الدخل المنخفض حوالي 2.5 إلى 3 كغ سنوياً. وبافتراض أن عدد سكان مدينة حلب الكبرى (بمن فيهم المقيمون في مناطق الريف الغربي والشمالي) يتراوح بين 3.5 إلى 4 ملايين نسمة، فإن إجمالي النفايات الإلكترونية المقدّرة يتراوح بين:

8,000 إلى 12,000 طن سنوياً.

وتشير تقديرات ميدانية جزئية (بين عامي 2022–2024) إلى أن الجزء الأكبر من هذه الكمية يتكوّن من الفئات التالية:

تقديرات كمية النفايات الإلكترونية في حلب

أبرز مصادرها	النسبة التقريبية من إجمالي النفايات	نوع الجهاز
الاستخدام المنزلي والمكتبي، الأجهزة المستعملة المستوردة	35–40%	أجهزة الاتصالات والحواسيب
الاستخدام المنزلي المنخفض الجودة	25–30%	أجهزة منزلية صغيرة
منظومات الطاقة الشمسية الصغيرة والمتوسطة	10–15%	تجهيزات طاقة بديلة
الاستخدام السكني والتجاري	10–12%	مصابيح LED ومكونات إنارة إلكترونية
ورش، معامل، منظمات محلية	8–10%	تجهيزات صناعية ومكتبية

تُظهر هذه التقديرات أن قطاع الطاقة البديلة بدأ يمثل مصدراً متنامياً للنفايات الإلكترونية، نتيجة الاستخدام المتزايد لتجهيزات كهروشمسية منخفضة الجودة ضمن السوق المحلية. كما أن مصابيح LED الرديئة، التي أصبحت بديلاً واسع الانتشار عن المصابيح التقليدية، تولّد بدورها كميات متزايدة من النفايات الصعبة التفكيك بسبب احتوائها على دوائر إلكترونية دقيقة ومكونات معدنية وبلاستيكية مختلطة.

تجدر الإشارة إلى أن هذه الأرقام تقريبية وتُقدَّر وفق منهجية إسقاط تعتمد على متوسطات إقليمية معدّلة بالعوامل المحلية التالية:

1. انخفاض معدل الدخل الفردي في حلب مقارنة بمتوسط الدول العربية ذات الدخل المتوسط، ما يؤدي إلى انخفاض متوسط اقتناء الأجهزة للفرد.
2. ارتفاع معدل الأعطال والعمر التشغيلي القصير للأجهزة، ما يزيد من معدل توليد النفايات بالنسبة لكل جهاز مستخدم.
3. النشاط غير الرسمي في تجارة الإلكترونيات المستعملة، والذي لا يُسجّل ضمن الإحصاءات الرسمية لكنه يمثل مصدراً رئيسياً للنفايات.

لذلك يمكن القول إن القيم السابقة تمثل تقديرات محافظة (Conservative estimates)، أي أنها تميل إلى التقليل من الحجم الفعلي للنفايات الإلكترونية في حال تم احتساب النفايات المخزّنة في المنازل أو الملقاة عشوائياً دون تسجيل. [3]

التحديات المؤسسية والبيئية في إدارة النفايات الإلكترونية في حلب

تُواجه إدارة النفايات الإلكترونية في حلب مجموعة متشابكة من التحديات التقنية والمؤسسية والبيئية، تعكس واقعاً عاماً يشترك فيه العديد من المدن السورية، لكنها في حلب أكثر تعقيداً بفعل آثار الحرب وتراجع البنية الخدمية والاقتصادية. يمكن تصنيف أبرز هذه التحديات في المحاور التالية:

1. غياب الإطار التنظيمي والمؤسسي المتكامل

- حتى عام 2025 لا توجد في سوريا منظومة تشريعية متخصصة بإدارة النفايات الإلكترونية ضمن القوانين البيئية أو الصناعية، كما لا توجد جهة محلية تمتلك تفويضاً واضحاً لتنسيق هذه العملية على مستوى البلديات أو المديريات الخدمية.
- هذا الغياب يؤدي إلى تداخل في الأدوار بين البلديات والمنظمات الإنسانية والقطاع غير الرسمي، وإلى عدم وجود نظام ترخيص أو مراقبة لأنشطة الجمع أو التفكيك، مما يفتح المجال أمام ممارسات عشوائية وغير آمنة.

2. ضعف البنية التحتية والخدمات البلدية

- لا تتوفر في حلب حتى الآن مراكز تجميع أو معالجة مخصصة للنفايات الإلكترونية. غالبية النفايات تنتهي إلى مكبات النفايات العامة أو تُرمى في الخلاء أو تُحرق جزئياً لاستعادة معادن مثل النحاس والألمنيوم.
- عمليات الحرق اليدوي هذه تُسبب انبعاثات سامة تشمل الرصاص والديوكسينات والزئبق، وتؤدي إلى تلوث الهواء والتربة والمياه الجوفية، خصوصاً في أطراف المدينة حيث تتم هذه الأنشطة قرب مناطق سكنية.

3. الاعتماد على القطاع غير الرسمي

- يؤدي غياب المرافق الرسمية إلى انتشار واسع لأنشطة الجمع والتفكيك غير النظامي، التي يمارسها عمال غير مدرّبين أو أطفال في ظروف غير آمنة.
- رغم أن هذا القطاع يساهم جزئياً في استرداد بعض المعادن، إلا أنه يتسبب في خسارة كمية كبيرة من المواد القابلة لإعادة الاستخدام وتلوّث بيئي خطير، نتيجة استخدام أساليب بدائية كالتسخين المباشر أو الغمر بالأحماض لاستخلاص المعادن.

4. نقص البيانات والمعرفة التقنية

- تعاني السلطات المحلية والمنظمات البيئية العاملة في المنطقة من نقص حاد في البيانات الإحصائية حول كميات وأنواع النفايات الإلكترونية المتولدة سنوياً، إضافة إلى محدودية القدرات الفنية في مجال التصنيف، التفكيك، وإعادة الاستخدام.
- هذا النقص يعيق تطوير أي خطة مستدامة للإدارة أو تقدير كلف المعالجة، كما يحد من فرص جذب التمويل الدولي أو الدعم الفني الموجّه للمشاريع البيئية.

