



الطريق إلى الحياد الصفري

إستراتيجيات تحول الأعمال نحو الاستدامة



تحرير

أوليفر زيبسه ويواخيم هورنجر وتوماس بيكر وماركوس بيكرمان
ومايكل بنفش وإيرين فيغه وماركوس شوبير

ترجمة

د. هاجر فهد العسكر

1447هـ/2026م

إصدار مركز الترجمة والتعريب والاهتمام باللغة العربية

أوليفر زيبسه ويواخيم هورنجر وتوماس بيكر وماركوس بيكرمان
ومايكل بنفش وإيرين فيغه وماركوس شوبير

الطريق إلى الحيات الصفري

إستراتيجيات تحول الأعمال نحو الاستدامة

ترجمة

د. هاجر فهد العسكر

1447هـ/2026م

إصدار مركز الترجمة والتعريب والاهتمام باللغة العربية

العنوان الأصلي: Road to Net ZERO

Strategic Pathways for Sustainability-Driven Business Transformation

تحرير: Oliver Zipse • Joachim Hornegger • Thomas Becker • Markus Beckmann • Michael

Bensch • Irene Feige • Markus Schober

الناشر: Springer

اسم الكتاب: الطريق إلى الحياد الصفري
إستراتيجيات تحول الأعمال نحو الاستدامة
ترجمة: د. هاجر فهد العسكر
الرقم الدولي: 978-99992-1-440-7
رقم الإيداع: 2026/10658
الطبعة الأولى: 1447 هـ - 2026 م
نُشر في مسقط، سلطنة عُمان

الناشر:

مركز الترجمة والتعريب والاهتمام باللغة العربية
بمجلس التعاون لدول الخليج العربية

ص. ب (539) - مسقط - سلطنة عُمان
هاتف: 24968870 (+968) فاكس: 24607550 (+968)
البريد الإلكتروني: ctapa@gccsg.org
الموقع الإلكتروني:

<https://gcc-sg.org/ar/JointGulf/Cooperation/GCCTAB/Pages/default.aspx>

© جميع الحقوق محفوظة لمركز الترجمة والتعريب والاهتمام باللغة العربية التابع للأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية، ويمنع استخدام أي من المواد التي يتضمنها الكتاب أو استنساخها أو نقلها كلياً أو جزئياً في أي شكل وبأية وسيلة، سواء بطريقة إلكترونية أو آلية، بما في ذلك الاستنساخ الفوتوغرافي أو التسجيل أو أي نظام من نظم تخزين المعلومات أو استرجاعها إلا بإذن خطي من الناشر.

الإشراف العام:

أ.د. عبد الله بن سيف التوبي
مدير مركز الترجمة والتعريب والاهتمام باللغة العربية

ترجمة الكتاب:

د. هاجر فهد العسكر
مترجمة - المملكة العربية السعودية

المتابعة والتنسيق الإداري:

أ. يحيى بن ناصر البوصافي
رئيس قسم الرصد والنشر

التحرير والمتابعة الفنية:

أ. عهود بنت خميس المخينية
خبيرة الترجمة والتعريب



فهرس المحتويات

تمهيد 13

الشكر والتقدير 17

نبذة عن هذا الكتاب 19

تعريف بهيئة المحررين والمشاركين 21

الجزء الأول: المسارات الرائدة 27

الجامعات والصناعة شركاء في التعلم على الطريق إلى الحياد الصفري

1.1 نهج تعاوني: 29

1.2 كن ملهمًا: 30

1.3 محادثة الخبراء حول توحيد القوى من أجل التحوّل القائم على

الاستدامة: 33

1.4 مخطط الكتاب: 46

الجزء الثاني: إعداد المسار نحو الحياد الصفري 53

تحويل علم المناخ إلى غايات سياسية ومؤسسية

2.1 المقدمة: 55

2.2 مراجعة موجزة لرؤى مختارة حول علوم المناخ 57

2.3	سياسة المناخ العالمية: الطريق إلى باريس وما بعدها	63
2.4	دور أطر السياسات الوطنية وآليات الحوكمة	71
2.4.1	الأدوات القائمة على السوق لاستيعاب التكاليف الخارجية مباشرة	73
2.4.2	أدوات الدعم المباشر للتقنيات والمنتجات المستدامة	78
2.4.3	المناهج التنظيمية التقليدية: تدابير القيادة والتحكم	81
2.5	محادثة الخبراء حول سياسة المناخ الاقتصادية: بين الانفتاح التكنولوجي والتنظيم	83
2.6	الأهداف القائمة على أسس علمية: فرص وتحديات تحديد أهداف الانبعاثات على مستوى الشركات	98
2.6.1	مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية: الأصل والرسالة	99
2.6.2	القاعدة العلمية للأهداف القائمة على أسس علمية	101
2.6.3	ما الانبعاثات التي تُحتَسَب؟ توضيح نطاق الأهداف القائمة على أسس علمية (SBTs) والسنة المرجعية	103
2.6.4	أنواع مختلفة من الأهداف القائمة على أسس علمية	104
2.6.5	الأساليب والمناهج المختلفة للقطاعات في تحديد مستويات التخفيض اللازمة	106
2.6.6	فوائد وتحديات الأهداف القائمة على أسس علمية	109
2.7	الخاتمة	114
	المراجع	117

الجزء الثالث: صياغة إستراتيجية الاستدامة المؤسسية

من التفكير المتكامل إلى الإدارة المتكاملة

3.1	مقدمة	127
3.2	تطوير الإستراتيجية والاستدامة: الماضي والحاضر	129



- 3.3 محادثة الخبراء حول دمج الاستدامة في إستراتيجية الشركة: 143
- 3.4 مستقبل الإستراتيجيات المتكاملة: التحديات والفرص والأسئلة الرئيسة: 162
- 3.5 الخاتمة: 169
- المراجع 171

الجزء الرابع: مستقبل الإفصاح المؤسسي 175

مؤشرات الأداء الرئيسة غير المالية والاستدامة والتقارير المتكاملة

- 4.1 مقدمة: 177
- 4.2 أساليب جديدة في إعداد التقارير: 179
- 4.3 المشهد التشريعي الحالي في الاتحاد الأوروبي: 185
- 4.4 التقارير المتكاملة في الممارسة العملية: 191
- 4.5 محادثة الخبراء حول تنفيذ التقارير المتكاملة في مجموعة بي إم دبليو 194
- 4.6 مستقبل التقارير: الفرص والتحديات ودور التقارير المتكاملة: 203
- 4.6.1 فرص الأساليب الجديدة في التقارير: 203
- 4.6.2 تحديات الأساليب المستجدة في إعداد التقارير: 207
- 4.6.3 الآفاق المستقبلية للتقارير المتكاملة: 210
- 4.7 خاتمة: 211
- المراجع: 214

الجزء الخامس: إنشاء منتجات مستدامة 223

الطريق إلى الدائريّة

- 5.1 المقدمة: 225
- 5.2 مسارات نحو التصميم الدائري: 227
- 5.2.1 نهج الاقتصاد الدائري: تحول نموذجي واعد: 229

5.2.2	أطر مختلفة لتفعيل الاقتصاد الدائري: الإبطاء والإغلاق والتضييق وإستراتيجيات R:	231
5.2.3	ثلاث نتائج مترتبة على التصميم:	234
5.2.3.1	النتيجة الأولى: تغيير في تصميم المنتج:	234
5.2.3.2	الأثر الثاني: التغيير في تصميم الخدمة:	238
5.2.3.3	الأثر الثالث: تحول في سلوك المستخدم:	240
5.2.4	تحديات التنفيذ:	242
5.3	محادثة خبراء حول الاستدامة في تطوير المنتجات:	245
5.4	مستقبل تطوير المنتجات المستدامة:	261
5.4.1	دور التقنيات الرقمية في تفعيل الاقتصاد الدائري:	261
5.4.2	نحو تكامل أشمل: ضرورة توسيع الآفاق:	264
5.5	الخاتمة:	268
	المراجع:	271

الجزء السادس: تحويل سلاسل القيمة من أجل الاستدامة..... 285

نحو اقتصاد دائري في عصر التنقل الكهربائي

6.1	مقدمة:	287
6.2	في عصر ندرة الموارد:	290
6.3	تحولات سلسلة القيمة:	295
6.3.1	إعادة تدوير بطاريات أيونات الليثيوم (LIBs):	298
6.3.2	اللوجستيات العكسية (المرحلة الأولى):	300
6.3.3	المعالجة الأولية (المرحلة الثانية):	301
6.3.4	المعالجة المعدنية (المرحلة الثالثة):	303



307	6.3.5 إعادة إدخال المواد إلى السوق (المرحلة الرابعة):
308	6.4 نقاش خبير حول الاستدامة في سلسلة الإمداد:
318	6.5 إغلاق الحلقة
322	6.6 نظرة مستقبلية وتحديات إضافية
328	6.7 الخاتمة
330	المراجع

الجزء السابع: الاستدامة في التصنيع 335

التحول واستشراف مصنع المستقبل

337	7.1 المقدمة
339	7.2 الأبعاد الثلاثة للإنتاج المستدام
341	7.2.1 وجهات نظر عملية حول التصنيع المستدام
344	7.2.2 آفاق البحث في التصنيع المستدام
345	7.2.3 آفاق البحث في التصنيع المستدام: العمليات الدائرية والرقمنة
350	7.3 حوار الخبراء حول الاستدامة في الإنتاج:
366	7.4 المصنع المستدام في المستقبل
368	7.4.1 عمليات التصنيع المستدام على امتداد دورة الحياة
372	7.4.2 الرقمنة والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء
375	7.4.3 تطبيق معايير الاستدامة:
377	7.4.4 الربط بين الأنظمة والإنتاج الحضري والمدن الذكية:
379	7.4.5 الخلاصة والتطلعات المستقبلية:
381	7.5 الخاتمة:
384	المراجع

الجزء الثامن: قوة الابتكار التكنولوجي 389

المحرك نحو التنقل المستدام

- 8.1 المقدمة: 391
- 8.2 نظرة عامة على أنظمة الدّفع البديلة: 393
- 8.3 حوار خبراء حول مستقبل التنقل 409
- 8.4 حوار الخبراء حول الهيدروجين بصفته وقود المستقبل 425
- 8.5 ما بعد الوظائف التقنية: النظام البيئي للطاقة حول حلول نقل الحركة الصديقة للبيئة 440
- 8.5.1 التخزين الصديق للبيئة للطاقة الكهربائية على متن السيارة 441
- 8.5.2 التخزين المستدام للهيدروجين والتحويل الكهربائي عند الطلب 449
- 8.5.3 التوزيع الصديق للبيئة للطاقة الكهربائية عبر بنية تحتية للطرق المكهربة 455
- 8.6 الخاتمة 459
- المراجع 463

الجزء التاسع: الطريق إلى الحياد الصفري وما بعده 469

نظرة إلى الوراء، تقييم الوضع، والمضي قدماً

- تأملات في التعلم التعاوني: 471
- 9.2 ملخص السرد في هذا الكتاب: 472
- 9.2.1 الفصل الثاني: رسم المسار نحو الحياد الصفري: 472
- 9.2.2 الفصل الثالث: صياغة استراتيجية الاستدامة المؤسسية: 474
- 9.2.3 الفصل الرابع: مستقبل الإفصاح المؤسسي: 475
- 9.2.4 الفصل الخامس: تصميم منتجات مستدامة: 475



- 9.2.5 الفصل السادس: تحويل سلاسل القيمة نحو الاستدامة: 476
- 9.2.6 الفصل السابع: الاستدامة في قطاع التصنيع: 478
- 9.2.7 الفصل الثامن: قوة الابتكار التكنولوجي: 479
- 9.2.8 نظرة تأملية في الطريق إلى الحياد الصفري: 480
- 9.3 رؤى وموضوعات متكررة عبر الفصول: 481
- 9.3.1 الاستدامة تتطلب تفكيرًا وإدارةً متكاملين: 482
- 9.2.3 الاستدامة: هدف دائم التغير: 483
- 9.3.3 الاستدامة: سباق لا يمكن الفوز به منفردًا: 485
- 9.3.4 البيانات هي الأساس: المؤشرات القابلة للقياس، والأهداف، والشفافية، والتحول الرقمي: 487
- 9.3.5 ليس كل ما يهم يمكن قياسه (بدقة): 491
- 9.4 ما بعد الطريق إلى الحياد الصفري: 492
- 9.4.1 ما بعد إزالة الكربون: 493
- 9.4.2 ما بعد تقليل الأضرار السلبية: نحو التأثير الإيجابي الصافي: 497
- 9.4.3 ما بعد المسارات الأحادية: أهمية دور المكان في الاستدامة: 499
- 9.5 مستقبل الشراكات بين الصناعة والجامعات: 501
- مسرد المصطلحات 505**



تمهيد

عندما طُلب مني كتابة مقدّمة هذا الكتاب، شعرت بشيءٍ من التردد، وبصفتي رئيس نادي روما، فإنني أؤمن إيماناً راسخاً بأن القيادة في المجالات التجاريّة والسّياسيّة والأكاديميّة في القرن الحادي والعشرين يجب أن تكون أكثر جرأة وعمقاً لمواجهة التحديات المعقّدة التي نواجهها اليوم.

وبصفتي عضواً في المجلس الاستشاري للتنقل المستدام في وكالة بي إم دبليو (BMW) فقد دفعت الشركة باستمرار إلى المضي قدماً في نهجها في الاستدامة، ليس فقط لكونها شركة مصنّعة للسيّارات، ولكن أيضاً لكونها مزوداً للتنقل؛ لأنني أؤمن بأن هذه الشركة يمكن أن تكون رائدة في مجال التنقل التحويلي من خلال براعتها الهندسيّة المذهلة، وقيمها الاجتماعيّة والبيئيّة الراسخة.

وأكثر ما جذب انتباهي في هذا الكتاب هو العمليّة ذاتها ومدى انفتاح المساهمين على تبادل آرائهم من خلال مجموعة من الشهادات والمقابلات مع رئيس مجلس إدارة بي إم دبليو، أوليفر زيبيسه. يجمع هذا الكتاب بين أسس التغيير التي تلبي احتياجات القرن الحادي والعشرين للناس والكوكب والازدهار، مثل الحوار، وبناء الثقة، وتبادل المعرفة، والتفكير والعمل غير الخطي المتكامل. وما تزال هناك حاجة إلى مزيدٍ من التفكير حول التحوّل الشامل في أنماط الاستهلاك، وخاصة الانتقال من سلاسل القيمة الدائريّة إلى سلاسل القيمة المتجددة، ومع

ذلك، يعد الكتاب تحليلًا مهمًا لبناء إستراتيجية الحياد الصفري من خلال تحسين الشراكة بين الصناعة والجامعة. والأهم من ذلك، أنه يركز على الأساسيات اللازمة للتحويل من القيادة الفكرية إلى العمل من خلال اعتماد مبادئ التصميم المشترك، الذي يعتمد على التجريب والتعلم، مع تقديم أمثلة واضحة لممارسات التنفيذ وإعداد التقارير وقياس التقدم.

لا يوجد طريقٌ واحدٌ لتحقيق الحياد الصفري، ولا توجد بالتأكيد تقنيةٌ سحريةٌ قادرةٌ على حلّ جميع التحديات، خصوصًا في ظلّ غياب الحوكمة الجيدة والموجبات الاقتصادية.

يُعد كتاب (الطريق إلى الحياد الصفري: إستراتيجيات تحويل الأعمال نحو الاستدامة) بمنزلة نافذة توضح كيفية تطوير شركة بي إم دبليو لإستراتيجيتها في الاستدامة منذ عام 1973؛ إذ كانت أول شركة سيارات على مستوى العالم تضيف منصب مسؤول البيئة إلى هيكلها التنظيمي. يقدم هذا الكتاب دليلًا عمليًا مليئًا بالتجارب الواقعية والأفكار حول كيفية وضع إستراتيجية لتحقيق الحياد الصفري، في ظل التحديات والتعقيدات التي تواجه الشركات في القرن الحادي والعشرين. يبرز هذا الكتاب إمكانية وجود حوارٍ مثمرٍ بين شركة تصنيع السيارات والجامعة المبتكرة؛ حيث يمكنهما التعاون في مجموعة من البرامج التي تركز على التحويل الصناعي وتلبية احتياجات المجتمع. يأتي ذلك برغبةٍ مشتركةٍ في معالجة القضايا المعقدة والتعلم سويًا أثناء السعي نحو تحقيق أهداف الحياد الصفري.

أشار أوريليو بيتشي، رجل الصناعة الإيطالي ومؤسس نادي روما، في مقدمته لتقرير (لا حدود للتعلم: سد الفجوة البشرية) المقدم إلى نادي روما في عام 1979، إلى أن «التعلم المبتكر يعد وسيلة حيوية لإعداد الأفراد والمجتمعات للتعاون في مواجهة التحديات الجديدة، خصوصًا تلك التي أنشأتها البشرية. يمكننا أن نؤكد أن التعلم المبتكر يعد شرطًا أساسيًا لا غنى عنه لمعالجة القضايا العالمية».

يتناول هذا الكتاب فكرة تبادل الخبرات ويعكس تقليدًا في التعلم المبتكر. إنه يمثل دورة إيجابية من التغيير، حيث نخصص وقتًا كافيًا لتوثيق النجاحات والإخفاقات. نحن نعمل على جمع الخبرات والشهادات وتبادلها لضمان تعلم ما هو ضروري. وقد أشار «أوريليو بيتشي» إلى أهمية «تعلم ما يلزم لإتقان ما يجب تعلمه»، ومن المهم أن نذكر أن «بيتشي» كان رجل صناعة يدرك قيمة الابتكار وإجراء تغييرات جذرية كعوامل أساسية لتحقيق التقدم البشري، وحين أدلى بهذه الكلمات الحكيمة قبل نحو خمسين عامًا، كان مُدرِّكًا بالفعل لضرورة التعلم السريع في زمن يتسم بالضغط.

ليس لدينا اليوم الوقت لنرتكب الأخطاء في مسيرتنا نحو الحياد الصفري. يستند كتاب (لا حدود للتعلم) إلى تقرير نادي روما الأساسي (حدود النمو)، الذي صدر في عام 1972، وأوضح أن النمو الاقتصادي لا يمكن أن يستمر بالوتيرة والحجم المتوقعين دون تجاوز حدود كوكب الأرض. من الممكن حدوث نقاط تحول حادة خلال عشرينيات القرن الحالي. ونحن الآن، بعد خمسين عامًا، في خضم مجموعة من التحولات الاجتماعية والبيئية، محاطين بأزمة متعددة الأوجه؛ حيث تزداد الحاجة إلى حلول سريعة. ومع ذلك، نحن مدركون أن أي قرار نتخذه اليوم ستكون له آثار خطيرة على المدى الطويل. على سبيل المثال، بدل التحول التدريجي من الاعتماد على الغاز الروسي نحو مصادر من إفريقيا أو الشرق الأوسط بسبب الغزو الأوكراني، ينبغي أن نركز على التخلص من الطاقة الأحفورية، وزيادة استثماراتنا في مصادر الطاقة المتجددة، وتدابير الكفاءة.

كيف يمكننا التأكيد على أن ردود أفعالنا السريعة، التي تُعد قصيرة المدى، تتماشى مع جميع جوانب المجتمع، بدءًا من القرارات السياسية وصولًا إلى قرارات الأعمال، لتكون عاملًا أساسيًا في تعزيز قدرتنا على الصمود طويل الأمد أمام الصدمات والضغوط المستقبلية؟ هذا الأمر ضروري ليس فقط لمواجهة التحديات المتزايدة الناتجة عن التغيير

المناخي، بل أيضاً للتصدي للحروب، وعدم الاستقرار الديمقراطي والجيوسياسي، وهجرة الشعوب، والانقطاعات الكبيرة في سلاسل التوريد. كيف يمكننا جميعاً الاستمرار في جهودنا نحو تحقيق الحياد الصفري، رغم وجود العديد من التحديات والاهتمامات قصيرة المدى؟

تؤدي الجامعات والنظم البيئية الصناعية دوراً محورياً في المجتمع المعاصر، حيث تمثل مصدراً للإلهام في مجالات التحول. من الضروري أن نتبنى قيادة جريئة، ونبدأ حوارات صادقة، لضمان استمرارية هذه الحلقة الإيجابية من التغيير.

التحدي الحالي هو تحويل الحكمة الموجودة في هذه الصفحات - أي الجزء المتعلق بـ «التعلم» - إلى تطبيق عملي. وهذه دعوة لمؤلفي هذا المنشور، أوليفر زيبسه ويواكيم هورنيجر، بصفتهم قادة في مجالاتهم: استفيدوا من عمق البصيرة التي اكتسبتموها لتغيير مؤسساتكم، وسلاسل القيمة، والنظم الإيكولوجية على مستوى العالم.

وللمضي قدماً في الاتجاه الصحيح؛ يتعين علينا مواجهة تحدياتنا العالمية بحزم؛ فهي تمثل تجربة تحول أساسية في عصرنا. دعونا نعمل على تحويل تحدي المناخ من خطر وجودي جسيم يهدد الإنسانية إلى فرصة عظيمة لكل من البشرية وكوكب الأرض وسبل الازدهار.

ساندرين ديكسون ديكلوف:

الرئيسة المشاركة لنادي روما، ورئيسة مجموعة العمل المعنية بالآثار الاقتصادية والاجتماعية للبحث والابتكار، والمديرة العامة للبحث والابتكار في المفوضية الأوروبية، وعضوة المجلس الاستشاري للتنقل المستدام في شركة بي إم دبليو - ميونخ، ألمانيا.





الشكر والتقدير

نيابةً عن المحررين، نعبر عن امتناننا لإتاحة الفرصة لتوحيد وجهات النظر المتعددة والجوانب الملهمة المتعلقة بتحوّلات الأعمال المستدامة في هذا المجلّد. ويمثّل هذا العمل جهداً مشتركاً بين الأوساط الأكاديمية والصناعية، ويسلّط الضوء على تساؤلات مهمّة في الطريق إلى الحياض الصفري.

أولاً، نودّ أن نعبر عن شكرنا العميق لكلّ المسهمين الرئيسيين في هذا المجلّد المحرّر. إن خبراتكم وتجاربكم، التي هي ثمرة الأبحاث المتخصصة والممارسات التجارية العميقة، أسهمت إسهاماً كبيراً في إثراء هذا العمل. وإضافةً إلى جمع جوانب البحث المهمّة، فإن استعدادكم لمشاركة آرائكم حول التحوّل في الأعمال نحو الاستدامة في كل فصل قد قدّم رؤى قيّمة ستساعد القراء على فهم تعقيدات السعي نحو مستقبل آمن.

كما نعبر عن خالص امتناننا للأفراد الدؤوبين الذين يعملون خلف الكواليس: المراجعين الداخليين والخارجيين، ومقدّمي الملاحظات، والمحرّرين، والمصمّمين، وفريق النشر، الذين خصّصوا وقتهم وفطنتهم النقدية واهتمامهم الدقيق بالتفاصيل.

ولم يكن لهذا المجلّد المحرّر أن يكتسب طابعه المميّز لولا دعم «ساندرين ديكسون ديكلف»، الرئيسة المشاركة لنادي روما. لقد أضفت

مقدّمتها نبرةً خاصة على هذا العمل؛ إذ حفّزت القراء بوجهات نظرها العميقة، وأبرزت أهمية التعاون في بناء مستقبل الحياد الصفري. نعتزّ بحكمتها وخبرتها ومشورتها في الصفحات الأولى من هذا الكتاب.

وأخيراً، نوّد أن نعبر عن شكرنا لكم، وللقراء، وللمجتمع الأوسع المعنّي بالاستدامة. فهذا المجتمع الحيوي، بما في ذلك الأصوات النقدية، يسهم على الدوام في دفع البحث والممارسات إلى الأمام. ونحن ممتّنون لمشاركتكم إيّانا هذه الرحلة التعليمية المشتركة.

مع خالص الامتنان....

المحررون:

أوليفر زيبسه ويواكيم هورنيجر وتوماس بيكر وماركوس بيكمان
ومايكل بنجش وإيرين فيج وماركوس شوبر





نبذة عن هذا الكتاب

لم تعد الاستدامة مجرد اتجاه أو خيار للعملاء أو هدف سياسي، بل أصبحت المعيار الجديد الذي ينسجم مع الأهداف والإستراتيجيات في صناعة السيارات. وللبدء في التحول نحو الاستدامة؛ يجبُ على الشركات اتّباع منهج إدارة يعتمد على المعرفة، ودمج تخصصات متنوعة. هذا الكتاب هو ثمرة مناقشات عميقة وثرية بين قادة بارزين من كلِّ من الأوساط الأكاديمية والصّناعيّة الذين يتعهّدون جماعيًّا بدفع عجلة التحوُّل نحو الاستدامة في قطاع السيارات.

وإدراكًا لأهمية تطوير إستراتيجيات تحويل الأعمال نحو الاستدامة التي تتطلب مسارات رائدة وشراكات قوية بين الجامعات والصناعات (الفصل الأول)؛ يبدأ كلُّ مسارٍ لتحقيق الحياد الصفري من خلال تحديد مسار الحياد الصفري (الفصل الثاني)، وذلك عبر تحويل المعرفة المناخية إلى أهدافٍ سياسيّة ومؤسّسيّة قابلة للتنفيذ.

إنَّ السَّعيَ نحو تحقيق أهدافٍ مناخية طموحة يقودُنا إلى المرحلة التّالية، وهي تطوير إستراتيجيات استدامة الشركات (الفصل الثالث)، وتعزيز مستقبل الإفصاح عن الشركات (الفصل الرابع). بعد ذلك، تمتد هذه الرحلة التحويليّة عبر سلسلة القيمة لتتناول مواضيع مثل تطوير منتجات مستدامة (الفصل الخامس)، وتحويل سلاسل القيمة

لتحقيق الاستدامة (الفصل السادس)، والبحث عن الاستدامة في عمليّات التصنيع (الفصل السابع).

وعلى مدار هذا الطريق نحو تحقيق الحياد الصفري، تبرز أهميّة الابتكار التكنولوجي (الفصل الثامن) الذي يتجلّى في صناعة السيارات، ويتضمن، من بين أمور أخرى، قدرات أنظمة القيادة الجديدة.

وأخيراً، تمثل نهاية كلّ طريق بداية عصر جديد، كما يتضح في (الفصل التاسع) الطريق إلى الحياد الصفري وما بعده.

يقدم هذا الكتاب تجميعاً شاملاً لمحدثات الخبراء المكثّفة، وأسئلة إرشاديّة محوريّة تهدف إلى تعزيز التحول نحو الاستدامة.

ويُعد هذا الكتاب - أيضاً - قراءة أساسيّة لصانعي القرار والإستراتيجيين ومطوري الأعمال والمواطنين المشاركين والمعلمين، حيث يوفر رؤى قيمة تساعد في التوجه نحو مستقبل أكثر استدامة.





تعريف بهيئة المحررين والمشاركين

المحررون:

الأستاذ الدكتور المهندس أوليفر زيبسه:

يشغل منصب رئيس مجلس إدارة شركة بي إم دبليو المساهمة منذ عام 2019. التحق بالشركة في عام 1991، وتولى عدّة مناصب في مجالات التطوير، والتخطيط الفني، والإنتاج في كلٍّ من ميونيخ، وجنوب إفريقيا، والمملكة المتحدة. حصل على درجة الدبلوم في الهندسة من جامعة (دار مشتات التقنية)، وماجستير إدارة الأعمال التنفيذي من جامعة (WHU) كوبلنز وكلية كيلوغ للإدارة في إيفانستون بالولايات المتحدة الأمريكية، كما يشغل منصب أستاذ شرفي في جامعة ميونيخ التقنية.

الأستاذ الدكتور المهندس يواكيم هورنيجر:

يشغل منصب رئيس جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ (FAU) في ألمانيا. شغل سابقاً منصب رئيس كرسي التعرف على الأنماط في كلية الهندسة بالجامعة نفسها. وخلال مسيرته المهنية، عمل باحثاً زائراً في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) وقسم علوم الحاسوب بجامعة ستانفورد، بالإضافة إلى نشاطه البحثي، شغل عدة مناصب في مجال التكنولوجيا الطبية بشركة سيمنز للحلول الطبية.

الدكتور توماس بيكر:

يشغل منصب نائب الرئيس للاستدامة والتنقل في شركة بي إم دبليو المساهمة في ألمانيا. حصل على درجة البكالوريوس في إدارة الأعمال من جامعة كولونيا بألمانيا، ثم أكمل دراسته لنيل درجة الدكتوراه من جامعة ويتن/هيرديكه بألمانيا. قبل انضمامه إلى بي إم دبليو، شغل منصب مسؤول عن سياسة البيئة في اتحاد الصناعات الألمانية (BDI)، ثم نائب المدير العام للجمعية الألمانية لصناعة السيّارات (VDA).

الأستاذ الدكتور ماركوس بيكمان:

يشغل منصب رئيس كرسي إدارة استدامة الشركات في جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن - نورنبرغ (FAU) في ألمانيا. قبل انضمامه إلى الجامعة، عمل أستاذًا مساعدًا لريادة الأعمال الاجتماعية في مركز إدارة الاستدامة بجامعة لوفانا في لونيورغ بألمانيا. تتركز أبحاثه حول إدارة الاستدامة، وريادة الأعمال الاجتماعية، وأخلاقيات الأعمال، والمسؤولية الاجتماعية للشركات.

مايكل بينفش:

يعمل في قسم الإستراتيجية المؤسسية للاستدامة والتنقل في شركة بي إم دبليو المساهمة في ألمانيا.

حصل على شهادة في الهندسة الكهربائية وهندسة الحاسوب من الجامعة التقنية في ميونيخ.

الدكتورة إيرين فيج:

تشغل منصب رئيسة إستراتيجية المناخ والاقتصاد الدائري في شركة بي إم دبليو المساهمة في ألمانيا. حصلت على درجة البكالوريوس في الاقتصاد من جامعة فيينا للاقتصاد والأعمال، وأكملت دراسة الدكتوراه في الاقتصاد بجامعة إنسبروك، مع إسهامات بحثية في كل من كامبريدج

(الولايات المتحدة)، وبكين، وشنغهاي. وخلال مسيرتها المهنية في شركة بي إم دبليو، شغلت عدة مناصب في مجالات الإستراتيجية المؤسسية، والاتصالات، والبحوث.

ماركوس شوبير:

يعمل في مجال استشارات الإستراتيجيات لصناعة السيارات، كما يُعد رائد أعمال في مجال الشركات الناشئة. عمل - سابقًا - مديرًا للعلاقات بين الجامعة والصناعة في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ (FAU) بألمانيا. حصل على درجة الهندسة الصناعية وإدارة الأعمال من جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ، وجامعة شرق الصين للعلوم والتكنولوجيا في شنغهاي.

المشاركون:

جينيفر أدولف:

باحثة مشاركة حاصلة على درجة الماجستير في كرسي إدارة استدامة الشركات بجامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ بألمانيا.

الدكتور توماس بيكر:

نائب الرئيس للاستدامة والتنقل في شركة بي إم دبليو المساهمة في ميونيخ بألمانيا.

الأستاذ الدكتور ماركوس بيكمان:

رئيس كرسي إدارة استدامة الشركات في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ بألمانيا.

الدكتور لوثر تسايا:

باحث ما بعد الدكتوراه في كرسي الإدارة الصناعيّة بجامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ بألمانيا.

الدكتورة إيرين فيج:

رئيسة إستراتيجية المناخ والاقتصاد الدائري في شركة بي إم دبليو المساهمة في ميونيخ بألمانيا.

الأستاذ الدكتور توماس م. فيشر:

رئيس كرسي الحاسبة والرّقابة الإدارية في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن-نورنبرغ، بمدينة نورنبرغ في ألمانيا.

الأستاذ الدكتور المهندس يورغ فرانك:

رئيس معهد أتمتة المصانع وأنظمة الإنتاج في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ، بمدينة إرلنغن في ألمانيا.

الأستاذة الدكتورة فيرونیکا جريم:

رئيسة كرسي النظريّة الاقتصادية في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ في نورنبرغ بألمانيا.

الدكتور يورغن غولدنر:

مدير البرنامج العام لتكنولوجيا الهيدروجين في شركة بي إم دبليو المساهمة في ميونيخ بألمانيا.

الأستاذ الدكتور المهندس نيكو هانينكامب:

رئيس معهد آلات الإنتاج الموفرة للموارد والطاقة في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ في فويرث بألمانيا.

الأستاذ الدكتور المهندس يواكيم هورنبرغ:

رئيس جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ في إيرلنغن بألمانيا.

ثورستن إين:

باحث مشارك، حاصلٌ على درجة الماجستير في معهد أتمتة المصانع وأنظمة الإنتاج بجامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ في إيرلنغن بألمانيا.

الدكتور بيتر لامب:

المدير العام لتكنولوجيا خلايا البطارية وخلايا الوقود في شركة بي إم دبليو المساهمة في ميونيخ بألمانيا.

