التعاون الألماني
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implemented by
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

The Hashemite Kingdom Of Jordan
Ministry of Industry, Trade and Supply

Ministry of Environment

الإمكانات غير المستغلة لبطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة: كيف يمكن أن يستفيد الاقتصاد الأردني منها؟

ورقة مناقشة حول الاستراتيجيات المستدامة والمتنوعة لنهاية عمر بطاريات المركبات الكهربائية المستهلكة

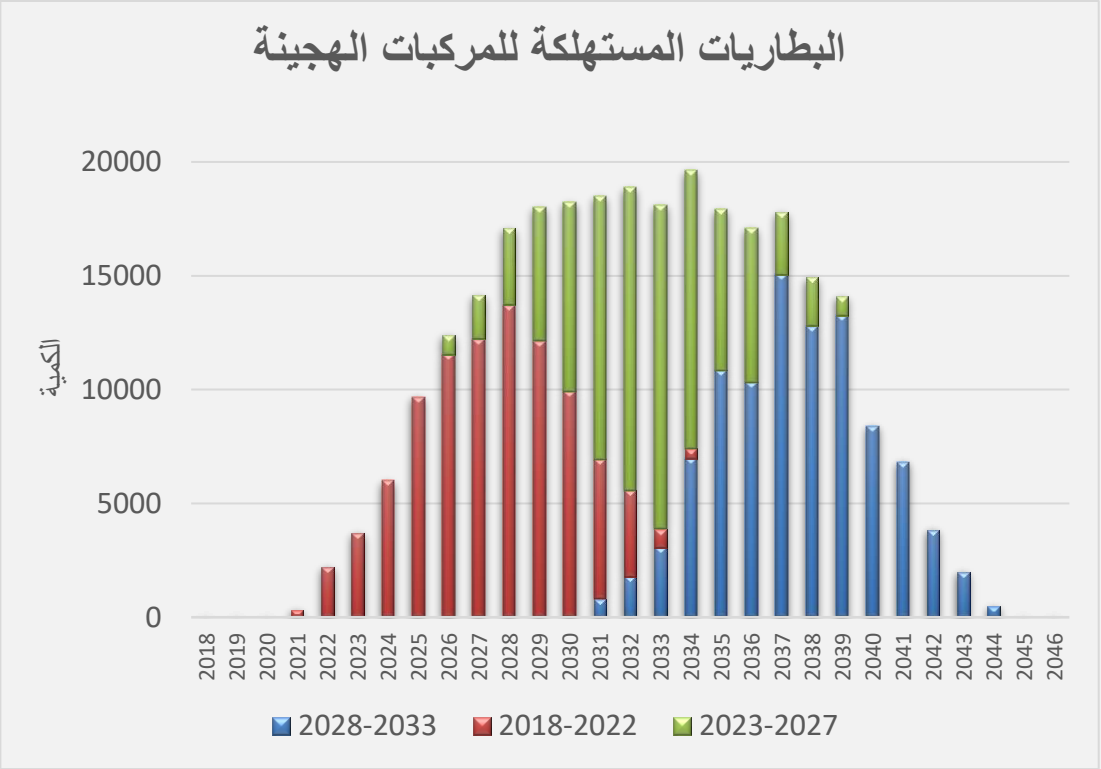
ورقة مناقشة
حول
بطاريات المركبات الكهربائية المستهلكة وإمكاناتها للأردن

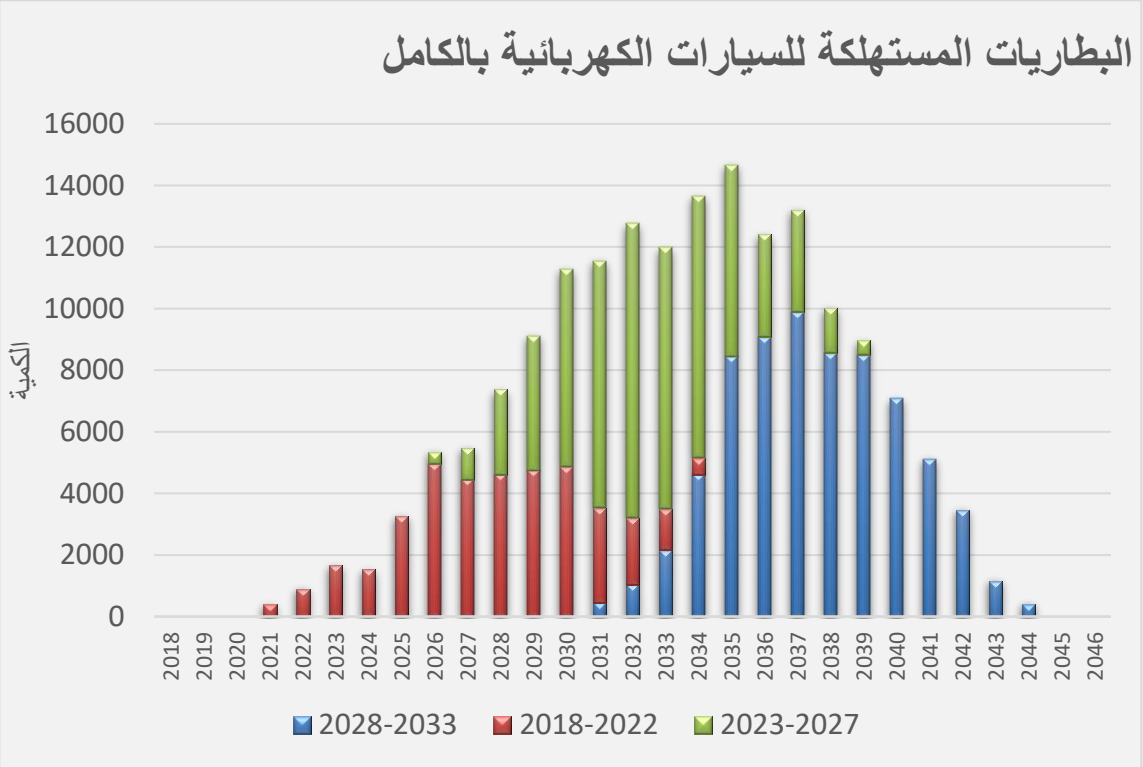
الملخص التنفيذي

في الأردن، يستمر عدد المركبات الكهربائية في الارتفاع بسبب الوعد بتقليل الاعتماد على البنزين والحوافز التي تقدمها الحكومة للسماح بالانتقال الى النقل الأخضر (المواصلات الصديقة للبيئة). أدى الطلب المتزايد على المركبات الكهربائية إلى تحديين رئيسيين في المملكة ينبغي التعامل معهما: أولاً، تحتاج المركبات الكهربائية التي تحتوي على بطاريات وصلت إلى نهاية عمرها إلى بطارية بديلة وعملية لمواصلة التشغيل. ثانيًا، تنتظر الاعداد المتزايدة من البطاريات المستهلكة التي وصلت إلى نهاية عمرها (EOL) إدارة مستدامة (الممارسات التي تشمل التخلص وإعادة التدوير وإعادة التخصيص وإعادة التصنيع).

في ورقة المناقشة هذه، يتم النظر في الممارسات الحالية المتعلقة بتراكم البطاريات المستهلكة لتحليل الفرص والتحديات المحتملة لاعتماد استراتيجيات مستدامة لنهاية عمر البطاريات في الأردن. يتم جمع البيانات وتحليلها لتقييم الحاجة الحالية واستعداد الأردن لدعم المركبات الكهربائية وتنفيذ إدارة مستدامة لنهاية عمر بطارياتها. أخيرًا، تم تقديم توصيات بشأن الخطوات التالية للأردن للاستفادة من الإمكانات الاقتصادية لاعتماد الاقتصاد الدائري على نفايات بطاريات السيارات الكهربائية.

تم جمع بيانات عن عدد المركبات التي تم تخليصها الجمركي من 2018-2022. باستخدام هذه البيانات، تم توقع اعداد المركبات الكهربائية حتى عام 2033. بعد ذلك، تم استخدام هذه القيم للتنبؤ بتراكم كميات بطاريات المركبات الكهربائية المستهلكة، كما هو موضح أدناه.

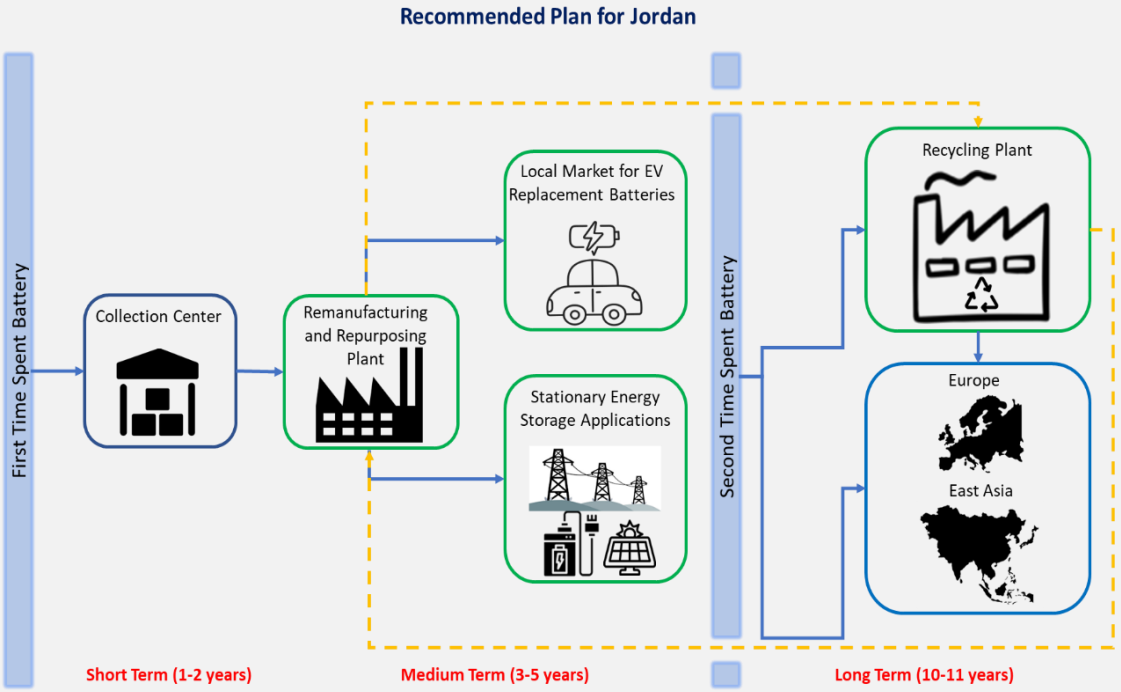




بعد ذلك، يتم فحص التطبيق العملي لاعتماد استراتيجيات نهاية العمر في الأردن. ثم تحديد ترتيب أكثر الخيارات الصديقة للبيئة، مثل إعادة التصنيع> إعادة التخصيص> إعادة التدوير. أيضًا، يتم حساب الإيرادات المحتملة لكل استراتيجية نهاية العمر وعرضها أدناه.

السيناريو	تقديرات الإيرادات السنوية
تصدير البطاريات المستهلكة	600,000 دولار امريكى
إعادة التدوير	14,000,000 دولار امريكى
إعادة التخصيص	22,000,000 دولار امريكي
إعادة التصنيع	USD 22,100,000

بناءً على نتائج الدراسة، تم اقتراح التوصيات التالية: **على المدى القصير (1-2 سنة)** يكون من الضروري فتح مراكز تجميع في الأردن لجمع البطاريات المستهلكة. علاوة على ذلك، يجب وضع السياسات واللوائح المدعومة من خلال نظام الحوافز من قبل الحكومة لتشجيع التخلص السليم من بطاريات المركبات الكهربائية المستهلكة هذه. بعد ذلك، **على المدى المتوسط (3-5 سنوات)**، يوصى بإنشاء مصنع لإعادة التصنيع وإعادة التخصيص؛ ينصب التركيز الأساسي للمصنع على إنتاج بطاريات بديلة لمالكي المركبات الكهربائية. وفي الوقت نفسه، يمكن إعادة استخدام البطاريات التي لا يمكن إعادتها إلى مستوى جودة مقبول لاستخدام السيارات في تطبيقات تخزين الطاقة الثابتة. أخيرًا، **على المدى طويل الأجل (10-11 عامًا)**، يُنصح بإنشاء مرفق لإعادة التدوير لمعالجة "البطاريات المُعاد تصنيعها" المستهلكة (أي نهاية العمر "الثاني")



في أثناء ذلك، تم تقديم التوصيات العامة التالية:

- هناك حاجة إلى سياسات ولوائح بشأن استيراد بطاريات السيارات الكهربائية وإصلاحها والتخلص منها.
- هناك حاجة لبرامج التدريب والتعليم لتوجيه الاستخدام المستدام للبطاريات وإصلاحها والتخلص منها.
- ينبغي اعتماد التتبع وإمكانية التتبع لبطاريات المركبات الكهربائية.

***

تم النشر من قبل:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

مكاتب مسجلة
بون وإشبورن، ألمانيا

مشروع الأعمال الخضراء في المشاريع
(GAIN)
GIZالأردن
شارع محمد بسيم الخماش 13 الصويفية عمان 11190
هاتف + 5868090-6-962
فاكس + 5819863-6-962
giz-jordanien@giz.de www.giz.de/en/worldwide/102349.html

ايضا في
حزيران 2023

التصميم
المؤسسة ذاتها

اعتمادات الصورة
GIZ GmbH
د. فدوى دبابنة

النص
د. فدوى دبابنة

نيابة عن الوزارة الاتحادية الألمانية للتعاون الاقتصادي والتنمية (BMZ).

