منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

السيارات الكهربائية..
الواقع والآفاق

يوليو 2024

منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول(أوابك)

السيارات الكهربائية..
الواقع والآفاق

إعداد
م. تركي حسن حمش
خبير بترول/ استكشاف وإنتاج

مراجعة
م. عماد ناصيف مكي
مدير إدارة الشؤون الفنية

إعتماد
المهندس جمال عيسى اللوغاني
الأمين العام

يوليو 2024

مقدمة

يعتبر النقل عملياً شريان الحياة الاقتصادية، ولئن كانت السيارات المزودة بمحركات الاحتراق الداخلي هي التي تهيمن حتى اليوم على أسواق النقل، فقد شهدت السيارات الكهربائية زخماً متزايداً واهتماماً واضحاً من قبل المستهلكين والحكومات بدأت ملامحه تتضح منذ عام 2008.

تميل معظم التوجهات الدولية المتعلقة بتلوث البيئة المرتبط بحركة النقل إلى التركيز على استخدام المركبات الكهربائية بدل التقليدية للحد من غاز ثاني أكسيد الكربون، لكن الواقع أن تبني المركبات الكهربائية كبديل كامل لتلك التقليدية أمر في غاية الصعوبة ويواجه العديد من العوائق حالياً، بينما تتوفر خيارات أخرى في هذا المجال مثل تحسين تقنيات المركبات لرفع أدائها، وتحسين طريقة السائقين في قيادة مركباتهم، ورفع كفاءة انسيابية الطرق بتبني شبكات متطورة من الجسور والأنفاق مما يحد من الازدحام ومن من هدر الوقود.

تسعى هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على بعض مفاصل صناعة السيارات الكهربائية، وتأثيرها على معدل الطلب على النفط، وما يثار حولها من أنها صديقة للبيئة، وأنها ستكون البديل المستقبلي القريب لسيارات محركات الاحتراق الداخلي.

نظرت الدراسة في موضوع انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل، وناقشت التأثير المتوقع لاستخدام السيارات الكهربائية على ظاهرة تغير المناخ، وبينت أن مصطلح "صديقة للبيئة" الذي يتردد بكثرة عند الحديث عن هذه السيارات، يحتاج إلى تقييم دقيق بعيداً عن التعميمات والافتراضات، فالتأثير البيئي الكامل لها يعتمد على العديد من العوامل، بما في ذلك سلاسل الإمداد، ودورة حياة البطارية، ومصدر الكهرباء وعوامل أخرى.

كما بحثت الدراسة في العوامل المؤثرة على الطلب على السيارات الكهربائية وانتشارها، بما في ذلك التوجهات العالمية الحديثة والدعم الحكومي، وتأثير وفرة/ ندرة الليثيوم والكوبالت والغرافيت وتوفر نقاط الشحن وتأثير الأسعار والمناخ .

بعدها ناقشت الدراسة التأثير المحتمل على الطلب العالمي على النفط بسبب التحول من محركات الاحتراق الداخلي إلى السيارات الكهربائية، وبينت أن الحديث عن تأثير ملحوظ على الحد من الطلب العالمي على النفط في المدى القريب والمتوسط، يفتقر إلى الدقة.

خلصت الدراسة إلى أن التأثير البيئي للسيارات الكهربائية يبدو جلياً في الحد من التلوث في المدن

المزدحمة، ويمكن أن يكون أكثر وضوحاً في حال توليد الكهرباء اللازمة لهذه السيارات من مصادر مستدامة.

كما خلصت الدراسة إلى أنه بالرغم من ارتفاع تكاليف السيارات الكهربائية مقارنة بتلك العادية، وحاجتها إلى الدعم الحكومي في المرحلة الحالية، إلا أن الأرباح المنظورة من ذلك ليست دوماً أرباحاً مالية مباشرة، إذ أن العائد الاقتصادي والبيئي الإيجابي مستقبلاً قد يشكل مبرراً كافياً لهذا الدعم، وهذا ما يؤكده الاهتمام الواسع من أغلب الدول العربية بالسيارات الكهربائية، وسعيها إلى توظيفها في مجال التنمية والنقل المستدام بما يلائم تطلعاتها نحو المساهمة الفعالة في الحد من التلوث البيئي، وتبني معايير بيئية عالمية، علاوة على دورها الهام في خفض استهلاك المشتقات البترولية، وتحقيق وفر من النفط يضاف إلى صادراتها.

تأمل الأمانة العامة أن يكون في هذه الدراسة من المعلومات ما يعود بالفائدة على الباحثين والمهتمين بالصناعة البترولية بشكل عام.

الأمين العام

جمال عيسى اللوغاني

Executive Summary

This study delves into the topic of electric vehicles (EVs) and their purported eco-friendliness, examining their potential as the imminent replacement for internal combustion engine (ICE) vehicles.

While technical details are not the study's primary focus, **Chapter 1** provides a general overview of the key components of EVs for those interested.

Chapter 2 examines carbon dioxide emissions in the transportation sector, discussing the anticipated impact of EVs on the climate. It highlights the need for a nuanced evaluation of the term "eco-friendly" as applied to EVs, moving away from generalizations, assumptions, and the influence of non-specialized media. The overall environmental impact of these vehicles hinges on numerous factors, including supply chains, battery life cycles, electricity sources, and more.

Chapter 3 explores the demand for EVs, driven by a confluence of factors, including modern global trends and government support. It investigates the elements influencing EV adoption, examining the impact of lithium, cobalt, and other element prices, the role of charging infrastructure, and the influence of pricing and climate.

Chapter 4 assesses the potential impact on global oil demand stemming from the transition from ICE vehicles to EVs. It concludes that claims of a significant near- and mid-term impact of EVs on global oil demand lack precision.

The study concluded that the environmental impact of EVs can be substantial if the electricity powering them comes from sustainable sources like renewable energy. EVs can mitigate pollution in congested cities, but their widespread adoption remains contingent on addressing the various points discussed in the study. The study highlighted the growing interest in EVs among Arab countries, who are exploring their use in sustainable development and transportation, aligning with their aspirations to actively contribute to environmental pollution reduction and adopt global environmental standards.

جدول المحتويات

مقدمة II
Executive Summary IV
جدول المحتويات V
قائمة الأشكال VII
قائمة الجداول VIII
تمهيد 1
الفصل الأول 5
1- لمحة تاريخية عن الكهرباء والسيارات الكهربائية 6
1-1 ما هي السيارة الكهربائية 9
2-1 مكونات السيارة الكهربائية 9
1-2-1 البطارية 9
2-2-1 المحرك 9
1-2-3 المحول 10
4-2-1 الشاحن 10
5-2-1 دارة التحكم 10
6-2-1 مكونات أخرى 10
3-1 أنواع السيارات الكهربائية 11
1-3-1 السيارة الكهربائية العاملة بالبطارية 11
2-3-1 السيارة الهجينة 11
3-3-1 السيارة العاملة بخلية الوقود 11
4-3-1 المركبات العاملة بخطوط الكهرباء 11
5-3-1 المركبات التي تستخدم المكثفات الفائقة 11
4-1 البطاريات وأنواعها 12
1-4-1 معايير أداء البطارية 12
1-1-4-1 سعة الشحن (الشحنة) 13
2-1-4-1: الطاقة المخزنة 13
3-1-4-1: كثافة الطاقة 13
5-1-4-1: القدرة النوعية 14
6-1-4-1: التفريغ الذاتي 15
7-1-4-1: عمر البطارية وعدد الدورات العميقة 15
8-1-4-1: فعالية الشحن 16
5-1 شواحن السيارات الكهربائية 17
1-5-1 تعريف 17
2-5-1 طرق الشحن 17
الفصل الثاني 19
انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل 19
1-2 المنظور العام لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل 20
1-1-2 انبعاثات قطاع النقل في الولايات المتحدة 21
2-1-2 انبعاثات قطاع النقل في أوروبا 23
3-1-2 انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الدول العربية من قطاع النقل 24
2-2 علاقة قطاع النقل البري بتركيز ثاني أكسيد الكربون 29

1-2-2 تقدير الانبعاثات من السيارات الكهربائية 31
الفصل الثالث 38
الطلب على السيارات الكهربائية 38
1-3 التوجهات العالمية في مجال السيارات الكهربائية 39
2-3 الدعم الحكومي للسيارات الكهربائية في العالم 42
3-3 الدعم الحكومي للسيارات الكهربائية في الدول العربية 45
4-3 مبيعات السيارات الكهربائية 47
5-3 هل السيارات الكهربائية رابحة من المنظور الاقتصادي؟ 50
6-3 العوامل المؤثرة على انتشار السيارات الكهربائية 53
1-6-3 الليثيوم- العامل الأبرز في مجال السيارات الكهربائية. 53
1-1-6-3 احتياطيات الليثيوم في العالم 54
2-1-6-3 إنتاج الليثيوم في العالم 56
3-1-6-3 أسعار الليثيوم 57
2-6-3 دور الكوبالت في مجال السيارات الكهربائية 58
1-2-6-3 احتياطيات الكوبالت في العالم 59
2-2-6-3 إنتاج الكوبالت في العالم 60
3-2-6-3 أسعار الكوبالت 61
3-6-3 الغرافيت 61
1-3-6-3 إنتاج الغرافيت في العالم 62
2-3-6-3 احتياطيات الغرافيت في العالم 62
4-6-3 شحن البطارية وأثره على انتشار السيارات الكهربائية. 64
1-4-6-3 سرعة الشحن 64
2-4-6-3 توفر نقاط الشحن 66
5-6-3 كلفة الشحن 68
6-6-3 تكرار الشحن فائق السرعة 70
7-6-3 سعر السيارة الكهربائية 71
1-7-6-3 العلاقة بين السعر وسعة البطارية 73
2-7-6-3 العلاقة بين السعر ومدى القيادة 73
8-6-3 تأثير درجة الحرارة 74
1-8-6-3 تأثير درجات الحرارة المنخفضة 76
2-8-6-3 تأثير درجات الحرارة المرتفعة 77
7-3 دور الصين في إنتاج البطاريات الكهربائية في العالم 81
الفصل الرابع 85
تأثير السيارات الكهربائية على الطلب العالمي على النفط 85
1-4 الصورة العامة 86
2-4 كيف سيتأثر الطلب العالمي على النفط 89
3-4 نموذج النرويج 91
الخلاصة والاستنتاجات 95
جدول المصطلحات 97
ملحق 1: المواصفات الفنية لمقابس السيارات الكهربائية. 99
ملحق 2: مدى القيادة النظري لكل 1 كيلو واط من الطاقة لعدد من السيارات الكهربائية 102
قائمة المراجع 108

قائمة الأشكال

الشكل 1: سيارة STUDEBAKER الكهربائية 8

الشكل 2: مخطط نموذجي لمكونات السيارة الكهربائية 10

الشكل 3: العلاقة بين زمن التفريغ والسعة في بطارية حمض- رصاص 13

الشكل 4: مخطط RAGONE للعلاقة بين القدرة والطاقة في البطارية 14

الشكل 5: نسب مساهمة وسائل النقل المختلفة في انبعاثات CO_2 في الولايات المتحدة عام 2019 22

الشكل 6: انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة حسب القطاع 23

الشكل 7: تغير مستوى الانبعاثات حسب قطاع النقل في الاتحاد الأوروبي 23

الشكل 8: مقارنة بين عدد رحلات الطيران اليومية في العالم (2019- 2020) 23

الشكل 9: التركيز الشهري لغاز ثاني أكسيد الكربون في الجو خلال 5 سنوات 29

الشكل 10: نسبة العناصر المستخدمة في تصنيع البطارية الكهربائية 35

الشكل 11: تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو منذ القرن التاسع عشر 36

الشكل 12: نسبة اهتمام المستهلكين بنوع السيارة حسب استطلاع حديث لشركة DELOITTE 40

الشكل 13: عوامل اختيار السيارة بحسب استطلاع حديث لشركة DELOITTE 40

الشكل 14: مدى اهتمام المستهلكين بالخدمات المتصلة للسيارات الكهربائية 41

الشكل 15: توزع مبيعات السيارات العادية في العالم عام 2022 49

الشكل 16: الموارد المحددة من الليثيوم في العالم حتى مطلع 2024 55

الشكل 17: توزع احتياطيات الليثيوم في العالم عام 2023 55

الشكل 18: نمو إنتاج الليثيوم في العالم (1995- 2023) 57

الشكل 19: تغير أسعار كربونات الليثيوم 58

الشكل 20: احتياطيات الكوبالت في العالم عام 2023 59

الشكل 21: توزع احتياطيات الكوبالت في العالم عام 2023 60

الشكل 22: تغير أسعار الكوبالت 61

الشكل 23: توزع احتياطيات الغرافيت في العالم عام 2023 63

الشكل 24: الفئات السعرية للسيارات الكهربائية (ألف دولار) 72

الشكل 25: سعة البطارية بالعلاقة مع سعر السيارة 73

الشكل 26: العلاقة بين سعر السيارة الكهربائية ومدى القيادة 74

الشكل 27: العلاقة بين درجة الحرارة المنخفضة وكمية الطاقة المستهلكة للتدفئة في سيارتين كهربائيتين 76

الشكل 28: متوسط درجات الحرارة في دولة الكويت 78

الشكل 29: كثافة الطاقة المستهلكة وانخفاض مدى القيادة بالعلاقة مع ارتفاع درجة الحرارة 79

الشكل 30: مسافة القيادة الفعلية بتأثير درجة الحرارة لسيارة CHEVROLET BOLT EV–2019 79

الشكل 31: الدول الخمس الأعلى من حيث سعة إنتاج بطاريات السيارات الكهربائية عام 2023 83
الشكل 32: الطلب على النفط بالعلاقة مع الناتج المحلي الإجمالي للعام 89
الشكل 33: العلاقة بين النمو السكاني واستهلاك الطاقة 90
الشكل 34: العلاقة بين عدد السيارات الكهربائية المسجلة سنوياً في النرويج، واستهلاك النفط 92

قائمة الجداول

الجدول 1: مقارنة بين مواصفات بعض البطاريات 16
الجدول 2: ملخص عام لأنواع القوابس المستخدمة في السيارات الكهربائية 18
الجدول 3: انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل في الدول العربية والعالم عام 2022 25
الجدول 4: انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل في بعض دول العالم عام 2022 25
الجدول5 : انبعاثات غاز أكسيد النيتروز من قطاع النقل في الدو ل العربية والعالم في عام 2022 26
الجدول6 : نسبة عدد السيارات الخاصة إلى إجمالي عدد المركبات في بعض دول العالم عام 2020 28
الجدول 7: مدى اهتمام المستهلكين بنموذج الاشتراك في السيارات بدل شرائها 41
الجدول 8: إنتاج الليثيوم في العالم في بعض دول العالم خلال ثلاثة أعوام 56
الجدول 9: إنتاج العالم من الكوبالت عام خلال ثلاثة أعوام 60
الجدول 10 : إنتاج الغرافيت في العالم خلال ثلاث سنوات 62
الجدول 11: زمن شحن السيارة الكهربائية حسب نوع الشاحن المستخدم 65
الجدول 12: أنواع شواحن السيارات الكهربائية المتوفرة في دبي 66
الجدول 13: كلفة شحن سيارة TESLA-3 الكهربائية في بعض دول أوروبا 69
الجدول 14: استهلاك الطاقة لكل 1 كم من مدى بعض السيارات الكهربائية حسب الشروط المعيارية 75
الجدول 15: مبيعات السيارات الكهربائية في عام 2023، وتوقعاتها في عام 2024 87
الجدول 16: نسب السيارات الجديدة المسجلة في دول أوروبا والمملكة المتحدة في عام 2023 حسب نوع الوقود .. 88
الجدول 17: المركبات المسجلة في النرويج عام 2023 حسب الاستخدام والوقود 93

تمهيد

في عام 2007، نشرت "لجنة مجلس الشيوخ الأمريكية المعنية بالبيئة والأشغال العامة*" تقريراً بيّن أن هناك أربعمئة عالم من أكثر من 24 دولة، يعارضون ما دعوه "مزاعم الإجماع" على أن ظاهرة الاحتباس الحراري هي نتيجة للنشاطات البشرية[1]. هؤلاء العلماء، وكثير منهم كانوا مشاركين في "الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ التابعة للأمم المتحدة"† انتقدوا الادعاءات المناخية التي قدمتها تلك الهيئة ونائب الرئيس الأمريكي السابق "آل غور".

وفي عام 2008، تم تحديث هذا التقرير، الذي رفع عدد العلماء الذين تابعوا دحض فكرة الإجماع إلى 650 عالماً. وأشار نفس التقرير إلى أن العديد من العلماء المذكورين بينوا أن لهم زملاء يشاركونهم الرأي، لكنهم لا يطرحون آراءهم علناً خوفاً من "التيار البيئي". وربما كان لهم مبرر في ذلك الموقف، إذ أن ذلك التقرير - وهو الأول من نوعه- أتى بعد أن أشار رئيس "الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ" إلى أنه لم يتبق سوى "بضعة" علماء يشككون في ظاهرة الاحتباس الحراري في العالم. وكان نائب الرئيس السابق "آل غور" قد أعلن أن العلماء المشككين في تغير المناخ يشبهون "أعضاء مجتمع الأرض المسطحة"، ويماثل عددهم عدد أولئك الذين "يعتقدون أن الهبوط على سطح القمر تم في الواقع في مكان سينمائي في أريزونا"‡.

لعل السبب وراء عرض الفقرة السابقة هو أن فكرة وجود السيارات الكهربائية بحد ذاتها ارتبطت إلى حدٍ كبير في السنوات القليلة الماضية بمفهوم الحفاظ على البيئة أكثر من ارتباطها بفكرة نوع الوقود وما يقال عن ندرته المستقبلية، إلا أن الحال لم تكن كذلك عندما ظهرت السيارات الكهربائية الأولى في القرن التاسع عشر. وبالتالي فمن المهم النظر إلى آراء المشككين حتى يكون داعمو فكرة ظاهرة الاحتباس الحراري على دراية -على الأقل – بتلك الحجج، وهو ما قد يساهم في فهم أفضل لموضوع تغير المناخ عموماً، خاصة أن هناك نقاطاً صحيحة يثيرها المشككون، مثل ظاهرة تغير المناخ في الماضي بدون أن تكون الأنشطة البشرية سبباً فيها.

تاريخياً، عُرفت العجلة لأول مرّة قبل أكثر من ستة آلاف سنة، وتشير الدلائل التاريخية إلى أن الحضارة السومرية في بلاد ما بين النهرين استخدمتها في عمليات الري وصناعة الآنية الفخارية. بينما يُظهِر نقش سومري يرجع تاريخه إلى حوالي 3500 قبل الميلاد، زلاجة مزودة بعجلات. ويغلب الظن أن

---

* United States Senate Committee on Environment and Public Works

† Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC.

‡ يشير بذلك إلى أن من يشككون بظاهرة الاحتباس الحراري هم مجموعة من الجاهلين الذي يعتقدون أن الأرض ليست كروية، ويشير كذلك إلى فرضية تقول إن البعثة الفضائية إلى القمر كان مجرد مزاعم، وأن الإنسان لم يصل قط إلى القمر.

فكرة النقل باستخدام العجلات نشأت من دحرجة الأجسام الثقيلة فوق جذوع الأشجار، ثم استخدمت الأقراص الخشبية لاحقاً كعجلات على العربات في الألفية الثانية قبل الميلاد. وسرعان ما تجلّت أهمية شبكات الطرق في تسهيل التجارة والاتصالات، بل وحتى التحركات العسكرية، فقد أتاحت العجلة لتلك المجتمعات تطوير هندسة النقل وتوسيع الإمبراطوريات وتعزيز التبادلات الثقافية وإثراء الاقتصاد.

وفي العصر الحديث، ظهرت عدة محاولات لبناء عربة تعمل بمحرك، فقُدّمت في عام 1769 مركبة ثلاثية العجلات تعمل بمحرك بخاري ابتكرها الفرنسي Nicolas-Joseph Cugnot، وتبعتها عدة نماذج في بلدان مختلفة. وقد ساهم اكتشاف النفط في القرن التاسع عشر في إيجاد وفرة من الغاز الطبيعي استغلها الألماني Karl Benz في بناء أول مركبة ثلاثية العجلات بمحرك يستخدم الغاز الطبيعي في عام 1885، بينما أزيح الستار في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1893 عن أول سيارة بمحرك يعمل على البنزين.

وقد شكل إطلاق شركة Tesla لسيارتها الكهربائية في عام 2008، محور نقاشات تتسم بشيء من التعقيد بسبب التباين في وجهات النظر والمعلومات المتضاربة المتاحة، فهناك من يروج للسيارات الكهربائية كبديل مثالي لمواجهة التحديات المناخية، بينما يُعبّر آخرون عن شكوكهم تجاه فوائدها البيئية نظراً لانبعاثات الكربون التي تُنتج خلال دورة حياة هذه السيارات وبطارياتها. وهناك من يشدد على جوانبها الاقتصادية المستدامة، بينما يُشير آخرون إلى التكلفة العالية لاقتنائها وصيانتها، فضلاً عن نقص محطات الشحن في بعض المناطق. هذه التباينات وغيرها تخلق حالة من الارتباك للمستهلكين الراغبين في شراء سيارة جديدة مما يجعلهم يواجهون صعوبة في تقييم خياراتهم بشكل موضوعي، وقد تثير الحيرة حتى عند الباحثين من المنظور العلمي.

بالإضافة إلى ذلك، لا يمكن إنكار أن المصالح التجارية الكبيرة تلعب دوراً بارزاً وخاصة من الناحية الإعلامية في محاولة التأثير على الرأي العام، سواء من قبل شركات السيارات التقليدية أو شركات التكنولوجيا الحديثة. لذلك يجب أن يُناقش موضوع السيارات الكهربائية بناءً على أسس علمية وأبحاث موثوقة، مع مراعاة هذه التحديات والابتعاد عن التأثيرات الخارجية. إلا أن المتتبع لشأن السيارات الكهربائية في العالم، يجد أنه من الصعوبة بمكان الوصول إلى معلومات أساسية غير متحيزة لرأي أو لآخر، ربما باستثناء بعض المراكز التي أجرت أبحاثاً عملية على المركبات الكهربائية واستخداماتها.

ترى بعض الدراسات التي أجريت حول المناخ والموارد خلال العقود الماضية أن نموذج الطاقة الحالي القائم على الوقود الأحفوري ربما يكون غير مستدام على المدى الطويل، وكثيراً ما يشار إلى الوقود الأحفوري على أنه السبب وراء تغير المناخ. كما يتخوف العالم من استنفاد الموارد الأحفورية في المستقبل

القريب، لذلك تسعى العديد من الهيئات والمعاهد العالمية لوضع تصورات مستقبلية عن ذروة الطلب على النفط، وذلك ضمن مساحات زمنية قصيرة أو طويلة المدى. لكن هذه التصورات المستقبلية ليست ثابتة بأي حال من الأحوال بسبب عدم ثبات البيانات التي ترتكز عليها، وبسبب عدم اليقين المتعلق بكل نقطة تقريباً من نقاط المنظور المستقبلي، مما يجعل هذه المعاهد تضع عدة سيناريوهات يستند كل منها إلى مجموعة من الافتراضات أهمها تغيرات ناتج الدخل القومي، وتغير عدد السكان، أو افتراض وجود خطة سريعة للحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون. لذلك غالباً ما تعمل هذه المعاهد على تعديل توقعاتها إيجاباً وسلباً بشكل سنوي، بل وبشكل شهري أحياناً. وقد سبق للعديد من الجهات خلال أزمة كوفيد-19 أن توقعت أن عام 2020 سيمثل ذروة الطلب على النفط، لكن الواقع العملي أثبت أن تلك التوقعات جانبت الصواب. ومن المهم التنويه بأنه في حتى حال الوصول إلى ذروة الطلب يوماً ما، فهذا لا يعني توقف إنتاج النفط أو الغاز، بل يعني فقط أن النمو في الطلب هو الذي توقف.

عموماً، تم في هذا السياق اقتراح عدة بدائل لتحل محل النموذج الحالي لمزيج الطاقة، تعتمد على الاستخدام المباشر أو غير المباشر للموارد المتجددة، مثل الكتلة الحيوية، أو الطاقة الشمسية، أو طاقة الرياح، أو طاقة الأمواج، أو الطاقة الكهرومائية. إن دمج الطاقات البديلة في مزيج الطاقة لبلد ما، والاستخدام الأفضل للموارد، يُعرّف عادةً بالتنمية المستدامة، وهو بطبيعة الحال هدف مشروع لكل شركة أو حكومة.

إن للسيارات دوراً حيوياً لا يمكن إنكاره، ورغم وجود العديد من وسائل النقل الجماعي في معظم دول العالم، إلا أن السيارات تتميز بالمرونة التي تتيح حرية التنقل في أي وقت ومكان دون الحاجة إلى الالتزام بجداول زمنية محددة، كما أنها توفر الراحة والخصوصية، وتعد في أغلب الأحيان وسيلة نقل سريعة مقارنة بوسائل النقل الأخرى مثل الحافلات والقطارات، وتتوفر منها أنواع مختلفة تناسب مختلف الاحتياجات والإمكانيات لدى المستخدمين.

ضمن هذا المسار، ولأسباب أخرى، تتزايد أهمية السيارات الكهربائية يوماً بعد يوم. لكن من الهام النظر إلى أن الكهرباء بحد ذاتها ليست طاقة بالمعنى المجرّد، بل هي عملياً ناقل للطاقة من شكل إلى شكل آخر، أي أنها يجب أن توّلد من مصدر حقيقي للطاقة سواء كان ذلك المصدر وقوداً أحفورياً، أو سداً مائياً، أو حصاداً لطاقة الرياح والشمس وغيرها، حتى تتحول ضمن السيارة الكهربائية إلى شكل ميكانيكي أو حراري. لذلك تسعى هذه الدراسة لاستعراض الوقائع والبيانات المتاحة ومناقشتها من الناحية العلمية البحتة بعيداً عن توجهات السياسات المناخية والبيئية لأي جهة كانت.

الفصل الأول

يتضمن هذا الفصل عرضاً موجزاً عن السيارات الكهربائية يتناول النقاط التالية:

لمحة تاريخية عن الكهرباء والسيارات الكهربائية

ما هي السيارة الكهربائية

مكونات السيارة الكهربائية

أنواع السيارات الكهربائية

البطاريات وأنواعها

أنواع شواحن السيارات الكهربائية

1- لمحة تاريخية عن الكهرباء والسيارات الكهربائية

لاحظ العالم الإغريقي Thales* في عام 600 قبل الميلاد، أن دلك العنبر (الكهرمان) بالحرير، يجعله يجذب الأشياء الخفيفة كالريش. و في عام 1600، ابتكر William Gilbert تعبير الكهرباء (Electricity) استناداً إلى الاسم الإغريقي للعنبر (إلكترون)، وكان أول من لاحظ وجود علاقة بين المغناطيسية والكهرباء. وفي عام 1800 ابتكر الإيطالي Alessandro Volta† أول بطارية كهربائية باستخدام صفيحتين من الزنك والنحاس تفصلهما طبقة من نسيج قطني مشبع بمحلول ملحي. وفي عام 1830 اكتشف Joseph Henry‡ فكرة المولد الكهربائي، واخترع البريطاني William Sturgeon أول محرك كهربائي بتيار مستمر قابل للانعكاس في عام 1832. أما في عام 1870 فقد بنى Thomas Edison أول مولد كهربائي للتيار المستمر، بينما بنى Nikola Tesla§ أول محرك يعمل على التيار الكهربائي المتناوب في عام 1880[2].

إن فكرة استخدام المحرك الكهربائي في السيارات ليست وليدة الحاضر، فقد ظهرت للمرة الأولى في مطلع القرن التاسع عشر على يد بعض المبتكرين في هنغاريا (المجر) وهولندا، والولايات المتحدة الأمريكية، لكن أول سيارة كهربائية بُنيت فعلياً في عام 1832 من قبل Robert Anderson، وفي عام 1896 بنى William Morrison أول سيارة كهربائية ناجحة في الولايات المتحدة، وسرعان ما اكتسبت تلك السيارات نوعاً من الشعبية خاصة بين السيدات في الولايات المتحدة حيث تم الترويج لها على أنها أقل صخباً من سيارات محركات الاحتراق الداخلي.

وفي عام 1837 بنى Robert Davidson أول قاطرة كهربائية، وكانت تعمل ببطاريات غير قابلة لإعادة الشحن، ثم بنى لاحقاً قاطرة أكبر عُرضت في معرض "الجمعية الملكية الاسكتلندية للفنون"** في عام 1841.

وسبق ذلك تركيب عربات الترام الكهربائية (Tramway) للنقل الجماعي بشكل تجريبي لأول مرة في مدينة Saint Petersburg في روسيا عام 1880، ثم ظهرت أول خدمة ترام كهربائية منتظمة في منطقة Lichterfelde وهي إحدى ضواحي برلين في ألمانيا، وتبنتها شركة Siemens & Halske AG وذلك في مايو 1881. وفي بريطانيا، استخدم أول ترام كهربائي في Blackpool في مدينة Lancashire شمال غرب إنجلترا في 29 سبتمبر 1885. ومع بداية الحرب العالمية الأولى، كان استخدام الترام قد انتشر في العديد

* صاحب عدة مبرهنات في الرياضيات، أشهرها أنه إذا قطع خطان حزمة من الخطوط المتوازية، نحصل على أجزاء متناسبة بين بعضها البعض.
† وله تنسب واحدة الجهد الكهربائي (فولت).
‡ وله تنسب واحدة الحث الكهرومغناطيسي (هنري).
§ وله تنسب واحدة قياس المجال المغناطيسي (تسلا).

** Royal Scottish Society of Arts.

من المدن في جميع أنحاء العالم.

أما استخدام (الترولي) أو الحافلات التي تستمد الكهرباء من أسلاك علوية (Trolleybus) فيعود إلى عام 1882 في إحدى ضواحي برلين. وفي عام 1901، تم تشغيل أول ترولي لنقل الركاب في العالم بالقرب من مدينة Dresden في ألمانيا، وتبعتها بريطانيا في عام 1911.

وفي الدول العربية، تم تشغيل خط للترام في مدينة الإسكندرية في مصر عام 1863، ثم في القاهرة عام 1896، وفي تونس عام 1900، وفي العاصمة السورية دمشق عام 1907[3]، وفي بيروت عاصمة لبنان عام 1908، وفي العاصمة الجزائرية الجزائر عام 1911، وفي الرباط عاصمة المغرب عام 1914. يلاحظ مما سبق أن 100 عام أو زهاءها مرّت بين اختراع أول بطارية في التاريخ، وبين استخدام الكهرباء بشكل تجاري في عمليات النقل.

مثّلت السيارات الكهربائية بين عامي 1900- 1912، نحو ثلث السيارات الموجودة في الولايات المتحدة، وهو ما دفع المخترع المعروف Edison للتفكير بتطوير البطاريات الخاصة بتلك السيارات. في نفس الفترة عمل صانع السيارات الشهير Ferdinand Porsche على بناء أول سيارة هجينة تعمل على الكهرباء وعلى محرك عادي معاً، وظهرت تلك السيارة إلى العلن في عام 1901.

وفي مطلع القرن العشرين، شكلت المركبات الكهربائية منافساً قوياً ضمن مجال النقل، إذ أن أداء تلك المركبات كان في ذلك الوقت أفضل من منافستها التي تعمل بالمحركات البخارية أو بمحركات الاحتراق الداخلي، حيث كانت السيارة الكهربائية موثوقة نسبياً يبدأ تشغيلها بشكل فوري، في حين كانت محركات الاحتراق الداخلي غير موثوقة وذات رائحة كريهة، أما المنافس الرئيسي الآخر، أي السيارة البخارية، فكانت تحتاج إلى وقتٍ لإشعال الوقود (الفحم) وانتظار غليان الماء، كما كانت الكفاءة الحرارية للمحرك منخفضة نسبياً.

وبحلول العشرينات من القرن الماضي، تم إنتاج مئات الآلاف من المركبات الكهربائية لاستخدامها كسيارات وشاحنات وسيارات أجرة ومركبات توصيل وحافلات. لكن شعبية السيارات الكهربائية تراجعت بحدة بعد أن ابتكر Henry Ford عام 1911 تقنية لتشغيل محرك سيارة الاحتراق الداخلي بشكل كهربائي عوضاً عن التشغيل اليدوي، وهو ما يعرف اليوم باسم بادئ الإقلاع أو "المرش".

تراجعت صناعة السيارات الكهربائية بعد عام 1920 نتيجة اكتشاف كميات وفيرة من النفط في ولاية تكساس الأمريكية، واختفت السيارات الكهربائية بشكل كامل تقريباً في عام 1935[4]. يبين الشكل 1 سيارة Studebaker الكهربائية الأمريكية الصنع، من عام 1902[5].

الشكل 1: سيارة Studebaker الكهربائية

المصدر: Britannica, Automotive Industry

1-1 ما هي السيارة الكهربائية

مبدأ السيارة الكهربائية بسيط نسبياً، إذ تتكون السيارة من بطارية تختزن الطاقة، ومحرك كهربائي، ودارة للتحكم. يتم شحن البطارية عبر قابس خاص، بينما تتولى دارة خاصة زمام التحكم بالطاقة المقدمة للمحرك. وتوجد في السيارات الكهربائية الحديثة بطارية أخرى (رصاص- حمض) تشابه تلك الموجودة في السيارة العادية، الهدف منها تزويد بعض معدات السيارة بالطاقة مثل نظام فتح السيارة بدون مفتاح، والحفاظ على البيانات في الذواكر، وتشغيل كومبيوتر السيارة عند بدء الإقلاع، علاوة على بعض المهام الأخرى المرتبطة بآلية العمل الإلكترونية في السيارة.

عند التفكير في شراء أي سيارة، فإن أول ما يتبادر إلى الذهن هو موثوقية السيارة، وحدود الأمان فيها، وسعرها، وكلفة الصيانة والتأمين. ورغم بساطة مبدأ عمل السيارة الكهربائية، إلا أن العناصر الكهربائية يمكن أن تتعرض للكثير من الأعطال، فهي أقل موثوقية من السيارات العادية*، وتعتبر البطارية العنصر الأكثر حساسية ضمن السيارة الكهربائية، وهو ما سوف تبينه هذه الدراسة.

1-2 مكونات السيارة الكهربائية

يبين الشكل 2، مخططاً نموذجياً لمكونات السيارة الكهربائية[6]، وهي:

1-2-1 البطارية

تعتبر البطارية قلب السيارة الكهربائية النابض، حيث تخزن الطاقة من مصدر الشحن، وتقدمها للمحرك. يرتكز مبدأ عمل البطارية الكهربائية العادية على وجود قطبين، "أنود أو مصعد" يمثل القطب الموجب، و"كاثود أو مهبط" يمثل القطب السالب، وعندما يتم وصل القطبين (أي إغلاق الدارة الكهربائية)، تتحرك الإلكترونات من القطب السالب نحو القطب الموجب عبر الأسلاك، مقدمة الطاقة إلى باقي عناصر الدارة، وهو ما يعرف بتفريغ البطارية. أما عند شحن البطارية فتتحرك الشحنات بالاتجاه المعاكس. تتكون بطارية السيارة الكهربائية من عدد كبير من الخلايا قد يصل إلى بضعة آلاف، وكل منها يمثل بطارية صغيرة إن صح التعبير، يجري تجميعها في وحدات Modules، ويتم تجميع هذه الوحدات بدورها لتكوّن مجتمعة بطارية السيارة الكهربائية.

1-2-2 المحرك

وهو يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية التي تصله من البطارية إلى طاقة ميكانيكية. ورغم اختلاف أنواع المحركات المستخدمة في السيارات الكهربائية، إلا أنها تشترك في عنصرين

* تجنباً للتكرار، سوف تتم الإشارة إلى السيارات التي تستخدم محركات الاحتراق الداخلي، بالسيارات العادية.

رئيسيين، هما:

1- **القسم الثابت**: وهو القسم الخارجي من المحرك الذي يضم باقي المكونات داخله.

2- **القسم المتحرك**: وهو العنصر الدوّار في المحرك، ويناظر محور (الكرنك) في المحركات العادية، ويقوم بنقل العزم إلى العجلات عبر علبة السرعة والتروس التفاضلية.

1-2-3 المحول

يقوم بتحويل التيار المستمر DC المخزن في البطارية، إلى تيار متناوب AC لتشغيل المحرك. كما أن له دوراً في غاية الأهمية، وهو التحكم بتردد التيار للتحكم بسرعة المحرك.

1-2-4 الشاحن

ومهمته شحن البطارية، وله أنواع مختلفة (سريع أو بطيء مثلاً).

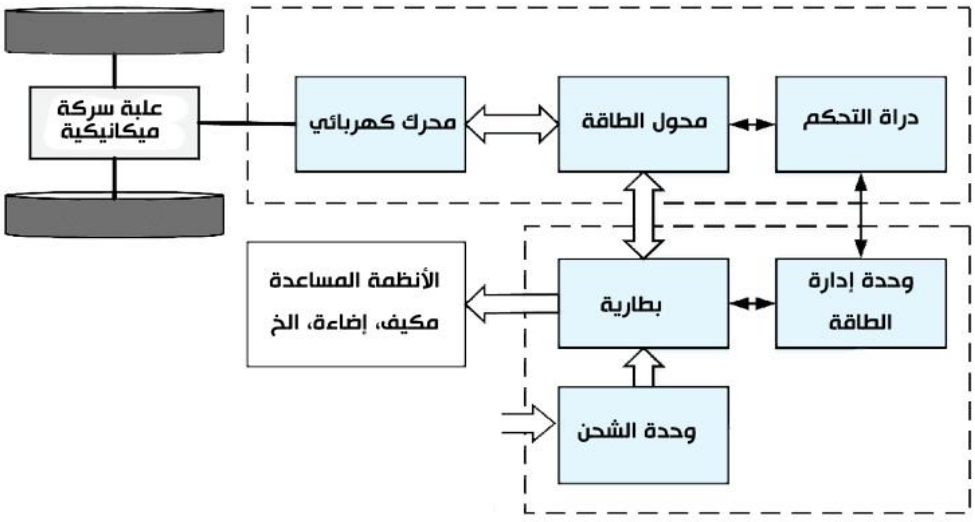
1-2-5 دارة التحكم

تقوم هذه الدارة بالتحكم بكمية الطاقة المنقولة إلى المحرك، كما تعمل على مراقبة البطارية للتأكد من أنها غير مشحونة أكثر مما يجب، أو أقل مما يجب.

1-2-6 مكونات أخرى

هناك عدد كبير من المكونات الأخرى في السيارة الكهربائية، مثل المكابح، ونظام التوجيه، ونظام التعليق، وغيرها، وهي بالطبع مشابهة من حيث المبدأ لنظيرتها الموجودة في السيارات العادية.

الشكل 2: مخطط نموذجي لمكونات السيارة الكهربائية



المصدر: Talukda and Deka، 2021.

3-1 أنواع السيارات الكهربائية

رغم أن الاسم العام يجمعها، إلا أن السيارات الكهربائية ليست نوعاً واحداً، ويمكن إيجاز ذلك من خلال ما يلي[7]:

1-3-1 السيارة الكهربائية العاملة بالبطارية

وهي كما تقدم، مركبة تستمد الطاقة من محرك يعمل على بطارية مثبتة على المركبة.

2-3-1 السيارة الهجينة

يوجد في هذه السيارة مصدران للطاقة، أحدهما محرك كهربائي، والآخر محرك احتراق داخلي يؤدي -علاوة على مهمته الأساسية - دور شاحن للبطارية عبر مولد خاص. وهناك نوعان رئيسيان من هذه السيارة، هما:

1- النوع الهجين العادي: حيث يعمل محرك الاحتراق الداخلي (البنزين أو الديزل) أو المحرك الكهربائي -وقد يعملان معاً- على تقديم الطاقة، عبر علبة السرعة.

2- النوع الهجين المتوازي: حيث يمكن أن يوجد عدد من المحركات الكهربائية متصلة مباشرة بالعجلات بدون علبة السرعة.

ويتمتع كلا النوعين بميزة تحويل جزء من الطاقة الناتجة عن عملية الفرملة إلى طاقة كهربائية تختزن في البطارية. كما يمكن التمييز كذلك بين نوعين من السيارات الهجينة، الأول هو الذي يسمى السيارات الهجينة عموماً HEV ولا يمكن شحنه من مصدر كهربائي خارجي، والثاني هو السيارات الهجينة المزودة ببطارية يمكن شحنها من مصدر كهربائي PHEV.

3-3-1 السيارة العاملة بخلية الوقود

ومبدأ عملها لا يختلف عن السيارة الكهربائية العادية، لكنها تحتاج إلى خلية وقود تستخدم الهيدروجين لتوليد الكهرباء اللازمة لشحن البطارية. وتتميز هذه السيارات بأنها ذات مدى أطول من المركبات الكهربائية التقليدية، كما أن إعادة التزود بالوقود فيها تتم بشكل أسرع. لكن من عيوبها التكلفة المرتفعة مقارنة بالسيارات الكهربائية التقليدية، كما يحد من استخدامها عدم انتشار البنية التحتية اللازمة للتزود بالهيدروجين.

4-3-1 المركبات العاملة بخطوط الكهرباء

ولم تعد موجودة في الاستخدام الفعلي، ربما باستثناء بعض المناطق السياحية في بعض الدول.

5-3-1 المركبات التي تستخدم المكثفات الفائقة

تستطيع المكثفات الفائقة تخزين الكثير من الطاقة بسرعة، ومنحها بشكل سريع كذلك، لكنها سعة

تخزين الطاقة فيها تبقى أقل من سعة البطاريات، وتستخدم عند الحاجة لتسارع كبير في السيارة. وتعمل بعض أنواع السيارات على شحن المكثفات الفائقة خلال عملية الفرملة.

وهناك تقنيات أخرى لتخزين الطاقة على شكل طاقة حركية وتحويلها إلى كهرباء تنتقل إلى بطارية السيارة، عبر تقنية إطار الموازنة Flywheel أو ما يسمى الحذّافة*، وهي عبارة عن قرص معدني يحمل مجموعة من المغانط، ويتم تدويره مقابل ملف ثابت، فيتولد تيار كهربائي. ويتم تسريع دوران الحذّافة عند تباطؤ المركبة حيث تنتقل الطاقة الحركية من المركبة إلى الحذافة، وغالباً ما طبقت هذه التقنية في المركبات الهجينة، إذ يمكن تسريع الحذّافة بالاستفادة من جزء من طاقة محرك الاحتراق الداخلي.

ومن الأنواع الأخرى، يمكن الإشارة إلى السيارات التي تستمد الطاقة من اللوحات الشمسية، أو ما يسمى بالطاقة الكهرضوئية Photo Voltaic، لكن هذا النوع لم يوضع قيد الاستخدام التجاري، وبقي محصوراً في مشاريع تخرج جامعية، أو في سباقات مخصصة لهذا النوع من المركبات. وقد سبق لطلاب في كلية الهندسة في جامعة قطر، أن صمموا سيارة شمسية في عام 2016، وكان أول مشروع من نوعه في الجامعة[8].

4-1 البطاريات وأنواعها

تتكون البطارية من خلايا تعمل على تحويل الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية إلى طاقة كهربائية، ومن أشهرها بطارية حمض- رصاص، التي تعتمد على حمض الكبريتيك H_2SO_4 الممدد وصفائح من الرصاص، وهي البطارية الشائعة الاستخدام في السيارات العادية.

وهناك مجموعة من التوليفات الأخرى للبطاريات في السيارات الكهربائية، مثل: بطاريات: حديد- نيكل (Ni-Fe)، نيكل -كادميوم (Ni-Cd)، نيكل- هيدريد الفلز† (Ni–MH)، بوليمير- ليثيوم (Li-Po)، ليثيوم- حديد (Li-Fe)، صوديوم- كبريت (Na-S)، وغيرها، ولكل من هذه البطاريات محاسن ومساوئ.

1-4-1 معايير أداء البطارية

يجب أن تشمل البطارية من وجهة نظر مصممي السيارات الكهربائية مجموعة من معايير الأداء، مثل الطاقة النوعية، وكثافة الطاقة، والقدرة النوعية‡، والجهد، وكفاءة شدة التيار (أمبير- ساعة)§ ، ومعدل التفريغ الذاتي، وعدد دورات التفريغ والشحن (حياة البطارية)، وبالطبع مدى توافر البطارية

* أبسط حذّافة معروفة هي لعبة الأطفال الشعبية المسماة الخذروف، وتعرف في بلاد الشام باسم البلبل، وفي مصر تسمى النحلة، وفي الجزائر تعرف باسم الزربوط، وفي العراق تسمى المصراع أو المرصاع.

† الفلز المشار له هنا هو أحد العناصر النادرة: السيريوم Ce، أو البراسوديميوم Pr، أو النيوديميوم Nd.

‡ الطاقة Energy هي إمكانية القيام بالشغل وتقدر بالجول، أما القدرة Power فهي معدل بذل الشغل (الفعل) خلال واحدة الزمن وتقدر بالواط.

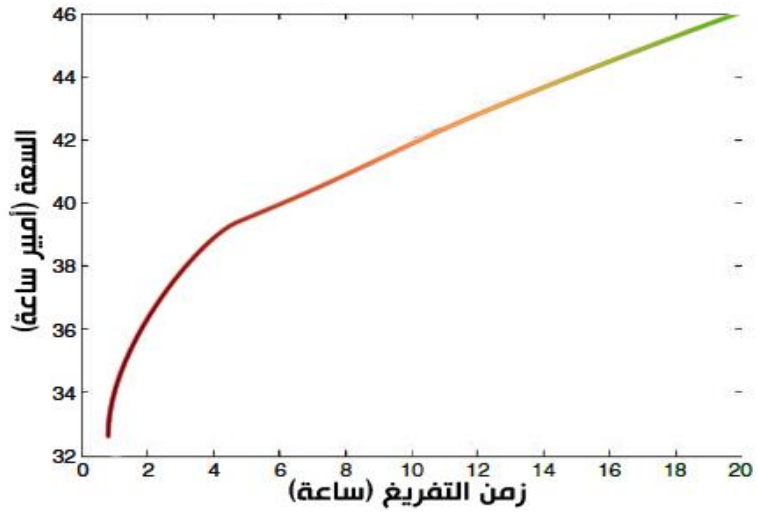
§ تعبر عن كفاءة تخزين الطاقة الكهربائية في البطارية.

وسهولة صنعها وكلفتها. كما تتضمن المعايير كفاءة البطارية في مختلف حالات الطقس حسب تغير درجات الحرارة، وتأثير معدلات الشحن والتفريغ، وغيرها من المعايير. يحتاج تصميم البطارية إلى معرفة عميقة لآلية عملها، وهذه المعرفة مهمة جداً لتقدير المخاطر المحتملة في حالات الحوادث، كما أنها مهمة عند تقدير إمكانية تدوير البطاريات المستعملة.