5. التحديات البيئية والصحية المباشرة

- نتيجة غياب الممارسات الآمنة، يتعرض السكان والعاملون في تفكيك الأجهزة لمخاطر متعددة مثل التسمم بالرصاص والكادميوم، والتهيج التنفسي الناتج عن استنشاق الأبخرة السامة، إضافة إلى التلوث التراكمي للتربة والمياه نتيجة تراكم المعادن الثقيلة.
- هذه المخاطر تبقى غير مرصودة رسمياً بسبب محدودية برامج المراقبة البيئية والصحية، ما يجعل الأثر الفعلي للنفايات الإلكترونية على البيئة الحلبية أعمق مما يُقدّر ميدانياً.

6. محدودية الوعي المجتمعي

- تُظهر الدراسات السلوكية الأولية أن معظم السكان لا يدركون خطورة النفايات الإلكترونية أو إمكانية إعادة تدويرها. تُرمى الأجهزة التالفة مع النفايات المنزلية أو تُخزّن في المنازل دون التخلص منها بشكل منظم، مما يقلل من فرص الجمع المنفصل والتدوير.
- بهذا نكون قد أنهينا القسم الكامل حول الوضع الحالي والتحديات، وهو يشكّل قاعدة صلبة للانتقال إلى الفصل الثاني من الورقة.

الفصل الثاني: حلول عملية ونماذج تقنية مجربة

تُظهر التجارب العالمية والإقليمية أن الإدارة الفعّالة للنفايات الإلكترونية لا تتطلب بالضرورة استثمارات ضخمة أو بنى تحتية متقدمة، بل يمكن تحقيق نتائج ملموسة من خلال نماذج تقنية بسيطة ومنخفضة التكلفة، تُبنى على مبدأ "الإدارة الممرحلة" (Phased Management) وتشارك فيها مؤسسات المجتمع المحلي والقطاع غير الرسمي ضمن أطر منظمة.

فيما يلي عرض لعدد من النماذج التي أظهرت نجاحاً في بيئات مشابهة من حيث الظروف الاقتصادية والقدرات المؤسسية، مع تحليل لإمكانية تكييفها في بيئة حلب.

1. التجربة الأردنية[1]

الإحصاءات الرئيسية (2019)

- **النفايات الإلكترونية المتولدة:** 55 ألف طن (4.2 كجم/فرد).
- **النفايات الإلكترونية المجموعة:** 1.3 ألف طن (0.1 كجم/فرد).
- **معدل الجمع:** 2.6% (الأعلى في المنطقة العربية).
- يبين الشكل 2 فرز ونقل النفايات الإلكترونية في الأردن

الشكل 2 فرز ونقل النفايات الإلكترونية في الأردن-**[5]**

الإطار القانوني والتشريعي:

- لا يوجد تشريع خاص بالنفايات الإلكترونية، لكن يتم التعامل معها ضمن تشريعات النفايات الخطرة.
- تعليمات إدارة النفايات الإلكترونية صادرة عن وزارة البيئة (دخلت حيز التنفيذ في 17 مايو 2021).
- نظام مسؤولية المنتج الممتدة (EPR) قيد التطوير كجزء من مشروع مدعوم دوليًا.
- الأردن صدق على 4 اتفاقيات بيئية متعددة الأطراف (بازل، روتردام، استكهولم، مينماتا).
- نظام الجمع والإدارة:
- الجمع الرسمي: تتم عمليات الجمع من خلال سبعة شركات مرخصة (اعتبارًا من 2019-2020).
- توجد نقاط جمع في المدن الرئيسية فقط، وليس في جميع البلديات.
- لا توجد مرافق معالجة محلية، حيث يتم تصدير النفايات المجموعة وفقًا لاتفاقية بازل.
- تعمل الوزارة على ترخيص العاملين في القطاع غير الرسمي لدمجهم في النظام الرسمي.

التحديات:

- نقص البنية التحتية للمعالجة المحلية.
- هيمنة القطاع غير الرسمي على جمع النفايات الإلكترونية.
- ضعف الوعي العام بمخاطر النفايات الإلكترونية.
- عدم وجود أهداف جمع وطنية محددة.

الإنجازات والتميز:

- أعلى معدل جمع في المنطقة العربية (2.6% مقارنة بـ 0.1% كمتوسط إقليمي).
- وجود تعليمات تنظيمية حديثة (2021) لإدارة النفايات الإلكترونية.
- بدء عملية ترخيص الشركات العاملة في جمع وإعادة التدوير.

2. التجربة الحلبية

استدامة الرعاية الصحية المبتكرة إعادة استخدام النفايات الإلكترونية في شمال غرب سوريا نفّذت منظمة FIELD READY MENA بالشراكة مع عدد من المنظمات الدولية ومن خلال عدد من المشاريع عمليات إصلاح لأكثر من 400 جهاز طبي في شمال غرب سوريا ودربت تقنيين على الصيانة والإصلاح الآمن والصناعة الرقمية وعلمت في مشروعها الأخير على التعامل مع النفايات الإلكترونية وإعادة تدويرها بشكل يخفف من ضررها على البيئة وإعادة استدامها في منتجات مفيدة كنوع من الاقتصاد الدائري

إعادة تدوير النفايات الإلكترونية لأغراض التعليم والأمان

من النفايات الطبية إلى طرق آمنة

تصنيع أكثر من 200 قطعة عواكس طرقية من معدن وبلاستيك المستخلص من التجهيزات الطبية منتهية الصلاحية وتركيبها على الطرق عالية الخطورة في شمال غرب سوريا لتحسين الرؤية الليلية

الشكـــــل 3 نموذج فك إلـــــى اليمـــين وعواكس طرقية إلى اليسار مصنعة من إعادة تدوير نفايات إلكترونية

من النفايات الطبية إلى أدوات تعليمية

إنتاج نماذج تشريحية باستخدام نفايات إلكترونية ونسج تتضمن فك، أسنان، نماذج أعضاء وأدوات مفيدة لدعم تعليم التشريح للطلاب.

منصة E-Cycle Hub ومكتبة الأجزاء الإلكترونية في حلب – E-Parts Library

تم اختيار منصة E-Cycle Hub و E-Parts Library بين المشاريع سبعة مشاريع مطروحة في هاكاثون للمشاريع الابتكارية كمشاريع مميزة وقُرر دعمُها وتمويلُها.