لينا ريس:

باحثة مشاركة في كرسي إدارة استدامة الشركات بجامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ في نورنبرغ بألمانيا.

ماركوس شوبير:

حاصل على درجة الماجستير، ويعمل مديرًا للعلاقات بين الجامعة والصناعة في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ في إيرلنغن بألمانيا.

جوناثان تاونيند:

رئيس قسم المحاسبة وإعداد التقارير والضرائب في شركة بي إم دبليو المساهمة في ميونيخ بألمانيا.

الأستاذ الدكتور كاي إنغو فويت:

رئيس كرسي الإدارة الصناعيّة في جامعة فريدريش ألكسندر إرلنغن - نورنبرغ في نورنبرغ بألمانيا.

الأستاذ الدكتور المهندس ساندرا وارتراك:

رئيس قسم التصميم الهندسي في جامعة فريدريش ألكسندر إيرلنغن - نورنبرغ في إيرلنغن بألمانيا.

الأستاذ الدكتور بيتر واسرشايد:

رئيس كرسي الهندسة الكيميائية (قسم هندسة التفاعلات) في جامعة فريدريش ألكسندر إيرلنغن - نورنبرغ في إيرلنغن بألمانيا.

الأستاذ الدكتور أوليفر زيبسه:

حاصل على دبلوم الهندسة، ويشغل منصب رئيس مجلس إدارة شركة بي إم دبليو المساهمة في ميونيخ بألمانيا.

الأستاذ الدكتور غريغور زوتل:

رئيس كرسي الاقتصاد (التنظيم الصناعي وأسواق الطاقة) في جامعة فريدريش ألكسندر إيرلنغن - نورنبرغ في نورنبرغ بألمانيا.



1

المسارات الرائدة

الجامعات والصناعة شركاء
في التعلم على الطريق إلى
الحياد الصفري

1.1 نهج تعاوني:

يجسّد هذا الكتاب تجربة مشتركة تهدف إلى تعزيز العلاقات بين الجامعات والصناعات، بمشاركة مؤسسات مثل بي إم دبليو، وجامعة فريدريش ألكسندر (FAU). لطالما كانت لدينا علاقات قوية وموثوقة بين الخبراء في مؤسساتنا حتى قبل تولينا الأدوار القيادية. لقد تعاون العاملون في بي إم دبليو وجامعة فريدريش ألكسندر في عدة مشاريع بحثية، وفي توجيه الطلاب، وإقامة محاضرات يُلقِيها متخصصون بارعون وفي تقديم الاستشارات وتبادل الكفاءات، وفي عديد من الأنشطة الأخرى. إننا نثمّن هذه الأشكال المتعددة من التعاون المستندة إلى الخبرات الفردية، لكننا نعتقد أنه يمكن، بل يجب أن نحقق مزيدًا من ذلك.⁽¹⁾

هل يمكننا توسيع تعاوننا للتعامل مع أحد أبرز التحديات في عصرنا، وهو التحول المستدام للمنظمات؟ وهل يمكننا ابتكار تجربة

(1) ج. هورنجر

جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ، ألمانيا

البريد الإلكتروني: praesident@fau.de

أوليفر زيبسه

ميونيخ، ألمانيا

© المؤلف (المؤلفون) 2023

أوليفر زيبسه وآخرون (محررون)، الطريق إلى الحياد الصفري - https://doi.org/10.1007/978-3-031-42224-9_1

3-031-42224-9_1

ملهمة وشاملة لعديدٍ من الأشخاص؟ بدأنا بفكرة بسيطة، ولكن برؤية مستدامة، وبأسلوب غير رسمي يحقق نتائج قابلة للقياس. استخدمنا منهجيات عملية تجمع بين الدقة العلمية والأهمية العملية. والأهم من ذلك، دعونا الآخرين للانضمام إلينا في رحلتنا نحو «الطريق إلى الحياد الصفري». حان وقت اتّخاذ هذه الخطوة الآن، فلا تتردّد في السعي لتحقيق أهداف أعلى، وكن مصدر إلهام.

1.2 كن ملهمًا:

تطوّرت أفكارنا خلال غداء العمل. تساءلنا عن مدى روعة أن تكون فرقنا جزءًا من نقاشاتنا، وأن تشارك في الرحلة، لتستفيد من نفس الإلهام والتعلم الذي شهدناه في غدائنا الأول. وخطوة أولى، دعونا مجموعة من الخبراء من جميع أنحاء منظماتنا للمشاركة في سلسلة من النقاشات حول المواضيع المتعلقة بتحول الأعمال نحو الاستدامة، مع وضع مهمة صافي الانبعاثات الصفريّة في الحساب. كان من المهم رؤية مستوى الاهتمام والمشاركة، ورغم تحديات الوباء، أجريت تسع محادثات على مدار عام 2021.

- افتتح الأستاذ الدكتور المهندس «إنغ يواكيم هورنيجر» رئيس جامعة فاو إيرلانغن - نورنبرغ، سلسلة من الحوارات بتناول موضوع التعاون بين الأوساط الأكاديمية والصناعة لمواجهة التحديات العالمية المتعلقة بالاستدامة.
- شاركت الأستاذة الدكتورة «فيرونيكا جريم»، رئيسة قسم النظرية الاقتصادية في جامعة فريدريش ألكسندر، وعضو المجلس الألماني للخبراء الاقتصاديين، في نقاش حول السياسات المناخية الضرورية لتحقيق أهداف اتفاقية باريس.

- بدأ الأستاذ الدكتور «ماركوس بيكمان»، رئيس مجلس إدارة استدامة الشركات، محادثة حول الاستدامة في إستراتيجيات الشركات، وركز الأستاذ الدكتور توماس فيشر، رئيس قسم المحاسبة والرقابة الإدارية، على إعداد تقارير الاستدامة المتكاملة.
 - استعرض الأستاذ الدكتور المهندس «إنغ ساندر وارتزاك»، رئيس معهد تصميم الهندسة، مفهوم الاستدامة في مجالات تطوير المنتجات.
 - ركز الأستاذ الدكتور «كاي إنغو فويت»، رئيس مجلس الإدارة الصناعية، على أهمية الاستدامة في عمليات سلسلة التوريد.
 - شارك الأستاذ الدكتور المهندس «نيكو هانينكامب»، رئيس معهد آلات الإنتاج الموفرة للموارد والطاقة، في نقاش حول مفهوم الاستدامة في عمليات الإنتاج.
 - ركز الأستاذ الدكتور المهندس «يورغ فرانك»، رئيس معهد أتمتة المصانع وأنظمة الإنتاج، على أهمية مستقبل التنقل الإلكتروني، وتحدث في هذا السياق.
 - قدّم الأستاذ الدكتور «بيتر واسرشايد»، رئيس معهد هندسة التفاعل الكيميائي ومدير معهد هيلمهولتز «إرلانغن نورنبرغ»، تجربته حول الهيدروجين (H₂) بصفته وقودًا للمستقبل.⁽¹⁾
- كانت المناقشات ماثعة حقًا للجميع، وحرصنا على توثيقها. في البداية، نشرنا بعض المقتطفات القصيرة على موقع بي إم دبليو

(1) مثل مجموعة BMW البروفيسور أوليفر زيبسه، رئيس مجلس إدارة شركة بي إم دبليو المساهمة، الذي انضم إليه:

الدكتور توماس بيكر، نائب رئيس الاستدامة والتنقل
جوناثان تاويند، رئيس قسم المحاسبة وإعداد التقارير والضرائب في المجموعة
الدكتور بيتر لامب، مدير البرنامج العام لتكنولوجيا خلايا البطارية وخلايا الوقود
الدكتور يورغن غولدرن، مدير البرنامج العام لتكنولوجيا الهيدروجين

الإلكتروني، وقد شَجَّعَتْنَا التعليقات التي حصلنا عليها على الاستمرار. لذلك، قَرَّرْنَا نشر المحتوى مع إضافة بعض السِّياقات الإضافية؛ بهدف إلهام الآخرين للانضمام إلى رحلتنا لتحسين أدائنا، والتعمق في المواضيع، والمشاركة، وتوسيع نطاق العمل.

يحقّق لنا هذا الكتاب الهدف المنشود؛ حيث إنّه لا يهدف إلى الوصول إلى الحياد الصفري مباشرةً، بل يوضح أهميّة إسهاماتك والنّقاشات العميقة والتعاون والالتزام بصفتها خطوات أساسيّة. لا يقدم الكتاب حلًّا فوريًّا للتحديات التي نواجهها في عصرنا، وقد يبدو أحيانًا أنه يتناول الأمور تناوّلًا سطحيًّا، لكنه يسعى لتحديد المسار نحو الحياد الصفري، وتعزيز المشاركة الجماعية. ولا يعد هذا الكتاب بيانًا سياسيًا من بي إم دبليو أو جامعة فريدريش ألكسندر (FAU)، بل هو عبارة عن مجموعة من محادثات الخبراء التي نُظِّمَت ونُقِّحَت، مصحوبة ببعض الأفكار الأساسيّة ومكملة بأفكارنا حول الخطوات المقبلة.

يمكن أن تُشكّل هذه المحادثات تمهيدًا لتطوير علاقات بين الصّناعة والجامعة، بدءًا من البحث عن توافق في المجالات أو ما يمكن أن نسميه بـ(التعارف السّريع لربط الأفكار) بين الخبراء من كلا الطرفين - الأكاديميين والصّناعة - الذين يتحرّكون نحو هدف مشترك، ويسعون جاهدين لتوسيع معرفتهم. تساعد هذه المحادثات في بناء علاقات مبنية على الثقة، ونفتح المجال لمناقشات أعمق، ونقد بناء متبادل، ومشاريع واعدة، وخطوات مشتركة تقربنا نحو تحقيق الحياد الصفري.

انطلقت محادثتنا من قلقٍ مشتركٍ إزاء تغيّر المناخ. ونفتح أمام القارئ هنا أول حوار يعكس تبادل رؤانا، حيث يسعى إلى التعارف، واستكشاف مواقفنا والتزاماتنا، وبناء فهم مشترك يضع أسس التكامل المؤسسي. وخلال هذا المسار، بدأنا نكتشف معًا طريقًا كان يُنظر إليه سابقًا بوصفه تصورًا نظريًا فحسب، ليتحوّل إلى تجربة ثرية وملهمة،

وأحياناً باعثة على التشجيع. وقد تبلور في هذا السياق شغفٌ مشترك بالتعاون المفتوح القائم على مواجهة التحديات، واهتمامٌ بدور القياس العلمي وما ينطوي عليه من فرص ومخاطر، إلى جانب ثقةٍ بقدرة مؤسساتنا على العمل المشترك في التصدي لتحديات الاستدامة.

1.3 محادثة الخبراء حول توحيد القوى من أجل التحول القائم على الاستدامة:

هورنيجر: يعد تغير المناخ مسألة مهمة تؤثر في حياة عديدٍ من الأفراد وعلينا التعامل معها لضمان استمرار الحياة على كوكب الأرض كما هي اليوم. وتقع على عاتقنا جميعاً مسؤولية، وخاصة أولئك الذين يتولون قيادة الشركات أو الجامعات أو مجتمعات أكبر. تتميز جامعة فريدريش ألكسندر ومجموعة بي إم دبليو بكونهما قادة في مجال الابتكار، فضلاً عن تميزهما في قضايا حماية المناخ والاستدامة، حيث تلعب بي إم دبليو دوراً ريادياً في صناعة السيارات.

أود أن أسأل السيد زيبسه: في أي لحظة أدركت أن هذه كانت فرصة كبيرة، وفي الوقت ذاته تحدياً كبيراً للغاية؟

زيبسه: أستاذ هورنيجر، أشكر على الفرصة التي منحتني للتحديث معك اليوم. لقد كانت الاستدامة جزءاً أساسياً من هوية شركة بي إم دبليو على مدى سنوات طويلة، وقد عُيِّن أول مدير للاستدامة لدينا في السبعينيات، فقد كان التركيز آنذاك على تأثير عمليات الإنتاج على البيئة. في عام 2008/2009، أطلقنا منتجاً جديداً، وهو i3، الذي صُمم ليكون مستداماً كلياً، ومن هنا بدأت المرحلة التالية، حيث دُمجت الاستدامة في جوهر إستراتيجية بي إم دبليو. واليوم نواصل تعزيز دورنا الريادي؛ فالمسألة ليست مجرد «منتج»؛ بل تشكّل الاستدامة أساس إستراتيجية شركتنا.

هورنيجر: ما الذي يدفع هذا التطور؟

زيبسه: لا يقتصر الحديث عن الاستدامة على تغيّر المناخ وحده، رغم أهميته، بل يتجاوز ذلك إلى قضايا أوسع. فمحدودية الموارد تفرض على الشركات الكبرى، ولا سيما في قطاع صناعة السيارات، أن تعيد بناء وعيها بكيفية استخدام هذه الموارد وإدارتها بكفاءة أعلى. ومع التقدّم التقني المتسارع، أصبحت أدوات القياس أكثر انتشارًا وتيسّرًا، مستفيدة من تطوّر أجهزة الاستشعار وانفتاح آفاق الرقمنة، الأمر الذي أتاح مستويات أعلى من الوضوح والشفافية في فهم العمليات واتخاذ القرارات.

ترتبط الاستدامة ارتباطًا وثيقًا بالشفافية، وهذه بعض الأسباب التي دفعتنا للخطوة التالية في إستراتيجيتنا للاستدامة.

تمثل الاستدامة قضية تؤثر في جميع جوانب المجتمع على مستوى عالمي، حيث تشمل جميع الدول، ويُعد العلم والتقدم العلمي من العناصر الأساسية لفهم المعاني الحقيقية للاستدامة وآثارها وخصائصها النظامية، فما الدور الذي يمكن أن تلعبه المعرفة، وخصوصًا جامعة فريدريش ألكسندر، في تعزيز التقدم وفهم مفهوم الاستدامة بطريقة صحيحة؟

هورنيجر: هذا سؤال مثير للاهتمام حقًا، إذ إنّ الاستدامة ليست مجالًا محددًا للبحث يمكن تناوله في قسم واحد فقط، بل هي قضية تتعلق بالجامعة بأكملها، وتظهر على مستويات متعددة. وعند النظر إلى الأبحاث الأساسية، نسعى لفهم الآليات الطبيعية الأساسية، التي لها تأثيرات كبيرة في الاستدامة، على سبيل المثال، كيف يمكن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية؟

زيبسه: إنّ فهم هذا السؤال مهم جدًا لمستقبل الطاقات المتجددة.

هورنيجر: صحيح، غير أن الفهم الأساسي وحده لا يكفي. فالانتقال إلى مستوى أعمق يقتضي توظيف المعرفة المتولّدة عن الأبحاث الأساسية في تصميم تقنيات جديدة وتطوير حلول مبتكرة للمشكلات العملية. نعمل عندئذٍ على بناء الأنظمة واستحداث تقنيات متقدمة، مثل تخزين الهيدروجين عبر آليات كيميائية. ومع الاقتراب من التطبيق العملي، يبرز الجانب الهندسي بوصفه محورًا أساسيًا، حيث ينصبّ الاهتمام على توسيع نطاق التقنيات الناجحة وجعلها قابلة للاستخدام الصناعي. ويبرز كذلك بُعدٌ لا يقل أهمية، وتمثل معالجته إحدى السمات المميّزة لجامعة فريدريش ألكسندر، ويتمثل في التفكير التحليلي العميق في الآثار الأوسع لهذه التقنيات، من حيث تأثيرها الاقتصادي وانعكاساتها الاجتماعية ودورها في إعادة تشكيل أنماط الحياة والتفاعل الإنساني. وتمتلك الجامعة خبرات متكاملة عبر هذه المستويات المختلفة، ما يمكّنها من دعم شركائها الصناعيين في تلبية احتياجاتهم ومواجهة التحديات التي يواجهونها.

زيبسه: هل يمكن أن تشير إلى العبارة التي تعبّر عن أن «واحدًا زائد واحد يساوي ثلاثة» عند دمج أنشطتنا؟

هورنيجر: بالطبع، يمكنني المبالغة قليلاً بالقول: «واحد زائد واحد يساوي أحد عشر» [ضحك]... فمجرد النظر إلى قوة الهندسة الألمانية في الصناعة، وإلى ما تمتلكه جامعتنا من إمكانيات، يوضح الصورة. فنحن في جامعة فريدريش ألكسندر لا نعمل في عزلة، بل نتعامل مع المشكلات ضمن سياقاتها الأوسع، ونتبنى تفكيراً شمولياً يقوم على بناء الأنظمة وتحليل آليات عملها وآثارها. ويُعد هذا النهج المتكامل أحد مصادر قوة الجامعة، وقد نال تقدير عدد من شركائنا الصناعيين، كما يشكّل أساساً لقدرتنا الابتكارية.

زيبسه: تسعى ألمانيا، ولا سيما بافاريا، إلى ترسيخ موقعها بوصفها رائدة عالميًا في الابتكار الصناعي، ولا يقتصر ذلك على شركة بعينها، بل يشمل صناعة السيارات عمومًا. وتبرز هنا فرصة حقيقية عند التعامل مع الأنظمة شديدة التعقيد، سواء من حيث تصميمها أو فهم آليات عملها. ويمكن للبحث العلمي أن يؤدي دورًا محوريًا في تطوير طرائق تكامل هذه الأنظمة.

هورنيجر: تنسجم تجربتنا مع هذا الطرح، وأرى أن ذلك يُعد من أبرز نقاط القوة في منظومة التعليم الهندسي في ألمانيا.

زيبسه: فلنستثمر هذه الميزة إذن.

هورنيجر: فلنستثمرها إذن. أودّ أن ننقل إلى مسألة دمج الاستدامة في إستراتيجية شركتكم. من المؤكد أن هذا المسار لم يخلُ من تحديات عند طرحه داخل الشركة. برأيك، ما التحدي الأبرز الذي واجهته بي إم دبليو في التعامل مع الاستدامة بوصفها جزءًا من استراتيجيتها العامة؟

زيبسه: ما زالت البدايات حاضرة في ذاكرتي؛ فقد انضمت إلى الشركة منذ 30 عامًا، ومنذ حوالي 20 عامًا، بدأ النقاش حول كيفية دمج الاستدامة مع السيارات الرّياضيّة. في البداية، كان يبدو أن الفكرة متناقضة، ولكننا طورنا مصطلح «الديناميكيات الفعالة»، وبالفعل، كانت لدينا سيارات ديناميكيّة للغاية، لكنها كانت أيضًا الأقلّ تلويثًا مقارنة بمنافسيها في الصناعة. وهكذا، وجدنا وسيلة لتحقيق التوازن بين الكفاءة والأداء الديناميكي في سيارتنا.

هورنيجر: إذن، بينما رأى الآخرون الكفاءة والديناميكية على أنهما تنازل متبادل، هل تمكنت من تحقيق المستحيل؟

زيبسه: أنا أوّمن بإمكانية دمج الأهداف المتضاربة ضمن إستراتيجية واحدة، وأرى أنه من الممكن أن نكون فاعلاً رئيسًا في الصناعة، مع

تقديم مساهمة فعالة في مجال الاستدامة. يرتبط ذلك ارتباطاً وثيقاً بالريادة، لكن التحدي الأكبر يكمن في كيفية التعبير عن هذا الأمر. إنَّ وعيك بأهمية الموضوع شيء، لكن القدرة على صياغته ووضعه ضمن إستراتيجية عملية هي العقبة الأكبر. إذا كان هناك إجراء حقيقي في هذا، فعند تطبيقه، ستظهر عديد من النسخ المتشابهة. يبدأ الناس في مناقشتها والتفاعل معها، وهذه مسؤولية كلِّ مدير: ليس فقط لفهم الموقف، بل أيضاً لبدء عملية التواصل... وهذا، بالمناسبة، هو سبب وجودنا هنا.

هورنيجر: بالتأكيد، التَّواصل هو الأساس، فأنت تعتمد على مشاركة جميع موظَّفيك، الذين يبلغ عددهم 120,000 شخص، لتبني هذا المفهوم، لذلك إنَّ عملية التحول تُعد رحلة طويلة.

كيف توجه موظَّفيك خلال هذه الرحلة؟ وكيف تجعلهم يدركون أنَّ هذا الهدف هو إحدى الركائز الإستراتيجية الرئيسة التي وضعتها؟

زيبسه: يشكِّل هذا، في تقديري، حجر الأساس في إستراتيجيتنا، ولا ينطوي على أي تناقض. فنحن نطمح إلى تصنيع أفضل السيارات في العالم، سيارات تجمع بين الأداء الديناميكي وتجربة القيادة المتميزة، مع الحد من الأثر البيئي. وجميع موظَّفينا جزء من هذه الرؤية الجديدة. غير أن تحويلها إلى واقع يتطلب دعمًا فعليًا، يقوم على الحوار المفتوح ومناقشة التفاصيل، لا على الاكتفاء بترويج الفكرة. فالتنفيذ يقتضي العمل المنهجي، وتحديد أهداف واضحة قابلة للتحقيق.

هورنيجر: لماذا يعد تحديد الأهداف أمرًا مهمًا للغاية؟

زيبسه: أقول دائماً إن «ما يُقاس يُنجز». ومن هنا تبرز أهمية وضع هدف واضح لعام 2030، لا الاكتفاء بعام 2050. فمن السهل الإعلان عن تحقيق الحياد الصفري بحلول عام 2050 وفقًا لاتفاق

باريس للمناخ، غير أن هذا الأفق الزمني لا يزال بعيداً، إذ يمتد لنحو ثلاثين عاماً. لذلك نرى ضرورة تحمّل المسؤولية والبدء في تحقيق تقدّم فعلي منذ اليوم. وقد حددنا بالفعل أهدافاً لعام 2030، مؤكدين أن الالتزام لا يقتصر على انبعاثات سياراتنا وحدها، بل يشمل أيضاً سلسلة التوريد، والإدارة، والعقود مع الموردين، وعمليات الإنتاج.

وتمتد أهدافنا لتشمل دورة حياة السيارة بأكملها، وهو ما ينعكس بوضوح في رؤيتنا. فإستراتيجيتنا تقوم على مبدأ «المبادرة تصنع الفرق»، ولا تقتصر على السيارة في ذاتها، بل تتجاوزها إلى ما يحيط بها من مراحل وعمليات.

هورنيجر: دعنا نتناول الرابط بين البحث العلمي والبحث الأساسي والجامعات. عند الحديث عن الاستدامة وعملية التحول، ما تزال هناك عديد من التساؤلات التي تحتاج إلى إجابات من خلال البحث العلمي، ويمكن للجامعات أن تلعب دوراً فعالاً في هذا المجال. إن الحرف «U» في كلمة جامعة (University) يرمز بطريقة ما إلى «الفهم» (Understanding)، حيث تعد جامعة فريدريش ألكسندر جامعة شاملة تضم مجموعة متنوعة من التخصصات، وكل تخصص يساهم برؤيته. ويمكنك التعليق على هذا الموضوع. ما هي توقعاتك بشأن التعاون بين الجامعات والصناعة؟

زيبسه: أرى أنه من الضروري بناء جسر يربط بين العلوم والتعليم والعالم الأكاديمي والإدارة، وليس فقط لأهداف تعليمية. فالإدارة في عصرنا الحالي تعتمد أكثر فأكثر على المعرفة العلمية. على سبيل المثال، عند البحث عن علاج لفيروس الكورونا، اتُّبِعَ منهجٌ يستند إلى الأدلة العلمية، حيث ترتبط الإدارة الجيدة دائماً بالمعرفة الصحيحة. من أين تأتي هذه المعرفة؟ ينشأ الكثير منها في الجامعات، وليس فقط من الأبحاث المخبرية، بل أيضاً من التفكير في كيفية عمل الأنظمة كلياً:

ماذا تعني الاستدامة في التقارير المالية؟ ماذا تعني الاستدامة في مجال التعليم؟ وما المقدار الذي ينبغي إنفاقه على البحث والتطوير للوصول إلى الحلول المناسبة؟ أعتقد أن هناك علاقة وثيقة وتداخل كبير بين العالم العلمي والإدارة.

هورنيجر: كيف يعمل هذا التداخل؟

زيبسه: أميل إلى فكرة فكرة الإدارة القائمة على العلم. فإستراتيجيتنا ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمبادرة تُعرف باسم «الأهداف القائمة على أسس علمية». وتنبع أهمية هذا التوجه من واقع أن عصرنا يتيح إمكانات واسعة للقياس، بما يسمح بربط القرارات الإدارية بنتائجها الفعلية على نحو واضح. وعلى هذا الأساس، لا تُقيّم الحلول الفاعلة بمعزل عن غيرها، بل تُقاس دائماً في ضوء الأدلة والمقارنة الموضوعية. ولهذا السبب أعمل، بصفتي عضواً في جمعية فراونهوفر، على مد جسور بين الإدارة والبحث العلمي. ومن المؤكد أن جامعة فريدريش ألكسندر اليوم تُعد رمزاً مهماً في بناء هذا الجسر، حيث يرتبط النجاح العلمي ارتباطاً وثيقاً بنجاح المؤسسة وفعاليتها.

هورنيجر: أوافقك الرأي، سيد زيبيسه. عند مراجعة جامعتنا، يتبادر إلى الذهن دائماً سؤال حول كيفية تحديد أهدافها. هل نركز على نتائج البحث؟ أم على البرامج التعليمية؟ أو على تقييم طلابنا لبرنامجنا التعليمي؟ هذه هي المعايير المعتادة التي نعتمدها لتحديد أهدافنا المستقبلية. ومن الجدير بالذكر أن بي إم دبليو ومجموعة بي إم دبليو قد جعلت الاستدامة جزءاً أساسياً من إستراتيجيتها، وهذا أمر سأحتفظ به في ذهني. سأبدأ أيضاً حوارات أعمق داخل مؤسستنا حول هدف جامعتنا في مجال الاستدامة وكيفية قياس ذلك.

زيبسه: هل تعتقد، مثلنا، أن هناك أهمية في وضع الأهداف وقياس مدى التقدم؟

هورنيجر: استوقفتني عبارتك «ما يمكنك قياسه يتقدم فعليًا»، وأعتقد أنه يعكس فكرة صحيحة بناءً على تجربتي. عند تحديد الأمور، يمكنك تتبع كيفية تطورها وما إذا كانت تسير في الاتجاه الصحيح. من المهم أن ندرك أننا في الجامعات لا نولي أهمية كافية لقياس الأداء وتحليل تقدمنا. أرى أن القطاع الصناعي يمكن أن يوفر لنا دروسًا قيمة في مجال الاستدامة؛ فطلابنا متحمسون للغاية ويعملون بجد على قضايا الاستدامة. لقد ابتكروا مفهومًا بيئيًا لجامعتنا وقدموه لمجلس الجامعة، الذي شجعنا على تنفيذه ودفعنا أيضًا لإنشاء مكتب أخضر لرصد الأهداف التي وضعوها واستكشاف خطواتنا المستقبلية.

زيبسه: يعد دعم الطلاب من القاعدة نحو القمة في مجال الاستدامة أمرًا ذا أهمية كبيرة.

هورنيجر: صحيح، تعد هذه الخطوات ضرورية لزيادة الوعي في نظام مثل جامعة فريدريش ألكسندر، حيث نضم حوالي خمسة عشر ألف موظف؛ ما يجعلنا ثاني أكبر جهة توظيف في المنطقة. نحن نتحمل مسؤولية كبيرة في مدن نورنبرغ وإرلانغن وفورث. أقدر مداخلتك في هذا السياق، كما أعتقد أن الاستدامة يمكن أن تكون دليلاً لنا في مجال البحث العلمي. فعلى سبيل المثال، ينشغل طلابنا بقضايا مثل التنقل الكهربائي وتحديات تكنولوجيا الهيدروجين وكيفية تطبيقها في أنظمة الدفع والطاقة المستقبلية. فما السبل التي تقترحها لتعزيز التعاون معنا على مختلف الأصعدة، بدءًا من البحث الأساسي وصولاً إلى مجالات الهندسة والتطبيق والتفكير؟

زيبسه: أودّ أن أبدأ بالتعليق على مقولة «لا تجيد الجامعات القياس». فالجامعات تمارس التقييم بصورة يومية، وهو في حدّ ذاته من أكثر أشكال القياس تعقيداً. بل إن القياس جزء راسخ من عملها الأكاديمي، إذ تعمل تقليدياً على تقييم أداء طلابها وتصنيفه. وما زلت أذكر كيف كانت الدرجات تمثل أحد أبرز التحديات، إذ كان النجاح الأكاديمي في النهاية مرتبطاً بتحقيق نتائج واضحة ومحددة.

هورنيجر: هذا مثير للاهتمام. لم أكن أدرك وجود تلك العلاقة سابقاً. أشكرك على هذا التعليق!

زيبسه: إذن، أنت على دراية بذلك بالفعل. دعني أستعرض أوجه التشابه بيننا. لدينا معاً ما بين أربعين إلى خمسين ألف طالب وموظف، مما يجعل هذه منظمة ضخمة. فعلى سبيل المثال، شركة بي إم دبليو تضم أكثر من 150,000 موظف على مستوى العالم. والسؤال الذي يطرح نفسه هو: كيف تُدار المنظمات الكبيرة؟ كيف تُحدّد الأهداف الواقعية؟ كيف يُتابع التقدم؟ كيف يُدار التغيير والتحول؟ هناك بعض القواعد التي يجب الالتزام بها لتحقيق النجاح.

هورنيجر: يُثير هذا فضولي. ما هذه القواعد؟

زيبسه: أرى أن نقطة الانطلاق الأساسية هي الشمولية. فالوصول إلى حلول فعّالة يستلزم إتاحة فضاء يضم مختلف الآراء ويستوعب تنوع الخبرات، ولا سيما في جامعة تتميز بثراء معرفي واسع. لم يعد من المجدي أن يحدد فرد واحد أو دائرة ضيقة مسار التغيير؛ فمثل هذا النهج، وإن طُبّق، لا يؤدي إلا إلى إبطاء التقدم.

ومن ثمّ تبرز الحاجة إلى آليات واضحة لاكتساب المعرفة وتجميع المعلومات، إلى جانب هياكل منظّمة لصنع القرار. وقد يبدو تنظيم المنتديات والاجتماعات عملاً روتينياً، لكنه في الواقع عنصر محوري في

إدارة التغيير. فالقضية لا تكمن في الحديث عن التغيير بعبارات عامة، بل في تحديد الكيفية التي يُتَّخذ بها القرار، والمكان الذي يُتَّخذ فيه، والجهات المشاركة فيه. وعندما تُدار منصات الحوار وصنع القرار إدارة رشيدة، ينعكس ذلك مباشرة على سرعة العمليات وفعاليتها.

هورنيجر: ماذا يأتي بعد ذلك؟

زيبسه: يتناول السؤال الثالث مسألة التواصل. فكلما اتسع نطاق التغيير وازداد وضوحه، تعاظم اهتمام المعنيين به، إذ يرتبط التفاعل بمدى الإحاطة بما يجري من تحولات. ومن هنا تتكامل أهمية التواصل الداخلي والخارجي في دعم مسار التغيير.

وتتيح البنية المتاحة اليوم قنوات متعددة لنشر المعلومات، تشمل وسائل التواصل الاجتماعي، والصحافة التقليدية، ووسائل الإعلام الداخلية. كما يضطلع أعضاء الفرق والموظفون بدور فاعل في تداول المعرفة ونقل المستجدات. وعند النظر إلى هذه المحاور مجتمعة، يتضح أن التعامل المتوازن معها، دون إغفال أي منها، يشكل شرطاً أساسياً لتعزيز فرص النجاح.

هورنيجر: هل ما زال هناك عنصر مفقود؟

زيبسه: في نهاية المطاف، من الضروري أن تكون لديك رغبة في العمل مع الناس، وهذا ينطبق على المديرين ورؤساء الجامعات على حد سواء. أرى أنه من المهم التفاعل مع العقول الشابة اللامعة، حيث يجب عليك تشجيعهم ودعمهم. أعتقد أن هذه العناصر أساسية للغاية.

لنعد إلى سؤالك. أرى أنَّ هناك العديد من الفرص للتعاون، خصوصاً في القسم الهندسي الذي يعتمد على التطبيقات التقنية. تعتمد الصناعة اعتماداً أساسياً على هذه التطبيقات. وفي الواقع، هناك ارتباط وثيق بين اكتشاف المعرفة والعمليات الأكاديمية والتطبيقات الهندسية في

القطاع الصناعي، وأعتقد أن هناك علاقة قوية في مجالات التدريب والتعليم والمشاريع الصناعية. من المهم تعزيز هذه الروابط عمومًا، وليس فقط في ألمانيا. لدينا أيضًا علاقات مع جامعات في آسيا والولايات المتحدة. لكن يمكننا البدء في بافاريا، حيث نمتلك قدرات كبيرة في جامعة فريدريش ألكسندر، وينبغي لنا الاستفادة منها.

هورنيجر: لقد أشرت إلى موضوع التواصل، حيث شهدت الرقمنة تطورًا ملحوظًا بسبب جائحة كوفيد-19. وقد لاحظت في جامعتنا أن التقنيات الرقمية قد ساهمت في تقليص الفجوات بين الأفراد.