المحتويات

الملخص التنفيذي 3

1. **المقدمة** 7

2. **إمكانية تطبيق الاقتصاد الدائري على بطاريات المركبات الكهربائية** 8

2.1 هيكل البطارية وإمكانية استرداد القيمة 8

2.2 نظرة عامة على ممارسات إدارة نهاية العمر 9

3. **المنهجية** 11

3.1 جمع البيانات 11

3.2 تنبؤات حول كميات المركبات 12

3.3 تنبؤات بكميات البطاريات المستهلكة 13

3.4 مخطط السيناريو والمعايير 14

4. **التوقعات وتحليلات السيناريوهات** 15

4.1 التوقعات والتنبؤات في الأردن 15

4.2 تحليل السيناريوهات 19

4.3 مقارنة السيناريوهات 28

5. **النتائج والتوصيات** 30

5.1 المسار المحتمل لنظام بيئي مستدام لنهاية عمر البطاريات في الأردن 30

5.2 التوصيات 31

1. المقدمة

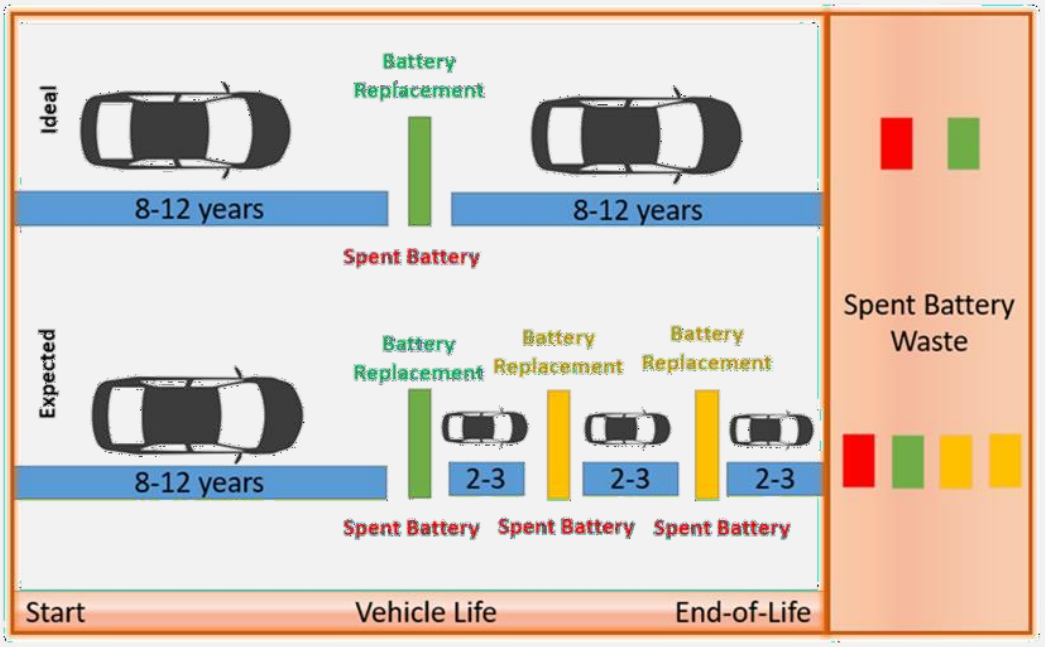
بسبب كفاءتها العالية، وانخفاض تكاليف الصيانة التشغيلية والوعد في الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، تكتسب المركبات الكهربائية (EVs) شعبية بين المستهلكين في الأردن. يتماشى هذا مع الاتجاهات العالمية: وفقًا لوكالة الطاقة الدولية، حيث في عام 2012 تم بيع 130 ألف مركبة كهربائية فقط في جميع أنحاء العالم، بينما في عام 2021، تم بيع أكثر من 130 ألف مركبة كل أسبوع[1]

في الأردن، لم تتمكن السياسات والبنية التحتية اللازمة لدعم الإدارة المناسبة لنهاية العمر (EOL) لبطاريات السيارات الكهربائية من مواكبة الانتشار المتزايد بسرعة للسيارات الكهربائية في البلاد. نتيجة لذلك، فإن الطرق الحالية في الأردن لمالكي السيارات الكهربائية هي كما يلي: عندما تصل بطارية السيارة الكهربائية إلى نهاية فترة حياتها، فإن مالك السيارة الكهربائية عادة ما يذهب إما إلى ميكانيكي محلي ويحاول تجديد البطارية أو أن مالك السيارة الكهربائية سيشتري بطارية مستوردة. في حالة التجديد، يتم إصلاح البطارية فقط إلى مستوى دون المستوى الأمثل (سعة منخفضة) وقد تتطلب السيارة الكهربائية استبدالًا آخر في غضون فترة قصيرة (انظر الشكل 1).

الشكل 1: إصلاح البطارية المستهلكة في الأردن

في حالة شراء بطارية مستوردة (جديدة أو مستعملة)، يُزعم أن تكلفة البطارية البديلة المستوردة (أي ذات الأداء المناسب لاستخدام السيارات) يمكن أن تشكل عبئًا ماليًا على المالك العادي لسيارة كهربائية في الأردن. قد تتراوح تكلفة بطارية بديلة للسيارة الكهربائية الهجينة (HEV) بين 1000 دولار و5000 دولار، وقد تتراوح تكلفة البطارية البديلة للسيارة الكهربائية الكاملة (BEV) بين 2000 دولار إلى 20000 دولار. وفقًا لذلك، قد يتم استيراد البطاريات البديلة الأقل تكلفة والأقل جودة إلى البلاد بسبب القدرة على تحمل التكاليف بالنسبة للمستهلك العادي. مرة أخرى، إذا لم تكن بطاريات السيارات الكهربائية "المستعملة" عند المستوى الأمثل فيما يتعلق بمقاييس أداء البطارية، فقد تدوم هذه البطاريات البديلة 2-3 سنوات ثم يلزم استبدالها مرة أخرى. مع تكرار هذه الدورة، فإنها تخلق عددًا متزايدًا سريعًا من البطاريات المستهلكة التي تحتاج إلى إدارتها في الأردن، انظر الشكل 2.

[1] المصدر: https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales



الشكل 2: تأثير مستويات الجودة دون المستوى الأمثل للبطارية البديلة

إجمالاً، مع تزايد شعبية المركبات الكهربائية في الأردن، هناك عدد متزايد من البطاريات المستهلكة التي تحتاج إلى معالجة مستدامة عند انتهاء عمرها؛ وعدد متزايد من البطاريات البديلة اللازمة لتحل محل البطاريات المستهلكة للمركبات الكهربائية العاملة حاليا.

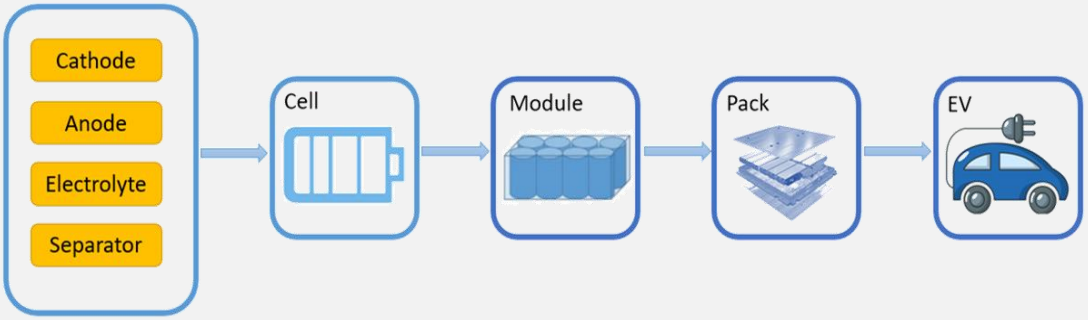
في هذه الدراسة، يتم البحث في الفرص والتحديات المحتملة في تبني استراتيجيات متنوعة ومستدامة لنهاية عمر بطاريات المركبات الكهربائية في الأردن. يتم جمع البيانات وتحليلها لتقييم الحاجة الحالية واستعداد الأردن لدعم المركبات الكهربائية وتنفيذ إدارة مستدامة لنهاية عمر البطاريات السيارات الكهربائية. علاوة على ذلك، تتم مقارنة سيناريوهات تطبيق نهاية العمر المختلفة. أخيرًا، تم تقديم توصيات للأردن لتنفيذ ممارسات متينة حول نهاية عمر بطارية السيارة الكهربائية.

2. إمكانية تطبيق الاقتصاد الدائري على بطاريات المركبات الكهربائية

2.1 هيكل البطارية وإمكانية استرداد القيمة

تتمتع البطاريات المستخدمة في السيارات الكهربائية بهيكل مميز يتمتع بإمكانية عالية لاسترداد القيمة من خلال اعتماد مفهوم الاقتصاد الدائري. تتكون هذه البطاريات من نظام إدارة البطارية ووحدات البطارية وخلايا البطارية والغلاف الخارجي ومكونات الدعم الأخرى. حاليًا، أكثر أنواع البطاريات شيوعًا في السيارات الكهربائية هي بطارية ليثيوم أيون [2] (LIB). يوضح الشكل 3 مخططًا لمجموعة بطاريات السيارة الكهربائية. تتكون كل وحدة LIB من خلايا يتم تجميعها في سلسلة متوازية للحصول على سعة البطارية المطلوبة. تستخدم الخلايا أيونات الليثيوم كمكون رئيسي في الالكتروليت. وبشكل أكثر تحديدًا، تتكون خلية البطارية من المكونات التالية: الكاثود والأنود والإلكتروليت والفاصل. الكاثود هو القطب الموجب الشحنة للبطارية ويحدد أداء البطارية. الأنود هو القطب السالب الشحنة للبطارية. ويكون الالكتروليت هو الوسيط الذي يمكّن أيونات الليثيوم من الانتقال من الكاثود إلى الأنود. أخيرًا، يفصل الفاصل بين الأنود والكاثود.

[2] المصدر: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html

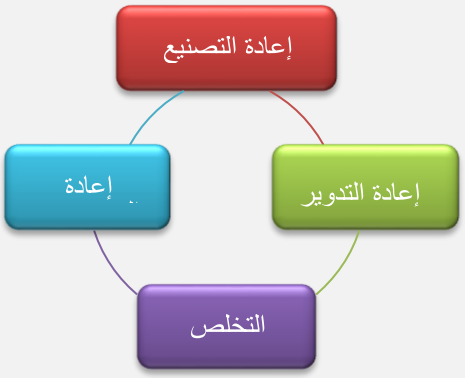


الشكل 3: تجميع بطارية السيارة الكهربائية

حالياً، تُبذل جهود كبيرة لخفض تكاليف بطاريات السيارة الكهربائية ويتم التركيز على تقليل تكلفة خلايا البطارية. تشير التقديرات إلى أن 51٪ من تكلفة خلايا البطارية تكمن في مادة الكاثود؛ 24٪ لعمليات التصنيع، 12٪ في الأنود...إلخ [3]. يمكن أن تستهدف الاستراتيجيات المتنوعة لنهاية العمر استرداد القيمة في مراحل مختلفة من هيكلية البطارية مما سيساعد في تقليل تكاليف البطارية وتخفيف الآثار البيئية السلبية لإنتاج بطارية ليثيوم أيون والتخلص منها.

2.2 نظرة عامة على ممارسات إدارة نهاية العمر

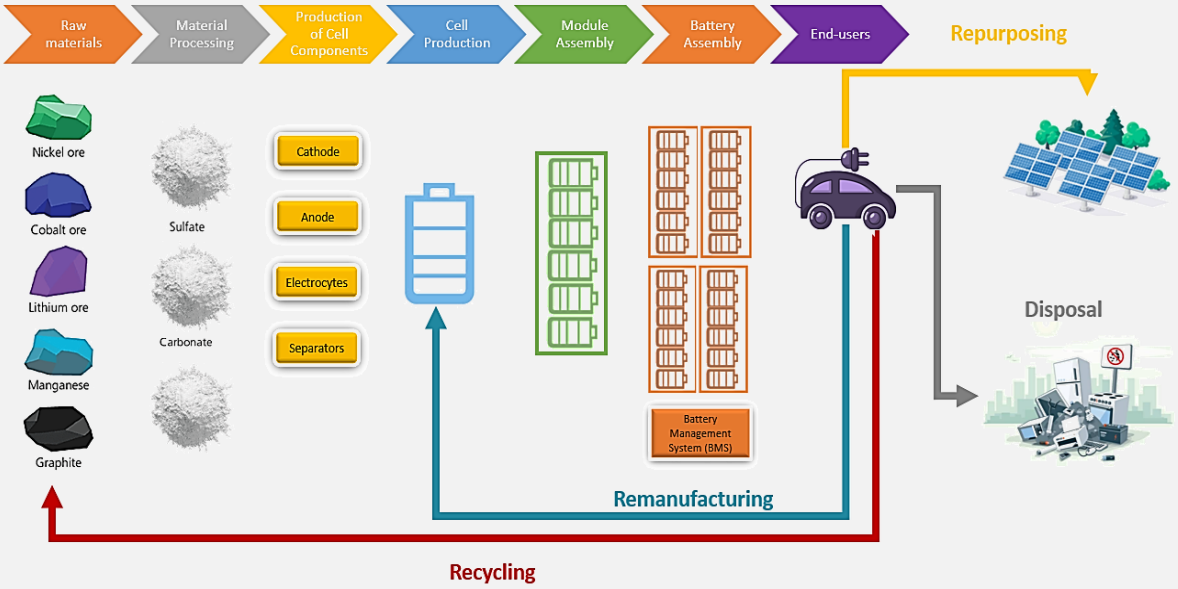
توجد العديد من ممارسات إدارة نهاية العمر في جميع أنحاء العالم ويمكن اعتمادها في الأردن لإدارة نفايات البطاريات المستهلكة. إن إستراتيجيات نهاية العمر الحالية لبطاريات أيونات الليثيوم للسيارات الكهربائية هي التخلص، وإعادة التدوير، وإعادة التخصيص، وإعادة التصنيع، كما هو مبين في الشكل 4. وسيؤدي تبني استراتيجيات نهاية العمر هذه وإدارتها بشكل مستدام إلى فرص بيئية واقتصادية في الأردن. يتم تلخيص استراتيجيات نهاية العمر على النحو التالي.