1-1-4-1 سعة الشحن (الشحنة)

من الطبيعي أن سعة البطارية هي أحد أهم المعايير، وتقدر فعلياً بواحدة أمبير- ساعة، فالبطارية التي سعتها 10 أمبير- ساعة، يمكنها أن تقدم تياراً بشدة 1 أمبير، لمدة 10 ساعات، أو يمكنها (نظرياً) تقديم تيار بشدة 10 أمبير لمدة ساعة واحدة. أما عملياً فكلما زادت سرعة التفريغ، كلما انخفضت كفاءة السعة[9]، كما هو مبين في الشكل 3.

الشكل 3: العلاقة بين زمن التفريغ والسعة في بطارية حمض- رصاص



المصدر: Larminie and Lowry، 2012

2-1-4-1: الطاقة المخزنة

الهدف الأساسي من البطارية هو تخزين الطاقة، وهي تعتمد على الجهد* والشحنة، فالطاقة المخزنة مقدرة بالواط ساعة هي ناتج الجهد مضروباً في الشحنة، ولما كانت السعة تعتمد على زمن التفريغ أو شدة التيار المسحوب من البطارية، فهذا يعني أن طاقة البطارية تعتمد بدورها ضمناً على زمن التفريغ، فهي متغيرة وليست ثابتة.

3-1-4-1: كثافة الطاقة

هي كمية الطاقة المختزنة في كل 1 كغ من كتلة البطارية، وتقدر بواحدة واط ساعة/كغ، ويشار

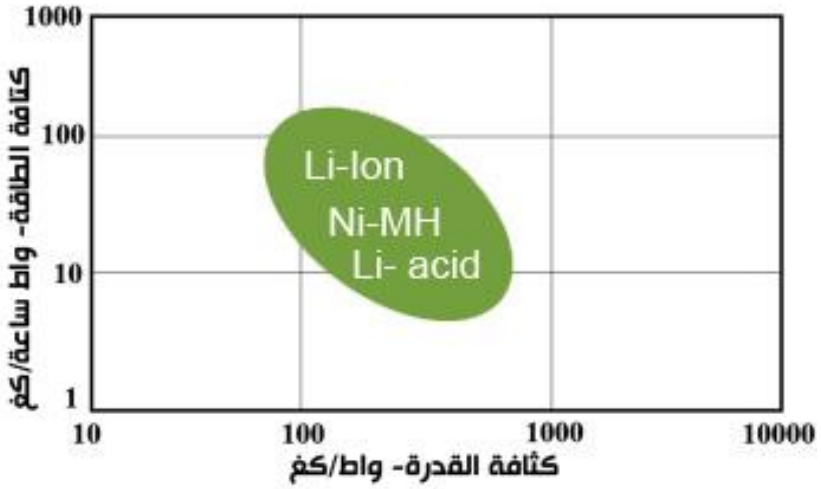
* الجهد Voltage.

لها أحياناً باسم القدرة النوعية. عند معرفة سعة البطارية الواجب استخدامها في سيارة ما، فإن تقسيم هذه السعة على كثافة الطاقة للبطارية، يعطي مؤشراً عن كتلة البطارية. وبطبيعة الحال فإن كثافة الطاقة التي تذكر على البطارية هي رقم تقريبي لأن الطاقة المخزنة في البطارية تعتمد على عدة عوامل كدرجة الحرارة وزمن التفريغ. تعتبر كمية الطاقة المخزنة في كل 1 متر مكعب من حجم البطارية (واط ساعة/م^3) من بين العوامل الهامة جداً لتقدير حجم البطارية التي يجب استخدامها في السيارة، ولها بالتالي تأثير كبير على تصميم السيارة نفسه.

1-4-1-5: القدرة النوعية

وتعبر عن القدرة التي يمكن الحصول عليها من 1 كغ من كتلة البطارية. وهي في الواقع كمية متغيرة لأنها تعتمد على الحمل المطبق على البطارية، وهو حمل يتغير خلال قيادة السيارة. وهنا تبرز أهمية العلاقة بين القدرة والطاقة، فبعض البطاريات تمتلك طاقة نوعية عالية، لكن قدرتها النوعية منخفضة، بمعنى أنها قادرة على تخزين كمية كبيرة من الطاقة، لكنها تمنحها بشكل بطيء، أي أن سيارة كهربائية ما يمكن قيادتها لمسافة طويلة، لكن بسرعة منخفضة. وغالباً ما يتم تمثيل هذه العلاقة عبر مخطط Ragone*، الذي يساعد على تحديد أفضل طريقة أو جهاز لتخزين الطاقة. يبين الشكل 4 نموذجاً عن مخطط Ragone، والذي يمكن من خلاله تبين العلاقة بين القدرة والطاقة[10]، وهو يساعد في مجال التصميم على اختيار النوع الملائم من البطاريات لكل مركبة. فالسيارات التي تحتاج لتسارع كبير، تختلف حاجتها من القدرة والطاقة عن الرافعات الشوكية الكهربائية مثلاً. وعموماً تمتلك السيارات الكهربائية كثافة طاقة أعلى من السيارات العادية، لكنها كثافة القدرة فيها أقل.

الشكل 4: مخطط Ragone للعلاقة بين القدرة والطاقة في البطارية



المصدر: Sundén، 2019

* تعود التسمية إلى David V. Ragone الذي ابتكر هذا المخطط عام 1968.

6-1-4-1: التفريغ الذاتي

تفقد معظم البطاريات شحنتها عند تركها غير مستخدمة لفترة طويلة، وهذا ما يعرف بالتفريغ الذاتي، مما يعني أنه لا يمكن ترك السيارة الكهربائية لفترة طويلة بدون شحنها. يختلف معدل التفريغ الذاتي باختلاف نوع البطارية، فعلى سبيل المثال يبلغ معدل التفريغ الذاتي لبطارية نيكل- هيدريد الفلز حوالي 5% في اليوم، بينما يبلغ 0.5% في اليوم لبطارية نيكل- كادميوم. كما أن هناك عوامل أخرى تساهم في التفريغ الذاتي للبطارية، ومن أهمها درجة الحرارة، إذ تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى زيادة التفريغ الذاتي بشكل كبير بسبب تأثيرها على التفاعلات الكيميائية التي تتم ضمن البطارية. وتشير بعض الدراسات إلى أن الحرارة المثالية لعمل بطارية ليثيوم- حديد تتراوح بين 15- 35° مئوية[11]، وعند ارتفاعها عن ذلك يبدأ عمر البطارية بالتناقص، كما أن هذا الارتفاع يسبب تسارع التفاعلات الكيميائية في البطارية مسبباً مزيداً من التناقص في عمر البطارية. وهنا يشار إلى أن بطارية ليثيوم- كادميوم يمكن أن تعمل ضمن مجال واسع من درجات الحرارة (-40° وحتى +80° مئوية)، لكن شحنتها تتراجع بسرعة بعد 35° مئوية[12].

7-1-4-1: عمر البطارية وعدد الدورات العميقة

يشير مصطلح "الدورة العميقة" إلى بطارية مصممة ليتم تفريغها إلى مستوى كبير قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها. وعلى النقيض من ذلك تأتي بطارية التشغيل، والتي صممت لتوفير دفعة قصيرة من الطاقة لكنها مرتفعة بما يكفي لبدء تشغيل محرك السيارة العادية. تُستخدم بطاريات الدورة العميقة بشكل شائع في التطبيقات التي تتطلب إنتاج طاقة ثابتة على مدى فترة طويلة من الزمن، كما هو الحال في الألواح الشمسية والمركبات الكهربائية والقوارب، وأنظمة الطاقة الاحتياطية للمنازل والشركات.

دورة البطارية الواحدة هي الوقت المستغرق للوصول من حالة الشحن إلى حالة التفريغ، وهي دورة قد تستغرق ساعة واحدة في بطارية ما، أو يمكن أن تكون عشر ساعات في بطارية ثانية. وحالة التفريغ لا تعني أن البطارية ستصل إلى نسبة 0% من الشحن، بل هي نسبة الشحن التي لا ينبغي بعدها استخدام البطارية أكثر لأنها ستؤدي إلى تدهور سعتها. يتم تحديد ذلك من خلال عمق تفريغ البطارية (DoD*)، فعلى سبيل المثال إذا كانت البطارية تتمتع بعمق تفريغ يبلغ 80%، فسيتم تفريغها عند مستوى شحن يبلغ 20%، ولا مناص من شحنها عند ذلك. يعبر عمق التفريغ عملياً عن النسبة المئوية لسعة البطارية المستخدمة قبل إعادة شحنها، بمعنى أنه يمكن تفريغ بطارية الدورة العميقة إلى 80% من سعتها دون الإضرار بها. ولمزيد من الإيضاح يمكن القول إن التصنيف الاسمي لبطارية سيارة كهربائية

* Depth of Discharge

مثل 24 كيلو واط ساعة، يمثل مقدار الطاقة المتاحة لاستخدام السيارة. إن سعة البطارية الإجمالية هي في الواقع أكبر إلى حد ما، ولكن لتحقيق أقصى عمر للبطارية، لا ينبغي أن يتم تفريغ البطارية بعمق أو شحنها إلى إجمالي سعتها التصميمية. وتأخذ المركبات الكهربائية الحديثة هذه القيود في الاعتبار وتحدد عادةً حالة شحن البطارية بما يتراوح بين 20 إلى 90 % من سعتها الإجمالية في معظم ظروف التشغيل يعتمد عدد الدورات العميقة التي يمكن للبطارية تحملها على نوع البطارية وطريقة استخدامها والظروف البيئية، فعدد دورات بطاريات الرصاص الحمضية يتراوح عادةً ما بين 500 إلى 1000 دورة، بينما يمكن أن يزيد عدد دورات بطاريات الليثيوم- كوبالت عن 1000 دورة، ويزعم بعض مصنعي البطاريات أن عدد دورات بطارية ليثيوم-حديد-فوسفات يصل إلى أكثر من 20 ألف دورة لو تم اتباع تعليمات الصانع بدقة، وهذا الرقم عملياً مبالغ فيه جداً، إذ أنه يتطلب شروطاً شبه مخبرية، مما ينفي الفائدة من استعمال البطارية في الظروف الطبيعية العامة. ومن الجلي أن عمر البطارية يختلف عن عدد دورات الشحن التي تتحملها قبل تراجع سعتها، فعمر البطارية يعبر عن الزمن الذي يمكن أن تعيشه البطارية بغض النظر عن دورات الشحن والتفريغ[13].

1-4-1-8: فعالية الشحن

في الحالة المثالية، عندما تعطي البطارية كاملة الطاقة التي شحنت بها، يقال إن فعالية الشحن (Amphour) هي 100%، وبطبيعة الحال فإن الواقع يختلف عن الحالة المثالية.

يبين الجدول 1 مقارنة بين مواصفات عدة أنواع من البطاريات شائعة الاستخدام، ويلاحظ منه وجود اختلافات كبيرة بين بعض مواصفات البطاريات المدرجة فيه، فمعدل التفريغ الذاتي في بطارية نيكل-معدن هجين -على سبيل المثال- يبلغ عشرة أضعاف نظيره في بطارية نيكل- كادميوم.

الجدول 1: مقارنة بين مواصفات بعض البطاريات

	رصاص- حمض	نيكل- كادميوم	نيكل- معدن هجين
الطاقة النوعية- واط- ساعة/كغ	20- 35	40- 55	65
كثافة الطاقة- واط- ساعة/ م^3	54- 59	70- 90	150
القدرة النوعية- واط/كغ	250	125	200
الجهد الاسمي للخلية الواحدة- فولت	2	1.2	1.2
فعالية الشحن- %	≈ 80	جيدة	جيدة جداً
مجال العمل الحراري°	كفاءة منخفضة في الطقس البارد	(-40) +80	حرارة الغرفة
التفريغ الذاتي- %/اليوم	2	0.5	5
عدد دورات الشحن	800	1200	1000
زمن الشحن- ساعة	8 (حتى 90% في ساعة واحدة)	1(حتى 60% في 20 دقيقة)	1 (حتى 60% في 20 دقيقة)

المصدر: إعداد الباحث بناء على جداول مختلفة من Larminie و Lowry، 2012[14].

5-1 شواحن السيارات الكهربائية

1-5-1 تعريف

شاحن السيارة الكهربائية هو جهاز يزود بطارية السيارة الكهربائية بالطاقة. يمكن تشبيهه بمحطة وقود تقليدية، لكنه بدلاً من البنزين أو الديزل، يزود السيارة بالكهرباء.

تختلف الشواحن بأنواعها، وإن كانت عموماً تصنف إلى ثلاثة مستويات:

- شاحن **المستوى 1**: يُستخدم هذا النوع من الشواحن مع قابس كهربائي منزلي عادي، وهو أبطأ نوع من الشواحن.
- شاحن **المستوى 2**: ويشار له بالشاحن السريع، يستخدم مع محطة شحن خاصة، وهو أسرع بكثير من شاحن المستوى الأول.
- شاحن **المستوى 3**: ويشار له بالشاحن فائق السرعة ويوجد في محطات شحن سريعة، وهو أسرع أنواع الشواحن.

2-5-1 طرق الشحن

هناك عملياً طريقتان أساسيتان لشحن المركبات الكهربائية:

- الشحن بالتيار المتناوب (المتردد) AC
- الشحن السريع بالتيار المستمر DC.

تأتي الطاقة الكهربائية من الشبكة على شكل تيار متردد، لكن بطارية السيارة الكهربائية لا يمكنها تخزين الطاقة إلا على شكل تيار مستمر، وهذا يعني أنه يجب تحويل الطاقة قبل تخزينها في البطارية. يعتمد الشحن من التيار المتردد (كالتيار المنزلي) على الشاحن الموجود في السيارة لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر.

أما في حالة الشحن فائق السرعة (المستوى3) فتتم عملية تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ضمن محطة الشحن نفسها.

تستخدم الشواحن من المستوى 1 و2 التيار الكهربائي المتناوب أو المتردد، بينما يستخدم الشاحن من المستوى 3 التيار الكهربائي المستمر. كما تختلف الشواحن حسب نوع المقبس* Socket والقابس Plug فيها، كما هو مبين في الجدول 2. وتتضمن الدراسة جداول ملحقة تبين التفاصيل الفنية لأنواع المقابس بشكل واضح.

* كما هو الحال بالنسبة للشواحن الخاصة بالهواتف النقّالة.

الجدول 2: ملخص عام لأنواع القوابس المستخدمة في السيارات الكهربائية

نوع المقبس	طاقة الشحن (ك و س)	شكل المقبس	ملاحظات
النوع 1	7-3		في السيارات القديمة والسيارات المصنوعة في دول آسيا
النوع 2	34-3		أكثر انتشاراً في المملكة المتحدة، ويشار له أحياناً باسم Mennekes، حسب الشركة الألمانية التي صنعته
CHAdeMO	100 -25		يستخدم في الشحن السريع، وظهر لأول مرة في اليابان
CCS	350 -50		نوع شائع طورته الشركات الألمانية
مصدر البيانات: British Gas، 2024			

الفصل الثاني

انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل

يتضمن هذا الفصل بيانات عن المنظور العام لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل في العالم وفي الدول العربية، ويناقش تأثير استخدام السيارات الكهربائية على المناخ، من خلال النقاط التالية:

1- المنظور العام لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل.

2- انبعاثات قطاع النقل في الولايات المتحدة وأوروبا والدول العربية.

3- علاقة قطاع النقل البري بتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون.

4- كيف ستؤثر السيارات الكهربائية على المناخ.

1-2 المنظور العام لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل

ما دام غاز ثاني أكسيد الكربون هو المستهدف الأول عند الترويج للسيارات الكهربائية، فلا بد من النظر في كمياته ومصادر انبعاثاته.

عند متابعة أي بحث عن السيارات الكهربائية، يلاحظ بشكل جلي أن هناك افتراضات مسبقة حول السيارات الكهربائية تكاد لا تتغير، وهي:

1- السيارات الكهربائية غير ملوثة للبيئة، وتكاليف استخدامها منخفضة مقارنة بالسيارات التقليدية.

2- قطاع النقل التقليدي يساهم بأعلى حصة من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

عملياً، تحاول العديد من البلدان تعزيز نشر السيارات الكهربائية عبر تقديم مختلف الحوافز، في مسعى لجعل هذه السيارات العنصر الأساسي في قطاع النقل العام والخاص. وتتراوح الأسباب المعلنة لذلك المسعى بين الفوائد الاقتصادية التي يمكن أن تعود على المالكين من ناحية الحصول على الحوافز الحكومية أو التوفير في سعر الوقود، وبين أهمية الاستفادة من التقنيات الجديدة، وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وبالتالي زيادة الاستقلال الطاقي، وما إلى ذلك. أما الذريعة الرئيسية فهي الوصول إلى تخفيض جذري في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وعلى مستوى أقل -إعلامياً- أكاسيد النيتروجين وغيرها.

أي أن الدفع في هذا الاتجاه -وخاصة من قبل أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية - يرتكز عموماً على المخاوف البيئية وما يرتبط بها من الحاجة إلى إزالة الكربون من الاقتصاد، وارتفاع عدد السكان في المدن وما يتبعه من تراجع الإنتاجية نتيجة الازدحام المروري، كما يساعد على هذا التوجه التقدم التكنولوجي في أنظمة تخزين الكهرباء، وتحسن الاتصالات مع إدخال تقنية الجيل الخامس وإنترنت الأشياء (IoT)، وهي من النقاط الهامة خاصة مع نشر بعض أساطيل سيارات النقل العامة بدون سائق في بعض دول أوروبا وبعض الولايات الأمريكية.

مما لا شك فيه أن نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن السيارات الخاصة من إجمالي انبعاثات قطاع النقل تختلف بين دولة لأخرى، إذ قدرت عام 2019 بنحو 70% في دول الاتحاد الأوروبي، بينما كانت أقل من 60% في الولايات المتحدة الأمريكية في نفس العام[15]. وتعمل بعض الجهات لأسباب غير واضحة على تعميم هذا الرقم مما يرفع قيمته إلى نحو 83% على مستوى العالم[16]، وهو بطبيعة الحال تعميم يصعب القبول به إذ أن لكل دولة ظروف مختلفة ترتبط بعدد كبير من العوامل الداخلية والذاتية.

في هذا المجال تشير بعض الجهات إلى اصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون كأحد الحلول الممكنة لمواجهة التغير المناخي، وكانت الولايات المتحدة قد تبنت هذه الفكرة، ودعمتها، ففي عام 2008، تم تقديم قسم خاص ضمن قانون الإيرادات الداخلية للولايات المتحدة، عرف باسم Q45، ويتضمن حوافز على شكل خصم ضريبي لتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون، بهدف تحفيز عمليات التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS)، وبموجب هذا القسم يتم تقديم حوافز تتراوح بين 50- 85 دولاراً لكل طن من ثاني أكسيد الكربون الذي يتم تخزينه بشكل دائم. وفي عام 2022 تم إجراء تعديلات على هذا القسم، سمحت بتقليل متطلبات سعة المشاريع المؤهلة للاستفادة من الحوافز، بحيث يمكن تقديم هذه الحوافز لمشاريع تلتقط 18750 طناً في السنة من محطات الطاقة بشرط أن يتم التقاط 75% على الأقل من ثاني أكسيد الكربون المنتج منها، أما باقي المشاريع فيمكن أن تحصل على الحوافز عند التقاط واحتجاز 12 ألف طن سنوياً فقط. وتتضمن تعديلات عام 2022 منح مدة سبع سنوات للتأهل للحصول على الحوافز الضريبية[17].

يمكن النظر إلى انبعاثات قطاع النقل في الولايات المتحدة وأوروبا كمثال، كونهما تدفعان قدماً باتجاه استخدام السيارات الكهربائية، وبهدف المقارنة، سيتم النظر في انبعاثات قطاع النقل في الدول العربية كذلك.

1-1-2 انبعاثات قطاع النقل في الولايات المتحدة

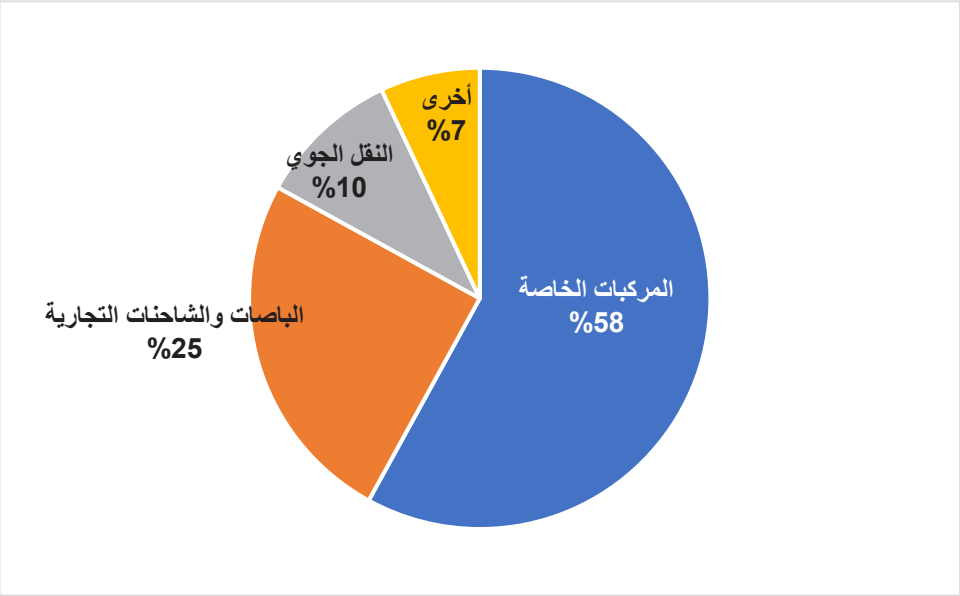
تشير بيانات وكالة معلومات الطاقة الأمريكية[18] EIA، إلى أن قطاع النقل استهلك نحو 67% من إجمالي المشتقات النفطية في الولايات المتحدة عام 2022، ويبين الشكل 5 نسب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالمركبات* في الولايات المتحدة، مصنفة حسب وسيلة النقل في عام 2019، ويلاحظ منه أن انبعاثات مركبات النقل العام والشاحنات التجارية كانت تعادل 42%، بينما مثلت انبعاثات السيارات الخاصة 58% من إجمالي انبعاثات قطاع النقل.

لكن الأمر الهام لا يتعلق بالنسب فقط، بقدر ما يتعلق بحجم انبعاثات قطاع النقل عموماً من إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة. وفي معرض توضيح هذه النقطة، يبين "مكتب ميزانية الكونغرس الأمريكي" (CBO) أن إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة عام 2021 بلغت 4.6 مليار طن، وكانت حصة قطاع النقل إجمالاً 1.7 مليار طن، أي ما يعادل

* تعبير المركبات يعني كل وسائط النقل البرية، من سيارات وشاحنات، ومعدات زراعية ودراجات نارية وغيرها.

38% من إجمالي الانبعاثات، وهو رقم لا يزيد كثيراً عن كمية 1.5 مليار طن التي نتجت عن توليد الطاقة الكهربائية (ما يعادل 33% من إجمالي الانبعاثات)، بينما نتج 1.4 مليار طن عن الاستخدامات الصناعية والمنزلية والتجارية[19] تمثل 29% من إجمالي الانبعاثات.

الشكل 5: نسب مساهمة وسائل النقل المختلفة في انبعاثات CO_2 في الولايات المتحدة عام 2019

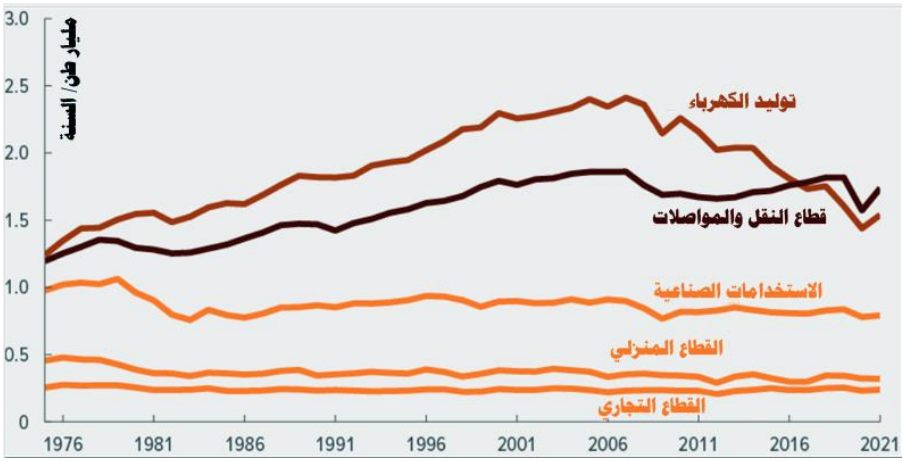


المصدر: Congressional Budget Office، 2022.

وهنا لابد من النظر إلى الصورة الكبيرة التي تبين أن انبعاثات قطاع النقل في الولايات المتحدة تجاوزت انبعاثات قطاع توليد الكهرباء بعد عام 2017 كما هو مبين في الشكل 6، لكن ذلك التجاوز لم يكن بسبب ارتفاع انبعاثات قطاع النقل، بقدر ما كان بسبب تراجع انبعاثات قطاع توليد الكهرباء. وبالعودة إلى بيانات توليد الكهرباء في الولايات المتحدة حسب مصدر الطاقة، يلاحظ أن توليد الكهرباء باستخدام النفط ارتفع من 23 تيرا واط ساعة عام 2017، إلى 25 تيرا واط ساعة عام 2022، كما ارتفع توليد الكهرباء باستخدام الغاز من 1395 تيرا واط ساعة عام 2017 إلى 1816 تيرا واط ساعة عام 2022، بينما كان المصدر الوحيد الذي انخفض استخدامه في توليد الكهرباء هو الفحم الحجري، حيث تراجع من 1310 تيرا واط ساعة عام 2017 إلى 904 تيرا واط ساعة عام 2022. ويلاحظ أن كميات الكهرباء المولدة من الغاز والفحم الحجري في عام 2017 كانت متقاربة (1395، و1310 تيرا واط ساعة)[20].

توضح هذه الأرقام أن تراجع كميات الكهرباء المولدة باستخدام الفحم الحجري بنسبة 30%، كان لها أثر أكبر بكثير على خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنة بارتفاع تلك الانبعاثات في قطاع النقل، مما قد يكون مؤشراً على أن توجيه أصابع اللوم نحو قطاع النقل كمتسبب رئيسي في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، لا يبيح التغاضي عن باقي الصناعات التي تستخدم الوقود الأحفوري.

الشكل 6: انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة حسب القطاع

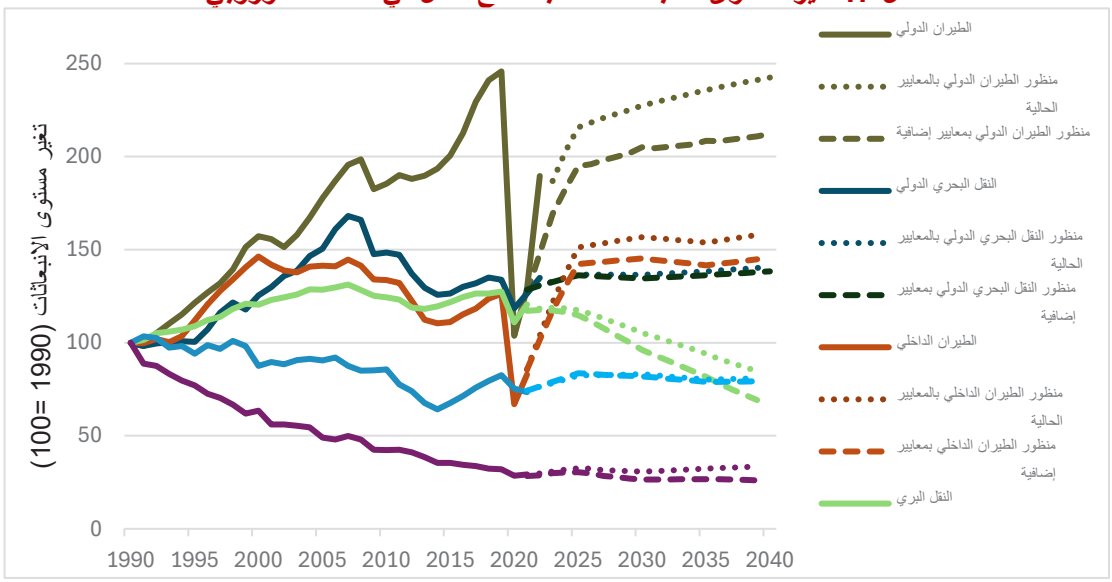


المصدر: Congressional Budget Office، 2022.

2-1-2 انبعاثات قطاع النقل في أوروبا

تشير بيانات وكالة البيئة الأوروبية (EEA)[21] إلى أن مساهمة قطاع النقل في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بلغت 25% من إجمالي الانبعاثات في أوروبا عام 2019، وكانت الانبعاثات متساوية في قطاعي النقل البحري والمواصلات البرية في عام 2021. يمكن ملاحظة تغير مستوى انبعاثات قطاعات النقل الحالية والمستقبلية المتوقعة مقابل أكثر من سيناريو في دول الاتحاد الأوروبي من خلال الشكل 7. كما يمكن من الشكل نفسه ملاحظة التراجع الحاد في انبعاثات قطاع النقل في عام 2020، وهو ما نتج عن وباء كوفيد-19، لكن بيانات الوكالة المحدّثة في أواخر عام 2023، تشير إلى أن انبعاثات قطاع النقل ارتفعت بنحو 8.6% عام 2021، وارتفعت بنسبة 2.7% في عام 2022.

الشكل 7: تغير مستوى الانبعاثات حسب قطاع النقل في الاتحاد الأوروبي



المصدر: EEA، 2023

ملاحظة: المخطط لا يمثل تغير نسب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون فقط، بل كل ما يطلق عليه اسم غازات الدفيئة.

3-1-2 انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الدول العربية من قطاع النقل

تشير قاعدة بيانات المفوضية الأوربية[22] حول "أبحاث الانبعاثات العالمية في الغلاف الجوي"، إلى أن إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في العالم عام 2022 بلغت 53.9 مليار طن تقريباً، وبتحري التفاصيل ضمن قاعدة البيانات هذه، يلاحظ أن انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الدول العربية مجتمعة بلغت 3.1 مليار طن، أي ما يمثل 5.8% فقط من إجمالي انبعاثات العالم (منها 5.1% من دول منظمة أوابك). أما إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل العالمي، فبلغت نحو 8 مليار طن، منها 0.44 مليار طن فقط تمثل انبعاثات قطاع النقل في الدول العربية مجتمعة، أي نحو 5.6% من إجمالي انبعاثات العالم في هذا القطاع. بينما -استناداً إلى نفس قاعدة البيانات- يلاحظ أن انبعاثات قطاع النقل في الدول الأوروبية E27، تمثل 9.7% من إجمالي انبعاثات قطاع النقل في العالم، أي أنها تزيد عن انبعاثات قطاع النقل في الدول العربية مجتمعة بأكثر من 73%.

يبين الجدول 3 انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون* من قطاع النقل في الدول العربية في عام 2022، مرتبة حسب كمية انبعاثات كل دولة، ويلاحظ أن منه أن انبعاثات قطاع النقل في المملكة العربية السعودية كانت الأعلى بين الدول العربية ووصلت إلى نحو 140 مليون طن، تمثل 17% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المملكة، لكن ذلك أمر متوقع في ضوء خصوصية المملكة في مجال حركة المواصلات والنقل الكثيفة وعدد المركبات الكبير فيها†، فعلى سبيل المثال توضح بيانات "الهيئة العامة للإحصاء" في السعودية أن عدد السيارات المغادرة عبر "جسر الملك فهد" (الذي يربط السعودية مع البحرين) بلغ أكثر من 186 ألف سيارة في عام 2019، وبلغ عدد السيارات القادمة نحو 181 ألف سيارة، علاوة على ما يقارب 60 ألف شاحنة قدمت نحو أسواق المملكة، و29 ألف شاحنة ترانزيت، وزهاء 98 ألف شاحنة فارغة[23]. كما أن موسم الحج ومواسم العمرة تلعب دوراً هاماً في زيادة الانبعاثات، مع وجود الأعداد الكبيرة من الحجاج والمعتمرين، فقد أعلنت "الهيئة العامة للطيران المدني" في السعودية أن عدد المسافرين من مطارات المملكة وإليها عام 1444هـ (2023)، تجاوز 11.5 مليون مسافر منذ بداية شهر رمضان وحتى التاسع من شوال[24]. ويلاحظ من الجدول 3 كذلك أن نسبة غاز ثاني أكسد الكربون الناتجة عن قطاع النقل العالمي مثلت 20% من إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في عام 2022، وهو ما يتوافق مع بيانات منصة Climate Watch الرقمية المشار إليها سابقاً.

* الانبعاثات الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري.

† تشير بيانات من مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) إلى أن عدد المركبات عموماً زاد عن 17.8 مليون مركبة في المملكة عام 2015، بينما بلغ عدد المركبات في الكويت في نفس العام زهاء 1.9 مليون مركبة.
https://datasource.kapsarc.org/explore/dataset/number-of-vehicles-in-gcc-countries/table/?disjunctive.country&sort=country

الجدول 3: انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل في الدول العربية والعالم عام 2022

	إجمالي الانبعاثات مليون طن	إجمالي انبعاثات قطاع النقل مليون طن	نسبة انبعاثات قطاع النقل من الإجمالي المحلي	نسبة انبعاثات قطاع النقل من إجمالي قطاع النقل العالمي
السعودية	810.51	139.79	%17	**%1.75**
مصر	377.78	66.44	%18	%0.8
العراق	367.94	35.77	%10	%0.4
الإمارات	295.11	39.39	%13	%0.5
الجزائر	284.45	45.94	%16	%0.6
قطر	194.65	15.03	%8	%0.2
الكويت	167.86	13.50	%8	%0.2
عمان	137.24	12.94	%9	%0.2
المغرب	114.77	19.37	%17	%0.2
ليبيا	104.51	20.43	%20	%0.3
البحرين	69.98	3.62	%5	أقل من 0.1%
تونس	49.82	8.69	%17	%0.1
سوريا	46.31	5.81	%13	%0.1
اليمن	38.01	2.93	%8	أقل من 0.1%
الأردن	34.54	7.71	%22	%0.1
لبنان	31.93	6.83	%21	%0.1
مجموع الدول العربية	**3125**	**444**	**%14**	**%5.6**
إجمالي العالم	**38512**	**7968**	**%20**	

المصدر: إعداد الباحث بناء على أرقام مستمدة من قاعدة بيانات المفوضية الأوربية حول أبحاث الانبعاثات العالمية في الغلاف الجوي EDGAR، 2023

ويمكن -بهدف المقارنة- النظر إلى قائمة الدول العشر الأعلى من ناحية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل، كما هو موضح في الجدول4، ويلاحظ أنه لا توجد بينها دول عربية، كما يلاحظ أن انبعاثات قطاع النقل في الولايات المتحدة لوحدها، تعادل قرابة 4 أضعاف انبعاثات هذا القطاع في الدول العربية مجتمعة.

الجدول 4: انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل في بعض دول العالم عام 2022

	مليون طن/السنة	نسبة انبعاثات قطاع النقل في الدولة من إجمالي قطاع النقل العالمي
الولايات المتحدة	1720.5	21.6%
الصين	873.2	11.0%
الهند	299.2	3.8%
روسيا	246.5	3.1%
البرازيل	210.6	2.6%
اليابان	186.7	2.3%
كندا	179.2	2.2%
المكسيك	144.6	1.8%
ألمانيا	144.3	1.8%
إيران	143.9	1.8%

المصدر: إعداد الباحث بناء على أرقام مستمدة من قاعدة بيانات المفوضية الأوربية حول أبحاث الانبعاثات العالمية في الغلاف الجوي EDGAR، 2023

وهنا لابد من التنويه إلى أن بعض مصادر البيانات لا توضح بدقة الفرق بين انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وانبعاثات مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2e، والتي تتضمن في هذه الحال انبعاثات أكسيد النيتروز N_2O، وتتضمن انبعاثات غاز الميثان CH_4. يوضح الجدول 5 انبعاثات غاز أكسيد النيتروز من قطاع النقل في الدول العربية والعالم في عام 2022. ويلاحظ منه أن إجمالي الانبعاثات في الدول العربية تقل بنحو 42% عن نظيرتها في الدول الأوربية.

الجدول5 : انبعاثات غاز أكسيد النيتروز من قطاع النقل في الدو ل العربية والعالم في عام 2022

	إجمالي انبعاثات قطاع النقل مليون طن	النسبة من إجمالي قطاع النقل في العالم
السعودية	1.67	**%1.6**
مصر	0.94	%0.9
الجزائر	0.57	%0.5
العراق	0.39	%0.4
الإمارات	0.32	%0.3
المغرب	0.25	%0.2
قطر	0.21	%0.2
ليبيا	0.19	%0.2
الكويت	0.13	%0.1
عمان	0.11	%0.1
تونس	0.10	%0.1
الأردن	0.09	%0.1
سوريا	0.07	%0.1
لبنان	0.05	%0.0
البحرين	0.03	%0.0
اليمن	0.02	%0.0
مجموع الدول العربية	**5.12**	**%4.8**
EU27 الاتحاد الأوروبي	**7.27**	**%6.8**
إجمالي العالم	**107.52**	

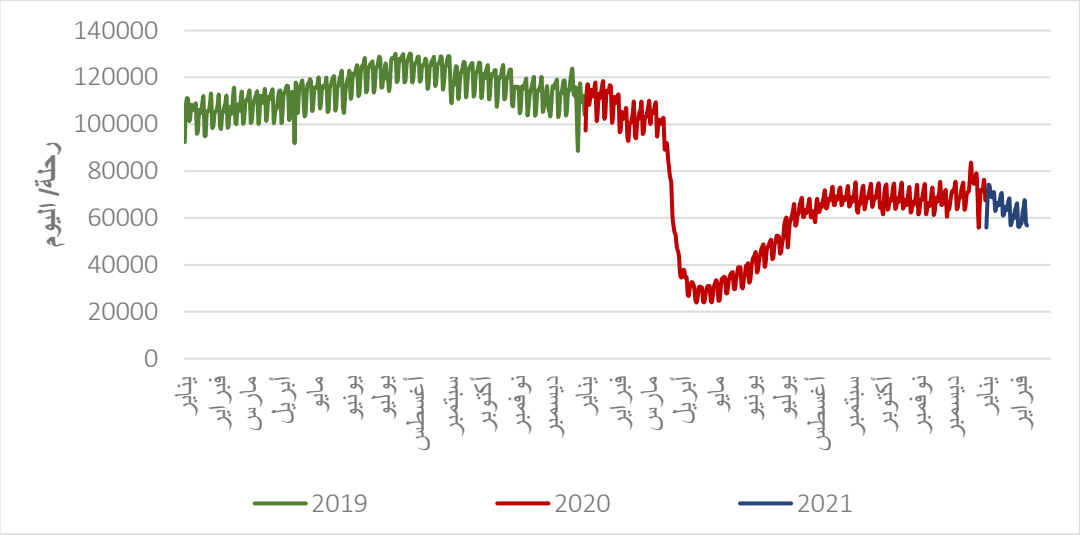
المصدر: إعداد الباحث بناء على أرقام قاعدة بيانات المفوضية الأوربية حول أبحاث الانبعاثات العالمية في الغلاف الجوي.

وقد يقول قائل إن هذه الأرقام كانت لاحقة لعام 2020، وهو العام الذي عصفت فيه أزمة كورونا بالعالم، وتسببت في الحد من عمليات النقل عموماً، والنقل البري بشكل خاص، وبالتالي قد لا تمثل الأرقام واقع الانبعاثات سواء في العالم أو في الدول العربية، لأنها تمثل نوعاً ما استعادة الدول لنشاط الصناعة والنقل فيها. والواقع أن القيود المفروضة على السفر في عام 2020 ساهمت في انخفاض الطلب على النفط بنسبة لم تتعد 4.5%، وكان من بين الأسباب الأساسية لذلك انخفاض حركة انتقال السيارات الخاصة، حيث تراجعت الحركة على الطرقات عالمياً في النصف الثاني من شهر آذار/مارس 2020، بأكثر من 53% مقارنة بنفس الفترة من عام 2019. وكان التراجع سريعاً جداً في الصين حتى شهر فبراير 2020، بينما لم يظهر التراجع في باقي دول العالم مثل أوروبا وأمريكا والهند إلا مع تتالي عمليات الإغلاق في شهر

مارس، وهو أمر مفهوم في ضوء أن الوباء انتشر أساساً من الصين[25]. وهنا يمكن الإشارة إلى أن "الإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي NOAA" سبق وأن بررت عدم ملاحظة أي تغير في تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 بأن التغير كان ضئيلاً جداً[26].

عموماً، لم يكن النقل البري العامل الوحيد في تراجع الطلب على النفط عام 2020، إذ ساهم الحد من عمليات النقل الجوي في هذه النقطة، حيث توقفت أساطيل الطيران في معظم دول العالم، وأغلقت البلدان مطاراتها باستثناء رحلات الإعادة إلى الوطن ورحلات الشحن، ويمكن تبين ذلك من الشكل 8 الذي يوضح مقارنة بين عدد رحلات الطيران اليومية* بين عامي 2019 و 2020، حيث انخفض الطلب على وقود الطائرات بنحو 25% حتى شهر مارس 2020، وانخفض عدد رحلات الطيران بنسبة 41% بين مطلع عام 2020 حتى الأسبوعين الأخيرين من شهر مارس، وبلغ متوسط عدد الرحلات في شهر أبريل 2020 نحو 26% فقط من متوسط عدد الرحلات لنفس الفترة في عام 2019.

الشكل 8: مقارنة بين عدد رحلات الطيران اليومية في العالم (2019- 2020)



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من: Flightradar24، 2021

رغم ما تقدم، تراجعت بالفعل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل على مستوى العالم في عام 2020، لكن ذلك كان بنسبة ضئيلة لم تتعد 0.4%. وفي الدول العربية بدورها، تراجعت انبعاثات قطاع النقل بنسب مختلفة تراوحت بين 0.6% في سوريا، إلى 3% في الكويت. لكن نسبة الانبعاثات من قطاع النقل في الدول العربية إلى إجمالي انبعاثات العالم من نفس القطاع، لم تشهد تغيراً يذكر بين عامي 2019 و2020.

* Flight Radar 24، موقع عالمي يقدم خدمة تتبع رحلات الطيران حول العالم على مدار الساعة.
https://www.flightradar24.com/blog/charting-the-decline-in-air-traffic-caused-by-covid-19/

ولابد من التأكيد على أن عدد المركبات الذي ينشر في أغلب الدوريات، لا يعبر دوماً عن السيارات الخاصة فقط، بل غالباً ما يتضمن مركبات الشحن والدراجات النارية، بينما يمثل عدد السيارات (سواء الكهربائية أو سيارات محركات الاحتراق الداخلي) أقل من 75% من إجمالي البيانات، وهذا رقم مجمل تختلف قيمته من دولة لأخرى، ويمكن تبين ذلك من الجدول 6 الذي يوضح عدد السيارات الخاصة مقابل عدد المركبات في بعض دول العالم والذي يبين أن متوسط السيارات الخاصة في هذه الدول هو 71% من إجمالي المركبات في عام 2020[27].

الجدول6 : نسبة عدد السيارات الخاصة إلى إجمالي عدد المركبات في بعض دول العالم عام 2020

الدولة	إجمالي عدد المركبات	السيارات الخاصة	نسبة السيارات الخاصة إلى إجمالي عدد المركبات (%)
الولايات المتحدة	279,238,170	254,498,425	**91**
الصين	262,000,000	221,554,700	**85**
اليابان	134,850,000	88,263,800	**65**
ألمانيا	67,800,000	49,930,500	**74**
الهند	317,000,000	190,783,300	**60**
روسيا	50,200,000	36,116,600	**72**
البرازيل	119,000,000	78,233,600	**66**
المكسيك	120,000,000	74,284,700	**62**
كندا	38,000,000	25,580,200	**67**
إيطاليا	41,200,000	27,931,500	**68**
المتوسط			**71**

المصدر: مستخلص من قاعدة بيانات OICA (International Organization of Motor Vehicles Manufacturer)

كما يمكن أيضاً النظر إلى بيانات المجموعة الإحصائية السنوية في دولة الكويت، والتي تشير إلى أن إجمالي عدد المركبات في الدولة بلغ نحو 2.23 مليون مركبة عام 2019*، وبلغت نسبة السيارات الخاصة منها 80%، أي حوالي 1.8 مليون سيارة[28].

يلاحظ مما سبق أن تعبير (غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن النقل) هو تعبير فضفاض، يمكن أن يكون غير دقيق عند استخدامه بشكل مباشر للحديث عن السيارات الكهربائية. وتوضح الأرقام في قاعدة بيانات المفوضية الأوربية حول أبحاث الانبعاثات العالمية في الغلاف الجوي، أن نسبة غاز الكربون

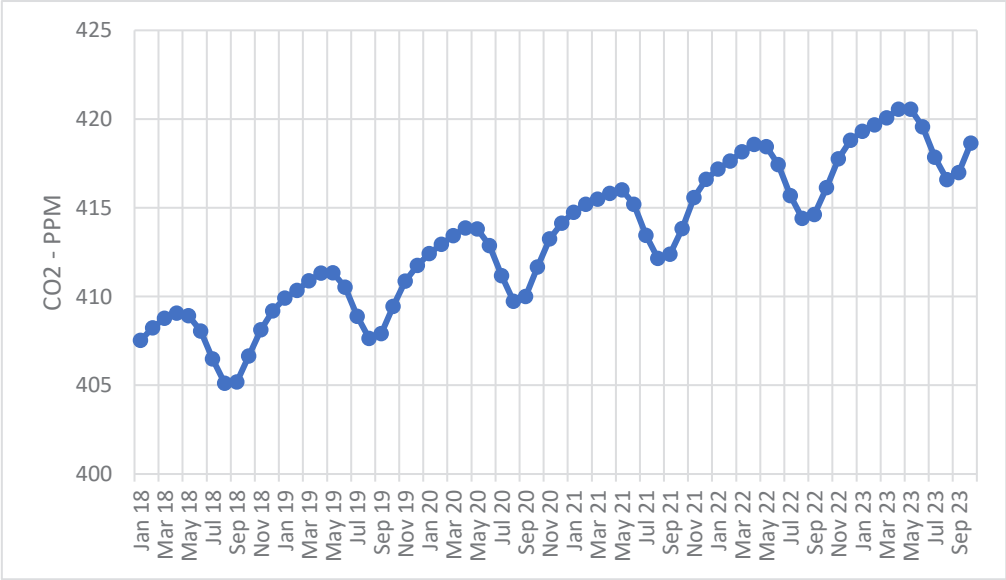
* يلاحظ أن العديد من البيانات المستخدمة في هذا الفصل حول المركبات والسيارات تعود لثلاث أو أربع سنين خلت، وذلك بسبب عدم توفر بيانات حديثة موثقة عن كل الدول في كل المجالات، فتم اختيار السنوات التي توجد فيها أكبر كمية متاحة من البيانات عن أكبر عدد من الدول، على أمل أن تكون الصورة متقاربة عند المقارنة بينها.