3. التجربة اللبنانية: الجمع المجتمعي والتفكيك اليدوي المنظّم[5]

الشكل 4 يبين معمل تكسير النفايات الإلكترونية في لبنان

1. منظمة Arcenciel أركانسيل

تعمل على مستوى لبنان، مع تركيز على المناطق الحضرية والريفية. وتركز على البطاريات بأنواعها (محمولة، سيارات، صناعية) وبعض الأجهزة الإلكترونية. وتتعاون مع جهات مثل الصليب الأحمر اللبناني لتجميع البطاريات المستهلكة.

كمية النفايات المعالجة لا تغطي كل الاحتياجات الوطنية.

التحديات ونجاحات المشروع:

التحديات:

- عدم كفاية القدرة الاستيعابية لتلبية الطلب الوطني.
- صعوبات في جمع البطاريات من مصادر متفرقة.
- تحدي التعامل مع أنواع متعددة من البطاريات (ليثيوم، رصاص، إلخ).

نجاحات:

- إنشاء نظام مبدئي لجمع البطاريات.
- التعاون مع مؤسسات كبيرة (مثل الصليب الأحمر).
- الحصول على تمويل وتدخل من جهات دولية (ضمن مشروع التقييم).

2. Live Love Recycle ومنظمات مجتمعية مماثلة

يعمل معظمها في بيروت وجبل لبنان، مع بعض الفروع في مناطق أخرى. ويجمعون جميع أنواع النفايات الإلكترونية، وتستهدف الأسر والمؤسسات الصغيرة.

إجمالي كمية النفايات المعالجة المجموعة من جميع المنظمات (10 منظمات نشطة):

- غير محددة بدقة، لكن Ecoserv جمعت 179 طن في 2022 (وتمثل الحصة الأكبر).
- الكميات صغيرة نسبياً مقارنة بالحجم الوطني.

مصادر التمويل:

50% منهم منظمات غير حكومية تتلقى تبرعات، 50% مؤسسات خاصة تعتمد على بيع المواد المعاد تدويرها. ولا توجد أرقام منشورة للميزانيات.

المواقع:

- نقاط تجميع متناثرة: جامعات، مستشفيات، متاجر أكثر من 120 نقطة تجميع حسب زيارةEcoserv .
- لا توجد منشآت معالجة مركزية، معظمهم يعتمد على نقل المواد إلى Ecoserv أو.Verdefech

التحديات ونجاحات المشاريع:

التحديات:

- التكاليف اللوجستية المرتفعة: بسبب الأزمة الاقتصادية وارتفاع أسعار الوقود.
- انعدام الوعي البيئي: لدى العامة وبعض المؤسسات.
- غياب نظام إدارة نفايات فعال: على المستوى الوطني.
- عدم الالتزام بالمعايير: لا توجد أنظمة رقابية.
- نقص المعرفة بنظام الاسترجاع: 67% منهم لا يعرفون نظام الاسترجاع.(Take-back system)

نجاحات ونتائج إيجابية:

- إنشاء شبكة جمع مجتمعية: تغطي معظم المناطق اللبنانية.
- توعية جزئية: رفع مستوى الوعي في الجامعات والمستشفيات.
- توفير بديل للقطاع غير الرسمي: من خلال جمع آمن نسبياً.
- تدريب جزئي: 67% من الجمعيات أبدت استعداداً للتدريب.
- حفظ المواد القابلة لإعادة التدوير: من الاندثار أو الحرق العشوائي.

4. التجربة المصرية: الشراكات مع القطاع الخاص (GreenTech, RecycloBekia)

في مصر، تم تطوير نموذج تعاون بين الشركات الصغيرة والمصانع الكبرى لجمع النفايات الإلكترونية وفرزها، حيث تتولى الشركات المحلية عملية الجمع والتفكيك المبدئي، ثم تُصدَّر المكونات ذات القيمة العالية (كالدوائر المطبوعة والمعادن النفيسة) إلى مرافق تدوير متخصصة.

يبين شكل 4 أول معمل مصرح به لمعالجة النفايات الإلكترونية في مصر عام 2014

تعمل هذه المنظومة وفق نموذج اقتصادي جزئي التمويل الذاتي عبر بيع المواد القابلة للاسترداد.

شكل 4 أول معمل مصرح به لمعالجة النفايات الإلكترونية في مصر-**[6]**

5. مبادرات الأمم المتحدة _[7]

تم تحديد 154 مبادرة سابقة، حالية، ومقترحة، تغطي مراحل مختلفة من دورة حياة الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (EEE) هذه المبادرات تشمل:

- جمع النفايات الإلكترونية وإعادة تدويرها.
- تطوير السياسات والتشريعات.
- بناء القدرات والتدريب.
- تطوير التصميم البيئي.(Eco-design)
- دعم البنية التحتية لإدارة النفايات.

الجهات المشاركة

شارك في هذه المبادرات 23 كيانًا تابعًا للأمم المتحدة أو مرتبط بها، مثل:

- برنامج الأمم المتحدة الإنمائي(UNDP)
- منظمة العمل الدولية(ILO)
- منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية(UNIDO)
- منظمة الأغذية والزراعة(FAO)
- اليونيسف، واليونيدو، والاتحاد الدولي للاتصالات(ITU)
- جامعة الأمم المتحدة(UNU)
- الأمانة العامة لاتفاقيات بازل وروتردام وستوكهولم(BRS)

التوزيع الجغرافي

تتركز معظم المبادرات في إفريقيا وآسيا، نظرًا لارتفاع معدلات النفايات الإلكترونية غير الرسمية هناك.

نشاط أقل في أوروبا وأمريكا الشمالية وأستراليا.

أمريكا اللاتينية ومنطقة الكاريبي شهدت مؤخرًا زيادة في المبادرات.

الشراكات والتعاون

- تم توثيق 10 حالات شراكة وتعاون بارزة بين كيانات الأمم المتحدة.
- 49%من المبادرات تمت بالتعاون مع القطاع العام.
- 36%فقط تمت بالتعاون مع القطاع الخاص، مما يشير إلى الحاجة لتعزيز هذا الجانب.