الشكل 4: استراتيجيات إدارة النفايات

3 المصدر/ https://www.visualcapitalist.com/breaking-down-the-cost-of-an-electric vehicle-battery-cell

تُعرَّف إعادة التصنيع بأنها عملية استرداد القيمة من المنتجات المُستنفدة/ المستهلكة عن طريق استصلاحها إلى حالة مماثلة للحالة الجديدة من خلال استبدال الأجزاء وإعادة معالجتها. يمكن أن تدعم إعادة التصنيع مصانع بطاريات أيونات الليثيوم الخاصة بصناعة السيارات دعما كبيرا. تكلف البطارية المُعاد تصنيعها 60٪ أقل من البطارية الجديدة وتتكون من استبدال الوحدات السيئة بوحدات جيدة لتحسين الحالة الصحية (SoH) وقدرة البطارية. وفي الوقت نفسه، فإن إعادة التخصيص هي إعادة ضبط حالة البطارية المستهلكة لاستخدام مختلف أو في سوق مختلف. يمكن إعادة تخصيص بطاريات أيونات الليثيوم للسيارات الكهربائية لدعم محطات الشحن وتطبيقات تخزين الطاقة الثابتة. قد تتطلب إعادة التخصيص أنشطة التفكيك والتجميع. بعد ذلك، تتم إعادة التدوير عندما يتم تجريد البطارية إلى مستوى استعادة المواد. الهدف من هذه الاستراتيجية هو تحويل المنتجات المستهلكة/ النفايات إلى مواد قابلة لإعادة الاستخدام. مع إعادة التدوير، يتم استخلاص المواد القيمة مثل الليثيوم والكوبالت من بطاريات الليثيوم أيون المستهلكة. أخيرًا، تتمثّل الاستراتيجية النهائية لنهاية العمر في التخلص، حيث يتم التخلص منها عبر إرسال البطاريات مباشرة إلى مدافن النفايات ولا يتم استخدام طرق استرداد القيمة.



الشكل 5: سلسلة القيمة لبطارية ليثيوم أيون لمركبة كهربائية

يوضح الشكل 5 سلسلة القيمة لبطاريات الليثيوم للسيارات الكهربائية وتأثير استراتيجيات نهاية العمر على سلسلة القيمة. كما يتضح من الشكل 5، يمكن أن يكون استرداد القيمة في مراحل مختلفة من سلسلة قيمة البطارية مثل مستوى المواد وتصنيع مكونات الخلية وتصنيع الخلايا وتجميع الوحدات ومراحل تجميع حزمة البطارية. لتعزيز الاقتصاد الدائري واسترداد القيمة من بطاريات أيونات الليثيوم للسيارات الكهربائية، يجب تنسيق استراتيجيات نهاية العمر بطريقة مدروسة بحيث يتم تعزيز فوائد الاستدامة وتخفيف المفاضلات.

3. المنهجية

في هذه الدراسة، يتم البحث في الفرص والتحديات المحتملة في تبني استراتيجيات مستدامة ومتنوعة حول نهاية عمر البطاريات في الأردن. أولاً، تم البحث في حالة السيارة الكهربائية وبطارية السيارة الكهربائية في الأردن. وبالتالي، تم جمع البيانات النوعية والكمية عن الوضع الحالي للأردن. بعد ذلك، تم توقع كميات المركبات الكهربائية وعدد البطاريات المستهلكة. بعد ذلك، تم إنشاء سيناريوهات تنفيذ مختلفة لنهاية العمر وتحليلها. أخيرًا، تمت مقارنة السيناريوهات وتحديد الفرص والمفاضلات. يُظهر الشكل 6 الإطار المنهجي.

الشكل 6: مخطط المنهجية

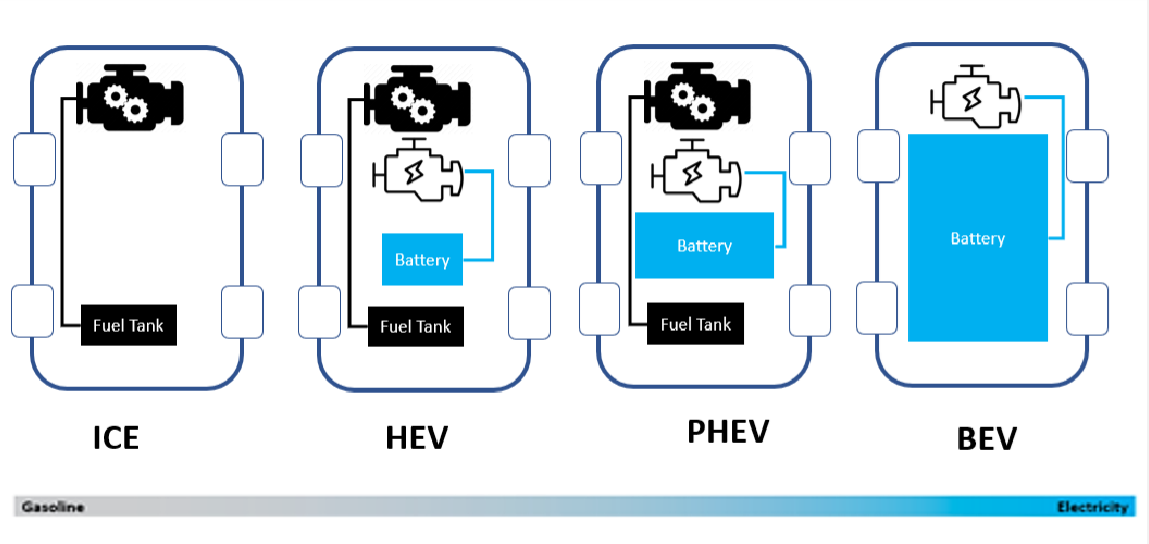
3.1 جمع البيانات

لتقييم الوضع الحالي للبطاريات المستهلكة والاستعداد لتنفيذ الممارسات المستدامة في الأردن، هناك حاجة إلى بيانات حول البنية التحتية الحالية، وسوق السيارات الكهربائية، ومخزون البطاريات المستهلكة في الأردن.

تم استخدام العديد من الاستراتيجيات لجمع البيانات ورؤى الخبراء: (1) المنشورات البحثية (2) مقالات المجلات والأخبار، (3) التقارير الحكومية المنشورة، (4) المقابلات عبر الهاتف والفيديو عبر الإنترنت، (5) مقابلات الخبراء شبه المنظمة، و (6) السجلات التاريخية والبيانات الإحصائية. كان ممثلو وزارة البيئة، ودائرة جمارك الزرقاء، ودائرة تسجيل المركبات مصادر رئيسية لهذه البيانات.

محدودية البيانات: بالنسبة للبيانات النوعية التي تم الحصول عليها، تم مواجهة العديد من المُحددات. أولاً، تم الحصول على البيانات فقط من 2018 إلى 2022. علاوة على ذلك، لم تتضمن البيانات سنة أو نوع السيارة. وفي الوقت نفسه، تم تجميع أرقام المركبات الهجينة والقابلة للتوصيل بالكهرباء (PHEV). وبالتالي، في هذه الدراسة، ستشير BEVs إلى المركبات الكهربائية بالكامل وستشير HEVs إلى المركبات الكهربائية الهجينة والمركبات الهجينة الموصولة بالكهرباء (انظر الشكل 7).

بالنسبة للبطارية، لم يتم الاحتفاظ بسجل لنوع البطارية في السيارة، على سبيل المثال، النيكل والليثيوم أيون.. إلخ. علاوة على ذلك، فإن عمر البطارية وسعة اللوحة وعدد الوحدات / الخلايا غير معروفة أيضًا. في هذه الدراسة، من المفترض أن البطاريات كلها بطاريات ليثيوم أيون لأن الاتجاه التكنولوجي لبطاريات السيارات الكهربائية يتحرك في هذا الاتجاه. علاوة على ذلك، من المفترض أنه تم تجميع جميع البطاريات من خلايا ليثيوم أيون أسطوانية لها نفس النسب المئوية لتكوين المواد.



الشكل 7: تصنيف المركبات حسب درجة الكهربة

3.2 تنبؤات بكميات المركبات

للتنبؤ بعدد السيارات الكهربائية، تم اعتماد طريقة المتوسط المتحرك البسيط بناءً على متوسط العامين الماضيين. بالإضافة إلى ذلك، تم إدراج زيادة بنسبة 2٪ في السيارات الكهربائية (تم تبنيها لتتماشى مع الأهداف الموصى بها من وزارة النقل فيما يتعلق بأسطول المركبات الكهربائية العامة):

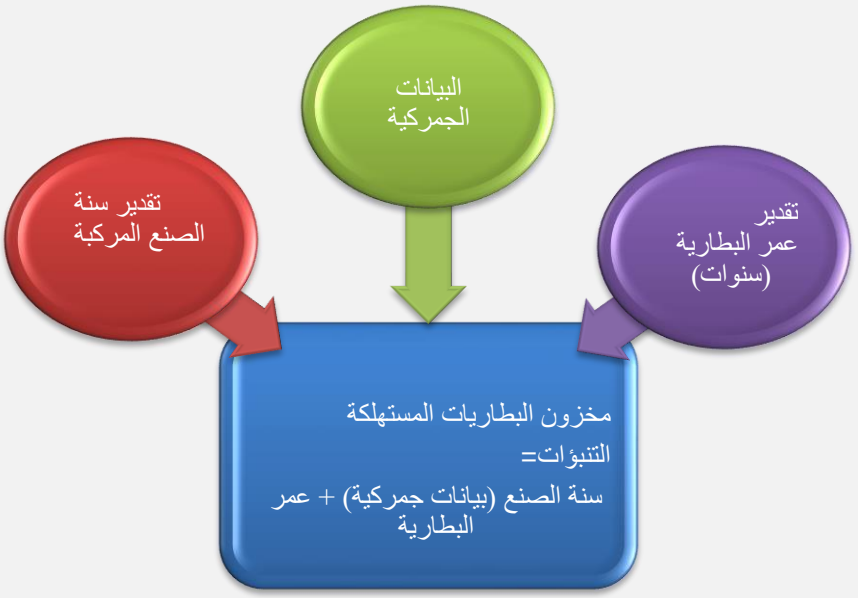
$$f(x) = 1.02 \times \bar{x}_{avg}$$

المحددات:

- تفترض طريقة التنبؤ أن اللوائح الجمركية والضريبية المتعلقة بالضرائب والجمارك والرسوم للمركبات المستوردة لا تتغير بشكل كبير وأن المركبات التي تم تخليصها من قبل الجمارك قد تم استيرادها في نفس العام.
- نظرًا لأن طريقة المتوسط المتحرك تعتمد بشكل كبير على البيانات التاريخية والمتسلسلة الزمنية لتقديم نتائج دقيقة ، فمن المستحسن أن يتم تحديث التوقعات عامًا بعد عام مع ورود المزيد من البيانات.

3.3 تنبؤات بكميات البطاريات المستهلكة

تم تطبيق منهجية تنبؤ مُبسّطة لتقدير عدد البطاريات المستهلكة في الأردن. وفقًا لذلك، باستخدام أعداد BEVs وHEVs التي حصلت على تخليص جمركي [4]، تم تقدير كميات البطاريات المستهلكة في الأردن وفقًا للإجراء الموضح في الشكل 8.



الشكل 8: إجراء للتنبؤ بمستويات مخزون البطاريات المستهلكة

كانت الخطوة الأولى هي تقدير عمر السيارة. بناءً على اللوائح الصادرة عن الجمارك (أي يُمنع دخول المركبات التي يزيد عمرها عن 5 سنوات)، تم تطبيق عامل تصحيح العمر. وبناءً على ذلك، تم تقسيم إجمالي عدد المركبات إلى 10 فئات متساوية وتم استخدام مولد أرقام عشوائي لتحديد عمر السيارة بالنسبة للسنة التي تم فيها تخليصها جمركيا. على سبيل المثال، إذا تم إدخال السيارة في 2018، يتم طرح عدد صحيح عشوائي بين 0 و5 من سنة تخليص السيارة[5]. هذا يعني أن عمر المركبات في 2018 يمكن أن يكون له سنة صنع ما بين 2013 إلى 2018. بعد ذلك، من الضروري إضافة متغير عشوائي لتقدير عمر البطارية. استنادًا إلى الأدبيات والمعايير الصناعية، يتراوح عمر بطارية السيارة الكهربائية بين 8 و12 عامًا. ومن ثم يتم استخدام مولد رقم عشوائي للأعداد الصحيحة من 8 إلى 12 لتمثيل عمر البطارية. أخيرًا، لتحديد السنة التي تعتبر فيها بطارية السيارة الكهربائية بطارية "مستهلكة"، تتم إضافة العمر التقديري للبطارية إلى سنة الطراز المقدرة للبطارية. تم استخدام محاكاة مونت كارلو لتكرار الإجراء أعلاه لتوفير توقعات أكثر قوة لمخزون البطاريات المستهلكة.

[4] السيارة التي حصلت على تصريح جمركي هي مركبة غادرت المنطقة الحرة الأردنية ويمكن امتلاكها وتشغيلها بشكل قانوني في الأردن.

[5] الافتراض/ المحدودية: تم افتراض أن سنة الاستيراد هي نفسها سنة تخليص السيارة.

3.4 مخطط السيناريو والمعايير

كما تم جمع البيانات النوعية. تم تحديد العوامل الموضحة في الشكل 9 باعتبارها المؤثرات الرئيسية لدورات الحياة المستدامة لبطاريات السيارات الكهربائية في الأردن. يتم تحديد التنفيذ الناجح لاستراتيجيات نهاية العمر هذه من خلال اقتصاديات الحجم. وبالتالي، هناك حاجة لتحديد عدد السيارات الكهربائية التي تدخل الأردن وعدد البطاريات المستهلكة التي تحتاج إلى إدارة نهاية العمر.