زيبسه: كيف أحدثت هذه الثروة في التكنولوجيا الرقمية تأثيرًا؟

هورنيجر: نحن نتواصل مع عمدائنا مرارًا وتكرارًا. يمكنني التواصل مع الطلاب مباشرة إذا رأيت منشورًا على وسائل التواصل الاجتماعي، حيث أشعر بضرورة الحديث معهم لفهم الوضع الحالي. هل تواجه شيئًا مشابهًا داخل مجموعة بي إم دبليو؟ وهل أنتم أيضًا في نفس الموقف الذي نحن فيه: حتى بعد جائحة كوفيد-19، نرغب في الحفاظ على بعض هذه الأدوات بانتظام واستخدامها لتعزيز التواصل العام مع موظفينا في الجامعة وشركائنا دوليًا؟

زيبسه: كانت تلك بالفعل لحظة مفصلية. فقد أتاحت لنا التكنولوجيا والبرمجيات اليوم إمكانيات واسعة للتواصل، حتى في ظروف التباعد. وقد تبين لنا أن التباعد الجسدي لا يعني بالضرورة تراجع التواصل؛ بل على العكس، أسهم في تعزيز الرغبة في الحوار والتفاعل. ويمكن البناء على هذه التجربة، لأن التواصل يرسخ قوة المؤسسة، سواء كان الحضور في مكان واحد أم عبر مساحات متباعدة. ومع التحول الرقمي، بات الأفراد يشعرون بقدرة أكبر على تنظيم عملهم والتنسيق فيما بينهم.

هورنيجر: على سبيل المثال؟

زيبسه: لنأخذ مثال تنظيم ورشة عمل تضم ثلاثين مشاركًا. في العادة، تبدأ الجلسة بعرض تمهيدي شامل، يعقبه توزيع المشاركين على مجموعات فرعية للنقاش. ثم تُستأنف الجلسة العامة بعد انتهاء العمل الجماعي، وقد تتكرر هذه العملية أكثر من مرة. غير أن استخدام أنظمة مؤتمرات الفيديو المتقدمة يتيح تنظيم هذا المسار بكفاءة أعلى؛ إذ يمكن تقسيم المشاركين بنقرة واحدة إلى ست مجموعات فرعية عشوائية، مع تحديد زمن دقيق للنقاش لا يتجاوز خمس عشرة دقيقة قبل إعادتهم إلى الجلسة العامة. وتمثل هذه الأدوات حلًا فعليًا لإدارة المجموعات الكبيرة. وعلى الرغم من معرفتنا بهذه الإمكانيات مسبقًا، فإننا لم نكن بالسرعة الكافية في توظيفها.

هورنيجر: أحيانًا قد يستلزم إحداث التغيير إرباكًا مرحليًا يفسح المجال لإعادة بناء الأنماط القائمة.

زيبسه: هذا صحيح. يتيح هذا التغيير فرصًا حقيقية وأساليب جديدة للتعاون. ومع ذلك، يجب أن نضع في الحسبان أن الابتكار الحقيقي يحتاج إلى تفاعل شخصي. أنا مؤمن بذلك بشدة. لذا، سيكون مستقبلنا مزيجًا من التعاون عن بُعد، والعمل من المنزل، والمكاتب المتنقلة، والاجتماعات وجهًا لوجه. بالطبع، سيتغير العالم في كيفية تعاوننا بعد الوباء. أنا واثق تمامًا من ذلك، وأرى أنه تطوّر إيجابي.

هورنيجر: عند الحديث عن التقدم، لنعد إلى موضوع التنقل. إنه مجال نتمتع فيه بقدرات قوية في بافاريا. يظهر ذلك في الجامعات من خلال برامج التعليم والبحوث، فضلًا عن صناعة السيارات في المنطقة. وعند النظر إلى المستقبل، ما هي رؤيتك للاستدامة والتنقل؟

زيبسه: التنقل الفردي يعد صناعة خاصة منتشرة حول العالم،

وهو يختلف عن وسائل النقل العامة التي تنظمها الحكومات أو البلديات. إن ربط خيارات التنقل الفردية بمتطلبات المجتمع يثير قضايا الاستدامة، خاصة عند النظر في استخدام المساحة، فالاختناقات المرورية ليست مستدامة، أليس كذلك؟ أرى أن لصناعة السيارات دوراً مهماً في معالجة هذه القضايا، على الرغم من كونها منظمة وتعمل وفقاً لمبادئ السوق. أعتقد أن شركات المستقبل ستتمكن من تحقيق توازن بين تحقيق نموذج عمل مربح وتنظيم ذاتي يتمشى مع آليات السوق، مع الإسهام في تلبية احتياجات المجتمع.

هورنيجر: هل ينبغي لنا تغيير إستراتيجيتنا الحالية في التنقل؟

زيبسه: نحن لا ندعم الوضع الحالي لوسائل النقل. لا أحد في بي إم دبليو يؤيد الازدحام المروري. نحن نسعى لتحقيق حل يمنع أي شخص من التعثر في الزحام. لذلك، أرى أنه من الضروري تقليص الفجوة بين وسائل النقل الخاصة والتنظيم الخاص، وكذلك إيجاد نموذج عمل مربح يجعلنا جزءاً من المجتمع الذي يقدم حلولاً فعّالة. إن فهم ومعالجة هذا الجانب المجتمعي أصبح أمراً بالغ الأهمية، نظراً لأن معظم الناس يعانون من الآثار السلبية للتنقل الفردي. وهنا تكمن مهمتنا: في إيجاد حلول لهذا التوتر الواضح الذي نواجهه.

هورنيجر: حسناً، لقد تناولت بمهارة العلاقة بين التطوير الأساسي في شركتك والقضايا المجتمعية، وهو ما يتمشى تماماً مع جامعة فريدريش ألكسندر. نحن جامعة شاملة بها مجموعة واسعة من المجالات التي ذُكرت. أشكرك على هذه المحادثة المهمة.

زيبسه: شكراً جزيلاً.

1.4 مخطط الكتاب:

يرى مؤلفو الفصول في هذا الكتاب أنَّ السعي نحو الحياد الصفري هو مسعى مشترك يحتاج إلى حوار وتعلم متبادل. ومع التوجه نحو الهدف نفسه؛ تظهر وجهات نظر متنوعة، وأحياناً متعارضة، بشأن الطريق الأنسب لتحقيق هذا الهدف. وبسبب طموح هذا الغرض وتعقيد الظروف المحيطة، لا يمكن أن يكون هناك شخص واحد يمتلك الحل الكامل؛ لذلك تتطلب هذه الرحلة تعاوناً جماعياً، مع التركيز على تحقيق توازن بين الأهداف المختلفة والأفكار المبتكرة بدلاً من الاعتماد على إجابات جاهزة. وبناءً عليه، أُجريت مناقشات بين جامعة فريدريش ألكسندر وبي إم دبليو، التي تشكل الأساس لكل فصل في الكتاب.

لقد أدركنا أثناء إعداد الكتاب صعوبة تناول جميع القضايا المتعلقة بالتحول المستدام للمؤسسات نحو الحياد الصفري. إن اختيار المواضيع يعكس الأفكار التي نشأت من مناقشات الخبراء التي نرغب في مشاركتها معكم. بالإضافة إلى ذلك، يرى المؤلفون أنَّ الانتقال نحو الحياد الصفري يجب ألا يُفهم على أنه عملية خطية، بل على أنه عملية تراكمية؛ حيث تمثل كل خطوة غير مكتملة، وكل تكرار تحسُّناً في جهود التخفيف من آثار تغير المناخ. وهذا يشبه ما يحدث في عمليات الابتكار حيث يُتَعَامَل مع الرؤية الشاملة خطوة بخطوة، ويعد تحقيق كل تكرار بمنزلة بدء دورة جديدة. وهذا يتضح في اختيار الموضوعات وهيكل الكتاب، كما هو موضح في الشكل 1.1.

ينظم هذا الكتاب الطريق نحو تحقيق الحياد الصفري ضمن ثلاث مجموعات من المواضيع. تتناول الفصول من الثاني إلى الرابع القضايا المتعلقة بإستراتيجية الشركة، بدءاً من تحديد الأهداف المستدامة وصولاً إلى صياغة إستراتيجية شاملة وإعداد تقارير متكاملة. أما الفصول

من الخامس إلى السابع، فتنناول الجوانب التشغيلية لشركات تصنيع المعدات الأصلية في قطاع السيارات، مع التركيز على أهمية سلاسل التوريد الأولى والأخيرة وتطوير المنتجات، بالإضافة إلى الإنتاج المحايد للكربون. وفي المجموعة الثالثة، التي يتناولها الفصل الثامن، تُستعرض التطورات التكنولوجية التي من المتوقع أن تؤثر تأثيراً كبيراً في تحول صناعة السيارات في المستقبل. ويختتم الفصل الأخير الكتاب بتقديم ملخص إداري وجدول أعمال بحثي.



الشكل 1.1 مخطط الطريق إلى الحياد الصفري

بعد سنوات طويلة من رصد المناخ وتحليل تأثيراته، وفي ظل تصاعد الوعي بحجم التحديات المناخية التي يواجهها العالم، يُعدّ اتفاق باريس الإطار الدولي الأبرز حتى اليوم لتنظيم التعاون المسؤول بين الدول بهدف الحد من آثار تغيّر المناخ مستقبلاً. وانطلاقاً من هذه الأهمية، اختير اتفاق باريس ليكون نقطة البداية لهذا الكتاب، حيث يُقارب من زاوية المنظمات وقطاع الأعمال.

ويطرح هذا المنظور التحليلي مجموعة من الأسئلة الجوهرية، من بينها: ما الأسس العلمية لعلوم المناخ التي يقوم عليها اتفاق باريس؟ وكيف يمكن تحقيق هدف الحد من الاحترار العالمي عند 1.5 درجة مئوية، ليس فقط على مستوى الدول، بل أيضاً من خلال الشركات والمؤسسات الفردية؟ وكيف يمكن ترجمة الأهداف المناخية الوطنية إلى مستويات تنظيمية أدنى لصياغة أهداف استدامة تتماشى مع المعطيات العلمية الراهنة؟ كما يثير التحليل تساؤلات حول الكيفية التي تمكّن الشركات والمؤسسات الساعية إلى إعادة تشكيل نماذج أعمالها وعملياتها من تحديد أهداف مناخية موثوقة ومسؤولة تجاه البيئة والعاملين فيها.

وتُناقش هذه التحديات وغيرها في الفصل الثاني من الكتاب، المعنون «إعداد المسار نحو الحياد الصفري»، بقلم ماركوس بيكمان، وغريغور زوتل، وفيرونيكّا جريم، وتوماس بيكر، وماركوس شوبر، وأوليفر زيبسه.

كانت الشركات في السابق تكتفي بوضع أهداف منفصلة للاستدامة عن إستراتيجيتها المؤسسية التي غالباً ما تُعرف بتدابير المسؤولية الاجتماعية. لكن التغير المناخي المتسارع اليوم يتطلب تحولاً جذرياً. فإستراتيجيات الشركات ذات النضج العالي لا تعالج الاستدامة بصفقتها عنصراً منفصلاً، بل تدمجها في أسلوب خلق القيمة.

ولتحقيق تحسينات حقيقية على مستوى دورة الحياة، يقتضي الأمر تبني تفكير متكامل يراعي سلسلة القيمة بأكملها، لا الاقتصار على العمليات الداخلية. ويستلزم هذا المنظور الشامل للاستدامة التعامل مع مختلف مراحل العمل الاستراتيجي، بدءاً من صياغة الاستراتيجية وما تتطلبه من تحديد أهداف موثوقة، مروراً بتنفيذها الذي يستدعي إدارة منسّقة، وصولاً إلى تقييم النتائج، وهو ما يفرض اعتماد أساليب

جديدة في القياس والإبلاغ. ويتناول ماركوس بيكمان وتوماس بيكر وأوليفر زيبسه هذه القضايا في الفصل الثالث المعنون «صياغة استراتيجية الاستدامة المؤسسية»، موضحين أثر التفكير المتكامل في جميع جوانب العمل الاستراتيجي.

تعبر عبارة «ما يُقاس، يُنجز» عن أن الطريق نحو الحياد الصفري للشركات يتأثر بأساليب جديدة للتقارير. ومع تزايد الاهتمام بإستراتيجيات الاستدامة وأداء الشركات، لم يعد كافيًا الاعتماد على تقارير المؤشرات المالية فقط لتلبية احتياجات جميع أصحاب المصلحة. في حين أن التقارير التقليدية كانت تركز أساسًا على المستثمرين، وتقدم معلومات عن الأداء المالي، فإن الشركات اليوم تحتاج إلى توسيع نطاق تركيزها ليشمل الجوانب غير المالية المتعلقة بالاستدامة، من أجل تلبية متطلبات المعلومات لأصحاب المصلحة الآخرين مثل الموظفين، والحكومات، والمجتمعات.

شهد الانتقال إلى التقارير غير المالية تطورًا تدريجيًا، إذ تحول من معايير طوعية محدودة القابلية للمقارنة إلى متطلبات تنظيمية تستهدف تعزيز الشفافية والمساءلة. وفي الفصل الرابع المعنون «مستقبل الإفصاح المؤسسي»، يتناول توماس م. فيشر، بالاشتراك مع أوليفر زيبسه، وجنيفر أدولف، وجوناثان تاويند، وماركوس شوبر، مسار التحول من التقارير التقليدية إلى التقارير المتكاملة. كما يناقشون التشريعات الحديثة والتحديات المرتبطة بقياس مؤشرات الأداء الرئيسية، سواء غير المالية أو المالية (KPIs)، واختيارها، إضافة إلى سبل تحقيق التوازن بين متطلبات مختلف أصحاب المصلحة.

قدمت الأهداف المستدامة الموثوقة وذات الموثوقية، إلى جانب الإستراتيجيات والتقارير الشاملة، خريطة طريق نحو تحقيق الحياد الصفري. ومع زيادة استخدام السيارات الكهربائية، ستتحول معظم

انبعاثات دورة الحياة من مرحلة الاستخدام إلى مرحلة الإنتاج. ومن ثم، تلعب سلاسل القيمة الدائرية دورًا أساسيًا في الانتقال نحو الحياد الصفري، مما يمهد الطريق للمحاور الثانية في الكتاب.

يبدأ التحول نحو الاقتصاد الدائري من خلال أسلوب جديد في التفكير حول تطوير المنتجات. أطلق ساندرو وارتزك مجموعة المواضيع الثانية للكتاب، بالتعاون مع أوليفر زيبسه ولينا ريس، من خلال الفصل الخامس بعنوان «إنشاء منتجات مستدامة الطريق إلى الدائرية». يتناول المؤلفون فكرة التصميم القائم على إعادة التدوير، واستبدال الموارد النادرة بالمواد الثانوية، واستخدام المواد الطبيعية، خصوصًا في مجال التصميم الداخلي. وقد نُوقِشت التغيرات في سلوك المستهلك وظهور المنتجات التي تتمتع بسمات صديقة للبيئة وفعّالة.

تناولت مناقشة الاستدامة في تطوير المنتجات التحديات المتعلقة بتأمين الموارد النادرة والقيمة؛ حيث يتطلب تصنيع البطاريات وأنظمة الدفع الكهربائي مواد متاحة بكميات محدودة، ومن دول معينة فقط، مما يعزز الحاجة إلى سلاسل توريد مغلقة تسمح بإدماج المواد الثانوية في عمليات الإنتاج. ويعتمد الطريق نحو تحقيق الحياد الصفري على الموردين في المراحل الأولية من سلسلة التوريد، حيث تضع الأهداف العلمية مسؤوليات على الشركات المصنعة للمعدات الأصلية (OEM) عبر السلسلة بأكملها.

بالإضافة إلى أهمية التوريد البيئي، يجب مراعاة الأبعاد الاجتماعية لإنتاج المواد الخام. يتناول الفصل السادس، المعنون «تحويل سلاسل القيمة من أجل الاستدامة»، التحديات المتعددة المرتبطة بهذا المجال، حيث يعرض كلٌّ من كاي-إنغو فوغت، ولوتار كزايا، وأوليفر زيبسه حلولًا عملية مستندة إلى تجربة شركة بي إم دبليو، إلى جانب طرح توجهات مقترحة لأبحاث مستقبلية. وبعد سلسلة القيمة النهائية، يُعد

المصنع الأخضر خطوة أساسية أخرى نحو تحقيق الحياد الصفري على المستوى التشغيلي.

لقد كان تحسين الإنتاج محور اهتمام الباحثين والممارسين لأكثر من عشرين عاماً. واليوم، يتفق الجميع على أن التصنيع المستدام يجب أن يشمل الأبعاد الثلاثة: الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. بينما كان التحول نحو التميز التشغيلي في الماضي يركز على العمليات داخل المصنع، يتطلب النهج الإستراتيجي المتكامل الآن النظر عبر حدود النظام.

يُمثل مصنع بي إم دبليو آي فاككتوري (BMW iFactory) نموذجاً لشبكة ذات قيمة مضافة، حيث لا تقتصر على كونها منشأة إنتاج جديدة فحسب، بل تجمع بين الأنظمة المرنة وتقنيات الرقمنة وعمليات الإنتاج الدائرية لمعالجة تلك الأبعاد الثلاثة للإنتاج المستدام. يتطرق نيكو هانينكامب وأوليفر زيبسه في الفصل السابع المعنون «الاستدامة في التصنيع» إلى الأسس المتعلقة بالإنتاج المستدام، فضلاً عن أحدث المستجدات في مجالات إمدادات الطاقة، والعمليات الدائرية، وتقنيات التصنيع.

يتيح الابتكار التكنولوجي فرصاً جديدة، ويدفع نحو تحقيق الحياد الصفري. لهذا، يتناول الفصل الثامن بعنوان «قوة الابتكار التكنولوجي» الموضوع الثالث في هذا الكتاب، ويشكل نقطة البداية والنهاية لتحقيق الحياد الصفري كما يظهر في الشكل 1.1.

تسهم الابتكارات التكنولوجية في إعادة صياغة الاستراتيجيات وتوجيه الأهداف، بما يدعم مسارات التحسين المستمر. ويقدم كلٌّ من يورغ فرانك، وبيتر واسرشايد، وثورستن إين، وبيتر لامب، ويورغن غولندر، وأوليفر زيبسه دراسةً منهجيةً لمجموعات الدفع المستقبلية،

يستعرضون فيها التحديات والفرص المرتبطة بكل تقنية، إلى جانب آفاق التطور المتوقعة، بدءاً من الأنظمة الكهربائية وصولاً إلى محركات الاحتراق الداخلي المعتمدة على الوقود المتزامن (ICEs) وخلايا الوقود. ويخلص هذا الطرح إلى أن تطوير الابتكارات التكنولوجية لا يقوم إلا على التعاون، وأن نجاح الجهود المؤسسية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالسعي نحو تحقيق الحياد الصفري.

وإلى جانب عرض أجندة البحث، يفتح الفصل الأخير من الكتاب، المعنون «الطريق إلى الحياد الصفري وما بعده»، لمؤلفيه ماركوس بيكرمان وإيرين فيج، بملخص تحليلي شامل للفصول السابقة، يستخلص القضايا والأفكار المشتركة برؤية تأملية معمّقة. ثم ينتقل النقاش إلى أفق أوسع يتجاوز مجرد الوصول إلى الحياد الصفري. ومن منظور استراتيجي، يناقش الفصل أهمية الشراكات بين الجامعات والقطاع الصناعي، وقيمتها في دعم التحول، مسلطاً الضوء على دور العمل التعاوني في بلوغ أهداف الحياد الصفري. كما يستعرض أنماطاً مبتكرة للتعاون لمواجهة هذا التحدي العالمي المعقد، ويحدد المسارات الاستراتيجية للتحول المستدام في صناعة السيارات ضمن رؤية تشاركية متكاملة.

فهل أنت مستعدٌّ للانضمام إلينا في الطريق إلى الحياد الصفري؟ نودُّ أن نأخذك معنا في رحلتنا حتى نتمكن من النمو والتعلم من بعضنا بعضاً .



إعداد المسار نحو الحياة الصّفري

تحويل علم المناخ إلى غايات
سياسية ومؤسسية

ماركوس بيكمان وجريجور زوتل وفيرونيكّا جريم

وتوماس بيكر وماركوس شوبر وأوليفر زيبسه

2.1 المقدمة:

شهد عام 2015 توقيع اتفاقٍ تاريخي في باريس، حيث اجتمعت 195 دولة، إلى جانب الاتحاد الأوروبي، في التزام جماعي لمواجهة تغيُّر المناخ. وقد حدّد هذا الاتفاق هدفًا طموحًا للحدّ من ظاهرة الاحتباس الحراري إلى أقلّ من درجتين مئويتين مقارنةً بمستويات ما قبل الثورة الصناعية⁽¹⁾. وعلى الرغم من التحديات التي واجهت التنفيذ، والقيود المرتبطة بهذا الميثاق الدولي الواسع، فإنّ اتفاق باريس يُعدّ إنجازًا عالميًا كبيرًا؛ إذ يعكس التزامًا بتحقيق الحياد الصفري، ويقدم خطة واضحة للإشراف البيئي الدولي.

يُعدّ هذا الكتاب دراسة دقيقة لخارطة الطريق المتعلقة بالتحوُّل نحو «الطريق إلى الحياد الصفري»، وكيفية مشاركة الشركات في هذه العملية. ويحدّد الفصل الثاني الأهداف والسياق لهذه الرحلة، موضّحًا الخلفية المتعلقة بتحوُّلات الاستدامة التي تعزّزها الشركات في سبيل تحقيق مستقبل صديق للبيئة. بينما تتناول الفصول اللاحقة دور الشركات بتوسّع، يركّز هذا الفصل أولًا على العلاقة بين علوم المناخ وصنّاع السياسات والشركات والتي تُعدّ ضرورية لتحديد المسار نحو مستقبل خالٍ من الكربون.

صُمّم هيكّل هذا الفصل لتوجيه القراء عبر الجوانب المتعددة لهذا الموضوع المعقد. فيبدأ القسم 2.2 بتقديم نظرة عامة مختصرة على

(1) اتفاق باريس؛ انظر: الأمم المتحدة، 2015.

علوم المناخ الأساسية، حيث يُعد فهم هذه الأساسيات ضروريًا لإدراك مدى إلحاح المهمة المطروحة وتفاصيلها. ويستعرض القسم 2.3 تطور سياسة المناخ العالمية، ويأخذ القراء في رحلة نحو اتفاق باريس. كما يوضح لماذا يتطلب السعي نحو تحقيق الحياد الصفري تحولًا جذريًا بعيدًا عن الاقتصادات المعتمدة على الوقود الأحفوري، متجهًا نحو مستقبل مستدام ومنخفض الكربون. أما القسم 2.4 فيسلط الضوء على دور صانعي السياسات على المستوى الوطني والدولي الذي يعد أساسيًا في وضع اللوائح وتشجيع التغييرات لتحقيق أهداف الحياد الصفري. وفي القسم 2.5، تُعقد محادثة بين البروفيسورة الدكتورة فيرونيكا جريم، رئيسة قسم النظرية الاقتصادية في جامعة فريدرش ألكسندر وعضو المجلس الألماني للخبراء الاقتصاديين، والبروفيسور أوليفر زيبسه، المدير التنفيذي لمجموعة بي إم دبليو، والدكتور توماس بيكر، نائب الرئيس للاستدامة والتنقل في بي إم دبليو، حيث يناقشون التوازن المعقد بين تنظيم الأعمال ودعم البنية التحتية والاحتياجات الإستراتيجية والتكنولوجية للشركات. وأخيرًا، يتناول القسم 2.6 الأطر العلمية لتحديد الأهداف المناخية وقياسها والإبلاغ عنها على مستوى الشركات بما يتوافق مع اتفاقية باريس، قبل أن يختتم الموضوع في القسم 2.7.⁽¹⁾

(1) شاركت الدكتورة فيرونيكا جريم في هذا الفصل من خلال الحوار العلمي في القسم 2.4 فقط.

م. بيكمان • ج. تسوتل (*) • ف. غريم

جامعة فريدرش-ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ، نورنبرغ، ألمانيا

البريد الإلكتروني: gregor.zoetl@fau.de

ت. بيكر • أ. زيبسه

شركة بي إم دبليو، ميونيخ، ألمانيا

م. شوبير

جامعة فريدرش-ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ، إرلانغن، ألمانيا

© المؤلفون 2023

أ. زيبسه وآخرون (محررون)، الطريق إلى الحياد الصفري، -3-978/10.1007/doi.org/https://

031-42224-9_2

2.2 مراجعة موجزة لرؤى مختارة حول علوم المناخ

يسهم فهم المبادئ الأساسية لعلم المناخ في استيعاب تعقيدات ظاهرة تغيّر المناخ، ويبرز الحاجة الملحة إلى العمل على التخفيف من آثارها. ويهدف هذا القسم إلى تقديم عرض موجز لهذه المبادئ، ولا سيما تلك المتصلة بالمسار نحو تحقيق الحياد الصفري. ومع أن الالتزام بـ«اتباع العلم» يُعدّ عنصرًا جوهريًا، فإن من الضروري إدراك أن العلم بطبيعته مجال تراكمي ومتغيّر، يتقدّم عبر تبادل الأفكار واختبار الفرضيات بصورة مستمرة. فهو لا يقدّم حقائق نهائية، بل يوفّر تفسيرات تخضع للمراجعة والتطوير مع ظهور أدلة جديدة وتوسّع الفهم العلمي. وينطبق هذا النهج القائم على التعلّم المتدرّج والتطوير المستمر على علم المناخ على وجه الخصوص.

تمثل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ نموذجًا راسخًا للتعاون العلمي وبناء التوافق. وتتألف الهيئة من ثلاث مجموعات عمل، ولا تضطلع بإجراء بحوث أصلية، بل تُعدّ تقييمات شاملة موجّهة إلى صنّاع السياسات والجمهور، تعكس حالة الإجماع العلمي بشأن تغيّر المناخ (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2021b).

ويعنى الفريق العامل الأول بتقييم الأسس الفيزيائية العلمية لتغيّر المناخ، في حين يركّز الفريق العامل الثاني على دراسة مدى هشاشة الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والطبيعية، والآثار المترتبة على تغيّر المناخ، وخيارات التكيف المتاحة. أمّا الفريق العامل الثالث، فيُقيّم سبل الحد من انبعاثات غازات الدفيئة وخيارات التخفيف من آثار تغيّر المناخ (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2021a).

من المهم لفهم تغير المناخ أن ندرك تأثير ثاني أكسيد الكربون (CO₂) وغيرها من غازات الدفيئة (GHGs) على ارتفاع حرارة كوكب

الأرض. فثاني أكسيد الكربون يحبس الحرارة في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى زيادة درجات الحرارة العالمية (شاكون وآخرون، 2012). قبل الثورة الصناعية، كانت انبعاثات غازات الدفيئة وامتصاصها متوازنة، مما ساهم في الحفاظ على تركيزات ودرجات حرارة محدودة نسبيًا لثاني أكسيد الكربون؛ ولكن النشاط البشري المتزايد، مثل الأنشطة الصناعية والاقتصادية، أدى إلى اختلال هذا التوازن في دورة الكربون العالمية. فحرق الوقود الأحفوري يحرر الكربون إلى الغلاف الجوي، في حين أن التغيرات في استخدام الأراضي، مثل إزالة الغابات وتحويل الأراضي الرطبة إلى زراعية، تسهم في انبعاث الكربون، وتقلل من قدرة الأرض على امتصاصه. ونتيجة لذلك، ارتفعت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، مما أدى إلى ارتفاع درجة حرارة الكوكب (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2023؛ برنتيس وآخرون، 2012).

يُعد قياس مستويات انبعاثات غازات الدفيئة بدقة أمرًا معقدًا، ولكنه ضروري في علم المناخ. فبحلول عام 2022، وصلت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى قرابة 421 جزءًا في المليون، مما يمثل زيادة تجاوزت 50% مقارنة بمستويات ما قبل الصناعة (الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي، 2022). هذه الزيادة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون مرتبطة بارتفاع درجات حرارة الكوكب، إذ تشير تقديرات متوسط درجات حرارة السطح بين 2011 و2020 إلى أن الأرض كانت أكثر دفئًا بحوالي 1.1 درجة مئوية مقارنة بفترة ما قبل الصناعة (1880-1900).⁽¹⁾

استفاد علم المناخ من البيانات التاريخية لتطوير نماذج محاكاة متقدمة والتحقق من دقتها بهدف التنبؤ بدرجات الحرارة المستقبلية. ففي التقارير الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير

(1) الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2023، ص 4.

المناخ، تعتمد هذه المحاكاة على مجموعة متنوعة من سيناريوهات الانبعاثات، المعروفة أيضًا باسم المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة التي تأخذ في حسابها التطورات الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية المحتملة. يمكن لنماذج المحاكاة أن تتوقع لكل سيناريو انبعاثات غازات الدفيئة المستقبلية والتغيرات المرتبطة بدرجة الحرارة العالمية (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2021c).

يعد فهم نطاق هذه الاختلافات في درجات الحرارة أمرًا أساسيًا لتقييم التأثيرات المحتملة لتغير المناخ؛ إذ تمتد هذه التأثيرات إلى جميع جوانب حياتنا تقريبًا، وتشمل زيادة تكرار وشدة موجات الحر، وامتداد فترات الجفاف، وهطول أمطار غير متوقعة، وتفاقم فقدان التنوع البيولوجي، وزيادة حرائق الغابات، وانتشار الأنواع الغازية، وتراجع الغابات، وارتفاع مستويات سطح البحر، وذوبان الأنهار الجليدية والقمم الجليدية، وتزايد حمضية المحيطات، وتراجع الشعب المرجانية، بالإضافة إلى الأمراض والوفيات المرتبطة بالحرارة، وزيادة انتشار الأمراض المنقولة، وتفاقم انعدام الأمن الغذائي (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2022).

في ظل هذه التهديدات، برزت نقاشات مطولة حول المستويات الحرجة للاحتباس الحراري التي ستؤدي إلى تغييرات مناخية شديدة وخطيرة للبشرية. وضمن إطار الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، نالت عتبتا الدرجتين المئويتين والهدف الأحدث المتمثل في 1.5 درجة مئوية اهتمامًا خاصًا. وقد اقترح الاقتصادي ويليام نوردهاوس هدف الدرجتين المئويتين لأول مرة في السبعينيات، وحظي باعتراف سياسي خلال التسعينيات. وبحلول تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (AR4) في عام 2007، أصبح هذا الهدف مرجعًا شائعًا في النقاشات السياسية.

لم يساند تقرير التقييم الرابع على نحو مباشر هدف الارتفاع بمقدار درجتين مئويتين، بل قدم عوضاً عن ذلك مجموعة من النتائج المحتملة استناداً إلى طرائق الانبعاثات المختلفة. وقد أشار إلى أن زيادة درجة الحرارة عالمياً بمقدار درجتين مئويتين فوق مستويات ما قبل الصناعة ستؤدي إلى آثار خطيرة، مثل زيادة خطر حدوث الظواهر الجوية المتطرفة، وفقدان كبير للتنوع البيولوجي، وزيادة احتمال حدوث نقاط تحول في نظام الأرض (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2007). كما عزز تقرير التقييم الخامس للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (AR5) الصادر في عام 2014 هذه النتائج (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2014). ونتيجة لذلك، كُلفت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بإعداد تقرير خاص حول آثار الاحتباس الحراري بمقدار 1.5 درجة مئوية. أشار التقرير المنشور في عام 2018 إلى أن الآثار الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة بمعدل 1.5 درجة مئوية أقل بكثير مقارنةً بالآثار عند ارتفاعها بمعدل درجتين مئويتين. كما أكد ضرورة إجراء تغييرات سريعة وشاملة وغير مسبقة في جميع جوانب المجتمع لتحقيق هذا الهدف الطموح (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2018).

أكدت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، في تقريرها التجميعي الأخير الصادر عام 2023، أهمية التحول نحو تحقيق هدف 1.5 درجة مئوية. ويعزى ذلك إلى ما تشير إليه أحدث تطورات علوم المناخ من أن أشكال الاحتباس الحراري الخطيرة قد تحدث عند مستويات أدنى من الاحترار العالمي مقارنة بما كان يُعتقد سابقاً، «استناداً إلى الأدلة الحديثة على التأثيرات الملحوظة، وتحسّن فهم العمليات المناخية، والمعرفة الجديدة المتعلقة بالتعرّض والهشاشة في الأنظمة البشرية والطبيعية، بما في ذلك حدود التكيّف» (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2023).