الناتج من قطاع النقل بأنواعه (جوي، بحري، بري) ارتفعت من17.7% عام 1970، إلى 20.7% عام 2022، أي أنها زادت بمعدل 3% فقط خلال أكثر من نصف قرن[29].

2-2 علاقة قطاع النقل البري بتركيز ثاني أكسيد الكربون

سبقت الإشارة إلى أن تراجع عمليات النقل عموماً، والبري والجوي منها خصوصاً في عام 2020 خلال فترة كوفيد-19 أثر بشكل ضئيل جداً على تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو، حتى أنها لم تظهر ضمن بيانات تتبع هذا التركيز من قبل "الإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي"، وهذه نقطة تستحق النظر إليها بإمعان ما دام تراجع النقل البري بمعدل 53% لم يظهر له أي تأثير ملحوظ على تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون وضمن الصورة الكبيرة للتغيرات السنوية، لكن من المثير للتساؤل أن التغيرات الشهرية المقاسة بدقة جزء واحد بالمليون لم تلحظ هذا التغيير، رغم أن الشكل 9 يوضح أن هناك تغيرات دورية في التراكيز الشهرية المقاسة تتكرر في فترة معينة كل سنة[30]. وهذا لا يمكن تفسيره إلا بأنه تأثير الغطاء النباتي على الأرض. فعندما ينتعش هذا الغطاء في فترة الربيع والصيف، يمتص كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون في عملية التمثيل الضوئي، كما أن مواسم المطر تساهم في غسل الهواء إن صح التعبير، وتنقل جزءاً من ثاني أكسيد الكربون باتجاه التربة، وهو ما تؤكده وكالة NASA التي تذكر أن دورة الكربون السريعة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالحياة النباتية[31].

الشكل 9: التركيز الشهري لغاز ثاني أكسيد الكربون في الجو خلال 5 سنوات



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مستخلصة من القياسات الشهرية للإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي 2024.

وقد أكدت بيانات الإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي[32] المنشورة في يونيو

2022 أن نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو بلغت 421 جزءاً بالمليون في شهر مايو عام 2022، أي نحو 0.04%، أو ببساطة فإن هناك جزيئاً واحداً من الكربون في كل 2500 جزيء من الهواء[*]. وبطبيعة الحال فإن هذه النسبة ليست وليدة اليوم أو الأمس، بل تراكمت عبر كامل عمر الأرض، كما أنها ليست ناتجة عن المركبات فقط، إذ توضح بيانات المفوضية الأوربية[33] أن متوسط نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن النقل عموماً (بري، بحري، جوي) هي أقل من 21% من إجمالي انبعاثات هذا الغاز في العالم. وبحسب بيانات وكالة الطاقة الدولية[34]، بلغت انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون 37 مليار طن في عام 2022، منها 5.9 مليار طن تمثل انبعاثات الطرق[†]، أي ما يقل عن 16% من إجمالي الانبعاثات. إنما وفي نفس المجال تظهر بيانات وكالة الطاقة الدولية[35] أن 2.6 مليار طن فقط تمثل انبعاثات السيارات الخاصة وهو ما يعني أن انبعاثات هذا القطاع تمثل 7% فقط من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم، بينما بلغت الانبعاثات من قطاع نقل البضائع ما يعادل 1.7 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون.

بالإضافة لما سبق، تشير بيانات معهد الموارد العالمية (WRI) إلى أن قطاع الطاقة إجمالاً كان المسؤول عن 73% من انبعاثات ما يسمى غازات الدفيئة في عام 2016، بينما توزع الباقي على الزراعة وقطع أشجار الغابات (18.4%)، والعمليات الصناعية (5.2%)، والمخلفات المختلفة (3.2%). أما انبعاثات قطاع النقل فمثلت 16.2% فقط في ذلك العام. وبالنظر إلى المزيد من التفاصيل، يلاحظ أن انبعاثات قطاع النقل البري تحديداً مثلت أقل من 12% من إجمالي انبعاثات العالم من غازات الدفيئة في ذلك العام[36].

وفيما يخص غاز ثاني أكسيد الكربون -وهو المعنيّ عموماً عند التبشير بالسيارات الكهربائية- يلاحظ من بيانات البنك الدولي (WB)[‡] أن إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في العالم عام 2020، بلغت 34.7 مليار طن[37]، بينما تبين منصة Climate Watch الرقمية[§] أن نحو 7 مليار طن[38] فقط من تلك الانبعاثات صدرت من قطاع النقل إجمالاً، أي ما يعادل 20% من إجمالي انبعاثات العالم.

[*] وإن كان تتبع البيانات الشهرية المقاسة والمنشورة من قبل نفس الإدارة في عام 2024، يوضح أن نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو بلغت 418 جزءاً بالمليون في شهر مايو عام 2022!

[†] باستثناء السكك الحديدية، تشمل انبعاثات الطرق الانبعاثات من كل المركبات التي تسير على البر بما فيها المعدات الزراعية والصناعية وتلك المستخدمة في مجال البناء وغيرها.

[‡] رغم أن البنك الدولي هو المتابع والمشجع الرئيسي للحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، إلا أن آخر بيانات يتيحها عن هذا الموضوع حتى شهر يناير 2024، تعود لعام 2020. وهو أمر مستغرب، لكنه حصل سابقاً إذ أن البنك الدولي وهو الراعي الأول لاتفاقية الشراكة الدولية حول الحد من الحرق الروتيني للغاز، لم ينشر أي تحديث لبيانات عام 2012 حول كميات الغاز المحروق في كل دولة حتى نهاية عام 2017.

[§] منصة رقمية صممت لتوفير البيانات المناخية المفتوحة والتصورات والموارد حول التقدم الوطني والعالمي بشأن تغير المناخ. تشارك فيها الأمم المتحدة والبنك الدولي ومعهد موارد العالم والمعهد الألماني للتنمية والاستدامة، والعديد من الهيئات العلمية الأخرى.

1-2-2 تقدير الانبعاثات من السيارات الكهربائية

عملياً، يمكن بسهولة معرفة كمية الوقود التي تم استهلاكها ومعرفة حجم الانبعاثات الناتجة عنها في السيارات العادية*. بينما لا يمكن قياس انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من السيارات الكهربائية، لأن محركاتها بطبيعة الحال لا تنتج هذا الغاز، لكن هذا لا ينفي أن هناك انبعاثات مرتبطة بها، وكل ما في الأمر أنها تظهر في مكان آخر، إذ تبدأ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة مباشرة بالمركبات الكهربائية في جميع العمليات الصناعية الأولية اللازمة للحصول على المواد المستخدمة في تصنيع البطارية، علاوة على عملية التصنيع بحد ذاتها. والقول بأن المركبات الكهربائية سيكون لها "تأثير كبير" على الحد من الانبعاثات، يرتكز على مجموعة من الافتراضات حول كميات وأنواع المواد التي يتم استخراجها ومعالجتها وتكريرها لصنع البطارية. بمعنى آخر، وحتى يتم تقييم الانبعاثات المرتبطة بالسيارة الكهربائية، لابد من النظر في شأن الانبعاثات ضمن أربع مراحل على الأقل†:

❶ المواد الخام اللازمة لصناعة السيارة، ❷إنتاج البطارية، ❸تصنيع السيارة، ❹استخدام السيارة.

ينشأ حجم الانبعاثات الأولية من حقيقة أن بطارية السيارة الكهربائية تزن وسطياً حوالي 500 كغ وتحل محل خزان الوقود التقليدي الذي يزن بحدود 50 كغ. هذه البطارية التي يبلغ وزنها نصف طن‡ مصنوعة من مجموعة واسعة من المعادن، بما في ذلك النحاس، والنيكل، والألومنيوم، والجرافيت، والكوبالت، والمنغنيز، وبالطبع الليثيوم. وعلى أرض الواقع فإن كمية بعض هذه العناصر في السيارة الكهربائية تعادل 10 أضعاف نظيرتها في السيارة العادية، وبيانات حجم الانبعاثات الفعلي المرتبط بهذه المواد نادرة أو تكاد تكون معدومة، مما يجبر الباحثين على اللجوء إلى الحسابات الهندسية أو التقديرات التقريبية[39].

تشكل الطاقة المستخدمة للوصول إلى إنتاج بطارية السيارة الكهربائية عاملاً حاسماً في تقدير حجم الانبعاثات، وفي هذا المضمار حاولت دراسة صدرت عام 2017 بالتعاون بين معهد Karlsruhe للتكنولوجيا في ألمانيا، وجامعة Nova De Lisbona في البرتغال، أن ترصد التأثير البيئي لإنتاج بطاريات ليثيوم- أيون، عبر مراجعة 113 دراسة منشورة حول الموضوع، ووجدت أن 36 دراسة فقط وردت فيها معلومات كافية للحصول على التأثير البيئي حسب وزن البطارية أو سعة تخزينها. لكن حتى هذه الدراسات تضمنت العديد من الافتراضات والتقديرات، وبالإجمال بلغ متوسط تقديراتها لاستهلاك الطاقة نحو 328 كيلو واط ساعة لكل 1 كيلو واط من سعة التخزين، و110 كغ مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون لكل

* بالتأكيد هناك انبعاثات مرتبطة بتصنيع المركبات العادية، وإنتاج الوقود اللازم لها، وتمثل نحو 10- 20% من إجمالي الانبعاثات المرتبطة بدورة حياتها.

† لم يتم التطرق هنا إلى إتلاف السيارة وبطاريتها بعد انتهاء عمرها.

‡ يبلغ وزن بطارية سيارة F-150 Lightning حوالي 818 كغ أي ما يعادل نحو نصف وزن سيارة تويوتا كامري المعروفة.

1 كغ من السعة[40]. وإن صحت تلك التقديرات، فهذا يعني أن البطارية التي وزنها نصف طن كما تقدم، يحتاج إنتاجها إلى 164 ألف كيلو واط ساعة من الكهرباء (تعادل 85 برميل من النفط)، وينتج عن تصنيعها 55 طن من مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون (تعادل حرق 21 طن من الفحم الحجري*). وقد تبدو هذه الأرقام كبيرة للوهلة الأولى، لكن النظر إلى تركيز هذه المعادن في الطبيعة يجعلها معقولة، إذ تحتوي محاليل الليثيوم في الطبيعة على 0.14% فقط من الليثيوم، وتركيز الكوبالت هو 0.1% من الخام، والنيكل 0.13%.

وفي نفس المجال، أشار معهد MIT الأمريكي إلى أن استخراج طن واحد من الخام الحاوي على الليثيوم، ينتج عنه انبعاث 15 طن من ثاني أكسيد الكربون، وأن تصنيع بطارية لسيارة Tesla-3بسعة 80 كيلوواط ساعة، ينتج عنه ما بين 2.4- 16 طن من ثاني أكسيد الكربون[41]. وتشير بيانات الشركة[42] إلى أنها أنتجت 1,775,159 من تلك السيارة في عام 2023، مما يعني أن إنتاج بطاريات تلك السيارة (بدون النظر لباقي المكونات) تسبب في انبعاثات تتراوح بين 4.4 إلى نحو 28 مليون طن.

وإذ تبيّن وكالة "حماية البيئة الأمريكية"EPA أن انبعاثات كل 1 طن من ثاني أكسيد الكربون تعادل استهلاك 2.1 برميل من النفط[43]، فيمكن القول إن الانبعاثات الناتجة عن البطاريات التي صنعتها Tesla لذلك الطراز من السيارات فقط، تعادل من ناحية الانبعاثات استهلاك 8.4- 58.8 مليون برميل من النفط.

إن التقدير الدقيق للكميات الفعلية من الوقود المستخدم عند تصنيع السيارة الكهربائية أمر في غاية التعقيد†، بسبب متاهة الموردين العالميين وانعدام الشفافية أحياناً مع العديد من الشركات. وفي حين تم تخصيص العشرات من الأوراق الفنية لتحليل أوجه عدم اليقين حول هذه الانبعاثات، فإن نقطة البداية تتمثل في التقرير الأساسي الصادر عن وكالة الطاقة الدولية حول "معادن الطاقة"، والذي خلصت الوكالة فيه إلى أنه مقارنة بالسيارة العادية، فإن هناك انخفاضاً بنسبة 50% تقريباً في انبعاثات دورة الحياة للمركبات الكهربائية[44]. لكن نفس التقرير يبين أن الوكالة تعتمد في تقديراتها على استخدام بطارية بقدرة 40 كيلو واط ساعة، وهو نصف حجم البطاريات في معظم السيارات الكهربائية الشائعة، علماً أن الوكالة تشير في نفس التقرير أيضاً إلى أن سيارات الدفع الرباعي ذات البطاريات الكبيرة تمثل 60% من إجمالي السيارات الكهربائية، باستثناء الصين حيث تمثل تلك السيارات 40% فقط. وهنا تم التغاضي عن أن

* يفترض البعض أن حرق 1 طن من الفحم الحجري ينتج 3.6 طن من ثاني أكسيد الكربون، وذلك استناداً إلى المعادلة الكيميائية لاحتراق الكربون. لكن هذا الرقم غير دقيق، فالفحم الحجري ليس كربوناً نقياً، كما أن عملية الحرق عادة لا تتم بكفاءة 100%. لذلك تم استخدام رقم تجريبي يبلغ 2.6 طن ثاني أكسيد الكربون لكل طن من الفحم الحجري.

† هناك العديد من الدراسات حول مختلف أنواع السيارات لا مجال لعرضها جميعاً، وإن كان من الضروري التنويه إلى أن بعض التقارير المنشورة قد تكون لها أسباب غير علمية أحياناً، بل تهدف إلى الحط من شأن طراز ما من السيارات لأسباب تجارية تنافسية بحتة.

السيارات الأكبر تحتاج إلى كميات أكبر من المعادن وخاصة الألمنيوم في هيكلها، مما يعني المزيد من الانبعاثات المتعلقة بتصنيع هذا المعدن.

بينما لو تم النظر إلى التقديرات التي قدمتها شركة Volvo والتحليل الممول من الاتحاد الأوروبي لسيارة "فولكس فاجن جولف الكهربائية" (سيارة صغيرة تستخدم بطارية صغيرة) فإن الانبعاثات الأولية لسيارة جولف الكهربائية، جنباً إلى جنب مع الانبعاثات الصادرة عن محطات الطاقة المنتجة للكهرباء في الاتحاد الأوروبي، تنتج انبعاثات إجمالية من ثاني أكسيد الكربون أكبر من نسخة الديزل من تلك السيارة لأول 60 ألف ميل من القيادة (96 ألف كم تقريباً). وبعد قطع مسافة 93 ألف ميل (150 ألف كم) خلال 10 سنوات، تقدر الانبعاثات الإجمالية للسيارة الكهربائية بحوالي 20% فقط أقل من نسخة السيارة ذات محرك الاحتراق الداخلي[45]. وهنا لابد من التنويه إلى أن استبدال البطارية في السيارة الكهربائية سوف يضيف المزيد من الانبعاثات إلى الإجمالي، خاصة وأن استبدال البطارية لا يرتبط بالمسافة المقطوعة بقدر ما يرتبط بعمر البطارية وطريقة تصنيعها، وفي حالة سيارة "فولكس فاجن" المدروسة، توصي الشركة الصانعة باستبدال البطارية كل خمس سنوات.

أما تقديرات شركة Volvo التي تمت على سيارة دفع رباعي كهربائية من إنتاجها، فبينت[46] أن انخفاض الانبعاثات الإجمالية يبلغ 30%. وبينت كذلك أنه بحسب مزيج الكهرباء العالمي*، فإن الانبعاثات الإجمالية من غاز ثاني أكسيد الكربون من السيارات العادية لن تتجاوز تلك الناتجة عن السيارة المدروسة إلا بعد قطع مسافة 110 آلاف كم، وذلك على افتراض أن عمر السيارة ينتهي عند قطع مسافة 200 ألف كم. وحتى افتراضات شركة Volvo لا يمكن أخذها بشكل مطلق، لأن مزيج الكهرباء العالمي لا يعكس حجم الانبعاثات الفعلية خلال كامل سلسلة التوريد.

أجرى معهد Manhattan الأمريكي دراسة[47] تضمنت مراجعة فنية لخمسين تحليلاً مختلفاً حول الانبعاثات الإجمالية للمركبات الكهربائية في الولايات المتحدة الأمريكية، وتبين أنها تختلف عن بعضها بخمسة أضعاف أحياناً، مما يعني أن هذه التحاليل لا يمكن الأخذ بها بصورة مؤكدة، خاصة وأنها تضمنت افتراضات تقديرية تم وضعها لثلاثة متغيرات رئيسية، هي:

1- حجم البطارية: استخدام بطارية 30 كيلو واط لإجراء الحسابات، بينما تشير بيانات عام 2022 إلى أن ثلاثة أرباع السيارات الكهربائية التي اشتراها المستهلكون الأمريكيون كانت قدرة بطارياتها 60- 90 كيلو واط ساعة.

2- تعتمد الطاقة المستخدمة للحصول على كتلة معينة من المعدن على درجات خام هذا

* تقصد الشركة المصادر التي يتم توليد الكهرباء منها، وكأنها تعني كميات الكهرباء المولدة من مختلف المصادر.

المعدن، وحجم وطبيعة المنجم، والمسافات التي تنقل عبرها هذه المواد، وطبيعة الشبكات والوقود المستخدم في المناجم. فبالنسبة للنحاس مثلاً، يمكن أن يختلف هذا الرقم على الأقل بمقدار الضعف وبالنسبة للنيكل بمقدار ثلاثة أضعاف. وهنا من الصعب الحصول على معلومات دقيقة حول الانبعاثات المرتبطة بالمعادن المستخدمة في السيارات الكهربائية لأنه 80- 90% منها يتم استخراجها خارج الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي.

3- الطاقة المستخدمة والانبعاثات الصادرة عن معامل تنقية المواد الخام تختلف باختلاف تصميم وعمر هذه المعامل، وانبعاثات معامل التكرير الموجودة في الصين تزيد بمقدار 1.5 مرة عن نظيرتها في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي.

لكن هناك متغيرات أخرى يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار، مثل كيمياء البطارية نفسها، إذ توجد عدة اختلافات في كيمياء الليثيوم، ورغم أن ذلك يوجِد اختلافات في نسب وأنواع العناصر المستخدمة في البطاريات، إلا إن الكمية الإجمالية للمواد -وبالتالي التعدين- اللازمة لكل بطارية تظل نفسها تقريباً. ولعل الاستثناء يظهر مع كيمياء البطاريات ذات كثافة الطاقة المنخفضة. فعلى سبيل المثال، تتميز كيمياء بطارية الليثيوم والحديد والفوسفات (LPO)، الشائعة في الصين ولدى بعض شركات صناعة السيارات بأنها لا تستخدم الكوبالت أو النيكل، لكن هذه البطارية ذات كثافة طاقة أقل بنسبة 20%. ويترجم ذلك على أرض الواقع إما إلى مدى قيادة أقل بنسبة 20%، أو الحاجة إلى بناء بطارية أكبر وأثقل تتطلب المزيد من النحاس، والألومنيوم، والبوليمرات، والليثيوم، وهذا يعني المزيد من الانبعاثات.

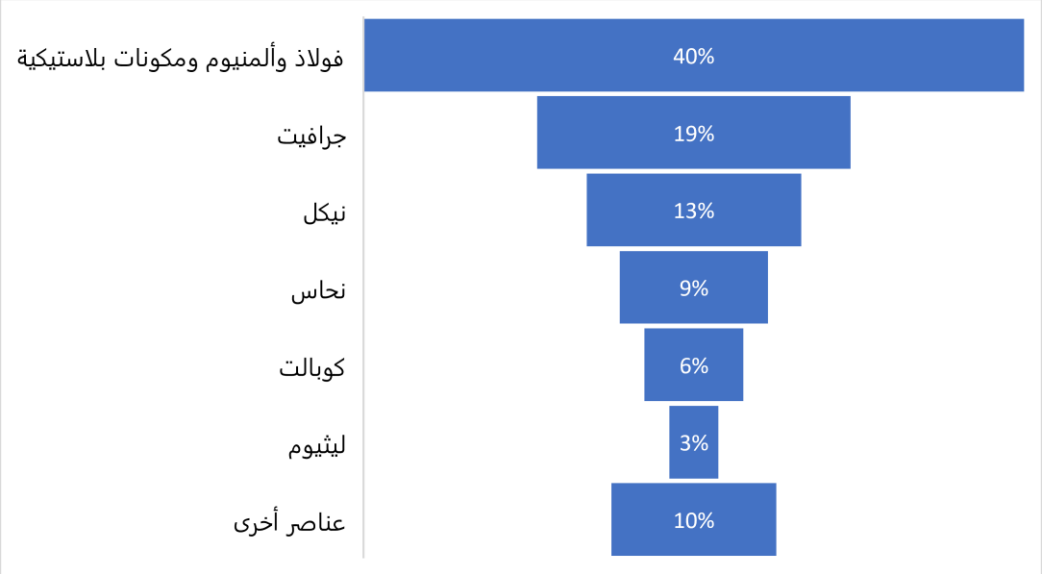
ومن المتغيرات كذلك كمية المواد اللازمة لصناعة هيكل السيارة، حيث يستخدم المزيد من الألمنيوم في هيكل السيارة لرفع المتانة بهدف التعويض عن ارتفاع وزن البطارية، وهنا يشير "معهد الألمنيوم الدولي" في بريطانيا إلى أن إنتاج 1 طن من الألمنيوم ينتج عنه 15 طن مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون[48]، أي ما يعادل الانبعاثات من سيارة عادية خلال قطع مسافة 56 ألف كم. وبالتالي فإن إضافة 250 كغ من الألمنيوم إلى وزن هيكل السيارة يضيف انبعاثات تعادل قيادة سيارة عادية لمسافة 14 ألف كم[*].

كذلك تستخدم السيارات الكهربائية ضعف ما يستخدم في السيارات العادية من الإلكترونيات. ويضاف إلى ذلك أن طريقة شحن البطارية عبر الشواحن السريعة يمكن أن تخفض عمر البطارية إلى النصف أحياناً مقارنة بالشحن البطيء، مما يعني في العديد من الأحيان ضرورة تبديل البطارية مرتين خلال العمر الافتراضي للسيارة الكهربائية[49].

يبين الشكل 10 النسب العامة للعناصر المستخدمة في تصنيع بطارية نموذجية للسيارة الكهربائية.

[*] تشير بيانات معهد الألمنيوم الدولي إلى أن الانبعاثات من صناعة الألمنيوم تراجعت بنسبة أقل من 12% فقط خلال 18 عاماً من التطوير.

الشكل 10: نسبة العناصر المستخدمة في تصنيع البطارية الكهربائية



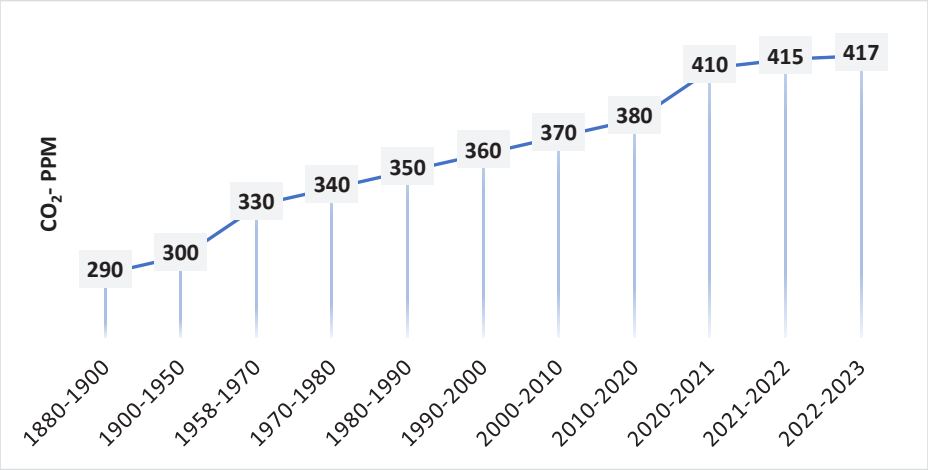
المصدر: إعداد الباحث استناداً إلى بيانات استخلصت من Mills، 2023

بطبيعة الحال فإن تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون الحالي في الجو ليس وليد اليوم، فهو يمثل تراكماً عبر تاريخ الكرة الأرضية منذ أن وجدت الحياة عليها، ويبين الشكل 11 هذا التركيز منذ القرن الثامن عشر[50]. لكن حتى لو تم القبول جدلاً بأن كل هذا التركيز من غاز ثاني أكسيد الكربون هو من صنع البشر، ولو افتُرض نظرياً أن كل وسائط النقل في العالم توقفت عن إصدار انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، فحسب التغيرات التي ظهرت في عام 2020، ومع الأخذ بعين الاعتبار تأكيد وكالة الطاقة الدولية أن إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من السيارات الخاصة في عام 2022 كانت 45% فقط من إجمالي قطاع النقل، فهذا يسمح بالقول (نظرياً على الأقل) إن تحويل كل سيارات العالم إلى سيارات كهربائية سوف يعني أن تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو سيقل بمعدل 84 جزءاً بالمليون فقط.

ومن نافل القول أن الافتراض أعلاه مبالغ فيه عملياً، فوسائط النقل لا تمثل المركبات التي تسير على البر فقط، بل تشمل السفن والطائرات كذلك. كما أن المركبات البرية ليست سيارات فقط، بل تشمل الدراجات النارية، والمركبات الثقيلة المستخدمة في الصناعة والبناء، ومركبات شحن البضائع، وغيرها، علاوة على أن قسماً من عمليات النقل يتضمن المعدات العسكرية في كل جيوش العالم، والتي نادراً ما يمكن الحصول على بيانات أو معلومات حول حجم عملياتها وحجم انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون منها، وإن كان بعض الباحثين قد حاول استقراء حجم هذه الانبعاثات من عمليات الجيش الأمريكي مثلاً عن طريق تقدير كميات الوقود المستخدمة[51]، وبين أن انبعاثات وزارة الدفاع الأمريكية

بلغت 1267 مليون طن مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون بين عام 2001 و2018، كما أن عملياتها العسكرية خلال تلك الفترة في عدة دول في العالم ساهمت في انبعاث 443 مليون طن مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون*.

الشكل 11: تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو منذ القرن التاسع عشر



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات مستخلصة من عدة مصادر ذكرت بالتفصيل ضمن قائمة المراجع، وهي:
Friedli, H *et al*. 1986, Etheridge *et al*. 1996, Gordon *et al*. 2019, Lan, X., Tans, P. and K.W. Thoning 2024.

ومن الهام كذلك النظر إلى مكان استخدام السيارة، إذ أن الانبعاثات الناتجة عنها ترتبط بمصدر الكهرباء التي تشحن بها السيارة، فإن كانت الكهرباء مولدة من مصادر الوقود الأحفوري، فلا فائدة ترجى من خفض الانبعاثات إجمالاً إذ أن النتيجة ستكون مجرد تغيير مكان إصدار هذه الانبعاثات†، وفي هذه الحال يمكن القول إن السيارة الكهربائية ذات انبعاثات صفرية محلياً فقط، أي في مكان استخدامها. وهناك عدد كبيرٌ من النقاط على طول سلسلة الإمداد تساهم ولو جزئياً في نمو الطلب على الطاقة في مجال السيارات الكهربائية، فعلى سبيل المثال يتسارع التطور التقني في هذا النوع من السيارات ويرتبط بشكل أو بآخر بالنمو الحالي في تطبيقات الذكاء الاصطناعي، وهنا يشير المنتدى الاقتصادي العالمي[52] إلى أن تسارع الطاقة المطلوبة لتشغيل مهام الذكاء الاصطناعي ينمو بمعدل سنوي يتراوح بين 26- 36%، وإذ لا يمكن تحديد حصة السيارات الكهربائية بدقة من النمو في الطلب على الطاقة في هذا المجال، إلا أن هذه نقطة من بين النقاط الأخرى التي تقع على طريق سلسلة الإمداد، وربما يكون من الملائم أخذها في عين الاعتبار. ويمكن أن يضاف إلى ما سبق ذكره، أن هناك مكونات تستخدم في السيارات الكهربائية

* هذه نقطة أخرى تضيف تأكيداً جديداً على الافتراضات تلعب دوراً كبيراً في تقدير حجم انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون إذ قام الباحث في تلك الدراسة بتقدير كميات الوقود المستخدمة واحتسب حجم الانبعاثات الإجمالية استناداً إلى حجم الانبعاثات حسب كل نوع من الوقود. أي أنه لم تكن هناك قياسات مباشرة.

† يمكن أن تتغير الصورة لو تم التقاط غاز ثاني أكسيد الكربون من محطات توليد الكهرباء العاملة على الوقود الأحفوري، وهو أمر سيرفع من كلفة الكهرباء المنتجة، إنما قد تكون له فوائد بيئية.

عموماً بكميات أعلى من نظيرتها في السيارات العادية، فكمية النحاس في السيارة العادية تبلغ وسطياً نحو 22.3 كغ، بينما تصل إلى 53.2 كغ في السيارة الكهربائية. وبينما يستخدم حوالي 11.2 كغ من المنغنيز في السيارة العادية، تتضاعف هذه الكمية في السيارة الكهربائية لتصل إلى 24.5 كغ. وهناك عناصر أخرى مثل النيكل والكوبالت والغرافيت التي لا تستخدم عموماً في السيارة العادية، بينما يبلغ زنها نحو 40، 13.3، و66.3 كغ على التوالي في السيارة الكهربائية[53].

يمكن تلخيص ما سبق بالقول إن ما يذكر عن كون السيارات الكهربائية صديقة للبيئة من ناحية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بسلاسل الإمداد ثم بالاستخدام، لا يزال يحتاج إلى الكثير من الدراسة والتمحيص بعيداً عن الكم الكبير من الافتراضات والتقديرات والتخمينات، فكل ادعاء بأن المركبات الكهربائية تقلل الانبعاثات يبقى مستنداً إلى تقريبات أو تخمينات تعتمد على المتوسطات أو التقديرات أو حتى على التطلعات المستقبلية لبعض المعاهد التي تبحث في الموضوع. تتضمن هذه التقديرات عدداً كبيراً جداً من النقاط التي يصعب حصرها حول ما يحدث في مراحل الحصول على المواد ومعالجتها لتصنيع البطارية العملاقة. فعند إنتاج أي عنصر من المعادن المذكورة، لابد من معرفة مكان المنجم الحاوي على العنصر وعمقه، وآلية المعالجة والتنقية والتصنيع، والمواصلات المرتبطة بالإنتاج والنقل إلى المستهلك النهائي. وكلها عوامل ترتبط بها وتتفرع عنها العديد من النقاط التي تؤخذ بشكل تقديري مما يحد كثيراً من دقة الرقم النهائي لحجم الانبعاثات. فعلى سبيل المثال، في عام 2022، وفي معرض إفادته أمام لجنة من مجلس الشيوخ الأمريكي، ذكر أحد من ساهموا في تأسيس شركة Tesla أن معظم المواد المستخدمة في صناعة البطاريات للسيارات الكهربائية في الولايات المتحدة تأتي من الخارج، وبشكل أساسي من دول آسيا، وهي بالمجمل تقطع مسافة 50 ألف ميل بحري (90 ألف كم) حتى تصل إلى المصانع في الولايات المتحدة[54].

الفصل الثالث

الطلب على السيارات الكهربائية

ينظر هذا الفصل في منظور الطلب على السيارات الكهربائية، والدعم الحكومي لهذه السيارات، من خلال النقاط التالية:

1- التوجهات العالمية الحديثة في مجال السيارات الكهربائية.
2- الدعم الحكومي للسيارات الكهربائية.
3- العوامل المؤثرة على انتشار السيارات الكهربائية.
4- أسعار الليثيوم والكوبالت وغيرها من العناصر.
5- تأثير موضوع الشحن على انتشار السيارات الكهربائية.
6- تأثير سعر السيارة الكهربائية
7- تأثير درجة الحرارة.

3-1 التوجهات العالمية في مجال السيارات الكهربائية

في الفترة الممتدة من سبتمبر إلى أكتوبر 2023، أجرت شركة* Deloitte استطلاعاً شمل أكثر من 27 ألف مستهلك في 26 دولة حول العالم، وذلك لاستكشاف الآراء المتعلقة بمجموعة متنوعة من القضايا المهمة التي تؤثر على قطاع السيارات، بما في ذلك اهتمام المستهلكين بالسيارات الكهربائية، وتصوراتهم حول أهم العلامات التجارية (نوع السيارة)، واعتماد التكنولوجيا المتصلة بالموضوع. وقد وفر الاستطلاع رؤى مهمة يمكن أن تساعد على تحديد الأولويات ووضع استراتيجيات أعمال واستثمارات بشكل أفضل[55]، حيث بين وجود أربعة اتجاهات رئيسية:

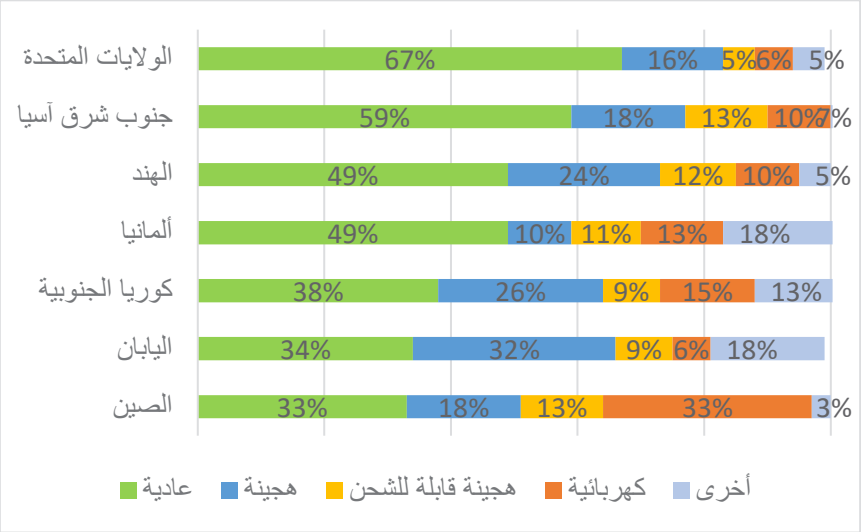
1- يؤدي تباطؤ زخم انتشار المركبات الكهربائية إلى تعريض الجداول الزمنية الحالية لإزالة الكربون للخطر، إذ قد تؤدي أسعار الفائدة المرتفعة وأسعار المركبات المرتفعة إلى تراجع اهتمام المستهلكين بالمركبات الكهربائية في بعض الأسواق. وعلى الرغم من بعض التخفيضات التي تقدمها شركات صناعة المركبات الكهربائية، ورغم الحوافز الحكومية المصممة لجعلها في متناول الجميع†، إلا أن مجموعة متنوعة من التحديات الأخرى لا تزال تقف حجر عثرة في طريق انتشارها، بما في ذلك القلق بشأن مدى القيادة، ووقت الشحن، وتوفر البنية التحتية للشحن. وبين الاستطلاع مثلاً (الشكل 12) أن 6% فقط من الأمريكان مهتمون بشراء سيارة كهربائية، و16% مهتمون بشراء سيارة هجينة، بينما يهتم نحو (67%) منهم بشراء سيارة عادية، وهو ارتفاع عن استطلاع سابق لنفس الشركة في عام 2022 بيّن أن 58% كانوا مهتمين بشراء سيارة عادية.

2- يتصدر السعر قائمة العوامل التي تدفع المستهلكين إلى اختيار العلامة التجارية للمركبة في أسواق ألمانيا (55%) واليابان (58%)، والولايات المتحدة (59%)، في حين أن أداء المركبات وجودة المنتج هما في مقدمة اهتمامات المستهلكين في الأسواق العالمية الأخرى، مثل الصين وكوريا الجنوبية والهند. ويلاحظ من الشكل 13، أن السعر في الصين مثلاً لم يكن من بين أولويات من شملهم الاستطلاع، ربما لأن أسعار السيارات في الصين أقل بكثير من نظيراتها في باقي الأسواق.

* شركة خدمات مهنية عالمية تُعدّ من أكبر الشركات الأربع في هذا المجال. تأسست عام 1845، ويقع مقرها الرئيسي في لندن، المملكة المتحدة. تقدّم الشركة مجموعة واسعة من الخدمات في مجالات: التدقيق، والضرائب، والاستشارات، وتمويل الشركات، وعمليات الدمج والاستحواذ، وإعادة هيكلة الشركات.

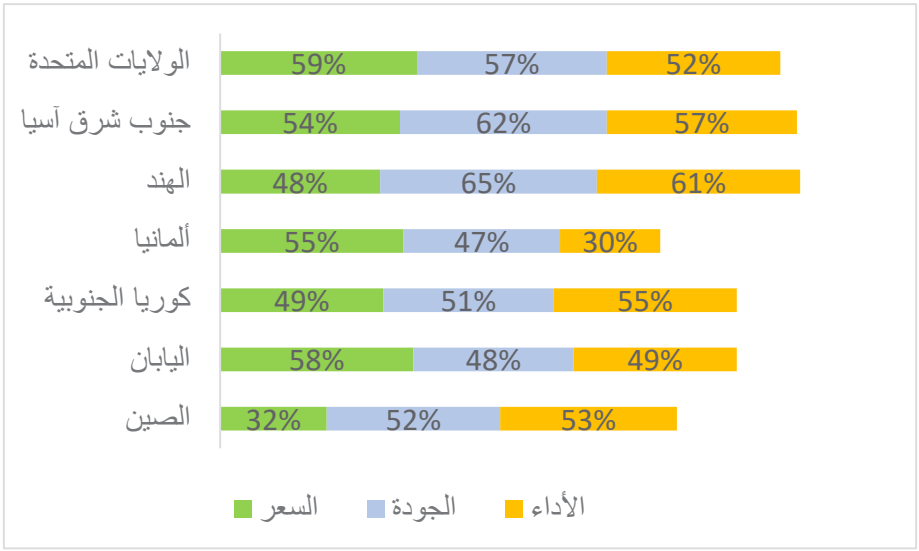
† لم يلحظ الاستطلاع أن العديد من دول العالم أوقفت أو حدت من الدعم الحكومي للسيارات الكهربائية، وهو ما سوف يبين لاحقاً في هذه الدراسة.

الشكل 12: نسبة اهتمام المستهلكين بنوع السيارة حسب استطلاع حديث لشركة Deloitte



المصدر: Deloitte، 2024

الشكل 13: عوامل اختيار السيارة بحسب استطلاع حديث لشركة Deloitte



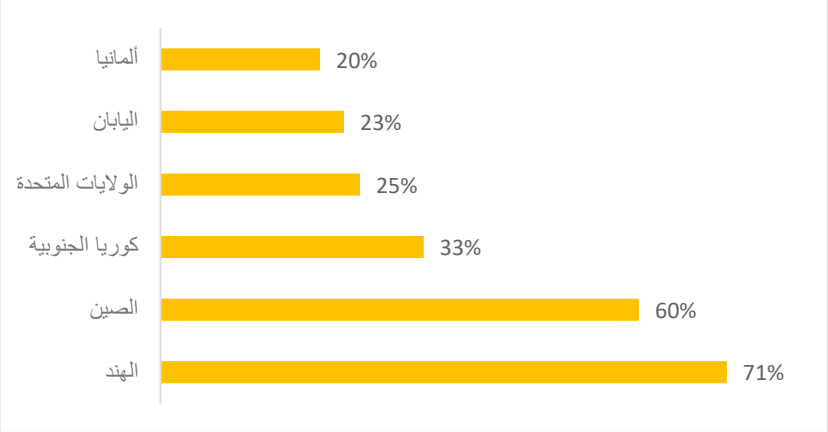
المصدر: Deloitte، 2024

3- قد لا يُترجم الاهتمام بميزات الاتصال* بشكل كامل إلى إيرادات وأرباح، فمن بين المهتمين بالمركبات المتصلة بالإنترنت، هناك مستوى عالٍ نسبياً من الاهتمام بالميزات التي توفر تحديثات حول الصيانة والسلامة المرورية/ الطرق، واقتراحات لطرق أقل ازدحاماً وأكثر أماناً. ومع ذلك، فإن الرغبة في دفع مبالغ إضافية مقابل ميزات الاتصال لا تزال منخفضة في الأسواق المتقدمة. وقد أبدى المستهلكون

* المركبات المتصلة، أو مركبات V2X هي مركبات مجهزة بتكنولوجيا تسمح لها بالتواصل مع المركبات الأخرى والبنية التحتية وحتى المشاة، من خلال الهواتف الذكية.

الذين شملهم الاستطلاع في الأسواق النامية مثل الهند والصين وجنوب شرق آسيا استعداداً أكبر للدفع مقابل ميزات الاتصال مقارنة بالمستهلكين الذين شملهم الاستطلاع في أسواق مثل الولايات المتحدة واليابان وألمانيا، كما هو مبين في الشكل 14.

الشكل 14: مدى اهتمام المستهلكين بالخدمات المتصلة للسيارات الكهربائية



المصدر: Deloitte، 2024

4- على خلفية الظروف الاقتصادية غير المؤكدة التي تسبب القلق بشأن القدرة المالية، فإن عدداً كبيراً من المستهلكين الشباب في العديد من الأسواق مهتمون إلى حد ما بالتخلي عن فكرة ملكية السيارة لصالح نموذج الاشتراك، ولكنهم يتخوفون بشأن توفر السيارة التي يحتاجونها، وتكلفة الاشتراك مقابل تكلفة الملكية، كما هو مبين في الجدول 7.

الجدول 7: مدى اهتمام المستهلكين بنموذج الاشتراك في السيارات بدل شرائها

الدولة	مدى الاهتمام بالاشتراك
الهند	%67
الصين	%48
جنوب شرق آسيا	%46
اليابان	%34
ألمانيا	%29
الولايات المتحدة	%28
كوريا الجنوبية	%26

المصدر: Deloitte، 2024

يذكر أن نموذج الاشتراك للسيارات الكهربائية هو نموذج تجاري تتبعه العديد من الشركات في بعض الدول، حيث يسمح للمستهلكين بدفع رسوم شهرية لاستئجار في سيارة كهربائية. ومن ميزاته أنه لا يلزم

المشترك بتسديد دفعة أولى كبيرة، وبدلاً من ذلك، يدفع المستهلكون رسوماً شهرية تغطي تكلفة السيارة والتأمين والصيانة. كما أنه يؤمن سهولة الاستخدام إذ يمكن للمشتركين إلغاء اشتراكهم في أي وقت، مما يوفر لهم المرونة. ويتميز أيضاً بالتنوع فيمكن للمشتركين اختيار السيارة التي تناسب احتياجاتهم من مجموعة متنوعة من السيارات الكهربائية، ولا داعي للقلق بشأن صيانة السيارة أو إصلاحها، حيث يتم تغطية ذلك من خلال رسوم الاشتراك. لكن هذا النموذج له عيوب، من أهمها: رسوم الاشتراك المرتفعة والتي يمكن أن تكون أعلى من تكلفة أقساط سيارة كهربائية. كما أن هناك قيوداً على المسافة تحد من عدد الكيلومترات التي يمكن للمشتركين قيادتها كل شهر، علاوة على أن إلغاء الاشتراك قبل نهاية مدة العقد يمكن أن يكلف رسوماً إضافية.

2-3 الدعم الحكومي للسيارات الكهربائية في العالم

عملت العديد من الدول على تشجيع السيارات الكهربائية ومنحها شروطاً تفضيلية في الشراء والتسجيل. بينما يتم تقييد السيارات العادية العاملة باستخدام محركات الاحتراق الداخلي، بل أعلنت بعض الدول أنها ستفرض الحظر الكامل على السيارات العاملة بالبنزين والديزل، ومنها **بريطانيا** التي أعلنت أن حظراً من هذا النوع سيدخل حيز التنفيذ عام 2030، علاوة على تحويل كافة السيارات إلى سيارات كهربائية بحلول عام 2050. لكن بريطانيا عادت لتعدل خططها التي تحولت إلى قانون، وأعلنت في مطلع عام 2024 أن 80% من السيارات الجديدة و70% من مركبات النقل المتوسطة Vans يجب أن تكون خالية من الانبعاثات في عام 2030، بينما يرتفع الرقم إلى 100% في عام 2035.

توقفت الإعانات للسيارات الكهربائية في المملكة المتحدة في عام 2022، بعد أن تجاوزت حصة المبيعات 20%، لكن بعض الإعانات لا تزال سارية المفعول لسيارات الأجرة الكهربائية والشاحنات الصغيرة، وكذلك لسيارات الشركات التي حصلت على إعفاءات ضريبية جديدة، فقد رصدت الحكومة فعلياً أكثر من 2.5 مليار دولار (2 مليار جنيه إسترليني) في عام 2024 لدعم التحول نحو السيارات الكهربائية[56]، يتم استثمارها في:

1- تطوير البنية التحتية للشواحن اللازمة لهذا التحول، حيث تتضمن خطة التطوير الوصول إلى 300 ألف نقطة شحن في عام 2030، مقابل 50 ألف نقطة شحن متاحة في عام 2024، أي أن الخطة تتضمن إضافة 250 ألف نقطة شحن خلال 6 سنوات، بمعدل 41600 نقطة شحن سنوياً، ومن الواضح أن هذا الرقم يقارب كل نقاط الشحن المتوفرة حتى مطلع عام 2024.

2- توفير حوافز مالية للمستهلكين، منها أن مركبة النقل التي لا يزيد وزنها القائم عن 2.5 طن، يمكن

أن تتحمل الحكومة حتى 3169 دولار (2500 جنيه إسترليني) من ثمنها المعلن. أما مركبات النقل الأعلى وزناً (حتى 4.25 طن) فتتحمل الحكومة 6338 دولار (5000 جنيه إسترليني) من ثمنها[57].

يذكر أن نسبة المركبات ذات الانبعاثات الصفرية في المملكة المتحدة شكلت 1.2% من إجمالي المركبات المسجلة* في سبتمبر عام 2022، وارتفع إلى 2.3% في سبتمبر 2023، أي بزيادة سنوية بلغت 1.1%. أما نسبة السيارات التقليدية المسجلة في عام 2023 فقد بلغت 44.5% من إجمالي السيارات المسجلة لذلك العام[58]، تليها السيارات الهجينة 39%، والسيارات الكهربائية بنسبة 16.5%.