الشكل 9: العوامل المؤثرة في الإدارة المستدامة لنهاية عمر بطاريات السيارات الكهربائية

- يجب البحث في التأثيرات المختلفة لاستراتيجيات نهاية الحياة وفوائدها وتحدياتها في الأردن ومقارنتها. وفقًا لذلك، يتم عرض العديد من السيناريوهات للنظام البيئي لنهاية العمر في الأردن على النحو التالي:

- السيناريو 0: تراكم نفايات البطاريات المستهلكة في الأردن (الوضع الحالي)
- السيناريو 1: التصدير المركزي للبطاريات المستهلكة لتتم معالجتها خارج الأردن
- السيناريو الثاني: فتح مصنع لإعادة التدوير في الأردن
- السيناريو 3: فتح مصنع لإعادة التخصيص في الأردن
- السيناريو الرابع: فتح مصنع لإعادة التصنيع في الأردن

تتم مقارنة السيناريوهات المختلفة بناءً على المعايير التالية: احتياجات المستهلكين من السيارات الكهربائية، والحد من النفايات، والتكلفة والإيرادات المحتملة والأثر البيئي والتعقيد وتعزيز الوظائف الخضراء. يُستخدم المقياس التالي لمعايير المقارنة:

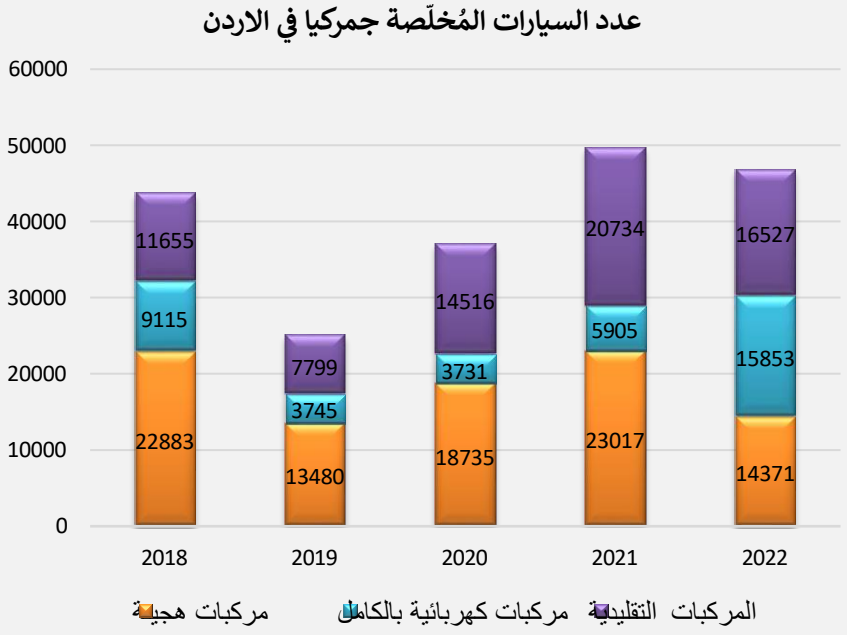
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
أثر غير مرغوب للغاية	أثر غير مرغوب بشدة	أثر غير مرغوب	أثر محايد	أثر مرغوب	أثر مرغوب بشدة	أثر مرغوب للغاية

سيتم تحديد هذه التصنيفات بناءً على مزيج من الدعم الشخصي والكمي. سيتم النظر في المقابلات شبه المنظمة ورؤى الخبراء والحسابات القابلة للتطبيق على كل سيناريو. بالنسبة للحسابات الكمية المتعلقة بسيناريو محدد، ستتم مناقشة نظرة عامة موجزة للافتراضات وإجراءات الحساب في كل سيناريو.

4. التوقعات وتحليلات السيناريوهات

4.1 التوقعات والتنبؤات للأردن

تم الحصول على بيانات عن عدد المركبات التي حصلت على التخليص الجمركي من دائرة الجمارك الأردنية في الزرقاء للأعوام 2018 إلى 2022. تم تصنيف المركبات على أنها هجينة (HEVs وPHEVs) وكهربائية بالكامل (BEVs) وبنزين تقليدي (ICE). القيم موضحة في الشكل 10. توضح البيانات اتجاهًا غير منتظم لكل من العدد الإجمالي للمركبات والكمية لكل نوع من المركبات التي تتلقى تخليصًا جمركيًا. ويرجع ذلك على الأرجح إلى التغييرات في رسوم الاستيراد/ التخليص على المركبات نظرًا لأن أنماط المستهلكين تتأثر بشكل كبير بنسب الضرائب والرسوم على السيارات المستوردة [6]، والتي يمكن أن تصل إلى 10000 دينار أردني لسيارة سيدان هجينة قياسية. علاوة على ذلك، قد يُعزى الانخفاض في 2019 و2020 إلى تفشي جائحة كورونا COVID-19.



الشكل 10: المركبات المستلمة من الجمارك بين 2018 و2022

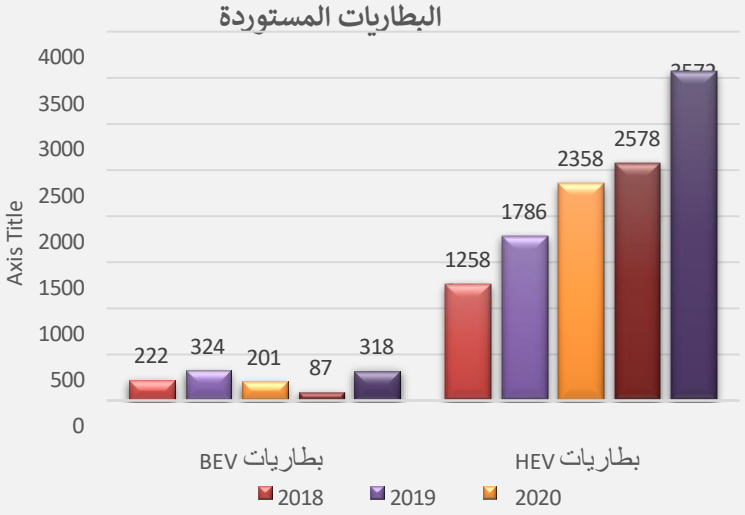
وفي الوقت نفسه، عند النظر عن كثب على النسبة المئوية لكل نوع من المركبات، فإن النسبة المئوية للبطاريات الهجينة كانت دائمًا تتجاوز تلك الخاصة بمركبات البنزين التقليدي ICE والمركبات الكهربائية بالكامل بين عامي 2018 و2021؛ ومع ذلك في عام 2022، انخفض عدد السيارات الهجينة إلى أقل من عدد السيارات الكهربائية بالكامل (أي BEV) و ICE. علاوة على ذلك، ارتفعت نسبة السيارات الكهربائية بشكل كبير في عام 2022 مقارنة بالسنوات السابقة بزيادة قدرها 168.467٪ مقارنة بعام 2021.

[6] المصدر https://www.jordannews.jo/Section-109/News/Electric-cars-market-share-increases-to-34-6-in-Jordan-over-5-years-27319

وفي الوقت نفسه، تم الحصول أيضًا على بيانات حول عدد بطاريات السيارات الكهربائية المستوردة إلى الأردن من دائرة جمارك الزرقاء في الأردن من 2018 إلى 2022[7] يتم استيراد هذه البطاريات إلى الأردن لتكون بمثابة بطاريات بديلة للمركبات العاملة بالفعل. تظهر الأرقام أن الطلب على بطارية HEV أعلى بكثير من الطلب على بطارية BEV.

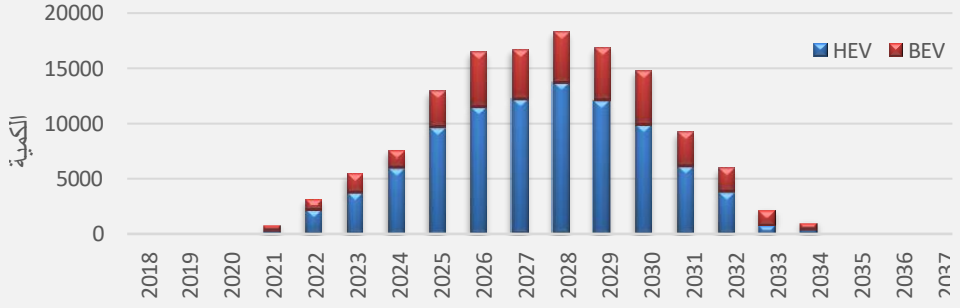
والسبب في ذلك ذو شقين: أولاً، دخلت بطاريات ال BEV السوق الأردني بعد عدة سنوات من السيارات الهجينة. وبالمثل، فقد أظهرت مركبات HEVs أنها الخيار الأكثر شعبية بين المستهلكين الأردنيين في السنوات القليلة الماضية. من المتوقع أن تستمر واردات البطاريات لكل من مركبات HEV وBEV في الزيادة في السنوات القادمة. يوضح الشكل 11 عدد بطاريات HEV وBEV المستوردة سنويًا.

بعد ذلك، باستخدام أعداد مركبات BEVs وHEVs التي تدخل الأردن، يُظهر الشكل 12 توقعات مخزون البطاريات المستهلكة مع الأخذ في الاعتبار أن المركبات مستوردة (وتم تخليصها جمركيا) من 2018 إلى 2022 (بيانات تاريخية).



الشكل 11: بطاريات السيارات الكهربائية المستوردة بين 2018 و2022

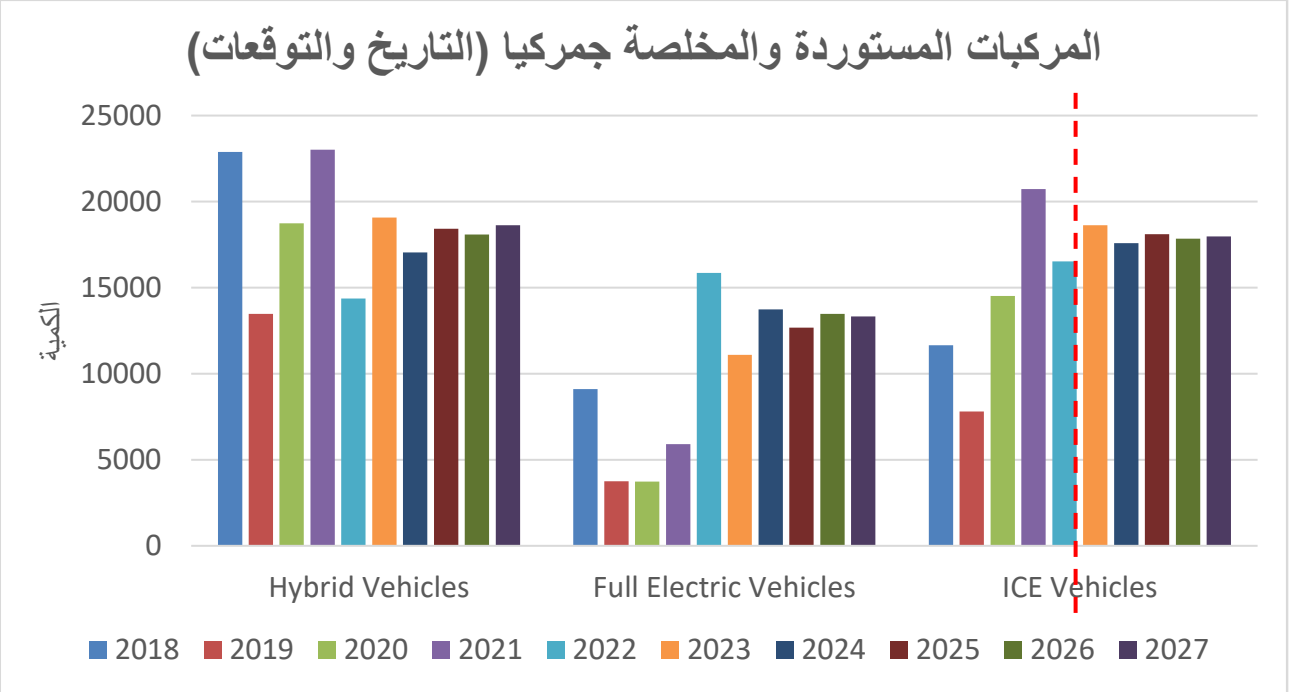
ومع ذلك، في الشكل 12، لا تأخذ التوقعات في الاعتبار المركبات التي تم استيرادها وتخليصها جمركيا بعد عام 2022. وبالتالي، إذا كانت المركبات المستوردة ومُخلصة جمركيا في عام 2023 هي أقدم طراز لعام 2018 مع عمر لا يقل عن 8 سنوات، فإن عدد البطاريات المستهلكة في عام 2026 وما بعده (2027، 2028، إلخ) من المتوقع أن يكون أكبر. نظرًا لأن البطاريات المستهلكة ستكون قيمة تراكمية بسبب دخول السيارات الكهربائية إلى الأردن من السنوات السابقة، وبالتالي ستتكرر هذه الدورة.