وتتمثل إحدى المخاوف الرئيسة في احتمال وصول النظام المناخي إلى نقاط تحوّل تُفعّل حلقات تغذية راجعة ذاتية التعزيز. فمثل هذه النقاط الحرجة، بما في ذلك ذوبان الجليد البحري في القطب الشمالي أو ذوبان الجليد الدائم الذي يؤدي إلى إطلاق الميثان، قد تسهم في تفاقم الاحتباس الحراري العالمي حتى في حال القضاء التام على الانبعاثات البشرية. وبفضل الجهود المبذولة لتقليل الأضرار المحتملة الناجمة عن تغير المناخ، فقد شكّل فريق دولي متخصص لدراسة تأثيرات الحد من الاحتباس الحراري إلى 2 و 1.5 درجة مئوية مقارنة بمستويات ما قبل الثورة الصناعية. إذ تقدم هذه التحليلات معلومات علمية مهمة لأهداف درجات الحرارة التي أصبحت جزءاً أساسياً من السياسات المناخية على الصعيد العالمي. ويظهر من هذا البحث مفهوم «ميزانية الكربون» الذي يعبر عن الكمية الإجمالية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون المسموح بها في الغلاف الجوي للحفاظ على فرصة للحد من الاحتباس الحراري إلى درجات حرارة مستهدفة معينة.

تختلف كمية ميزانية الكربون المتبقية بناءً على ما إذا كان الهدف هو تقليل الاحتباس الحراري إلى 2 أو 1.5 درجة مئوية. وفقاً لأحدث تقرير تجميعي صادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، تُقدر ميزانيات الكربون المتبقية منذ بداية عام 2020 بـ 500 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون، مما يعطي احتمال 50% للحد من الاحتباس الحراري إلى 1.5 درجة مئوية، و 1150 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون، مع احتمال 67% للحد من ارتفاع درجات الحرارة إلى درجتين مئويتين (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2023، ص 21). فيما يتعلق بالانبعاثات عام 2019، سيُستخدم تقريباً كامل هذه الميزانية لتحقيق هدف 1.5 درجة مئوية، بينما سيتوجه ثلثها نحو تحقيق هدف الدرجتين المئويتين بحلول عام 2030.

تشير دراسات المناخ إلى أنه لتحقيق هدف 2 أو 1.5 درجة مئوية، يتعين علينا التخلص بصورة كبيرة وسريعة من انبعاثات الكربون في الاقتصاد. وبغض النظر عن الهدف المراد تحقيقه، سواء كان خفض درجات الحرارة إلى 2 أو 1.5 درجة، ينبغي أن تصل الانبعاثات العالمية إلى «الصفير الصافي» في ذروة هذا الجهد. وهذا يتطلب تعويض أي انبعاثات تُطلق في الغلاف الجوي من خلال عمليات إزالة معادلة، سواء عبر العمليات الطبيعية مثل امتصاص النباتات والمحيطات، أو من خلال تقنيات مثل احتجاز الكربون وتخزينه.

من الضروري أن نلاحظ أن الوصول إلى الحياد الصفري بحلول موعد محدد ليس كافياً للحفاظ على ميزانية كربونية معينة. الأمر الأهم لتحقيق استقرار المناخ هو الانبعاثات التراكمية على مر الزمن، مما يعني أنه يجب اتباع مسارات تخفيض فعلية للوصول إلى الحياد الصفري. إذا كانت الانبعاثات تتراجع ببطء شديد في المراحل الأولى، فسيتم إجراء تخفيضات أكبر لاحقاً من أجل البقاء ضمن حدود الميزانية الكربونية. بينما يحدد هدف الحياد الصفري الغرض النهائي، فإن سرعة تقليص الانبعاثات في مسار الوصول إلى هذا الهدف تظل ذات أهمية كبيرة (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2021).

وباختصار، فإن فهم أساسيات علم المناخ يعد أمراً ضرورياً لتقدير تحديات تغير المناخ والإدراك الفوري للحاجة إلى اتخاذ إجراءات للتخفيف من أسوأ العواقب. ومع تقدم العلم يجب أن تتطور ردود أفعالنا وفقاً لذلك، فالوصول إلى الحياد الصفري لا يقتصر فقط على تحقيق الهدف، بل يتعلق أيضاً بسرعة بدء هذه الرحلة وعدد المرات التي يتعين علينا فيها القيام بذلك (راجع الفصل 1؛ الشكل 1.1). يناقش القسم التالي تطور هذه الرحلة في إطار مناقشة سياسة المناخ العالمية.

2.3 سياسة المناخ العالمية: الطريق إلى باريس وما بعدها

ترجع أصول سياسة المناخ العالمية إلى مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة البشرية الذي عُقد في عام 1972، والذي أسفر عن إنشاء برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP). كان هذا المؤتمر الذي أقيم في ستوكهولم، نقطة انطلاق للتعاون الدولي في مجال البيئة (بودانسكي، 2001). وفي ظل الوعي بالتهديدات المحتملة الناتجة عن تغير المناخ، شكل برنامج الأمم المتحدة للبيئة، بالتعاون مع المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO)، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في عام 1988. وقد كُلفَ هذا الكيان المستقل بتقييم الأدبيات العلمية وتقديم معلومات علمية أساسية بشأن تغير المناخ.

أعلنت قمة الأرض في عام 1992 التي عُقدت في ريو دي جانيرو عن تأسيس اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)، وهي معاهدة دولية مهمة تهدف إلى معالجة قضايا تغير المناخ. تُبْنِيَت هذه الاتفاقية استنادًا إلى نتائج علمية تؤكد أن انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية قد تؤثر في درجات الحرارة العالمية، بهدف أساسي هو تجنب «التدخل البشري الخطير في النظام المناخي» (اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، انظر الأمم المتحدة، 1992، المادة 2). رغم أن الاتفاقية تسعى لتثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي لمنع ارتفاع درجات الحرارة الخطير، فإنها لم تحدد المستوى المطلوب لتحقيق هذا الاستقرار.

دخلت اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ حيز التنفيذ في 21 مارس 1994، وتتمتع اليوم بعضوية شبه عالمية. وتعد الدول الـ 198 التي صدقت على الاتفاقية بانتظام مؤتمرات مناخية عالمية تُعرف بمؤتمرات الأطراف (COPs). وتسلط هذه المؤتمرات المستمرة الضوء على كيفية تشكيل تاريخ سياسة المناخ العالمية من خلال

التفاعل الديناميكي بين الرؤى الناشئة من علوم المناخ والمفاوضات السياسية على نطاق عالمي.

ولا تسترشد سياسة المناخ بالنتائج المستخلصة من علم المناخ فحسب، بل تسترشد أيضاً بالتقييمات والقرارات السياسية التي تتجاوز نطاق العلم (على سبيل المثال عند مناقشة الآثار التي تعد خطيرة أو كيفية توزيع الأعباء).

وقد شملت المفاوضات السياسية المتعلقة بتغير المناخ مجموعة واسعة من المواضيع، مع تزايد وضوح آثار تغير المناخ، يكرس المزيد من الاهتمام لمسائل التكيف وحماية الفئات الأكثر ضعفاً ومساعدة البلدان النامية في المرحلة الانتقالية والمناقشات حول التعويضات المالية للبلدان الأكثر تضرراً من الاحتباس الحراري.

بينما تعد هذه المواضيع ذات أهمية في سياق المفاوضات السياسية الدولية، تركّز المراجعة التالية على مناقشة السياسات المتعلقة بتقليل ظاهرة الاحتباس الحراري، بالإضافة إلى ظهور أهداف عالمية مستندة إلى العلم. وسيسلط الضوء على معالم محددة تهدف إلى تحديد الطريق نحو تحقيق الحياد الصفري، كما نوقش في هذا الكتاب.

يمثل بروتوكول كيوتو الذي اعتُمِدَ في عام 1997 في المؤتمر الثالث للأطراف (COP 3) في كيوتو، اليابان، أول علامة بارزة في سياسة المناخ العالمية. ولأول مرة، أدخلت التزامات ملزمة قانوناً للبلدان المتقدمة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة، مما أثار التعاون الدولي بشأن التخفيف من آثار تغير المناخ. التزمت هذه البلدان المدرجة في المرفق الأول (بما في ذلك الاتحاد الأوروبي وكندا وأستراليا ونيوزيلندا وروسيا) بإجراء تخفيضات كبيرة في انبعاثاتها من غازات الدفيئة - أي تخفيض بنسبة

5% مقارنة بمستوى عام 1990، مع تحديد الفترة المستهدفة بين عامي 2008 و2012. وعلى الرغم من ذلك، صدقت دول مثل الصين والهند والبرازيل وإندونيسيا على المعاهدة من دون الالتزام بأهداف محددة. ومن خلال تأكيد مبدأ أن الدول تتحمل مسؤوليات مشتركة، ولكن متفاوتة فيما يتعلق بتغير المناخ، أسس بروتوكول كيوتو قاعدة مهمة للاتفاقيات المناخية اللاحقة، بما في ذلك اتفاقية باريس (بودنسكا، 2001).

يُعد بروتوكول كيوتو مهمًا من منظور تقني؛ لأنه يحدد غازات الدفيئة الرئيسة المعروفة بـ «غازات كيوتو السبعة» والتي تشمل ليس فقط ثاني أكسيد الكربون، بل أيضًا غازات أخرى مثل الميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O)، ومركبات الهيدروفلوروكربون (HFCs)، والمركبات الكربونية الفلورية المشبعة (PFCs)، وسادس فلوريد الكبريت (SF_6)، وثلاثي فلوريد النيتروجين (NF_3). تمتلك هذه الغازات الستة إمكانات احترار خاصة تُترجم إلى مكافئات ثاني أكسيد الكربون عند قياس الانبعاثات والعمل على تقليلها.

ويشتهر بروتوكول كيوتو أيضًا باعتماده آليات السوق، مثل الاتجار بالانبعاثات، وآلية التنمية النظيفة، والتنفيذ المشترك. وقد وفرت هذه الأدوات المبتكرة للدول المرنة في كيفية الوفاء بالتزاماتها (باريت، 2005). ومع ذلك، تعرض بروتوكول كيوتو لانتقادات بسبب بعض القيود، منها غياب بعض الدول الكبرى المسببة للانبعاثات (مثل الولايات المتحدة الأمريكية التي رفضت التصديق)، بالإضافة إلى التحديات في تحقيق أهدافه (باريت، 2005). في حين حدد بروتوكول كيوتو أهدافًا لخفض انبعاثات غازات الدفيئة، إلا أنه لم يتضمن هدفًا محددًا لدرجة الحرارة أو تركيز غازات الدفيئة لتحديد ما يعنيه «التدخل الخطير» في النظام المناخي. ولكن بدأ هذا

يتغير مع اتفاق كوبنهاغن الذي طُوِّرَ خلال المؤتمر الخامس عشر للأطراف (CoP15) في كوبنهاغن في عام 2009. كان اتفاق كوبنهاغن، الذي يعكس التقدم في علوم المناخ والتقييمات السياسية لتأثير المناخ، أول مثال على هدف عالمي لدرجة الحرارة يُذكر صراحة في وثيقة سياسة مناخية دولية. وجاء في الاتفاق أن «التخفيضات العميقة في الانبعاثات العالمية مطلوبة [...] لإبقاء الزيادة في درجة الحرارة العالمية أقل من درجتين مئويتين» (اتفاق كوبنهاغن، انظر اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، 2009). ومع ذلك، فإن النقطة الجديرة بالملاحظة هي أن اتفاق كوبنهاغن لم يحدد رسميًا هدف الدرجتين المئويتين ويفتقر إلى الإلزام القانوني. فقد اعتُمدَ هدف الدرجتين المئويتين رسميًا في العام التالي، في مؤتمر الأطراف السادس عشر في كانكون والذي أسفر عن اتفاقية كانكون.

يمكن القول إن أهم معلم في رسم الطريق إلى الحياد الصفري حتى الآن هو اتفاقية باريس التي سُنَّت في مؤتمر الأطراف السابع عشر اللاحق في عام 2015. ولم يؤكد اتفاق باريس على هدف الدرجتين المئويتين فحسب، بل دفع إلى أبعد من ذلك، بهدف الحد من الاحتباس الحراري إلى 1.5 درجة مئوية إن أمكن.

في حين أن اتفاقية باريس شملت جوانب مهمة مختلفة، مثل مسائل التكيف والخسائر والأضرار والتمويل المناخي، ومن ثم التأكيد على الحاجة إلى أن تمتد الاستجابات لتغير المناخ إلى ما هو أبعد من جهود التخفيف وحدها (كلينسكي وآخرون، 2017)، فإن السمات والآثار التالية لاتفاقية باريس ذات صلة خاصة بالطريق إلى الحياد الصفري لأنها تحدد غرضها ووجهتها ومجموعة المسافرين ونموذج السفر.

أولاً: من حيث الغرض من الطريق إلى الحياد الصفري، أنشأ اتفاق باريس (انظر الأمم المتحدة، 2015)، التزامًا عالميًا بمنع تغير المناخ

الخطير من خلال الحفاظ على الاحتباس الحراري «أقل بكثير من درجتين مئويتين فوق مستويات ما قبل الصناعة ومتابعة الجهود للحد من زيادة درجة الحرارة إلى 1.5 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل الصناعة». وبهذا يمثل اتفاق باريس خطوة مهمة، وإن كانت ما تزال غير كافية، في الاعتراف بإلحاح أزمة المناخ (روجيلج وآخرون، 2016)، مع إدراج هدف 1.5 درجة مئوية الذي يعكس رؤى علوم المناخ الحالية فيما يتعلق بالمخاطر المرتبطة بارتفاع الاحترار عن هذا الحد.

ثانيًا: فيما يتعلق بالهدف المشترك للرحلة نحو الحياد الصفري، فإن اتفاق باريس يعد أول معاهدة عالمية تسعى لتحقيق هدف طويل المدى لبلوغ الحياد الصفري بحلول النصف الثاني من القرن. لم يكن هذا الهدف واضحًا في الاتفاقيات المناخية العالمية التي سبقت اتفاق باريس، حيث ركّز بروتوكول كيوتو والاتفاقات السابقة على وضع أهداف قريبة المدى للحد من انبعاثات غازات الدفيئة من الدول المتقدمة، دون تحديد هدف عالمي طويل المدى لتحقيق الحياد الصفري.

ومع ذلك، أصبح مفهوم الحياد الصفري عنصرًا محوريًا في النقاشات حول كيفية تحقيق أهداف درجة الحرارة في اتفاق باريس، على الرغم من أن عبارة «الحياد الصفري» لا تظهر حرفيًا في نص الاتفاقية. عوضًا عن ذلك، ينص الاتفاق على أن الأطراف تهدف إلى تحقيق «توازن بين الانبعاثات البشرية المصدر والإزالة عن طريق مصارف غازات الدفيئة» في النصف الثاني من القرن⁽¹⁾.

ثالثًا: وفيما يتصل بالجهات المنخرطة في المسار نحو الحياد الصفري، ينص اتفاق باريس على التزامات تشمل جميع الدول بخفض انبعاثاتها. وعلى خلاف بروتوكول كيوتو، الذي فرض

(1) اتفاق باريس، انظر الأمم المتحدة، 2015، ص 4.

التزامات قانونية بخفض الانبعاثات على الدول المتقدمة فقط، اعتمد اتفاق باريس مقارنة شاملة جمعت مختلف الدول، بما في ذلك الدول الرئيسة المسببة للانبعاثات مثل الولايات المتحدة، إلى جانب الاقتصادات الناشئة كالصين والهند.

ووفقاً للاتفاقية، تُلزم جميع الدول، بصرف النظر عن مستوى التنمية، بتحديد أهدافها المناخية، والإبلاغ عنها، ومراجعتها بصورة دورية. وتعكس هذه المسؤولية المشتركة تنامي مساهمة البلدان النامية في الانبعاثات العالمية، كما تؤكد الحاجة الملحة إلى تعاون دولي واسع في مواجهة تغيّر المناخ (بودنسكا، 2016). ويؤكد هذا الإطار أن السعي إلى تحقيق الحياد الصفري يُعد تحدياً ذا طابع عالمي مشترك.

رابعاً، ومن حيث منهجية المضي نحو الحياد الصفري، تحدد اتفاقية باريس الرحلة إلى الحياد الصفري على أنها عملية تعلّم تكرارية ومستمرة. وعلى خلاف الطريقة التنازلية لبروتوكول كيوتو، حيث وضعت الأهداف الدولية، وفُرضت على الدول، فإن اتفاقية باريس تشجع على اتباع نهج تصاعدي، حيث يضع كل بلد خطته المناخية الخاصة به - ما يسمى بالمساهمات المحددة وطنياً (NDCs) التي توضح بالتفصيل أهداف خفض الانبعاثات وإستراتيجيات التكيف.

ويهدف مفهوم المساهمات المحددة وطنياً إلى تعزيز المرونة وترسيخ مبدأ الملكية الوطنية للالتزامات المناخية، من خلال إشراك الدول في عملية مراجعة دورية. وتشمل هذه العملية تقييم المساهمات المحددة وطنياً لكل دولة وتحديثها كل خمس سنوات، ضمن آلية تُعرف باسم «التقييم العالمي»⁽¹⁾.

(1) اتفاق باريس، انظر الأمم المتحدة، 2015، ص 18-19.

تعمل عملية الاستعراض المنتظم لإطار باريس على ضمان توسيع نطاق الجهود الرامية إلى التصدي لتغير المناخ تدريجيًا. وعلى الرغم من هذه النية، يرى النقاد أن غياب آلية إنفاذ قانونية يؤدي إلى اعتماد التقييم العالمي بطريقة مبالغ فيها على ضغط الأقران الدولي والنوايا الحسنة لدفع من أجل زيادة الطموحات، مع عدم وجود آليات ملزمة قانونًا لفرض العمل المناخي (بودنسكا، 2016).

وعلى الرغم من الانتقادات الموجهة، هناك نقطة هامة ينبغي تسليط الضوء عليها، وهي أن اتفاق باريس، رغم قيمته التاريخية، لم يعالج كل القضايا المطروحة، بل إنه أطلق مفاوضات جديدة. وقد اتَّفَقَ على التفاصيل التنفيذية لهذا الاتفاق خلال مؤتمر الأمم المتحدة لتغير المناخ (COP24) الذي عُقد في كاتوفيتشي، بولندا، في ديسمبر 2018، والذي يعرف بصورة غير رسمية باسم كتاب قواعد باريس. وقد فُرعَ من هذه التفاصيل في مؤتمر (COP26) الذي أُقيم في غلاسكو، اسكتلندا، في نوفمبر 2021.

إذن، ما هي التأثيرات الرئيسة لاتفاق باريس في سياق الوصول إلى الحياد الصفري كما نُوقِشَ في هذا الكتاب؟ يصعب المبالغة في أهمية باريس؛ إذ إنها تمثل تحولًا جذريًا عن الاتفاقيات السابقة، من خلال تحديد هدف الحياد الصفري على المدى الطويل بدلاً من التركيز على تخفيضات تدريجية قصيرة الأمد. إن هدف الحياد الصفري هو هدف مطلق يختلف جوهريًا عن التخفيضات النسبية. ولتحقيق هذا الهدف لن تكون تحسينات كفاءة التكنولوجيا المعتمدة على الوقود الأحفوري كافية؛ بل يتطلب الأمر تحولًا جذريًا في جميع جوانب الاقتصاد نحو إزالة الكربون كليًا، مما يستلزم تغييرات في مصادر الطاقة، والتقنيات، والمنتجات، وسلاسل القيمة، والبنية التحتية، والتنظيم، وغيرها من العناصر.

بالإضافة إلى ذلك، من خلال التأكيد على الالتزام العالمي بهدف ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجتين مئويتين والطموح للوصول إلى هدف 1.5 درجة مئوية، أرسى اتفاق باريس مفهوم ميزانية الكربون المتبقية بصفقتها جزءاً من الخطاب السياسي العالمي. ويعني هذا أن تحقيق هدف الحياد الصفري على المدى الطويل ليس فقط أمراً مهماً، بل يتطلب أيضاً مسارات طموحة لتخفيض الانبعاثات وتتماشى مع أهداف باريس. ويتطلب ذلك إجراء تخفيضات سريعة وشاملة في الانبعاثات.

ويدعو التزام اتفاق باريس، القائم على النهج التصاعدي، كل دولة على حدة إلى صياغة وتقديم مساهماتها المحددة وطنياً (NDCs). ويعني هذا أن المسارات المؤدية إلى الحياد الصفري قد تختلف بين البلدان. ومع ذلك، فإن هذه التعهدات الوطنية ما تزال غير كافية حتى الآن. وقد حذر تقرير صادر عن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) في عام 2022 من أن التعهدات المناخية لجميع الأطراف الـ 193 في اتفاقية باريس ستؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة بنحو 2.5 درجة مئوية بحلول نهاية القرن (اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، 2022).

وفي ضوء هذه المعطيات، ومع تزايد الحاجة إلى تكثيف الجهود الوطنية، تحوّل الاهتمام نحو السياسات المناخية القابلة للتنفيذ على المستوى الوطني، وهو ما تتناوله الفقرة اللاحقة (2.4).

أما الشركات متعددة الجنسيات، التي تسعى لتحقيق الحياد الصفري، فيتعين عليها أن تتفاعل بفعالية مع المشهد السياسي المعقد. إذ يمكن للإطارات المعتمدة على العلم أن تدعم هذه الشركات في وضع إستراتيجيات طويلة الأمد تأخذ بالحسبان السياسات المناخية الوطنية المتباينة. ويكتسب هذا الأمر أهمية خاصة في ضوء اتفاق باريس الذي يوضح التطور المستمر للسياسات المناخية العالمية، مما يعكس الرؤى

المتطورة التي تقدمها علوم المناخ. لذا، فإن اتخاذ موقف نشط نحو الحياد الصفري والاستعداد للأنظمة المستقبلية يعتمد اعتمادًا كبيرًا على الالتزام بنهج علمي، وهو ما سنتناول المزيد من التفاصيل عنه في الفقرة 2.6.

2.4 دور أطر السياسات الوطنية وآليات الحوكمة

وكما نوقش سابقًا، يستخدم اتفاق باريس نهجًا تصاعديًا، مما يشجع جميع الدول على اقتراح مساهماتها المحددة وطنيًا. وعلى الصعيد الدولي، يتطلب هذا إجراء مفاوضات جماعية حول كيفية توافق هذه الجهود الوطنية مع تخفيض الانبعاثات الضرورية لتحقيق هدف الحد من ارتفاع درجة الحرارة إلى 2 أو 1.5 درجة (رولج وآخرون، 2016).

وعلى المستوى الوطني (وما فوق الوطني، في حالة الاتحاد الأوروبي)، يمتد التحدي إلى ما هو أبعد من تحديد أهداف طموحة لخفض الانبعاثات إلى صياغة السياسات المحلية التي من شأنها تسهيل هذه التخفيضات.

ومن ثم، تواجه الحكومات الوطنية والكيانات فوق الوطنية مثل الاتحاد الأوروبي مشهدًا معقدًا وصعبًا. فمن جهة، يتعين عليهم تحديد حصتهم العادلة من الأهداف المناخية التي اتُفِقَ عليها عالميًا، رغم عدم وجود عقوبات على عدم الامتثال. ومن جهة أخرى، يجب عليهم ابتكار أدوات سياسية فعالة لتحفيز تخفيضات سريعة وكبيرة في الانبعاثات. وينبغي لهم أيضًا أخذ التكاليف المحتملة لتلك التدابير بالحسبان، وكذلك آثارها في السكان المحليين وتأثيرها في الابتكار الاقتصادي والقدرة التنافسية.

في هذه الحالة، تُعد السياسات وآليات الحوكمة التي تدعم الابتكارات المستدامة، وتحقق قيمة اقتصادية كبيرة للشركات المحلية مرغوبة

للاغاية، حتى في ظل غياب خرائط طريق وآليات عقوبات واضحة. وعلى العكس، يصبح من الصعب تبرير التدابير المناخية الأخرى التي تفرض تكاليف كبيرة تخفيفاً على المستوى الوطني، حيث لا تقدم فوائد ديناميكية مرتبطة بالابتكار والقدرة التنافسية للشركات المحلية، رغم أهميتها لدعم مساهمة وطنية عادلة في الأهداف المناخية المتفق عليها. ولهذا، يسعى صانعو السياسات المحليون إلى وضع سياسات مناخية توازن بين الفعالية البيئية والكفاءة الاقتصادية والجدوى القانونية والإدارية، مع الحفاظ على قبول سياسي.

سيسلط التحليل اللاحق الضوء على الإجراءات التي اتخذها الاتحاد الأوروبي وألمانيا على أنها أمثلة على تدابير السياسة الملموسة المستخدمة لتحقيق التوازن بين هذه الأهداف المتنوعة.

تتمثل أساسيات خطط سياسة المناخ للاتحاد الأوروبي في الاتفاق الأخضر الأوروبي الذي قُدِّم في عام 2019 (انظر المفوضية الأوروبية، 2023a). إذ يتضمن هذا الاتفاق هدفاً لخفض صافي انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة لا تقل عن 55% مقارنة بمستويات عام 1990 بحلول عام 2030، ويوفر خطة لتحويل الاتحاد الأوروبي إلى محايد للكربون بحلول عام 2050. ويتضمن الاتفاق الأخضر مجموعة شاملة من الأهداف المحددة، مثل الاستخدام المستدام للموارد (المعروفة بخطة عمل الاقتصاد الدائري؛ انظر المفوضية الأوروبية، 2023b)، بالإضافة إلى أهداف الاستدامة وأهداف الانبعاثات المخصصة لعدة قطاعات، بما في ذلك قطاعي النقل والبناء (انظر المفوضية الأوروبية، 2023d).

بالإضافة إلى ذلك، يسعى الاتفاق الأخضر بوضوح إلى تعزيز الابتكار والتنافسية بين الشركات والصناعات المحلية من خلال دعم تطوير المنتجات والأسواق للتكنولوجيات النظيفة. وقد ضُمَّنت هذه الأهداف في قانون المناخ الأوروبي الذي بدأ سريانه في يوليو 2021 (المفوضية

الأوروبية، 2023؛ قانون المناخ الأوروبي، انظر البرلمان الأوروبي والمجلس الأوروبي، 2021). ومع ذلك، فإن المسؤولية النهائية عن تحقيق معظم هذه الأهداف الطموحة تقع على عاتق الحكومات الوطنية الفردية داخل الاتحاد الأوروبي.

تمتلك الحكومات مجموعة متنوعة من أدوات السياسة العامة التي يمكن استخدامها لتحقيق أهداف محددة في تقليل الانبعاثات. وفي هذا السياق، نقدم نظرة عامة على أبرز الأدوات المستخدمة في ألمانيا. ونصنف هذه الأدوات إلى ثلاث فئات: (1) الأدوات السوقية التي تحدد سعراً مناسباً للتكاليف الخارجية؛ (2) أدوات الدعم المباشر التي تهدف إلى تعزيز تطوير واعتماد التقنيات والمنتجات المستدامة، بما في ذلك البنية التحتية؛ و (3) الأساليب التنظيمية التقليدية، المعروفة أيضاً باسم «تدابير القيادة والتحكم»، والتي تشمل الحظر المباشر لتقنيات أو منتجات ملوثة معينة.

2.4.1 الأدوات القائمة على السوق لاستيعاب التكاليف الخارجية مباشرة

تكمّن الفكرة الأساسية وراء أدوات السياسة هذه في فرض الأسعار السوقية على الأنشطة التي تؤدي إلى أضرار تؤثر في المجتمع كله، بدلاً من استهداف المنتجين أو المستهلكين مباشرة. وتنشأ التكاليف الخارجية عندما لا تعكس أسعار السوق بالكامل هذه الأضرار التي يتحملها المجتمع. ولهذا، صُمّمت الأدوات القائمة على السوق لتصحيح هذا الخلل وضمان أن تعكس الأسعار بصورة صحيحة التكاليف الخارجية الناتجة (بيجو، 1920).

توجد آليتان شائعتان لمعالجة انبعاثات غازات الدفيئة في السوق:

ضرائب الكربون وأنظمة الحد الأقصى للتجارة (بومول وأوتس، 1988). تفرض ضرائب الكربون رسومًا على كل وحدة من الانبعاثات، مما يحفز الشركات على تقليل الانبعاثات لتقليص أعبائها الضريبية. تحدد هذه الآلية سعرًا معينًا للانبعاثات، لكن تخفيض تلك الانبعاثات ليس مضمونًا.

في المقابل، تضع أنظمة السقف والتجارة حدًا أقصى لإجمالي الانبعاثات، وتتيح للكيانات شراء بدلات الانبعاثات وبيعها، بما يضمن تحقيق مستوى التخفيض المستهدف، وإن كان ذلك قد يفضي إلى تفاوت في التكاليف. وبينما تسهم ضرائب الكربون في الحد من تقلبات أسعار الكربون، تضمن أنظمة السقف والتجارة تحقيق الأهداف البيئية، لكنها قد تنعكس سلبيًا على استقرار الأسعار (تيتينبرغ، 2006).

يُعدّ نظام تداول انبعاثات الاتحاد الأوروبي (EU ETS) من أبرز الأدوات السياسية في هذا السياق. وقد أُطلق النظام عام 2005 بوصفه آلية تهدف إلى تسعير انبعاثات غازات الدفيئة، إلى جانب تحديد سقف إجمالي لهذه الانبعاثات. ولزيد من التفاصيل حول آلية عمل النظام، يُرجى الرجوع إلى المفوضية الأوروبية (2023k).

تعتمد المفوضية الأوروبية حاليًا على مجموعة من السياسات والتشريعات، مثل قانون المناخ الأوروبي، لضمان تحقيق أهداف خفض الانبعاثات (راجع المفوضية الأوروبية، 2023؛ البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2021). ومع ذلك، فإن التنفيذ الفعلي لمعظم هذه الأهداف يعود إلى مسؤولية الحكومات الوطنية المختلفة داخل الاتحاد الأوروبي. وفي ديسمبر 2022، اتفق البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي على تعزيز نظام تداول انبعاثات الاتحاد الأوروبي (EU ETS).

وكذلك في ديسمبر 2022، توصل البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد

الأوروبي إلى اتفاق لتوسيع نظام تداول الانبعاثات (ETS) ليشمل الانبعاثات الناتجة عن قطاعي النقل والبناء، واللذين لم يكونا ضمن نطاق نظام ETS الأوروبي حتى ذلك الوقت (البرلمان الأوروبي، 2022). وما يلفت الانتباه هو أن ألمانيا كانت قد بدأت بالفعل في هذا الاتجاه من خلال اعتماد سعر وطني لثاني أكسيد الكربون في هذين القطاعين. وقُدِّم القانون المتعلق بذلك (قانون تداول انبعاثات الوقود – Brennstoffemissionshandelsgesetz، راجع البوندستاغ الألماني، 2022a) في عام 2019 ودخل حيز التنفيذ في عام 2021.

يجري إدخال هذا النظام تدريجيًا، حيث بدأ بفترة شهدت زيادة سنوية في أسعار الانبعاثات، ثم انتقل إلى نظام الحد الأقصى للانبعاثات وتداولها تجاريًا (cap-and-trade). ترتفع أسعار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مراحل متعددة، بدءًا من 25 يورو لكل طن من ثاني أكسيد الكربون (CO₂) في عام 2021، لتصل إلى 45 يورو لكل طن بحلول عام 2025، وهو ما يعادل 0.07 و 0.11 يورو لكل لتر من البنزين على التوالي (راجع على سبيل المثال، الوكالة الفيدرالية الألمانية للبيئة 2022، (Umweltbundesamt (UBA)).

وفي هذه المرحلة الأولية، يُطبَّق نظام يعامل ثاني أكسيد الكربون كضريبة. وبدءًا من عام 2026، يُخطط للتحويل إلى نظام تداول الانبعاثات، مع تحديد نطاق سعري يتراوح بين 55 و 65 يورو لكل طن من ثاني أكسيد الكربون (قانون تداول انبعاثات الوقود – Brenns – toffemissionshandelsgesetz، راجع البوندستاغ الألماني، 2022a).

يمكن أن تكون الأدوات المستندة إلى السوق التي تهدف إلى احتساب التكاليف الخارجية المرتبطة بالانبعاثات، أدوات فعالة لمواجهة تغير المناخ (ستافينز، 2003). وحين تُحدَّد على نحو دقيق، يمكن أن تؤدي أهداف الانبعاثات أو ضرائب الكربون إلى تحقيق الأهداف المناخية بكفاءة داخل

اقتصاد مغلق (بومول وأوتس، 1988). ومع ذلك، فإن الواقع هو أن الاتحاد الأوروبي ودوله الأعضاء لا تعمل منعزلة. إذ يُعد تغير المناخ قضية عالمية، لكن الآليات المعتمدة على السوق تُطبق عادةً على نطاق صغير نسبيًا، أو على المستوى الوطني أو الأوروبي ضمن الاقتصادات المفتوحة.

اقترح الاتحاد الأوروبي آلية تعديل حدود الكربون (CBAM)، وهي سياسة تُلزم مستوردي سلع معينة إلى الاتحاد الأوروبي بدفع ثمن الانبعاثات الكربونية المرتبطة بتلك السلع. وقد صُممت هذه الآلية لمنع ظاهرة تسرب الكربون التي تحدث عندما تنقل الشركات إنتاجها إلى دول ذات سياسات مناخية أقل صرامة (المفوضية الأوروبية، 2023b).