ومن الأمثلة الأخرى، يمكن الإشارة إلى الدعم الحكومي في **الولايات المتحدة**، حيث تذكر إدارة معلومات الطاقة أنه يمكن الحصول على إعفاء ضريبي يصل إلى 7500 دولار للمركبات الكهربائية الجديدة، و4000 دولار للمركبات المستعملة[59]. ومن الحوافز الأخرى التي تقدمها الولايات المتحدة إعفاء ضريبي لمصنعي البطاريات يصل إلى 45 دولار لكل 1 كغ من وزن البطارية.

والمقصود بالإعفاء الضريبي هنا هو تخفيض من ضريبة الدخل المستحقة، فعلى سبيل المثال: لو توجب على أحدهم دفع ضريبة دخل بقيمة 10 آلاف دولار، فيمكن له لو اشترى سيارة كهربائية بمواصفات معينة أن يحصل على إعفاء يصل في حده الأقصى إلى 7500 دولار من ضريبة الدخل†.

وفي **كندا** يمكن الحصول على حوافز تبلغ 5000 دولار كندي (3700 دولار أمريكي) عند شراء سيارة كهربائية أو هجينة. كما يتضمن برنامج الحوافز إعفاءات ضريبة لاستئجار هذا النوع من السيارات يتراوح بين 1250- 3700 دولار كندي (931- 2800 دولار أمريكي)[60].

وفي **اليابان**، بلغت الإعانة الحكومية 7200 دولار في عام 2021 عند شراء سيارة كهربائية، بينما لم تقدم أية حوافز للسيارات الهجينة[61].

أما في **السويد** فقد بلغت حوافز شراء سيارة كهربائية جديدة 60 ألف كرونة سويدية (6 آلاف دولار) في أوائل عام 2021، ارتفعت إلى 70 ألف كرونة سويدية (7 آلاف دولار) في عام 2022، وقد خططت لتخفيضها إلى 50 ألف كرونة سويدية (5 آلاف دولار) في عام 2023، لكنها وفي ضوء التقارب في الأسعار بين السيارات الكهربائية والسيارات التي تعمل بمحركات الاحتراق الداخلي، أعلنت عن إلغاء حوافز الشراء اعتباراً من نوفمبر 2022[62].

وفي **فرنسا**، بعد زيادة الحوافز لتعزيز المبيعات خلال جائحة كوفيد-19، تم تخفيض الحوافز

* هذه المركبات ليست سيارات فقط، بل تشمل المحاريث الزراعية، ومداحل الإسفلت، والرافعات، والمركبات ثلاثية العجلات وغيرها.

† هذه الإعفاءات هي إعفاءات ضريبية، قد يختلف تطبيقها حسب الولاية، ففي ولاية تكساس مثلاً، تم مؤخراً فرض ضريبة تسجيل سنوية بقيمة 200 دولار على السيارة الكهربائية، لتعويض خسارة الضرائب على الوقود.

من 7400 دولار في عام 2021 إلى 6300 دولار في عام 2022 وخفضت إلى 5300 دولار في عام 2023. لكنها من جهة أخرى زادت حوافز الشراء للأسر ذات الدخل المنخفض من 6300 دولار في عام 2022 إلى 7400 دولار في عام 2023[63].

أما أهم دعم حكومي للسيارات الكهربائية، فلا بد أنه قرار الاتحاد الأوربي الذي تمت الموافقة عليه بشكل نهائي في 28 مارس 2023، والذي ينص على حظر مبيعات السيارات العادية في أوروبا بدءاً من عام 2035*، وهو قرار حظي بتأييد أغلب وزراء الطاقة في الاتحاد الأوروبي، بينما عارضته بولندا، وامتنعت بلغاريا وإيطاليا ورومانيا عن التصويت. بينما كانت ألمانيا تعارض هذا القرار بسبب ارتباط جزء كبير من اقتصادها بصناعة السيارات العادية، لكنها أيدته بعد أن اشترطت السماح ببيع وتسجيل نماذج محركات الاحتراق الداخلي بعد الموعد النهائي في عام 2035 بشرط أن تعمل هذه المركبات فقط بالوقود المحايد كربونياً، والذي يشار إليه بشكل عام باسم "الوقود الكهربائي"، وهو نوع من الوقود السائل يتم تصنيعه باستخدام الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون. وحتى يكون محايداً كربونياً، يجب أن يتم إنتاج الهيدروجين الأخضر من خلال عملية التحليل الكهربائي للماء باستخدام الطاقة المتجددة، ثم يتم دمج الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون المحتجز من صناعات أخرى، وذلك ضمن عملية لإنتاج أنواع مختلفة من الوقود السائل، مثل البنزين والديزل ووقود الطائرات. يتميز هذا الوقود بإمكانية استخدامه في البنى التحتية الحالية وفي محركات الاحتراق الداخلي دون الحاجة إلى تعديلات كبيرة. وفي هذا المجال ذكرت "أرامكو السعودية" في عام 2023 أنها تعمل بالتعاون مع ENOWA (شركة نيوم للطاقة والمياه) على إنتاج البنزين الاصطناعي لسيارات الركاب الخفيفة. وفي الوقت نفسه تستكشف أرامكو السعودية وشركة Repsol في Bilbao في إسبانيا، فرص إنتاج وقود الديزل الاصطناعي ووقود الطائرات والسيارات منخفض الكربون. وقد توصّلت "أرامكو السعودية" وشركة Stellantis -وهي شركة تصنيع سيارات متعددة الجنسيات - إلى أن 24 مجموعة من محركات السيارات الأوروبية التي تم بيعها منذ عام 2014 (بما يعادل نحو 28 مليون سيارة)، جاهزة لاستخدام الوقود الاصطناعي المتطور دون أي تعديل في تقنية نقل الحركة، وذلك بعد أشهر من الاختبار في مراكزها التقنية بجميع أنحاء أوروبا. وقد أُجريت الاختبارات باستخدام الوقود الاصطناعي البديل الذي طوّرته "أرامكو السعودية"[64].

بشكل عام، وحتى مطلع عام 2024، فإن أغلب الدول الأوربية تقدم حوافز ضريبية لمن يقتنون السيارات الكهربائية، بينما كانت هناك 6 دول أوربية لا تقدم أي حوافز مباشرة لشراء هذه السيارات، وهي بلجيكا، وبلغاريا، والدنمارك، وفنلندا، وسلوفاكيا، وتشير بيانات "جمعية صناعة السيارات

* لا يذكر تاريخ صناعة السيارات أن الحكومات فرضت حظراً على العربات التي تجرها الخيول حتى تروج للسيارات العادية.

الأوروبية" إلى أن نسبة السيارات التقليدية المسجلة في هذه الدول[65] في عام 2023 إلى إجمالي السيارات المسجلة، بلغت 51، 92.3، 36.2، 19.5، 64.4% على التوالي.

عموماً، ظهر تأثير خفض الدعم الحكومي جلياً في ألمانيا التي تعد أكبر سوق للسيارات في أوروبا، حيث شهد شهر ديسمبر 2023 تحديات كبيرة، إذ انخفضت مبيعات السيارات الكهربائية بنسبة 47% مقارنة بشهر ديسمبر 2022 بسبب توقف برنامج الدعم الحكومي للمركبات الكهربائية، وهو ما مثل أول انخفاض لمبيعات السيارات الكهربائية الجديدة في الاتحاد الأوروبي منذ بداية عام 2020[66]. وقد بلغت نسبة السيارات الكهربائية الجديدة المسجلة في ألمانيا في الربع الأول من عام 2023 نحو 14%، بينما انخفضت هذه النسبة في الربع الأول من عام 2024 إلى 11.7%، أما السيارات التقليدية الجديدة فقد بلغت نسبتها 56.1% في الربع الأول من عام 2024، أي بتراجع بنحو 0.1% فقط عن الربع الأول من عام 2023. بينما لوحظ في فرنسا التي رفعت حوافز الشراء للأسر ذات الدخل المنخفض منذ عام 2023، أن نسبة السيارات الكهربائية الجديدة المسجلة في الربع الأول من عام 2024 قد ارتفعت إلى 18%، مقارنة بحوالي 15.4% في الربع الأول من عام 2023[67].

3-3 الدعم الحكومي للسيارات الكهربائية في الدول العربية

لابد بداية من التأكيد على أن أغلب الدول العربية تنظر بشكل إيجابي إلى موضوع السيارات الكهربائية ودورها في عملية النقل المستدام والحد من التغير المناخي، وهذا يدحض بشكل أو بآخر ما تواجهه الدول العربية المنتجة للنفط من أصابع اتهام إعلامية تشير إليها على أنها السبب وراء ما بات يعرف بالتغير المناخي، أو ما كان يشار له سابقاً باسم الدفآن العالمي! ويمكن الإشارة على سبيل المثال إلى أن دولة الإمارات العربية المتحدة قد أعلنت عن سياسة وطنية للمركبات الكهربائية[68] تهدف إلى تطوير خارطة طريق شحن المركبات الكهربائية بالدولة وترمي إلى دعم مالكي المركبات الكهربائية، وتنظيم سوق المركبات الكهربائية، وبناء حزمة من المحفزات التي تخدم المجتمع وصانعي المركبات الكهربائية وتشجيع استخدامها. وقد أطلقت فعلاً عدة محفزات على الصعيد الاتحادي والمحلي لدعم تبني السيارات الكهربائية، فقد أعفت إمارة أبوظبي السيارات الكهربائية من رسوم الطرق داخل الإمارة حتى نهاية 2021، و أطلقت "هيئة كهرباء ومياه دبي" حافز الشحن المجاني في 1 سبتمبر 2017 لجميع مستخدمي السيارات الكهربائية المسجلين في مبادرة الشاحن الأخضر لهيئة كهرباء ومياه دبي. وتم تمديد الحافز في الأول من يناير 2020 لجميع مستخدمي السيارات الكهربائية غير التجاريين المسجلين في المبادرة حتى 31 ديسمبر 2021. كما أطلقت هيئة الطرق والمواصلات في إمارة دبي مبادرة تعنى بإعفاء

المركبات الكهربائية – المُرخصة من قِبلها في إمارة دبي- من دفع تعرفة المواقف العامة لمدة عامين بدءاً من أول يوليو 2020 بالإضافة إلى بطاقة سالك* مجانية للسيارات الكهربائية المسجلة في الإمارة[69]. وأطلقت "هيئة كهرباء ومياه دبي" مبادرة "الشاحن الأخضر" للمركبات الكهربائية، والتي ساهمت وصول عدد محطات "الشاحن الأخضر" حتى نهاية العام 2022 إلى نحو 350 محطة، أي ما يزيد عن 620 نقطة شحن منتشرة في جميع أرجاء دبي. وكان لهذه المبادرة أثر كبير في وصول عدد السيارات الكهربائية المسجلة في دبي[70] إلى 15,100 سيارة، علاوة على 13,500 سيارة هجينة في نهاية عام 2022، وذلك مقابل 71 سيارة كهربائية، و364 سيارة هجينة مسجلة في عام 2015.

وفي الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية[71]، وضمن سياسة التحول الطاقي، تم في يوليو 2023 تدشين 100 نقطة لشحن السيارات الكهربائية، ومن المخطط إضافة ألف نقطة شحن أخرى خلال العام الجاري 2024.

وفي مملكة البحرين، تم في عام 2021 تدشين أول محطة شحن كهربائية للسيارات بمجمع "الأوتوريوم" بمنطقة "سار"، ويأتي ذلك في إطار تحقيق الرؤية الاقتصادية لمملكة البحرين 2030[72]. وحتى شهر يونيو 2023، بلغ عدد السيارات الكهربائية المسجلة في مملكة البحرين 112 سيارة، وتم إنشاء خمس محطات للشحن.

وفي المملكة العربية السعودية، تم في عام 2022 إطلاق شركة "سير" كأحد مشاريع صندوق الاستثمارات العامة، وهي العلامة التجارية الأولى للسيارات الكهربائية في المملكة، حيث اختيرت كنواة لصناعة بيئية جديدة تقدم سيارات كهربائية بتقنيات عالية، وتهدف إلى جذب الاستثمارات المحلية والدولية، مع خلق فرص عمل محلية، والمساهمة في نمو الناتج المحلي الإجمالي للمملكة[73]. ووضعت خطة مشروع "سير" بالتعاون مع شركة Foxconn، لتصميم وتصنيع وبيع السيارات الكهربائية لعملائها في السعودية ومنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، بفضل تطوير Foxconn للهندسة الكهربائية للسيارات، والحصول على تكنولوجيا مكونات السيارات من شركة "بي إم دبليو".

وكانت المملكة قد أعلنت في عام 2021 عن إطلاق مبادرة "السعودية الخضراء" تماشياً مع رؤية 2030 لخفض انبعاثاتها الكربونية بأكثر من 278 مليون طن سنوياً بحلول عام 2030، وصولاً إلى صافي الصفر الكربوني في عام 2060، ومن بين الأهداف المرتبطة بالموضوع تعزيز المركبات الكهربائية حيث أعلنت المملكة عن خطط لضمان عمل 30% على الأقل من السيارات في العاصمة "الرياض" بالطاقة الكهربائية بحلول عام 2030[74].

* سالك، أو ما يعرف أيضاً باسم بوابات التعرفة المرورية، هو نظام بدأ تشغيله عام 2007 ليوفّر انسيابية في حركة المركبات بحيث لا يحتاج السائقون إلى التوقف عند أيّ نقطة على شوارع دبي من أجل دفع التعرفة المرورية لموظفي أكشاك تحصيل الرسوم.

ومن الأمثلة الأخرى يمكن الإشارة إلى دولة قطر التي استثمرت بكثافة في مشاريع النقل العام والبنية التحتية الخضراء، تعمل وزارة المواصلات في إطار استراتيجية شاملة، إلى التحويل التدريجي لمنظومة حافلات النقل العام إلى حافلات كهربائية بنسبة 100% بحلول عام 2030[75]. وفي دولة الكويت، تم الإعلان في عام 2022 المواصفات الفنية والقواعد المنظمة لضوابط تركيب واستخدام شواحن المركبات الكهربائية. وكان معالي وزير الأشغال وزير الكهرباء والماء والطاقة المتجددة، قد صرّح أن إعداد هذه اللائحة من شأنه تشجيع العديد من الشركات الأجنبية المنتجة للسيارات الكهربائية على الدخول الى السوق الكويتية، وهو من الأهداف التي تسعى وزارة الكهرباء الى تحقيقها عبر توفير بنية تحتية جاذبة للاستثمارات الخارجية، وبين معاليه أن التحول العالمي نحو السيارات الكهربائية يتماشى مع رؤية الكويت 2035، بتحقيق بيئة معيشية مستدامة[76].

وفي جمهورية مصر العربية، تعمل الدولة على توطين السيارات الكهربائية من خلال إقرار إعفاءات جمركية، إذ تُعفى السيارة من الرسوم والترخيص، ولا تخضع السيارات الكهربائية لأيّ مدفوعات سوى 14% تمثل ضريبة القيمة المضافة. وعند إجراء الترخيص السنوي، تُدفع الرسوم فقط دون ضرائب[77].

وفي سلطنة عمان، أصدرت هيئة تنظيم الخدمات العامة في السلطنة عام 2023 لائحة تنظيم نشاط شحن المركبات الكهربائية في السلطنة[78]. وفي شهر يوليو 2023، وقعت "شركة النفط العمانية للتسويق" اتفاقية تعاون مع شركة SENERGY للاستثمار، لتأسيس شركة للسيارات الكهربائية (إيفو)، تتولى مهمة تطوير البنية الأساسية للسيارات الكهربائية في عُمان ودعم مبادرات التحول الأخضر بشكل عام[79]. وفي الدول غير المنتجة للنفط، مثل المملكة الأردنية الهاشمية[80]، فقد خفّضت المملكة رسوم استيراد السيارات الكهربائية، من 25% إلى نحو 10%، بهدف نشر هذا النوع من وسائل النقل، وتقل هذه النسبة عن رسوم استيراد السيارات الهجينة التي تصل إلى 55%، ورسوم استيراد سيارات محركات الاحتراق الداخلي البالغة 86%.

4-3 مبيعات السيارات الكهربائية

من الصعب في الواقع تتبع التفاصيل الدقيقة لمبيعات السيارات الكهربائية في العالم، لأن الأرقام تختلف من جهة لأخرى، إذ تنشر أحياناً نسبة مئوية لارتفاع المبيعات السنوية، دون أن توضح العدد الفعلي للمبيعات. لكن وكالة الطاقة الدولية أخذت على عاتقها وضع قاعدة بينات في هذا المجال، وهي تشير إلى أن مبيعات السيارات الكهربائية في العالم شكلت 18% من إجمالي المبيعات في عام 2023،

وبلغت 13.8 مليون سيارة*. لكن العودة إلى تفاصيل هذا الرقم تبين أنه يتضمن عملياً مبيعات السيارات الهجينة كذلك، أما الرقم الفعلي لمبيعات السيارات الكهربائية فقط فكان 9.5 مليون سيارة، منها 5.4 مليون سيارة بيعت في الصين، أي أن السوق الصينية استحوذت على أكثر من 56% من إجمالي المبيعات، بينما بلغت المبيعات في أوروبا 2.2 مليون سيارة تمثل 23% من إجمالي المبيعات في العالم، وبلغت المبيعات في الولايات المتحدة 1.1 مليون سيارة، تمثل 12% من مبيعات العالم.

ولا تتضمن قاعدة البيانات المذكورة أية معلومات عن الدول العربية باستثناء الإمارات العربية المتحدة التي بلغت مبيعات السيارات الكهربائية فيها 23 ألف سيارة.

وفيما يخص السيارات الهجينة فقد استهلكت السوق الصينية 63% من مبيعات العالم في عام 2023، أي 2.7 مليون سيارة من أصل 4.3 مليون سيارة بيعت عام 2023. بينما بلغت حصة أوروبا من مبيعات السيارات الهجينة 26%، وحصة الولايات المتحدة 7%، وبيعت 5900 سيارة هجينة في الإمارات العربية المتحدة[81].

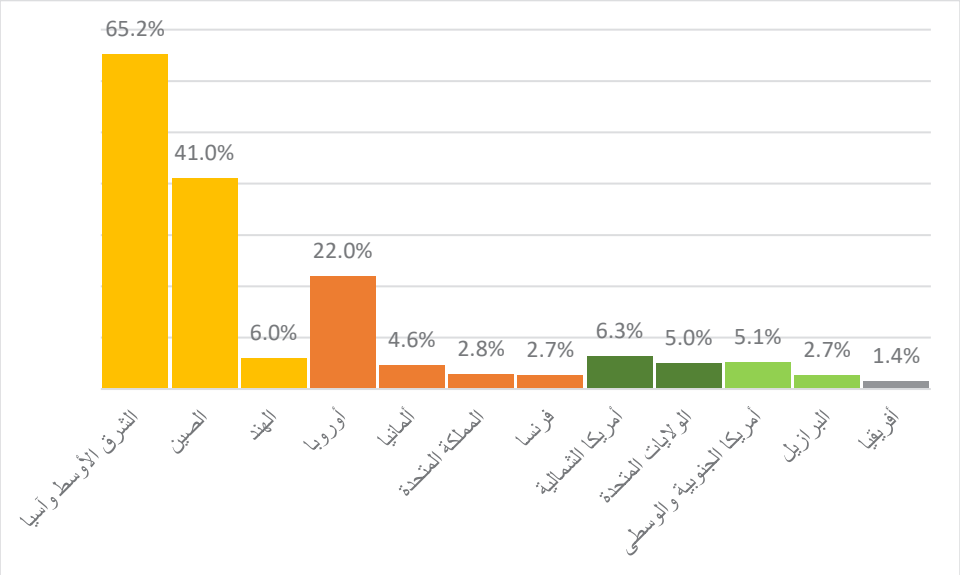
ولا بد بهدف المقارنة من معرفة عدد السيارات العادية التي تم بيعها في عام 2023، وهو ما توضحه بيانات المنظمة الدولية لصانعي السيارات†، والتي تبين أن إجمالي المركبات المباعة عام 2023 زاد عن 92.7 مليون مركبة، منها أكثر من 65 مليون سيارة ركاب[82]، وبحسب هذه الأرقام مثلت مبيعات السيارات الكهربائية في عام 2023 نحو 14% من إجمالي مبيعات السيارات.

ويلاحظ من البيانات المتاحة عن عام 2022 أن معظم السيارات العادية بيعت في الشرق الأوسط وآسيا، ثم في أوروبا، ثم أمريكا الشمالية والوسطى، بينما حلت أفريقيا في آخر القائمة، كما هو مبين في الشكل 15. واستناداً إلى نفس البيانات، بلغت مبيعات السيارات في كل من السعودية، والكويت، ومصر، والمغرب مجتمعة 1.5% من إجمالي مبيعات عام 2022.

* هذا الرقم يتضمن 8900 سيارة عاملة على خلايا الوقود.

† International Organization of Motor Vehicle Manufacturers

الشكل 15: توزع مبيعات السيارات العادية في العالم عام 2022



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات استخلصت من المنظمة الدولية لصانعي السيارات OICA، 2023

عند النظر إلى التوقعات المستقبلية لسوق السيارات الكهربائية، يولي المستثمرون أهمية كبيرة لاستطلاعات الرأي التي يمكن أن تساهم في تحديد مسارات عملهم، وقد بين استطلاع للرأي قامت به مؤسسة Gallup الاستشارية في شهر مارس عام 2024، أن 48% من الأمريكيين لا يفكرون في شراء سيارة كهربائية[83]، وهي نسبة تمثل ارتفاعاً عن استطلاع سابق في عام 2023 لنفس المؤسسة بين أن 41% لا يفكرون في شراء سيارة كهربائية. وبين الاستطلاع كذلك أن 61% ممن لا يفكرون في اقتناء سيارة كهربائية هم من منخفضي الدخل*. ومن المثير للانتباه أن 69% من الجمهوريين الذين شملهم الاستطلاع أكدوا أنهم لا يفكرون بشراء سيارة كهربائية، بينما تنخفض هذه النسبة إلى 27% فقط بين الديموقراطيين. وفي استطلاع مماثل قامت به Blomberg في العام الجاري 2024، تبين أن 18% فقط من الأوروبيين يفكرون في اقتناء سيارة كهربائية، بينما قد يفكر حوالي 50% في اقتناء سيارة هجينة، وإن كانت هذه النسبة لم تنعكس فعلياً في حجم المبيعات[84].

رأت مؤسسة Goldman Sachs الاستثمارية في مطلع عام 2023، أن مبيعات السيارات الكهربائية سوف تشكل 61% من إجمالي المبيعات في عام 2040، وسوف تكون معظم هذه المبيعات (أكثر من 80% منها) في الدول المتقدمة[85]، أما مبيعات المركبات الكهربائية عموماً، فسوف تبلغ نحو 70 مليون مركبة. بينما ترى وكالة الطاقة الدولية أن مبيعات المركبات الكهربائية† سوف تصل إلى نحو 78 مليون

* بحسب معايير الاستطلاع، هم من يقل دخلهم عن 40 ألف دولار سنوياً.
† بحسب السيناريوهات المعلنة حالياً.

مركبة في عام 2035، منها 62 مليون سيارة كهربائية، و5.5 مليون سيارة هجينة، أما الباقي (نحو 10.5 مليون مركبة) فسوف يكون من مبيعات الحافلات والشاحنات بأنواعها[86]. وترى الوكالة كذلك أن معظم تلك المبيعات سوف تتركز في الصين وأوروبا والهند والولايات المتحدة.

5-3 هل السيارات الكهربائية رابحة من المنظور الاقتصادي؟

لا شك بأن أي استثمار لرأس المال يهدف إلى تحقيق عائد يختلف باختلاف نوع رأس المال المستثمر وحجمه، والاستثمار بطبيعة الحال يواجه العديد من عوامل عدم اليقين التي توازن بين الربح والخسارة. ومن المفترض أن صناعة السيارات الكهربائية هي من حيث النتيجة استثمارٌ يواجه ما تواجهه باقي الصناعات من المخاطر. لكن الأمثلة السابقة التي تمت الإشارة إليها آنفاً -وغيرها الكثير- تسمح بالقول إن الحوافز والدعم الحكومي* تشكل الأساس الذي يدعم انتشار السيارات الكهربائية، وهو في الولايات المتحدة وأغلب الدول الأوروبية ممولٌ في الواقع من قبل دافعي الضرائب. وفي هذا المقام يشير خبير الطاقة الدكتور أنس الحجي† إلى أن العديد من شركات صناعة السيارات الكهربائية تتعرض لخسائر كبيرة مقابل كل سيارة تنتجها، وهذه الخسائر يتم تعويضها إما من الحوافز الحكومية، أو من تفادي دفع غرامات الكربون، أو من بيع ائتمانات الكربون‡ نفسها كما هو حال شركة Tesla على سبيل المثال[87].

ومن الأمثلة الهامة على الخسائر التي تتعرض لها شركات صناعة السيارات الكهربائية -والتي تستحق الوقوف عندها بشيء من التفصيل- يمكن الإشارة إلى تقرير أرباح شركة Ford الذي نشرته الشركة في شهر فبراير 2024، والذي تضمن حقيقة صادمة، إذ بين أن الشركة تعرضت لخسارة تشغيلية (تُعرف باسم EBIT، أو الأرباح قبل الفوائد والضرائب§) بلغت 4.7 مليار دولار على أعمالها في مجال السيارات الكهربائية خلال عام 2023. وفي الوقت نفسه، أعلنت الشركة عن صافي دخل (أرباح) قدره 4.3 مليار دولار فقط، من مجمل إيرادات قدرها 176 مليار دولار[88]. كما أعلنت الشركة عن دخل تشغيلي، أو ما أسمته "الأرباح المعدلة قبل الفوائد والضرائب والإهلاك والاستهلاك"، بقيمة 10.4 مليار دولار. وفي ضوء أن الشركة باعت 72,608 سيارة كهربائية في عام 2023 وتكبدت خسارة قبل الفوائد والضرائب

* تم البحث خلال إعداد هذه الدراسة عن التكلفة الفعلية لصناعة السيارة الكهربائية، لكن لم يعثر على أي شركة في العالم تفصح عن هذه التكلفة.

† رجل أعمال وأكاديمي متخصص في مجال الطاقة، و باحث وكاتب ومحاضر، تركز أغلب أعماله تركز على استشراف مستقبل الطاقة، والعلاقة بين السياسة والطاقة، وأمن الطاقة، وأثر الابتكارات التقنية في معروض مصادر الطاقة المختلفة والطلب عليها. وتم اختياره كأحد أشهر المؤثرين في قطاع النفط والغاز في العالم في منصة تويتر عام 2019.

‡ تُحدد بعض الحكومات سقفاً للانبعاثات المسموح بها لكل قطاع أو شركة، وتُمنح الشركات التي تُنتج انبعاثات أقل من الحصة المخصصة لها "اعتمادات" تُسمى "ائتمانات الكربون. يمكن للشركات التي تفشل في تحقيق أهداف خفض الانبعاثات، شراء ائتمانات الكربون من شركات أخرى. يبدو أن الأمر من حيث النتيجة لا يساهم بشكل فعال في الحد من ثاني أكسيد الكربون في الجو.

§ Earnings Before Interest and Taxes

قدرها 4.7 مليار دولار في قطاع السيارات الكهربائية، فهذا يعني ببساطة أن الشركة كانت تخسر 64,731 دولاراً مقابل كل سيارة كهربائية باعتها في عام 2023.

وقالت الشركة إن الخسارة البالغة 4.7 مليار دولار تعكس بيئة تسعير تنافسية للغاية، إلى جانب الاستثمارات الاستراتيجية في تطوير الجيل التالي من السيارات الكهربائية النظيفة. لكن الباحث Robert Bryce أشار في مقال له حول الموضوع إلى أن الخسارة البالغة 4.7 مليار دولار أعلى بكثير من الخسارة البالغة 3 مليارات دولار التي توقعتها Ford في شهر مارس 2023، علاوة أنها تمثل أكثر من ضعفي الخسارة البالغة 2.2 مليار دولار التي سجلتها في قطاع السيارات الكهربائية في عام 2022[89]. أي أن الشركة في عامي 2022 و2023 خسرت ما يقرب من 7 مليارات دولار أثناء دخولها مجال السيارات الكهربائية.

وبالنظر إلى النتائج المالية للشركة لعام 2023، فمن الوارد أن استثمار Ford في سوق السيارات الكهربائية كان بمثابة خسارة آنية كبيرة لها، وقد حاولت الشركة إضفاء لمسة إيجابية على نتائج سياراتها الكهربائية، مشيرة إلى أن مبيعات السيارات الكهربائية ارتفعت بنسبة 18% في عام 2023، ولكن عند وضع هذه المبيعات في السياق يلاحظ أن الشركة باعت 750,789 بيك أب من الفئة F- العادية، وبذلك تمثل مبيعاتها من شاحنات البيك أب العادية أكثر من 10 أضعاف عدد السيارات الكهربائية التي باعتها. لذا، وعلى الرغم من أن شركة Ford تخسر الكثير في أعمالها المتعلقة بالسيارات الكهربائية، فإن بيع بيك أب كهربائية مثل F-150 Lightning يسمح لها بتجنب دفع غرامات الكربون، ويتيح لها بيع المزيد من السيارات التي تعمل بالبنزين. وهنا يذكر Chris Douglas، أستاذ الاقتصاد في جامعة Michigan-Flint، إنه إذا لم يكن على شركة Ford أن تفي بمعايير الانبعاثات، فسوف يكون من الحق السؤال عما إذا كانت ستستمر في إنتاج شاحنات البيك أب الكهربائية هذه[90].

ومتابعة للوضع في العام الحالي، وخلال الربع الأول من عام 2024، حققت الشركة أرباحاً قدرها 1.3 مليار دولار من مجمل إيرادات بلغت 43 مليار دولار. لكنها في الوقت نفسه تكبدت خسارة تشغيلية قدرها 1.32 مليار دولار في قطاع السيارات الكهربائية، حيث باعت Ford 20,223 سيارة كهربائية خلال الربع الأول، مما يعني أنها خسرت 65,272 دولاراً لكل سيارة كهربائية. وهذا يمثل زيادة طفيفة عن الخسارة مقابل كل سيارة باعتها عام 2023. وفي مطلع شهر أبريل 2024، عملت الشركة ثانية إلى وضع نظرة إيجابية حول قطاع السيارات الكهربائية الخاص بها، قائلة إن أرقام مبيعات الربع الأول جعلت الشركة ثاني أفضل علامة تجارية للسيارات الكهربائية مبيعاً في أمريكا بعد Tesla خلال هذا الربع. كما أشارت إلى أن "سيارة Mustang Mach-E حققت مبيعات قوية في الربع الأول من عام 2024 حيث تم بيع 9,589 سيارة رياضية متعددة الاستخدامات - بزيادة 77% على أساس سنوي. ولكنها في

بيان صحفي[91] نُشر يوم 24 أبريل، ذكرت بأن الإيرادات انخفضت من قطاع السيارات الكهربائية، إذ انخفضت المبيعات بالجملة واستمر ضغط الأسعار الكبير في جميع مراحل الصناعة في التأثير على السيارات الكهربائية المتوفرة حالياً في السوق، وبينت أنها تتوقع تحسن تكاليف السيارات الكهربائية في المستقبل، ولكن ذلك سيقابله ضغط على الإيرادات.

بمعنى آخر، فإن شركة Ford تقر بأنها قد تكون قادرة على خفض تكلفة صناعة السيارات الكهربائية، لكنها ستضطر من جهة أخرى إلى الاستمرار في خفض الأسعار، وهو ما قامت به فعلاً منذ شهر أغسطس عام 2023، إذ يشير الباحث Robert Bryce إلى أن أرخص طراز من سيارة Mustang Mach-E كان مدرجاً على موقع وكيل شركة Ford بسعر 53 ألف دولار، بينما انخفض السعر يوم 28 أبريل 2024 للنماذج الرخيصة من نفس السيارة إلى نحو 42 ألف دولار. أما الطرازات مرتفعة السعر*، فقد خفض الوكلاء أسعارها من 72 ألف دولار في أغسطس 2023، إلى 62 ألف دولار في أبريل 2024[92]. وإذ تبيع شركة Ford حوالي 10 آلاف سيارة Mach-E في الربع الواحد (باعت 9,589 سيارة في الربع الأول من عام 2024)، فإن تخفيض سعر كل سيارة Mach-E بمقدار 10 آلاف دولار، يعني خسارة إيرادات تبلغ حوالي 100 مليون دولار في الربع الواحد على هذا الطراز وحده.

عموماً، تتوقع الشركة أن يتحسن الوضع لاحقاً، إذ ترى أن قسم السيارات الكهربائية لديها سيكون مربحاً بحلول أواخر عام 2026، مع هامش ربح تشغيلي قدره 8%، وترى أن الخسائر الحالية تعود جزئياً إلى الاستثمارات في الجيل القادم من السيارات الكهربائية، وهي استثمارات قد تكون مربحة في المستقبل، خاصة مع إصرار الشركة على أخذ حصة من سوق السيارات الكهربائية ووضع علامتها التجارية تحت الأنظار.

ويبدو أن خسائر Ford ليست سوى جزء من الصورة في سوق السيارات الكهربائية†، إذ ذكرت شركة "جنرال موتورز" في أكتوبر 2023 أنها ستؤجل افتتاح مصنع للشاحنات الكهربائية بقيمة 4 مليارات دولار في ولاية ميشيغان الأمريكية لمدة عام، وألغت خطة لإنتاج 400 ألف سيارة كهربائية في منتصف عام 2024، وإن ذكرت أنها سوف تستمر في خطة لإنتاج مليون سيارة كهربائية في عام 2025.

في الشهر نفسه، ذكرت وكالة رويترز أن شركتي Honda وGeneral Motors ألغتا خطة مشتركة بقيمة 5 مليارات دولار لتطوير سيارات كهربائية منخفضة التكلفة، وذلك بعد عام واحد فقط من الإعلان عن تلك الخطة[93]. وفي نوفمبر 2023، أرسل 3900 تاجر سيارات من جميع أنحاء الولايات المتحدة خطاباً

* تتمتع بالمزيد من الميزات مقابل الطرازات منخفضة السعر.

† الهدف من طرح مثال شركة فورد ليس مناقشة التقرير المالي لها، فهو أمر خارج نطاق هذه الدراسة، لكنه مجرد مثال لتوضيح الصورة، وكذلك الأمر فيما يتعلق بباقي الأمثلة التي لا تحظى بالانتشار الإعلامي. فهناك العديد من الأنواع التي تتعرض لنفس الخسائر مثل Rivian وهي شركة ناشئة تبيع كل سيارة بيك أب بخسارة تتجاوز 30 ألف دولار حسب بيانات عام 2023.

إلى الرئيس الأمريكي نقلته صحيفة WS Journal، جاء فيه: يمكن دفع المشترين إلى صالة عرض السيارات، لكن لا يمكن إجبارهم على الشراء. وذكر الخطاب أن السيارات الكهربائية غير المباعة تتراكم في مخازنهم، مبينين أن الطلب على السيارات الكهربائية لا يتماشى مع الكميات الكبيرة التي ألزم بها الوكلاء[94].

وفي مطلع عام 2024، أعلنت شركة Mercedes أنها أجلت هدفها في التحول إلى السيارات الكهربائية لمدة خمس سنوات، معللة ذلك بأن حجم الطلب على المركبات الكهربائية كان أقل من المستهدف. وكانت الشركة قد أعلنت في عام 2021، أنها تهدف للوصول بمبيعات السيارات الكهربائية إلى 50% من إجمالي مبيعات سياراتها في عام 2025. لكنها أجلت هذا الهدف حالياً إلى عام 2030. وكان الرئيس التنفيذي للشركة قد ذكر في عام 2023 أن التكاليف المتغيرة لإنتاج السيارات الكهربائية ستظل أعلى من نظيرتها في سيارات محركات الاحتراق الداخلي ضمن المستقبل المنظور[95].

تعد هذه الخسائر مؤشراً سلبياً على خطط بعض الدول لنشر السيارات الكهربائية على نطاق واسع. فإذا استمرت الشركات في تكبد الخسائر، فقد تصبح أقل استعداداً للاستثمار في تطوير وتصنيع هذا النوع من السيارات. وعلاوة على ذلك، قد تعمل بعض الشركات على رفع الأسعار لتعويض الخسائر، مما يجعلها أقل جاذبية للمستهلكين، ويعيق الجهود الحكومية الرامية إلى دعم انتشارها، وإن كان رفع الأسعار ليس من ضمن الحلول العملية في ظروف السوق الحالية التي تشهد منافسة بين الأنواع المختلفة. فيبقى جزء من الحل متمثلاً في تخفيض تكاليف الإنتاج، وهو أمر ليس واضح المعالم بعد في ظل ارتفاع الطلب على المواد الأولية اللازمة لتصنيع هذه السيارات وما رافقه من ارتفاع أسعار هذه المواد، وهي نقطة سيتم التطرق إليها في الفقرة اللاحقة.

3-6 العوامل المؤثرة على انتشار السيارات الكهربائية

صناعة السيارة الكهربائية كغيرها من الصناعات تعتمد على عدد كبير من المواد الأولية، وتتأثر الصناعة بالتالي بوفرة أو ندرة هذه المواد. لكن هناك خصوصية للسيارات الكهربائية تتعلق ببعض العناصر والمعادن النادرة المستخدمة بشكل خاص في صناعة البطاريات. كما يتأثر انتشار هذه السيارات بعوامل أخرى مثل مدى القيادة، وانتشار محطات الشحن، والأسعار، وكلفة التأمين، والصيانة، والعديد من العوامل الأخرى. وقد سبقت الإشارة إلى موضوع الدعم الحكومي وأثره على أسعار هذه السيارات وكلفة اقتنائها، وتبقى بعض العوامل التي لابد من الإشارة إليها لاستكمال الصورة.

3-6-1 الليثيوم- العامل الأبرز في مجال السيارات الكهربائية.

عند تصميم السيارة الكهربائية ينظر بشكل أساسي إلى البطارية، التي يجب أن تتميز بطاقة نوعية

عالية، وقدرة مرتفعة، وعمر طويل، إضافة إلى تكاليف الإنتاج المنخفضة. ولتلبية هذه المتطلبات، يشيع استخدام بطاريات الليثيوم- أيون (Li- Ion) في المركبات الكهربائية، إذ تتمتع هذه التوليفة الكيميائية بطاقة نوعية تبلغ حوالي 150 واط ساعة/كغ، وهو ما يتجاوز أية توليفة كيميائية منافسة بمعامل 2.5 على الأقل[96]. وقد يختلف جهد خلايا البطارية قليلاً حسب بنية التصميم المحددة، ولكنه عادةً ما يكون في حدود 4 فولت. تحتوي بطاريات الليثيوم- أيون المستخدمة في المركبات الكهربائية عادةً على مصعد من الجرافيت، ومهبط من أكسيد كوبالت الليثيوم، وكهارل (Electrolyte) كربونات سائلة مع ملح الليثيوم مذاب مثل سداسي فلوروفوسفات الليثيوم ($LiPF_6$)[*].

3-6-1-1 احتياطيات الليثيوم في العالم

قدرت الموارد المحددة من الليثيوم في العالم في عام 2022 بحوالي 98 مليون طن، لكن الاهتمام المتزايد بالليثيوم وعمليات الاستكشاف المستمرة، ساهمت في رفع هذه التقديرات إلى نحو 105 مليون طن في عام 2023 (الشكل 16)، وتمتلك بوليفيا وتشيلي والأرجنتين أو ما يسمى "مثلث الليثيوم" أكبر موارد محددة من الليثيوم تقدر بأكثر من 56 مليون طن، أو ما يمثل أكثر من نصف موارد الليثيوم المعروفة في العالم والتي تتوزع على 24 دولة[97]. يبين الشكل موارد الليثيوم المعروفة في العالم، ويلاحظ منه أن نحو 85% من موارد العالم توجد في سبع دول، هي: بوليفيا، والأرجنتين، والولايات المتحدة، وتشيلي، وأستراليا، والصين، وألمانيا. ولا يوجد الليثيوم بشكل حر في الطبيعة، بل يتوزع بنسب بسيطة في تكوينات جيولوجية مختلفة، من أهمها سيليكات الألمنيوم والليثيوم أو ما يعرف باسم (أسبوديومين[†])، الذي يحتوي على نسبة 6- 8% وزناً من الليثيوم، ويعتبر من أهم مصادر الليثيوم في الطبيعة، ويليه معدن (البتليت[‡]) الذي يحتوي على 4-5% من الليثيوم وزناً، ثم معد (ليبيوليت[§]) ويحتوي على 2-3% من الليثيوم وزناً[98]. كما يوجد الليثيوم في المحاليل الملحية في الطبيعة كما هو الحال في تشيلي، والأرجنتين، وبوليفيا، وصربيا، والمكسيك.

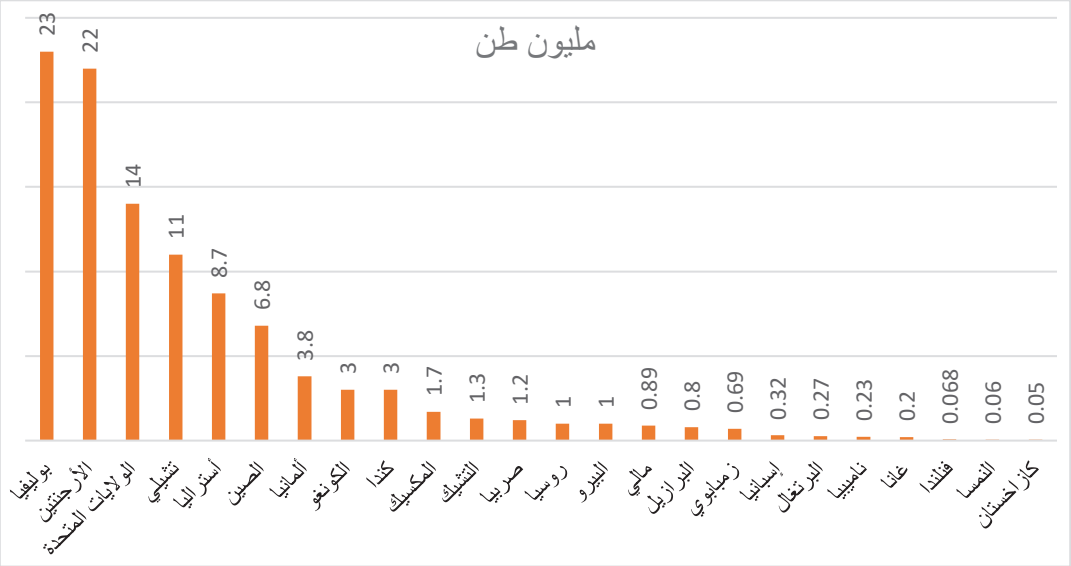
[*] هناك عدد كبير من المعادن والعناصر التي تدخل في صناعة بطاريات السيارات الكهربائية، مثل Lanthanum، وعنصر فلزي نادر يضاف إلى القطب الموجب لبطارية الليثيوم أيون، حيث يساعد على زيادة سرعة نقل الإلكترونات، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة البطارية وزيادة قدرتها على تخزين الطاقة، ويساعد على تقليل تآكل هذا القطب مما يُطيل عمر البطارية ويجعلها أكثر ديمومة. ويعمل أيضاً على تحسين استقرار البطارية ويُقلّل من خطر حدوث الحرائق أو الانفجارات. وهناك عناصر نادرة أخرى مثل: Praseodymium، Vanadium، وتلعب نفس الدور في البطاريات. وسوف تكتفي هذه الدارسة باستعراض الليثيوم والكوبالت والغرافيت بشكل عام، رغم أن باقي العناصر لا تقل أهمية عنهما.

[†] Spodumene: $LiAlSi2O_6$

[‡] Petalite: $Li(AlSi_4O_{10})$

[§] Lepidolite: $\{K(Li,Al)_2\text{-}3(Al_4Si_3O_{10})(O,OH,F)_2\}$

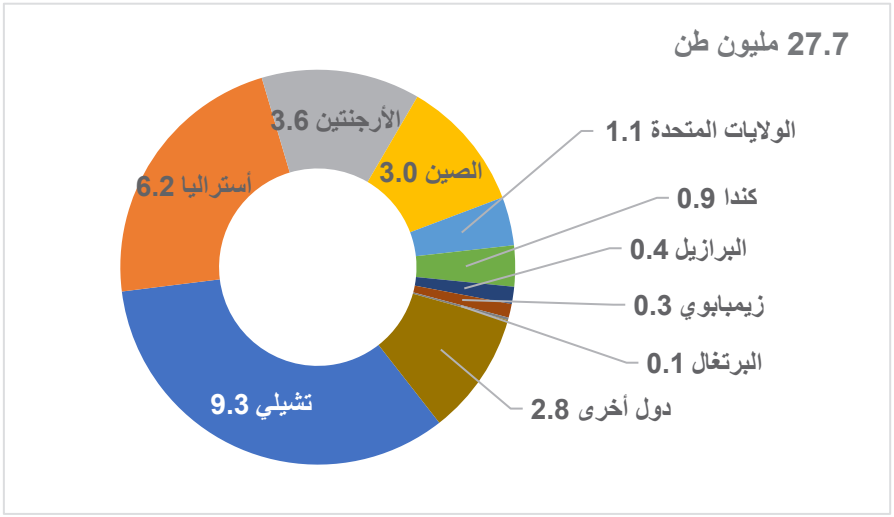
الشكل 16: الموارد المحددة من الليثيوم في العالم حتى مطلع 2024



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من USGS، 2024، وبيانات الليثيوم من الموقع الرسمي للحكومة الكندية.

أما احتياطيات* الليثيوم (الشكل 17)، فقدرها معهد الطاقة (EI) في عام 2022 بحوالي 23 مليون طن[99]، بينما قدرتها هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية في عام 2022 بنحو 26 مليون طن، وارتفعت في عام 2023 إلى 27.7 مليون طن[100]. ويلاحظ من الشكل 17 أن أكثر من نصف احتياطيات العالم من الليثيوم في عام 2023 (56%) توجد في تشيلي وأستراليا.

الشكل 17: توزع احتياطيات الليثيوم في العالم عام 2023



المصدر: بيانات هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية، 2024

* الاحتياطيات هي الكميات المعروفة والمحددة التي يمكن إنتاجها بشكل اقتصادي. بينما الموارد المحددة هي التي يُعرف موقعها ودرجتها وجودتها وكميتها أو يتم تقديرها من خلال أدلة جيولوجية محددة. تشمل الموارد المحددة المكونات الاقتصادية، والاقتصادية الهامشية، وشبه الاقتصادية

2-1-6-3 إنتاج الليثيوم في العالم

لا يستخدم الليثيوم بشكله النقي مباشرة، كونه من العناصر النشطة شديد التفاعل وغير المستقرة، مما يجعله غير عملي وخطيراً في التطبيقات الصناعية. بدلاً من ذلك، يتم استخراج الليثيوم من مصادره الطبيعية ومعالجته ثم تحويله إلى مركبات مختلفة قبل استخدامه في الصناعة، مثل كربونات الليثيوم (Li_2CO_3) وأكسيد الليثيوم (Li_2O) وهيدروكسيد الليثيوم (LiOH). تعد تصنيع البطاريات القابلة لإعادة الشحن (المستخدمة في الإلكترونيات والمركبات الكهربائية وشبكات التخزين) أكبر مستهلك عالمي، حيث مثل استهلاكها من الليثيوم 80% من إجمالي الاستهلاك في عام 2022، وارتفع هذا الرقم في عام 2023 لتستهلك صناعة البطاريات 87% من الليثيوم المنتج في العالم.