الشكل 12: تنبؤات بكميات بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة

7 تمثل هذه الأرقام البطاريات المستوردة التي ربما تكون قد غادرت او لم تغادر المنطقة الحرة في الأردن

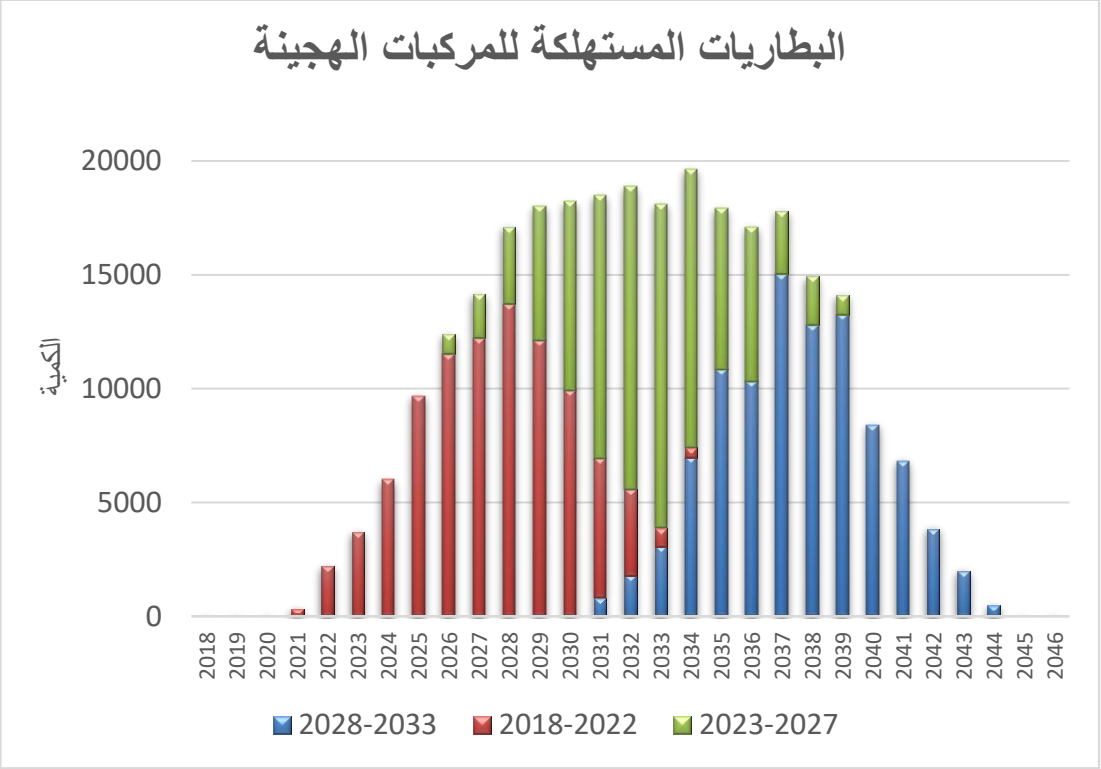
وهكذا، يتم حساب التوقعات الخاصة بالمركبات التي تم تخليصها حسب الطلب وتظهر في الشكل 13. تتبع التوقعات اتجاهًا أكثر اتساقًا وثباتًا. هذا يرجع إلى طريقة توقع المتوسط المتحرك. علاوة على ذلك، لا تأخذ التوقعات في الاعتبار أي تغييرات في الحوافز أو الضرائب أو رسوم الاستيراد، والتي يُتصور أنها تساهم بشكل رئيسي في التقلبات في عدد المركبات المستوردة / المجمركة. على الرغم من أن هذا قد لا يمثل الحالة الحقيقية، إلا أن هناك حاجة إلى مثل هذا الاتجاه الثابت وغير المتقلب من أجل إدارة قوية وفعالة من حيث التكلفة لنهاية عمر بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة. ويرجع ذلك إلى حجم السعة ومعدل المعالجة المتوقع المطلوب لكل استراتيجية نهاية عمر.



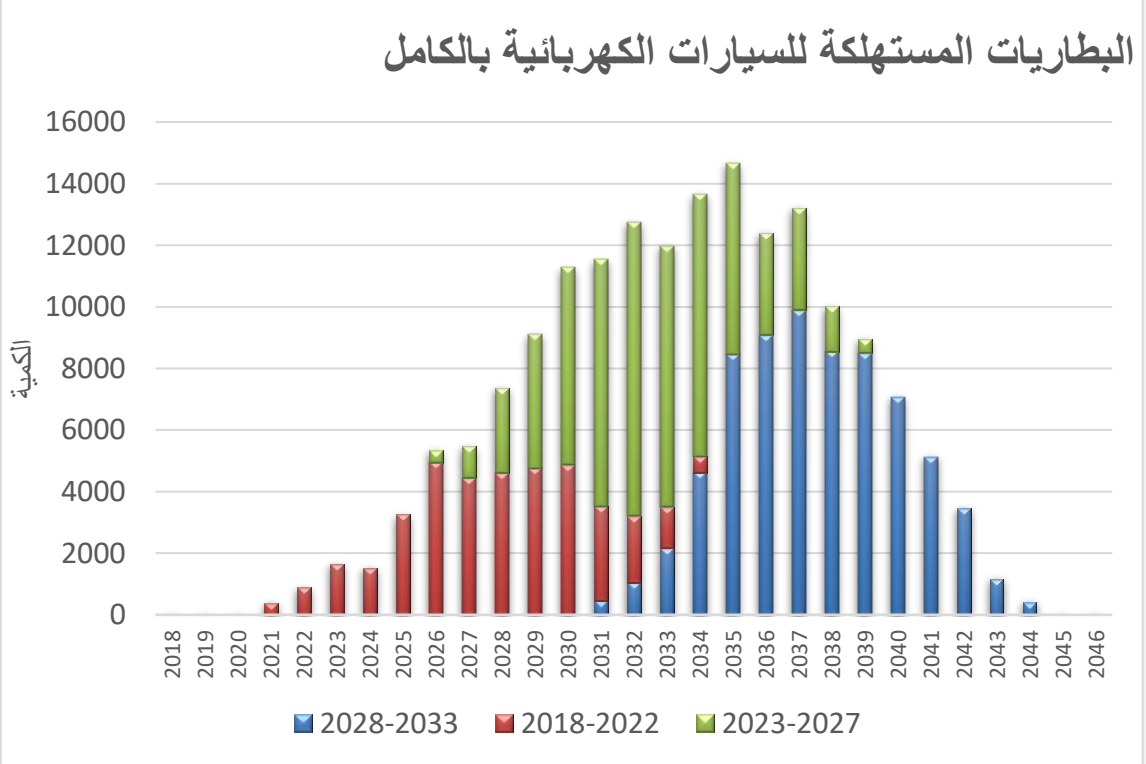
الشكل 13: توقعات بكميات المركبات التي ستدخل من 2023 إلى 2027

وبناءً على ذلك، فإن تقدير عدد المركبات التي سيتم تخليصها من قبل الجمارك من عام 2023 إلى 2033 يضاف إلى توقعات مخزون البطاريات المستهلكة في الأردن. تظهر التوقعات في الشكل 14حيث تمثل الأشرطة البرتقالية عدد البطاريات المستهلكة بناءً على القيم الفعلية للسيارات الكهربائية في الأردن. ويعكس العمودان الرمادي والأزرق دورتين مدتهما 5 سنوات لتوقعات بطاريات السيارات الكهربائية الداخلة الى أسطول النقل الأردني. مرة أخرى، مثل الشكل 12، لوحظ انخفاض بعد عام 2037 حيث تم النظر في توقعات كميات السيارة الكهربائية فقط حتى عام 2033. وبناءً على ذلك، فإن فترة التوقف المستخدمة في التحليل لبقية الدراسة ستكون فقط حتى2037 [8].

8 لا تستند الفترة المرجعية إلى حالة الثبات، بل على نقطة الانعطاف قبل انخفاض كمية البطارية المستهلكة. هذا الانخفاض لا يمثل النمط العملي الذي تخضع له المركبات الكهربائية المستهلكة، وهو فقط بسبب انتهاء دورة توقع كميات المركبات الكهربائية التي تم تخليصها. ينتج عن هذا فترة تحليل مدتها 17 عامًا سيتم استخدامها في بقية الدراسة.



(أ) المركبات الهجينة



(ب) المركبات الكهربائية بالكامل

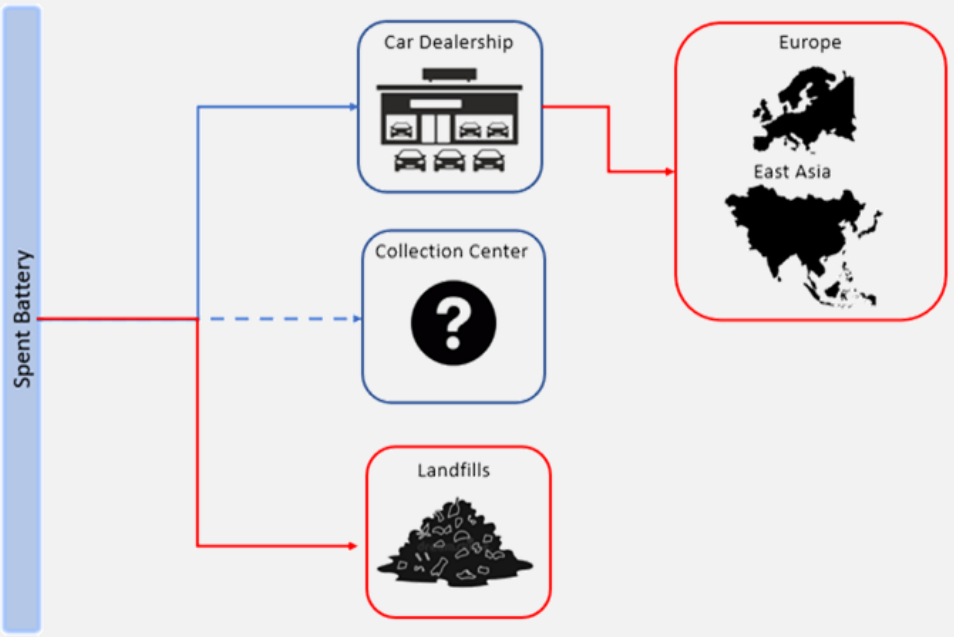
الشكل 14: توقعات بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة من المركبات التي تم تخليصها جمركيا بين 2018 و2033

4.2 تحليل السيناريوهات

إذا تم تنفيذ استراتيجيات نهاية العمر بطريقة متينة ومستدامة، فيمكن تحقيق استرداد القيمة وإطالة عمر البطاريات. وهذا بدوره سيوفر لمالكي السيارات الكهربائية الأردنيين بدائل ميسورة التكلفة للبطاريات ويزيد من استدامة دورة حياة السيارات الكهربائية في الأردن ويفتح تدفقًا للإيرادات سيؤدي إلى خلق وظائف صديقة للبيئة.

4.2.1 السيناريو 0: الوضع الحالي

في السيناريو 0، تم تمثيل الوضع الحالي للأردن (انظر الشكل 15). في هذا السيناريو، يمكن إعادة البطاريات إلى وكالة السيارات (والتي بدورها تقوم بتصديرها خارج الأردن) أو إرسالها إلى مكبات النفايات أو مراكز التجميع.



الشكل 15: تراكم نفايات البطارية المستهلكة في الأردن - السيناريو 0

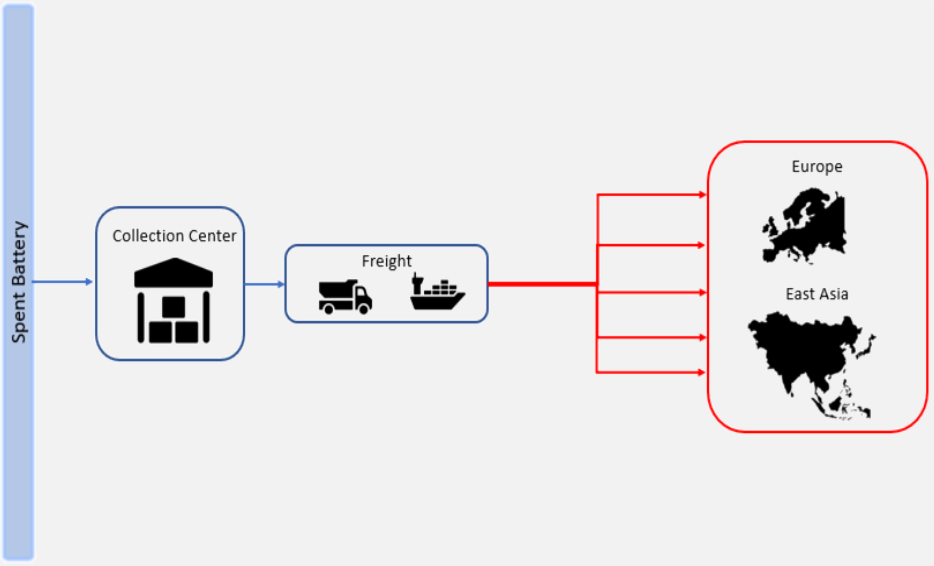
يمكن أن يوفر مثل هذا السيناريو فوائد في توحيد مسارات البطاريات المستهلكة وخلق فرص لتحديد إدارة نهاية عمر أكثر استدامة. ومع ذلك، فإن هذه الأساليب تواجه تحديات. أولاً، يمكن أن يكون تحمل مسؤولية إدارة البطاريات المستهلكة من قبل الوكالة لعملائها استراتيجية مهمة للغاية في تقليل نفايات البطاريات المتراكمة في الأردن. ومع ذلك، لا يعتمد جميع مالكي المركبات على وكالتهم؛ وبالتالي فإن عودة البطارية المستهلكة إلى الوكالة غير مضمونة. علاوة على ذلك، بناءً على المقابلات مع ممثلي القطاعين الخاص والعام، لا يوجد حاليًا أي طريقة تتبع أو متابعة من قبل القطاع العام للتأكد من أن الوكلاء يتحملون المسؤولية عن البطاريات المستهلكة.

وفي الوقت نفسه، فيما يتعلق بالتخلص في مدافن النفايات، هناك نقص في مواقع التخلص المخصصة لبطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة. حاليًا، يتم إرسال بطاريات السيارات الكهربائية إلى موقع التخلص من النفايات الخطرة في مكب سواقة. وهذا يجعل إعادة البطاريات المستهلكة وتتبعها أمرًا صعبًا وغير موثوق به. علاوة على ذلك، فإن اللوائح الخاصة بالالتزام بالتخلص السليم من البطاريات في هذا المكب ليست مكتملة. أخيرًا، في حالة إرسال البطاريات إلى المراكز المخصصة لتجميع بطاريات السيارات الكهربائية، يمكن إرسال البطاريات المستهلكة إما عن طريق مالك السيارة الكهربائية مباشرة أو عن طريق الميكانيكي. لكي يكون هذا المسار مستدامًا، يجب تطوير استراتيجية لإدارة البطاريات بعد وصولها إلى مراكز التجميع.