وفي إطار حزمة الاتحاد الأوروبي (Fit for 55)، ستُطبق آلية تعديل حدود الكربون على عدة منتجات، مثل الإسمنت والحديد والصلب والألمنيوم والأسمدة والكهرباء. إذ يأمل مؤيدو هذه الآلية في أن تسهم في تقليل انبعاثات غازات الدفيئة من خلال دفع الدول الأخرى نحو اتباع سياسات مناخية أكثر صرامة. وتهدف الآلية إلى حماية الصناعات الأوروبية من المنافسة غير العادلة الناجمة عن الدول ذات لوائح مناخية أقل حدة.

واجهت آلية تعديل حدود الكربون انتقادات عديدة؛ إذ يعتقد بعض النقاد أن تنفيذها قد يكون معقدًا، وقد يؤدي إلى نشوب نزاعات تجارية مع دول أخرى، أو في حال كانت التغطية غير شاملة، قد يؤدي إلى نقل سلاسل القيمة خارج الاتحاد الأوروبي (جراندد وآخرون، 2020؛ المجلس الاستشاري لتقييم التنمية الاقتصادية الشاملة Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung، 2020). وهناك أيضًا مخاوف من أن تؤثر هذه الآلية بطريقة غير متناسبة في الدول النامية التي تعتمد على تصدير السلع ذات الانبعاثات الكربونية العالية.

يُعتقد أن آلية بناء القدرات تتصدى للتحديات التي تواجهها آليات السوق عندما تختلف أسعار الكربون عبر البلدان والقطاعات. ويجب أن يكون هناك سعر عالمي موحد للكربون للمشاركين جميعهم في السوق (نوردهاوس، 2019). كما يمكننا من حيث المبدأ معالجة الانبعاثات المناخية بفعالية من حيث التكلفة من خلال التنفيذ الشامل لهذه الآليات. والفكرة هي أنه إذا أُعلن عن أهداف الانبعاثات بموثوقية، فيمكن أن توفر حوافز قوية طويلة الأجل لتحفيز الاستثمارات اللازمة وتحفيز الابتكار في التقنيات والبنية التحتية، مثل توليد الطاقة الخضراء ومحطات شحن الهيدروجين أو التنقل الكهربائي (عدي وآخرون، 2010)

يفتقر السوق حاليًا لأسعار الكربون العالمية. وقد تظهر إخفاقات إضافية في السوق أو الحكومة والتي قد تكون نتيجة لعدم اليقين السياسي، أو الأسواق المالية غير المكتملة، أو التكاليف الإدارية والمعاملات، أو الاستيلاء المحدود على الأنشطة المبتكرة، أو تأثيرات الشبكة. فعلى سبيل المثال، قد تحدث هذه الإخفاقات عندما تعدل الحكومات أسعار الكربون بطريقة غير متوقعة لأسباب سياسية، أو حين تواجه الشركات الناشئة في المجال الأخضر صعوبة في الحصول على التمويل الاستثماري، أو عندما تؤثر تأثيرات الشبكة على البنية التحتية، أو عندما لا يمكن تخصيص الإجراءات المتعلقة بالابتكار تمامًا.

يتحرك السياسيون الذين يتحملون المسؤولية الأساسية عن رفاهية مجتمعاتهم المحلية في بيئة معقدة، بينما تمثل الأدوات المرتكزة على السوق خيارًا قويًا لمواجهة تغير المناخ (ستين، 2007). إن دمج هذه الأدوات مع سياسات أخرى قد يكون ذا فائدة على المستوى الوطني والأوروبي. وسيساهم هذا الأسلوب في التغلب على قيود النهج الأحادي، مما قد يزيد من فعالية السياسات المتعلقة بتغير المناخ وكفاءتها (جولدر وباري، 2008).

2.4.2 أدوات الدعم المباشر للتقنيات والمنتجات المستدامة

تحفز المجموعة الثانية من أدوات السياسة مباشرة على اعتماد تقنيات وحلول حاسمة وتطويرها للحد من انبعاثات غازات الدفيئة. فمن زاوية اقتصادية، يُعد هذا النهج منطقيًا خاصة للتكنولوجيات الناشئة. وتواجه التقنيات في مراحلها المبكرة عادةً تحديات، مثل ارتفاع التكاليف، وغياب البنية التحتية، وعدم اليقين في السوق، مما قد يعوق تقدمها (جاني وآخرون، 2002).

يمكن للإعانات الحكومية أن تساعد على التغلب على هذه العوائق، مما يساهم في تحقيق «تغيير تقني موجه» نحو تقنيات أكثر استدامة، قادرة على تصحيح إخفاقات السوق المرتبطة بالعوامل البيئية، بالإضافة إلى تحفيز الابتكار والنمو الاقتصادي (آسم أغلو وآخرون، 2012). ومع ذلك، يجب أن تُصمم هذه الإعانات بعناية لضمان فعاليتها من حيث التكلفة وتجنب النتائج غير المرغوب فيها.

من الأمثلة البارزة على أدوات دعم الطاقة المتجددة هو قانون مصادر الطاقة المتجددة الألماني (Erneuerbare-Energien-Gesetz أو EEG؛ راجع وزارة الاقتصاد وحماية المناخ الفيدرالية Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz، 2023). فقد أُدخل هذا القانون لأول مرة في عام 2000، ومنذ ذلك الحين خضع لعدة تعديلات لمواكبة تغيرات السوق والتطورات التكنولوجية.

يهدف هذا القانون إلى تعزيز إنتاج الطاقة المتجددة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري. ويقدم إطارًا طويل الأمد ومستقرًا لتطوير مشاريع الطاقة المتجددة من خلال ضمان تعويضات دنيا للكهرباء المولدة من مصادر متجددة، حيث تُمنح هذه التعويضات عادةً لفترة تتراوح بين 15 و 20 عامًا، وتُحدّد عبر إجراءات المناقصات لمعظم مشاريع الطاقة المتجددة.

يتضمن قانون مصادر الطاقة المتجددة الألماني (EEG) مجموعة متنوعة من تقنيات الطاقة المستدامة، مثل طاقة الرياح، والطاقة الشمسية، والكتلة الحيوية، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحرارية الأرضية. ويحدد القانون التعويضات المضمونة لكل تقنية، مع مراعاة عوامل مثل حجم التركيب، ونوع التقنية، والموارد الإقليمية المتاحة.

وبفضل قانون مصادر الطاقة المتجددة (EEG)، شهدت نسبة استهلاك الكهرباء من المصادر المتجددة في ألمانيا ارتفاعاً ملحوظاً في السنوات الأخيرة. فقد بلغت الحصة 41% في عام 2021، وارتفعت إلى 46% في عام 2022 (وكالة البيئة الاتحادية الألمانية، 2023b). ومع ذلك، يجب أن ندرك أن استهلاك الكهرباء المبلغ عنه والذي بلغ 549 تيراواط في الساعة في عام 2022 (وكالة البيئة الاتحادية الألمانية، 2023c) يمثل فقط جزءاً صغيراً من إجمالي استهلاك الطاقة في ألمانيا الذي يقدر بنحو 2500 تيراواط في الساعة (وكالة البيئة الاتحادية الألمانية، 2023a).

يشكل استهلاك الطاقة غير الكهربائية الحصة الأكبر من إجمالي استهلاك الطاقة، نظراً لاستخدامه الواسع في مجالي النقل والتدفئة. ومن المتوقع أن تشهد هذه القطاعات تحولاً متزايداً نحو الكهرباء خلال السنوات المقبلة. ومن شأن هذا التحول أن يساهم في تحسين كفاءة الطاقة. كما تقترح النسخة الحالية من قانون مصادر الطاقة المتجددة لعام 2023 (EEG-2023) مسارات توسّع طموحة، ولا سيما في مجالي طاقة الرياح والطاقة الشمسية (قانون مصادر الطاقة المتجددة؛ انظر البوندستاغ الألماني، 2023، المادة 4). ومع ذلك، لا تزال التحديات كبيرة فيما يتعلق بتلبية الزيادة المتوقعة في الطلب على الكهرباء اعتماداً بالكامل على مصادر الطاقة المتجددة المحلية في ألمانيا.

تسعى ألمانيا سعيًا جادًا لتعزيز المنتجات المستدامة التي تسهم إسهامًا كبيرًا في تحقيق سيناريوهات منخفضة الانبعاثات، خاصة في مجال التنقل. فمنذ عام 2016، أطلقت الحكومة الألمانية برنامجًا تحفيزيًا يدعى «Umweltbonus» لدعم شراء المركبات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات (BEVs) والمركبات الكهربائية التي تعتمد على خلايا الوقود (FCEVs).

وبدءًا من عام 2023، يقدم البرنامج إعانات تصل إلى 4500 يورو للسيارات الصغيرة و3000 يورو للسيارات متوسطة الحجم. ومن المتوقع أن تنخفض هذه الإعانات بدءًا من عام 2024، حيث ستقتصر المؤهلات على السيارات الصغيرة فقط (المكتب الصحفي والإعلامي للحكومة الفيدرالية الألمانية، 2022). بالإضافة إلى ذلك، تُعفى جميع المركبات الكهربائية العاملة بالبطاريات والمركبات الكهربائية التي تعمل بخلايا الوقود المسجلة حديثًا من ضريبة المركبات حتى عام 2030، حيث تقدر هذه الضريبة بحوالي 100-200 يورو سنويًا (انظر وزارة المالية الاتحادية، 2023).

وأطلقت برامج دعم كبيرة منذ عام 2017 لتشجيع تركيب نقاط شحن خاصة وعامة للمركبات الكهربائية في جميع أنحاء ألمانيا، بميزانية إجمالية تصل إلى 1.1 مليار يورو. وتوجد أيضًا برامج دعم حكومية لتركيب محطات شحن للمركبات الكهربائية التي تعمل بخلايا الوقود، ولكنها تركز أساسًا على المركبات التجارية، وتتطلب استخدام الهيدروجين الأخضر بنسبة 100%. ولذلك، يبقى حجم الدعم لهذه المحطات أقل بكثير مقارنةً بمحطات شحن المركبات الكهربائية (انظر وزارة الاتحادية للشؤون الرقمية والنقل، 2021).

2.4.3 المناهج التنظيمية التقليدية: تدابير القيادة والتحكم

تُعرف فئة الثالثة من آليات الحوكمة باسم تدابير القيادة والتحكم، حيث تضع لوائح ومعايير إلزامية لتنظيم الانبعاثات وتعزيز الممارسات المستدامة (تيتينبيرغ ولويس، 2018). من وجهة نظر اقتصادية، تُعد هذه الأدوات غالبًا الأقل كفاءة. ولكن قد تكون أدوات القيادة والتحكم ذات صلة، وقد توفر بديلاً أفضل مقارنة بالأدوات المعتمدة على السوق.

تؤثر عوامل مثل تكاليف المعاملات، والتكاليف الإدارية، والقدرة في التصرف إستراتيجيًا، والتكاليف السياسية على هذا التفضيل (نيويل وستافينز، 2003). وقد تكون المعايير الموحدة الإلزامية في التنظيم البيئي مبررة من الناحية الاقتصادية، وتوفر «الكفاءة دون المثالية»، وهذا عندما تجعل تكاليف المعاملات الآليات المعتمدة على السوق غير عملية (بامبول وأوتس، 1988، ص 159).

يعد التخلي التدريجي عن الفحم في ألمانيا نموذجًا مهمًا لأساليب القيادة والتنظيم، حيث وُضعت مجموعة من القوانين واللوائح لضمان الوصول إلى هذا الهدف. ويهدف هذا التشريع إلى إنهاء اعتمادية ألمانيا على الفحم في توليد الطاقة والتحول نحو مصادر طاقة أكثر نظافة واستدامة. وقد بدأ سريان القانون المعني منذ عام 2020 (قانون إنهاء توليد الكهرباء بالفحم – Kohleverstromungsbeendigungsgesetz، انظر البوندستاغ الألماني، 2022b).

تتضمن إحدى الخصائص الرئيسية لهذا القانون منع إنشاء محطات جديدة لتوليد الطاقة باستخدام الفحم في ألمانيا. ويحتوي القانون على جدول زمني محدد للتخلص التدريجي من محطات الطاقة الحالية التي تعمل بالفحم، مع هدف إغلاق جميعها بحلول عام 2038 حدًا أقصى. ويشمل

ذلك محطات الطاقة التي تستخدم الفحم الصلب (مثل الفحم الأنثراسايت والفحم الببتيوميني) والفحم الليغنييت (الفحم البني). فضلًا عن ذلك، يُعوّض مالكو محطات الفحم القائمة عن مغادرتهم السوق.

تلعب آليات القيادة والتحكم دورًا بارزًا في تنظيم الانبعاثات في قطاعي التنقل في ألمانيا وأوروبا. فقد وُضعت معايير للانبعاثات، على مستوى الاتحاد الأوروبي، بهدف تقليل التأثير البيئي للمركبات وتحسين جودة الهواء. تحدد هذه المعايير، المعروفة باسم المعايير الأوروبية (حاليًا 6 يورو)، كمية الملوثات مثل أكاسيد النيتروجين والجسيمات وأول أكسيد الكربون المنبعثة من المركبات.

بالإضافة إلى ذلك، هناك لوائح أخرى تفرض قيودًا على متوسط انبعاثات أسطول ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتباس الحراري، والتي تخضع منذ عام 2020 لللائحة الاتحاد الأوروبي 631/2019 (انظر البرلمان الأوروبي والمجلس الأوروبي، 2019). وعُززت المعايير تدريجيًا عبر السنوات؛ حيث أُدخِلت نسخ جديدة مع حدود أكثر صرامة للانبعاثات والقياس.

مؤخرًا، وُضعت خطط واضحة لفرض عدم وجود انبعاثات لسيارات الركاب والشاحنات الجديدة بدءًا من عام، وذلك ضمن حزمة الاتحاد الأوروبي 2035 (Fit for 55). ومع ذلك، فإن أهداف انبعاثات أسطول المركبات الحالية تركز فقط على انبعاثات أنابيب العادم، دون احتساب الانبعاثات الناتجة عن تصنيع المركبات.

يؤدّي التحوّل نحو التنقل الكهربائي إلى انتقال الانبعاثات من مرحلة الاستخدام إلى مرحلة الإنتاج، مما يعزّز الحاجة إلى النظر في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عبر دورة حياة المركبات بأكملها (انظر البرلمان الأوروبي، 2023).

يمثل التجميع المذكور أعلاه لأطر السياسات وآليات الحوكمة أبرز المبادرات التي تتولى قيادة التحول نحو الطاقة والتنقل المستدام في ألمانيا، كما هو موضح في هذا الفصل. وتلعب هذه السياسات والآليات دوراً أساسياً في تشكيل البيئة الخاصة بالطاقة المتجددة وتعزيز تكامل حلول النقل المستدام. ويبقى من المهم أن ندرك أن هذه النظرة العامة لا تغطي التدابير جميعهم ذات الصلة التي نُفِّذت في ألمانيا.

تضم هذه التدابير مجموعة من الآليات والإستراتيجيات التي تسهم في دعم مسار التحول. وتختلف هذه الأدوات، سواء كانت آليات قائمة على السوق، أو إعانات، أو أنظمة قيادة وسيطرة، من حيث نقاط القوة والقيود في معالجة القضايا البيئية. ويعتمد اختيار كل نهج على السياق المحدد، كما يتطلب تحليلاً اقتصادياً وسياسياً دقيقاً لتحديد مزيج التدابير الأكثر كفاءة وفعالية.

2.5 محادثة الخبراء حول سياسة المناخ الاقتصادية: بين الانفتاح التكنولوجي والتنظيم

ما هي التحديات والفرص المرتبطة بالاستدامة بصفتها جزءاً من الإستراتيجية المؤسسية؟

جريم: هذه فرصة ممتازة للحديث عن الاستدامة في الشركات والأهداف المناخية العالمية. ما هي أكبر التحديات التي تواجهها في بي إم دبليو فيما يتعلق بالأهداف المناخية التي أصبحت أكثر تشدداً الآن في ألمانيا والاتحاد الأوروبي؟

زيبسه: تمثل الاستدامة محوراً أساسياً في عمل شركة بي إم دبليو، في ظل تحولات سياسية متسارعة وتفاقم متزايد لتحديات تغير المناخ. ويُعد هذا السياق أحد أبرز التحديات العالمية

المعاصرة، لا سيما مع ما يشهده سلوك العملاء من تغيرات متلاحقة. وانطلاقاً من ذلك، وُضعت الاستدامة في صميم الاستراتيجية المؤسسية للشركة، نظرًا لأهميتها على صعيد تلبية تطلعات العملاء، فضلاً عن أبعادها السياسية والاقتصادية.

جريم: نظرت الشركات، لسنوات عديدة، إلى الاستدامة بوصفها ممارسة ضرورية لكنها مكلفة. فما العوامل التي أسهمت في تغيير هذا التصور؟

زيبسه: إذا تجاهلنا الاستدامة لأسباب تتعلق بالأعمال، فلن تكون إستراتيجيتنا فعّالة على المدى الطويل. نحن نحتاج إلى التفكير في ارتفاع أسعار الموارد. وإن لم نأخذ بالحسبان إمكانية إعادة استخدام المواد من خلال إعادة التدوير في إستراتيجيتنا، فقد نواجه تحديات في إنتاج السيارات كما نفعل اليوم في المستقبل القريب. ولهذا السبب، طورنا هيكلًا جديدًا للسيارات التي سنطلقها في عام 2025، حيث سيكون الاستخدام الثانوي للمواد محور التصميم الهندسي.

ما نراه اليوم هو أن الصلب والنحاس والنيكل والبلاديوم والروديوم أصبحت أكثر تكلفة على نحو متزايد. ومن ثم، يجب أن نجد أساليب للحفاظ على السيارات بأسعار معقولة لعملائنا.

هل تتبنى السياسة والصناعة مقاربات مختلفة تجاه الاستدامة؟

جريم: يمكن أن يظن البعض أن الصناعة أصبحت الآن في صف أولئك الذين يسعون لحماية المناخ، والذين كافحوا لفترة طويلة، حتى في الشوارع، ضد تغير المناخ بصورة أكثر طموحًا؛ مما يطرحه السياسيون حاليًا. ويبدو أن الصناعة قد تتمتع بسرعة أكبر في هذا المجال. بينما يتعين على السياسيين النضال من أجل تحقيق الأهداف

والسعي لتنفيذ اللوائح المعنية.

هل تعمل الأطر التنظيمية بفاعلية؟ وهل تمتلك الشركات الحوافز الكافية للتوجه نحو الأعمال المستدامة؟

زيبسه: أرى أنه من المهم أن نكون على اتصال وثيق وموثوق بالسياسيين، لأننا نتقاسم الرؤية نفسها لمستقبلنا. يُنْتخَبُ السياسيون من المجتمع، وعملنا جزء من هذا المجتمع. لذلك، نحن نتشارك الأسس التي تُوجه إستراتيجياتنا. فمن الضروري أن نتحدث بعمق حول سرعة التحول. وأحياناً ترغب الصناعة في التسريع، وأحياناً أخرى يسعى السياسيون للتحرك بسرعة. والسرعة والتسارع المناسبان هما الأهم. ولتوضيح ذلك، يمكننا النظر إلى قطاع النقل، حيث إن التنقل الكهربائي يعد الخيار الرئيس لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، حيث تؤثر انبعاثات السيارات مباشرة في تنظيم أسطول السيارات الجديدة.

ومع ذلك، فإن تقبل المشترين للسيارات الكهربائية الجديدة؛ ومن ثم التأثير في انبعاثات قطاع النقل يرتبط ارتباطاً مباشراً بالبنية التحتية للشحن. بدون هذا التصعيد السريع، يمكن أن يؤدي قرار الانتقال إلى 0 جم/كم في السيارات الجديدة بحلول عام 2035 إلى انخفاض مبيعات السيارات الجديدة، ومن ثم إلى مزيد من تقادم أسطول السيارات في الاتحاد الأوروبي، على عكس ما هو مطلوب.

لهذا السبب حثثنا بشدة على مناقشة مدى سرعة زيادة البنية التحتية للشحن في 27 دولة أوروبية وفق الإمكانيات المتاحة، وكيف يمكن للمرء تحديد هدف لانبعاثات السيارات مع الاتفاق في الوقت ذاته على مسار نمو البنية التحتية للشحن في الاتحاد الأوروبي. ما زلنا نرى اليوم تجزئة قوية لأسواق الاتحاد الأوروبي:

حيث يكون توافر البنية التحتية أعلى، وكذلك حصة السيارات الكهربائية التي تعمل بالبطارية (BEV)، والعكس صحيح. ولهذا، نحن نحتاج إلى تقييم شامل للغاية للعلاقة بين تنظيم جانب العرض والمتطلبات المسبقة لجانب الطلب عندما يُعاد تقييم قرار الذهاب إلى 0 جم/كم في عام 2035 في عام 2026.

كيف تؤثر البنية التحتية لشحن المركبات الكهربائية في تحديد الأهداف؟

جريم: يبدو لي أن أحد التحديات الرئيسة هو أن مستقبل بنية الشحن التحتية غير محدد. وهذا يؤدي إلى عدم وضوح لدى الناس بشأن إمكانية قيادة سيارة كهربائية تعمل بالبطارية إلى الوجهات التي يرغبون فيها. وبالتأكيد سيؤثر ذلك في قرارهم بشراء السيارة، وسيؤثر في اختياراتك بصفتك مصنع سيارات في إنتاجها.

زيبسه: حسنًا، نحن على دراية بتحديات البنية التحتية، ولهذا السبب نقدم لعملائنا خيارات متعددة من مجموعات القيادة المختلفة.

جريم: يحدث موقف مشابه في مجال وسائل النقل المسيرة بالهيدروجين، خصوصًا في النقل الثقيل. فمن الضروري وجود بنية تحتية لجذب الاستثمارات في إنتاج السيارات والنقل الثقيل. فهل تعتقد أن السياسات المتبعة هنا فعالة؟ وما هي الإستراتيجيات الممكنة لتوسيع البنية التحتية بطريقة منظمة، وأيضًا لضمان التمويل المناسب؟

ليس من الضروري أن تتحمل الدولة كل الأعباء المالية، فربما يوجد مستثمرون مهتمون يمكنهم استثمار أموالهم، حيث يمكن أن يصبح هذا نموذجًا تجاريًا جذابًا. ومع بدء توسع الحركة الثقيلة القائمة على الهيدروجين، سيكون هناك إمكانية لاستثمار مبالغ كبيرة.

زيبسه: نوصي بشدة بأهمية اتخاذ الخطوة الأولى، حيث إن السياسيين نادرًا ما يتخذون هذه الخطوة إذا لم يشعروا بوجود تحدٍ يواجهه صناعة معينة. فعلى سبيل المثال، قدمت بي إم دبليو أول سيارة كهربائية لها في عام 2013، ولكن أُتخذ قرار إنتاجها في عام 2009، أي قبل أن يبدأ السياسيون في الحديث عن هذا الموضوع. ومن ثم، فإن ذلك يتيح لك الفرصة لتكون أكثر تقدمًا في المجال السياسي.

جريم: هل ستتبع نهجًا مشابهًا مع وسائل النقل المسيرة بالهيدروجين؟

زيبسه: عندما نتحدث عن الهيدروجين، نجد أنفسنا في نفس الوضع الذي كنا عليه مع التنقل الكهربائي قبل عشر سنوات. لقد أثبتنا إمكانية تشغيل السيارات باستخدام خلايا الوقود. وبعد ذلك، تُطوّر البنية التحتية. الأمر ليس دائمًا بموقف مستعصي الحل، إنه أشبه بلعبة كرة الطائرة، حيث يتقدم الجميع خطوة بخطوة، ونحن نريد أن نكون جزءًا من تلك اللعبة.

هدفنا هو إثبات أنه من الناحية التكنولوجية، هناك إمكانيات أكبر بكثير مما يدركه الجمهور. وعلينا إقناع السياسيين بأن يكونوا أكثر جرأة في بعض الأحيان، وأحيانًا أخرى أن ينظروا إلى الأطر الزمنية مجددًا لتقليل السرعة قليلًا.

كيف تشكل المنافسة الدولية سوق التنقل بدون انبعاثات؟

جريم: هناك منافسة دولية قوية جدًا، خاصة في قطاع سيارات خلايا الوقود، فقد بدأت بالفعل شرق آسيا في الإنتاج التسلسلي. وهذا يمثل تحديًا لأوروبا. وفي الوقت نفسه، يواجه المجتمع صعوبة في تصور إمكانية التطور التكنولوجي الإضافي. فإذا لم يتمكن الناس من تصور التغييرات الممكنة، يصبح من الصعب اتخاذ قرارات سياسية مناسبة، كما هو الحال في مسألة التنقل باستخدام الهيدروجين.

هناك نقاش واسع يجري في ألمانيا حول هذا الموضوع. ومع ذلك، أفهم أنك لا تشير إلى أن السوق قد استقر على المركبات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات، بل تبرز أن هناك العديد من الفرص لكل من المركبات الهيدروجينية والمركبات الكهربائية.

بيكر: لنأخذ سوق السيارات الكهربائية كمثال. إذا نظرنا إلى الوضع الحالي في هذا السوق، نجد أنه قد جاء بعد قرار سياسي مهم، وهو تفويض كاليفورنيا للمركبات الخالية من الانبعاثات (-California Zero Emission Vehicle Mandate).

يتطلب هذا التفويض الالتزام بتوفير سيارات بلا انبعاثات على الطرق. وقد ربط هذا الخيار السياسي صناعة السيارات بحصة متزايدة وإلزامية من المركبات الخالية من الانبعاثات، سواء كانت تعمل بخلايا وقود أو ببطاريات كهربائية. كان بالإمكان اتباع نهج مشابه بشأن حصص الهيدروجين، ليس فقط من ناحية السيارات، بل أيضاً من ناحية البنية التحتية. فعلى سبيل المثال، كان من اللازم استخدام الهيدروجين بالتزامن مع إنتاج الزيوت المعدنية، فلو جرى اختيار هذا الخيار في وقت سابق، لكان له تأثير كبير على صناعة السيارات اليوم. وفي النهاية، المسألة تتعلق دائماً بالخيارات السياسية المتاحة. جريم: يمكن القول إن الصناعة هي المسؤولة عن الابتكار، بينما يسهم الجانب التنظيمي في اتخاذ القرارات الإستراتيجية لإدخال تقنية معينة إلى السوق.

بيكر: أتفق معك. عند النظر إلى الطلب على خلايا الوقود، يتضح أنها خيار مهم للبنية التحتية ويجب أن يُنظر فيه. يتطلب هذا الأمر تعاوناً من الصناعة والحكومات، وكذلك من أولئك الذين ينتجون الطاقة، ويحولونها إلى هيدروجين. ولهذا، تعد رسالتنا في هذا السياق واضحة جداً.

نحن على ثقة عالية في قدرتنا على تزويد السيارات بالطاقة، ونعمل على تطوير تقنيات مختلفة لتوفير الخيارات للسياسيين، ولكن القرار النهائي يعود إليهم. ولكن على الصعيد العالمي، نجد أن الوضع مجزأ جداً، فكورنيا مثلاً تمتلك أجنحة هيدروجين واضحة، بينما في كاليفورنيا، لا توجد سيارة تحصل على مزايا أكثر من تلك التي تعمل بخلايا الوقود. لقد بدأ السباق، ونحن في ألمانيا، نميل إلى تجاهل حقيقة أننا مجرد سوق واحد، وأن وجهات النظر تختلف من مكان لآخر.

كيف يؤثر سلوك المستهلك في صنع القرار نحو الاستدامة؟

جريم: أرى أن هناك تحدياً كبيراً يتمثل في صعوبة تصور الناس للتغيرات المستقبلية. كما أن ذلك يتطلب موارد وسلاسل توريد جديدة تماماً، مما سينعكس على تجارة الطاقة. فمن الضروري الانتقال من استيراد الوقود الأحفوري إلى استيراد مصادر الطاقة المتجددة، وهذه تغييرات كبيرة يجب أن تتحقق بسرعة.

أحد الأسئلة التي تراودني هي: إلى أي مدى يدرك عملاء الحاجة إلى التغيير؟ وفي الوقت ذاته، يستمر النقاش حول أسعار البنزين، وهو أمر غير متوقع إلى حد كبير، لأنه من الضروري أن يرتفع ثمن الوقود الأحفوري إذا أردنا تعزيز الاستدامة. يجب أن تكون هناك خطوات لجعل امتلاك سيارة خالية من الانبعاثات أكثر جاذبية من السيارة التي تعمل بالوقود الأحفوري. والسؤال الآخر هو: كيف يمكننا التقدم في هذا الاتجاه في ظل وجود حالة من تردد الأفراد في الاستجابة بمجرد أن يتعرضوا للتأثير؟

زيبسه: يمثل العميل عنصراً غير معروف في هذه المعادلة، حيث يختلف سلوكه عند التصويت عن سلوكه بصفته مستهلكاً. ما يختاره المستهلك من حزب سياسي قد يتناقض مع قراراته الشرائية. ومن

الخطر جدًا بناء إستراتيجية المنتج بناءً على الانتخابات السياسية. فالناس تشتري السيارات لأسباب متعددة، تشمل العوامل العاطفية والاقتصادية والعملية. ولذلك، يجب دائمًا متابعة وتحديد التغيرات في سلوك العملاء، فالتغيرات في سلوك العملاء لا تحدث فجأة. فالتنقل الكهربائي استغرق أكثر من 10-15 عامًا للتطور، وما يزال هناك الكثير من عدم الثقة: أين توجد نقاط الشحن؟ وما التكلفة؟ وهل ستدوم البطارية لفترة كافية؟ هذه كلها مخاوف موجودة.

جريم: إذن، ما الحل المناسب للتعامل مع الشكوك المتعلقة بالتقنيات الجديدة في السوق؟

زيبسه: من النصائح المفيدة التركيز على احتياجات العميل. فنحن نرى أن هناك فرصة في سوق الهيدروجين، خاصة بالنسبة للسيارات الكبيرة، وتحديدًا في قطاع السيارات الفاخرة. ودائمًا ما يوجد رواد يرغبون في تبني أحدث التقنيات. أعتقد أن علامة تجارية مرموقة مثل بي إم دبليو تتوافق جيدًا مع هذه التقنيات الجديدة والمتطورة. وليس من الضروري أن تكون هذه التقنيات قابلة للتوسع فورًا، لكن هناك سوقًا جديدة ومنتامية يمكن أن تكون مثيرة للاهتمام بالنسبة لنا.

هل البنية التحتية الدولية جاهزة للمركبات المستدامة الجديدة؟

جريم: يجب علينا أن نأخذ بالحسبان ليس فقط ما نعمل عليه في ألمانيا، بل أيضًا ما يحدث في باقي أنحاء العالم، وكيف يمكن أن نساهم فيه. فما رأيك في قضية البنية التحتية؟ وبالنسبة لإمدادات الهيدروجين، هل ترى إمكانية استخدام بنية تحتية المركبات الثقيلة لتوسيع نطاق استخدامها في السيارات الخاصة، أم تعتقد أننا بحاجة إلى بنية تحتية جديدة؟ وهل هناك آثار جانبية لهذا الأمر؟

بيكر: إذا كنت ستوفر الهيدروجين في محطة البنزين، هل ستخبر الناس بضرورة امتلاكهم ثلاثة أو أربعة محاور لكي يتمكنوا من استخدام الهيدروجين؟ أقصد أنه إذا كانت لديك البنية التحتية، فيجب أن تتيح للجميع استخدامها متى ما كان هناك طلب.

زيبسه: أرى أن هناك فارقاً مهماً في مجال التنقل الكهربائي. إذ أنه يركز على السيارات الخاصة فقط، بينما يعد الهيدروجين ظاهرة تشمل عدة قطاعات في سوق الطاقة حالياً. ولن تكون هناك بنية تحتية مخصصة للهيدروجين للسيارات الشخصية فقط. فمن المحتمل أن يبدأ استخدام الهيدروجين في إنتاج الصلب، ثم يمتد إلى الصناعة الكيميائية، بالإضافة إلى أنه قد يؤدي دوراً في نقل البضائع، خصوصاً في قطاع الشاحنات الثقيلة.

قد يتمكن النقل الفردي في المستقبل من الاستفادة من هذه البنية التحتية. لذا، هناك فرصة لتطوير البنية التحتية الصناعية ونقل الشاحنات والمركبات الشخصية على نحو متزامن. وهذا يعكس تبايناً مع التنقل الكهربائي الذي بدأ بتشجيع استخدام السيارات الصغيرة.

جريم: أوافق على الرأي القائل بأن الاستخدام المزدوج للبنية التحتية هو خيار منطقي. يعتقد الكثير من المعارضين أن هذا يعد إهداراً، حيث إننا سنحتاج إلى بنيتين تحتيتين للطاقة من أجل النقل. ومع ذلك، يجب أن نأخذ في الحسبان أن النقل الثقيل يتطلب مجموعة متنوعة من الخيارات، وليس فقط المركبات الكهربائية التي تعمل بالبطارية، مما يتيح لنا الاستفادة من هذا الوضع أيضاً.