تعد أستراليا أكبر منتج لليثيوم في العالم (خام أسبوديومين)، حيث قدر إنتاجها بحوالي 86 ألف طن في عام 2023، تمثل ما يقرب من نصف الإنتاج العالمي الذي قدر بأكثر من 184 ألف طن.

يبين الجدول 8 تقديرات إنتاج الليثيوم في العالم لثلاثة أعوام، ويلاحظ منه التزايد السريع في الإنتاج، وخاصة في كندا التي يذكر موقعها الحكومي الرسمي أن إنتاجها من الليثيوم حتى عام 2022 كان عبارة عن منتج ثانوي[101] مرافق لإنتاج معدن التانتاليوم*.

الجدول 8: إنتاج الليثيوم في العالم في بعض دول العالم خلال ثلاثة أعوام

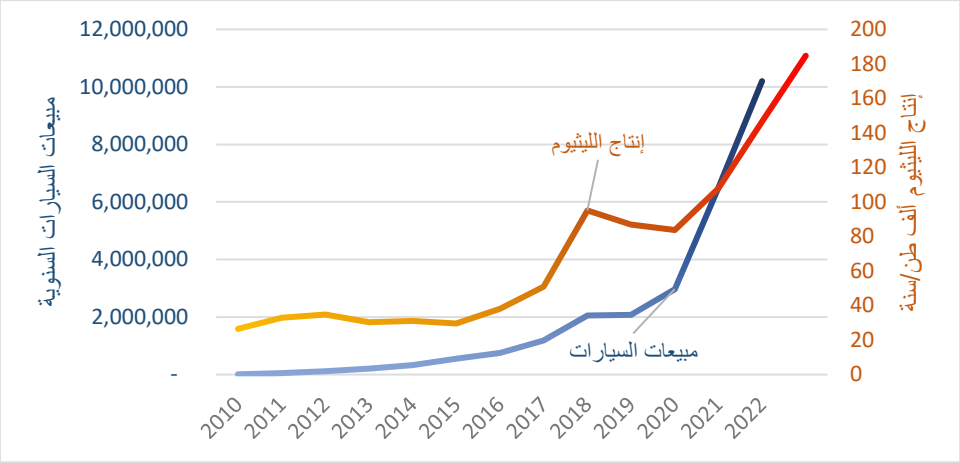
الدولة	الإنتاج (طن)		
	2021	2022	2023
أستراليا	55,300	74,700	86,000
تشيلي	28,300	38,000	44,000
الصين	14,000	22,600	33,000
الأرجنتين	5,970	6,590	9,600
البرازيل	1,700	2,630	4,900
كندا	-	520	3,400
زيمبابوي	710	1030	3,400
البرتغال	900	380	380
الإجمالي	106880	146450	184680

المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من USGS، 2023، و2024، وبيانات الليثيوم من الموقع الرسمي للحكومة الكندية 2023.
الدول مرتبة حسب حجم الإنتاج في عام 2023.

* Tantalum معدن نادر يستخدم في تصنيع المكثفات الكهربائية، و تصنيع مكونات المحركات النفاثة والهياكل الخارجية للمركبات الفضائية.

ويمكن من الشكل 18 ملاحظة النمو السريع في إنتاج الليثيوم، خاصة بعد عام 2015 حين ارتفع الطلب على الليثيوم بسبب ارتفاع مبيعات السيارات الكهربائية والهجينة[102].

الشكل 18: نمو إنتاج الليثيوم في العالم (1995- 2023)



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من USGS، 2023، و2024، وEnergy Institute، 2023، وIEA، 2023.

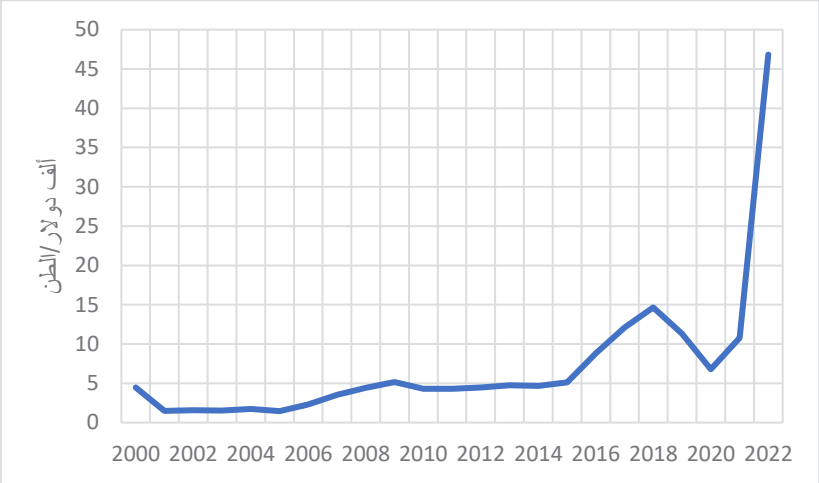
شكّل الطلب من قطاع البطاريات على أيون الليثيوم في عام 2015 نسبة أقل من 30%، بينما جاءت غالبية الطلب من السيراميك والزجاج (35%) والشحوم ومساحيق المعادن والبوليمرات وغيرها من الاستخدامات الصناعية (أكثر من 35%). وتشير التوقعات إلى استحواذ قطاع البطاريات بحلول عام 2030 على 95% من إنتاج الليثيوم مع نمو الطلب السنوي بنسبة تتراوح بين 25% و26%[103].

3-1-6-3 أسعار الليثيوم

يلاحظ من الشكل 19 الارتفاع الكبير جداً في أسعار الليثيوم خاصة بعد القفزة في مبيعات السيارات الكهربائية عام 2021، إذ قفز سعر كربونات الليثيوم من 10.7 ألف دولار ليصل إلى نحو 47 ألف دولار للطن الواحد[104] عام 2022. وكان ذلك متوسط العام، لكن شهر ديسمبر عام 2022 شهد وصول الأسعار إلى أرقام أعلى من ذلك زادت عن 81 ألف دولار للطن الواحد في الصين[105]. إلا أن هذه الأرقام تراجعت بشكل ملحوظ بعد أن أوقفت الحكومة الصينية تقديم الحوافز لمشتري السيارات الكهربائية في مطلع عام 2023. ثم عادت الأسعار إلى الارتفاع بعد أن مددت الحكومة الإعفاء من ضريبة القيمة المضافة على السيارات الكهربائية حتى نهاية عام 2027.

أما في الولايات المتحدة، فقد ارتفع سعر الطن المتري من الليثيوم من 12.1 ألف دولار عام 2019 إلى 68.1 ألف دولار عام 2022، وعاد ليتراجع إلى 46 ألف دولار عام 2023، بحسب تقديرات هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية.

الشكل 19: تغير أسعار كربونات الليثيوم



المصدر: بيانات Energy Institute Statistical Review of World Energy، 2023

3-6-2 دور الكوبالت في مجال السيارات الكهربائية

الكوبالت عنصر انتقالي فلزي مغناطيسي يوجد عادة متحداً مع النحاس والكبريت والزرنيخ، وغالباً بشكل كبريتيدات الكوبالت والألمنيوم والنيكل والحديد.

يلعب الكوبالت دوراً لا جدال حوله في تعزيز كثافة الطاقة وضمان الاستقرار في بطاريات الليثيوم- أيون، إذ تعتمد هذه البطاريات على حركة أيونات الليثيوم بين الأنود (المصعد) والكاثود (المهبط) المحتوي على الكوبالت. ويقوم الكوبالت[106] بوظائف حيوية متعددة، أهمها:

1- كثافة الطاقة المحسنة: يساهم الكوبالت- خاصة عند دمجه مع النيكل- في زيادة كثافة الطاقة في بطاريات أيونات الليثيوم. وهذا يترجم إلى نطاقات قيادة أطول وتحسين في الأداء للسيارات الكهربائية.

2- الاستقرار وطول العمر: تتميز المهابط القائمة على الكوبالت باستقرارها ودورة حياتها الطويلة. وهذا يعني أن بطاريات السيارات الكهربائية يمكن أن تخضع لدورات شحن وتفريغ عديدة قبل أن تتعرض لتدهور كبير في سعتها، علاوة على أن الكوبالت يساهم في الحد من اشتعال البطارية.

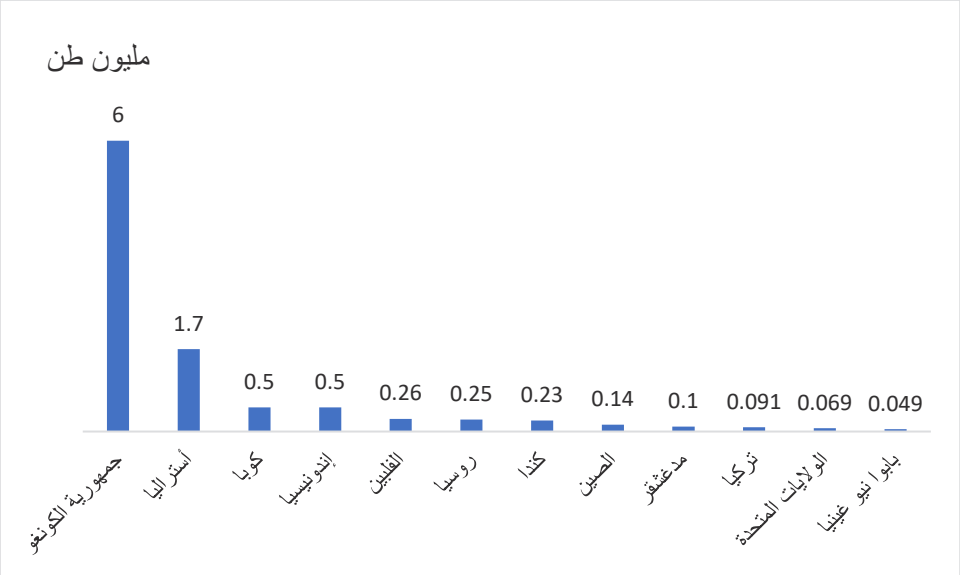
3- استقرار الجهد: تحافظ البطاريات المحتوية على الكوبالت على خرج جهد ثابت طوال عمرها الافتراضي، وهو أمر بالغ الأهمية للأداء المتسق والموثوق للسيارات الكهربائية.

4- الشحن السريع: يمكن لهذه البطاريات التعامل مع معدلات شحن عالية، مما يسمح بالشحن السريع وتقليل الوقت اللازم لتجديد بطارية السيارة الكهربائية.

3-2-6-1 احتياطيات الكوبالت في العالم

قدرت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية[107] احتياطيات الكوبالت في العالم عام 2023 بنحو 11 مليون طن، وتهيمن جمهورية الكونغو الديموقراطية على 57% من تلك الاحتياطيات (6 مليون طن) كما هو مبين في الشكل 20.

الشكل 20: احتياطيات الكوبالت في العالم عام 2023



المصدر: بيانات USGS، 2024، وEI، 2023

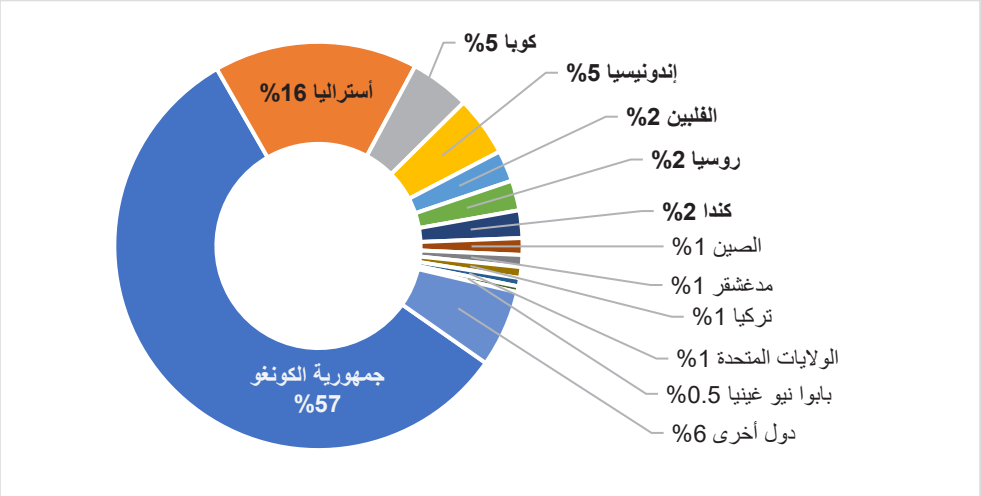
أما إجمالي موارد الكوبالت المعروفة عالمياً فتقدر بنحو 25 مليون طن. توجد الغالبية العظمى من هذه الموارد في الطبقات الحاوية على النحاس في الكونغو وزامبيا، ورواسب اللاتيرايت* الحاملة للنيكل في أستراليا وفي كوبا، كما توجد رواسب كبريتيد النيكل والنحاس في الصخور القاعدية في أستراليا وكندا وروسيا والولايات المتحدة. وتم تحديد أكثر من 120 مليون طن من موارد الكوبالت في عُقيداتٍ† وقشورٍ متعددة المعادن على قاع المحيطات الأطلسي والهندي والمحيط الهادئ.

يبين الشكل 21 توزع احتياطيات الكوبالت في العالم، ويلاحظ منه أن 6 دول في العالم تمتلك ما يربو على 90% من الموارد العالمية، هي الكونغو، وأستراليا، وكوبا، وإندونيسيا، والفلبين، وروسيا، وكندا.

* تربة حمراء من الرواسب المتخلفة بعد عملية التجوية في أماكنها، وتحتوي على تركيزات من أكاسيد الحديد والألومنيوم. وتعتبر أحياناً ركازاً للحديد أو الألمنيوم أو النيكل.

† العقيدات nodules كتل صغيرة تكون عادة أقسى من الصخر الملم بها، وتختلف في تركيبها عن الصخر الرئيسي.

الشكل 21: توزع احتياطيات الكوبالت في العالم عام 2023



المصدر: بيانات USGS، 2023

3-6-2-2 إنتاج الكوبالت في العالم

تعد جمهورية الكونغو الدولة الأعلى إنتاجاً للكوبالت في العالم، حيث أنتجت نحو 74% من إجمالي الكوبالت العالمي في عام 2023، ويلاحظ من الجدول 9، النمو المتسارع في إنتاج الكوبالت في إندونيسيا من 2700 طن عام 2021 إلى 17 ألف طن عام 2023، أي بمعدل زاد على خمسة أضعاف خلال فترة قصيرة. ولا تظهر الصين ضمن الجدول، بل تم تضمينها في باقي دول العالم حيث تنتج بمعدل يناهز 2200 طن سنوياً، وذلك بناء على بيانات EI لعام[108] 2023.

الجدول 9: إنتاج العالم من الكوبالت عام خلال ثلاثة أعوام

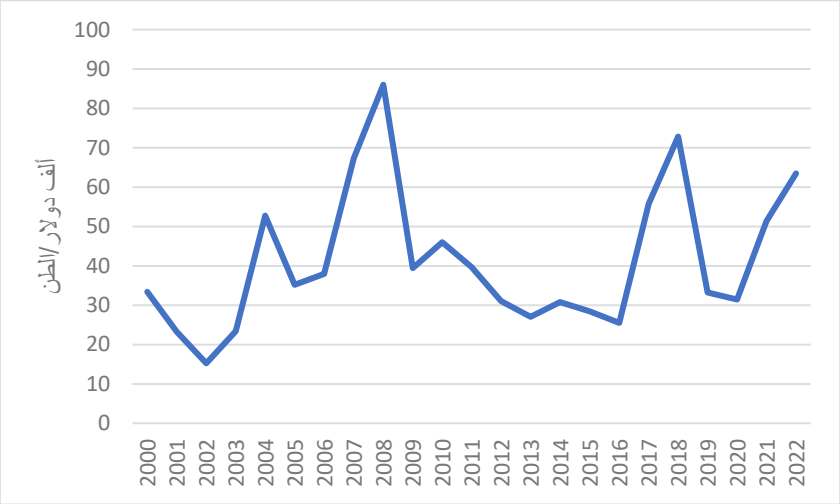
الدولة	الإنتاج (طن)		
	2021	2022	2023
جمهورية الكونغو	93000	144,000	170,000
إندونيسيا	2700	9,600	17,000
روسيا	8000	9,200	8,800
أستراليا	5300	5,790	4,600
مدغشقر	2000	3,500	4,000
الفلبين	4300	3,900	3,800
كوبا	4000	3,700	3,200
كاليدونيا الجديدة	1500	2,000	3,000
بابوا نيو غينيا	3000	2,990	2,900
تركيا	2400	2,100	2,800
المغرب	2300	2,300	2,300
كندا	4400	3,060	2,100
الولايات المتحدة	650	500	500
دول أخرى	4250	4,300	4,300
إجمالي العالم	137,800	196,940	229,300

المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من USGS، 2023، و2024، وبيانات الكوبالت من EI، 2023. الدول مرتبة حسب حجم الإنتاج في عام 2023.

3-2-6-3 أسعار الكوبالت

يبدو من الشكل 22، أن أسعار الكوبالت تتذبذب أكثر بكثير من الليثيوم، لكنها تشترك معها في الارتفاع الواضح بعد عام 2022. ويلاحظ انهيار واضح في الأسعار عام 2008، وهو أمر كانت له على الأغلب علاقة بالأزمة المالية العالمية التي تسببت بانخفاض الطلب على الإلكترونيات الاستهلاكية والسيارات الكهربائية، مما أدى إلى انخفاض الطلب على الكوبالت. ومع عودة النمو على الطلب، شهد عام 2018 قفزة كبيرة في الأسعار، ربما كان سببها الاضطرابات الجيوسياسية التي شهدتها جمهورية الكونغو وهي أكبر منتج للكوبالت في العالم، علاوة على تفشي وباء "إيبولا" للمرة العاشرة في البلاد في تلك السنة[109].

الشكل 22: تغير أسعار الكوبالت



المصدر: بيانات Energy Institute Statistical Review of World Energy، 2023

3-6-3 الغرافيت

انتشر استخدام الغرافيت في البطاريات منذ السبعينيات، حيث يستخدم كمكون رئيسي في تقنيات البطاريات بما فيها بطاريات الرصاص- حمض، وبطاريات نيكل- هيدريد. ثم أصبح الغرافيت يلعب دوراً هاماً في القطب السالب في بطاريات أيون الليثيوم شائعاً حيث أن 95% من هذه الأقطاب تعتمد على الغرافيت كعنصر أساسي، إذ يمتلك الغرافيت بنية هيكلية مناسبة لتخزين أيونات الليثيوم، حيث تتفاعل هذه الأيونات مع ذرات الكربون في الغرافيت دون التأثير على بنية الشبكة البلورية، ويوفر خصائص هامة تتعلق بكثافة الطاقة وسرعة الشحن وعدد مرات الشحن ودورة الحياة الطويلة للبطارية، وهو ما أدى إلى تسريع الطلب على هذه المادة بشكل كبير[110].

1-3-6-3 إنتاج الغرافيت في العالم

قدرت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية إنتاج الغرافيت في العالم في عام 2023 بحوالي 1.6 مليون طن، وتعد الصين الدولة الأولى في هذا المجال إذ بلغ إنتاجها 1.23مليون طن في عام 2023، أي ما يناهز 78% من إنتاج العالم، بينما أنتجت موزمبيق -وهي الدول الثانية في العالم من حيث الترتيب- 96 ألف طن، أي 6% فقط من إجمالي إنتاج العالم، كما هو مبين في الجدول 10. وهناك أيضاً نوع صناعي من الغرافيت هو فحم الكوك البترولي الذي ينتج بالتفحيم أو بكلسنة فحم الكوك وغيرها من الطرق، ويقدر أن إنتاج هذا النوع يناهز 1.8 مليون طن سنوياً، أي أكثر من إنتاج الغرافيت الطبيعي في العالم.

الجدول 10 : إنتاج الغرافيت في العالم خلال ثلاث سنوات

	2021	2022	2023
الصين	820,000	1,210,000	**1,230,000**
مدغشقر	70,000	130,000	100,000
موزمبيق	72,000	166,000	96,000
البرازيل	82,000	72,000	73,000
كوريا الجنوبية	10,500	23,800	27,000
روسيا	15,000	16,000	16,000
الهند	7,000	11,000	11,500
كوريا الشمالية	8,100	8,100	8,100
النرويج	6,290	10,380	7,200
تنزانيا	غ/م	6,120	6,000
كندا	12,000	13,000	3,500
سريلانكا	3,000	2,600	2,200
المكسيك	2,100	2,000	2,000
تركيا	2,700	2,800	2,000
أكرانيا	10,000	1,000	2,000
النمسا	500	500	500
فيتنام	5,000	500	500
ألمانيا	250	170	150
أوزباكستان	110	غ/م	غ/م
إجمالي العالم	1,126,550	1,675,970	1,587,650

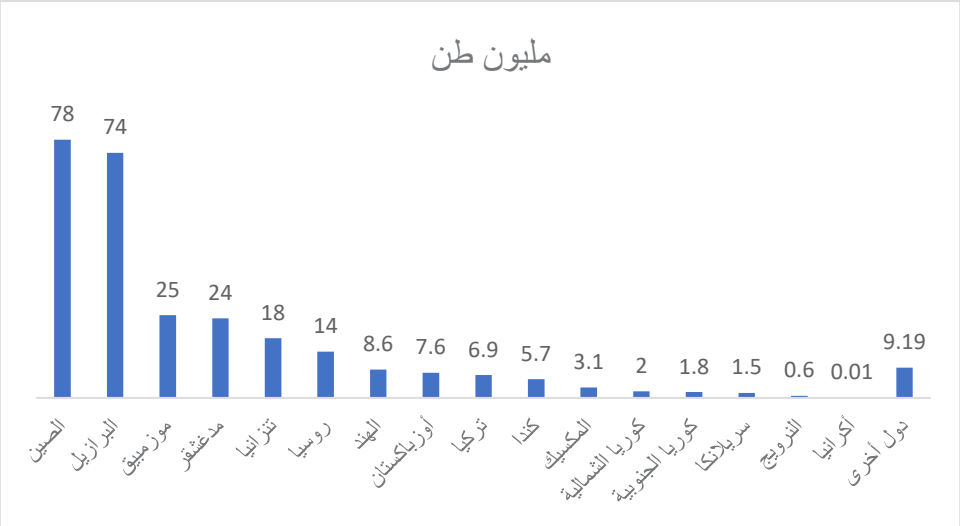
المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من USGS، 2023، و2024، وبيانات الغرافيت من EI، 2023. الدول مرتبة حسب حجم الإنتاج في عام 2023.

2-3-6-3 احتياطيات الغرافيت في العالم

قدرت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية[111] مصادر الغرافيت في العالم عام 2023 بنحو 800 مليون طن، بينما قدرت الاحتياطيات بحوالي 280 مليون طن في عام 2023، يوجد أكثر من نصفها في

الصين والبرازيل، كما هو مبين في الشكل 23.

الشكل 23: توزع احتياطيات الغرافيت في العالم عام 2023



المصدر بيانات USGS، 2022، و2023، وEI، 2023.

يضاف للعناصر آنفة الذكر عدد كبير من المعادن والعناصر التي تدخل في صناعة بطاريات السيارات الكهربائية، مثل Lanthanum، وهو عنصر فلزي نادر يضاف إلى القطب الموجب لبطارية الليثيوم أيون، حيث يساعد على زيادة سرعة نقل الإلكترونات، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة البطارية وزيادة قدرتها على تخزين الطاقة، ويساعد على تقليل تآكل هذا القطب مما يُطيل عمر البطارية ويجعلها أكثر ديمومة. ويعمل أيضاً على تحسين استقرار البطارية ويُقلّل من خطر حدوث الحرائق أو الانفجارات. وهناك عناصر نادرة أخرى مثل: Praseodymium، Vanadium، وتلعب نفس الدور في البطاريات. ومن بين العناصر الهامة الأخرى، النيوديميوم neodymium الذي يستخدم في صناعة المغانط القوية اللازمة لمحركات السيارات الكهربائية. وبشكل عام، عزز تنامي الطلب على الليثيوم والكوبالت وباقي العناصر المشار إليها العديد من المخاوف حيال معدلات العرض المستقبلية، ومدى كفايتها لتغطية احتياجات بطاريات السيارات الكهربائية، وتأثير ذلك على باقي الأسواق التي تستخدم هذه العناصر في صناعات أخرى. وهنا لابد من الإشارة إلى أن عدد السيارات المسجلة في بريطانيا عام 2019 كان أكثر من 38.4 مليون سيارة[112]، وفي رسالة وجهها البروفيسور Richard Herrington من متحف التاريخ الطبيعي في لندن إلى الحكومة البريطانية في ذلك العام، نظر Herrington وزملاؤه في الأهداف المناخية للمملكة المتحدة ومتطلبات تحويل جميع مركباتها إلى مركبات عاملة على الكهرباء بحلول عام 2050، ووجد أن القيام بذلك سيتطلب ما يعادل إنتاج العالم بأكمله من النيوديميوم، وثلاثة أرباع إنتاج الليثيوم في العالم، وما لا يقل عن نصف الإنتاج العالمي من النحاس، وذلك لصناعة ما يكفي من المحركات

الكهربائية والبطاريات، علاوة على الحاجة إلى زيادة استطاعة التوليد الكهربائية في بريطانيا بأكثر من 20% لمواجهة الطلب على الكهرباء الذي تحتاجه هذه السيارات[113].

3-6-4 شحن البطارية وأثره على انتشار السيارات الكهربائية.

لعل أحد أكثر النقاط التي تثير الجدل حول السيارات الكهربائية، هو المدى الذي تقطعه السيارة بشحنة واحدة، وهو ما يتبعه التأكيد دوماً على نقطتين في غاية الأهمية، هما: سرعة الشحن، وانتشار محطات الشحن.

3-6-4-1 سرعة الشحن

تعتبر هذه النقطة من ضمن نقاط أخرى تدفع الكثيرين للتفكير مرتين قبل الإقبال على اقتناء مركبة كهربائية، فمن المعلوم أن زمن تزويد السيارة العادية بالوقود لا يستغرق إلا بضع دقائق يحددها كمية الوقود اللازمة لملئ الخزان من جهة، وزمن الانتظار في المحطة من جهة أخرى، أما في حالة السيارة الكهربائية، فالأمر مختلف.

علاوة على زمن الانتظار وتوزع محطات الشحن الكهربائي، تؤثر العديد من العوامل على سرعة شحن السيارة الكهربائية، بما في ذلك الشحنة الموجودة فعلاً في البطارية، وعمر البطارية، واستخدام الطاقة في السيارة أثناء الشحن، ودرجة الحرارة المحيطة، ومستوى الطاقة لمعدات الشحن نفسها. في هذا المجال تقدم "وزارة النقل الأمريكية[114]" التفاصيل التالية:

1- عند استخدام أبطأ معدات الشحن (المستوى 1)، والتي توفر الشحن من خلال منفذ تيار متردد بجهد 120 فولت، يمكن أن تستغرق عملية الشحن ما بين 40 إلى 50 ساعة لشحن بطارية فارغة لسيارة خفيفة، ومن 5 إلى 8 ساعات لشحن دراجة نارية كهربائية، ومن 5 إلى 6 ساعات لشحن سيارة هجينة.

2- توفر معدات (المستوى 2) الشحن بجهد 240 فولت (في المنازل) أو 208 فولت (في المحطات التجارية)، ويمكن لشواحن هذا المستوى شحن سيارة بطارية فارغة لسيارة كهربائية خفيفة خلال 4-10 ساعات، ودراجة نارية كهربائية في 1-4 ساعات، وسيارة هجينة في 1-2 ساعة.

3- تتيح معدات الشحن السريع بالتيار المباشر (المستوى 3) في المحطات شحن بطارية سيارة خفيفة إلى 80% بالمائة في فترة تتراوح بين 20 دقيقة إلى ساعة واحدة، وبعض الدراجات النارية الكهربائية في 5-30 دقيقة. أما السيارات الكهربائية الهجينة فمعظمها لا يمكنها استخدام الشحن السريع. ويختلف الجهد الكهربائي لهذا النوع من الشواحن حسب الشركة الصانعة، وحسب المحطة التي توفر هذا النوع من الشواحن، ويمكن أن يصل جهد التيار إلى 400 أو حتى

1000 فولت.

يمكن تلخيص تفاصيل سرعة الشحن في الجدول 11، والذي يبين نوع وطاقة الشواحن المتوفرة في الولايات المتحدة.

الجدول 11: زمن شحن السيارة الكهربائية حسب نوع الشاحن المستخدم

نوع الشاحن	المستوى 1	المستوى 2	المستوى 3
طاقة خرج الشاحن	1 كيلو واط	7- 19 كيلو واط	30- 350 كيلو واط
الزمن اللازم لشحن بطارية فارغة في سيارة هجينة خفيفة بسعة 8 كيلو واط	5- 6 ساعات	1-2 ساعة	غير ممكن
الزمن اللازم لشحن بطارية فارغة في سيارة كهربائية خفيفة بسعة 60 كيلو واط	40- 50 ساعة	4- 10 ساعات	20 دقيقة- 1 ساعة
مدى القيادة مقابل كل ساعة شحن	3- 16 كم	16- 32 كم	288- 384 كم
مكان توفر الشاحن	منزلي	منزلي+ المحطات	المحطات

المصدر: وزارة النقل الأمريكية، البيانات محدثة لغاية يونيو 2023.

يلاحظ من خلال الجدول أن شحن بطارية سيارة كهربائية خفيفة يستغرق وقتاً طويلاً جداً باستخدام شاحن المستوى 1، يصل إلى أكثر من يومين من الشحن المتواصل*، وهو أمر غير عملي غالباً، لكن هذا الشاحن مصمم لاستخدام تيار بجهد 120 فولت (وهو التيار المستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية)، أما شاحن المستوى 2 والذي يعمل بجهد 208- 240 فولت فيلاحظ أنه يقلل زمن الشحن بشكل ملحوظ.

وقد اعتمدت "وزارة النقل الأمريكية" في تقديراتها لزمن الشحن على بطارية بسعة 60 كيلو واط، وبالتالي فإن زمن الشحن سوف يختلف بالنسبة للبطاريات ذات السعة الأكبر، وهنا لا يمكن تقدير هذا الزمن بشكل مباشر اعتماداً على بيانات الجدول، ذلك أن سرعة الشحن غير خطيّة، حيث تتراجع مع تقدم عملية الشحن، وهو أمر مرتبط بهندسة البطارية نفسها، إذ تنخفض سرعة الشحن لمنع تلف البطارية، وقد يستغرق شحن آخر 10% من سعة البطارية، نفس الوقت الذي استغرقه شحن 90% من السعة.

ولما كان جهد التيار الكهربائي في أغلب دول العالم هو 220 فولت، فربما لا تتوفر شواحن المستوى 1 فيها، كما أن طاقة خرج الشاحن تختلف من دولة لأخرى.

ويبين الجدول 12 مثلاً الشواحن المتاحة في "دبي" في الإمارات العربية المتحدة، حسبما هو مذكور على الصفحة الرسمية "لهيئة كهرباء ومياه دبي[115]":

* بمراجعة عدد كبير من الواقع التي تتحدث عن سرعة الشحن في عدة دول من العالم، وجد مثلاً أن طاقة الشاحن المنزلي في بريطانيا 2- 3.5 كيلو واط، ويمكن أن تشحن به بطارية سيارة صغيرة في 9- 14 ساعة.

الجدول 12: أنواع شواحن السيارات الكهربائية المتوفرة في دبي

شاحن جداري	شاحن الأماكن العامة	شاحن سريع	شاحن فائق السرعة
22 كيلو واط تيار متردد، بقابس أحادي من النوع الثاني	22 كيلو واط تيار متردد، بقابس أحادي من النوع الثاني	43 كيلو واط تيار متردد، مع قابس من النوع الثاني 50 كيلو واط تيار مستمر مع قابس ChadeMO ومقابس ثنائية من نوع CCS	150 كيلو واط تيار مستمر مع قابس من النوع الثاني
المصدر: هيئة كهرباء ومياه دبي (بدون تاريخ)			

وربما من المفيد التنويه هنا إلى أن كلفة الشحن تختلف حسب نوع الشاحن ومكانه، فعلى سبيل المثال تبلغ كلفة الكيلو واط ساعة المنزلي من الكهرباء في فرنسا 0.15 يورو سنت، مما يعني أن بطارية بسعة 60 كيلوواط يكلف شحنها (نظرياً) حوالي 9 يورو فقط، لكن زمن الشحن كما تقدم قد يصل إلى 40 ساعة باستخدام الشاحن المنزلي.

3-4-6-2 توفر نقاط الشحن

لا شك أن توفر محطات الشحن يلعب دوراً أساسياً في انتشار/عدم انتشار السيارات الكهربائية، وقد اعتنت الدول التي تدفع باتجاه التحول نحو هذه السيارات بأمر توفير نقاط الشحن وأولته الكثير من الاهتمام، ويمكن النظر مثلاً إلى حالة الولايات المتحدة، حيث تشكل انبعاثات السيارات والشاحنات ما يقارب 20% من إجمالي ما يسمى بانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وتقضي خطة الوصول إلى صافي الصفر الكربوني في الولايات المتحدة في عام 2025 بالتخلص من كل تلك الانبعاثات.

لكن وعلى الرغم من ارتفاع مبيعات السيارات الكهربائية في الولايات المتحدة بأكثر من 40% سنوياً منذ عام 2016، إلا أن ما يقرب من نصف المستهلكين الأمريكيين يقولون إن مشاكل البطارية أو الشحن هي من أكبر مخاوفهم بشأن شراء السيارات الكهربائية. بناء على ذلك يذكر بحث نشرته مؤسسة Mckenzy أنه ليس من قبيل المبالغة القول بأن شبكة محطات الشحن المحدودة في البلاد ربما تثبط عزيمة العديد من المشترين المحتملين[116]. واستجابة لمخاوف هؤلاء المشترين المحتملين، وفر قانون "البنية التحتية الحزبي*" 7.5 مليار دولار لتطوير البنية اللازمة لشحن السيارات الكهربائية في البلاد، منها 5 مليارات دولار للولايات لبناء شبكة وطنية تضم 500 ألف نقطة شحن تكون متوافقة مع جميع المركبات والتقنيات على مستوى البلاد بحلول عام 2030.كما تضمن القانون تخصيص 10% من هذه الأموال على شكل منح لسد الثغرات في شبكة الشحن[117]. بالإضافة إلى ذلك، خصص مبلغ 2.5 مليار

* كلمة "الحزبي" في قانون "Bipartisan Infrastructure Law" تعني أنه تم إقراره بدعم من الحزبين الرئيسيين في الولايات المتحدة: الحزب الديمقراطي والحزب الجمهوري.

دولار لدعم المجتمعات من خلال برنامج منح تنافسية، وكل ذلك ضمن هدف في خطة عمل الإدارة الأمريكية يتمثل في أن تشكل مبيعات السيارات الكهربائية 50% من إجمالي مبيعات السيارات في الولايات المتحدة بحلول عام 2030.

ومع ذلك، يرى بحث مؤسسة Mckenzy أن إضافة نصف مليون نقطة شحن قد لا يكون كافياً على الإطلاق، ففي سيناريو يكون فيه نصف المركبات المباعة بحلول عام 2030 من المركبات صفرية الانبعاثات -بما يتماشى مع الأهداف الفيدرالية- يقدر أن الولايات المتحدة ستحتاج إلى 1.2 مليون نقطة شحن عام، و28 مليون شاحن خاص للسيارات الكهربائية بحلول تلك السنة، وذلك يبلغ نحو 20 ضعف عدد الشواحن التي كانت متاحة في عام 2022.

أما بالنسبة لأوروبا، فهي تحتل المرتبة الثانية بعد الصين من حيث التنقل الإلكتروني إن صح التعبير. ومع ذلك، فإن الصين تتجاوز أوروبا وأي منطقة أخرى في العالم من ناحية عدد الشواحن المتاحة. فحتى عام 2022، كانت الصين قد قامت بتركيب أكثر من 1.7 مليون نقطة شحن للسيارات الكهربائية، بينما لم تستطع أوروبا حتى الوصول إلى نصف هذا الرقم. وبلغت قيمة سوق محطات شحن السيارات الكهربائية في الصين 9.8 مليار دولار عام 2022. بينما قُدِّرت قيمة سوق محطات شحن السيارات الكهربائية في أوروبا بنفس العام بنحو 4.1 مليار دولار.

وعلى الرغم من تأخره عن الركب الصيني، فإن قطاع شحن السيارات الكهربائية في أوروبا ينمو بوتيرة عالية، وإن كان قد شهد تباطؤاً في السنوات الأخيرة، إذ نمت تركيبات أجهزة شحن التيار المتناوب (المستوى 1و2) بنسبة 46% في عام 2022، وهو انخفاض عن نسبة نمو 76% في عام 2021، كما انخفضت نسبة النمو إلى 37% في عام 2023. أما بالنسبة لشواحن التيار المستمر (المستوى 3)، فكان هناك نمو بنسبة 90% في عام 2022، وانخفضت النسبة إلى 84% في عام 2023.

تشير دراسة نشرتها شركة Station حول توسع أنظمة الشحن[118] في أوروبا، إلى أن شحن 70% من السيارات الكهربائية في أوروبا يتم في المنازل أو أماكن العمل، وهو نوع من الشحن يحتاج لوقت أطول لأن القدرة الكهربائية لمنافذ الشحن منخفضة كما تقدم، إلا أن هذا النوع من الشحن أقل كلفة من الشحن في المحطات، فهو الخيار الأكثر اقتصادية لمالكي السيارات الكهربائية. لكن العدالة الاجتماعية هنا تطل برأسها، إذ يمكن أن يكون توفير حلول الشحن للسكان الذين يعيشون في المباني السكنية، والتي تمثل 46% من سكان الاتحاد الأوروبي، أمراً في غاية الصعوبة، فالعقبة الرئيسية هي مواقف السيارات المشتركة، والتي تتلقى الكهرباء من عدّاد خاصة بهذه المواقف، مما يجعل من الصعب تركيب شواحن خاصة للسيارات الكهربائية. وتبين الدراسة عينها أن أكثر من 95% من عمليات الشحن المنزلية في أوروبا

تتم بين الساعة 12 بعد منتصف الليل وحتى الساعة 8 صباحاً. أما في أماكن العمل فنحو 75% من عمليات الشحن تتم بين الساعة 8 صباحاً والساعة 4 بعد الظهر.

في نفس المجال تشير البيانات المتاحة على موقع "المرصد الأوروبي لبدائل الوقود" (EAFO) حتى شهر مارس 2024، إلى وجود ما يقارب 694 ألف نقطة شحن عامة في أوروبا، منها نحو 13% من شواحن التيار المستمر، وهو ارتفاع ملحوظ عن عام 2021 عندما كانت شواحن التيار المستمر في أوروبا تمثل 7% فقط من إجمالي الشواحن في نقاط الشحن العامة[119].

هذه الأعداد الكبيرة من محطات أو نقاط الشحن تساهم جزئياً في قرار استخدام المركبات الكهربائية، إنما لابد من النظر في البنية التحتية الهائلة اللازمة لهذه الأعداد من المحطات، وبالتأكيد لابد من النظر في كميات الكهرباء اللازمة لها.

ففي المواقف المشتركة للسيارات في الأبنية، يمكن وضع نقاط شحن يحدد عددها حسب عدد السيارات، وهو ما يستدعي التخطيط لمد كابلات لتغذية هذه النقاط، وقد ربطت بعض اللوائح الحكومية الرسمية في بعض الدول منح رخصة لإنشاء مبنى جديد أو تجديد مبنى قديم قائم بإيجاد نقاط شحن للسيارات الكهربائية. وقد اتفقت دول الاتحاد الأوروبي في عام 2021، على لوائح توجيه خاصة بالبنية التحتية لإعادة شحن المركبات الكهربائية في المباني، تتضمن المتطلبات التي وضعها الاتحاد الأوروبي لأداء الطاقة للمباني (EPBD). يهدف التوجيه إلى دعم التزام الاتحاد الأوروبي بالتحول إلى الطاقة النظيفة وكفاءة الطاقة وإزالة الكربون من مخزون المباني، ويدعم عملياً التحول إلى السيارات الكهربائية. تتطلب هذه اللوائح تنفيذ البنية التحتية المناسبة لتركيب نقاط شحن المركبات الكهربائية للمباني الجديدة والمباني القائمة التي تخضع لتجديد كبير، والتي تضم أكثر من عشرة مواقف للسيارات، كما أنها تتطلب أيضاً تركيب حد أدنى من نقاط الشحن لجميع المباني غير السكنية التي تضم أكثر من عشرين موقفاً للسيارات بحلول 1 يناير 2025[120].

3-6-5 كلفة الشحن

تلعب تكلفة شحن السيارات الكهربائية دوراً مهماً في قرارات المستهلكين بشرائها، بل ربما تكون هذه النقطة بالترافق مع باقي الحوافز الحكومية من بين أهم الأسباب التي تدفع بالبعض للتفكير في شراء السيارات الكهربائية. عملياً، يعد انخفاض تكلفة الوقود مقارنة بالسيارات التقليدية التي تعمل بالبنزين من أهم مميزات السيارات الكهربائية، وعادةً ما يكون شحن سيارة كهربائية في المنزل أرخص من الشحن في المحطات، لكنه ابطأ بكثير، كما تقدم ذكره.

كان التركيز على كلفة الشحن نقطة رئيسية ساهمت في الترويج لمبيعات السيارات الكهربائية في أوقات

ارتفاع أسعار النفط والمشتقات. لكن الأزمة الروسية الأوكرانية أظهرت جانباً آخر من الصورة، فقد ارتفعت أسعار المشتقات النفطية، وترافق ذلك مع ارتفاع أسعار الكهرباء خاصة في بعض المناطق من الولايات المتحدة التي تمثل سوقاً كبيرة للسيارات الكهربائية، كما ارتفعت أسعار الكهرباء في الدول الأوربية التي تسعى إلى استخدام الطاقات المتجددة لتوليد الكهرباء، وهو ما رفع من كلفة شحن السيارات الكهربائية كذلك.

يبين الجدول 13 متوسط كلفة الشحن السريع لكل 1000 كم لسيارة Tesla-3 في مختلف دول أوروبا، حسب أسعار الكهرباء في تلك الدول في شهر يناير 2024[121]. ويلاحظ منه عموماً أن كلفة الشحن كانت أعلى في الدول التي تساهم فيها الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بنسبة أعلى في توليد الطاقة الكهربائية، وربما يكون السبب وراء ذلك هو ارتفاع تكلفة الطاقة المتجددة، فعلى الرغم من انخفاض هذه التكلفة في السنوات الأخيرة، إلا أنها لا تزال أعلى من بعض مصادر الطاقة التقليدية، مثل الفحم والغاز الطبيعي. وتلعب الضرائب والرسوم دورها في ذلك، إذ تفرض بعض الدول الأوروبية ضرائب ورسوماً مرتفعة على استهلاك الكهرباء، مما يؤدي إلى زيادة كلفة شحن السيارة الكهربائية. كما أن البنية التحتية قد يكون لها تأثير على ذلك، إذ لا تزال البنية التحتية لشحن السيارات الكهربائية في طور التطوير في بعض الدول الأوروبية.

لذلك لابد من النظر إلى الأرقام في الجدول ببعض الحيطة، لأن كلفة الشحن الفعلية غالباً ما تكون مختلفة عن تلك الموضحة في الجدول. ولابد كذلك من التأكيد على أن هذه الكلفة سوف تختلف حسب السيارة نفسها، فحسب مواصفات سيارة Tesla-3 المستخدمة كمثال، تسير هذه السيارة نظرياً 7.3 كم باستخدام 1 كيلو واط من الطاقة، بينما تسير Volkswagen ID. Buzz LWB GTX 4.1 كم باستخدام نفس كمية الطاقة، مما يعني أن كلفة الشحن قد تتضاعف تقريباً*.

الجدول 13: كلفة شحن سيارة Tesla-3 الكهربائية في بعض دول أوروبا

الدولة	متوسط كلفة الشحن دولار/ 1000 كم	إجمالي حصة الشمس والرياح من توليد الكهرباء عام 2023	مساهمة الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء	مساهمة طاقة الرياح في توليد الكهرباء
الدنمارك	139	44%	4%	40%
ألمانيا	137	35%	10%	25%
بلجيكا	131	15%	5%	10%
إيطاليا	129	18%	8%	10%
قبرص	125	13%	8%	5%

* يتضمن الملحق 2 بيانات عن 230 طراز من السيارات الكهربائية.

الدولة	متوسط كلفة الشحن دولار/ 1000 كم	إجمالي حصة الشمس والرياح من توليد الكهرباء عام 2023	مساهمة الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء	مساهمة طاقة الرياح في توليد الكهرباء
أستراليا	124	19%	9%	10%
رومانيا	124	17%	4%	13%
سويسرا	116	35%	5%	30%
بريطانيا	116	25%	4%	21%
إسبانيا	114	37%	14%	23%
فرنسا	114	21%	3%	18%
بلغاريا	110	15%	5%	10%
فنلندا	76	17%	2%	15%
النرويج	65	9%	1%	8%

المصدر: إعداد الباحث بناء على التالي:
استخلصت تكلفة الشحن من بيانات المفوضية الأوربية عبر "مرصد الوقود البديل الأوروبي" الذي يتيح حاسبة إلكترونية تقدر كلفة الشحن عند شروط مختلفة لعدد كبير من أنواع السيارات الكهربائية، وقد تم اختيار سيارة Tesla-3 التي تبلغ سعة بطاريتها نحو 58 كيلو واط كمثال للتوضيح فقط، وتم تحويل كلفة الشحن من يورو إلى دولار.
حصة الطاقات المتجددة من مزيج الكهرباء: من بيانات الوكالة الدولية للطاقات المتجددة IRENA.
الأرقام محسوبة بناء على أسعار شهر يناير 2024.
الكلفة في الجدول قد تكون أعلى من الواقع في بعض الأحيان إذ تقدم بعض الشركات عروضاً لأسعار الشحن تختلف من دولة لأخرى.