العامل	احتياجات مستهلكي المركبات الكهربائية	إمكانية الحد من النفايات	التكلفة	إمكانية الايرادات	الأثر البيئي	التعقيد	إمكانية الوظائف الخضراء
الدرجة	-3	-3	-1	0	0	+1	0

4.2.2 السيناريو 1

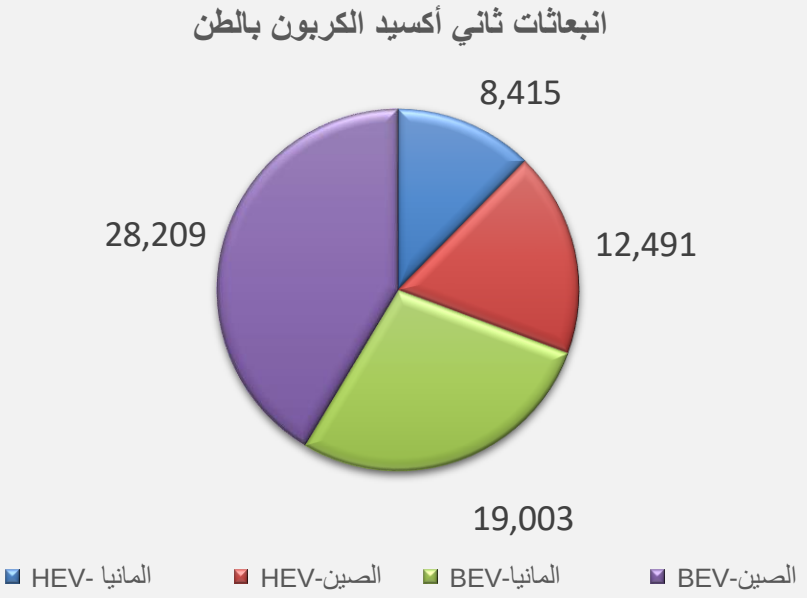
في السيناريو التالي، يتم جمع بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة وإرسالها إلى مركز تجميع، وبعد ذلك يتولى القطاع العام مسؤولية تصدير البطاريات المستهلكة إلى بلدان أخرى لإدارة نهاية العمر (انظر الشكل 16). تم اقتراح هذا السيناريو من قبل العديد من أصحاب المصلحة في القطاع العام كحل محتمل للأردن للتعامل مع نفايات البطاريات المستهلكة.



الشكل 16: تصدير البطاريات المستهلكة من قبل القطاع العام - السيناريو 1

الميزة التي يوفرها هذا السيناريو هي أنه يتم تقليل تكلفة التخزين في مراكز التجميع. علاوة على ذلك، يمكن توليد تدفق الإيرادات من بيع هذه البطاريات المستهلكة. وفي الوقت نفسه، فإن عيوب هذا السيناريو هي كما يلي. أولاً، يمكن أن يشكل نقل مثل هذه المواد الخطرة لمسافات طويلة مصدر قلق للسلامة. أيضًا، لا يتم تقديم حل مستدام لأصحاب السيارات الكهربائية عند السعي لاستبدال بطارياتهم المستهلكة.

التكلفة والأثر البيئي (الانبعاث) من الاضطرار إلى تصدير البطاريات المستهلكة واستيراد بطارية بديلة مرتفعة للغاية. باستخدام توقعات البطارية المستهلكة، تم احتساب التكلفة والأثر البيئي لشحن البطاريات المستهلكة خارج الأردن. من المفترض أن يتم شحن البطاريات المستهلكة إما إلى ألمانيا أو الصين (مقسمة 50/50) حيث يجري تطوير أسواق جديدة لبطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة بشكل استباقي. علاوة على ذلك، بافتراض أن متوسط وزن بطارية HEV هو 125 كجم ومتوسط وزن بطارية BEV هو 475 كجم، وبافتراض أن 140 جرامًا من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون يتم توليدها لكل طن - كيلومتر [9]، فإن نتائج إجمالي الانبعاثات للحالة المفترضة من 2021 إلى 2077 موضحة في الشكل 17. مع ضرب إجمالي الانبعاثات في 2 لحساب استيراد البطاريات البديلة لأصحاب السيارات الكهربائية الأردنية، فتبلغ قيمة الانبعاثات 8013 طنًا من ثاني أكسيد الكربون سنويًا في المتوسط.

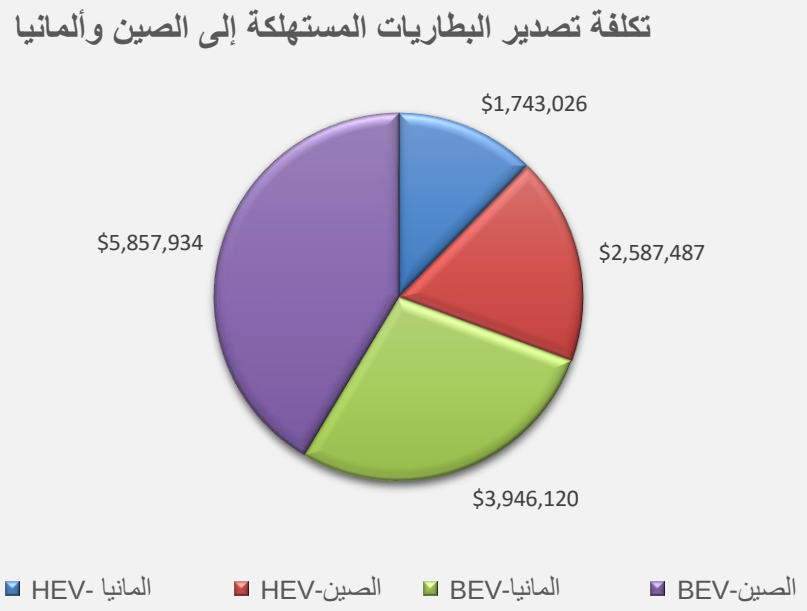


الشكل 17: الانبعاثات من تصدير البطاريات المستهلكة للمعالجة عند نهاية العمر

بعد ذلك، يتم حساب تكلفة الشحن باستخدام متوسط تكلفة الكيلومتر 0.58 دولار. علاوة على ذلك، يبلغ الحد الأقصى للحمولة التي يمكن أن تحملها الشاحنة 22 طنًا [10]. بطاريات HEV ستكون 160 بطارية لكل رحلة وبالنسبة للبطاريات BEV ستكون 42 بطارية لكل رحلة. ينتج عن هذا متوسط تكلفة يبلغ 831،445 دولارًا أمريكيًا في السنة (14،134،656 دولارًا أمريكيًا لفترة التحليل التي تبلغ 17 عامًا). يوضح الشكل 18 توزيع التكلفة للقاعدة المفترضة.

[9] eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/specific-co2-emissions-per-tonne-2#tab-chart_1

[10] https://della.eu/cost/w1/https:/www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/specific-co2-emissions-per-tonne-2/#tab-chart_1



الشكل 18: تكلفة تصدير بطاريات منتهية العمر للمعالجة

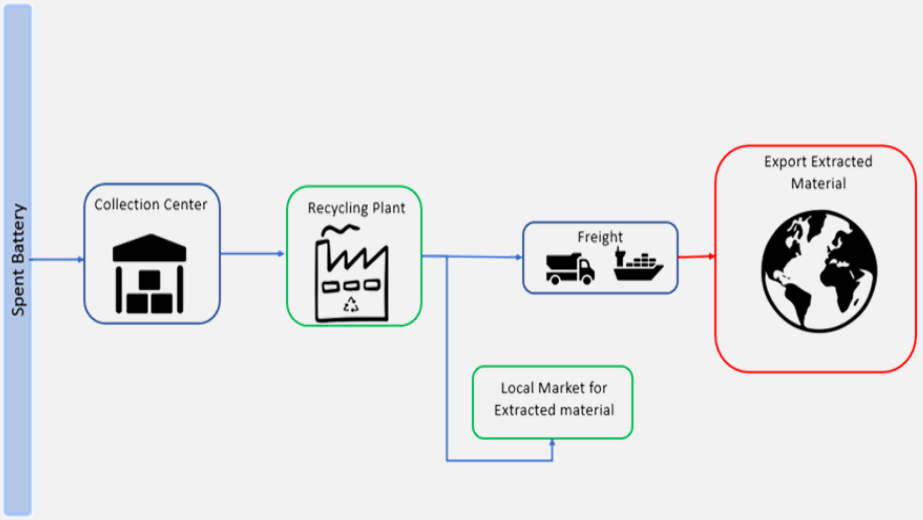
بافتراض أن قيمة الخردة لبطاريات الليثيوم أيون حوالي 110.23 دولار / طن [11]، فإن الإيرادات التي يمكن جنيها من بيع جميع بطاريات الليثيوم أيون المستهلكة في الأردن هي 10309.047 دولارًا على مدار 17 عامًا فترة التحليل، أو 606.415 دولارًا سنويًا. هذا يدل على أن تكلفة الشحن أكبر من الإيرادات من خردة الليثيوم المباعة، وبالتالي، هذا ليس خيارًا اقتصاديًا. علاوة على ذلك، لا يزال مالكو السيارات الأردنيون يواجهون تحديات تتعلق باحتياجات استبدال بطارية السيارة.

العامل	احتياجات مستهلكي المركبات الكهربائية	إمكانية الحد من النفايات	التكلفة	إمكانية الايرادات	الأثر البيئي	التعقيد	إمكانية الوظائف الخضراء
الدرجة	-1	0	-1	-1	-2	0	0

4.2.3 السيناريو 2

السيناريو الثاني هو فتح مصنع إعادة تدوير في الأردن (انظر الشكل 19) حيث يتم إعادة تدوير البطاريات المستهلكة ويتم استرداد المواد مثل النيكل والليثيوم والكوبالت وما إلى ذلك. يمكن بيع المواد المسترجعة محليًا أو تصديرها.

[11] https://www.batterypoweronline.com/markets/batteries/is-it-time-for-a-lithium-ion-recycling-revolution/



الشكل 19: افتتاح مصنع إعادة تدوير في الأردن - سيناريو 2

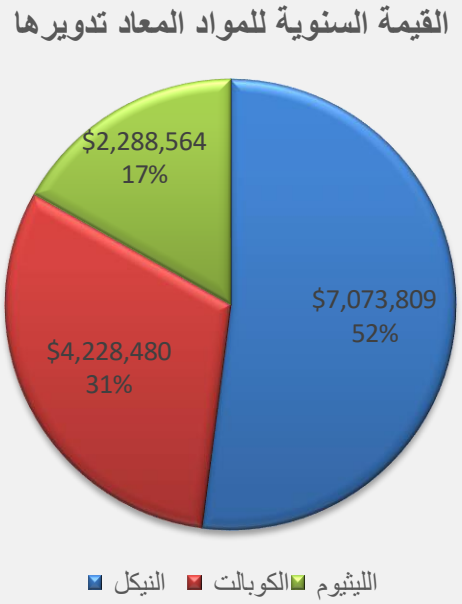
تأتي فائدة هذا السيناريو من تقليل النفايات واسترداد قيمة البطاريات. من المتوقع أن تكون القيمة الاقتصادية للمواد المستخرجة من خلال إعادة تدوير البطاريات كبيرة ويتم تقديرها على النحو التالي. أولاً، تم عمل افتراضات في حساب القيمة الاقتصادية للمادة المعاد تدويرها. من المفترض أن البطاريات المستهلكة هي بطاريات ليثيوم أيون التي لها النسبة المئوية للتركيب والتكلفة المبينة في الجدول 1. كفاءة عملية إعادة التدوير 65٪. مرة أخرى، يبلغ متوسط وزن بطارية HEV 125 كجم، وبطارية BEV 475 كجم.

الجدول 1: تركيبة مواد بطارية أيونات الليثيوم وتكاليف الوحدة

المادة	من وزن البطارية [12] %	التكلفة لكل طن [13]
النيكل	15.7%	$12,600
الكوبالت	4.3%	$27,500
الليثيوم	3.2%	$20,000

تظهر النتائج أنه خلال فترة التحليل التي تبلغ 17 عامًا، تبلغ الإيرادات الاقتصادية المحتملة 231،044،502 دولارًا. وفي الوقت نفسه، يظهر متوسط القيمة الاقتصادية السنوية لكل مادة في الشكل 20، بمتوسط سنوي قدره 13،590،853 دولارًا. إذا تم تصدير هذه المواد المعاد تدويرها إلى الشركات المصنعة للبطاريات، فسيؤدي ذلك إلى تحفيز النشاط الاقتصادي المحلي الذي يمكن أن يؤدي إلى خلق فرص عمل وتدفق عائدات كبيرة للأردن.

[12] https://elements.visualcapitalist.com/the-key-minerals-in-an-electric vehicle-battery/
[13] تم الافتراض بناءً على مصادر متعددة عبر الإنترنت



الشكل 20: القيمة الاقتصادية للمواد المعاد تدويرها

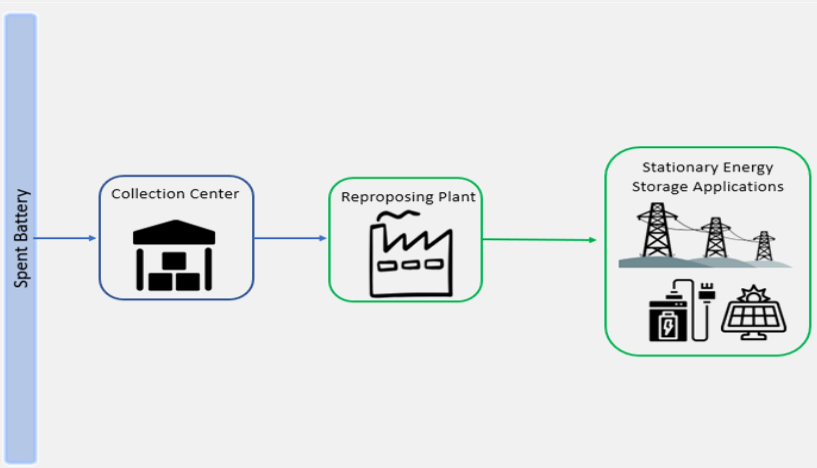
على الرغم من تدفق الإيرادات الواعد، فإن العيب الرئيسي لهذا السيناريو هو أن عملية إعادة التدوير تبدو مكلفة للغاية، وقد لا تكون قيمة المواد المستخرجة كبيرة بما يكفي لتبرير تكاليف رأس المال. وبالتالي، من المتوقع وجود هامش ربح منخفض لاستراتيجية نهاية العمر هذه.