زيبسه: قد لا تُبنى الهياكل بنفس الوقت، وستُصمَّم البنية التحتية للهيدروجين في مجال النقل خصيصاً للظروف التي تعيق التنقل الكهربائي لسبب ما. ولكن ما يجذب انتباهي في الهيدروجين هو أننا نعمل بالفعل على تطوير البنية التحتية لمثل هذه الحالات.

نستخدم حالياً الهيدروجين في الغالب داخل منشآتنا ومصانعنا، مثل مصنع لايبزيغ. وفي الولايات المتحدة يُستخدم في النظام اللوجستي الداخلي.

جريم: لماذا؟

زيبسه: إذا كنت تسعى لتحقيق الحياد الصفري، فإن الطريقة الأكثر سهولة هي من خلال الأنظمة المغلقة، حيث لدينا خبرة جيدة في هذا المجال، وقد حققنا نتائج إيجابية. نحن لسنا في بداية استخدام هذه التقنية. إذ يعد الهيدروجين من العناصر القليلة القابلة للاستخدام مع أو بدون الميثان كوسيلة لتخزين الطاقة، مما يتيح استبداله أو دمجه مع الغاز الطبيعي، وهو ما يصعب تحقيقه مع التنقل الكهربائي.

في هذه الحالة، قد يختار التنقل الفردي استخدام خلية الوقود كنظام للقيادة، خاصة عندما تفتقر إلى نقاط الشحن أو حيث يعد الهيدروجين بديلاً للميثان، مما يجعل استخدامه أكثر كفاءة مقارنة بتوليد الكهرباء من الهيدروجين. وسيكون ذلك هو الحال في العديد من الأماكن، مثل اليابان، حيث لن يتوفر لديهم نفس البنية التحتية الشاملة للشحن المتاحة في ألمانيا.

ما هو وضع تطوير البنية التحتية للهيدروجين؟

زيبسه: إن التنقل الكهربائي أصبح حالياً موضوعاً مهماً في الساحة السياسية، حيث يُدرك الجميع أن تطوير البنية التحتية لهذا النوع من التنقل يعد أمراً أساسياً. ستعمل الدول المختلفة، بما في ذلك فرنسا وألمانيا وحتى الاتحاد الأوروبي، على استثمار مبالغ كبيرة في إنشاء بنية تحتية لشحن السيارات الكهربائية. ويعد التنبؤ بالسلوك السياسي المتعلق بالهيدروجين أكثر تعقيداً، ويبقى السؤال: ما هو مدى تأخر البنية التحتية للهيدروجين مقارنةً بتطوير البنية التحتية للتنقل الكهربائي؟

جريم: أعتقد أن الوضع يعتمد على القرارات السياسية المتخذة حالياً. أما بالنسبة للمركبات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات، فقد أُطْلِقَت المركبات الأولى، والآن نشهد ضغطاً للتوسع في البنية التحتية. وبالنسبة للهيدروجين، فإن التطورات تحدث على نحو متزامن. نحن نتحدث عن السيارات والمركبات التي تعمل بالهيدروجين، بينما يجري النقاش أيضاً حول البنية التحتية اللازمة لذلك.

ما يزال النقاش مستمرًا حول إمكانية استخدام الشاحنات الكهربائية التي تعمل بالبطارية، وأرى ذلك أمرًا مشكوكًا فيه. إذ تواجه هذه الفكرة العديد من التحديات، خاصة عند التفكير في النقل لمسافات طويلة. فمن الأفضل تعزيز استخدام الهيدروجين عن طريق تطوير الخدمات اللوجستية أولاً.

يدور النقاش حول تحديد الأولويات، مع التركيز على استخدام الهيدروجين في الصناعات الثقيلة، حيث يكون الطلب عليه مرتفعًا، خصوصًا في الصناعة الكيميائية. وأرى أيضًا أن هناك الكثير من الناس الذين يعتقدون أن السيارات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات قد تعالج مشكلة التنقل، وهو ما أظن أنه غير مؤكد.

زيبسه: نعم، هل تعتقد أنه بسبب الاستخدامات المتعددة للهيدروجين، سنتمكن من توسيع نطاق استخدامه قريبًا؟ تتطلع جميع القطاعات مثل الصناعة الكيميائية، وصناعة الصلب، وشاحنات النقل، وصناعة السيارات إلى الهيدروجين الأخضر. ويجب أن يكون كل شيء أخضر، وليس أزرقًا أو رماديًا أو بنيًا، ألا توافق؟

جريم: يُشترط أن يكون كل شيء أخضر فوراً في ألمانيا، بينما في دول أخرى، مثل شرق آسيا، فهم يتبنون نهجًا أكثر واقعية. إنهم يعززون استخدام التقنية بطريقة براغماتية فيما يتعلق بـ «لون» الهيدروجين.

أعتقد أن العديد من الدول في أوروبا تعمل أيضاً على الهيدروجين الأحمر المستمد من الطاقة النووية أو الهيدروجين الناتج عن مزيج الطاقة المحلي، وتسعى لتوسيع نطاق هذه التقنية.

يجب أن نتبنى في ألمانيا رؤية أكثر واقعية خلال هذه الفترة الانتقالية، حتى يصبح الهيدروجين الأخضر متاحاً على نطاق أوسع. سيمكننا ذلك من إنتاج المزيد من الهيدروجين خلال هذه المرحلة الانتقالية. ونأمل أن يصبح الهيدروجين الأخضر قادراً على المنافسة على المدى الطويل مقارنة بالهيدروجين الأزرق، مما سيؤدي إلى توافر كافٍ منه، لكن هذا الأمر لا يزال بحاجة إلى التوضيح.

بيكر: أحد العوامل التي أرى أنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالنقاط التي ذكرتها هو تنظيم سوق تنافسية لإزالة الكربون. نحن نؤمن بأن تداول الانبعاثات يعد عنصراً أساسياً للاستدامة. فعند شحن سيارتي اليوم، استخدم الكهرباء التي أُنتِجت في إطار نظام تداول الانبعاثات بكامل طاقته، ولكن إذا كنت أستخدم الديزل، فإن الوضع يختلف. فإذا صُنِعت تلك السيارة أو الألومنيوم الخاص بها في لاندشوت (Landshut)، فهي تشكل جزءاً من نظام تداول الانبعاثات. فهل من المنطقي توسيع هذا النهج ليشمل قطاع النقل؟ وبغض النظر عن مصدر الطاقة، سواء كان هيدروجين أو وقوداً سائلاً أو كهرباء، يجب تحديد أسعارها جميعاً بناءً على محتوى ثاني أكسيد الكربون، ومن ثم يمكن رؤية تأثير ذلك في الأسعار.

جريم: لقد ذكرت نقطة مهمة للغاية. عند شحن سيارة كهربائية تعمل بالبطارية، فإنها تعد خالية من الكربون إلى حد ما، وذلك بفضل وجود حد أقصى للانبعاثات في نظام التداول. ولهذا السبب لا تهم كثافة الكربون في مزيج الطاقة بقدر ما يهم عندما نفكر في

التنقل في إطار نظام تداول الانبعاثات، حيث تلعب كثافة الكربون دوراً مهماً هنا. أعتقد أنه سيكون من الحكمة تمديد هذا النظام.

بيكر: ما الذي تعتقد أنه سيكون حلاً تنظيمياً يسمح بالانفتاح التكنولوجي؟

جريم: إنها معركة سياسية معقدة للغاية يجب مواجهتها على مستوى الاتحاد الأوروبي. ويجب أن تشمل هذه المعركة جميع القطاعات والدول، حيث إن لكل دولة ظروفها الخاصة. وبعض الدول تعتمد على إنتاج الطاقة عالي الكربون، بينما تعتمد دول أخرى على الطاقة النووية، وهو أمر يمثل تحدياً خاصاً من وجهة النظر الألمانية.

أرى أن المضي في هذا الاتجاه أمر ضروري. فإقرار سعر للكربون يُعد أداة فعالة، وإن لم يكن الأداة الوحيدة، إذ يوفر قدرًا معقولاً من قابلية التنبؤ. وعندما تُقيّد الانبعاثات بسقف ينخفض تدريجياً من عام إلى آخر، يصبح التكيف مع هذا الإطار ممكناً. ويخلق ذلك مستوى من الوضوح يمكن التعامل معه بوصفه مخاطرة تجارية مألوفة.

وفي المقابل، تتسم أسعار الوقود الأحفوري بتقلبات حادة تنعكس مباشرة على الاقتصاد. غير أن التحدي الأكبر يظل في محدودية القدرة على التنبؤ بالمسار الذي ستتبعه الحكومات المختلفة في سنّ اللوائح والتنظيمات المستقبلية.

كيف يمكن تطوير آليات تسعير الكربون على المستوى الأوروبي؟

زيبسه: يعد تصميم آليات السوق التي تربط أهداف الاستدامة بسلوك جميع المشاركين خطوة أولى نحو تحقيق الصفقة الخضراء في أوروبا. ومع ذلك، لا يحدث هذا حالياً، حيث تُحدّد أهداف استدامة مختلفة لكل قطاع صناعي. ويعد الوقت الحالي مناسباً لتقديم سعر

لثاني أكسيد الكربون، مما سيوفر أداة قوية لتحقيق تلك الأهداف، ولكن لماذا لا يحدث ذلك؟

جريم: لقد طرح الاقتصاديون هذا المفهوم منذ سنوات عديدة، ومن المثير للاهتمام أنه أصبح موضوعًا متداولًا في السياسة اليوم. إذ تمثل عملية التفاوض على المستوى الأوروبي تحديًا في تحديد الأهداف، وتتأثر بعض الدول أكثر من غيرها. لهذا السبب سيكون من الضروري تعويض ذلك على مستوى الاتحاد الأوروبي.

فضلا عن ذلك، فإن هذا الإجراء ليس شائعًا، كما يتضح من النقاش حول أسعار البنزين، لأنه يؤدي إلى زيادة واضحة في الأسعار. يجب البحث عن طرائق مقبولة اجتماعيًا لتخفيف العبء على المستهلكين. ومع ذلك، فإن النقاش حول هذه القضايا ليس مرتفع الصوت بما يكفي، حيث يمكن بسهولة زيادة أسعار ثاني أكسيد الكربون، وفي الوقت نفسه خفض سعر الكهرباء الذي تتأثر قيمته حاليًا بالضرائب والرسوم.

هذا يعني أنه يمكن تقليل سعر الكهرباء بمقدار الثلث، مما قد يُخفف تكاليف الأسرة النموذجية بمقدار 400 يورو سنويًا. ورغم وجود فرص، فإنه من الصعب جدًا مناقشة هذه الأمور؛ نظرًا لوجود مجموعات متنوعة في المجتمع تتبنى اهتمامات مختلفة.

بيكر: يمكن أن نرى أن نظام التداول يساعد المنتجين على تقليل انبعاثات الكربون عند الحديث عن الوقود. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يؤدي خلط الوقود الذي يحتوي على الهيدروجين مع البنزين إلى جعل المنتجات متاحة للعملاء. هذا المثال يمكن أن يعزز النقاش السياسي، لكنه يبدو أنه موضوع مثير للجدل الآن.

كيف يمكن للاستثمارات الخاصة دعم الصفقة الأوروبية الخضراء؟

جريم: أعتقد أنه من السهل نسبياً التوصل إلى توافق بشأن الأهداف، مثل تحقيق الحياد المناخي بحلول عام 2050 أو 2045. ولكن التوافق حول المسار والآليات والتنظيمات اللازمة للوصول إلى هذه الأهداف يعد أمراً صعباً للغاية. هناك آراء متباينة حول هذا الموضوع.

يركز بعض النقاش على سعر الكربون والإجراءات المعتمدة على السوق، بينما يؤكد آخرون على أهمية دور الدولة وضرورة زيادة الإنفاق العام لتحقيق الحياد المناخي. إلا أن هذه الفكرة ليست دقيقة، إذ إن الاستثمارات الخاصة تعد ضرورية بالقدر نفسه. تمثل الاستثمارات الخاصة 85% من إجمالي الاستثمارات في ألمانيا، بينما لا تتجاوز الاستثمارات العامة 15%. ومع ذلك، فإن زيادة الاستثمار العام ستكون صعبة التوجيه في الاتجاه الصحيح؛ بسبب الجدول المحتدم حول ما هو المسار الصحيح للمضي قدماً؟ وأي القطاعات يجب إزالة الكربون منها أولاً؟

زيبسه: وما هو رأيك في ذلك؟

جريم: يوجد الكثير من الخلافات، ولا يوجد توافق حول كيفية التقدم. أرى أنه من الضروري أن نتوصل إلى اتفاق بشأن التدابير التي ستساعد الشركات على الاستثمار. هذا يتطلب أولاً تحديد سعر لثاني أكسيد الكربون وتوسيع البنية التحتية وفق مسار يمكن التنبؤ به. ومن ناحية أخرى، نحتاج أيضاً إلى زيادة رأس المال الاستثماري لضمان توسيع الابتكار وتطوير تقنيات جديدة وتطبيقات مناخية في أوروبا.

تتوفر فرص أكبر حالياً لرأس المال الاستثماري في الولايات المتحدة وحتى في شرق آسيا. أود أن أعرف رأيك حول كيفية تعزيز فرص رأس المال الاستثماري في أوروبا؟

زيبسه: أعتقد، كما ذكرت سابقاً، أننا بحاجة إلى تعزيز الاستثمارات الخاصة في البنية التحتية في أوروبا. ويجب علينا التفكير في مشروع تعاون يجمع بين صانعي السياسات والقطاع المصرفي والخاص لتشكيل اتحادات. هذه هي الوسيلة الوحيدة لتوزيع المخاطر المرتبطة باستثمارات البنية التحتية، وربما يكون هذا هو النهج الأوروبي. كما أرى أن الأوروبيين مستعدون لتحمل المخاطر إذا وُزَّع العبء بعدل. ومع ذلك، يجب علينا أن نكون مستعدين لمواجهة مزيد من المخاطر في المستقبل.

2.6 الأهداف القائمة على أسس علمية: فرص وتحديات تحديد أهداف الانبعاثات على مستوى الشركات

أشارت المناقشات السابقة بين الخبراء إلى العلاقة الوثيقة بين السياسات الوطنية وتنظيم السوق وإجراءات الشركات لتحقيق الحياد الصفري. إذ يتعين على الشركات أن تفهم توقعات الجهات المعنية للوصول إلى التوافق مع التطورات في علوم المناخ وسياساته، بالإضافة إلى اعتماد منهجيات فعالة لتقييم إستراتيجيات التخفيف لديها وتفعيلها عند الحاجة. وبناء عليه، يركز هذا القسم على مفهوم الأهداف القائمة على أسس علمية لخفض انبعاثات غازات الدفيئة. وهذا أمر بالغ الأهمية، حيث سيتعين على الشركات بدءاً من عام 2024 أن تقدم تقارير عن إستراتيجياتها لتحقيق التوافق مع هدف 1.5 درجة باستخدام الأساليب «القائمة على أسس علمية».

عززت السياسة العالمية للمناخ الالتزام الجماعي لتحقيق الحياد الصفري والحد من ارتفاع درجة الحرارة العالمية إلى أقل من درجتين مئويتين، كما هو موضح في القسم 2.3. إذ يتطلب هذا الالتزام وضع مسارات طموحة لخفض الانبعاثات تتماشى مع أهداف 1.5 درجة مئوية أو درجتين مئويتين.

وتوفر الأهداف القائمة على أسس علمية إطارًا لتحويل هذه المسارات الواسعة إلى خطط عمل ملموسة على مستوى الشركات. ويمكن للشركات تحديد المستوى المطلوب من إزالة الكربون بما يتناسب مع سياقها الفريد من خلال الاستفادة من الرؤى المستمدة من علم المناخ.

تهدف الأهداف القائمة على أسس علمية إلى تقديم إرشادات واضحة لشركات العمل المناخي وتعزيز الشفافية في مواءمة تخفيضات الانبعاثات مع اتفاقية باريس. ومع ذلك، فإن منهجية وضع الأهداف القائمة على أسس علمية تتسم بالتعقيد والتطور المستمر. وبدلاً من الخوض في هذه التعقيدات، تُقدّم هذه المراجعة عرضاً عاماً للمنطق الأساسي، وتُسلّط الضوء على الاعتبارات الجوهرية لتطبيقها وتقييمها نقدياً ورسم مسار تطويرها المستقبلي.

2.6.1 مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية: الأصل والرسالة

أطلقت مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية بالتزامن مع اعتماد اتفاقية باريس للمناخ. وقد عمل كل من مشروع الإفصاح عن الكربون (CDP) والميثاق العالمي للأمم المتحدة ومعهد الموارد العالمية (WRI) والصندوق العالمي للطبيعة (WWF) على تأسيس هذه المبادرة.

تهدف المبادرة إلى وضع معيار يحدد أهداف خفض انبعاثات غازات الدفيئة (GHG) بما يتماشى مع الهدف المتمثل في الحد من ارتفاع درجة الحرارة العالمية إلى 2 درجة مئوية أو أقل، طبقاً لاتفاقية باريس، وذلك على مستوى الشركات (بيورن وآخرون، 2022). ورفعت مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية طموحاتها لتسليط الضوء على هدف 1.5 درجة مئوية. وقد تطورت الفرضية الأساسية لهذه الأهداف على مستوى الشركات لتصبح نهجاً عملياً يعتمد على البيانات، حيث تُحدّد الأهداف، ويتحقق منها من خلال المبادرة، مما يمكّن الشركات من توافق إستراتيجياتها مع أهداف اتفاقية باريس للمناخ.

وفي عام 2021، التزمت أكثر من 2000 شركة من 70 دولة، تمثل 35% من إجمالي القيمة السوقية العالمية وفقاً لتقرير الأهداف القائمة على أسس علمية، إما بتحديد أهداف مبنية على العلم، أو حصلت بالفعل على موافقة المبادرة لأهدافها (تقرير مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2022). ويستمر هذا العدد في الزيادة، حيث تجاوز 4000 شركة حددت أهدافها بنهاية عام 2022 (تقرير مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023a).

تهدف مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية إلى تعزيز الإجراءات الطموحة لمواجهة تغير المناخ في القطاع الخاص من خلال تمكين الشركات من تحديد أهداف خفض الانبعاثات استناداً إلى العلوم (تقرير مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023a). تسعى المبادرة لتحقيق هذا الهدف من خلال توفير إطار عمل وإرشادات تساعد الشركات في وضع أهداف لخفض غازات الاحتباس الحراري (GHG) واعتمادها.

وتقدم المبادرة تقييمًا خارجيًا لأهداف خفض الانبعاثات التي تحددها الشركات، مما يسهل عملية التقييم المستقل، ويعزز الشفافية من خلال الاعتراف العام بالشركات التي تحدد أهدافًا علمية. ومع ذلك، فإن المبادرة لا تتحقق من البيانات المقدمة أو الأداء الفعلي لهذه الشركات وليس في نيتها فعل ذلك.

تعتمد مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية على عدة أطراف لتمويلها من خلال رسوم اعتماد الأهداف والمساهمات من الكيانات التجارية والخيرية. ونظرًا لكونها منظمة غير ربحية ذات تأثير عالمي كبير، فقد أثير النقاش حول غياب كيان حكومي أو سياسة عامة لإدارة هذه المبادرة. (انظر بيورن وآخرون، 2022؛ ليستير، 2018؛ مارلاند وآخرون، 2015؛ تريكسلر وشندلر، 2015). ورغم الانتقادات الأولية التي واجهتها (راجع: تريكسلر وشندلر، 2015)، تطورت المبادرة لتصبح الإطار الأكثر اعترافًا به عالميًا في تحديد أهداف تخفيض الانبعاثات.

2.6.2 القاعدة العلمية للأهداف القائمة على أسس علمية

تهدف مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية إلى تشجيع القطاع الخاص على اتخاذ خطوات سريعة لمواجهة تغير المناخ عبر تمكين المؤسسات من وضع أهداف مدعومة بالعلوم لخفض الانبعاثات (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023a). لكن، ما هو المقصود تحديدًا بـ «العلم» في هذه الأهداف؟

قد يبدو تصنيف الأهداف في المجالات السياسية والتجارية كمجالات «تعتمد على العلم» أمرًا متناقضًا في البداية، حيث تُعد «الأهداف التشغيلية خيارات اجتماعية-سياسية» (أندرسن وآخرون، 2021، ص.2). وعلى الرغم من قدرة العلم المناخي على تحديد الظواهر وأسبابها

وتأثيرات الاحتباس الحراري العالمي، فإن اتخاذ قرار بشأن وقف أو تقليل تغير المناخ يتطلب أحكامًا معيارية تتجاوز حدود العلم. فقد أوضح التقرير التقييمي الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2007، ص. 64) إن تعريف ما يُعد «تدخلًا بشريًا خطيرًا في النظام المناخي» لا يعتمد بالكامل على العلم، بل يتطلب أيضًا أحكامًا معيارية بطبيعتها.

تستند أهداف باريس للحد من ظاهرة الاحتباس الحراري إلى أسس علمية، وتُوجّه من خلال المعرفة العلمية، ولكنها تعتمد أيضًا على اعتبارات سياسية. إذ تشير الأبحاث المناخية إلى أن مخاطر الاحتباس الحراري تزداد عند تجاوز 1.5 و2 درجة مئوية. ومع ذلك، فإن السعي لتفادي هذه المخاطر التي حُدّت في اتفاق باريس، يعد خياراً يستند إلى قيم معينة، ويستند إلى النتائج العلمية، ولكنه في النهاية يقرر من خلال العملية السياسية.

تتخذ مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية الالتزام السياسي بأهداف اتفاقية باريس مرجعًا أساسيًا في صياغة الأهداف القائمة على أسس علمية للشركات. ووفقًا لهذا الإطار، تُعد أهداف خفض الانبعاثات الخاصة بالشركات «قائمة على أسس علمية» إذا كانت تتماشى مع «ما تؤكد أنه أحدث الأبحاث العلمية بشأن المناخ على أنه ضروري لتحقيق أهداف اتفاقية باريس» (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023، ص. 5).

يعتمد مفهوم «العلم» في هذه الأهداف على رسم المسار المطلوب لتحقيق الأهداف المعترف بها عالميًا في اتفاقية باريس. ويتطلب ذلك أن تكون الأهداف القائمة على أسس علمية قابلة للقياس الكمي والتقييم (أندرسن وآخرون، 2021) وأن تستند إلى منهجية تعتمد على التخفيضات التي يحددها العلم المناخي لتحقيق أهداف باريس. ومن المهم الإشارة

إلى أنه نظرًا لارتباط هذه الأهداف «بأحدث الأبحاث العلمية بشأن المناخ»، فإن التقدم في علم المناخ، مثل التحديثات في تقديرات ميزانية الكربون المتبقية، قد يتطلب إجراء تعديلات على الأهداف القائمة على أسس علمية وزيادة مستوى الطموح المطلوب للعمل المناخي.

2.6.3 ما الانبعاثات التي تُحَسَّب؟ توضيح نطاق الأهداف القائمة على أسس علمية (SBTs) والسنة المرجعية

قبل شرح الأنواع المختلفة من الأهداف القائمة على أسس علمية وكيفية حسابها، من المهم توضيح نطاق الانبعاثات التي يجب على الشركات أخذها في الحسبان وفقًا لمبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية. تعتمد المبادرة في هذا الجانب على منهجية محاسبة الكربون المحددة في بروتوكول غازات الاحتباس الحراري (GHG Protocol) (انظر: معهد الموارد العالمية [WRI] ومجلس الأعمال العالمي للتنمية المستدامة [WBCSD]، 2004). ويصنّف هذا البروتوكول انبعاثات النطاق 1 على أنها انبعاثات مباشرة لغازات الاحتباس الحراري (GHG) «من مصادر تمتلكها أو تتحكم فيها الشركة» (بروتوكول غازات الاحتباس الحراري، انظر: معهد الموارد العالمية ومجلس الأعمال العالمي للتنمية المستدامة، 2004، ص. 25)، مثل الانبعاثات الناتجة عن الاحتراق، أو الإنتاج، أو العمليات الكيميائية.

أما النطاق 2 فيشير إلى الانبعاثات غير المباشرة لغازات الاحتباس الحراري الناتجة عن استهلاك الطاقة والتي تشمل الكهرباء، والبخار، والتدفئة، والتبريد. بينما يشمل النطاق 3 الانبعاثات الناتجة عن أنشطة لا تمتلكها الشركة، ولا تتحكم فيها. ومن ثم، يضم هذا النطاق الانبعاثات التي تحدث ضمن سلسلة القيمة الخاصة بالشركة، سواء في المراحل الأولية (Upstream) أو المراحل النهائية (Downstream)

(بروتوكول غازات الاحتباس الحراري، انظر: معهد الموارد العالمية ومجلس الأعمال العالمي للتنمية المستدامة، 2004، ص. 25).

أما فيما يتعلق بمصنعي المعدات الأصلية للسيارات (OEMs)، قد تتضمن الانبعاثات الناتجة عن إنتاج البطاريات (المراحل الأولية - Upstream) أو عن استخدام العملاء للمركبات (المراحل النهائية - Downstream). وعند وضع الأهداف القائمة على أسس علمية وفقاً للإرشادات الحالية، يتعين على الشركات أن تغطي على الأقل 95٪ من انبعاثاتها في النطاقين 1 و 2 (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023b). أما بالنسبة لانبعاثات النطاق 3، فإن الأمر أكثر تعقيداً، حيث يعتمد إلزام إدراجها على عوامل متعددة سوف توضح لاحقاً.

2.6.4 أنواع مختلفة من الأهداف القائمة على أسس علمية

نظراً لأن الوصول إلى الحياد الصفري يتطلب جهوداً مستدامة، يجب على الشركات تحديد أهداف تتيح لها التخطيط للخطوات العاجلة وكذلك للرحلة المستقبلية. وفقاً لهذا، توفر مبادرات الأهداف العلمية أنواعاً متعددة من الأهداف المدعومة بالعلم.

تركز الأهداف قريبة المدى على تحقيق تخفيضات سريعة وعميقة في الانبعاثات، وتغطي فترة تتراوح بين 5 إلى 10 سنوات من تاريخ تقديم الهدف للمصادقة. ولكن ينبغي أن تتماشى هذه الأهداف مع سيناريو ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 1.5 درجة مئوية، مما يعني أن على معظم الشركات تقليص انبعاثاتها إلى النصف بحلول عام 2030. بالإضافة إلى انبعاثات النطاق 1 و 2، يجب أن تشمل الأهداف الأقل

من 10 سنوات ما لا يقل عن 67% من جميع انبعاثات النطاق 3، في حال كانت هذه الانبعاثات تمثل أكثر من 40% من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة خلال دورة حياة الشركة، وهذا ينطبق على العديد من الشركات.

وللتوضيح، تمثل انبعاثات النطاق 3 لشركة بي إم دبليو أكثر من 90% من إجمالي انبعاثاتها بعد إجراء تخفيضات كبيرة في انبعاثات النطاق 1 و 2. ويُستحسن أن تُضمّن الشركات التي تقل فيها انبعاثات النطاق 3 عن 40% هذه الانبعاثات طواعيةً.

وتشير **الأهداف طويلة المدى** إلى خفض الانبعاثات الذي يتوجب على الشركات تحقيقها بحلول عام 2050 أو قبله. ويجب أن تمتد هذه الأهداف لمدة لا تقل عن 30 عامًا من تاريخ تقديمها لضمان صحتها، ويتوجب أن تتوافق مع سيناريو ارتفاع درجة حرارة الأرض بمقدار 1.5 درجة مئوية. وهذا يعني أن معظم القطاعات ينبغي أن تحقق تقليصًا لا يقل عن 90% في الانبعاثات المطلقة بحلول عام 2050 (أو 2040 لقطاع الطاقة) مقارنة بالسنة المرجعية. وفيما يخص الأهداف طويلة المدى، يتعين على الشركات أن تشمل على الأقل 95% من انبعاثات النطاق 1 و 2، و 90% على الأقل من انبعاثات النطاق 3، بغض النظر عن حصتها النسبية.

يُعد معيار الحياد الصفري معيارًا حديثًا وضعت مبادرته الأهداف القائمة على أسس علمية. إذ يوفر إرشادات موثوقة لمساعدة الشركات على تحقيق وضع «صافي صفر» للانبعاثات بناءً على أسس علمية. ويتعين على الشركات تحييد أي انبعاثات متبقية إلى جانب الالتزام بالتخفيضات طويلة وقصيرة المدى بنسبة 90%. وهذا يتطلب استخدام طرائق دائمة لإزالة الكربون وتخزينه والتي تشمل الحلول الطبيعية، مثل استعادة الغابات، وتحسين التربة، واسترجاع الأراضي الرطبة،

بالإضافة إلى الحلول التقنية مثل التقاط الكربون مباشرة من الهواء (Direct-Air Capture). تجدر الإشارة إلى أن تعويض الانبعاثات من خلال تدابير تقلل الانبعاثات في أماكن أخرى (مثل المواعد الأكثر كفاءة) يُعد غير كافٍ لتحقيق هدف الحياد الصفري (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023d).

2.6.5 الأساليب والمناهج المختلفة للقطاعات في تحديد مستويات التخفيض اللازمة

تتمثل جوهر مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية في المنهجيات المستخدمة لتحديد التخفيضات الدقيقة المطلوبة في الانبعاثات من أجل تحقيق المستوى الطموح المحدد. إذ قدمت المبادرة سابقاً أدوات حسابية تستند إلى أساليب معتمدة لتحديد الأهداف من مصادر متنوعة، بما في ذلك الهيئات العامة والشركات والأوساط الأكاديمية، مما أسفر عن اعتماد سبع منهجيات مختلفة (بيورن وآخرون، 2021). ومع ذلك، حدثت المبادرة مؤخرًا توصياتها المتعلقة بأهداف انبعاثات النطاقين 1 و2، حيث اختصرت الخيارات إلى توجهن رئيسيان يركزان على التخفيضات المطلقة على مستوى الشركة والتخفيضات النسبية المرتبطة بكثافة الانبعاثات، مثل الانبعاثات لكل طن من المنتج أو لكل دولار من الإيرادات (بيورن وآخرون، 2022، ص. 55).

وبغض النظر عن الطريقة المتبعة، يركز النهج الأساسي على مقدار التخفيضات في الانبعاثات التي تحتاجها الشركات كافة لتحقيق هدف معين لدرجة الحرارة. إذ كان بإمكان الشركات في الإصدارات الأولية من إطار عمل مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية التوافق مع مستوى طموح يتمشى مع مسار 2 درجة مئوية أو أقل بكثير. وفي ضوء التحذيرات الأخيرة من علم المناخ (انظر الهيئة الحكومية الدولية

المعنية بتغير المناخ، 2018)، رفعت المبادرة مستوى طموحها لتحقيق هدف 1.5 درجة مئوية.

ورغم أن المبادرة كانت تعتمد في السابق أهدافًا تتوافق مع مسار درجتين مئويتين (2°C) أو أقل بكثير، فقد اقتضت موافقتها، بدءًا من منتصف عام 2022، على الأهداف العلمية التي تتوافق مع مسار 1.5 درجة مئوية فقط (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023b، ص.4).

عند الأخذ في الحسبان مستوى الطموح الجديد المحدد بـ 1.5 درجة مئوية، يجب أن نعود إلى نهج التخفيض المطلق والنسبي. إذ يركز النهج الأول على تقليل الانبعاثات تمامًا، بغض النظر عن حجم الشركة أو إنتاجها أو إيراداتها. وتُعرف هذه الطريقة سابقًا باسم نهج الانكماش المطلق (ACA)، وتطبق بتوسع عبر مختلف القطاعات مع بعض الاستثناءات مثل الزراعة، وتتطلب تقليص الانبعاثات المطلقة بما يتوافق على الأقل مع المسار المتفق عليه عبر القطاعات. وبالنسبة لأهداف 1.5 درجة مئوية، يتطلب هذا من معظم القطاعات تقليل انبعاثات النطاق 1 و2 بنسبة لا تقل عن 4.2٪ سنويًا (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2023b، ص.3).

وفي المقابل، يحدّد النهج النسبي، أو ما يُعرف بأهداف الكثافة، تخفيضات الانبعاثات استنادًا إلى مقياس محدد للنشاط، مثل وحدة الإنتاج (الكثافة المادية) أو وحدة الإيرادات (الكثافة الاقتصادية). ويتيح هذا الأسلوب للشركات خفض كثافة انبعاثات غازات الدفيئة مع الاستمرار في توسيع نطاق أعمالها. وتعتمد مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية (SBTi) على مسارات محددة لنمذجة التخفيضات المطلوبة في كثافة الانبعاثات بما يتماشى

مع هدف 1.5 درجة مئوية، وهو ما ينطبق في الغالب على انبعاثات النطاق الثالث (Scope 3).