التحديات التي تواجه المبادرات

- ضعف التنسيق بين الكيانات المختلفة.
- قلة التركيز على مراحل التصميم والإنتاج.
- نقص البيانات الوطنية حول تدفقات النفايات الإلكترونية.
- ضعف البنية التحتية في الدول النامية.
- صعوبة تتبع حركة المعادن النادرة المستخدمة في الأجهزة.

توصيات لتعزيز المبادرات

1. تحليل الفجوات: لفهم أدوار كل كيان أممي وتحديد فرص التعاون.
2. خطة عمل مشتركة: لتوحيد الجهود وتوجيه التمويل نحو أهداف واضحة.
3. آلية تنسيق بين الوكالات: لتبادل المعرفة وتفادي التكرار.
4. دعم داخلي لإدارة النفايات: داخل منظومة الأمم المتحدة نفسها كنموذج يُحتذى به.

6. تجارب آسيا الجنوبية: وحدات معالجة صغيرة منخفضة الكلفة [8]-

في الهند وبنغلاديش، طُوّرت تقنيات صغيرة الحجم لتفكيك النفايات الإلكترونية داخل وحدات نصف آلية باستخدام أحواض فصل ميكانيكية ومراوح شفط مفلترة ومكابس بلاستيك معدّلة محلياً.

تتميز هذه النماذج بأنها قابلة للنقل والتوسّع، ولا تحتاج إلى استثمارات كبيرة.

7. التجربة الغانية والنيجيرية: تنظيم القطاع غير الرسمي [8]-

في دول غرب إفريقيا، كانت الأنشطة غير الرسمية لجمع النفايات الإلكترونية مصدراً رئيسياً للتلوث.

غير أن مشاريع مثل E-Waste Africa Program في غانا وNigeria EPR Initiative أعادت تنظيم القطاع من خلال:

تدريب العاملين على أساليب التفكيك الآمن دون حرق.

إنشاء مراكز تسليم (Drop-off Centers) بإدارة مجتمعية.

دمج العاملين السابقين في مشاريع رسمية مقابل حوافز مادية صغيرة.

8. إمكانية التطبيق في حلب: الاستفادة من التجارب الإقليمية

يمكن تكييف الدروس المستفادة من النماذج الإقليمية الناجحة في سياق حلب على النحو التالي:

- حسب التجربة الأردنية (التركيز على الإطار التنظيمي والتجميع الرسمي): يمكن الاستفادة من نموذج ترخيص الشركات الصغيرة العاملة في الجمع، ووضع تعليمات تنظيمية مبسطة على مستوى المحافظة أو البلدية، مع البدء بدمج العاملين غير الرسميين تدريجياً.
- حسب التجربة اللبنانية (نموذج الجمع المجتمعي والتفكيك المنظم): يمكن تبني نموذج إنشاء شبكة لا مركزية من نقاط التجميع بالتعاون مع المنظمات المجتمعية المحلية والجامعات، وتدريب كوادر محلية على التفكيك اليدوي الآمن باستخدام أدوات بسيطة، وهو نموذج منخفض التكلفة وقابل للتطبيق.
- حسب التجربة المصرية (الشراكة مع القطاع الخاص): يمكن تحفيز ورش الصناعات المعدنية والحرفية المحلية في حلب للمشاركة في عمليات الفرز واستخلاص المواد القابلة لإعادة التدوير (كاستخلاص النحاس من الأسلاك)، ضمن إطار مرخص ومراقب بيئيًا.
- حسب مبادرات الأمم المتحدة (الدعم الفني وبناء القدرات): يمكن التنسيق مع وكالات الأمم المتحدة العاملة في سوريا للحصول على الدعم الفني في التدريب، وتصميم نماذج أولية للتجهيزات البسيطة، والمساعدة في إجراءات تصدير النفايات الخطرة وفق المعايير الدولية.
- حسب تجارب آسيا الجنوبية (وحدات معالجة صغيرة منخفضة الكلفة): يمكن إنشاء وحدة نموذجية لمعالجة النفايات الإلكترونية الصغيرة داخل حاضنة أعمال أو معمل مهني، بطاقة تشغيلية تتراوح بين 1–2 طن شهرياً، كمرحلة تجريبية أولى.
- يمكن الاستفادة من التجهيزات المتاحة محلياً (كمكابس المعادن أو ماكينات الخراطة) بعد تعديلها، بما يقلل كلفة البداية ويُبقي العمليات ضمن الإمكانيات المحلية.
- حسب التجارب المحلية السابقة (مبادرات Field Ready): يمكن البناء على النجاح في إعادة استخدام وتدوير النفايات الطبية والإلكترونية في شمال غرب سوريا، من خلال تكرار نماذج مثل إنشاء مكتبة الأجزاء الإلكترونية (E-Parts Library)، ومنصة E-Cycle Hub وإعادة تصنيع المواد المستخلصة في منتجات مفيدة محليًا (كالعواكس الطرقية)، أو لأغراض تعليمية وغيرها مما يعزز مفهوم الاقتصاد الدائري.

خلاصة أولية للفصل الثاني

تُظهر التجارب السابقة أن نجاح إدارة النفايات الإلكترونية في البيئات محدودة الموارد يعتمد على ثلاث ركائز أساسية:

1. **الإدارة اللامركزية:** توزيع نقاط الجمع والمعالجة الصغيرة بدل انتظار بنية تحتية مركزية.
2. **التدريب والتمكين المحلي:** تحويل العاملين في القطاع غير الرسمي إلى طاقة إنتاجية منظمة.
3. **التكامل مع الاقتصاد المحلي:** ربط عمليات التفكيك وإعادة الاستخدام بالورش الحرفية والصناعية القائمة فعلاً.

هذه المبادئ تشكّل الأساس للانتقال إلى الفصل الثالث، الذي سيقترح مسارات عملية لتصميم نظام جمع وتدوير محلي في حلب، يتلاءم مع الظروف الحالية ويستفيد من النماذج المذكورة أعلاه.

الفصل الثالث: مسارات مقترحة للتجميع وإعادة التدوير

يُعدّ تطوير منظومة محلية لإدارة النفايات الإلكترونية في حلب خطوة أساسية نحو تقليل الأثر البيئي وحماية الصحة العامة، كما يمكن أن يشكل قطاعاً ناشئاً لتوليد فرص العمل في مجالات الصيانة والتفكيك وإعادة الاستخدام.