علاوة على ذلك، وبالنظر إلى المخزون الضئيل نسبيًا من البطاريات المستهلكة في الأردن مقارنة بالدول الأخرى، فإن المنافسة في هذه الصناعة ستكون صعبة. أخيرًا، لم يتم تناول التحديات التي يواجهها مالكو السيارات الكهربائية الأردنيون في العثور على بطاريات بديلة عالية الجودة وبأسعار معقولة في هذه الإستراتيجية.

العامل	احتياجات مستهلكي المركبات الكهربائية	إمكانية الحد من النفايات	التكلفة	إمكانية الايرادات	الأثر البيئي	التعقيد	إمكانية الوظائف الخضراء
الدرجة	0	+2	-3	+3	+2	-3	+2

4.2.4 السيناريو 3

بالنسبة للسيناريو 3، يتم إرسال البطاريات المستهلكة من مركز التجميع إلى مصنع إعادة التخصيص (انظر الشكل 21)، حيث يتم تحضير البطاريات لاستخدامات أخرى (مثل موازنة الحمل في الشبكة). هذا السيناريو مفيد لأنه يطيل عمر البطارية. علاوة على ذلك، فهو يدر دخلاً من الإيرادات بالنظر إلى الشعبية المرتفعة للألواح الشمسية في الأردن.



الشكل 21: افتتاح مصنع إعادة تخصيص في الأردن - سيناريو 3

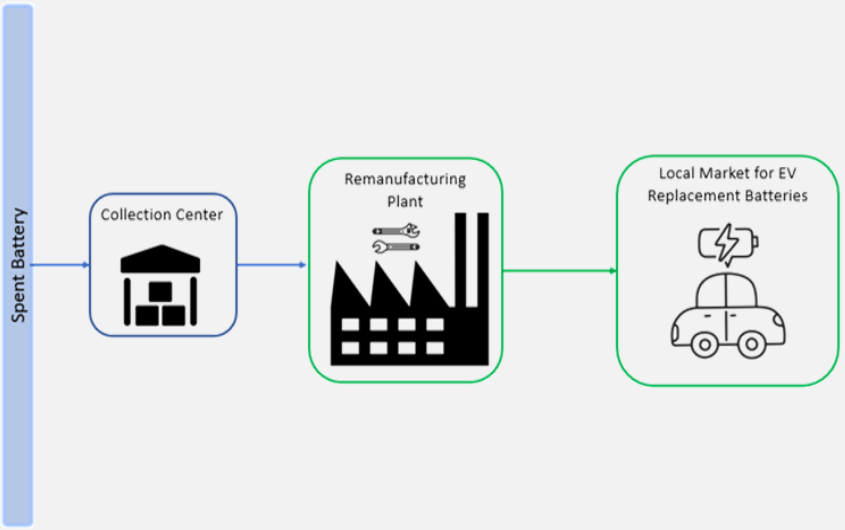
في الأردن، يأتي 29٪ من الطاقة في الأردن من الطاقة المتجددة (أي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) ومن المتوقع أن تنمو إلى 50٪ بحلول عام 2030. يفتقر الأردن إلى السعة التخزينية حيث تبلغ القدرة الكهربائية حوالي 6500 ميجاوات، بينما يبلغ الاستهلاك بمعدل 3500 ميغاواط خلال أيام البرودة الشديدة والحرارة الشديدة. يمكن حل تحديات الطاقة المتجددة الزائدة باستخدام سعة التخزين؛ ومع ذلك، يعد هذا مكلفًا للغاية نظرًا لارتفاع تكلفة بطاريات التخزين. لحسن الحظ، يمكن أن تكون بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة حلاً فعالاً من حيث التكلفة لهذا التحدي.

إذا كان سيتم فتح مصنع لإعادة التخصيص في الأردن، يتم احتساب الإيرادات المحتملة وفقًا لما يلي: متوسط السعة لكل كيلوغرام من BEV هو 0.155 كيلو واط ساعة / كجم و0.08 كيلو واط ساعة / كجم ل HEV. وفي الوقت نفسه، فإن الربح المتوقع لكل بطارية معاد تصنيعها يتراوح بين 36-96 دولارًا / كيلوواط ساعة. إذا كان من الممكن إعادة تخصيص 50٪ من البطاريات في الأردن، فسيؤدي ذلك إلى تدفق إيرادات محتمل للأردن بقيمة 592،826،527 دولارًا على مدى 17 عامًا من فترة التحليل (أو 34،872،149 دولارًا سنويًا) وفقًا للنمذجة الاقتصادية.
في ظل سيناريو إعادة التخصيص، فإن الاستثمارات الكبيرة في البحث والتطوير بالإضافة إلى عمليات المعالجة والاختبار مطلوبة ويجب توفيرها. علاوة على ذلك، يجب وضع استراتيجية لمحطات توليد الكهرباء للحصول على التمويل اللازم لشراء ومعالجة هذه البطاريات المعاد استخدامها. وفي الوقت نفسه، من وجهة نظر عملاء المركبات الكهربائية الذين يحتاجون إلى استبدال بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة، لا يوفر هذا السيناريو خيارات استبدال محلية إضافية.

العامل	احتياجات مستهلكي المركبات الكهربائية	إمكانية الحد من النفايات	التكلفة	إمكانية الايرادات	الأثر البيئي	التعقيد	إمكانية الوظائف الخضراء
الدرجة	-1	+1	-1	+1	+3	-1	+1

4.2.5 السيناريو 4

أخيرًا، في السيناريو 4 يتم إرسال البطاريات المستهلكة المجمعة إلى منشأة إعادة التصنيع للمعالجة (انظر الشكل 22). يتم إعادة تصنيع البطاريات إلى مستوى يجعلها مناسبة لاستخدامات السيارات. ستساعد مثل هذه الاستراتيجية مالكي السيارات الكهربائية على الحصول على بطاريات بديلة من مصادر محلية. علاوة على ذلك، ستساعد إعادة التصنيع في تقليل تراكم نفايات البطاريات المستهلكة في الأردن مع تجنب الحاجة إلى تصدير البطاريات المستهلكة منتهية العمر للمعالجة.

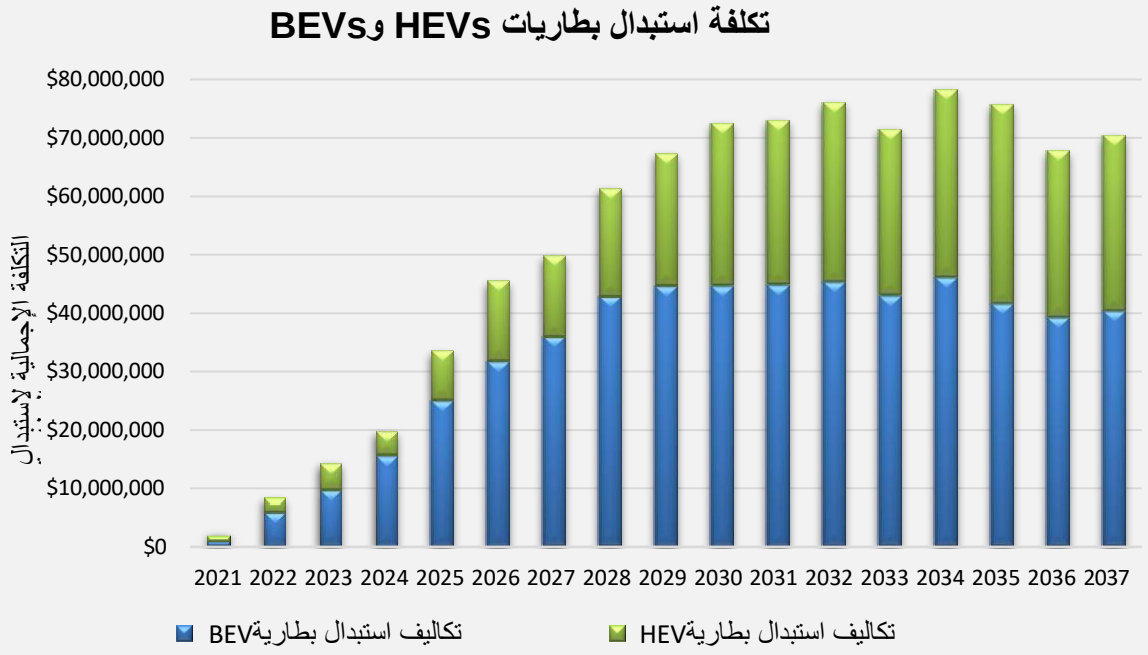


الشكل 22: افتتاح مصنع إعادة تصنيع في الأردن - سيناريو 4

التحديات التي تواجه إعادة التصنيع هي الاستثمار المالي الكبير لمثل هذه الاستراتيجية، والوصول إلى الخبرة الفنية والموارد اللازمة لمثل هذا المسعى. ومع ذلك، من المتوقع أن توفر إعادة التصنيع مصدر دخل كبير للأردن يبرر الاستثمار المطلوب.

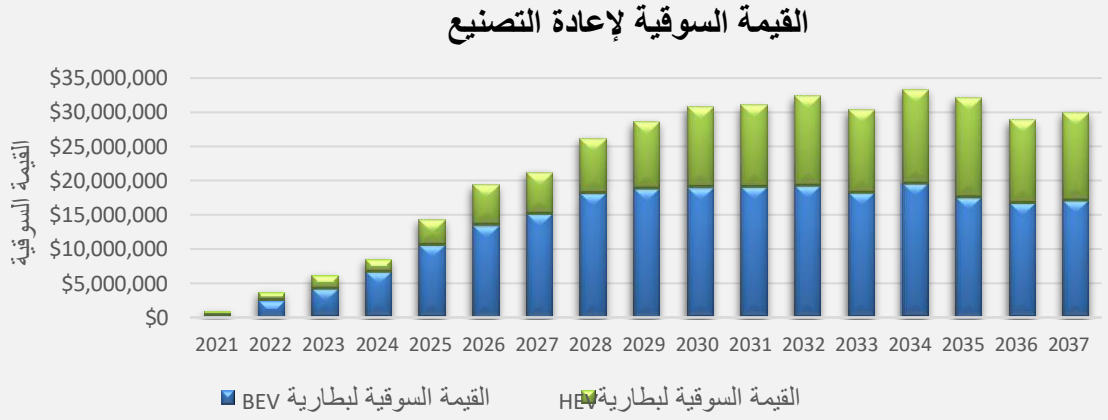
وفقًا لذلك، يتم تقريب القيمة السوقية لإعادة التصنيع/ الإيرادات المحتملة. أولاً، تُقدّر التكلفة المتوقعة لمالكي السيارات الكهربائية الأردنيين لاستبدال بطارياتهم في نهاية العمر الافتراضي. بعد ذلك، يجب تقدير تكلفة البطارية البديلة. بالنظر إلى الأنواع المختلفة من HEVsوBEVs، يمكن أن تختلف سعة البطاريات وتكاليفها اختلافًا كبيرًا.

بالنسبة لمركباتHEV ، يُفترض أن تتراوح تكلفة بطارية HEV البديلة بين 1000 دولار و5000 دولار مع قيمة مرجحة تبلغ 2000 دولار. وفي الوقت نفسه، يُفترض أن تتراوح تكلفة بطارية استبدال BEV بين 2000 دولار و20000 دولار مع قيمة مرجحة تبلغ 4500 دولار. أخيرًا، يُفترض حدوث انخفاض بنسبة 1٪ سنويًا في تكلفة البطارية. وبناءً على ذلك، فإن تكاليف استبدال بطارية السيارة الكهربائية اللازمة لدعم أسطول السيارات الكهربائية في الأردن كل عام موضحة في الشكل 23. وينتج عن ذلك قيمة اقتصادية إجمالية للبطاريات البديلة المطلوبة تبلغ 885،067،712 دولارًا أمريكيًا خلال فترة التحليل البالغة 17 عامًا (أو 52،062،807 دولارًا أمريكيًا سنويًا).



الشكل 23: تكاليف استبدال بطارية السيارة الكهربائية

بعد ذلك، يتم احتساب القيمة السوقية في الأردن على النحو التالي. أولاً، يُفترض أن 85٪ من البطاريات المستهلكة مناسبة لإعادة الاستخدام في السيارات بينما يُفترض أن الـ 15٪ المتبقية من البطاريات المستهلكة قد تعرضت للتلف بحيث يتعذر إصلاحها [14]. علاوة على ذلك، لدعم مالكي السيارات الكهربائية الأردنيين من خلال توفير بديل للبطارية بأسعار معقولة، من المقرر أن يكون سعر بيع البطاريات 50 في المائة من تكلفة البطارية المستوردة. وعليه، فإن القيمة السوقية للبطاريات المعاد تصنيعها في الأردن من 2021 إلى 2022 مبينة في الشكل 24.



الشكل 24: احتمالية الايرادات على إعادة تصنيع البطاريات المستهلكة

[14] https://chargedevs.com/newswire/used-li-ion-batteries--repurpose-or- recycle/#:~:text=According%20to%20a%20new%20report,repurposing%2C%20and%20recycling%20efforts.%E2%80%9D

كما يتضح من الرقم، تبلغ الإيرادات المحتملة من بيع البطاريات المعاد تصنيعها لاستخدامات السيارات الكهربائية 376.153.778 دولارًا أمريكيًا خلال فترة التحليل التي تبلغ 17 عامًا (أو 22.126.692.81 دولارًا أمريكيًا سنويًا). وبالتالي، نتج عن ذلك استيعاب 42.5٪ من تكاليف استبدال بطارية السيارة الكهربائية في الاقتصاد الأردني.