3-6-6 تكرار الشحن فائق السرعة

تعرّف كفاءة البطارية عموماً بأنها نسبة الطاقة الكهربائية التي توفرها البطارية إلى كمية الطاقة الكهربائية المطلوبة لإعادة البطارية إلى حالتها قبل التفريغ. ولا توجد بطارية بكفاءة 100%، فهناك ضياع للطاقة خلال عملية الشحن والتخزين والتفريغ، فلو كانت كفاءة البطارية 80%، فهذا يعني أنه مقابل كل 100 كيلو واط تخزن في البطارية، يمكن سحب 80 كيلو واط فقط. وهذه عملياً هي كفاءة معظم بطاريات الليثيوم أيون، وبالتالي يمكن القول إن كفاءة البطارية هي مقياس لضياع قسم من الطاقة.

ولما كانت السيارات الكهربائية تعتمد حجة الاستخدام الفعال للطاقة، فإن الكفاءة العالية للطاقة تعتبر في غاية الأهمية، لكن من المهم كذلك إدراك أن هذه الكفاءة ستختلف بشكل كبير باختلاف كيفية استخدام البطارية. فعلى سبيل المثال، يثار دوماً سؤال في غاية الأهمية: هل يؤدي الشحن السريع للبطارية إلى إنقاص عمرها وكفاءتها؟

تذكر شركة Tesla على موقعها الرسمي أن الشواحن فائقة السرعة تعتبر مثالية خلال السفر لمسافات طويلة، بحيث لا تعيق مستخدم السيارة لفترة طويلة. بينما تنصح الشركة باستخدام الشواحن الأخرى للاستخدامات اليومية العادية للسيارة[122].

يظهر الجدول 11 الوارد سابقاً نقطة مهمة أخرى*، فمن الملاحظ أن الشحن فائق السرعة يعني زمناً أقل بكثير لشحن البطارية، أي أن مالكي السيارات الكهربائية قد يجدون أن الشحن بهذه الطريقة مفيد وموفر للوقت، إلا أن البطاريات في هذه الحال ربما تواجه بعض الآثار السلبية التي يجب أخذها بعين الاعتبار.

يستخدم الشحن فائق السرعة تيارات شحن عالية، مما قد يتسبب في إنتاج المزيد من الحرارة من البطارية، ويمكن أن تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى تقصير عمر البطارية عن طريق تسريع تدهور الخلايا بمرور الوقت. كما قد يؤدي الشحن فائق السرعة إلى المزيد من التفاعلات الكيميائية ويضع المزيد من الضغط على خلايا البطارية، وهو ما قد يسبب إنتاج مواد كيميائية غير مرغوب فيها، مثل ترسب الليثيوم على سطح الأنود، مما قد يكون له تأثير سلبي على عمر البطارية وسعتها، وفي بعض الحالات قد يسبب قصر دارة البطارية. علاوة على ذلك تميل كفاءة الشحن إلى الانخفاض مع ارتفاع سعة البطارية. وهذا يقلل من الكفاءة الإجمالية لعملية الشحن لأن نسبة أكبر من مدخلات الطاقة يتم إهدارها كحرارة بدلاً من تخزينها في البطارية.

ومع ذلك فالشحن فائق السرعة قد لا يسبب ضرراً فورياً للبطارية، إلا أن الاستخدام المتكرر لهذا النوع من الشحن يمكن بمرور الوقت أن يسبب انخفاض سعة تخزين الطاقة، مما يقلل من مدى قيادة السيارة ويبرز الحاجة لتغيير البطارية بشكل أسرع.

من جهة أخرى، ترى بعض الجهات أن الشحن فائق السرعة ربما ليس له ضرر كبير، وهو ما ذكرته شركة تدعى Recurrent في عام 2022 بعد أن قامت ببحث على 4400 سيارة من طراز Tesla Y. لكن نفس الشركة أكدت على أهمية عدم شحن البطارية بهذه الطريقة في ظروف الحرارة العالية جداً، وتبين الشركة أن المقصود بالحرارة العالية جداً، درجة الحرارة التي تتجاوز **30°** مئوية[123]، وهي عملياً حرارة عالية جداً في دول أوروبا وكندا وأغلب الولايات الأمريكية، لكنها أقل من المتوسط السنوي في معظم دول الشرق الأوسط وأفريقيا.

3-6-7 سعر السيارة الكهربائية

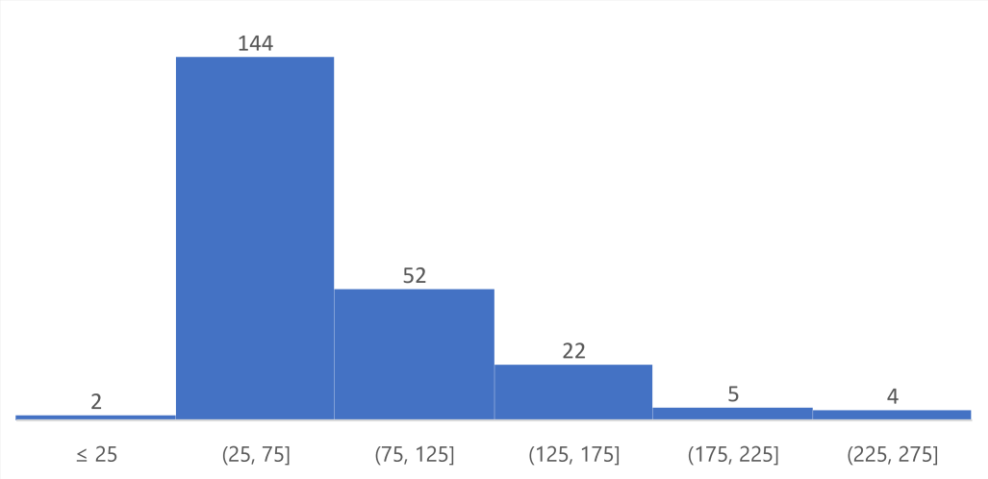
عند النظر للسعر المعلن على الموقع الرسمي لسيارات شركة Tesla مثلاً، يلاحظ أنه ليس السعر الحقيقي للبيع، فهناك ملاحظة بخط صغير فاتح اللون توضح أن السعر يتضمن التوفير المتوقع من ثمن الوقود لمدة ثلاث سنوات. فسيارة Tesla-X التي ذكر الموقع في مطلع عام 2024 أن سعرها 68,590 دولار، تباع فعلياً بسعر 79,990 دولار، أي بزيادة 11,400 دولار عن السعر المعلن[124].

* زمن شحن السيارة الكهربائية حسب نوع الشاحن المستخدم

يمثل هذا الفرق عملياً معونات حكومية (محتملة) بقيمة 7,500 دولار تأتي على شكل حسم ضريبي، والباقي (3,900 دولار) عبارة عن التوفير المتوقع في ثمن الوقود لو كان الشاري يقود سيارة عادية لمدة ثلاث سنوات*.

يعد سعر السيارة الكهربائية من أهم العوامل المؤثرة على انتشارها، فالسعر المرتفع يمثل عائقاً يمكن أن يثني العديد من المستهلكين عن قرار شراء سيارة كهربائية، فعلى الرغم من الإعانات الحكومية، ورغم أن كلفة شحن السيارة الكهربائية أقل من كلفة تشغيل سيارة تعمل بالبنزين أو الديزل، إلا أن سعر شراء السيارة الكهربائية مرتفع مقارنة بنظيرتها التقليدية. لذلك يلاحظ أن انتشارها أوسع في الدول التي يكون متوسط دخل الفرد فيها مرتفعاً، أو في الدول التي تكون أسعار السيارة والكهرباء في متناول شريحة واسعة من المستخدمين مثل الصين مثلاً. يلاحظ من الأرقام الواردة في الملحق 2 من هذه الدراسة، أن نحو 62% من الأنواع الشائعة من السيارات الكهربائية تتراوح أسعارها بين 25- 75 ألف دولار، ونحو 23% منها تتراوح أسعارها بين 75- 125 ألف دولار، كما هو مبين في الشكل 24، كما يلاحظ أن هناك نوعان فقط من السيارات التي يقل سعرها عن 25 ألف دولار، أي ما يشكل نحو 0.9% من الأنواع المبينة في الملحق.

الشكل 24: الفئات السعرية للسيارات الكهربائية (ألف دولار)



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من الملحق 2 المستخلص من قاعدة بيانات السيارات الكهربائية في المملكة المتحدة.
هناك سيارة واحدة يزيد سعرها عن 400 ألف دولار لم تدرج في المخطط.

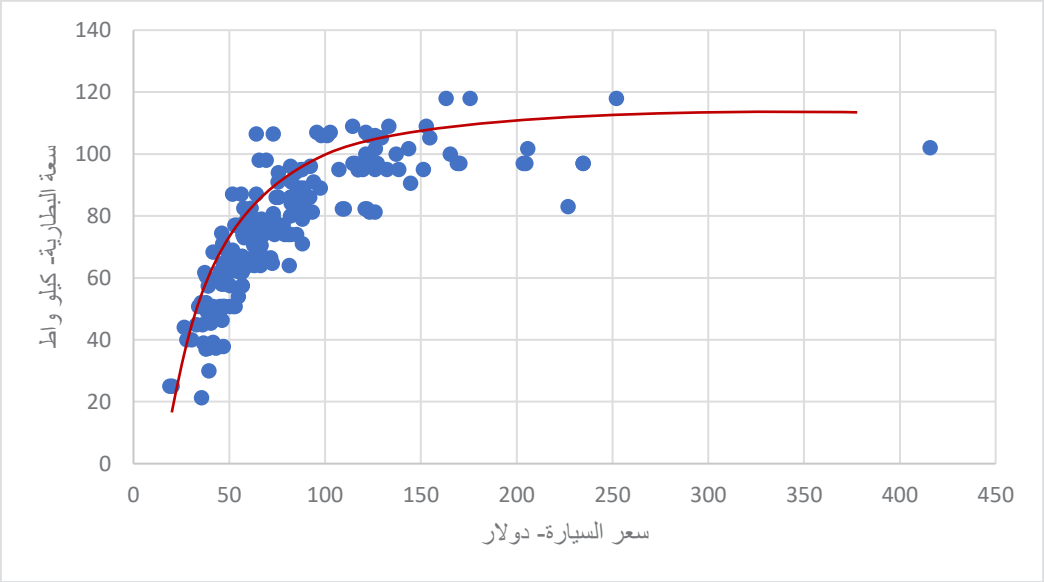
ويطرح سعر السيارة سؤالاً محقاً، عن مدى تأثير السعر على سعة البطارية وعلى مدى القيادة؟

* هذه البيانات كانت في مطلع عام 2024، وقد لوحظ في أواخر شهر مايو من نفس العام أن الشركة خفضت السعر المعلن إلى 63,900 دولار، وانخفض إجمالي الحوافز المتوقعة إلى 7500 دولار، منها 1000 دولار كحسم ضريبي، والباقي توفير متوقع في ثمن الوقود خلال 5 سنوات.

3-6-7-1 العلاقة بين السعر وسعة البطارية

يبين الشكل 25 العلاقة بين سعر السيارة وسعة البطارية، ويلاحظ منه أن زيادة سعة البطارية ترتبط عموماً مع زيادة سعر السيارة، فعلى سبيل المثال يلاحظ أن أغلب السيارات التي تتراوح سعة بطارياتها بين 40- 60 كيلوواط، تقل أسعارها عن 50 ألف دولار*، أما للسعات ما بين 60 – 100 كيلوواط، فإن سعر السيارة يتراوح بين 50- 100 ألف دولار. لكن الشكل يوضح كذلك أن الأسعار الأعلى من 100 ألف دولار لا تعني زيادة ملحوظة في سعة البطارية، وربما تكون هذه الزيادة بسبب طراز السيارة أو نوعها، فسيارة Rolls-Royce Spectre مثلاً، يزيد سعرها عن 400 ألف دولار، لكن سعة بطاريتها 102 كيلو واط، بينما يبين الشكل وجود العديد من السيارات الأقل كلفة وذات بطاريات بسعات أعلى من 100 كيلو واط.

الشكل 25: سعة البطارية بالعلاقة مع سعر السيارة



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من الملحق 2 المستخلص من قاعدة بيانات السيارات الكهربائية في المملكة المتحدة.

3-6-7-2 العلاقة بين السعر ومدى القيادة

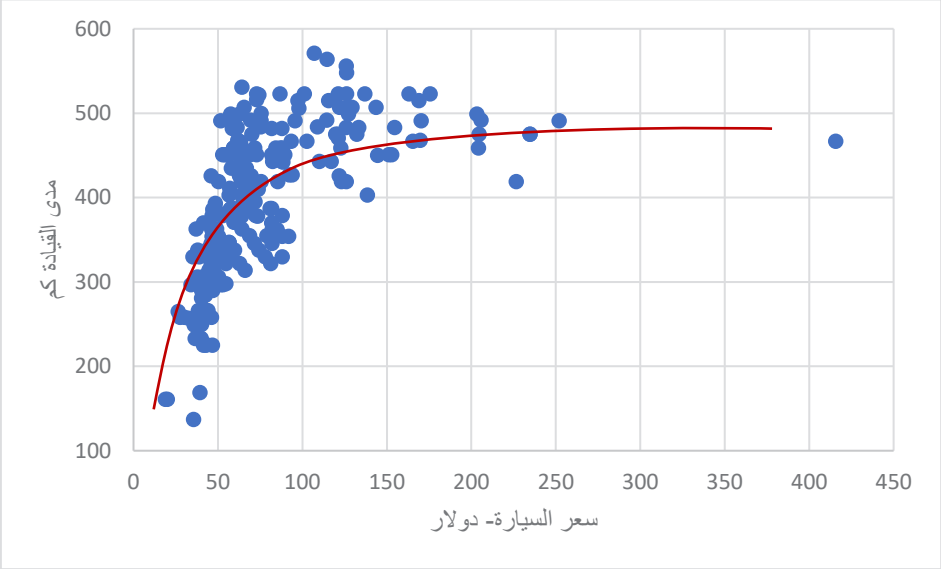
يمكن تبين العلاقة بين سعر السيارة ومدى القيادة† من الشكل 26، والذي يوضح وجود زيادة في مدى قيادة السيارة مع ارتفاع سعرها، وهذا أمر طبيعي في ظل زيادة سعة البطارية مع ارتفاع السعر كما تقدم، لكن الشكل يبين وجود عدد كبير من السيارات تقع ضمن الفئة السعرية التي تزيد عن 100 ألف

* تشير العديد من وسائل الإعلام إلى أن أغلب السيارات التقليدية التي تقتنيها العائلات ذات الدخل المتوسط في أوروبا تقل أسعارها عن 30 ألف دولار.

† لا بد من تكرار التأكيد أن مدى القيادة المقصود هو المدى التقديري في ظروف اختبار السيارة وليس في الواقع العملي، وهو ما سوف يتم التطرق إليه عند بحث تأثير درجة الحرارة.

دولار، إلا أن ذلك لا يزيد بشكل ملحوظ من مدى قيادتها، ويبدو أنه أمر مرتبط بعدة نقاط منها وزن السيارة والتقنيات الموجودة فيها والتي قد تستهلك طاقة من البطارية على أمور أخرى غير مدى القيادة*.

الشكل 26: العلاقة بين سعر السيارة الكهربائية ومدى القيادة



المصدر: إعداد الباحث بناء بيانات من الملحق 2 المستخلص من قاعدة بيانات السيارات الكهربائية في المملكة المتحدة.

3-6-8 تأثير درجة الحرارة

عند الحديث عن درجات الحرارة وتأثيرها على انتشار السيارات الكهربائية، لابد من النظر إلى المكان والموقع الجغرافي، إذ يُعد الموقع الجغرافي أحد أهم العوامل التي تحدد درجات الحرارة، حيث تتفاعل عوامل مختلفة مع بعضها البعض لتشكيل المناخ الخاص بكل دولة، مثل خط العرض (البعد والقرب عن خط الاستواء)، والارتفاع عن سطح البحر، والقرب من المسطحات المائية، وحتى التضاريس مثل الجبال والوديان، التي تؤثر على حركة الرياح واتجاهات التيارات البحرية، مما يؤثر على درجات الحرارة. ففي شهر يوليو 2023، ذكر الأمين العام للأمم المتحدة أن العالم بات في وضع الغليان العالمي (Global Boiling) بسبب ارتفاع درجات الحرارة وخاصة في دول أوروبا. وعملياً بلغ متوسط درجة الحرارة في ذلك الشهر في باريس 27° مئوية، وفي إيطاليا 28.5° مئوية، وفي ألمانيا 18.7° مئوية، بينما بلغ نحو 40° في دولة الكويت، فالأمر نسبي كما هو واضح.

تعتبر المسافة التي يمكن للسيارة قطعها بشحنة واحدة، من أهم النقاط التي يتم البحث بشأنها،

* يقع تتبع كل التفاصيل والأسباب خارج نطاق هذه الدراسة.

وتتضمن الملصقات المرفقة بالسيارة أو الإعلانات عنها، أرقاماً متفائلة حول هذه المسافة. لكن هذه الأرقام محسوبة فعلياً ضمن شروط مخبرية تتراوح درجة الحرارة فيها بين 20- 30° مئوية. وبطبيعة الحال فإن أي تغير في درجة الحرارة عن تلك الشروط المخبرية، يعني أن المسافة سوف تتغير.

وربما يكون من المفيد بيان أن الاختبار القياسي الذي تطلبه وكالة حماية البيئة الأمريكية مثلاً*، يتضمن محاكاة أربع جولات ضمن المدينة، لكنها تتم في المختبر باستخدام الدينامو-متر† Dynamometer، ومحاكاة جولتين من القيادة على الطرق السريعة، تجري إحداهما على سرعة عالية تقارب 110 كم في الساعة. وقد يتم إضافة معامل تصحيح لنتائج الاختبارات ليعكس بشكل أكثر دقة الأرقام التي يمكن للمستهلكين توقعها في العالم الحقيقي.

يبين الجدول 14 المسافات النظرية[125] التي يمكن أن تقطعها بعض أنواع السيارات الكهربائية بشحنة كاملة حسب الشروط المعيارية للاختبارات‡.

الجدول 14: استهلاك الطاقة لكل 1 كم من مدى بعض السيارات الكهربائية حسب الشروط المعيارية

نوع السيارة	المدى (كم)	طاقة البطارية (ك و س)	وزن السيارة كغ	استهلاك الطاقة (ك و س/كم)
BMW iX xDrive 50	504	105.2	3145	0.21
Mercedes EQS 450+	632	107.8	2945	0.17
Skoda Enyaq iV 80	416	77	2540	0.19
Tesla Model Y Long Range	432	75	2518	0.17
Volkswagen ID3 Pro Performance	344	58	2270	0.17
Hyundai Kona Electric	392	64	2170	0.16
Nissan Leaf	232	39	1995	0.17
Vauxhall Corsa-e	280	45	1920	0.16

المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من: British Gas، 2024، و EV data base.

يلاحظ من الجدول السابق أنه بالرغم من اختلاف مدى القيادة لكل سيارة، واختلاف سعة البطارية، إلا أن استهلاك الطاقة متقارب بين كل السيارات المذكورة، وهو وسطياً بحدود 0.17 كيلو واط ساعة لكل 1 كم§.

ويلاحظ أيضاً أن طاقة شحن البطارية لا تحدد مدى استهلاك الطاقة لكل 1 كم من القيادة بقدر ما تحدد مدى قيادة السيارة الإجمالي، كما أن تخفيض وزن السيارة لا يلعب دوراً كبيراً في تخفيض استهلاك

* Environmental Protection Agency

† جهاز يتضمن أسطوانة لتدوير عجلات السيارة دون أن تتحرك السيارة، ويرتبط بمجموعة من المستشعرات التي تسجل البيانات.

‡ يتضمن الملحق 2 جدولاً يبين استهلاك الطاقة لأغلب السيارات المعروفة في الأسواق، بحسب قاعدة بيانات السيارات الكهربائية الرسمية في المملكة المتحدة.

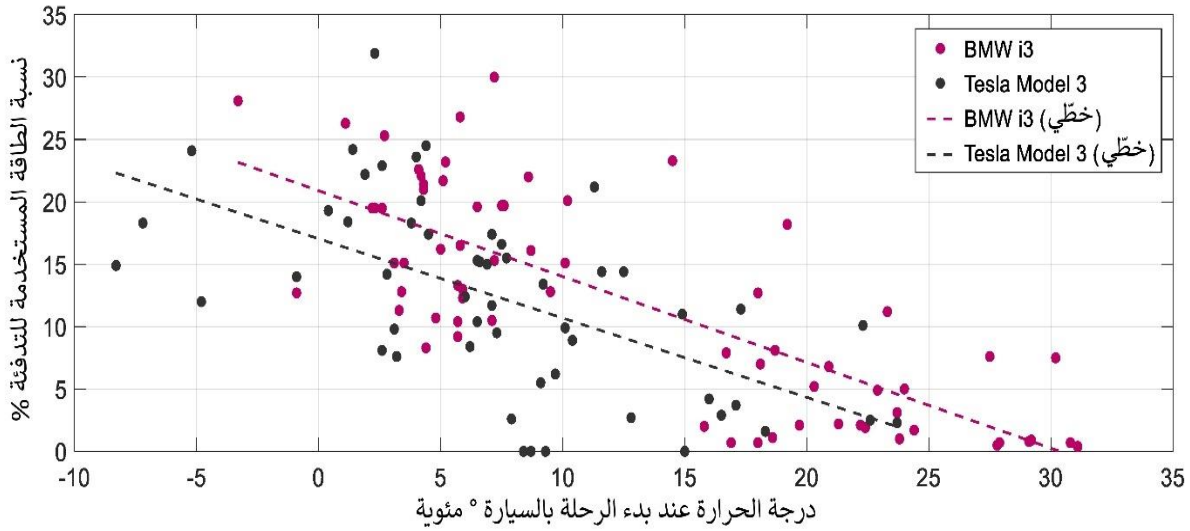
§ ضمن الشروط المعيارية للاختبارات، أي أن الاستهلاك الفعلي للطاقة سيكون غالباً أعلى من القيم المذكورة في الجدول.

الطاقة، بل إن السيارات الأخف وزناً المبينة في الجدول تستهلك طاقة أعلى من السيارات الأثقل، وهو ما قد يكون مرتبطاً بتقنية البطارية نفسها أو التقنيات الأخرى المستخدمة في السيارة.

3-6-8-1 تأثير درجات الحرارة المنخفضة

يعتبر تأثير درجة حرارة الجو المنخفضة على البطارية أحد العوائق التي تواجه السيارات الكهربائية مقارنة بالسيارات العادية، حيث يتم توفير الطلب على الطاقة لتدفئة المقصورة من بطارية السيارة، بينما تتم التدفئة في السيارات العادية بواسطة مروحة توجه جزءً من حرارة المشع* نحو غرفة القيادة. وقد بينت دراسة[126] أجريت على نوعين من السيارات Tesla-3 وBMW i3 أن استخدام التدفئة استهلك نحو 31.9% من طاقة البطارية في السيارة الأولى، و30% في السيارة الثانية. وهو ما يمكن ترجمته إلى انخفاض مقابل في مدى قيادة السيارة، كما هو موضح في الشكل 27. وبطبيعة الحال هناك عدد كبير من العوامل التي تؤثر على نتائج كهذه، منها درجة الحرارة المرغوبة في غرفة القيادة وهو أمر يتعلق براحة السائق، ومنها الفارق بين درجة الحرارة عند بدء الرحلة وبين درجة الحرارة الخارجية، ومنها كذلك كمية الطاقة المتولدة من المكابح لإعادة شحن البطارية في بعض أنواع السيارات، ومكان إجراء التجربة، حيث تؤثر انسيابية الطريق والسرعة على الاستهلاك الإجمالي. لكن الدراسة عموماً تبين وجود علاقة وثيقة بين استخدام التدفئة في الطقس البارد وبين تراجع مدى القيادة.

الشكل 27: العلاقة بين درجة الحرارة المنخفضة وكمية الطاقة المستهلكة للتدفئة في سيارتين كهربائيتين



المصدر: Steinstraeter ، 2021

* Radiator

يمكن أن يعزى تدهور الأداء عند درجات الحرارة المنخفضة إلى عدة أسباب، منها أن درجة الحرارة المنخفضة تؤثر على خواص الكهرليت* (Electrolyte)، فتزداد لزوجته مما يقلل من التوصيل الأيوني، وترتفع المقاومة الداخلية بسبب إعاقة حركة الشوارد. ومن التأثيرات الأخرى عند درجات الحرارة المنخفضة، ارتفاع مقاومة نقل الشحنة (الشحن)، إذ تشير بعض الدراسات[127] إلى أن مقاومة نقل الشحنة للمهابط المصنوعة من ليثيوم فوسفات الحديد (LiFePO4) عند انخفاض درجة الحرارة إلى 20° مئوية تحت الصفر، تكون أعلى بثلاث مرات من المقاومة في درجة الحرارة العادية. وهناك تأثير نموذجي آخر يحدث عند درجات حرارة منخفضة وهو تباطؤ التفاعل بين الليثيوم والقطب السالب† أثناء عملية الشحن وبالتالي تترسب أيونات الليثيوم على سطح الأقطاب الكهربائية، مما يؤدي إلى انخفاض قدرات البطارية[128].

في نفس المجال، قامت جمعية السيارات الأمريكية (AAA)، بالشراكة مع نادي السيارات التابع لمركز أبحاث السيارات في جنوب كاليفورنيا، بإجراء بحث[129] شمل خمس سيارات كهربائية بهدف دراسة كيفية تأثير الطقس القاسي على نطاق القيادة. وأشارت النتائج إلى أنه عند انخفاض درجة الحرارة إلى (-6.7°) مئوية، واستخدام نظام التدفئة في السيارة، فإن مدى القيادة انخفض بنسبة 41%. فلو كان مدى القيادة لسيارة مشحونة بالكامل 300 كم مثلاً، فإن المدى الفعلي سينخفض إلى 177 كم فقط.

رغم هذه البيانات، تحاول بعض الجهات أن تتغاضى عن تأثير انخفاض درجة الحرارة على السيارات الكهربائية، مستخدمة غالباً بيانات المختبرات، لكن الواقع الفعلي قد يكون مختلفاً، ففي الأسبوع الأول من شهر يناير 2024، تعرضت كندا وبعض الولايات الأمريكية لدرجات حرارة منخفضة بلغت أحياناً 40° مئوية تحت الصفر، وذكر العديد من مستخدمي السيارات الكهربائية أن ذلك الطقس تسبب على الأقل بفقدان 30% من مدى قيادة السيارة، كما أن زمن الشحن ارتفع أحياناً لستة أضعاف الزمن العادي[130].

3-6-8-2 تأثير درجات الحرارة المرتفعة

أما في درجات الحرارة المرتفعة‡، فقد بين البحث المذكور آنفاً لجمعية السيارات الأمريكية أنه في حال ارتفاع درجة الحرارة واستخدام التكييف في السيارة، انخفض مدى القيادة بنسبة 17%. لكن درجة الحرارة التي اعتبرت مرتفعة خلال البحث كانت 35° مئوية، وهي وإن كانت مناسبة للدول الأوروبية وأمريكا الشمالية، إلا أنها أقل من المعدل في بعض الدول العربية وخاصة دول الخليج العربي.

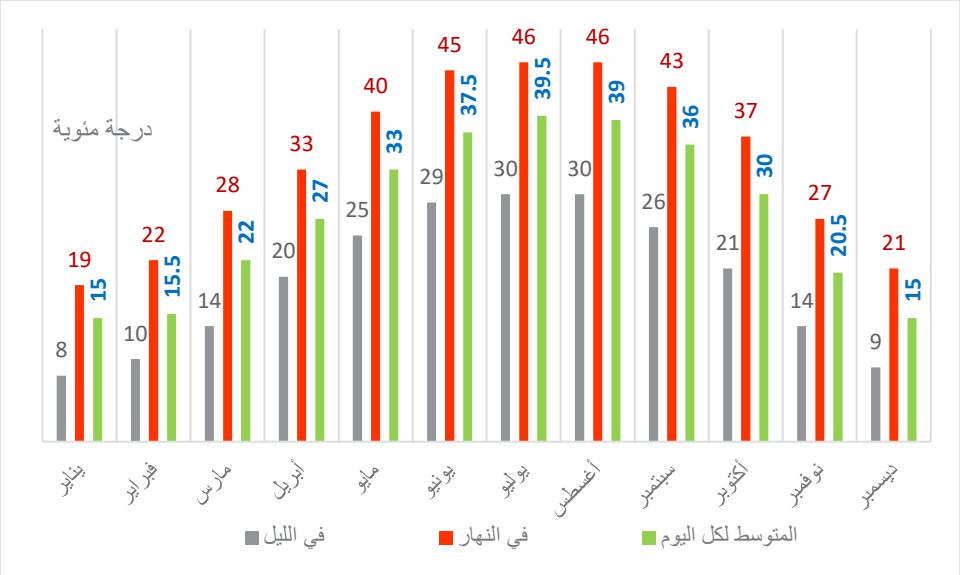
* مادة تحتوي على أيونات حرة تشكل وسطا ناقلا للكهرباء

† رغم أهمية الغرافيت في القطب السالب لبطارية الليثيوم، فإن إحدى عيوبه هو انخفاض فعاليته عند درجات الحرارة المنخفضة.

‡ لوحظ خلال إعداد هذه الدراسة أن معظم الأبحاث توجهت نحو تأثير درجة الحرارة في الطقس البارد، وهو أمر متوقع كون معظم الأبحاث تتم على استخدام السيارات الكهربائية في أوروبا حيث الطقس أميل إلى البرودة.

وفي هذا المقام أجرى "معهد الكويت للأبحاث العلمية" دراسة عملية[131] جمعت خلالها البيانات اللازمة من 2024 رحلة لسيارة كهربائية خلال577 يوماً، وأخذت بعين الاعتبار متوسط درجات الحرارة في دولة الكويت، كما هو مبين في الشكل 28.

الشكل 28: متوسط درجات الحرارة في دولة الكويت

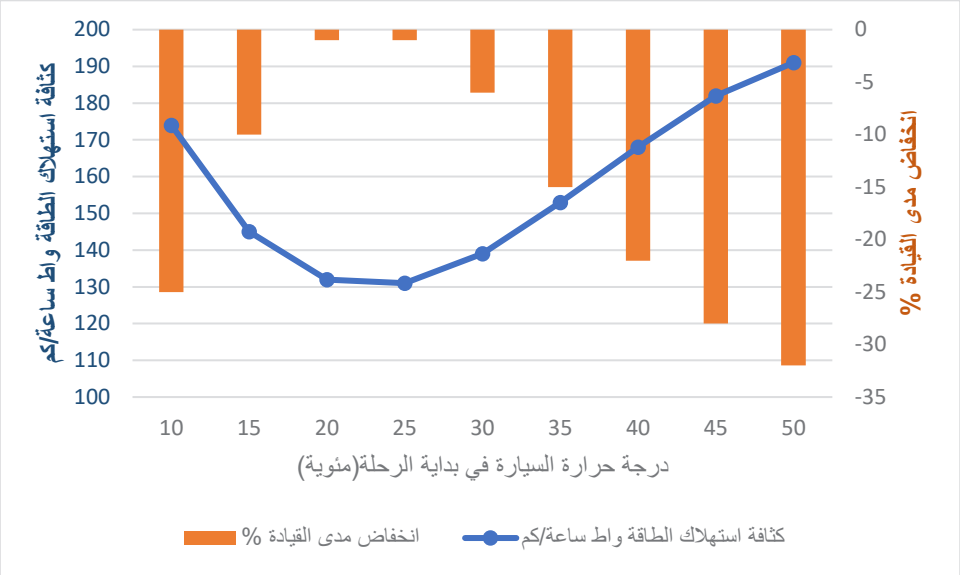


المصدر: بيانات Hamwi *et al*، 2022

وأشارت الدراسة إلى أن الحد الأقصى لمتوسط درجة الحرارة اليومي في دولة الكويت يتراوح بين 39.5° مئوية في شهر يوليو والحد الأدنى 15° مئوية في شهر ديسمبر، كما بينت أن درجات الحرارة تكون مرتفعة بشدة أثناء النهار في أشهر الصيف، حيث يبلغ متوسطها الأقصى 46°مئوية في شهري يوليو وأغسطس. وخلصت الدراسة إلى أن درجات الحرارة تكون مرتفعة في الغالب عند العودة من العمل والمدرسة، وخلال هذه الأوقات يمكن أن تؤدي أحمال تكييف الهواء داخل السيارة التي تعمل بالوقود الأحفوري إلى زيادة استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 10%، خاصة في الرحلات القصيرة بمتوسط سرعة أقل من حوالي 50 كم في الساعة. يوضح الشكل 29 النتائج التي توصلت لها الدراسة، والتي بينت أن أفضل حالات استهلاك الطاقة كانت عند درجات حرارة تتراوح بين 20- 25° مئوية*، بينما ينخفض مدى القيادة عند ارتفاع درجات الحرارة ليصل إلى (-35%) عند درجة حرارة 50° مئوية.

* وهو ما يتوافق عملياً مع الشروط المخبرية التي تستخدمها الشركات في اختباراتها.

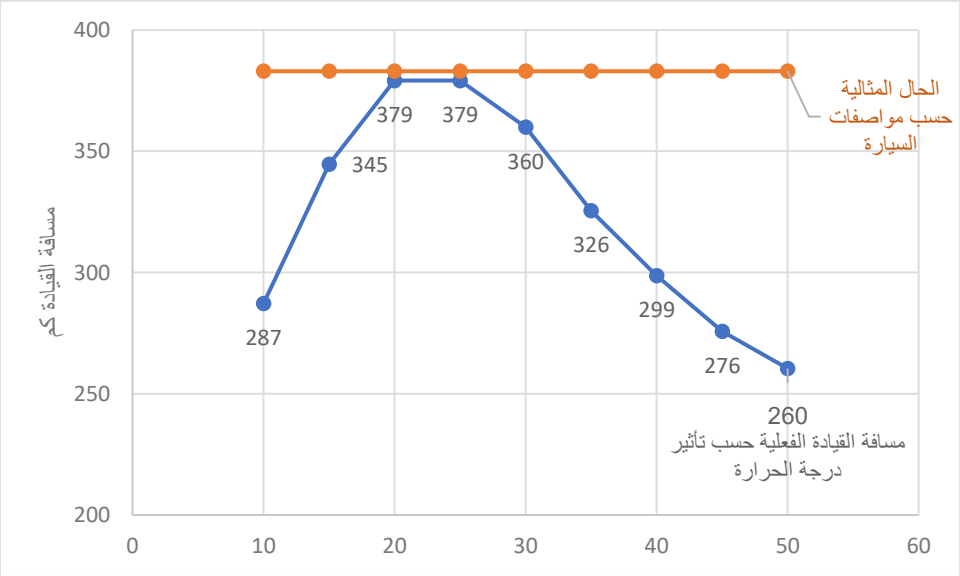
الشكل 29: كثافة الطاقة المستهلكة وانخفاض مدى القيادة بالعلاقة مع ارتفاع درجة الحرارة



المصدر: بيانات Hamwi *et al*، 2022

ونظراً لأن التجربة تمت على سيارة Chevrolet Bolt EV–2019، والتي تشير مواصفاتها الفنية* إلى أنها تسير 383 كم بالشحنة الواحدة، فيمكن بناء على نتائج الدراسة إنشاء المخطط المبين في الشكل 30، والذي يوضح المسافة الفعلية التي يمكن أن تسيرها السيارة حسب درجة الحرارة الخارجية.

الشكل 30: مسافة القيادة الفعلية بتأثير درجة الحرارة لسيارة Chevrolet Bolt EV–2019



المصدر: إعداد الباحث استناداً إلى المواصفات الفنية للسيارة المذكور، ونتائج دراسة Hamwi *et al*، 2022

* يبلغ وزن بطارية السيارة 430 كغ، أي ما يشكل 27% من وزن السيارة الإجمالي البالغ 1616 كغ.

ويلاحظ أن نتائج دراسة معهد الكويت للأبحاث العلمية بينت أن ارتفاع الحرارة إلى 35° مئوية تسبب في فقدان 15% من مدى القيادة، وهو ما يتوافق مع نتائج دراسة جمعية السيارات الأمريكية المذكور سابقاً.

وقد أشير آنفاً إلى أن ظاهرة التفريغ الذاتي للبطارية تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة، كما تفقد البطارية جزءاً من سعة تخزينها بمرور الوقت في درجات الحرارة العالية، ويتراجع عمرها الافتراضي.

7-3 دور الصين في إنتاج البطاريات الكهربائية في العالم

مع تزايد الطلب العالمي على السيارات الكهربائية، تتزايد المنافسة على المعادن النادرة المستخدمة في صناعة البطاريات، ولا يمكن في هذا المجال إغفال الدور الكبير الذي تلعبه الصين في سوق السيارات الكهربائية عموماً، وسوق صناعة البطاريات بشكل خاص. فعلى سبيل المثال يعد الكوبالت من بين أهم المعادن اللازمة لهذه الصناعة، وهو ما زاد من حجم الاهتمام الدولي بجمهورية الكونغو الديمقراطية، والتي تمتلك -كما تقدم- أكبر احتياطي من الكوبالت في العالم. أصبحت الصين على مدى العقدين الماضيين، تلعب دوراً مركزياً في قطاع الكوبالت في الكونغو، فمنذ عام 2007، دخلت الاستثمارات الصينية قطاع التعدين الكونغولي، حين قررت جمهورية الكونغو الديمقراطية مقايضة مواردها الطبيعية بالبنية الأساسية، بحيث تقوم الصين في مقابل النحاس والكوبالت بتطوير البنية التحتية في البلاد، والاستثمار في صناعة التعدين الكونغولية. استناداً إلى ذلك تم إنشاء شركة "التعدين الصينية الكونغولية*" كمشروع مشترك تمتلك الشركات الصينية فيه 68% من الحصص، وهي مسؤولة عن سداد جزء من القروض التي يتم الحصول عليها لبناء استثمارات البنية التحتية. هذه الشراكة، التي تم تقديمها على أنها صفقة القرن، بلغت قيمتها 9 مليار دولار. ولاحقاً ونتيجة لضغوط من مجتمع التمويل الدولي، شعر صندوق النقد الدولي (IMF) والبنك الدولي، بالقلق إزاء المديونية المرتفعة من جانب الكونغو، فتم تعديل القرض إلى 6 مليارات دولار.

تستهلك صناعة السيارة حوالي 28% من إنتاج الكوبالت في العالم، ومن المتوقع أن تصل هذه النسبة إلى 45% في عام 2025. وهنا تبرز أهمية الصين بوضوح حيث أن 4 من أصل أكبر 10 شركات مصنعة للبطاريات الكهربائية في العالم هي شركات صينية. في عام 2018، استهلكت صناعة البطاريات في الصين 52 ألف طن من الكوبالت، وهو ما يمثل 80% من إجمالي استهلاك الكوبالت في الصين[132].

كما أن الصين تعتبر أكبر دولة في العالم تعمل على تكرير الكوبالت واستخراجه من الخامات الأولية[133]، ويقدر أن إنتاج الكوبالت ارتفع بنحو 14- 17% بين عامي 2022 و2023، وهو ما اعتبرته شركة Darton Commodities† في مطلع عام 2024 نوعاً من إغراق السوق ترافق مع تباطؤ في نمو الطلب على السيارات الكهربائية، مما جعلها تتوقع أن يكون هناك فائض في المعروض في السوق حتى عام 2028 بعد أن قامت الصين بزيادة إنتاج الكوبالت من الكونغو بنحو 26 ألف طن بين عامي 2022- 2023.

ساهم ارتفاع الإنتاج وتباطؤ النمو في الطلب على السيارات الكهربائية في تراجع حاد لأسعار

* Sicomines (Sino Kongolaise) des Mines

† Darton Commodities شركة بريطانية كبيرة تعمل كوسيط في مجال الكوبالت.

الكوبالت عام 2023، ونتيجة للاستثمار الصيني القوي، تتوقع Darton Commodities أن تمتلك الصين أو تدير ما يصل إلى 60% من إمدادات الكوبالت في العالم بحلول عام 2025، ارتفاعاً من 54% حالياً. من ناحية أخرى رفعت إندونيسيا المعروض من الكوبالت - الذي يتم إنتاجه كمنتج ثانوي من استخراج النيكل - في المناجم المملوكة للصين، مما أدى إلى مضاعفة الإنتاج بأكثر من 5 أضعاف بين عامي 2021 و2023. ويرى تقرير Darton Commodities أن الصين تدعم أسعار الكوبالت من خلال امتصاص الإمدادات الفائضة في الأسواق، وتعمل على تخزينها في احتياطي استراتيجي حيث تشتري ما يقدر بنحو 21% من المعروض العالمي من الكوبالت[134].

على الصعيد الآخر، ورغم أنها ليست أكبر منتج لخامات الليثيوم في العالم، إلا أن الصين تلعب دوراً فائق الأهمية في سوق الليثيوم العالمية لابد من الإشارة إليه، حيث أنها تهيمن على معالجة وتكرير الليثيوم، وهو ما نتج عن عدة عوامل، من أهمها أن الصين أدركت كما يبدو الأهمية الاستراتيجية لليثيوم في وقت مبكر واستثمرت بكثافة في بناء قدرات المعالجة والتكرير بدءاً من أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. وقد منحها هذا قصب السبق عندما زاد الطلب على بطاريات الليثيوم- أيون في السنوات التالية.

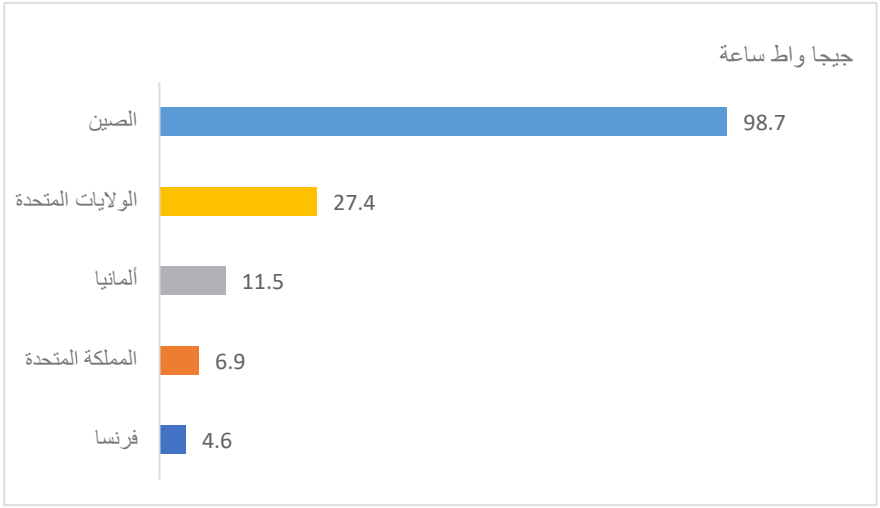
يضاف إلى ذلك الدعم الحكومي، فقد قدمت الحكومة الصينية دعما مالياً وتنظيمياً كبيراً لشركات الليثيوم المحلية، مما سمح لها بالتوسع بسرعة والوصول إلى الموارد الداخلية والخارجية بسهولة أكبر، وشمل الدعم مناحي تمويل البحث والتطوير، والإعفاءات الضريبية، والحصول على القروض التفضيلية، وقد أطلقت الصين في عام 2015 مبادرة "صنع في الصين[135]" كجزء من خططها الخمسية، وكان لقطاع السيارات الكهربائية أهمية استراتيجية ضمن تلك المبادرة. وقد سمحت السوق المحلية الكبيرة في الصين، وعمليات الإنتاج الفعالة، بتحقيق أرباح ملحوظة للشركات، مما أدى إلى انخفاض تكاليف المعالجة مقارنة بالعديد من البلدان الأخرى. كما أن تلك الشركات استفادت بطبيعة الحال من انخفاض تكاليف العمالة مقارنة ببعض المنافسين.

ومن أهم العوامل كذلك أن الصين استثمرت بكثافة في البحث والتطوير في مجال تقنيات تكرير الليثيوم، مما منحها ميزة تنافسية وجعل من الصعب على الدول الأخرى مواكبتها. وإن كانت أستراليا - وهي المنتج الأكبر لخام الليثيوم كما تقدم- قد حاولت اللحاق بركب الصين في هذا المجال[136]، فقدمت دعماً مالياً وبسّطت الحصول على الموافقات التنظيمية لإنتاج المعادن، حيث أتاحت تسهيلات قروض بقيمة 1.3 مليار دولار في عام 2021 لإنتاج المعادن الرئيسية بما فيها تلك اللازمة لبطاريات السيارات الكهربائية، وقدمت 2.4 مليار دولار لمجمع إنتاج ومعالجة المعادن ومنشآت إعادة التدوير في New

South Wales.

أما العامل الأهم ربما، فهو التكامل الرأسي، حيث أن العديد من شركات الليثيوم الصينية تتحكم بجميع مراحل سلسلة التوريد، من التعدين إلى التكرير وإنتاج البطاريات. إذ تشارك الشركات الصينية بشكل كبير في إنتاج الليثيوم في جميع أنحاء العالم، وتلعب دوراً مفصلياً في كل من التعدين الأولي والمعالجة والتكرير، فتعمل على الاستحواذ على أصول الليثيوم في العالم ما أمكنها ذلك، خاصة في دول مثل أستراليا وتشيلي والأرجنتين وأفريقيا، وهو ما يوفر لها إمكانية الوصول إلى المواد الخام والتحكم في جزء كبير من احتياطيات الليثيوم العالمية. كما تدير بعض الشركات الصينية مناجم الليثيوم الخاصة بها في جميع أنحاء العالم، مما يزيد من قدرتها الإنتاجية ونفوذها. فضلاً عن أن الصين تمتلك الحصة الأكبر من القدرة العالمية على معالجة وتكرير الليثيوم، والتي قدرت بنحو 65% في عام 2021. وهذا يعني أنها تتحكم في كل الخطوات الحاسمة لتحويل الليثيوم الخام إلى مادة صالحة للبطاريات الضرورية للسيارات الكهربائية والإلكترونيات[137]. منحت العوامل المذكورة الصين سيطرة مهمة على التكاليف وضمنت لها إمدادات ثابتة من المواد الخام، مما عزز من مكانتها في سوق الليثيوم العالمية*. وقد بلغت سعة إنتاج بطاريات السيارات الكهربائية في الصين حتى الربع الثالث من عام 2023 نحو 98.7 جيجا واط ساعة، بينما كانت سعة الإنتاج في الولايات المتحدة 27.4 جيجا واط ساعة. يبين الشكل 31 سعة إنتاج البطاريات الكهربائية في الدول الخمس الأولى في هذا المجال في العالم، ويلاحظ منه أن سعة الإنتاج في الصين لوحدها تعادل نحو ضعفي سعة هذه الدول مجتمعة[138].

الشكل 31: الدول الخمس الأعلى من حيث سعة إنتاج بطاريات السيارات الكهربائية عام 2023



المصدر: Shahan، 2023

* لابد من الإشارة إلى أن هيمنة الصين على أسواق الليثيوم تثير مخاوف جيوسياسية، حيث تسعى الدول الأخرى إلى تنويع سلاسل التوريد الخاصة بها وتقليل الاعتماد على الصين.