ونظراً لغياب البنية التحتية الرسمية، ينبغي اعتماد نهج تدريجي قائم على التجميع المجتمعي والمعالجة اللامركزية منخفضة التكلفة، بما يسمح بالتوسع المستقبلي عند توفر الدعم المؤسسي.

1. النماذج الرئيسية لإدارة النفايات والتدوير[9]-

أ) نموذج "التدوير البلدية:(Municipal Recycling) "

السياق: دول مرتفعة الدخل (مثل روتردام، سان فرانسيسكو).

الآلية: يتم تسعير التخلص من النفايات (مثل رسوم الدفن)، مما يخلق حافزاً مادياً للبلديات لتحويل النفايات بعيداً عن المكبات.

دائرة حميدة حيث تستثمر المدن في المعرفة والبنية التحتية للتدوير، مما يزيد من الكفاءة ويقلل التكاليف

تأثير القطاع غير الرسمي: غالباً ما يتم استبعاد جامعي النفايات غير الرسميين أو استبدالهم ببرامج بلدية منظمة.

ب) نموذج "التدوير الشامل:(Inclusive Recycling) "

- السياق: دول منخفضة ومتوسطة الدخل (مثل كويزون سيتي، بلو هوريزونتي، باماكو).
- الآلية: يحتفظ القطاع الخاص غير الرسمي (جامعو النفايات، المتاجر الصغيرة، المشترون المتجولون) بدور رئيسي في استعادة المواد، مع اعتراف ودعم من البلديات.

الأمثلة الواردة في التقرير:

- كويزون سيتي، الفلبين: الاعتراف بالمتاجر الصغير (junk shops) كمرافق رسمية لاستعادة المواد (MRFs).
- بلو هوريزونتي، البرازيل: دعم التعاونيات وتقديم عقود لجامعي النفايات.
- باماكو، مالي: الاستفادة من الممارسة التقليدية لاستخدام النفايات العضوية كسماد (terreautage) دون منافستها ببرامج مكلفة.

2. الإطار المفاهيمي للنظام المقترح

يقوم النظام المقترح على ثلاث مراحل مترابطة:

1. **المرحلة الأولى – التجميع والفصل المبدئي:**

- إنشاء نقاط تجميع صغيرة موزعة في الأحياء بالتعاون مع البلديات والمنظمات المحلية.
- تستقبل هذه النقاط الأجهزة الصغيرة والمكونات التالفة (حواسيب، مصابيح، لوحات إلكترونية، بطاريات...) وتُخزَّن مؤقتاً بطريقة آمنة.

2. **المرحلة الثانية – التفكيك الآمن وإعادة الاستخدام:**

- نقل المواد القابلة للتفكيك إلى ورش فنية صغيرة لتفكيك المكونات واسترداد المعادن والبلاستيك والدوائر القابلة للإصلاح.
- يُعاد تأهيل ما يمكن استخدامه (حواسيب، محولات، ألواح شمسية جزئية) ضمن مشاريع إعادة التوزيع للمؤسسات التعليمية أو المجتمعية.

3. **المرحلة الثالثة – المعالجة أو التصدير:**

تصدير المكونات الخطرة أو عالية القيمة (كالدوائر الإلكترونية المحتوية على معادن ثمينة) إلى شركات معالجة متخصصة خارج المنطقة، بالتعاون مع المنظمات الدولية أو برامج الأمم المتحدة.

3. تصميم شبكة نقاط التجميع المجتمعية

تُقترح إقامة شبكة أولية من 10–15 نقطة تجميع موزعة على مناطق حلب الرئيسة (السليمانية، الشعار، الصاخور، الحمدانية، الأنصاري، الريف الغربي...).

يمكن تشغيل هذه النقاط ضمن:

- المراكز المجتمعية والمنظمات المحلية،
- المدارس التقنية أو المهنية،
- أو البلديات الفرعية التي تمتلك ساحات مغلقة وآمنة.

تُزوّد كل نقطة بتجهيزات بسيطة:

- حاويات معدنية مفصولة بحسب نوع النفايات (بطاريات – أجهزة صغيرة – شاشات – مصابيح LED – ألواح كهروشمسية صغيرة)، مع سجلات إدخال وإخراج لتوثيق الكميات.
- إجراءات السلامة المقترحة:
- ارتداء القفازات والنظارات الواقية للعاملين.
- تخزين البطاريات والشاشات في حاويات مغلقة مقاومة للرطوبة.
- عدم تفكيك أو ضغط الأجهزة داخل مواقع الجمع.

4. آلية النقل والمعالجة اللامركزية

تُجمع النفايات إلكترونياً من النقاط الصغيرة إلى مراكز فرز ثانوية بمعدل مرة أسبوعياً أو شهرياً، باستخدام مركبات تابعة للبلديات أو متعاقدة مع منظمات.

في هذه المراكز تُفرز المواد إلى أربع فئات رئيسية:

1. **قابلة لإعادة الاستخدام:** (حواسيب، محولات، شواحن، لوحات تحكم...) تُرسل إلى ورش الصيانة.
2. **قابلة للتفكيك اليدوي**: (أسلاك، مراوح، مصابيح، ألواح صغيرة).
3. **خطرة وتتطلب معالجة خاصة:** (بطاريات، شاشات CRT، ألواح ليثيوم).
4. **بلاستيكية أو معدنية غير خطرة:** تُرسل للورش المحلية كمادة خام.

المراكز المقترحة يمكن أن تكون ضمن ورش مهنية أو معامل خفيفة موجودة مسبقاً، بتجهيزات محدودة (مفكات كهربائية، فلاتر هواء، طاولات عمل معدنية).

5. برنامج إعادة الاستخدام وإعادة التأهيل

لخفض حجم النفايات المتولدة، يُقترح إنشاء ورشة إعادة تأهيل مركزية داخل جامعة أو معهد تقني، تتولى فحص الأجهزة المستعملة (خاصة الحواسيب والمحوّلات الشمسية الصغيرة) وإصلاح ما يمكن إصلاحه.

يُعاد توزيع هذه الأجهزة إلى المدارس، الجمعيات، والمراكز التعليمية، وفق برامج تنموية.

يمكن تمويل المشروع من خلال مزيج من:

- بيع المكونات المعدنية والبلاستيكية القابلة للتدوير.
- دعم المنظمات الدولية لبرامج إعادة الاستخدام.