وتختلف كثافة الانبعاثات وإمكانات تحسينها اختلافًا كبيرًا بين القطاعات، كما تختلف كذلك مستويات الانبعاثات المطلقة وإمكانية خفضها. فعلى سبيل المثال، تُعد إزالة الكربون من إنتاج الطاقة، من خلال التحول من الفحم إلى الغاز أو الطاقة الشمسية، أيسر نسبيًا من إزالة الكربون من قطاع الطيران الذي يعتمد على وقود الكيروسين. وبالنظر إلى هذا التباين في التحديات والفرص القطاعية، تعتمد مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية النهج القطاعي لإزالة الكربون (Sectoral Decarbonization Approach – SDA)، استنادًا إلى سيناريوهات الانبعاثات الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة (IEA).

يعتمد نهج تقارب كثافة القطاع على مبدأ التخفيض النسبي ضمن مسارات كل قطاع. ففي قطاعات الأغذية، واستخدام الأراضي، والزراعة (FLAG)، توجد مسارات محددة لكل منتج، حيث يجري نمذجة التخفيضات المطلوبة في كثافة انبعاثات مواد مثل لحوم الأبقار، والأرز، والجلود، ومنتجات الألبان لضمان توافقها مع الهدف المحدد بحد 1.5 درجة مئوية (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، b2023، ص. 6). وتنص متطلبات الإفصاح ضمن توجيه إعداد التقارير عن استدامة الشركات في الاتحاد الأوروبي (CSRD) على ضرورة التحديد المطلق للأهداف، حيث أصبح أمام الشركات الأوروبية خيارات محدودة فعليًا بدءًا من عام 2024.

يبرز هذا العرض تنوع الأساليب المعتمدة في تحديد الأهداف القائمة على أسس علمية، مما يزيد من مستوى التعقيد بوضوح. إذ تقدم مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية إجراءات مبسطة للشركات الصغيرة والمتوسطة (SMEs) تمنحها مزيدًا من المرونة. كما أن الشركات

الكبرى تتمتع أيضًا ببعض الحرية في اختيار السنة المرجعية، وصيغة الأهداف (قصيرة أو طويلة المدى)، ونطاق التغطية (اختياري بالنسبة لانبعاثات النطاق 3)، والأهم من ذلك، الأساليب التي تستخدمها لتحديد أهدافها.

يرى بعض الأكاديميين أن تنوع الأساليب يعد ميزة مهمة، حيث يشيرون إلى أنه «لا توجد طريقة واحدة لتحديد الأهداف القائمة على أسس علمية تكون الأفضل لجميع القطاعات وجميع أوضاع الشركات» (أدين، 2018، ص. 1095)، بينما ينتقد آخرون إمكانية عدم القابلية للمقارنة والاحتمال أن تختار الشركات أهدافًا أقل صرامة (بيورن وآخرون، 2021؛ فريبيرغ وآخرون، 2021). وتواصل مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية تحسين منهجيتها وتقديم إرشادات أكثر دقة لكل قطاع، ولكن هناك تساؤلات قائمة حول التحسينات المحتملة لمنهجيتها في المستقبل.

2.6.6 فوائد وتحديات الأهداف القائمة على أسس علمية

كانت عملية تحديد الأهداف القائمة على أسس علمية تحدث طوعًا وهذا قائم حتى الآن. ومع أن مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية تتوقع انتشارًا واسعًا لهذه الأهداف، وذلك استنادًا إلى نظرية الابتكار التي تفيد بأن سرعة الانتشار تحدث عندما تصل مجموعة من الشركات الرائدة إلى نقطة حاسمة (مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية، 2022)، إلا أنه لم يتضح بعد ما إذا كانت الغالبية العظمى من الشركات ستحدد أهداف علمية دون ضغط تشريعي.

وتشير الدراسات إلى أن هناك مجالات يمكن أن تؤثر فيها الأهداف العلمية إيجابيًا، مثل جهود الشركات لمواجهة تغير المناخ والالتزام

بالقوانين، بالإضافة إلى السياسات العامة. وهناك إمكانيات للتطوير في المستقبل وانتشار إطار عمل المبادرة.

تقدم مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية إرشادات للشركات فيما يتعلق بإجراءات الشركات لمواجهة تغير المناخ نحو تحقيق الحياد الصفري، ويمكن أن تحفزها على اتخاذ إجراءات مناخية أكثر طموحًا لخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (GHG) من خلال عملية المصادقة الخاصة بها. ومن الناحية الإستراتيجية، تحتاج الشركات إلى أهداف تشغيلية تدعم خططها، حيث إن ما يُقاس يتحقق (انظر الفصل الأول).

هذا الأمر يصبح ذا أهمية خاصة عند النظر في الاستثمارات الإستراتيجية على المدى الطويل. فعلى سبيل المثال، في قطاع السيارات، يمكن التفكير في تطوير وتنفيذ منصة جديدة للسيارات ذات عمر افتراضي يتجاوز 20 عامًا. تجد الشركات أنه من المفيد تثبيت إستراتيجياتها على افتراضات دقيقة من أجل التكيف مع المستقبل إستنادًا إلى أسس واضحة (انظر الفصل الثالث).

عندما نتحدث عن الحوافز المحتملة التي قد تدفع الشركات لاتخاذ إجراءات أكثر جرأة بشأن المناخ وتحقيق تخفيضات فعلية في انبعاثاتها، نجد أن الأبحاث الحالية لا تقدم نتائج حاسمة؛ فقد تناولت دراسات أولية، مثل تلك التي أجراها فريبيرغ وزملاؤه (2021) وبولتون وكاتشبيرتشيك (2023)، تأثير مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية على تخفيض الانبعاثات، لكن النتائج ما تزال غير واضحة بما يكفي لاستنتاجات عامة بسبب تنوع العوامل المؤثرة في الأهداف وطموحات الشركات في مجال المناخ (بيورن وآخرون، 2022، ص. 61). ورغم ذلك، تشير المعطيات إلى أن الشركات التي تعلن عن أهداف علمية لتقليل الانبعاثات تستثمر

على نطاق أوسع مقارنة بتلك التي تكتفي بتحديد أهداف داخلية فقط (راجع بيورن وآخرون، 2022؛ فريبيرغ وآخرون، 2021).

تقدم الأهداف القائمة على أسس علمية فوائد تجارية محتملة من خلال تحسين توافق الشركات مع البيئات التنظيمية الحالية والمستقبلية. وكما أُشير إليه في القسم 2.4، يعمل صناع السياسات حاليًا على تطبيق أدوات سياسية متنوعة على المستوى الوطني، مما يؤدي إلى ظهور مشهد تنظيمي متشعب للشركات التي تعمل عبر الحدود.

وعلى الرغم من عدم اليقين حول إمكانية تقارب هذه الأساليب التنظيمية المختلفة وطريقة حدوث ذلك، فإن اتفاق باريس وأهداف التخفيض المرتبطة به سيبقيان معيارًا عالميًا يوجه الإجراءات المستقبلية. إذ تستطيع الأهداف القائمة على أسس علمية توفير إطار عالمي ملائم في ظل هذا المشهد التنظيمي المشتت من خلال توائم عملياتها مع هذا الهدف العالمي، مما يساعد على تقليل المخاطر التنظيمية وحالة عدم اليقين.

وتشير الأبحاث والتطورات السياسية الحديثة إلى الأثر الإيجابي المحتمل للأهداف القائمة على أسس علمية على السياسة العامة المتعلقة بالمناخ. وبينما ينتقد بعض الباحثين مثل تريكسلر وشندلر (2015)، ص. 933) هذه الأهداف معتقدين أنها ستؤخر السياسة أكثر، كما يرى مارلاند وزملاؤه (2015) أن هذه الأهداف ليست سوى تشتيت عن الحل الفعلي للمشكلة، ويؤكدون أهمية المبادرات الديمقراطية بصفتها وسيلةً لتطوير السياسات من خلال الحوار الفعّال.

وفي ظل غياب سياسة واضحة، يشير باندا (2018، ص. 387) إلى أن «الحوكمة المناخية الخاصة يمكن أن تسهم في تعزيز قواعد القانون

الدولي العام على الصعيد المحلي وزيادة طموح الدول مع مرور الزمن». وتوضح التطورات السياسية الأخيرة في تقارير الاستدامة الخاصة بالشركات، مثل توجيه تقارير استدامة الشركات، كيف تطور الإطار الطوعي للإبلاغ وفقاً لمبادئ المبادرة العالمية لإعداد التقارير والمعايير الطوعية الأخرى على مدار عشرين عاماً إلى سياسة جديدة (انظر الفصل الرابع).

بينما من الواضح أن مبادرات القطاع الخاص يمكن أن تعزز تطوير السياسة العامة، إلا أن هذه الأطر وحدها لا تستطيع مواجهة التحدي المتمثل في تحقيق هدف 1.5 درجة مئوية دون وجود اللوائح والأدوات المناسبة، مثلما تُطَرَّق إليه في القسم 2.4.

يشير النقد إلى أن مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية تتطلب من الشركات تقديم مساهمات مالية للتسجيل والتشاور، مما يثير تساؤلات حول استقلالية المبادرة المالية. ورغم هذه الانتقادات، لا يوجد إطار آخر حالياً يترجم أهداف المناخ العالمية إلى مستوى الشركات، ويحظى بالقدر نفسه من الاعتراف أو التعديل. وتؤكد الانتقادات المتواصلة لمبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية إلى أن إطار الأهداف القائمة على أسس علمية لا يزال بحاجة إلى النضوج والتطوير.

ومن بين الجوانب الرئيسية التي يجب تحسينها هو منهجية تحديد الأهداف. إذ ما تزال العديد من القطاعات، بما في ذلك الحديد والصلب والكيماويات والنفط والغاز، تفتقر إلى إرشادات واضحة منذ عام 2023. وحتى مع وجود إرشادات لبعض القطاعات الأخرى، يمكن أن يؤدي تعدد الأساليب إلى حدوث سوء استخدام ونقص في الشفافية.

وبينما تميز الأهداف القائمة على أسس علمية بين الأهداف قصيرة المدى (2030) والطويلة المدى (2050)، ينشأ نقاش حول وضع أهداف

متوسطة المدى، خاصة فيما يتعلق بالتخفيضات المطلوبة للانبعاثات بين 2030 و2050. وهذا يعكس الحاجة الملحة لتحسينات مستقبلية لتعزيز قابلية المقارنة والتوجيه والشفافية في الأهداف القائمة على أسس علمية. وفي النهاية، تعتمد أي منهجية تهدف إلى تقليل انبعاثات الكربون على جودة بيانات غازات الدفيئة الأساسية والمحاسبة المتعلقة بها.

تستند مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية في الوقت الحالي إلى منهجية محاسبة الكربون الموجودة في بروتوكول غازات الدفيئة. ورغم أنها تُعد معياراً عالمياً لحساب الكربون، فإن هذه المنهجية تعاني نقاط ضعف عدة. ومن بين التحديات الكبرى التي تواجهها هي انبعاثات النطاق 3، حيث إن قياسها قد يكون عرضة للأخطاء والتحيزات المحتملة بسبب تعقيد سلاسل التوريد العالمية.

يسمح بروتوكول غازات الدفيئة باستخدام بيانات ثانوية أو بيانات متوسطة عوضاً عن بيانات الانبعاثات المحددة (بروتوكول غازات الدفيئة، (انظر معهد الموارد العالمية ومجلس الأعمال العالمي للتنمية المستدامة، 2004)، مما يفتح الباب غالباً للتهرب أو التلاعب في قياسات النطاق 3. ونتيجة لذلك، قد تختار الشركات وفق اعتبارات إستراتيجية ما يُبلغ عنه. فعلى سبيل المثال، إذا كان لدى شركة مورد تزيد انبعاثاته الفعلية إلى حد بعيد عن متوسط الصناعة، يمكن للشركة تقليل انبعاثاتها المُبلغ عنها باستخدام البيانات المتوسطة. ومن ناحية أخرى، إذا استثمرت شركة في تحسين أداء الموردين، مما يؤدي إلى خفض متوسط الصناعة، يمكن للمنافسين استغلال هذه المتوسطات الصناعية للإبلاغ عن تخفيضات في الانبعاثات دون إجراء تغييرات جوهرية في عملياتهم الخاصة. لا يُضعف هذا المستوى من المرونة فقط مصداقية قياسات النطاق 3، بل يفشل أيضاً في تحفيز جهود إزالة الكربون بجدية (كابلان ورامانا، 2021).

قد تحد القيود الموجودة في محاسبة الكربون من فعالية التقنيات، إذا كانت تتماشى مع بروتوكول غازات الدفيئة. ولهذا، يجب ألا تركز التحسينات المستقبلية لإطار الأهداف القائمة على أسس علمية فقط على تحسين أساليب تحديد الأهداف، بل ينبغي أيضاً استكشاف أساليب جديدة ومبتكرة في محاسبة الكربون. إذ قد يتضمن ذلك اعتماد أنظمة مثل نظام محاسبة المسؤولية الإلكترونية المقترح والذي ينادي بتطبيق ممارسات محاسبة المخزون والتكاليف لقياس انبعاثات غازات الدفيئة بدقة عبر سلاسل التوريد للشركات (كابلان ورامانا، 2022).

2.7 الخاتمة

يمثل «الطريق إلى الحياد الصفري» مساراً جماعياً يتطلب مشاركة مجموعة متنوعة من الكيانات التي تسهم برؤاها الفريدة، مع وجود رؤية مشتركة للهدف النهائي. إذ أن الغرض من هذا الفصل هو إعداد الأساس لهذه الرحلة من خلال توضيح السياقات العلمية والسياسية المتعلقة بالمناخ التي تدعم الانتقال نحو الحياد الصفري، وتمهد لاستكشاف الأدوار المحددة والخطوات التي تتخذها الشركات في الفصول القادمة.

يقدم علم المناخ الأسس العلمية الضرورية (القسم 2.2). وتعزز السياسة المناخية العالمية، كما يتضح في اتفاقية باريس، الالتزام الجماعي للحد من الاحتباس الحراري إلى أقل من 2 درجة مئوية، مع السعي لتحقيق صافي انبعاثات صفيرية (القسم 2.3).

يملك صناع السياسات على المستوى الوطني أدوات متعددة لوضع وتنفيذ أهداف خفض الانبعاثات (الأقسام 2.4 و 2.5). أما بالنسبة للشركات، فإن الأهداف القائمة على أسس علمية توفر إطاراً لمواءمة مبادراتها المناخية مع الأهداف العالمية المعتمدة (القسم 2.6). وعند مراجعة هذا الفصل الأساسي، نُبرز خمس نقاط رئيسة تشجع على مزيد من الحوار والنقاش:

1. من المهم إجراء تخفيضات كبيرة وسريعة في انبعاثات الكربون للحد من ظاهرة الاحتباس الحراري، حيث يجب أن نسعى إلى تقليل درجة الحرارة إلى درجتين مئويتين، ويفضل أن تكون عند 1.5 درجة مئوية، لتجنب المخاطر المرتبطة بتغير المناخ. وهذا يعني أنه إذا لم تُتخذ خطوات سريعة لإزالة الكربون، فإن الحصة المتبقية من الكربون ستنفد في وقت قريب.

2. يتطلب الالتزام القانوني باتفاق باريس لتحقيق أهداف محددة لدرجة الحرارة وانبعاثات صفرية تحولاً اقتصادياً كاملاً. ويتطلب تحقيق هدف الحياد الصفري تحولاً جذرياً في الاقتصاد الحالي الذي يعتمد على الوقود الأحفوري، مما يستدعي إزالة الكربون على نطاق أوسع، وليس مجرد تخفيضات تدريجية مثلما اتُفق عليها في كيوتو.

3. تُعد السياسات المناخية الوطنية عنصراً حيوياً في تسهيل تقليل الانبعاثات من خلال تعزيز الحلول المعتمدة على السوق، وذلك بدعم الخطط والمعايير الضرورية عند الحاجة. ويجب أن يحقق هذا المزيج من السياسات توازناً بين الفعالية البيئية، والمساهمة العادلة في التخفيضات العالمية، فضلاً عن الكفاءة الاقتصادية، والجدوى السياسية والإدارية، وتأثيرها في القدرة التنافسية والابتكار.

4. لتحقيق إزالة الكربون على المدى الطويل، ينبغي على السياسات العامة أن توفر وضوحاً وإرشادات دقيقة حول الأهداف. كما أن تعزيز الانفتاح التكنولوجي يساهم في تحفيز الابتكار وزيادة المرونة وتحسين الكفاءة لتحقيق هذه الأهداف. وبالإضافة إلى ذلك، تعد البنية التحتية عنصراً أساسياً في تقليل الكربون في قطاع النقل.

تلعب السياسة دوراً مهماً بالتعاون مع الشركات لتعزيز توافر الشحن للمركبات الكهربائية التي تشغل بالبطاريات، وكذلك الشاحنات

والسيارات الكهربائية التي تعتمد على خلايا الوقود الهيدروجيني.

5. توفر الأهداف القائمة على أسس علمية إطارًا يسمح للشركات بتنسيق إستراتيجياتها مع أحدث التطورات في علوم المناخ والالتزامات السياسية العالمية. وتُعد هذه الأهداف أدوات أساسية لتعزيز فعالية ومصادقية جهود إزالة الكربون الناتجة عن الأنشطة التجارية، على الرغم من التحديات التي تواجهها. وللاستفادة القصوى من هذه الإمكانيات، يجب أن تشمل التطورات المستقبلية للأهداف المعتمدة على العلم تحسينات منهجية إضافية، وتعزيز محاسبة الكربون، وزيادة شرعية عملية وضع المعايير الأساسية.

يمثل السعي لتحقيق الحياد الصفري جهدًا مشتركًا يتطلب مشاركة فعالة من الشركات، إلى جانب الحاجة إلى وجود بيئة داعمة تتمثل في سياسات عامة قوية وأبحاث علمية موثوقة.

ستتناول الفصول القادمة من هذا الكتاب التحولات الأساسية التي يمكن أن تعتمد عليها الشركات في إستراتيجيات أعمالها، وكذلك في مجالات إعداد التقارير، والمنتجات، وسلاسل القيمة، والإنتاج، والتكنولوجيا. وفي هذا السياق، سيتناول الفصل الثالث، «إنشاء إستراتيجية استدامة الشركات: من التفكير المتكامل إلى الإدارة المتكاملة»، هذه الأفكار بمزيد من العمق. فمن الضروري الآن اعتماد منظور جديد وشامل للتغلب على التحديات المرتبطة بتحقيق الحياد الصفري وغيرها من قضايا الاستدامة.



المراجع

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 102(1), 131–166. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- Aden, N. (2018). Necessary but not sufficient: the role of energy efficiency in industrial sector low-carbon transformation. *Energy Efficiency*, 11(5), 1083–1101. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9570-z>
- Aldy, J. E., Krupnick, A. J., Newell, R. G., Parry, I. W. H., & Pizer, W. A. (2010). Designing climate mitigation policy. *Journal of Economic Literature*, 48(4), 903–934. <https://doi.org/10.1257/jel.48.4.903>
- Andersen, I., Ishii, N., Brooks, T., Cummis, C., Fonseca, G., Hillers, A., Macfarlane, N., Nakicenovic, N., Moss, K., Rockström, J., Steer, A., Waughray, D., & Zimm, C. (2021). Defining ‘science-based targets’. *National Science Review*, 8(7), nwaa186. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa186>
- Banda, M. L. (2018). The bottom-up alternative: the mitigation potential of private climate governance after the Paris Agreement. *Harvard Environmental Law Review*, 42, 325–389.
- Barrett, S. (2005). Global climate change and the Kyoto Protocol. In S. Barrett (Ed.), *Environment and statecraft: The strategy of environmental treaty-making* (pp. 359–398). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0199286094.003.0015>
- Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1988). *The theory of environmental policy*. Cambridge University Press.
- Bjørn, A., Lloyd, S., & Matthews, D. (2021). From the Paris Agreement to corporate climate commitments: evaluation of seven methods for setting ‘science-based’ emission targets. *Environmental Research Letters*, 16(5), 54019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe57b>
- Bjørn, A., Tilsted, J. P., Addas, A., & Lloyd, S. M. (2022). Can science-based targets make the private sector Paris-aligned? A review of the emerging evidence. *Current Climate Change Reports*, 8(2), 53–69. <https://doi.org/10.1007/s40641-022-00182-w>
- Bodansky, D. (2001). The history of the global climate change regime.

- In U. Luterbacher & D. F. Sprinz (Eds.), International relations and global climate change (pp. 23–40). MIT Press.
- Bodansky, D. (2016). The Paris climate change agreement: A new hope? *American Journal of International Law*, 110(2), 288–319. <https://doi.org/10.5305/amerjintelaw.110.2.0288>
 - Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2023). Firm commitments (National Bureau of Economic Research Working Paper Series, 31244). <https://doi.org/10.3386/w31244>
 - Bundesministerium der Finanzen. (2023). Kfz-Steuer-Rechner. Retrieved June 16, 2023, from https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Service/Apps_Rechner/KfzRechner/KfzRechner.html
 - Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2021). BMDV fördert öffentliche Wasserstofftankstellen für Nutzfahrzeuge. Retrieved June 16, 2023, from <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderung-oeffentliche-wasserstofftankstellen-nutzfahrzeuge.htm?nn=12830>
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2023). Erneuerbare-Energien-Gesetz. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html?docId=72b6752a-1ad5-4029-a969-1ddd04e938d9>
 - Deutscher Bundestag. (2022a). Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen: Brennstoffemissionshandelsgesetz.
 - Deutscher Bundestag. (2022b). Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung: Kohleverstromungsbeendigungsgesetz.
 - Deutscher Bundestag. (2023). Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien: Erneuerbare-Energien-Gesetz.
 - European Commission. (2023a). A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent. Retrieved June 15, 2023, from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
 - European Commission. (2023b). Carbon Border Adjustment Mechanism. Retrieved July 6, 2023, from https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
 - European Commission. (2023c). Circular economy action plan: The EU's new circular action plan paves the way for a cleaner and more competi-

tive Europe. Retrieved June 16, 2023, from https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

- European Commission. (2023d). Delivering the European Green Deal. Retrieved June 16, 2023, from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en
- European Commission. (2023e). EU Emissions Trading System (EU ETS). Retrieved June 16, 2023, from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en
- European Commission. (2023f). European Climate Law. Retrieved June 16, 2023, from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en
- European Parliament. (2022). Climate change: Deal on a more ambitious Emissions Trading System (ETS). Retrieved July 6, 2023, from <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20221212IPR64527/climate-change-deal-on-a-more-ambitious-emissions-trading-system-ets>
- European Parliament. (2023). Fit for 55: zero CO2 emissions for new cars and vans in 2035. Retrieved June 22, 2023, from <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230210IPR74715/fit-for-55-zero-co2-emissions-for-new-cars-and-vans-in-2035>
- European Parliament, & European Council. (2019). Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO2 emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles, and repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011 (recast) (Text with EEA relevance).
- European Parliament, & European Council. (2021). Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999: European Climate Law.
- Freiberg, D., Grewal, J., & Serafeim, G. (2021). Science-based carbon emissions targets (Harvard Business School Working Paper). Advance online publication. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3804530>
- Garnadt, N., Grimm, V., & Reuter, W. (2020). Carbon adjustment mech-

- anisms: Empirics, design and caveats (German Council of Economic Experts Working Paper, 11/2020).
- Goulder, L. H., & Parry, I. W. H. (2008). Instrument choice in environmental policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(2), 152–174. <https://doi.org/10.1093/reep/ren005>
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Synthesis report. In Core Writing Team, R. Pachauri, & A. Reisinger (Eds.), *Climate change 2007: Synthesis report: Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 23–74) IPCC.
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Summary for policymakers. In Core Writing Team, R. Pachauri, & L. A. Meyer (Eds.), *Climate change 2014: Synthesis report: Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–32) IPCC.
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Summary for policymakers. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, et al. (Eds.), *Global warming of 1.5°C.: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 3–24). Cambridge University Press.
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021a). IPCC fact-sheet. What is the IPCC? Retrieved June 16, 2023, from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6_FS_What_is_IPCC.pdf
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021b). IPCC fact-sheet. What literature does the IPCC assess? Retrieved June 16, 2023, from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6_FS_assess_literature.pdf
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021c). Summary for policymakers. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, et al. (Eds.), *Climate change 2021: The physical science basis: Contribution of Working Group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–32).

Cambridge University Press.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Summary for policymakers. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, et al. (Eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability: Contribution of Working Group II to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–33). Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Summary for policymakers. In Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero (Eds.), *Climate change 2023: Synthesis report: A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2002). Environmental policy and technological change. *Environmental and Resource Economics*, 22(1/2), 41–70. <https://doi.org/10.1023/A:1015519401088>
- Kaplan, R. S., & Ramanna, K. (2021). Accounting for climate change. *Harvard Business Review*, 99(6), 120–131.
- Kaplan, R. S., & Ramanna, K. (2022). We need better carbon accounting. Here's how to get there. *Harvard Business Review Digital Articles*.
- Klinsky, S., Roberts, T., Huq, S., Okereke, C., Newell, P., Dauvergne, P., O'Brien, K., Schroeder, H., Tschakert, P., Clapp, J., Keck, M., Biermann, F., Liverman, D., Gupta, J., Rahman, A., Messner, D., Pellow, D., & Bauer, S. (2017). Why equity is fundamental in climate change policy research. *Global Environmental Change*, 44, 170–173. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.08.002>
- Lister, J. (2018). The policy role of corporate carbon management: Co-regulating ecological effectiveness. *Global Policy*, 9(4), 538–548. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12618>
- Marland, G., Kowalczyk, T., & Cherry, T. L. (2015). «Green fluff»? The role of corporate sustainability initiatives in effective climate policy: Comment on «Science-based carbon targets for the corporate world: The ultimate sustainability commitment, or a costly distraction?». *Journal of Industrial Ecology*, 19(6), 934–936. <https://doi.org/10.1111/jiec.12343>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). Carbon

- dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels: News & Features. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels>
- Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2003). Cost heterogeneity and the potential savings from market-based policies. *Journal of Regulatory Economics*, 23(1), 43–59. <https://doi.org/10.1023/A:1021879330491>
 - Nordhaus, W. (2019). Climate change: The ultimate challenge for economics. *The American Economic Review*, 109(6), 1991–2014.
 - Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. Macmillan.
 - Prentice, I. C., Baines, P. G., Scholze, M., & Wooster, M. J. (2012). Fundamentals of climate change science. In S. E. Cornell, I. C. Prentice, J. I. House, & C. J. Downy (Eds.), *Understanding the earth system: Global change science for application* (pp. 39–71). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511921155.005>
 - Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2022). Neue Förderregeln für den Umweltbonus ab 2023. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/eenergie-und-mobilitaet/faq-umweltbonus-1993830>
 - Rogelj, J., den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., Schaeffer, R., Sha, F., Riahi, K., & Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature*, 534(7609), 631–639. <https://doi.org/10.1038/nature18307>
 - Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. (2020). Corona-Krise gemeinsam bewältigen, Resilienz und Wachstum stärken: Jahresgutachten 20/21. Statistisches Bundesamt.
 - Science Based Targets Initiative (SBTi). (2022). Science-based net zero: Scaling urgent corporate climate action worldwide (science based targets initiative annual progress report, 2021). <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBTiProgressReport2021.pdf>. Accessed 22 June 2023.
 - Science Based Targets Initiative (SBTi). (2023a). About us. Retrieved June 22, 2023, from <https://sciencebasedtargets.org/about-us>
 - Science Based Targets Initiative (SBTi). (2023b). Getting started guide for science-based target setting. <https://sciencebasedtargets.org/resources/>

files/Getting-Started-Guide.pdf. Accessed 22 June 2023.

- Science Based Targets Initiative (SBTi). (2023c). SBTi corporate manual: TVT-INF-002, Version 2.1. <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBTi-Corporate-Manual.pdf>. Accessed 22 June 2023.
- Science Based Targets Initiative (SBTi). (2023d). The corporate net-zero standard. Retrieved June 22, 2023, from <https://sciencebasedtargets.org/net-zero>
- Shakun, J. D., Clark, P. U., He, F., Marcott, S. A., Mix, A. C., Liu, Z., Otto-Bliesner, B., Schmittner, A., & Bard, E. (2012). Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature*, 484(7392), 49–54. <https://doi.org/10.1038/nature10915>
- Stavins, R. N. (2003). Chapter 9—Experience with market-based environmental policy instruments. In K.-G. Mäler & J. R. Vincent (Eds.), *Handbook of environmental economics: Environmental degradation and institutional responses* (pp. 355–435). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0099\(03\)01014-3](https://doi.org/10.1016/S1574-0099(03)01014-3)
- Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press.
- Tietenberg, T. H. (2006). *Emissions trading: Principles and practice*. Resources for the Future.
- Tietenberg, T. H., & Lewis, L. (2018). *Environmental and natural resource economics* (11th ed.). Routledge.
- Trexler, M., & Schendler, A. (2015). Science-based carbon targets for the corporate world: The ultimate sustainability commitment, or a costly distraction? *Journal of Industrial Ecology*, 19(6), 931–933. <https://doi.org/10.1111/jiec.12311>
- Umweltbundesamt (UBA). (2022). *Wirkung des nationalen Brennstoffemissionshandels – Auswertungen und Analysen Grundlagen für den ersten Erfahrungsbericht der Bundesregierung gemäß § 23 BEHG im Jahr 2022*. Retrieved September 27, 2023, from https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-12-02_climate-change_45-2022_wirkung-nat-brennstoffemissionshandel.pdf
- Umweltbundesamt (UBA). (2023a). *Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren*. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetrae->

gern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren

- Umweltbundesamt (UBA). (2023b). Erneuerbare Energien in Zahlen. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>
- Umweltbundesamt (UBA). (2023c). Stromverbrauch. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromverbrauch>
- United Nations (UN). (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC.
- United Nations (UN). (2015). Paris Agreement.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2009). Copenhagen Accord: Decision 2/CP.15. In United Nations Framework Convention on Climate Change (Ed.), Report of the conference of the parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2022). Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Synthesis report by the secretariat: FCCC/PA/CMA/2022/4.
- World Resources Institute (WRI), & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2004). The Greenhouse Gas Protocol: A corporate accounting and reporting standard. Retrieved June 16, 2023, from <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>



صياغة إستراتيجية الاستدامة المؤسسية من التفكير المتكامل إلى الإدارة المتكاملة

ماركوس بيكمان وتوماس بيكر وأوليفر زيبسه

3.1 مقدمة

يهدف مفهوم الاستدامة إلى ضمان قدرة الأجيال الحالية والمستقبلية على الازدهار ضمن الحدود البيئية لكوكبنا (ستيفن وآخرون، 2015). غير أن تفاقم أزمة المناخ كشف عن قصور النموذج الاقتصادي الخطي، القائم على استنزاف الموارد الطبيعية والمساهمة في تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري، بما يهدد بتقويض «المجال التشغيلي الآمن» الذي يمكّن البشرية من الازدهار (روكستروم وآخرون، 2009، ص. 472).

وبناءً على ذلك، تتطلب التنمية المستدامة إحداث تحول جذري في النموذج الاقتصادي السائد، من خلال الانتقال نحو اقتصاد دائري يعزّز العدالة الاجتماعية ويستند إلى مسارات خالية من الانبعاثات الكربونية.

وبما أن الإستراتيجية تتعلق بـ «صياغة المستقبل» و«الانتقال من الوضع الحالي إلى الهدف المنشود» (ماكنون، 2016 ص. 21، 18)، فإن الوصول إلى مستقبل مستدام يتطلب تصميم إستراتيجية فعالة للاستدامة المؤسسية. وفي مسار تحقيق الحياد الصفري، كما وُضّح في هذا الكتاب، تُعد الإستراتيجية خطوة أساسية تربط بين الفصل الثاني والفصل الرابع (راجع الشكل 1.1).

تناول الفصل الثاني مفهوم تحديد الأهداف القائمة على أسس علمية بوصفه أداة لتحويل التحدي العالمي المتمثل في تغيير المناخ إلى التزامات عملية على مستوى الشركات. وقد وفّرت هذه الأهداف لغة مشتركة تعبّر عن التزام المؤسسات بالسعي نحو تحقيق الحياد الصفري، بما يتماشى مع اتفاقية باريس. غير أنّها، على أهميتها، لم تُحدّد بوضوح الكيفية التي ينبغي أن تُدار بها مسيرة التحوّل. ومن ثمّ، عُدّ وضع خارطة طريق واضحة، إلى جانب إشراك جميع أقسام الشركة في عملية التنفيذ، ركيزةً أساسيةً لأي استراتيجية فعّالة.⁽¹⁾

يهدف هذا الفصل إلى استكشاف كيفية تمكّن الشركات من تطوير إستراتيجية مؤسسية من خلال دمج مفهوم الاستدامة منهجيًا في تحليلاتها الإستراتيجية، وأهدافها، وعملياتها، وعمليات التعلم لديها.