تثير سيطرة الصين المتزايدة على سوق صناعة بطاريات السيارات الكهربائية العديد من المخاوف، ومن أهمها اعتماد الدول على الصين كمصدر رئيسي لبطاريات السيارات الكهربائية، مما يجعلها عرضة لتغيرات السوق الصينية أو قرارات الحكومة الصينية. وكون الصين هي اللاعب الأكبر في هذا المجال، فهو أمر يمنحها القدرة على التحكم بالأسعار. وبالطبع يبرز دعاة الدفاع عن البيئة ليؤكدوا أن تصنيع بطاريات السيارات الكهربائية في الصين يشكل مصدراً كبيراً للتلوث البيئي.

بينما تذهب بعض الدول إلى أن اعتمادها على الصين في مجال بطاريات السيارات الكهربائية يهدد أمنها القومي، خاصة الولايات المتحدة مع تزايد التوتر التجاري بينها وبين الصين، وقد أعلنت الحكومة الأمريكية في شهر ديسمبر 2023 عن لوائح جديدة تهدف إلى إبقاء البطاريات الصينية خارج السيارات المباعة في الولايات المتحدة، ويتم بموجب تلك اللوائح خفض الدعم للمركبات التي تحتوي على مكونات بطاريات صينية الصنع، أو التي تنتجها شركة لها علاقات قوية مع الحكومة الصينية، بحيث يتم إيقاف الائتمان الضريبي[139] للمركبات الكهربائية التي تحتوي على هذه المكونات اعتباراً من مطلع عام 2024. وهو أمر لم تظهر انعكاساته جلية بعد، وإن كانت الصورة العامة تظهر أن الإسراع في التحول الأمريكي بعيداً عن سلاسل التوريد الخارجية قد يقف حجر عثرة في وجه تحقيق هدفها المتمثل في أن تكون نصف السيارات الجديدة خالية من الانبعاثات بحلول عام 2030، أما التباطؤ في هذا التحول، فقد يعني تخلي الولايات المتحدة عن قدرتها التنافسية في سوق السيارات الكهربائية لعقود قادمة[140].

الفصل الرابع

تأثير السيارات الكهربائية على الطلب العالمي على النفط

يناقش هذا الفصل التأثير المحتمل على الطلب العالمي على النفط بسبب التحول من محركات الاحتراق الداخلي إلى السيارات الكهربائية، من خلال النقاط التالية:

1- الصورة العامة.

2- كيف سيتأثر الطلب العالمي على النفط.

3- مثال عن تغير الطلب على النفط في النرويج.

1-4 الصورة العامة

أصدر المنتدى الاقتصادي الدولي في عام 2023، تحليلاً نظر في مستقبل الطلب على النفط في ضوء انتشار السيارات الكهربائية، وجاء في التقرير أنه مع تحرك العالم نحو كهربة قطاع النقل، فسوف يتم استبدال الطلب على الكهرباء بالطلب على النفط. واعتمد التقرير على أن كل سيارة تقليدية في الولايات المتحدة الأمريكية تستهلك نحو 11 برميل مكافئ من النفط سنوياً، وبين أنه منذ عام 2015، كانت المركبات ذات العجلتين والثلاث عجلات، مسؤولة عن معظم النفط الذي تم توفيره من خلال استخدام المركبات الكهربائية على نطاق عالمي. ومع اعتمادها على نطاق واسع في آسيا على وجه التحديد، أزاحت هذه المركبات نحو 675 ألف ب/ي من الطلب على النفط في عام 2015، أما في عام 2021، فقد نما هذا الرقم إلى نحو 1 مليون ب/ي من الطلب[141].

من الواضح من خلال هذه الأرقام -بافتراض دقتها - أن التوسع في استخدام المركبات الكهربائية المشار إليها لمدة ست سنوات، ساهم في تخفيض الطلب بنحو 325 ألف ب/ي، أي ما يعادل 54 ألف ب/ي في كل سنة. وبالتالي فلو استمر التوسع في استخدامها بنفس الوتيرة، فإنها الحجم الإضافي من إزاحة الطلب الذي سينتج عن ذلك في عام 2030 مثلاً (أي خلال 9 سنوات من اليوم) لن يزيد (نظرياً) عن 487 ألف ب/ي، وبالتالي فإن مجمل إزاحة الطلب سابقاً ومستقبلاً سيكون أقل من 1.5 مليون ب/ي*.

في تقرير حديث أصدرته وكالة الطاقة الدولية[142] حول منظورها للسيارات الكهربائية في عام 2024، توقعت الوكالة أن الطلب على النفط سينخفض بمقدار 6 مليون ب/ي في عام 2030 نتيجة التوسع في استخدام السيارات الكهربائية، وسوف يصل الرقم إلى 10 مليون ب/ي في عام 2035. وذكر التقرير أن مبيعات السيارات الكهربائية يمكن أن تصل إلى 17 مليون سيارة في عام 2024. كما بين التقرير أن إجمالي مبيعات السيارات الكهربائية في العالم عام 2023، بلغ 13.9 مليون سيارة، مثلت مبيعات الصين منها 59%، ومبيعات أوروبا 23%، بينما مثلت المبيعات في الولايات المتحدة 11%، وكانت حصة باقي دول العالم مجتمعة 7%. وعند النظر في مبيعات السيارات الكهربائية في الربع الأول من عام 2024 (الجدول 15) يلاحظ أنها تراجعت عن مبيعات الربع الأخير في عام 2023، وذلك بنسبة 30% في الصين، و11% في أوروبا، بينما لم تتغير في الولايات المتحدة وباقي دول العالم.

* هذا لا ينفي أن الطلب قد يزداد لأسباب أخرى.

الجدول 15: مبيعات السيارات الكهربائية في عام 2023، وتوقعاتها في عام 2024

	Q1-2023	Q2-2023	Q3-2023	Q4-2023	المجموع	الحصة من الإجمالي 2023	Q1-2024
الصين	1.4	1.9	2.2	2.7	8.2	%59	1.9
أوروبا	0.7	0.8	0.8	0.9	3.2	%23	0.8
الولايات المتحدة	0.3	0.4	0.4	0.4	1.5	%11	0.4
باقي العالم	0.2	0.2	0.3	0.3	1	%7	0.3
	2.6	3.3	3.7	4.3	13.9		3.4

المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات استخلصت من مخططات وكالة الطاقة الدولية في Global EV Outlook، 2024.

هناك عملياً عدد من الأسباب المحتملة لتراجع في المبيعات بين الربع الرابع 2023 والربع الأول 2024، فربما يعود السبب في ذلك إلى أن الصين أوقفت الحوافز الحكومية الداعمة لشراء السيارات الكهربائية[143] والتي ألغي آخرها (إعفاء ضريبي بقيمة 10%) في نهاية عام 2023. كما أن المبيعات ترتفع عادة في أوروبا في مواسم الأعياد بين أكتوبر وديسمبر بينما تعود أنماط الشراء لطبيعتها في بداية العام.

وهناك أسباب أخرى محتملة، مثل اضطرابات سلسلة التوريد، لكن المتوقع أن نضوج السوق هو السبب الأساسي، فمن رغبوا في شراء سيارة كهربائية اشتروها بالفعل، ومع تراجع الحوافز والدعم الحكومي، وارتفاع أسعار الكهرباء نتيجة محاولة التوجه نحو مصادر الطاقة المتجددة، فإن الصورة العامة للسيارات الكهربائية قد اختلفت قليلاً في أوروبا وفي الولايات المتحدة كذلك.

علاوة على ذلك، لا يزال بعض المستهلكين يعبرون عن مخاوفهم بشأن مدى القيادة، والبنية التحتية للشحن، وربما كان الطقس البارد الذي شهدته أوروبا وأمريكا عموماً خلال شتاء عام 2023 قد ساهم في إثارة مخاوف المستهلكين، إذ زخرت وسائل الإعلام بالأخبار حول توقف السيارات الكهربائية خلال العواصف الثلجية. يضاف إلى ذلك عدم اليقين الاقتصادي، بما في ذلك التضخم وأسعار الفائدة المتغيرة، وهي عوامل ارتبطت بتغيرات مشهد سوق الطاقة في عام 2023.

يبين الجدول 16، نسب السيارات الجديدة المسجلة في دول أوروبا والمملكة المتحدة والاتحاد الأوروبي في عام 2023 حسب نوع الوقود، ويلاحظ منه أن من بين 31 دولة تضمنها الجدول، فإن 16 دولة بلغت نسبة عدد السيارات التقليدية المسجلة فيها 50% وأكثر، وكان أغلب الباقي من السيارات الهجينة، بينما احتلت السيارات الكهربائية فيها المركز الثالث. ويوضح الجدول كذلك أن نسبة السيارات الكهربائية المسجلة في 22 دولة كانت أقل من 20%، أما على مستوى الاتحاد الأوروبي، فبلغت نسبة السيارات الكهربائية المسجلة عام 2023 نحو 14.6%، مقابل 48.9% من السيارات التقليدية العاملة على البنزين والديزل.

الجدول 16: نسب السيارات الجديدة المسجلة في دول أوروبا والمملكة المتحدة في عام 2023 حسب نوع الوقود

الدولة	كهربائية	هجينة	تقليدية
النرويج	82.4	13.9	3.7
آيسلاندا	50.1	26.4	23.5
السويد	38.7	31.6	29.7
الدنمارك	36.3	27.5	36.2
فنلندا	33.8	46.7	19.5
هولندا	30.8	37.7	31.5
لوكسمبورغ	22.5	29	48.5
سويسرا	20.9	36.5	42.6
أستراليا	19.9	28.4	51.7
بلجيكا	19.6	30.5	49.9
إيرلندا	18.6	29	52.4
ألمانيا	18.4	30.1	51.5
برتغال	18.2	33.7	48.1
مالطا	17.3	34.9	47.8
فرنسا	16.8	37.3	45.9
رومانيا	10.6	42.8	46.6
لاتفيا	8.9	32.8	58.3
سلوفينا	8.9	13.2	77.9
ليتوانيا	7.5	42.7	49.8
إسبانيا	6.5	40.2	53.3
إستونيا	6.3	42.5	51.2
هنغاريا	5.4	47.5	47.1
قبرص	5.3	41.8	52.9
بلغاريا	4.8	2.9	92.3
اليونان	4.7	40.3	55
إيطاليا	4.2	49.7	46.1
بولندا	3.6	44.8	51.6
التشيك	3	22.4	74.6
كرواتيا	2.8	27.1	70.1
سلوفاكيا	2.7	32.9	64.4
المملكة المتحدة	31.6	23.9	44.5
الاتحاد الأوروبي	14.6	36.5	48.9

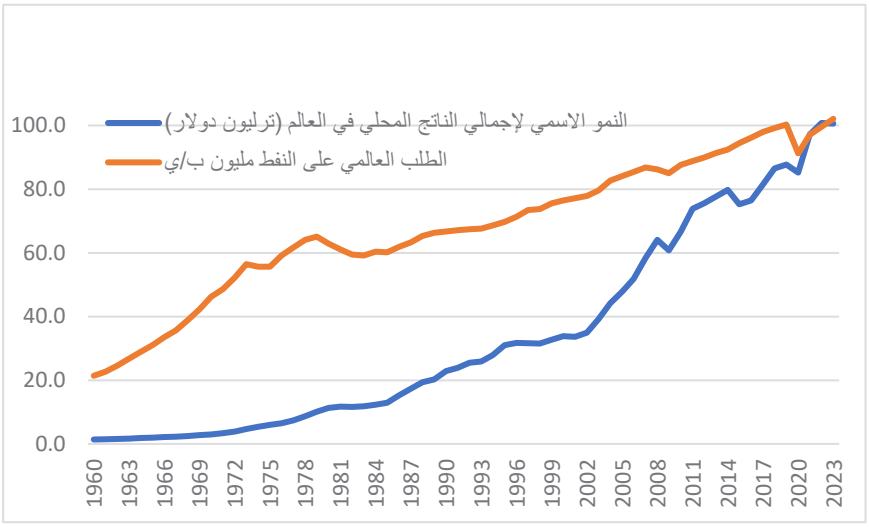
المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات جمعت من موقع " The European Automobile Manufacturers' Association، 2024 المذكور ضمن المراجع

2-4 كيف سيتأثر الطلب العالمي على النفط

يمثل استهلاك قطاع النقل نحو 30% من مجمل الطاقة* المستهلكة في العالم[144]، ومن المعلوم أن هناك فرقاً بين الاستهلاك وبين الطلب، فالطلب هو كل ما يتم شراؤه، بينما الاستهلاك هو ما يتم استخدامه فعلياً. هناك العديد من العوامل الديناميكية التي تتحكم باستهلاك النفط، مثل النمو السكاني والنمو الاقتصادي، والنقل وتوليد الطاقة وغيرها، ويضاف لها في حالة الطلب الكميات التي يتم تخزينها لأسباب تجارية أو استراتيجية، مثل الكميات التي تخزنها الولايات المتحدة أو الهند وغيرها.

يوضح الشكل 32 تغير الطلب على النفط في العالم بالعلاقة مع نمو الناتج المحلي الإجمالي للعالم GDP، وبطبيعة الحال فإن نمو الاقتصاد يرتبط بنمو الطلب على الطاقة/ النفط.

الشكل 32: الطلب على النفط بالعلاقة مع الناتج المحلي الإجمالي للعالم



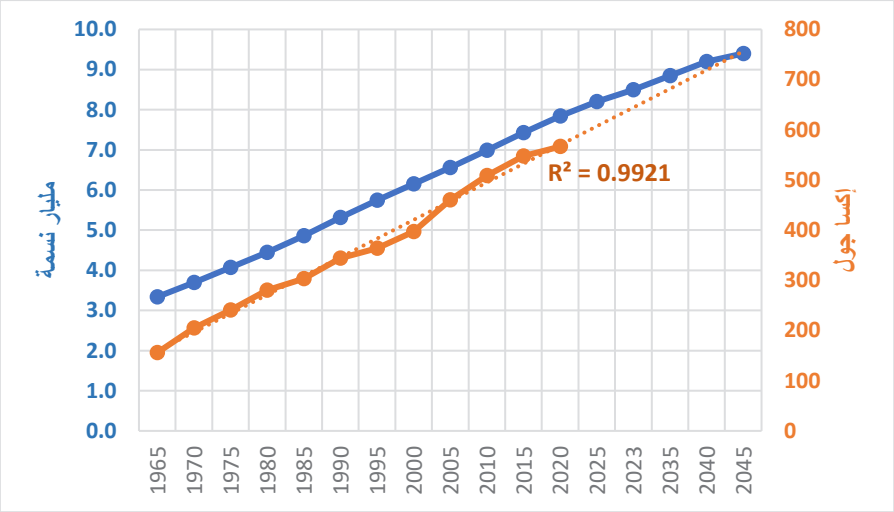
المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من: UN, World Population Prospects 2022. Energy Institute Statistical Review of World Energy, World Bank, OPEC, 2023

أما الشكل 33 فيبين دور النمو السكاني في زيادة الطلب على الطاقة، ويلاحظ منه أن نمو عدد السكان يتزامن مع نمو الطلب. ويوضح الشكل أنه اعتماداً على هذا العامل فقط، فإن العالم سوف يحتاج إلى نحو 750 إكساجول من الطاقة في عام 2045، أي ما يعادل 336 مليون برميل مكافئ نفط في اليوم، ومن المتوقع أن يمثل النفط 27% من مزيج الطاقة في عام 2045 على الأقل، وبالتالي فإن الاستهلاك المتوقع من النفط سيكون بحدود 91 مليون برميل من النفط يومياً، وهذا اعتماداً على عامل واحد هو عامل النمو السكاني، أما لو أخذت باقي العوامل بعين الاعتبار، مثل النمو الاقتصادي (وهو أهم عناصر نمو الطلب) وتغير السياسات وغيرها، فيمكن القول إن الطلب على النفط لن يقل عن 115 مليون برميل في

* يشمل تعبير الطاقة هنا كل مصادر الطاقة في العالم ولا يختص بالنفط فقط.

اليوم في عام 2045*.

الشكل 33: العلاقة بين النمو السكاني واستهلاك الطاقة



المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات من: UN, World Population Prospects 2022. Energy Institute Statistical Review of World Energy, World Bank, OPEC, 2023

في المجمل، يمثل الطلب على النفط في مجال النقل البري نحو 55% من إجمالي الطلب في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بالنسبة للدول في القارة الأمريكية، و47% بالنسبة للدول الأوربية، ونحو 40% من طلب الصين، وعلى مستوى العالم مثل الطلب على النفط حوالي 43- 46% من إجمالي الطلب العالمي خلال الفترة ما بين 2012- 2022[145]. بمعنى آخر، فإن 54- 57% من النفط في العالم لا يستخدم لأغراض النقل البري الذي تستهدف المركبات الكهربائية النمو فيه وخاصة ضمن مجال السيارات الشخصية. وبالتالي، لو تم الافتراض أن كل المركبات البرية في العالم تحولت لاستخدام الطاقة الكهربائية، فإن الطلب على النفط قد ينخفض في هذا المجال لكنه لن يتوقف في المجالات الأخرى. وهو ما أشار له معالي وزير الدولة لشؤون الطاقة في قطر، حيث أكد ضرورة صياغة رؤية واقعية وعلمية لانتقال عادل ومتوازن نحو طاقة منخفضة الكربون، بعيدًا عن الخطابات العاطفية غير الواقعية التي تسعى إلى إلغاء النفط والغاز بشكلٍ مُفاجئ.

لقد بلغت مبيعات الصين[146] 9.5 مليون سيارة كهربائية (وليس مركبة ثنائية أو ثلاثية العجلات) خلال عام 2023، وهذه المبيعات خفّضت الطلب على النفط بمقدار 270 ألف ب/ي فقط. وقد ورد سابقاً في الدراسة أنه بحسب قاعدة بيانات وكالة الطاقة الدولية، بلغت مبيعات السيارات الكهربائية

* هذه التوقعات تعبر عن رأي الباحث والتي قدرها اعتماداً على النمو السكاني وعلى النمو المتوقع في الناتج الإجمالي العالمي، وعلى نموذج نمو الطلب العالمي على النفط خلال الستين عاماً الماضية.

والهجينة وتلك العاملة على خلايا الوقود 13.8 مليون سيارة في عام 2023، وبحسب نفس قاعدة البيانات، فإن مجمل السيارات الكهربائية الموجودة في العالم (Stock) والبالغ عددها 28 مليون سيارة، ساهمت في خفض الطلب على النفط بمقدار 710 آلاف ب/ي. أي أن كل سيارة ساهمت وسطياً في خفض الطلب بمقدار 0.03 ب/ي، ويمكن بالتالي الافتراض بأنه حتى لو بلغ عدد السيارات المباعة 62 مليون سيارة في عام 2035، فهذا يعني تخفيضاً في الطلب بحدود 1.5 مليون ب/ي، لكن ذلك سيقابله نمو للطلب في مجالات أخرى خلال السنوات العشر ونيّف التي تفصلنا عن ذلك العام.

ويمكن إجمالاً التأكيد على أن الحديث عن تأثير ملحوظ للسيارات الكهربائية على الحد من الطلب العالمي على النفط، يفتقر إلى الدقة، فالبيانات المتاحة عن تأثير انتشار السيارات الكهربائية على الطلب العالمي، والتي غالباً ما تتبناها أو تقدرها وكالة الطاقة الدولية وغيرها، تتجاهل في العديد من الأحيان حقائق لابد من التنويه إليها والبحث في أرقامها بدقة للوصول إلى الصورة الأوضح.

3-4 نموذج النرويج

في معرض الحديث عن تأثير السيارات الكهربائية على الطلب العالمي على النفط، غالباً ما يشار للنرويج كنموذج متقدم في هذا المجال، فقد بلغت مبيعات السيارة الكهربائية فيها 95% من إجمالي المبيعات في عام 2023، وتحتسب وكالة الطاقة الدولية أنه تم التخلص من 10 براميل سنوياً من الوقود مقابل كل سيارة كهربائية الآن في النرويج، ولكن الواقع أن التخفيض يبلغ 6 براميل فقط وليس 10[147]، وبالتالي فهناك مبالغة في تقدير أثر السيارات الكهربائية في الطلب على النفط. علاوة على ذلك فإن أغلب الأسر في النرويج اقتنت السيارة الكهربائية كسيارة ثانية تستخدم للمسافات القصيرة، ومن ثم فإن مجرد شراء السيارة لا يعني توفيراً مباشراً أو إزاحة للطلب.

من ناحية أخرى، توفر عائدات صادرات النفط والغاز إمكانية تقديم دعم وحوافز حكومية للسيارات الكهربائية، فالنرويج التي يبلغ عدد سكانها 5.5 مليون نسمة فقط[148]، هي أكبر منتج للنفط والغاز في أوروبا، وقد بينت منظمة أوبك أن النرويج هي واحدة من بين أربع دول رئيسية يتوقع أن يساهم إنتاجها في زيادة الإمداد في عام 2024[149].

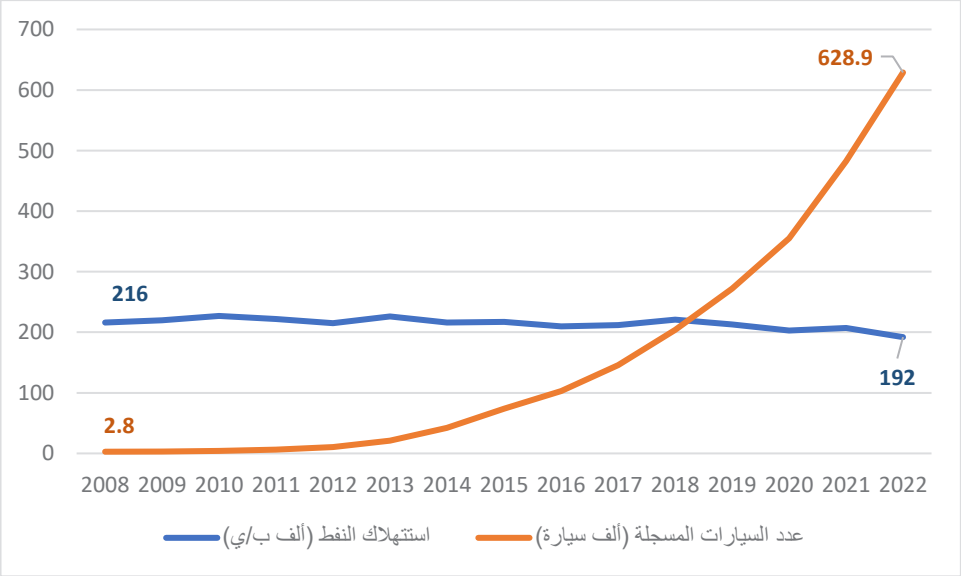
كذلك يوجد في النرويج عدد كبير من الأنهار ركبّت عليها أكثر من 1500 محطة توليد كهرباء، وهو ما يساعد النرويج على توليد 92% من طاقتها الكهربائية عبر استغلال موارد الطاقة المائية. لكنها رغم ذلك لا تزال بحاجة إلى النفط والغاز اللذان مثلا أكثر من 26% من مزيج الطاقة فيها عام 2022.

وقد أكد وزير البترول والطاقة النرويجي هذه النقطة بقوله: "إننا محاطون بمختلف الأنظمة المرتبطة

بالمنتجات البترولية، والتي ليس لها بديل، لذلك فإننا لا نزال بحاجة النفط للأغراض الصناعية حتى لو خفضنا من استخدام الوقود الأحفوري في قطاع النقل[150].

يبين الشكل 34 نمو العدد السنوي المسجل من السيارات الكهربائية في النرويج[151] بالعلاقة مع استهلاك النفط، ويلاحظ أن عدد هذه السيارات ارتفع بأكثر من 200 ضعف بين عامي 2008 و2022، بينما تراجع استهلاك النفط[152] بنسبة 11% فقط، وبالطبع فإن تراجع الاستهلاك ليس مرتبطاً بنمو عدد السيارات الكهربائية فقط، فالنرويج تبنت تغييراً في طبيعة اقتصادها وتحولت من مجال الصناعات الثقيلة المستهلكة للطاقة بكثافة كصناعة الألمنيوم مثلاً، إلى مجال الخدمات مثل التمويل وريادة الأعمال وغيرها.

الشكل 34: العلاقة بين عدد السيارات الكهربائية المسجلة سنوياً في النرويج، واستهلاك النفط



المصدر: إعداد الباحث، بناء على بيانات عدد السيارات الكهربائية المسجلة سنوياً في النرويج حسب قاعدة بيانات Statistics Norway الحكومية، وبيانات الاستهلاك السنوي من Energy Institute Statistical Review of World Energy، 2023

ولا بد من التأكيد على إن عدد السيارات المسجلة سنوياً ليس بالضرورة هو عدد السيارات المباعة، فهناك سيارات قديمة يتم تسجيلها، وبالتالي فإن نسبة المبيعات المرتفعة من السيارات الكهربائية في النرويج عام 2023 لا تعني بالضرورة أن عدد هذه السيارات بات أعلى من عدد السيارات العادية*.

كما لابد دوماً من التمييز بين السيارات وبين تعبير المركبات عموماً، فحتى نهاية عام 2022، كانت

* بلغت نسبة السيارات الكهربائية الجديدة المسجلة في النرويج 82.4% من إجمالي عدد السيارات المسجلة في عام 2023.

السيارات الكهربائية تشكل 20% من السيارات المسجلة في النرويج، بينما في عام 2023 بلغ إجمالي عدد المركبات الكهربائية المسجلة في النرويج 728,658 مركبة، تمثل 17% من إجمالي عدد المركبات المسجلة والبالغ 4,204,137 مركبة.

أما عدد السيارات الكهربائية الخاصة فبلغ 689,169 سيارة تمثل نحو 24% من إجمالي عدد السيارات الخاصة البالغ 2,876,692 سيارة[153]، وهو ما يوضحه الجدول 17.

الجدول 17: المركبات المسجلة في النرويج عام 2023 حسب الاستخدام والوقود

نوع المركبة/ نوع الوقود	سيارات خاصة	سيارات إسعاف	حافلات	فانات (vans)	مركبات صناعية وزراعية وجرارات	ناقلات خفيفة	موتوسيكلات	مركبات تسير على الثلج ومركبات أخرى
ديزل	1,065,135	1,056	12,152	459,458	239,573	63,175	4,397	3,801
بنزين	760,010	55	138	17,884	85,602	1,804	298,071	95,543
كهرباء	689,169	-	1,415	29,623	165	1,132	7,107	47
بنزين- هجينة	346,725	-	-	719	-	-	65	-
ديزل- هجينة	15,315	17	165	665	-	10	-	-
غاز	179	-	706	422	8	1,209	-	1
هيدروجين	142	-	-	1	-	4	-	-
وقود آخر	12	-	11	1,107	2	53	2	-
برافين	5	-	-	4	61	15	-	-
الإجمالي	2,876,692	1,128	14,587	09,883	325,411	67,402	309,642	99,392

المصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات رسمية مستخلصة من سجلات Norway Statistics، 2023

يلاحظ من الجدول أن السيارات الكهربائية الخاصة تحتل المرتبة الثالثة من إجمالي عدد السيارات المسجلة في النرويج عام 2023، بعد السيارات العاملة على الديزل والبنزين. كما يلاحظ منه عدم تسجيل أي سيارة إسعاف تعمل بالكهرباء*.

وقد أعلنت النرويج أنه بحلول عام 2025، يجب أن تكون جميع السيارات الجديدة المباعة في الدولة خالية من الانبعاثات (أي كهربائية بالكامل أو تعمل بخلايا الوقود). وتتضمن سياسة المركبات الكهربائية في النرويج احتساب ضريبة الشراء لجميع السيارات الجديدة ذات الانبعاثات من خلال مزيج من الوزن وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين. وهي ضريبة تصاعدية، مما يجعل السيارات

* كانت هناك محاولات متواضعة في مجال استخدام سيارات الإسعاف الكهربائية في النرويج، لكن لم يقدر لها الاستمرار.

الكبيرة ذات الانبعاثات العالية باهظة الثمن. وقد تم في السنوات الأخيرة تعديل ضريبة الشراء تدريجياً للتركيز بشكل أكبر على الانبعاثات وبشكل أقل على الوزن.

تمتعت المركبات الكهربائية في النرويج لفترة طويلة، بإعفاء من ضريبة القيمة المضافة VAT على السيارات الجديدة، وحوافز أخرى متنوعة. لكن الضغط لإقناع الأسر بشراء مركبات منخفضة أو صفرية الانبعاثات لم يكن مجانياً، فقد ساهمت سياسة دعم المركبات الكهربائية في انخفاض كبير في إيرادات الرسوم الجمركية المرتبطة بالسيارات. وقد وصل الإنفاق الضريبي المرتبط بالإعفاء من ضريبة القيمة المضافة إلى 11.3 مليار كرونة نرويجية (1.3 مليار دولار) في عام 2021. وقدرت قيمة الميزات الضريبية التي منحت للسيارات الكهربائية والهجينة في نفس العام بنحو 30 مليار كرونة نرويجية (3.5 مليار دولار) في عام 2021. وقد أدت تدابير سياسة الحوافز تلك إلى زيادة في شراء المركبات الكهربائية والهجينة، وتسبب ذلك في ارتفاع الازدحام في بعض المدن، مما دفع بعض البلديات إلى تشجيع السكان على العودة إلى وسائط النقل العام، بل عمدت بعض المدن إلى مبادرات تقديم النقل العام بشكل مجاني، مثل مدينة Stavanger، التي أعلنت في شهر ديسمبر من عام 2023 أن النقل العام بأنواعه (حافلات، قطارات، وعبارات نهرية) بات بالمجان للسكان، ورصدت لذلك نحو 18.5 مليون دولار يتوقع أن تغطي التكاليف في المرحلة التجريبية لعام كامل[154].

مثلت خسائر الإيرادات الضريبية في النرويج ما يقرب من ثلث إيرادات الضرائب البيئية. وترى منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD أن تلك السياسة أدت إلى تقويض القاعدة الضريبية في النرويج[155]. لذلك واعتباراً من 1 يناير 2022، بدأت الصورة في التغير[156]، إذ بات الإعفاء من ضريبة القيمة المضافة بنسبة 25% على شراء السيارات الكهربائية الجديدة، ينطبق فقط على أول 500 ألف كرونة نرويجية من السعر (52000 دولار تقريباً). واعتباراً من عام 2023، تم أيضاً فرض ضرائب قيمة مضافة على السيارات من هذه الفئة السعرية[157]، كما أعيد فرض ضرائب حسب وزن السيارات الكهربائية، وباتت السيارات الكهربائية منذ عام 2022 تدفع ضريبة الطرق التي كانت معفاة منها سابقاً. ومن التغيرات الأخرى أن السيارات الكهربائية كانت معفاة من رسوم استخدام العبّارات النهرية حتى عام 2017، ثم فرض عليها 50% من رسوم استخدام العبّارات، وارتفع الرقم إلى 70% منذ مطلع عام 2023.

يلاحظ مما سبق أن النموذج النرويجي له خصوصية من مختلف النواحي، وأهمها توفر الكهرباء المولدة من السدود، وعدد السكان الصغير حيث لا تتعدى الكثافة السكانية 15 نسمة/كم مربع، كما يلاحظ منه أن الحوافز والدعم الحكومي بدأت في التراجع مع تشبع السوق بالسيارات الكهربائية.

الخلاصة والاستنتاجات

1- يمثل النقل عصب الحياة المدنية التي يعيشها الإنسان اليوم حيث يربط الناس والأماكن، ويساهم في تعزيز التجارة والاقتصاد، وتوفير فرص العمل وتحسين نوعية الحياة من خلال الوصول إلى الخدمات الأساسية والفرص التعليمية والثقافية، ويعمل على دعم التنمية بكافة أنواعها. وتعتبر السيارات الخاصة من بين أهم وسائل النقل في المجالات المذكورة.

2- لا تطلق السيارات الكهربائية انبعاثات العادم، فهي مناسبة للحد من التلوث الجوي ضمن المدن وخاصة المزدحمة منها. كما أنها تتميز بصوت منخفض فهي تساهم في الحد من الضوضاء. وتتمتع بنفقات تشغيل أقل من نظيرتها العاملة على الوقود التقليدي خاصة عندما تكون أسعار الكهرباء مدعومة من قبل الدولة. إنما وفي الصورة العامة، فإن مصدر توليد الكهرباء يلعب دوراً أساسياً في موضوع التلوث البيئي، فإنتاج الكهرباء من مصادر الوقود الأحفوري ثم استخدامها في السيارة الكهربائية لا يحقق فعلياً الهدف المرجو منها على المستوى العالمي، إلا إذا تم اصطياد الانبعاثات الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري خلال عملية توليد الكهرباء.

3- إن تعبير (غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن النقل) يمكن أن يكون غير دقيق عند استخدامه بشكل مباشر للحديث عن السيارات. فالنقل قد يكون جوياً وبحرياً وبرياً، كما أن تعبير المركبات لا يشير إلى السيارات فقط، فهناك المعدات الزراعية والصناعية وتلك المستخدمة في مجال البناء وفي أعمال التنقيب في المناجم وغيرها. ورغم التزايد الكبير في عدد السيارات المباعة منذ خمسين عاماً وحتى اليوم، إلا أن البيانات المتاحة تشير إلى أن نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من قطاع النقل بأنواعه (جوي، بحري، بري) تراوحت بين 17.7- 20.7% بين عامي 1970- 2022، أي أنها زادت بمعدل 3% فقط خلال تلك الفترة، مما يدفع للتساؤل حول التأثير المرجو من السيارات الكهربائية في مجال الحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، خاصة وأن انبعاثات قطاع السيارات الخاصة تمثل نحو 7% فقط من مجمل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في العالم.

4- لا تزال هناك الكثير من العوائق أمام التحول الكامل نحو المركبات/ السيارات الكهربائية، منها عوائق تتعلق بالعناصر النادرة اللازمة لإنتاج البطاريات، ومنها عوائق تتعلق بالبنية التحتية مثل انتشار محطات الشحن وزمن الشحن، ومنها ما يتعلق بالأسعار المرتفعة لهذه السيارات والكلفة العالية لصيانتها والتأمين عليها، وبالطبع مدى القيادة وارتباطه بحجم البطارية والوضع المناخي في كل دولة. كما تمثل هذه العوائق تحديات أمام بعض صانعي السيارات الكهربائية التي تتعرض لخسائر كبيرة أحياناً.

5- من النقاط الأساسية التي لابد من بحثها في مجال التحول إلى السيارات الكهربائية، نقطة الضغط

على شبكة الكهرباء والتي تمثل تحدياً لا يستهان به، فالطلب على الكهرباء سوف يزداد بالتناسب مع ازدياد هذه السيارات، مما يعني أهمية وجود بنية تحتية قادرة على نقل الكميات اللازمة من الكهرباء. ويعتبر مصدر توليد الكهرباء من بين أهم النقاط التي يجب دراستها في مجال وضع سياسة عامة لتبني انتشار السيارة الكهربائية، وإذ يبدو حتى اليوم أن مصادر الطاقة المتجددة لا تساهم في مزيج الطاقة بما يكفي لتأمين الطلب اللازم، فهذا يعني أن الوقود الأحفوري سيحمل عبء توليد الطاقة، وهذا -من ضمن نقاط أخرى - يعني أن الطلب العالمي على النفط لن يتأثر بشكل ملحوظ بارتفاع مبيعات السيارات الكهربائية، على الأقل على المدى القصير والمتوسط.

6- على الرغم من كل التحديات الحالية، فإن العديد من الدول العربية تدعم فكرة نشر السيارات الكهربائية، وتقود هذا الركب بهدف الانخراط في التوجه العالمي نحو النقل المستدام وخفض الانبعاثات. وهو ما يمكن -من ناحية أخرى- أن يساهم في خفض كميات النفط المستخدم في السيارات العادية، وتوفير هذه الكميات المخفضة للاستفادة منها في التصدير أو الصناعات الأخرى.

يبين الجدول التالي مقارنة عامة بين المركبات الكهربائية والمركبات التقليدية

الخاصية	المركبات الكهربائية	المركبات التقليدية
مصدر الطاقة	محرك كهربائي يعمل ببطارية قابلة لإعادة الشحن	محرك احتراق داخلي يعمل بالبنزين أو الديزل أو غيرهما
الانبعاثات	لا يوجد انبعاثات من العوادم، تعتمد الانبعاثات على مصدر الكهرباء المستخدم للشحن وعلى سلسلة التوريد	توجد انبعاثات من العوادم (ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين) ونواتج الأخرى
تكلفة التشغيل	تختلف حسب حوافز دعم أسعار الكهرباء	أعلى بشكل عام بسبب تكاليف الوقود والصيانة الدورية
السعر وكلفة التأمين	مرتفع مقارنة بالمركبات التقليدية	أقل من المركبات الكهربائية
مدى القيادة	مدى أقصر بشحنة واحدة، لكنه يتحسن مع تقدم التكنولوجيا	عادةً مدى أطول بخزان وقود واحد
وقت إعادة التزود بالوقود	ساعات طويلة للشحن من المستوى 2، وزمن أقصر بكثير في حالة الشحن السريع DC، لكنه متوفر بشكل محدود	دقائق لملء خزان الوقود
الصيانة	صيانة أقل بسبب وجود عدد أقل من الأجزاء المتحركة، قد يلزم استبدال البطارية في النهاية	يحتاج إلى تغيير الزيت بانتظام واستبدال شمعات الإشعال وصيانة أخرى
كلفة الصيانة	عالية لأنها غالباً تتم في الوكالة فقط	أقل، بسبب تتوفر ورشات الصيانة
الأداء	يمكن أن يوفر تسارعاً جيداً، ولكن بعض الطرازات قد يكون لها قدرة سحب أقل	يمكن أن يوفر تسارعاً قوياً وقدرة سحب عالية
مستوى الضوضاء	منخفض	ضوضاء محرك أعلى
الحوافز الحكومية	قد تكون مؤهلة للحصول على إعفاءات ضريبية أو خصومات أو حوافز أخرى	حوافز محدودة في معظم المناطق
تأثير الطقس	يمكن للطقس البارد أن يقلل من مدى السيارة الكهربائية، ويمكن للطقس الحار أن يؤثر على المدى وعلى عمر البطارية	لا تتأثر بالطقس
قيمة إعادة البيع	تختلف حسب الطراز والسوق	تختلف حسب الطراز والسوق
توفر البنية التحتية	شبكة متنامية لمحطات الشحن، ولكنها ليست منتشرة بعد مثل محطات الوقود	توفر واسع لمحطات الوقود

جدول المصطلحات

المعنى العربي	المصطلح الإنكليزي
جمعية السيارات الأمريكية	American Automobile Association
التيار المتناوب (المتردد)	Alternate Current AC
فعالية الشحن- النسبة المئوية للشحنة الكهربائية المستردة (عند التفريغ) مقسومة على الشحنة التي تم تخزينها في البطارية (عند الشحن)	Amphour (ampere-hour)
مصعد- أنود- قطب موجب	Anode
الأنظمة المساعدة	Auxiliary systems
مهبط- كاثود- قطب سالب	Cathode
مكتب ميزانية الكونغرس الأمريكي	CBO- Congressional Budget Office
الشاحن	Charger
مراقبة الطقس- منصة رقمية صممت لتوفير البيانات المناخية المفتوحة والتصورات والموارد حول التقدم الوطني والعالمي بشأن تغير المناخ	Climate Watch
متاح- متوفر على نطاق تجاري	Commercially available
دارة التحكم	Controller
محور المحرك الذي يحول حركة الضواغط إلى حركة دورانية	Crank
الدورة العميقة	Deep Cycle
التروس التفاضلية (متصلة بالعجلات)	Differential Gears
التيار المستمر	Direct Current DC
عمق تفريغ البطارية	DoD- Depth of Discharge
المفوضية الأوربية حول أبحاث الانبعاثات العالمية في الغلاف الجوي.	EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research
وكالة البيئة الأوروبية	EEA- European Environmental Agency
خلية كهربائية	Electric Cell
الدارة الكهربائية	Electric Circuit
الطاقة	Energy
كثافة الطاقة كمية الطاقة المخزنة في واحدة الحجم (واط ساعة/ م^3)	Energy Density
إطار الموازنة- الحذافة- الخذروف	Flywheel
خلية الوقود	Fuel Cell
علبة السرعة	Gear box
السيارة الهجينة- محرك كهربائي ومحرك عادي	Hybrid
شدة التيار (أمبير)	Intensity (Ampere)
المقاومة الداخلية	Internal resistance
إنترنت الأشياء- مفهوم لشبكة الإنترنت يعني أن تمتلك كل الأشياء في حياتنا قابلية الاتصال بالإنترنت أو ببعضها البعض لإرسال واستقبال البيانات لأداء وظائف محددة من خلال الشبكة.	IoT- internet of Things

المعنى العربي	المصطلح الإنكليزي
عمر البطارية	Lifespan
وحدة مجمعة من عدة عناصر	Module
ناسا- الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء- يشار لها غالباً بوكالة الفضاء الأمريكية	NASA- National Aeronautics and Space Administration
الجهد الاسمي للخلية الواحدة	Nominal cell voltage
عدد دورات الشحن	Number of life cycles
مجال العمل الحراري°	Operating temperature
الطاقة الكهرضوئية	Photo Voltaic
القابس هو الجزء المرتبط بالكبل الكهربائي ويتم وصله إلى المقبس الموجود في الجدار لتشغيل جهاز ما.	Plug and Socket
المشع، مبرّد السيارة	Radiator
زمن الشحن	Recharge time
القسم المتحرك من المحرك الكهربائي	Rotor
التفريغ الذاتي	Self-discharge
الطاقة النوعية	Specific energy
الطاقة النوعية كمية الطاقة المخزنة في واحدة الوزن (واط ساعة/كغ)	Specific Energy
القدرة النوعية	Specific power
القدرة النوعية- كمية القدرة - واط/ كغ	Specific power
بادئ التشغيل في السيارة (المرش)	Starter
القسم الثابت من المحرك الكهربائي	Stator
المكثفات الفائقة- سعته تخزين عالية لكن قيم جهده الكهربائي منخفضة	Supercapacitor
معامل درجة الحرارة- مقدار انخفاض الطاقة الكهربائية مقابل ارتفاع درجة الحرارة. عادة: (-0.35%) لكل درجة فوق 25° مئوية.	Temperature coefficient
الجهد (فولت)	Voltage (Volt)
البنك الدولي	WB- World Bank
معهد الموارد العالمية- منظمة غير ربحية أسست عام 1982	WRI- World Resources Institute

ملحق 1: المواصفات الفنية لمقابس السيارات الكهربائية.

نوع القابس	J 1772 SAE (النوع 1)
نوع تيار الخرج	متناوب
تيار الدخل (فولت)	120 أو 240/208 (أحادي الطور فقط)
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	16 (120 فولت) - 80 (240/208 فولت)
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	1.92 (120 فولت) - 19.2 (240/208 فولت)
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	
مستوى الشاحن	1 و2
الدول الأكثر استخداما للقابس	الولايات المتحدة- كندا- اليابان

نوع القابس	Mennekes (النوع 2)
نوع تيار الخرج	متناوب
تيار الدخل (فولت)	230 فولت (أحادي الطور) - 400 فولت (ثلاثي الطور)
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	32 (230 فولت) - 32 (400 فولت)
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	7.6 (230 فولت) - 22 (400 فولت)
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	
مستوى الشاحن	2
الدول الأكثر استخداما للقابس	أوروبا- المملكة المتحدة- الشرق الأوسط- أفريقيا- أستراليا

نوع القابس	CCS 1
نوع تيار الخرج	مستمر
تيار الدخل (فولت)	480 (ثلاثي الطور)
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	500
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	360
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	1000
مستوى الشاحن	3- شحن سريع
الدول الأكثر استخداما للقابس	الولايات المتحدة- كندا- كوريا الجنوبية

نوع القابس	CCS 2
نوع تيار الخرج	مستمر
تيار الدخل (فولت)	480 (ثلاثي الطور)
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	500
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	360
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	1000
مستوى الشاحن	3- شحن سريع
الدول الأكثر استخداما للقابس	أوروبا- المملكة المتحدة- الشرق الأوسط- أفريقيا- أستراليا

نوع القابس	CHAdeMO
نوع تيار الخرج	مستمر
تيار الدخل (فولت)	400 (ثلاثي الطور)
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	400
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	400
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	500
مستوى الشاحن	3- شحن سريع
الدول الأكثر استخداما للقابس	اليابان- الطرازات القديمة من السيارات الكهربائية

نوع القابس	GB/T (AC)
نوع تيار الخرج	متناوب
تيار الدخل (فولت)	250 (ثلاثي الطور)
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	32
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	7.4
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	
مستوى الشاحن	2
الدول الأكثر استخداما للقابس	الصين*

* يوجد في الصين نوعان من القوابس كلاهما يسميان GB/T، أحدهما للتيار المستمر والثاني للتيار المتناوب.

نوع القابس	GB/T (DC)
نوع تيار الخرج	مستمر
تيار الدخل (فولت)	440
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	250
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	373.5
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	1000
مستوى الشاحن	3- شحن سريع
الدول الأكثر استخداما للقابس	الصين

نوع القابس*	Tesla NACS
نوع تيار الخرج	متناوب/مستمر
تيار الدخل (فولت)	أحادي أو ثلاثي الطور
الحمل الأعظمي لتيار الخرج (أمبير)	48 (تيار مستمر)
الحمل الأعظمي لطاقة الخرج (ك و)	250
الحمل الأعظمي للجهد (فولت)- تيار مستمر	
مستوى الشاحن	2-3
الدول الأكثر استخداما للقابس	الولايات المتحدة- كندا

* يمكن شحن Tesla بموصلات مختلفة خارج أمريكا الشمالية. كما هو الحال في أوروبا ومعظم أنحاء العالم، وتستخدم Telsa 3 وY موصل CCSمن النوع الثاني. ومع ذلك، يستخدم الطرازان S وX قابسًا ومقبسًا معدلين من النوع 2 مع شقوق في الجزء العلوي والوسط من المسامير لمنع الإدخال في مقابس غير تابعة لشركة Tesla.