6. إشراك القطاع غير الرسمي والبلديات

يمثل العاملون في جمع الخردة والمخلّفات الإلكترونية مورد طاقة بشرية يمكن تحويله إلى شريك فعّال بدلاً من كونه مصدراً للتلوث.

يقترح المشروع برنامج تدريب قصير المدى (شهر واحد) لتأهيل هؤلاء العمال على التفكيك الآمن والفرز اليدوي باستخدام أدوات بسيطة.

تُزوّد البلديات بدليل إجراءات موحّد يشمل:

- كيفية استقبال النفايات الإلكترونية.
- معايير الأمان والتخزين.
- آليات التوثيق والإبلاغ الشهري عن الكميات.

هذا الدمج بين القطاع غير الرسمي والمؤسسات المحلية يخلق نموذجاً مختلطاً ومرناً قابل للتوسع لاحقاً ضمن إطار تنظيمي رسمي.

7. الجدوى الاقتصادية والاجتماعية المبدئية

التطبيق التجريبي لهذا النظام على نطاق محدود (10 نقاط تجميع + مركز تفكيك واحد) يمكن أن يخلق:

- 20–30 فرصة عمل مباشرة في الجمع والفرز والصيانة.
- 100 طن سنوياً من النفايات الإلكترونية المجمعة والمنفصلة عن النفايات العامة.
- تقليل الانبعاثات السامة الناتجة عن الحرق اليدوي.
- تحسين وعي السكان بالممارسات البيئية السليمة.

تبلغ كلفة التشغيل الأولية التقديرية حوالي 40–60 ألف دولار سنوياً، يمكن تغطيتها من عائد بيع المعادن (النحاس، الألمنيوم) ودعم برامج الأمم المتحدة والمنظمات البيئية.

8. التكامل المستقبلي مع السياسات العامة

على المدى المتوسط (3–5 سنوات)، يمكن لهذا النظام أن يشكّل نواة لإطار تشريعي محلي عبر:

- سنّ لوائح بلدية تنظم جمع النفايات الإلكترونية.
- اعتماد نظام مسؤولية المنتج الممتدة (EPR) بالتعاون مع المستوردين والتجار.
- إدخال الفرز الإلزامي للنفايات الإلكترونية ضمن خطط البلديات.

خلاصة الفصل الثالث

تُظهر هذه المسارات المقترحة أن حلولاً منخفضة الكلفة وعالية الأثر يمكن أن تُبنى تدريجياً ضمن بيئة محدودة الموارد مثل حلب، إذا ما جرى تنسيق الجهود بين السلطات المحلية والمنظمات التقنية والمجتمع المدني.

النموذج المقترح ليس مجرد خطة للتدوير، بل بنية أولية لاقتصاد دائري محلي يخلق فرص عمل ويقلل من المخاطر البيئية.

الفصل الرابع: الإرشادات التنفيذية للتطبيق الآمن والقابل للتوسع

يهدف هذا الفصل إلى وضع مجموعة من الإرشادات العملية لتطبيق منظومة إدارة النفايات الإلكترونية في مدينة حلب، استناداً إلى أفضل الممارسات الدولية التي تم تكييفها وفقاً للظروف المحلية من ضعف الإمداد الكهربائي، غياب المرافق النظامية، والقيود الاقتصادية.

تُصاغ هذه الإرشادات لتكون مرجعاً تنفيذياً للبلديات والمنظمات والمبادرات المحلية التي تعمل في المجال البيئي أو التنموي.

1. الإطار العام للسلامة والصحة المهنية

1.1 مبادئ أساسية:

- حظر أي عملية حرق أو إذابة يدوية للمكونات الإلكترونية داخل المدينة.
- ضمان تهوية مناسبة في أماكن التخزين أو التفكيك.
- الالتزام باستخدام معدات حماية شخصية (قفازات مقاومة للمواد الكيميائية، نظارات واقية، كمامات).
- وضع إشارات تحذيرية واضحة في مواقع الجمع والفرز.

1.2 إجراءات التخزين:

- تخزين البطاريات ومصادر الطاقة (مثل بطاريات الليثيوم) في حاويات معدنية مبطنة بمواد عازلة لمنع التسرب أو الاشتعال.
- منع تخزين الشاشات المكسورة أو المصابيح المحتوية على الزئبق في أماكن مكشوفة.
- تحديد مدة التخزين القصوى بـ ثلاثة أشهر قبل النقل إلى مركز المعالجة أو التصدير.

1.3 إدارة المكونات الخطرة:

- تصنّف المواد مثل المكثفات والبطاريات ومصابيح الفلورسنت ضمن فئة النفايات الخطرة.
- يتم فصلها عن بقية المواد فور استلامها في نقاط الجمع.
- توضع بطاقات تعريف لكل صنف تشير إلى تاريخه وكميته ونوعه الكيميائي إذا أمكن.

2. التدريب وبناء القدرات المحلية

2.1 برنامج التدريب الأساسي:

يقترح تنفيذ برنامج تدريبي من 20 إلى 30 ساعة يغطي:

- مبادئ التفكيك اليدوي الآمن.
- التعرف على المكونات القابلة لإعادة الاستخدام أو الخطرة.
- طرق التوثيق والإبلاغ.
- مبادئ إعادة التدوير وفق منهج الاقتصاد الدائري.
- يُنفّذ البرنامج عبر مراكز التدريب المهني أو المنظمات البيئية بالتعاون مع خبراء محليين أو منظمات دولية مثل UNEP وUNDP.

2.2 تدريب المشرفين:

تخصيص تدريب إضافي للمشرفين الفنيين (10 ساعات) حول تقييم المخاطر وإجراءات الطوارئ وطرق التعامل مع الحرائق الكهربائية أو التسربات الكيميائية.

3. متطلبات البنية التحتية الأولية

3.1 مواقع التجميع:

- مساحة لا تقل عن 20 م² لكل نقطة جمع.
- سقف معدني أو مظلة تحمي من المطر وأشعة الشمس.
- أرضية إسمنتية لمنع التسرب إلى التربة.
- تجهيز الحاويات بعلامات ملونة مميزة:
- أزرق: الأجهزة الصغيرة.
- أحمر: البطاريات والمكونات الخطرة.
- رمادي: المعادن والبلاستيك.