من الأهمية بمكان أن نلاحظ أنه لكي يكون مثل هذا المشروع ناجحًا، فإن التوافر الثابت والمتوقع للبطاريات المستهلكة مطلوب وكذلك حجم الطلب على البطاريات البديلة. وذلك لأن الاستثمارات الرأسمالية ستكون كبيرة وتتطلب تدفقًا ثابتًا للطلب من أجل التشغيل المستدام. بالنسبة للأردن، فإن أكبر تهديد لتحقيق هذا الاستقرار والتدفق الثابت هو تغير الضرائب والرسوم الجمركية والاقتطاعات لمختلف أنواع المركبات المستوردة.

العامل	احتياجات مستهلكي المركبات الكهربائية	إمكانية الحد من النفايات	التكلفة	إمكانية الايرادات	الأثر البيئي	التعقيد	إمكانية الوظائف الخضراء
الدرجة	+3	+2	-2	+3	+3	-2	+3

4.3 مقارنة السيناريوهات

تتم مقارنة الدرجات والإيرادات المحتملة للسيناريوهات المختلفة جنبًا إلى جنب لتوفير تمثيل شامل لممارسات إدارة نهاية العمر المختلفة (انظر الجدولين 2 و3). تتمثل أكبر الفوائد في إعادة التدوير وإعادة التصنيع وإعادة تخصيص بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة في الأردن. ومع ذلك، توجد مفاضلات حتى بين هذه السيناريوهات. بالتالي من المتوقع أن السيناريو المثالي الذي سيحصد أكبر الفوائد هو السيناريو الذي يأخذ في الاعتبار جميع مسارات نهاية العمر المحتملة لبطارية السيارة الكهربائية المستهلكة.

الجدول 2: ملخص لمقارنة المعايير لمختلف استراتيجيات نهاية العمر

السيناريو	احتمالية الإيرادات
1: تصدير البطاريات المستهلكة	$606,415
2: إعادة التدوير	$13,590,853
3: إعادة التخصيص	$21,577,142
4: إعادة التصنيع	$22,126,692

يتم إجراء تحليل SWOT (نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات) لتقييم الجدوى وتقديم توصيات للبنية التحتية المقترحة لنهاية العمر. يظهر تحليل SWOT في الشكل 25. بشكل عام، تتمثل الميزة الرئيسية لإعادة التصنيع وإعادة التخصيص وإعادة التدوير في عدم وجود منافس حالي في الأردن والسوق متاح لهذه العمليات بشكل كبير جدًا. سيؤدي النشر الناجح لإستراتيجيات نهاية العمر هذه إلى تقليل المخلفات الإلكترونية الخطرة وإفادة المستهلكين وتوفير تدفق عالي للإيرادات وخلق فرص العمل. ومع ذلك، فإن إعادة التصنيع وإعادة التخصيص وإعادة التدوير تتطلب عمليات معقدة وعالية التقنية. وفي الوقت نفسه، يعتمد نجاح استراتيجيات نهاية العمر هذه بشكل كبير على استقرار تدفق السيارات الكهربائية المستوردة وموازنة العرض والطلب التي تتأثر بشكل كبير بالتكنولوجيا والسياسة وظروف السوق سريعة التغير.

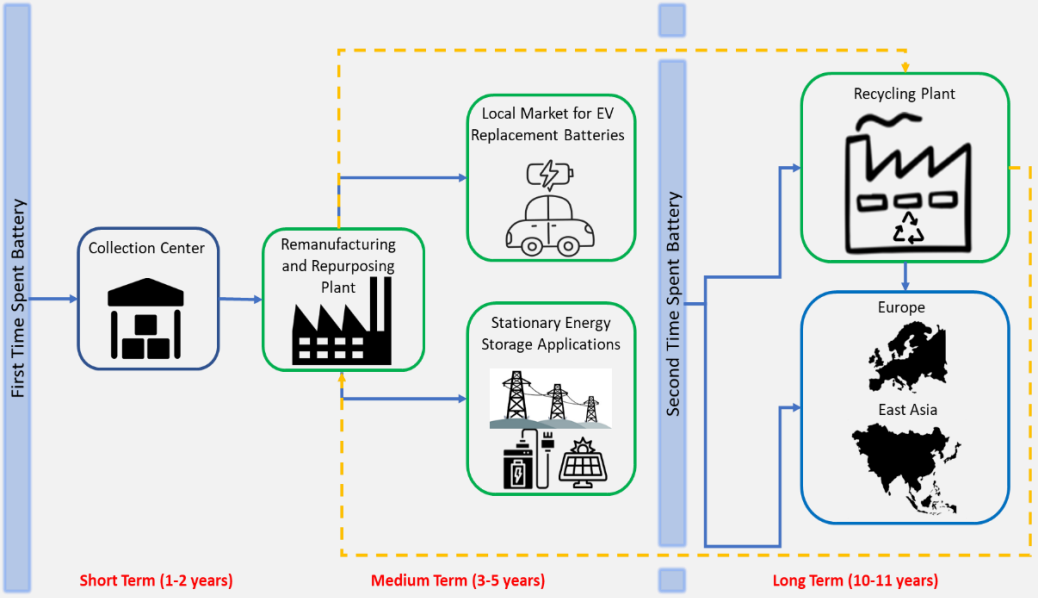
الشكل 25: تحليل **SWOT** للبنية التحتية الموصى بها

	السيناريو	احتياجات مستهلكي السيارات الكهربائية	إمكانية الحد من/ تخفيف النفايات	التكلفة	احتمالية الايرادات	الأثر البيئي	التعقيد	إمكانية الوظائف الخضراء
0	التخلص	-3	-3	-1	0	0	+1	0
1	التصدير	-1	0	-1	-1	-2	0	0
2	إعادة التدوير	0	+2	-3	+1	+2	-3	+2
3	إعادة التخصيص	-1	+1	-1	+3	+3	-1	+1
4	إعادة التصنيع	+3	+2	-2	+3	+3	-2	+3

الجدول 3: ملخص الإيرادات المحتملة لمختلف استراتيجيات نهاية العمر في الأردن

5. النتائج والتوصيات

5.1 المسار المحتمل لنظام بيئي مستدام لنهاية عمر البطاريات في الأردن



الشكل 26: البنية التحتية الموصى بها للأردن

يتم عرض البنية التحتية المقترحة لإدارة نهاية عمر بطارية السيارة الكهربائية في الشكل 26 ويتم تلخيصها على النحو التالي. على المدى القصير (1-2 سنوات)، هناك حاجة ماسة لتدريب وتثقيف مالكي السيارات الكهربائية، وميكانيكي السيارات الكهربائية، وأصحاب المصلحة في القطاع الخاص حول أفضل الممارسات المستدامة لبطاريات السيارات الكهربائية والتعامل السليم معها في نهاية العمر. في أثناء ذلك، من الضروري فتح مراكز تجميع البطاريات المستهلكة في الأردن. علاوة على ذلك، يجب وضع السياسات واللوائح المدعومة من خلال نظام الحوافز من قبل الحكومة لتشجيع التخلص السليم من بطاريات السيارات الكهربائية.

بعد ذلك، على المدى المتوسط (3-5 سنوات)، يمكن أن تتضمن الإستراتيجية المستدامة لنهاية عمر البطاريات في الأردن إنشاء مصنع لإعادة التصنيع وإعادة التخصيص. يوصى بأن يكون التركيز الأساسي للمصنع على إنتاج بطاريات بديلة لأصحاب السيارات الكهربائية. وفي الوقت نفسه، يمكن إعادة تخصيص استخدام البطاريات التي لا يمكن ارجاعها إلى مستوى جودة مقبول في السيارات بحيث تستخدم لأغراض تخزين الطاقة الثابتة.

أخيرًا، على المدى الطويل (10-11 عامًا) مع وصول البطاريات المُعاد تصنيعها إلى نهاية عمرها (نهاية العمر "الثاني" للبطارية)، يوصى بإعادة تدويرها أو شحنها إلى بلدان أخرى لمعالجتها. وبالتالي، ستكون هناك حاجة إلى مرفق إعادة التدوير. وفي الوقت نفسه، لا يمكن لمصنع إعادة التدوير أيضًا استلام البطاريات في "نهاية الحياة" الثانية واستلام الخردة من مركز إعادة التصنيع. وفي الوقت نفسه، المواد المسترجعة من مصنع إعادة التدوير يتم إعادة استخدامها من قبل منشأة إعادة التصنيع أو يتم تصديرها.

الهدف طويل المدى هو الابتعاد عن جهود التجديد الفردية والتحرك نحو عمليات إعادة التصنيع الموحدة والخاضعة للتحكم في الجودة. علاوة على ذلك، فإن افتتاح مصنع لإعادة التصنيع يحمل إمكانية خلق وظائف خضراء تماشياً مع رؤية الحكومة الأردنية لتحديث الاقتصاد 2033. ويمكن أن تكون هذه الوظائف في مراحل متعددة في سلسلة التوريد (مثل مراكز التجميع، ومرافق إعادة التصنيع، والمبيعات، وما إلى ذلك). بالنسبة لمصنع إعادة التصنيع، يتم تقدير القيمة الاقتصادية التي يمكن تخصيصها لهذه الوظائف وفقًا للافتراضات التالية: أولاً، يفترض أن يكون متوسط هامش الربح السنوي 10.5٪. بعد ذلك، باستخدام تقديرات القيمة السوقية المذكورة أعلاه وهامش الربح المفترض، تم افتراض إجمالي تكاليف إعادة التصنيع. بالنظر إلى أن تكاليف العمالة تمثل 30 ٪ من إجمالي تكاليف التصنيع. على مدار فترة التحليل التي استمرت 17 عامًا، بلغت القيمة الاقتصادية 100،997،289 دولارًا أمريكيًا أو متوسطها 5،941،017 دولارًا أمريكيًا في السنة. يظهر التوزيع السنوي للوظائف الخضراء في الشكل 27.

الشكل 27: مخصصات الوظائف الخضراء لإعادة التصنيع

5.2 التوصيات

توصيات لاستخدام السيارة الكهربائية وايرادات بطاريات السيارات الكهربائية المستهلكة:

- يجب تثقيف مالكي السيارات الكهربائية بشروط الاستخدام المثلى لمركباتهم الكهربائية لتجنب انتهاء عمر بطارياتهم قبل الأوان، وكذلك بشأن طرق التخلص المناسبة من البطاريات عند نهاية العمر.
- بالنسبة لمحلات الميكانيكيين التي تعمل على المركبات الكهربائية، فإن التدريب المهني على وجه التحديد على استبدال البطاريات وإصلاحها ضروري حتى يتم تمديد العمر إلى أقصى حد ومراعاة اعتبارات السلامة فيما يتعلق بالتفكيك المناسب للبطاريات. وعلى مستوى السياسات، يجب أن يُطلب من ميكانيكيي السيارات الكهربائية الذين يعملون على البطارية الحصول على ترخيص للعمل على بطارية السيارة الكهربائية. يجب إصدار هذا الترخيص للميكانيكيين الذين خضعوا للتدريب المناسب المتعلق بالاستبدال والإصلاح الأمثل لبطاريات السيارات الكهربائية. علاوة على ذلك، يجب على ميكانيكيي السيارات الكهربائية إظهار دليل على أن لديهم مكانًا آمنًا لتفكيك البطارية.

- هناك حاجة إلى مراكز جمع مخصصة لبطاريات السيارات الكهربائية فقط. تحتاج مراكز الجمع إلى فرز البطاريات وفقًا للطراز والنوع والسعة. هناك حاجة إلى طريقة لاسترداد البطاريات المستهلكة للمساعدة في جمع البطاريات المستهلكة.

يمكن القيام بذلك من خلال نظام حوافز يتم فيه منح قسيمة أو حافز مالي لمالك السيارة الكهربائية (أو الميكانيكي) عند إعادة البطاريات بشكل صحيح إلى مركز جمع مخصص.

توصيات بشأن واردات السيارات الكهربائية وبطاريات الليثيوم أيون:

• تحتاج إدارة الجمارك ووزارة البيئة إلى العمل معًا لتحديد حدود أداء البطارية المناسبة (مثل عمر البطارية والسعة المفيدة المتبقية وعمق الشحن وحالة الشحن وما إلى ذلك). يجب الاحتفاظ بهذه المعايير لكل من البطاريات التي يتم استيرادها بمركبة كهربائية أو بطاريات منفردة.
• تحتاج إدارة الجمارك لفرض فحص أداء البطارية. ومن ثم يجب تحديد طرق فحص البطارية المعتمدة وإضافتها إلى متطلبات الاستيراد. يجب أن يتم ذلك قبل دخول البطارية إلى الأردن لتجنب تراكم نفايات البطاريات في الجمارك الأردنية - المناطق الحرة.

• اللوائح الحالية في الأردن لاستيراد بطاريات السيارات الكهربائية تحظر دخول البطاريات بشكل منفرد (أي يجب أن تكون مصحوبة بقطع أخرى مثل المحرك). يجب مراجعة هذا النظام لأنه يزيد من مخزون القطع غير الضرورية في الأردن. علاوة على ذلك، يضع هذا القيد حواجز أمام المستهلكين الذين يسعون إلى استيراد البطاريات من الشركات المصنعة للبطاريات/ المعاد تصنيعها والتي سيكون لها عمر أطول من البطارية المستخدمة المثبتة بالفعل على سيارة كهربائية أو محرك.

توصيات بشأن توافر المعلومات وجمع البيانات

• ينبغي تطوير مخزن للمعلومات وقاعدة بيانات موثوقة ومتاحة للجميع. هذا مطلوب على مستويات متعددة، على سبيل المثال مستوى المستخدم، مستوى ورشة العمل، السياسة واللوائح، الحوافز ... إلخ.

• يجب فرض إمكانية التتبع على بطاريات السيارات الكهربائية للسماح بإدارة أكثر استدامة واتخاذ القرار المناسب لبطاريات السيارات الكهربائية. تتضمن إمكانية التتبع متابعة البطاريات بأثر رجعي من خلال النظر إلى الماضي في المعالجة والحالة والاستخدام. وفي الوقت نفسه، يتضمن التتبع اتباع المسار المستقبلي واحوال البطارية.

***