ملحق 2: مدى القيادة النظري لكل 1 كيلو واط من الطاقة لعدد من السيارات الكهربائية

نوع السيارة/ الطراز	وسطي سعر السيارة دولار (حتى مارس 2024)	سعة البطارية كيلو واط	مدى القيادة كم/1 كيلو واط	مدى القيادة النظري كم
Abarth 500e Convertible	46,866	37.8	6.0	225
Abarth 500e Hatchback	43,086	37.8	6.0	225
Audi Q4 e-tron 45	63,939	77	5.4	419
Audi Q4 e-tron 45 quattro	65,741	77	5.1	395
Audi Q4 e-tron 55 quattro	71,978	77	5.1	395
Audi Q4 Sportback e-tron 45	65,829	77	5.6	435
Audi Q4 Sportback e-tron 45 quattro	67,631	77	5.3	410
Audi Q4 Sportback e-tron 55 quattro	73,868	77	5.3	410
Audi Q6 e-tron quattro	86,909	94.9	4.8	459
Audi Q8 e-tron 50 quattro	85,428	89	4.7	419
Audi Q8 e-tron 55 quattro	98,028	106	4.8	506
Audi Q8 e-tron Sportback 50 quattro	88,578	89	5.0	442
Audi Q8 e-tron Sportback 55 quattro	101,178	106	4.9	523
Audi SQ6 e-tron	117,117	94.9	4.7	443
Audi SQ8 e-tron	122,850	106	4.3	459
Audi SQ8 e-tron Sportback	126,000	106	4.6	483
BMW i4 eDrive35	62,994	67	6.4	426
BMW i4 eDrive40	72,941	80.7	6.4	516
BMW i4 M50	89,567	80.7	5.6	451
BMW i5 eDrive40 Saloon	93,372	81.2	5.8	467
BMW i5 eDrive40 Touring	88,131	81.2	5.6	459
BMW i5 M60 xDrive Saloon	123,159	81.2	5.2	419
BMW i5 M60 xDrive Touring	125,994	81.2	5.2	419
BMW i7 eDrive50	126,258	101.7	5.1	523
BMW i7 M70 xDrive	205,777	101.7	4.8	492
BMW i7 xDrive60	143,602	101.7	5.0	507
BMW iX M60	154,697	105.2	4.6	483
BMW iX xDrive 40	88,080	71	5.0	354
BMW iX xDrive 50	129,471	105.2	4.8	507
BMW iX1 eDrive20	57,286	64.7	6.0	386
BMW iX1 xDrive30	59,806	64.7	5.9	379
BMW iX2 eDrive20	65,035	64.7	6.1	395
BMW iX2 xDrive30	72,381	64.7	5.9	379
BMW iX3	80,848	74	5.2	387
BYD ATTO 3	46,866	60.5	5.5	330
BYD DOLPHIN 44.9 kWh Active	32,760	44.9	5.7	257
BYD DOLPHIN 44.9 kWh Boost	35,910	44.9	5.6	249
BYD DOLPHIN 60.4 kWh	38,046	60.5	5.6	338

نوع السيارة/ الطراز	وسطي سعر السيارة دولار (حتى مارس 2024)	سعة البطارية كيلو واط	مدى القيادة كم/1 كيلو واط	مدى القيادة النظري كم
BYD SEAL 82.5 kWh AWD Excellence	61,356	82.5	5.9	483
BYD SEAL 82.5 kWh RWD Design	57,576	82.5	6.1	499
Citroen e-Berlingo M 50 kWh	39,047	50	4.7	233
Citroen e-Berlingo XL 50 kWh	40,181	50	4.7	233
Citroen e-C3	26,460	44	6.0	265
Citroen e-C4	40,314	46.3	6.3	290
Citroen e-C4 X	40,314	46.3	6.1	281
CUPRA Born 58 kWh	45,959	58	6.0	346
CUPRA Born 58 kWh e-Boost	49,398	58	6.0	346
CUPRA Born 77 kWh e-Boost	52,889	77	5.9	451
CUPRA Born VZ	59,220	79	5.8	459
CUPRA Tavascan Endurance	63,000	77	5.9	451
CUPRA Tavascan VZ	69,300	77	5.5	426
Dacia Spring Electric 45	18,894	25	6.4	161
Dacia Spring Electric 65	20,154	25	6.4	161
DS 3 E-Tense	46,872	50.8	5.9	297
Fiat 500e Cabrio	43,086	37.3	6.1	226
Fiat 500e Hatchback 24 kWh	35,526	21.3	6.4	137
Fiat 500e Hatchback 42 kWh	39,306	37.3	6.3	234
Fiat 600e	41,574	50.8	6.0	306
Fisker Ocean Extreme	72,954	106.5	4.9	523
Fisker Ocean Sport	46,494	71	5.1	362
Fisker Ocean Ultra	64,134	106.5	5.0	531
Ford Mustang Mach-E GT	93,920	91	4.7	427
Ford Mustang Mach-E Premium AWD	82,410	91	4.9	443
Ford Mustang Mach-E Premium RWD	75,386	91	5.3	484
Ford Mustang Mach-E Select SR RWD	64,046	72.6	5.2	378
Genesis G80 Electrified Luxury	87,954	82.5	5.4	443
Genesis GV60 Premium	67,920	74	5.2	387
Genesis GV60 Sport	73,540	74	5.1	378
Genesis GV60 Sport Plus	85,056	74	4.9	362
Genesis GV70 Electrified Sport	82,032	74	4.7	346
GWM ORA 03 Pro+	44,094	59.3	5.7	339
GWM ORA 03 Pure+	40,314	45.4	5.7	257
Honda e:Ny1	56,694	61.9	5.5	338
Hyundai IONIQ 5 Long Range 2WD	59,151	74	5.2	387
Hyundai IONIQ 5 Long Range AWD	63,561	74	5.1	378
Hyundai IONIQ 5 N	81,900	80	4.8	387
Hyundai IONIQ 5 Standard Range 2WD	54,741	54	5.5	298
Hyundai IONIQ 6 Long Range 2WD	59,270	74	6.6	490
Hyundai IONIQ 6 Long Range AWD	63,680	74	6.0	443
Hyundai Kona Electric 48 kWh	44,094	48.4	6.0	290
Hyundai Kona Electric 65 kWh	48,630	65.4	5.9	386

نوع السيارة/ الطراز	وسطي سعر السيارة دولار (حتى مارس 2024)	سعة البطارية كيلو واط	مدى القيادة كم/1 كيلو واط	مدى القيادة النظري كم
Jaguar I-Pace EV400	88,194	84.7	4.5	379
Jeep Avenger Electric	44,982	50.8	6.0	306
Kia EV6 GT	78,933	74	4.8	355
Kia EV6 Long Range 2WD	57,009	74	5.6	411
Kia EV6 Long Range AWD	65,199	74	5.4	403
Kia EV9 99.8 kWh AWD GT-Line	92,289	96	4.4	427
Kia EV9 99.8 kWh RWD	81,894	96	4.7	451
Kia Niro EV	46,992	64.8	6.0	386
Kia Soul EV 39.2 kWh	41,423	39.2	5.8	225
Kia Soul EV 64 kWh	49,235	64	5.7	363
Lexus RZ 450e	81,270	64	5.0	322
Lexus UX 300e	59,844	64	5.3	338
Lotus Eletre	114,414	109	4.5	492
Lotus Eletre R	152,844	109	4.1	451
Lotus Eletre S	133,314	109	4.4	483
Lotus Emeya	121,281	100	5.2	523
Lotus Emeya R	165,381	100	4.7	467
Lotus Emeya S	137,031	100	5.2	523
Maserati GranTurismo Folgore	226,737	83	5.0	419
Maserati Grecale Folgore	138,480	95	4.2	403
Maxus MIFA 9	82,265	84	4.3	363
Mazda MX-30	39,375	30	5.6	169
Mercedes-Benz EQA 250+	62,685	70.5	6.1	427
Mercedes-Benz EQA 350 4MATIC	68,683	66.5	5.3	355
Mercedes-Benz EQB 250+	66,528	70.5	5.9	419
Mercedes-Benz EQB 350 4MATIC	71,581	66.5	5.2	346
Mercedes-Benz EQE 300	86,701	89	5.9	523
Mercedes-Benz EQE 350	97,455	89	5.8	515
Mercedes-Benz EQE AMG 53 4MATIC+	144,585	90.6	5.0	450
Mercedes-Benz EQS SUV 450 4MATIC	163,132	118	4.4	523
Mercedes-Benz EQS SUV 580 4MATIC	175,732	118	4.4	523
Mercedes-Benz EQS SUV Maybach 680	252,000	118	4.2	491
MG MG4 EV Extended Range	45,984	74.4	5.7	426
MG MG4 EV Long Range	37,164	61.7	5.9	363
MG MG4 EV Standard Range	34,014	50.8	5.9	297
MG MG4 EV XPOWER	45,984	61.7	5.2	321
MG MG5 EV Long Range	39,054	57.4	5.8	330
MG ZS EV Long Range	41,574	68.3	5.4	370
MG ZS EV Standard Range	38,424	49	5.4	266
Mini Cooper Electric E	37,800	37	6.3	234
Mini Cooper Electric SE	43,470	49	6.2	306
Mini Countryman E	53,021	64.7	5.9	379
Mini Countryman SE ALL4	59,447	64.7	5.7	371

نوع السيارة/ الطراز	وسطي سعر السيارة دولار (حتى مارس 2024)	سعة البطارية كيلو واط	مدى القيادة كم/1 كيلو واط	مدى القيادة النظري كم
Nissan Ariya 63kWh	49,953	63	5.2	330
Nissan Ariya 87kWh	56,253	87	5.2	450
Nissan Ariya e-4ORCE 87kWh	64,065	87	4.6	403
Nissan Leaf	36,534	39	6.0	233
Peugeot e-2008 54 kWh	45,801	50.8	5.9	297
Peugeot e-208 50 kWh	41,139	46.3	6.3	290
Peugeot e-208 51 kWh	40,824	48.1	6.4	306
Peugeot e-3008 73 kWh	57,771	73	5.3	387
Peugeot e-3008 73 kWh Dual Motor	60,480	73	5.2	378
Peugeot e-3008 98 kWh Long Range	65,520	98	5.2	507
Peugeot e-308	52,952	50.8	5.9	297
Peugeot e-308 SW	51,975	50.8	5.9	297
Peugeot e-5008 73 kWh	60,480	73	5.1	371
Peugeot e-5008 73 kWh Dual Motor	64,260	73	5.0	363
Peugeot e-5008 98 kWh Long Range	69,300	98	5.0	492
Polestar 2 Long Range Dual Motor	66,717	79	5.7	451
Polestar 2 Long Range Performance	73,017	79	5.7	451
Polestar 2 Long Range Single Motor	61,677	79	5.9	468
Polestar 2 Standard Range Single Motor	56,637	67	6.0	403
Polestar 3 Long Range Dual motor	95,634	107	4.6	491
Polestar 3 Long Range Performance	102,690	107	4.4	467
Polestar 4 Long Range Dual Motor	84,407	94	4.9	459
Polestar 4 Long Range Single Motor	75,587	94	5.2	491
Porsche Macan 4 Electric	87,948	95	5.1	482
Porsche Macan Turbo Electric	119,700	95	5.0	475
Porsche Taycan	108,990	82.3	5.9	484
Porsche Taycan 4 Cross Turismo	121,968	97	5.2	507
Porsche Taycan 4S	120,834	82.3	5.8	475
Porsche Taycan 4S Cross Turismo	126,504	97	5.2	507
Porsche Taycan 4S Plus	126,247	97	5.6	548
Porsche Taycan 4S Plus Sport Turismo	127,255	97	5.1	499
Porsche Taycan 4S Sport Turismo	121,842	82.3	5.2	426
Porsche Taycan Plus	114,602	97	5.8	564
Porsche Taycan Plus Sport Turismo	115,610	97	5.3	515
Porsche Taycan Sport Turismo	109,998	82.3	5.4	443
Porsche Taycan Turbo	168,966	97	5.3	515
Porsche Taycan Turbo Cross Turismo	170,352	97	5.1	491
Porsche Taycan Turbo GT	234,738	97	4.9	475
Porsche Taycan Turbo GT Weissach	234,738	97	4.9	475
Porsche Taycan Turbo S	203,364	97	5.1	499
Porsche Taycan Turbo S Cross Turismo	204,750	97	4.9	475
Porsche Taycan Turbo S Sport Turismo	204,246	97	4.7	459
Porsche Taycan Turbo Sport Turismo	169,848	97	4.8	468

نوع السيارة/ الطراز	وسطي سعر السيارة دولار (حتى مارس 2024)	سعة البطارية كيلو واط	مدى القيادة كم/1 كيلو واط	مدى القيادة النظري كم
Renault 5 E-Tech 40kWh 120hp	30,240	40	6.4	258
Renault 5 E-Tech 40kWh 95hp	27,720	40	6.4	258
Renault 5 E-Tech 52kWh 150hp	35,280	52	6.3	330
Renault Megane E-Tech EV60 220hp	46,614	60	6.3	379
Renault Scenic E-Tech 220hp Long Range	51,654	87	5.6	491
Renault Zoe ZE50 R135	37,794	52	5.9	306
Rolls-Royce Spectre	415,800	102	4.6	467
Skoda Enyaq 60	49,102	58	5.8	338
Skoda Enyaq 85	56,120	77	5.9	451
Skoda Enyaq 85x	61,242	77	5.6	435
Skoda Enyaq Coupe 85	58,514	77	6.3	482
Skoda Enyaq Coupe 85x	63,384	77	6.1	466
Skoda Enyaq Coupe vRS	69,073	77	5.9	451
Skoda Enyaq vRS	66,931	77	5.6	435
Smart #1 Brabus	54,747	62	5.2	322
Smart #1 Premium	49,077	62	5.3	331
Smart #1 Pro	40,257	47	5.3	250
Smart #1 Pro+	45,297	62	5.3	331
Smart #3 Brabus	56,700	62	5.3	331
Smart #3 Premium	50,400	62	5.7	354
Smart #3 Pro	44,100	47	5.6	266
Smart #3 Pro+	46,620	62	5.7	354
Subaru Solterra AWD	62,994	64	5.0	322
Tesla Model 3	50,387	57.5	7.3	419
Tesla Model 3 Long Range Dual Motor	62,987	75	6.7	499
Tesla Model S Dual Motor	107,100	95	6.0	571
Tesla Model S Plaid	126,000	95	5.9	556
Tesla Model X Dual Motor	132,300	95	5.0	475
Tesla Model X Plaid	151,200	95	4.7	451
Tesla Model Y	56,687	57.5	6.0	347
Tesla Model Y	56,687	57.5	6.0	347
Tesla Model Y Long Range Dual Motor	66,767	75	5.8	434
Tesla Model Y Long Range Performance	75,587	75	5.6	419
Toyota bZ4X AWD	66,163	64	4.9	314
Toyota bZ4X FWD	58,099	64	5.3	338
Vauxhall Astra Electric	47,622	50.8	6.2	313
Vauxhall Astra Sports Tourer Electric	50,394	50.8	6.0	306
Vauxhall Corsa Electric 50 kWh	40,881	46.3	6.3	290
Vauxhall Corsa Electric 51 kWh	44,699	48.1	6.5	314
Vauxhall Mokka-e	46,129	46.3	5.6	258
Vauxhall Mokka-e 54 kWh	46,948	50.8	5.7	290
Volkswagen ID. Buzz GTX	88,200	79	4.2	330
Volkswagen ID. Buzz LWB GTX	91,980	86	4.1	354

نوع السيارة/ الطراز	وسطي سعر السيارة دولار (حتى مارس 2024)	سعة البطارية كيلو واط	مدى القيادة كم/1 كيلو واط	مدى القيادة النظري كم
Volkswagen ID. Buzz LWB Pro	78,120	77	4.3	330
Volkswagen ID. Buzz LWB Pro S	81,900	86	4.3	370
Volkswagen ID. Buzz Pro	74,233	77	4.4	338
Volkswagen ID.3 GTX	59,220	79	5.8	459
Volkswagen ID.3 GTX Performance	63,000	79	5.8	459
Volkswagen ID.3 Pro	46,765	58	6.1	354
Volkswagen ID.3 Pro S	54,016	77	5.9	451
Volkswagen ID.4 GTX	67,870	77	5.4	419
Volkswagen ID.4 Pro	58,004	77	5.6	435
Volkswagen ID.5 GTX	69,760	77	5.5	426
Volkswagen ID.5 Pro	64,184	77	6.0	459
Volkswagen ID.7 Pro	70,018	77	6.2	475
Volkswagen ID.7 Pro S	74,340	86	6.1	522
Volkswagen ID.7 Tourer GTX	81,900	86	5.6	482
Volkswagen ID.7 Tourer Pro	71,820	77	6.0	459
Volkswagen ID.7 Tourer Pro S	75,600	86	5.8	500
Volvo EX30 Single Motor	42,582	49	5.8	284
Volvo EX30 Single Motor ER	48,567	69	5.7	393
Volvo EX30 Twin Motor Performance	51,654	69	5.5	380
Volvo EX90 Twin Motor	121,281	107	4.4	471
Volvo EX90 Twin Motor Performance	126,699	111	4.2	466

تم تجميع البيانات من قبل الباحث من عدة جداول منشورة على موقع قاعدة بيانات السيارات الكهربائية في المملكة المتحدة.
https://ev-database.org/uk/
جرى تحويل المسافات من ميل إلى كم وتحويل السعر من جنيه أسترليني إلى دولار حسب سعر الصرف في 24 مارس 2024.
تم ترتيب السيارات حسب الاسم لسهولة تتبع البيانات.

قائمة المراجع

حسب ورودها في نص الدراسة

[1] U.S. Senate Committee on Environment and Public Works. *U.S. Senate Report: Over 400 Prominent Scientists Disputed Man-Made Global Warming Claims in 2007*. 20/12/2017. https://www.epw.senate.gov/public/index.cfm/press-releases-all?ID=f80a6386-802a-23ad-40c8-3c63dc2d02cbandIssue_id

[2] Britannica (Encyclopedia). Electricity Summary. https://www.britannica.com/summary/electricity

[3] الوكالة العربية السورية للأنباء- سانا. *ترامواي دمشق... وسيلة للنقل الآمن النظيف*. https://sana.sy/?p=1359923

[4] US Energy Department. *Timeline: History of the Electric Car*. https://www.energy.gov/timeline-history-electric-car

[5] Britannica (Encyclopedia). *Automotive Industry*. https://www.britannica.com/technology/automotive-industry

[6] Bipul Kumar Talukda and Bimal Chandra Deka. *An Approach to Reliability, Availability and Maintainability Analysis of a Plug-In Electric Vehicle*. World Electric Vehicle Journal. 2021, 12, 34. https://doi.org/10.3390/wevj12010034

[7] David A. Kirsch. *The electric vehicle and the burden of history*. Rutgers University Press. 2000.

[8] Mariam ElMenshawy and Mena ElMenshawy. *Qatar University First Solar Car to Compete in the World Solar Challenge: Design of Energy Management System*. 2016. https://www.qu.edu.qa/static_file/qu/colleges/engineering/documents/Final_Report.pdf

[9] James Larminie and John Lowry. *Electric Vehicle Technology Explained* 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd. UK. 2012.

[10] Bengt Sundén. Chapter 4, *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells.* Elsevier Inc. 2019. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816950-6.00004-X

[11] Shuai Ma et al. *Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review*. Progress in Natural Science: Materials International Volume 28, Issue 6, December 2018.

[12] James Larminie and John Lowry. *Electric Vehicles Technology Explained.2nd Edition*. 2012 John Wiley & Sons Ltd. UK.

[13] NREL. *Transportation and Mobility Research, Battery Lifespan*. The National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, April 2022.

[14] James Larminie and John Lowry. *Electric Vehicles Technology Explained.2nd Edition*. 2012 John Wiley & Sons Ltd. UK.

[15] Congressional Budget Office. *Emissions of Carbon Dioxide in the Transportation Sector*. December 2022. https://www.cbo.gov/publication/58861#:~:text=source%20of%20emissions.-,Sources%20of%20Transportation%2DRelated%20Emissions,the%20transportation%20sector%20in%202019.

[16] Ángel Arcos-Vargas et al. *EV International Landscape*. In: *The Role of the Electric Vehicle in the Energy Transition*. Springers Publications, 2021.

[17] Bryce Erickson, *45Q Tax Credit Boosts Values Of Carbon Sequestration Projects, Yet Most Still In Development*. Forbes. 4/11/2022. https://www.forbes.com/sites/bryceerickson1/2022/11/04/45q-tax-credit-boosts-values-of-carbon-sequestration-projects-yet-most-still-in-development/?sh=2ada77bf296b

[18] EIA. *Oil and petroleum products explained, US petroleum consumption by sector*. Retrieved 24/1/2024. https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/use-of-oil.php

[19] Congressional Budget Office. *Emissions of Carbon Dioxide in the Transportation Sector*. December 2022. https://www.cbo.gov/publication/58861#:~:text=source%20of%20emissions.-,Sources%20of%20Transportation%2DRelated%20Emissions,the%20transportation%20sector%20in%202019.

[20] Energy Institute Statistical Review of World Energy, 2023.

[21] Europe Environmental Agency. *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*.24/10/2023. https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport

[22] EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research. *GHG emissions of all world countries*, 2023 Report. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023#data_download

[23] الهيئة العامة للإحصاء(السعودية). *الكتاب الإحصائي السنوي 2019*، العدد 55، الفصل 14، النقل والمواصلات. https://www.stats.gov.sa/ar/1020

[24] الهيئة العامة للطيران المدني (السعودية). المركز الإعلامي، 4 مايو 2023. https://gaca.gov.sa/web/ar-sa/news/translation-of-ar_sa-4-may-2023-_1005

[25] تركي حسن حمش. *تأثير تراجع أسعار النفط بسبب جائحة (كوفيد 19) على مجال الاستكشاف والإنتاج في الصناعة البترولية*. أوابك، 2021. النفط والتعاون العربي، المجلد 48- 2022، العدد 182.

[26] NOAA. *Can we see a change in the CO_2 record because of COVID-19*? https://gml.noaa.gov/ccgg/covid2.html

[27] International Organization of Motor Vehicles Manufacturer. https://www.oica.net/category/sales-statistics/

[28] دولة الكويت، الإدارة المركزية للإحصاء، *المجموعة الإحصائية السنوية 2019- 2020*.

[29] EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research. *GHG emissions of all world countries*, 2023 Report. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023#data_download

[30] Lan, X., Tans, P. and K.W. Thoning: *Trends in globally averaged CO_2 determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements*. Version 2024-01 https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07

[31]Holli Riebeek. *The Carbon Cycle*. NASA, earth Observatory. June 2011. https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle

[32]NOAA. *Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels*. June 3, 2022. https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels

[33] Emissions Database for Global Atmospheric Research. *CO_2 emissions of all world countries*.2022 Report. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022#emissions_table Accessed: 5/3/2024.

[34] IEA. Energy Systems/ Transport. 11/7/2023. https://www.iea.org/energy-system/transport

[35] IEA. Transport, *Global CO_2 emissions from transport by sub-sector in the Net Zero Scenario*, 2000-2030. Last update:14/6/2023.

[36] World Resources Institute. *Climate Watch*, 2020. https://ourworldindata.org/emissions-by-sector

[37] World Bank. *World Development Indicators*. Last Update: 25/7/2023. https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?name_desc=false

[38] Climate Watch. Data Explorer, *Historical Emissions*. https://www.climatewatchdata.org

[39] Qiang Dai et al., "Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications", Batteries 5, no. 2 (2019). ttps://doi.org/10.3390/batteries5020048

[40] Peters et al. *The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review*. Elsevier Publications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 67, January 2017, Pages 491-506. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.039

[41] Iris Crowford. *How much CO2 is emitted by manufacturing batteries?* 15/7/2022. https://climate.mit.edu/ask-mit/how-much-co2-emitted-manufacturing-batteries

[42] Tesla Press Release. *Tesla Vehicle Production & Deliveries and Date for Financial Results & Webcast for Fourth Quarter 2023*. 2/1/2024. https://ir.tesla.com/press-release/tesla-vehicle-production-deliveries-and-date-financial-results-webcast-fourth-quarter-2023

[43] Environmental Protection Agency. *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*. https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results

[44] IEA. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. May, 2021. https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions

[45] Neugebauer et al. *Cumulative Emissions of CO2 for Electric and Combustion Cars: A Case Study on Specific Models*. MDPI, Energies 2022, 15, 2703. https://doi.org/10.3390/en15072703

[46] Volvo Car. *Carbon footprint report, Volvo C40 Recharge*. https://www.volvocars.com/images/v/-/media/market-assets/intl/applications/dotcom/pdf/c40/volvo-c40-recharge-lca-report.pdf

[47] Mark P. Mills. *Electric Vehicles for Everyone? The Impossible Dream*. Report, Manhattan Institute. 12/7/2023.

[48]International Aluminium Institute. *Greenhouse Gas Emissions Intensity- Primary Aluminium*. 29/12/203. https://international-aluminium.org/statistics/greenhouse-gas-emissions-intensity-primary-aluminium/

[49]International Council on Clean Transportation. *Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions*. July 2021. https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

[50] تم إعداد الشكل بناء على بيانات مستخلصة من أربعة مصادر، هي:

- Friedli, H. et al. *Ice core record of the 13C/12C ratio of atmospheric CO_2 in the past two centuries*. Nature 324, 237–238 (1986). https://doi.org/10.1038/324237a0 .
- Etheridge et al. *Natural and anthropogenic trends in atmospheric CO2 over the last 500 years from Etheridge Ice Core records*. Tellus B, 48(2), 344-362. (1996) https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/95JD03410
- Gordon et al. *Model Structure and Climate Data Uncertainty in Historical Simulations of the Terrestrial Carbon Cycle (1850–2014).* Global Biochemical Cycle (2019). https://doi.org/10.1029/2018GB006141.
- Lan, X., Tans, P. and K.W. Thoning: *Trends in globally averaged CO_2 determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements*. Version 2024-01 https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07

[51] Neta C. Crawford. *Pentagon Fuel Use, Climate Change, and the Costs of War*. Watson Institute, Boston University. November 2019. Retrieved: 25 January 2024. https://watson.brown.edu/costsofwar/files/cow/imce/papers/Pentagon%20Fuel%20Use%2C%20Climate%20Change%20and%20the%20Costs%20of%20War%20Revised%20November%202019%20Crawford.pdf

[52] Beena Ammanath. *How to manage AI's energy demand — today, tomorrow and in the future*. World Energy Forum, 25/4/2024. https://www.weforum.org/agenda/2024/04/how-to-manage-ais-energy-demand-today-tomorrow-and-in-the-future/#:~:text=AI%20and%20energy%20demand&text=The%20energy%20required%20to%20run,of%20Iceland%20used%20in%202021.

[53] IEA. Minerals used in electric cars compared to conventional cars. 5/5/2021. Minerals used in electric cars compared to conventional cars – Charts – Data & Statistics - IEA

[54] JB Straubel, CEO Redwood Materials. *The scope and scale of critical mineral demand and recycling of critical minerals*. Written Testimony Before the U.S. Senate Committee on Energy and Natural Resources. April 2022. https://www.energy.senate.gov/services/files/43143C20-B0B4-4BC7-A5E2-5B2CB2CDE4D2

[55] Deloitte. *2024 Global Automotive Consumer Study*, *Tracking consumer trends in the automotive industry*. https://www.deloitte.com/global/en/Industries/automotive/perspectives/global-automotive-consumer-study.html

[56] UK Government website. *Pathway for zero emission vehicle transition by 2035 becomes law.* 3/1/2024. https://www.gov.uk/government/news/pathway-for-zero-emission-vehicle-transition-by-2035-becomes-law

[57] UK Government website. *Vehicle licensing statistics: July to September 2023*. 12/12/2023. https://www.gov.uk/government/statistics/vehicle-licensing-statistics-july-to-september-2023

[58] The European Automobile Manufacturers' Association. *New car registrations: +13.9% in 2023*. 18/1/2024 https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-13-9-in-2023-battery-electric-14-6-market-share/

[59] EIA. *Tax Incentives*. https://www.fueleconomy.gov/Feg/taxcenter.shtml Retrieved: 31/1/2024

[60] Government of Canada. *Federal incentives*. https://www.canada.ca/en/services/transport/zero-emission-vehicles/zero-emission-vehicles-incentives.html

[61] Official Website of the International Trade Administration. *Japan Transition to EVs*. 7/7/2021. https://www.trade.gov/market-intelligence/japan-transition-electric-vehicles

[62] IEA. Global EV Outlook 2023, Policy developments. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/policy-developments

[63] EA. Global EV Outlook 2023, Policy developments. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/policy-developments

[64] Saudi Aramco. *Aramco and Stellantis collaboration indicates eFuel compatibility with European engine families*. 5/9/2023. https://www.aramco.com/en/news-media/news/2023/aramco-and-stellantis-collaboration-indicates-efuel-compatibility-with-european-engine-families

[65] The European Automobile Manufacturers' Association. *New car registrations: +13.9% in 2023*. 18/1/2024 https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-13-9-in-2023-battery-electric-14-6-market-share/

[66] Rika Mellisa. *E-Mobility Europe: An Overview of Europe's Latest Electric Vehicles Data.* Station. 6/3/2024. https://statzon.com/insights/e-mobility-europe-an-overview-of-europes-latest-electric-vehicles-data

[67] The European Automobile Manufacturers' Association. *New car registrations: -5.2% in March 2024*. 18/4/2024. https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-5-2-in-march-2024-battery-electric-13-market-share/

[68] البوابة الرسمية لحكومة دولة الإمارات العربية المتحدة. *السياسة الوطنية للمركبات الكهربائية*. https://u.ae/ar-ae/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/policies/transport-and-infrastructure/national-electric-vehicles-policy

[69] مجتمع السيارات الكهربائية في دبي. *محفزات*. https://dubaievhub.ae/ar/government-framework/incentives/

[70] هيئة كهرباء ومياه دبي. *المجلس الأعلى للطاقة في دبي يستعرض خطة هيئة كهرباء ومياه دبي لتوسيع شبكة شحن السيارات الكهربائية في إمارة دبي*. 2023/2/5. https://www.dewa.gov.ae/ar-AE/about-us/media-publications/latest-news/2023/02/dubai-supreme-council-of-energy

[71] الإذاعية الجزائرية. *تفعيل مائة عمود لشحن السيارات الكهربائية وإضافة 1300 آخر قبل نهاية 2024*. https://news.radioalgerie.dz/ar/node/29782

[72] وكالة أنباء البحرين. *تدشين أول محطة شحن كهربائية للسيارات في مملكة البحرين*. 2021/4/26. https://bna.bh/news?cms=q8FmFJgiscL2fwIzON1%2BDmCpltOXRaXlOJc6kcFHurQ%3D

[73] الموقع الرسمي لرؤية 2030. *المشاريع، سير*. (بدون تاريخ). https://www.vision2030.gov.sa/ar/projects/ceer/

[74] صندوق التنمية السيادي السعودي. *السوق تحت المجهر: سوق السيارات الكهربائية في المملكة*. ديسمبر 2022.
https://www.sidf.gov.sa/ar/MediaCenter/DocLib1/%D8%B3%D9%88%D9%82%20%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D8%A7%D8%B1%D8%A7%D8%AA%20%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9%20%D9%81%D9%8A%20%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%85%D9%84%D9%83%D8%A9.pdf

[75] وزارة المواصلات. *دولة قطر ضمن المراكز العشرة الأولى عالميا في مؤشر جاهزية التنقل الكهربائي العالمي*. 2023/10/22.
https://www.mot.gov.qa/ar/qatar-among-top-10-global-electric-mobility-readiness-index

[76] النهار. *الكهرباء اعتمدت ضوابط استخدام شواحنها عل مرحلتين*. 2022/10/3.
https://www.annaharkw.com/Article.aspx?id=944751&date=03102022

[77] الطاقة. *السيارات الكهربائية في مصر تترقب قفزة بطرح طرازات جديدة*. منصة الطاقة، 2024/4/1.
https://attaqa.net/2024/04/21/%D9%85%D8%A7-%D8%AF%D9%88%D8%B1-%D8%AA%D8%BA%D9%8A%D8%B1-%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%AE-%D9%81%D9%8A-%D9%81%D9%8A%D8%B6%D8%A7%D9%86%D8%A7%D8%AA-%D8%AF%D8%A8%D9%8A%D8%9F-/%D8%AE%D8%A8%D8%B1-2

[78] قانون (سلطنة عمان). *هيئة تنظيم الخدمات العامة: قرار رقم 15 / 2023 بإصدار لائحة تنظيم نشاط شحن المركبات الكهربائية*. https://qanoon.om/p/2023/apsr20230015/

[79] الرؤية. *"نفط عمان" توقع اتفاقية لتأسيس أول شركة لحلول وخدمات السيارات الكهربائية*.
https://alroya.om/post/326408

[80] منصة الطاقة. *مبيعات السيارات الكهربائية في الأردن تنتظر قفزة ضخمة خلال* 2023. منصة الطاقة، 2023/6/11.
https://attaqa.net/2023/06/11/

[81] IEA. Global EV Data Explorer. *EV sales, cars, World, 2010-2022*. https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer

[82] International Organization of Motor Vehicles Manufacturer. https://www.oica.net/category/sales-statistics/

[83] Jeffrey M. Jones. EV Ownership Ticks Up, but Fewer Nonowners Want to Buy One. Gallup. 8/4/2024. https://news.gallup.com/poll/643334/ownership-ticks-fewer-nonowners-buy-one.aspx

[84] Michael Dean. *Just 18% of European car buyers favour Electric Vehicles, finds Bloomberg Intelligence's latest auto-buying intentions survey*. Bloomberg, 6/3/2024. https://www.bloomberg.com/company/press/just-18-of-european-car-buyers-favour-electric-vehicles-finds-bloomberg-intelligences-latest-auto-buying-intentions-survey/

[85] Goldmans Sachs. *Electric vehicles are forecast to be half of global car sales by 2035*. 10/2/2023. Electric Vehicles are Forecast to Be Half of Global Car Sales by 2035 (goldmansachs.com)

[86] IEA. *Global EV Outlook 2024, EV Data by country*. https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2024#global-ev-data

[87] أحمد بدر. *أنس الحجي: شركات السيارات الكهربائية تخسر عدا "تيسلا".. وهذه حقيقة "فرق التكلفة"*. منصة الطاقة، 2023/11/17 https://attaqa.net

[88] Ford Company. *Ford+ Delivers Solid 2023, Provides Outlook for Healthy '24; Company Declares Regular, Supplemental Stock Dividend*. Ford Newsroom. 6/2/2024.

https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2024/02/06/fourth-quarter-and-full-year-2023-earnings.html

[89] Robert Bryce. *Ford Lost $4.7B On EVs Last Year*. Substack.7/2/2024. https://robertbryce.substack.com/p/ford-lost-47b-on-evs-last-year-or

[90] Henry Epp. *Ford is losing money on electric vehicles, but saving money on emissions fines*. Marketplace. 7/2/2024. https://www.marketplace.org/2024/02/07/ford-is-losing-money-on-electric-vehicles-but-saving-money-on-emissions-fines/

[91] Ford Company. *Customers Find Appeal in 'Freedom' of Ford Powertrain Choices, Contributing to Solid Q1 Results, Setting Up Strong Full Year*. 24/4/2024. https://s201.q4cdn.com/693218008/files/doc_financials/2024/q1/Q1-2024-PRESS-RELEASE-4-24-24-FINAL.pdf?utm_source=substack&utm_medium=email

[92] Robert Bryce. *Ford Lost $65,272 For Every EV It Sold In 1Q24*. 28/4/2024. https://robertbryce.substack.com/p/ford-lost-65272-for-every-ev-it-sold?utm_source=post-email-title&publication_id=630873&post_id=144106292&utm_campaign=email-post-title&isFreemail=true&r=1vkxn5&triedRedirect=true&utm_medium=email

[93] Reuters. *Honda, GM scrap $5 bln plan to co-develop cheaper EVs*. 25/10/2023. https://www.reuters.com/business/autos-transportation/honda-shelves-plan-co-develop-smaller-evs-with-gm-bloomberg-news-2023-10-25/

[94] The Editorial Board. *Car Dealers to Biden: EVs Aren't Selling*. Wall Street Journal.28/11/2023. https://www.wsj.com/articles/car-dealers-letter-to-biden-electric-vehicles-fd413d98

[95] Auto news platform. *Mercedes CEO: EV costs will remain higher for foreseeable future.* Sept. 2023. https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/passenger-vehicle/mercedes-ceo-ev-costs-will-remain-higher-for-foreseeable-future/103337079 Accessed: 5/3/2024.

[96] B. Scrosati, J. Hassoun and Y.-K. Sun, "*Lithium-ion batteries. A look into the future*," Energy and Environmental Science, vol. 4, pp. 3287-3295, 2011.

[97] USGS. (United States Geological Survey). *Mineral Commodity Summaries, 2024*. https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024.pdf

[98] محمد عبد الغني عثمان. المعجم الجيولوجي المصور. إصدار هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، 2013.

[99] Energy Institute. *Statistical Review of World Energy*. 2023 https://www.energyinst.org/statistical-review

[100] USGS. (United States Geological Survey). *Mineral Commodity Summaries, 2024*. https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024.pdf

[101] Government of Canada. *Federal incentives*. https://www.canada.ca/en/services/transport/zero-emission-vehicles/zero-emission-vehicles-incentives.html

[102] IEA. Global EV Data Explorer. *EV sales, cars, World, 2010-2022*. https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer

[103] McKinsey . *Lithium Mining: The Role of New Production Technologies in Supporting the Electric Vehicle Boom*. 12/4/2022. https://www.mckinsey.com/featured-insights/highlights-in-arabic/lithium-mining-how-new-production-technologies-could-fuel-the-global-ev-revolution-arabic/ar#/

[104] Energy Institute. *Statistical Review of World Energy*, 2023

[105] Ariel Cohen. *Lithium: Price Collapse Secures Green Transition, Causes Headaches*. Forbes. 27/12/2023. https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2023/12/27/lithium-price-collapse-secures-green-transition-causes-headaches/?sh=2e19d9a14a61

[106] Chin Trento. *Cobalt in EV Batteries: Advantages, Challenges, and Alternatives*. Stanford Advanced Material. https://www.samaterials.com/cobalt-in-ev-batteries-advantages-challenges-alternatives.html

[107] USGS. (United States Geological Survey). Mineral Commodity Summaries, 2024.

[108] Energy Institute. Statistical Review of World Energy. 2023 https://www.energyinst.org/statistical-review

[109] Medicines Sans Frontiers. *DRC's tenth Ebola outbreak*. 25/6/2020. https://www.msf.org/drc-tenth-ebola-outbreak

[110] ECGA (European Carbon and Graphite Association. *Graphite in batteries*. Feb. 2022. https://ecga.net/wp-content/uploads/2023/02/Graphite-in-batteries_Infosheet_final.pdf

[111] USGS. (United States Geological Survey). Mineral Commodity Summaries, 2024.

[112] Department of Transport, UK. *Vehicle Licensing Statistics*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/812253/vehicle-licensing-statistics-january-to-march-2019.pdf

[113] Natural History Museum. *Leading scientists set out resource challenge of meeting net zero emissions in the UK by 2050* https://www.nhm.ac.uk/press-office/press-releases/leading-scientists-set-out-resource-challenge-of-meeting-net-zer.html

[114] U.S. Department of Transportation. Electric Vehicle Charger Levels and Speeds. https://www.transportation.gov/urban-e-mobility-toolkit/e-mobility-basics/charging-speeds Accessed on 12/3/2024.

[115] هيئة كهرباء ومياه دبي. *الأسئلة الشائعة عن الشاحن الأخضر*. (بدون تاريخ). https://www.dewa.gov.ae/ar-AE/consumer/ev-community/ev-green-charger/ev-green-chargers-faq

[116] Kampshoff p. et al. *Building the electric-vehicle charging infrastructure America needs*. 18/4/2022. https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/building-the-electric-vehicle-charging-infrastructure-america-needs

[117] The White House. *FACT SHEET: The Biden-Harris Electric Vehicle Charging Action Plan.* 13/12/2021. FACT SHEET: The Biden-Harris Electric Vehicle Charging Action Plan | The White House

[118] Rikka Melissa. Navigating Europe's EV Charging Expansion. 6/3/2024. https://statzon.com/insights/ev-charging-points-europe

[119] European Commission. Mobility and Transport. *TENtec Interactive Map Viewer*. Accessed 20/3/2024. https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/map/maps.html?layer=11,12,13,14,15

[120] EPB Center. *The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*. The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) — EPB Standards — EPB Center | EPB Standards

[121] European Commission, *European Alternative Fuels Observatory. Electric vehicle recharging prices.* Accessed: April 2024. https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/consumer-portal/electric-vehicle-recharging-prices

[122] Tesla. *Supercharger Support*. (No date). https://www.tesla.com/support/charging/supercharger#payment

[123] Blake Hough. Full Speed Ahead: *EV Study Reveals Impacts of Fast Charging*. 28 /8/2023. https://www.recurrentauto.com/research/impacts-of-fast-charging

[124] Tesla Model X. https://www.tesla.com/modelx/design#overview Accessed 24/5/2024.

[125] British Gas. What are the different types of EV charger? (No date) Retrieved: Feb. 2024. https://www.britishgas.co.uk/smart-home/guides/electric-vehicles/charger-types.html

[126] Steinstraeter M et al. *Effect of Low Temperature on Electric Vehicle Range*. MDPI, World Electr. Veh. J. 2021, 12(3), 115; https://doi.org/10.3390/wevj12030115

[127] F. Gao, Z. Tang, Electrochim. *Kinetic behaviour of LiFePO4/C cathode material for lithium-ion batteries*. Electrochimica Acta Volume 53, Issue 15, 1 June 2008. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013468607013576

[128] Liu H. et al, *Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: A* review. Energy Conversion and Management. Volume 150, 15 October 2017, Pages 304-330 150.

[129] AAA (American Automobile Association). *AAA Electric Vehicle Range Testing*. February 2019. https://www.aaa.com/AAA/common/AAR/files/AAA-Electric-Vehicle-Range-Testing-Report.pdf

[130] Matt McGregor. *'It's a Disaster': Electric Car Owners Struggle in Freezing Temps*.17/1/2024. https://www.theepochtimes.com/article/its-a-disaster-electric-car-owners-struggle-in-freezing-temps-5567820?utm_source=andshare

[131] Hamwi, H.; Rushby, T;. Mahdy, M.; Bahaj, A.S. *Effects of High Ambient Temperature on Electric Vehicle Efficiency and Range: Case Study of Kuwait*. Energies 2022, 15 .3178 , https://doi.org/10.3390/en15093178. 27 April 2022

[132] Wei Liu et al. *Resilience assessment of the cobalt supply chain in China under the impact of electric vehicles and geopolitical supply risks*. Resources Policy, Volume 80, 2023. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103183. Accessed: 04-03-2024.

[133]Christian Byamungu. *Blue Metal Blues: Cobalt, the Democratic Republic of Congo, and China.* South African Institute of International Affairs. 2022. https://www.jstor.org/stable/resrep41904 Accessed: 04-03-2024.

[134] Harry Dempsey. *Cobalt market stung by record oversupply*. Financial Times. 1/3/2024. https://www.ft.com/content/e6f131c8-4945-45f9-84ad-18eec58df0d9 Accessed: 5/3/2024.

[135] FDI Intelligence (A service from the Financial Times). *How China is charging ahead in the EV race.* https://www.fdiintelligence.com/content/feature/how-china-is-charging-ahead-in-the-ev-race-80771

[136] Zhou *et al*. *China's EV plans Domestic market and policy developments & Australia China links in decarbonization. Policy Brief*. The Australian National University. 17/4/2023. https://iceds.anu.edu.au/files/Policy%20brief%20-%20EV%202023-04-06_0.pdf

[137] Suleyman Orhun Altiparmak. *China and Lithium Geopolitics in a Changing Global Market*. Chin. Polit. Sci. Rev. 8, 487–506 September 2023. https://doi.org/10.1007/s41111-022-00227-3

[138] Zachary Shahan. *The 5 Countries Producing the Most EV Batteries*. Clean Technica. December 2023. https://cleantechnica.com/2023/11/24/the-5-countries-producing-the-most-ev-batteries/

[139] National Archives. *Interpretation of Foreign Entity of Concern*. A Proposed Rule by the Energy Department on 12/04/2023. https://www.federalregister.gov/documents/2023/12/04/2023-26479/interpretation-of-foreign-entity-of-concern

[140] Maxine Joselow. Why only 22 EV models now qualify for the $7,500 federal tax credit. The Washington Post. 3/5/2024. https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2024/05/03/electric-vehicle-tax-credits-china/

[141] World Energy Forum. *Electric vehicles: an analysis of adoption and the future of oil demand.* 15/5/2023. Electric vehicles: an analysis of adoption and the future of oil demand | World Economic Forum (weforum.org)

[142] IEA. *Global EV Outlook 2024*. April 2024. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024

[143] Jiang Mengnan. *China ends electric vehicle subsidies*. Dialogue Earth. 12/1/2023. China ends electric vehicle subsidies | Dialogue Earth

[144] Energy Institute. *Transport*. (No date). https://www.energyinst.org/exploring-energy/topic/transport

[145] OPEC. *World Oil Outlook 2045*. 2023. https://www.opec.org/opec_web/en/publications/340.htm

[146] أحمد البدر. *هل يتأثر الطلب على النفط بانتعاش السيارات الكهربائية؟ أنس الحجي يجيب*. منصة الطاقة، 2024/2/3. https://attaqa.net/2024/02/03/%D9%87%D9%84-%D9%8A%D8%AA%D8%A3%D8%AB%D8%B1-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D9%84%D8%A8-%D8%B9%D9%84%D9%89-%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%81%D8%B7-%D8%A8%D8%A7%D9%86%D8%AA%D8%B9%D8%A7%D8%B4-/%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D8%A7

[147] نفس المصدر السابق.

[148] CIA. The World Fact Book, Norway/ Country Summary. https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/norway/summaries/#people-and-society

[149] OPEC Monthly Oil Market Report – May 2024.

[150] Kari Lundgren and Stephen Treloar. *Oil is Hard to Quit, Even in Norway Where Electric Cars Rule the Road.* Bloomberg. 7/7/2023. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-07-07/oil-is-hard-to-quit-even-in-norway-where-electric-cars-rule-the-road

[151] Statistics Norway. *07849: Registered vehicles, by type of transport and type of fuel (M)* 2008 – 2023. https://www.ssb.no/en/statbank/table/07849/

[152] Energy Institute Statistical Review of World Energy, 2023.

[153] Statistics Norway.13370 : *Registered vehicles, by region, tenure status, type of fuel, contents and year*. 13370: Registered vehicles, by form of ownership and type of fuel (M) 2020 - 2023. Statbank Norway (ssb.no)

[154] Smart cities connect. *Stavanger, Norway Declares Free Public Transport for Residents*. 31/12/2023. https://smartcitiesconnect.org/stavanger-norway-embraces-green-future-declares-free-public-transport-for-residents/

[155] OECD. *Norway's evolving incentives for zero-emission vehicles*. 7/11/2022. https://www.oecd.org/climate-action/ipac/practices/norway-s-evolving-incentives-for-zero-emission-vehicles-22d2485b/

[156] ELBL. *Norwegian EV policy*. https://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/ Retrieved 31/1/2024.

[157] IEA. Global EV Outlook 2023, Policy developments. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/policy-developments

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

أوابـك