3.2 مركز الفرز والمعالجة الأولية:

- مساحة 100–200 م² مع تهوية طبيعية أو ميكانيكية.
- مصدر كهرباء آمن ومنظم (يفضل عبر منظومة طاقة شمسية صغيرة لتجنب الانقطاعات).
- تجهيزات أساسية: طاولات معدنية، مفكات كهربائية، موازين، رفوف تخزين معدنية، نظام توثيق ورقي أو إلكتروني.

4. آلية التوثيق والإبلاغ

يُعتمد نظام بسيط لتتبع النفايات الإلكترونية يشمل ثلاثة مستويات:

1. **سجلات الجمع:** تحتفظ بها نقاط الجمع لتسجيل الكمية ونوع الأجهزة المستلمة.
2. **سجلات النقل:** توثّق حركة النفايات بين النقاط والمراكز الثانوية.
3. **سجلات المعالجة:** تسجّل الكميات المفككة والمعاد استخدامها أو المرسلة إلى الخارج.

تُرفع تقارير شهرية إلى البلدية أو الجهة المشرفة، وتتضمن:

- الكميات المجمعة والمفككة (كغ).
- عدد الأجهزة المعاد استخدامها.
- الكميات المرسلة للمعالجة أو التصدير.

يمكن اعتماد نموذج موحّد في شكل جداول إلكترونية (Excel أو Google Sheets) لتسهيل الرقابة والمراجعة.

5. الخطة اللوجستية للنقل والتصدير

5.1 النقل داخل المدينة:

- يُفضل استخدام مركبات صغيرة مغلقة (بيك أب مغطاة) لمنع تساقط المواد.
- نقل النفايات مرة كل أسبوعين في المراحل الأولى، مع تعديل التواتر حسب الكميات.
- تخصيص سائقين مدرّبين على التعامل مع النفايات الخطرة.

5.2 التصدير والمعالجة الخارجية:

نظراً لعدم توفر معامل معالجة متقدمة في سوريا، يمكن التعاون مع:

القطاع الخاص الإقليمي (لبنان، تركيا، الأردن) ضمن اتفاقيات مؤقتة.

أو برامج الأمم المتحدة التي تنسق نقل النفايات الإلكترونية الخطرة إلى معامل معتمدة.

يجب الالتزام باتفاقية بازل Basel Convention (1989) الخاصة بنقل النفايات الخطرة عبر الحدود.

6. الإرشادات التوعوية والسلوكية

من الضروري تنفيذ حملات توعوية متزامنة مع إطلاق النظام، تتضمن:

- نشرات مبسطة حول أخطار النفايات الإلكترونية.
- تشجيع السكان على تسليم الأجهزة القديمة إلى نقاط الجمع.
- شراكات مع المدارس والجامعات لتعزيز ثقافة الفرز والتدوير.

يُوصى بإطلاق حملة تجريبية لمدة ثلاثة أشهر تحت شعار موحّد مثل:

"أجهزتك القديمة طاقة جديدة لمدينتك".

7. قابلية التوسع والاستدامة

يُقترح تقييم المرحلة التجريبية بعد ستة أشهر بناءً على مؤشرات الأداء التالية:

- عدد الأجهزة المجمعة.
- الكميات المفككة والمعاد استخدامها.
- مستوى التزام نقاط الجمع بالإجراءات.
- رضا العاملين والسكان المشاركين.

استناداً إلى هذه النتائج يمكن توسيع المشروع تدريجياً ليغطي كامل أحياء المدينة، ثم المحافظات المجاورة.

يدعم ذلك التحول نحو نظام بلدي متكامل لجمع النفايات الإلكترونية خلال خمس سنوات، بإشراف وزارة الإدارة المحلية والبيئة.

خلاصة الفصل الرابع

تؤكد التجارب الدولية أن تطبيق نظام فعال لإدارة النفايات الإلكترونية لا يتطلب استثمارات ضخمة بقدر ما يحتاج إلى نظام منظم ومتدرج يستند إلى الوعي المجتمعي والتدريب والبنية التنظيمية البسيطة.

في حلب، يمكن تحقيق نتائج ملموسة خلال فترة وجيزة إذا جرى اعتماد هذه الإرشادات كخطة عمل مرحلية مدعومة بالتعاون بين البلديات والمنظمات التنموية.

الفصل الخامس: نقاط الدخول والتوصيات الاستراتيجية

يهدف هذا الفصل إلى تحديد الجهات الفاعلة الرئيسة في إدارة النفايات الإلكترونية بمدينة حلب، واقتراح آليات واقعية للتنسيق فيما بينها ضمن إطار يحقق الكفاءة والأمان والاستدامة، مع وضع توصيات استراتيجية تمهّد لتضمين إدارة النفايات الإلكترونية في الخطط المحلية والقطاعية.

1. نقاط الدخول للسلطات المحلية

1.1 البلديات:

- إدراج النفايات الإلكترونية ضمن تصنيفات النفايات الخاصة في خطط النظافة العامة.
- تخصيص مواقع صغيرة ضمن مكبات النفايات الحالية كمناطق مؤقتة لتخزين النفايات الإلكترونية المفروزة.
- منح تصاريح محدودة المدة لورش التفكيك المحلية التي تلتزم بالمعايير البيئية، مع إشراف دوري.
- دمج مخرجات المشروع في أنظمة البلديات الرقمية لتتبع الكميات والأنشطة (باستخدام جداول Excel أو أدوات مجانية).

1.2 مديريات البيئة:

- تطوير دليل وطني مبسط لإدارة النفايات الإلكترونية بالاعتماد على التجارب المحلية والدروس المستفادة من مشروع حلب.
- التنسيق مع المنظمات الدولية لاعتماد بروتوكولات تصدير آمن للمواد الخطرة.
- تنفيذ حملات تفتيش وتقييم دورية لمراكز الجمع والمعالجة.

2. دور المنظمات الإنسانية والتنموية

2.1 المنظمات البيئية المحلية:

- قيادة حملات التوعية المجتمعية.
- إنشاء نقاط جمع صغيرة في الأحياء والمراكز التعليمية.
- تدريب كوادر محلية بالتعاون مع مبادرات التعليم المهني.

2.2 المنظمات الدولية:

- تمويل إنشاء مراكز فرز ومعالجة تجريبية.
- توفير الدعم التقني والتدريب.
- إدماج النفايات الإلكترونية في برامج إعادة الإعمار الخضراء.

2.3 منظمات التعليم والبحث:

- إجراء دراسات تقييم المخاطر البيئية والصحية.
- تطوير تقنيات تفكيك منخفضة الكلفة تتناسب مع الإمكانيات المحلية.
- تأسيس قاعدة بيانات إحصائية للنفايات الإلكترونية المنتجة والمعالجة في المدينة.

3. دور القطاع الخاص

3.1 الشركات التقنية والتجارية:

- المشاركة في برامج استرجاع الأجهزة القديمة مقابل حوافز رمزية للمستهلكين.
- التعاون مع البلديات والمنظمات في تمويل مراكز الجمع.
- تبنّي مفهوم "المنتج المسؤول" عبر تشجيع استيراد أجهزة قابلة للصيانة وإعادة الاستخدام.

3.2 الورش الحرفية والصناعية:

- المساهمة في عمليات فرز وفصل المعادن والبلاستيك بطريقة آمنة.
- تطوير ورش صيانة محلية قادرة على إطالة عمر الأجهزة المستعملة، خصوصاً الحواسيب والمعدات المنزلية الصغيرة.

4. التوصيات الاستراتيجية العامة

1. إطلاق مرحلة تجريبية لمدة عام واحد في ثلاثة أحياء رئيسية من حلب (وسط المدينة، الشيخ نجار، الأنصاري)، لقياس الجدوى التقنية والاجتماعية.
2. إنشاء لجنة تنسيق محلية تضم ممثلين عن البلدية، مديرية البيئة، المنظمات البيئية، والقطاع الخاص.
3. توحيد إجراءات السلامة عبر اعتماد دليل إرشادي بسيط ومطبوع محلياً، يوزّع على العاملين في الجمع والتفكيك.
4. تشجيع البحث التطبيقي المحلي في الجامعات حول إعادة استخدام المواد المستخلصة في مشاريع إنتاجية (مثل تصنيع ألواح بلاستيكية أو مكونات نحاسية).
5. دمج إدارة النفايات الإلكترونية في خطط التنمية المستدامة المحلية، بما يضمن التمويل المستمر وتكامل الجهود بين القطاعات.
6. إطلاق حملة توعوية إعلامية تشمل لوحات طرقية ومنشورات رقمية، تسعى لترسيخ مفهوم "النفايات الإلكترونية مورد اقتصادي" بدلاً من عبء بيئي.

5. الرؤية المستقبلية (2026–2030)

تشكّل التجربة الحلبية نقطة انطلاق لتأسيس نظام وطني لإدارة النفايات الإلكترونية في سوريا يعتمد على:

- بنية لا مركزية ترتكز على المدن الكبرى كمحاور تجميع.
- قاعدة بيانات وطنية تسجّل الكميات المنتجة والمُعالجة.
- دعم تشريعي يفرض على المستوردين والمصنّعين المساهمة في إدارة النفايات الناتجة عن منتجاتهم (وفق مبدأ "المسؤولية الممتدة للمنتج – EPR").
- تطوير سوق لإعادة التدوير يوفر فرص عمل خضراء، ويحد من استيراد المواد الأولية.

خلاصة عامة للورقة

تُظهر هذه الورقة أن إدارة النفايات الإلكترونية في حلب ليست مسألة تقنية فحسب، بل قضية تنموية واقتصادية وبيئية مترابطة.

ففي ظل الواقع المعيشي المتردي وغياب البنى النظامية، يمكن لنظام بسيط ومنخفض التكلفة، قائم على المشاركة المجتمعية والتعاون بين القطاعات، أن يحقق أثراً ملموساً في خفض التلوث وتوفير فرص عمل جديدة.

نجاح التجربة يعتمد على الالتزام بالإجراءات التدريجية، ودعم السلطات المحلية، ووعي السكان بأهمية التعامل الآمن مع هذه النفايات.

المراجع

[1] E. V. C. B. I. N. R. K. G. Ia¬oni, “REGIONAL E-WASTE MONITOR for the Arab States,” 2021.

[2] United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics ،International Environmental Technology Centre Osaka/Shiga "E-waste Volume I Inventory ،Assessment Manual." 2007

[3] ،O. Deubzer ،G. Bel ،S. Althaf ،E. D’Angelo ،R. McDonald ،T. Yamamoto ،R. Kuehr ،C. P. Baldé V. L. di ،D. S. Khetriwal ،G. Iattoni ،S. Honda ،S. Herat ،V. Gray ،V. Forti ،E. Fernandez-Cubillo ،Cortemiglia ،Y. Lobuntsov ،I. Nnorom ،N. Pralat و M. Wagner ،"THE GLOBAL E-WASTE MONITOR،" 2024.

[4] ب. ع. رفيقة، "إدارة النفايات الإلكترونية والتنمية المستدامة: فرص الاستثمار والتحديات الاقتصادية،" *مجلة شعاع للدراسات الاقتصادية*، pp. 148-164، 2024.

[5] Available: [متصل]. "West Jordan E-Waste collection،" https://youtu.be/i12c8WyLkIc?si=kz6ZN5nFi06naj5X.

[6] Available: [متصل]. "Egypt's first Legitimate E-Waste Recycling Factory،" 2014. https://youtu.be/JXet6fBGONw?si=_g5ovEXF0ox6Zybf.

[7] United Nations ،"United Nations System-wide Response to Tackling E-waste ،" 2017.

[8] V. Forti ،C. P. Baldé ،R. Kuehr و G. Bel ،"The Global E-waste Monitor ،" 2020.

[9] United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics ،International Environmental Technology Centre Osaka/Shiga "E-waste Volume II E-waste ،Management Manual." 2007

[10] "Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes،" [متصل]. Available: https://www.basel.int.

[11] Z. Fahed ،D. Tavera ،R. Craizer و G. Asaad ،"PROVISION OF SERVICES FOR THE BATTERIES IN LEBANON & ASSESSMENT OF E-WASTE ،" United Nations Development Programme (UNDP), Delegation of the European Union to Lebanon (EU), United Nations Development Programme, Lebanon ،Lebanon ،2023.

[12] Available: [متصل]. "Lebanon e-waste shredding line،" https://youtube.com/watch?v=42KIJbD_Ah0&feature=shared.