يتألف هذا الفصل من ثلاثة أجزاء. يبدأ القسم 3.2 بمقدمة مختصرة عن مفهوم الإستراتيجية في مجال الإدارة، ثم يستعرض الدوافع التي تشجع الشركات على الالتفات إلى الاستدامة، متبوعًا باستعراض خيارات متعددة لدمج الاستدامة في العمليات. ويتناول الجزء المتبقي من هذا القسم الخطوات المختلفة في عملية الإستراتيجية وكيفية تفاعلها مع الاستدامة. يقدم القسم 3.3 مناقشة بين البروفيسور أوليفر زيبسه، الرئيس التنفيذي لمجموعة بي إم دبليو، والدكتور توماس بيكر، نائب الرئيس للاستدامة والتنقل في بي إم دبليو، والبروفيسور الدكتور ماركوس بيكمان، رئيس قسم إدارة استدامة الشركات في جامعة فريدريش ألكسندر.

(1) م. بيكمان

جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ، نورنبرغ، ألمانيا البريد الإلكتروني: markus.beck-mann@fau.de

ت. بيكر • أ. زيبسه

شركة بي إم دبليو، ميونخ، ألمانيا

© المؤلف (ون) ٢٠٢٣

الطريق إلى الحياد الصفري، 3_9-42224-031-1007/978-3-031-42224-9 <https://doi.org/10.1007/978-3-031-42224-9>

وأخيراً، يناقش القسم 3.4 الرؤية المستقبلية لإستراتيجيات الاستدامة المتكاملة، قبل أن يختتم القسم 3.5 برابط إلى الفصل التالي 4 الذي يتناول مستقبل إفصاح الشركات.

3.2 تطوير الإستراتيجية والاستدامة: الماضي والحاضر:

تعرف الإستراتيجية، بالمعنى العام، بوصفها خطة عمل أو سياسة تهدف إلى تحقيق الأهداف المرجوة باستخدام الموارد المتاحة. أما في عالم الأعمال، تُعرّف بأنها تحديد الأهداف الأساسية والغايات بعيدة المدى للمؤسسة (تشاندر، 1962، ص 13).

وتقليدياً، يميز البحث الإستراتيجي بين محتوى الإستراتيجية وعملية الإستراتيجية (راجاغوبالان وآخرون، 1993). ويُعد تقسيم الإستراتيجية إلى أربع مراحل رئيسة إطاراً شائعاً في الأدبيات. تشمل هذه المراحل: (1) المسح البيئي، (2) صياغة الإستراتيجية، (3) التنفيذ، و (4) تقييم الأداء (ويلين وآخرون، 2017)، ويشير ديفيد (2011) إلى أن المسح البيئي يمكن اعتباره جزءاً من مرحلة صياغة الاستراتيجية.

أما الاستدامة فتستدعي تكاملاً منهجياً في كل مرحلة من هذه المراحل. وسيجري تناول كل مرحلة بمزيد من التفصيل في الأقسام اللاحقة.

تسهم الأدوات التحليلية مثل القوى الخمس لبورتر (بورتر، 1979، 2008) وإطار عمل VRIO لبارني (بارني، 1997) في تنظيم تطوير الإستراتيجيات من منظور تنافسي، أي من القمة إلى القاعدة. وفي المقابل، يرى باحثون مثل منتزبرغ ووترز (1985) أن الخطط الإستراتيجية نادراً ما تتبع ما خُطِّط له، بل تتطور أنماط الإستراتيجية من القاعدة إلى القمة من خلال الأفعال الفردية والتكيف.

وعلى الرغم من أن مفهوم الإستراتيجية الناشئة يساعد على فهم تعقيدات التعلم الإستراتيجي، فإن هذا الفصل سيركّز، لأغراض الاختصار، على الدمج المخطط والمتعمد لمفهوم الاستدامة في الإستراتيجية.

تستند إستراتيجية الشركة إلى تعزيز نقاط القوة التنافسية وتقليل نقاط الضعف لضمان الاستمرار والنمو في السوق على المدى الطويل. ويمكن تحقيق الاستدامة من خلال إستراتيجية الشركة على ثلاثة مستويات هرمية: الشركات، الأعمال التجارية، والوظيفية (ويلين وآخرون، 2017).

ترتبط إستراتيجية الشركة بالرؤية العامة وفقا للممارسات التقليدية، لذا فإنها تتناول كيفية التنافس لتحقيق الاستقرار والنمو، بينما تركز إستراتيجية العمل على الوضع التنافسي للمنتجات والخدمات في الأسواق المعنية. ومن جهة أخرى، تسعى الإستراتيجية الوظيفية إلى تحسين إنتاجية الموارد عبر تطوير كفاءات متميزة في مجالات محددة مثل الإنتاج أو التسويق أو الشراء. وتؤثر الاستدامة في الأهداف والقيود المتعلقة بإستراتيجية الشركة على جميع هذه المستويات الثلاثة.

تتوفر محركات متنوعة، والتي يمكن تصنيفها بطرائق مختلفة، لتأخذها الشركات في الحسبان عند دمج الاستدامة في إستراتيجياتها (إنغيرت وآخرون، 2016؛ ميفرت وكيرشغيورغ، 1998؛ أورتفغ وآخرون، 2017؛ فان ماريفيك ووير، 2003). وتشمل هذه المحركات العوامل الخارجية/الداخلية، عوامل الدفع/الجذب، القوى السوقية/غير السوقية، المحركات المباشرة/غير المباشرة، أو العوامل الداعمة/المعيقة (إنغيرت وآخرون، 2016)، مع إمكانية انتماء بعض العوامل إلى عدة فئات في الوقت ذاته. من الأمثلة الشائعة على ذلك هو طلب العملاء، الذي يُعد محركًا خارجيًا وقوة سوقية وعامل جذب يمكن أن يمثل فرصة إذا أُسْتُغِلَّ جيدًا. أما التنظيم والامتثال القانوني، فهما أيضًا

من المحركات الخارجية، ولكنهما يمثلان قوى غير سوقية تؤدي دورًا كعوامل دافعة، مما يؤدي إلى مخاطر إذا لم يؤخذ في الحسبان.

يشكل قرار البرلمان الأوروبي في فبراير 2023 بحظر بيع السيارات الجديدة العاملة بالبنزين والديزل ابتداءً من عام 2035 مثالاً بارزاً على إجراء سعي لتغيير بيئة الأعمال في قطاع السيارات كلياً. وتشمل المحركات الخارجية تأثيرات توقعات المستثمرين، ومتطلبات الشفافية، وضغوط الأسواق المالية، والتي يمكن أن تعمل كعوامل جذب ودفع في الوقت نفسه. أما العوامل الداخلية، فهي تشمل إمكانية تقليل التكاليف من خلال تحسين الكفاءة البيئية، ورؤية الإدارة العليا، ورغبة الموظفين في تحقيق الاستدامة.

ومن بين العوامل الداخلية الداعمة نجد ثقافة تنظيمية مسؤولة، وإدارة فعالة لمخاطر العمل، وكفاءة في إدارة الجودة تهدف إلى التحسين المستمر، بالإضافة إلى قدرة قوية على الابتكار. إذ تشمل العوامل الداخلية المعيقة نقص الموارد والمهارات، والتركيز على الأهداف قصيرة المدى، وضعف القيادة. ويمكن أن تكون هناك عوائق خارجية مثل ضعف التنظيم أو نقص الطلب من العملاء على المنتجات المستدامة. ونظراً لاختلاف التوليفات المحددة لهذه المحركات بحسب السياقات والشركات، فقد دمجت المؤسسات مفهوم الاستدامة بطرائق متنوعة تعكس مستويات أو أنماط مختلفة (باومغارتنر وإبнер، 2010) أو أساليب جغرافية (بوريت وآخرون، 2020).

يوضح هذا الفصل كيفية تصنيف ثلاثة أنواع من الاعتبارات الإستراتيجية المتعلقة بالاستدامة: الإستراتيجية المستقلة، والإستراتيجية التكميلية، والإستراتيجية المدمجة. ففي الإستراتيجية المستقلة، تتعامل الشركة مع القضايا الاجتماعية والبيئية بوصفها مجالات منفصلة عن إستراتيجياتها المؤسسية أو التجارية. وفي هذه الحالة، قد تعتمد

الشركة الاستدامة كإضافة مهمة، مثل المشاريع الخيرية التي لا ترتبط بنشاطها الأساسي، أو قد تستجيب لتوقعات خارجية عامة لا صلة لها بإستراتيجيتنا التنافسية.

أما في الإستراتيجية التكميلية، فإن الاستدامة تعزز من خلق ميزة تنافسية، دون أن تتعارض مع الإستراتيجية المؤسسية أو التجارية الحالية. (على سبيل المثال، يمكن أن تكون هناك إستراتيجيات تركز على الكفاءة البيئية التي تقلل التكاليف، لكنها لا تؤثر في مجموعة المنتجات أو الرؤية العامة للشركة). وبالنهاية، تستفيد إستراتيجيات الاستدامة المدمجة من اعتبارات الاستدامة لإعادة تقييم وتعريف إستراتيجية الشركة المؤسسية (أي المجالات التي تتنافس فيها) وكذلك إستراتيجيتنا التجارية (أي الطرائق التي تحقق بها ميزة تنافسية).

ورغم أن هذه الإستراتيجيات تحمل تأثيراً قوياً، فإنها تتسم بالتعقيد. وقد تتضمن هذه الإستراتيجيات في مجال السيارات مراجعة تقنيات أنظمة الدفع، وإنشاء نظم بيئية للمواد الثانوية، أو تقديم خدمات التنقل.

يمكن للشركات من خلال هذه الإستراتيجيات المتكاملة دمج مفهوم الاستدامة من زاوية أكثر عملية، حيث تُعد «استجابة مؤسسية إستراتيجية تهدف إلى الربح تتعلق بالقضايا البيئية والاجتماعية» (سالزمان وآخرون، 2005، ص. 27). أو يمكنها أن تتجاوز ذلك لتحديد الأثر الإيجابي الخارجي كهدف رئيس لمنظمتها (بانسال وروث، 2000؛ فان زانتن وفان تولدر، 2021). ومن ثم، تصبح الإستراتيجية ليست مجرد سعي لتحقيق ميزة تنافسية دائمة، بل تشمل أيضاً «لماذا» و«كيف» يمكن للشركة أن تحقق النجاح في السوق.

وبينما تقدم قائمة محركات الاستدامة وأنواع الإستراتيجيات صورة ثابتة إلى حد ما، فإن مفهوم نضج الاستدامة أو مراحلها يبرز تطور إستراتيجية الاستدامة عبر الزمن. إذ تتنوع نماذج النضج بدءاً من التمييز البسيط بين مستويين (مثل المتأخر والرائد، كما ذكر هان (2013) وصولاً إلى نماذج تتكون من خمس مراحل (مثل: الأولوية، الإدارة، المحددة، الإدارة كميًا، والتحسين، كما قدمها فيرييه وآخرون (2016).

وبالرغم من هذه الاختلافات، يسلط منظور النضج الضوء على الديناميكيات الخارجية والداخلية التي تؤثر في إستراتيجيات الاستدامة. ويعكس نضج الاستدامة، من منظور خارجي، التطور المستمر للدوافع الخارجية للاستدامة، حيث تغير اللوائح، وتظهر تقنيات جديدة، وتتغير ضغوط المنافسة، وتبرز توقعات جديدة من العملاء والمستثمرين.

وينطبق هذا خاصة على محركات الاستدامة، حيث تتزايد الحاجة الملحة للتصدي للتحديات المهمة مثل التغير المناخي وفقدان التنوع البيولوجي واستنزاف الموارد. وفي الوقت نفسه، تؤدي التغيرات في وعي المعنيين بالقضايا البيئية والاجتماعية إلى تعزيز الأهمية السياسية والتنظيمية لهذه القضايا. عفى سبيل المثال، في قطاع السيارات، تشير اللوائح المتزايدة الصرامة المتعلقة بالانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أساطيل المركبات أو الالتزام بحقوق الإنسان إلى ضرورة نضوج الشركات في دمج الاستدامة استجابةً لمتطلبات خارجية متطورة.

يشدد المنظور الداخلي لنضج الاستدامة على أهمية تطور الكفاءات التنظيمية مع مرور الزمن (ديليك وآخرون، 1997). فقد كانت العديد من الشركات تستجيب لتحديات الاستدامة أو الانتقادات الخارجية من خلال إستراتيجيات محدودة وأحياناً بطريقة دفاعية خلال المراحل

المبكرة (مافرت وكيرشجيورج، 1998)؛ نتيجة لنقص المعرفة والموارد اللازمة لمواجهة هذه القضايا. ومع ذلك، تمكنت الشركات من اكتساب المعرفة وتوسيع قدراتها من خلال الاستثمار في الممارسات الأساسية مثل الامتثال البيئي، مما يمكنها من تحسين كفاءتها البيئية أو حتى تطوير منتجات وأسواق جديدة.

يشير مفهوم نضج الاستدامة في الإطار المؤسسي إلى التطور التدريجي في تركيز إدارة الاستدامة ونطاقها عبر العقود. ويبرز ذلك، على سبيل المثال، في قطاع صناعة السيارات، حيث تحول الاهتمام من تحسين نظافة عمليات الإنتاج، إلى تطوير منتجات أقل تأثيراً بيئياً، ثم إلى بناء سلاسل قيمة أكثر استدامة. ففي عام 1973، كانت بي إم دبليو أول شركة سيارات تعين مسؤولاً بيئياً، حيث كان أحد الدوافع وراء ذلك هو التفاعل مع التحديات التي أثارها عمليات التصنيع على المجتمعات المحيطة. ولهذا، كان التركيز الأولي لإدارة الاستدامة محلياً، ومرتبباً برود الفعل حول عمليات التصنيع الداخلية.

أدى تأسيس إدارة بيئية منهجية إلى تحقيق تحسن كبير في الإنتاج الأنظف وتعزيز الكفاءات البيئية. وعلى مدى العقود التالية، استمرت بي إم دبليو في تقليل انبعاثات التصنيع وزيادة كفاءة الموارد، وهي الآن تعتمد في إستراتيجيتها للاستدامة على مبدأ (LEAN.GREEN. DIGITAL) في جميع مصانعها.

وتسعى بي إم دبليو إلى تحقيق فوائد الاستدامة من خلال كفاءاتها، حيث تخطط لجعل مصنعها في دبرتسن، المجر الذي سيبدأ تشغيله في عام 2025، أول مصنع محايد كربونياً لها، مما يعكس التزامها بالاستدامة والابتكار.

كان التركيز في بداياته منصباً على الانبعاثات المحلية وسلامة

العاملين داخل المنشآت، غير أن مفهوم الإنتاج الأنظف اتسع لاحقاً ليشمل أداء المنتج البيئي طوال مرحلة استخدامه. وأدت توقعات العملاء والمتطلبات التنظيمية في صناعة السيارات إلى تحقيق تحسينات كبيرة في كفاءة استهلاك الوقود وتقليل الانبعاثات على الطرق، بما في ذلك انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تسهم في ظاهرة الاحتباس الحراري، فضلاً عن الملوثات الأخرى مثل الجسيمات الدقيقة وأكاسيد النيتروجين التي تلحق أضراراً مباشرة بالمجتمعات المحلية.

ونتيجة لذلك، استثمرت الشركات في تقنيات نظم الدفع الأكثر نظافة وكفاءة، مثل تحسين محركات الاحتراق الداخلي وتطوير تقنيات جديدة للدفع، من بينها السيارات الهجينة القابلة للشحن، والسيارات الكهربائية التي تعتمد على البطاريات، والسيارات التي تعمل بالهيدروجين. وتعكس هذه المنتجات والمحافظ الجديدة مدى عمق اندماج اعتبارات الاستدامة في إستراتيجيات الأعمال.

بدأت الشركات في تحديد أهداف إستراتيجية لمنتجاتها من أجل الحفاظ على تنافسيتها وريادتها في مجال الاستدامة والامتثال لمتطلبات التنظيم المستقبلية. فقد تعهدت شركة بي إم دبليو بتقليص انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل سيارة ولكل كيلومتر بمعدل لا يقل عن 50% مقارنة بمستويات عام 2019، وذلك بحلول عام 2030 (بي إم دبليو، 2021).

أصبحت الشركات اليوم مطالبة بما يتجاوز إنتاج السلع، إذ باتت إستراتيجيات الاستدامة الحديثة تشمل إدارة مسؤولياتها عبر سلسلة القيمة كاملة. ويتمحور مفهوم سلسلة القيمة المستدامة حول توسيع نطاق إستراتيجية الاستدامة لتشمل جميع مراحل دورة الحياة، بما في ذلك الجوانب البيئية والاجتماعية، مثل حقوق الإنسان، سواء في المراحل

الأولية (مثل قضايا العمل والبيئة في أثناء استخراج المواد الخام)، أو في المراحل النهائية (مثل عمليات التخلص وإعادة التدوير).

كما تتبنى الشركات مسؤولية سلسلة القيمة (باير وآخرون، 2020) فيما يتعلق بالمصادر الأخلاقية للموارد الحيوية، استجابةً لضغوط خارجية مثل توقعات العملاء وزيادة التنظيمات، مثل لائحة العناية الواجبة لسلسلة التوريد الألمانية أو الأوروبية.

يفرض السعي إلى مستقبل خالٍ من الانبعاثات على صناعة السيارات تبني استراتيجيات فعّالة لسلاسل قيمة مستدامة بوصفها شرطاً لتحقيق الأهداف الطموحة المعلنة. فقد كانت الأهداف المتعلقة بالانبعاثات تركز على انبعاثات العادم، أي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة مباشرة عن السيارات أثناء القيادة.

إن التحول نحو التنقل الكهربائي أو الهيدروجيني قد يساعد في التخلص من هذه الانبعاثات أثناء الاستخدام، لكنه ينقل الانتباه إلى الانبعاثات التي تحدث في مراحل أخرى من دورة حياة السيارة. وتشمل هذه العوامل الطاقة المستخدمة في إنتاج البطاريات، وانبعاثات تصنيعها، وظروف التوريد المرتبطة بالمواد الأساسية مثل الليثيوم والكوبالت والنيكل والعناصر الأرضية النادرة (شميد، 2020)، بالإضافة إلى مصادر الطاقة المستخدمة لتشغيل السيارات وأهمية إعادة تدوير البطاريات.

تعتمد إستراتيجية الاستدامة الموجهة نحو سلسلة القيمة اعتماداً مباشراً على مفهوم الاقتصاد الدائري (مؤسسة إلين ماك آرثر، 2013). ويُعد إغلاق الحلقة، مثل استخدام المواد الثانوية، أمراً أساسياً لتقليل الانبعاثات وضمان توفر الموارد النادرة. ومع أنّ النهج المعتمد على سلسلة القيمة قادراً على تعزيز أثر الاستدامة والعوائد التجارية، فإنه في الوقت نفسه يضاعف مستوى التعقيد.

يجب أن تشمل هذه الإستراتيجية الشاملة للاستدامة جميع الوظائف المؤسسية ذات الصلة، مثل الإنتاج، والبحث والتطوير، والمشتريات، واللوجستيات، والتسويق، بالإضافة إلى التعاون مع الشركاء في سلسلة القيمة مثل الموردين، ومقدمي البيانات، والمدققين. ويجب أن تتيح الشراكة مع الأطراف غير السوقية، مثل البنية التحتية لشحن المركبات الكهربائية، لدعم التحول نحو الاستدامة (بيكمان وشالتغر، 2021).

تمتد آثار الاستدامة إلى معظم جوانب الإدارة، ما يستلزم اعتماد نهج أكثر تكاملاً تدمج فيها مراحل العملية الإستراتيجية بطريقة منهجية: (1) المسح البيئي، (2) صياغة الإستراتيجية، (3) التنفيذ، و(4) تقييم أدائها (ديفيد، 2011؛ ويلين وآخرون، 2017).

ففي المرحلة الأولى، يتولى المسح البيئي جمع المعلومات المتعلقة بالبيئة الخارجية، بما في ذلك الموارد الطبيعية، القوانين، وتحليل الصناعة، فضلاً عن البيئة الداخلية، مثل قدرات المنظمة الحالية. ويبرز تغير المناخ ضرورة دمج جوانب الاستدامة بطريقة منهجية في هذه المرحلة.

ويمثل تغير المناخ مجموعة من التحديات التي تواجه الشركات، تشمل المخاطر التنظيمية مثل حظر محركات الاحتراق الداخلي، ومخاطر سلسلة التوريد الناتجة عن ندرة المياه في إنتاج المواد الخام، وصولاً إلى المخاطر الفيزيائية التي تتمثل في تأثير درجات الحرارة المرتفعة على كفاءة تشغيل المركبات الكهربائية المعتمدة على البطاريات. ومن ثم، يصبح الإلمام العميق بالنظام المناخي، استناداً إلى ما يتوفر من أسس علمية، شرطاً أساسياً في صياغة الإستراتيجيات المستقبلية.

تُعد ميزانية الكربون المتبقية من المؤشرات البيئية المهمة، إذ تمثل الحد الأعلى للانبعاثات المسموح بها عالمياً للحد من ظاهرة الاحتباس

الحراري، وفق ما أفقرته اتفاقية باريس. ولقد برز تأثير الجهات غير السوقية، مثل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، على سياسات العديد من الشركات واتجاهاتها. ولأن تغير المناخ ليس التحدي الوحيد في مجال الاستدامة، يصبح المسح البيئي ضرورة لتحديد مختلف القضايا الاجتماعية والبيئية ذات الصلة الإستراتيجية. إلا أن الشركات لا تستطيع التعامل مع جميع هذه القضايا في الوقت نفسه أو بالقدر نفسه من التركيز، فصيافة أي إستراتيجية تتطلب ترتيب الأولويات وفقاً لمدى أهميتها. ولهذا السبب يُعد تحليل الأهمية النسبية (Materiality Analysis) وسيلة فعالة للوقوف على هذه الأولويات (وايتهيد، 2017).

وفي مجال الاستدامة، يعتمد تحليل الأهمية النسبية عادةً على دمج الرؤية الداخلية للشركة (ما تعدّه ذا أهمية لها) مع التقييم الخارجي لآراء أصحاب المصلحة (ما يُعدّ مهمّاً على الصعيد العالمي). إذ يمكن أن تكون القضايا المشتركة المنفعة، مثل الكفاءة البيئية، ذات أهمية مالية واضحة، إلا أن هناك بعض القضايا المتناقضة التي قد لا تمتلك حتى الآن مبرراً تجارياً، لكنها تحمل تأثيراً اجتماعياً (غارست وآخرون، 2022) وقد تكتسب أهمية إستراتيجية على المدى المتوسط والطويل.

يؤكد هذا المفهوم الذي يُعرف بـ «الأهمية الديناميكية» (Dynamic Materiality) (كوه وآخرون، 2020)، على ضرورة أن تشمل عملية المسح البيئي تفاعلاً منظماً مع مجموعة متنوعة من أصحاب المصلحة. ويتضمن ذلك الأطراف المعنية من السوق مثل العملاء والمستثمرين والموردين، بالإضافة إلى تلك الموجودة خارج السوق مثل العلماء والمنظمات غير الحكومية والجهات الرقابية.

تتمثل المرحلة الثانية في عملية وضع الإستراتيجية في صياغتها، وتشمل عدة خطوات. أولاً، توضح الشركة رسالتها، حيث تلعب اعتبارات

الاستدامة دوراً مهماً في فهمها لسبب وجودها وكيفية عملها في السوق. ولكننا سنركز هنا على خطوتين رئيسيتين: تحديد الأهداف الإستراتيجية ووضع الخطط اللازمة لتحقيقها.

وفي إطار الاستدامة، تعتمد المناهج الحديثة التي تُعنى بصياغة الأهداف الإستراتيجية على مفهوم الأهداف القائمة على أسس علمية. وفيما يتعلق بتغير المناخ، تقدم الأهداف العلمية المخصصة وسيلة جديدة لمواءمة انبعاثات الشركات مع هدف اتفاقية باريس في الحد من ارتفاع درجات الحرارة (بيورن وآخرون، 2022).

وتزداد أهمية الأهداف القائمة على أسس علمية لعدة أسباب. إذ يعد التوزيع الفعال لميزانية الكربون المتبقية بين القطاعات والشركات أمراً حيوياً لتحقيق الهدف العام في مكافحة تغير المناخ، وتسهم الأهداف العلمية المحددة في تعزيز الجهود للحد من الانبعاثات على الصعيد العالمي. وبالنسبة للشركات، فإن وضع أهداف موثوقة يساعدها على تحسين التخطيط وكسب ثقة الجهات المعنية. فكلما كانت الأهداف العلمية دقيقة ومنهجيتها قوية، زادت قدرة الشركات على استخدامها بفعالية لقياس أهداف الاستدامة ومتابعة تنفيذها.

وعلى الرغم من أن الأهداف القائمة على أسس علمية والمتعلقة بالمناخ قد نالت النصيب الأكبر من الاهتمام حتى الآن، فإن الفكرة الأساسية تنطبق أيضاً على مسائل استدامة أخرى، مثل التنوع البيولوجي. وفي جميع هذه الحالات، يتطلب تحديد الأهداف العلمية المحددة تفاعلاً مكثفاً مع المعنيين لضمان تحويل الأهداف البيئية العالمية إلى خطوات عملية على مستوى الشركات (أندرسن وآخرون، 2021).

تضع الشركات الخطط الإستراتيجية بوصفها خطوة رئيسية في عملية صياغة الإستراتيجية (ويلين وآخرون، 2017)، إذ تُحدّد من خلالها

السبل التي تُنَجَز بها الرسالة وتتحقق الأهداف الإستراتيجية. وفي سياق إستراتيجية الاستدامة المتكاملة، تزداد هذه المرحلة تعقيداً نتيجة تحمّل المسؤولية عن مختلف حلقات سلسلة القيمة بالكامل.

وعند وضع إستراتيجية للمناخ تتضمن تحديد الأهداف القائمة على أسس علمية، يجب على الشركات أن تأخذ في الحسبان الانبعاثات على امتداد سلسلة القيمة بالكامل. إذ يتطلب ذلك تقسيم الانبعاثات الإجمالية إلى ثلاث فئات رئيسية: انبعاثات النطاق 1، المرتبطة بالعمليات المباشرة للشركة؛ وانبعاثات النطاق 2، الناتجة عن الطاقة التي تشتريها الشركة؛ وانبعاثات النطاق 3، المتصلة بسلسلة القيمة بأكملها، بما في ذلك الموردين والمستخدمون النهائيون (كابلان ورامانا، 2021).

هناك فروق رئيسية في الخطوات المطلوبة للحد من الانبعاثات ضمن التخطيط الإستراتيجي. وبالنسبة لانبعاثات النطاق 1، ينبغي على الشركات دراسة عملياتها الداخلية وتعديلها. أما انبعاثات النطاق 2، فتستطيع الشركات تغيير مصادر الطاقة التي تستخدمها. وبالنسبة لانبعاثات النطاق 3، يتطلب الأمر التعاون مع الموردين وتشجيعهم أو مساعدتهم بأسلوب فعال للحد من الكربون في عملياتهم. أبرمت بي إم دبليو، على سبيل المثال، اتفاقيات تعاقدية مع أكثر من 400 مورد بهدف استخدام 100% من الكهرباء الخضراء بحلول عام 2022.

كما تُنفذ مشاريع تجريبية مبتكرة لإنتاج الفولاذ منخفض الانبعاثات الكربونية، حيث يُستبدل الفحم بالغاز الطبيعي أو الهيدروجين أو الكهرباء الخضراء خلال عملية الإنتاج (بي إم دبليو، 2022). ومن ثم، يتطلب التخطيط الإستراتيجي للاستدامة مع الموردين وأصحاب المصلحة الآخرين لضمان تحقيق الأهداف البيئية بفعالية. ويمكن استخدام مشاركة أصحاب المصلحة لتحديد أكبر العوامل لخفض ثاني أكسيد الكربون وتحليل جدوى التدابير خارج الحدود التنظيمية للشركة.

وفي المرحلة الثالثة التي تعد مرحلة تنفيذ الإستراتيجية، يبدأ تجسيد الخطط الإستراتيجية على أرض الواقع. ففي الإستراتيجية التقليدية للأعمال، تشمل هذه المرحلة تنفيذ البرامج والتكتيكات، وتخصيص الميزانيات، واتباع الإجراءات اللازمة لتحقيق الأهداف (ويلين وآخرون، 2017). وبينما ينطبق هذا أيضاً على الاستدامة، فإن إستراتيجية الاستدامة الشاملة تضيف مستوى من التعقيد، مما يتطلب إدارة أكثر تنسيقاً.

ونظراً لتعدد أبعاد الاستدامة وتشابكها، يتعذر إدارتها في مسارات منفصلة؛ فهي تتطلب انسجاماً بين الإدارات المختلفة وتنظيماً لتعاون متعدد التخصصات (باير وآخرون، 2020). ولتحقيق ذلك، تحتاج الشركات إلى توافر بيانات دقيقة وكافية.

يرتكز النهج الإداري المتكامل للاستدامة على مؤشرات ملائمة يجري قياسها ومشاركتها وتحليلها، وتوفيرها داخل المؤسسة ولدى شركاء سلسلة القيمة. ويتيح هذا النهج توجيه الموارد والحوافز بما ينسجم مع الأهداف طويلة المدى في مجال الاستدامة. ولتفادي تحقيق تقدّم في بُعدٍ من أبعاد الاستدامة على حساب أبعاد أخرى أو على حساب أهداف الأعمال، تبرز الحاجة إلى إدارة متكاملة تُحدّد البدائل الممكنة وتقدّم الإرشاد حول كيفية التعامل معها (بومغارتنر وإبنر، 2010).

وبما أن إجراءات الاستدامة تمثل غالباً استثمارات في فوائد مستقبلية، فإنه من الضروري تبني نهج إداري متكامل يضمن التوافق بين الميزانيات الفردية والحوافز والأهداف طويلة الأمد. وعندئذ، تصبح المؤشرات القابلة للقياس في مجال الاستدامة معايير أداء تُستخدم لتحديد مكافآت الإدارة.

تشكل المرحلة النهائية من وضع الإستراتيجية التقليدية مرحلة التقييم والمراقبة، حيث تركز على متابعة الأداء. ولكن، لا تُعد هذه المرحلة نهاية عملية الإستراتيجية، بل تسهم في تقديم ملاحظات تعزز من التفاعل المستمر مع جميع المراحل السابقة (ويلين وآخرون، 2017). فالملاحظات والمراقبة وظائف داخلية حيوية بالنسبة للشركة.

تتضمن مرحلة التقييم تقديم معلومات أساسية لإعداد تقارير الأداء في مجال الاستدامة للجمهور الخارجي، بالإضافة إلى المتابعة الداخلية، وذلك ضمن إستراتيجية الاستدامة الشاملة. فلقد تطور الإفصاح عن الاستدامة من مجرد ممارسة تطوعية إلى معيار فعلي خلال العقود الماضية، ثم أصبح مطلباً تنظيمياً للعديد من الشركات متعددة الجنسيات. ومع ذلك، كانت أغلب الشركات تُبلغ عن مؤشرات الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية (ESG) ضمن تقارير منفصلة حتى وقت قريب، مما جعل هذه المعلومات أقل أهمية وضماناً مقارنةً بالبيانات المالية.

ومن زاوية إستراتيجية الاستدامة المتكاملة التي تجمع بين أصحاب المصلحة وأبعاد الاستدامة مع الإستراتيجية التجارية، يصبح من الضروري دمج تقارير الاستدامة مع التقارير المالية، وهذا ما يُعرف بالتقارير المتكاملة (تشوريت وإكلس، 2014). وبالنسبة للمستثمرين، تتيح التقارير المتكاملة الشفافية المطلوبة لاتخاذ قرارات استثمارية مستدامة، بينما تسعى الشركات من خلالها إلى تجاوز العقوبات التنظيمية الداخلية وتعزيز نهج شامل في الإستراتيجية والإدارة (هيغينز وآخرون، 2019).

ورغم ذلك، لم تصبح التقارير المتكاملة معياراً عالمياً جديداً بعد. فعندما دمجت شركة بي إم دبليو تقريرها السنوي مع تقرير القيمة

المستدامة للمرة الأولى في التقرير المتكامل لعام 2021، كانت بذلك أول شركة سيارات فاخرة عالمية تتبنى هذا الأسلوب.

ونظرًا للتغيرات السريعة في معايير وتقنيات الإفصاح عن الاستدامة، ما يزال غير واضح أي الأطر والمعايير التي ستسيطر في المستقبل، مما يتيح فرصة لإعادة تصميم إستراتيجيات الاستدامة في المؤسسات بطريقة أكثر تكاملًا. ومن المنتظر أن تحدث هذه التطورات أثرًا مهمًا في مستقبل الإفصاح المؤسسي (انظر الفصل 4).

3.3 محادثة الخبراء حول دمج الاستدامة في إستراتيجية الشركة:

ما الدوافع لدمج الاستدامة في إستراتيجية الشركة؟

بيكمان: عندما زرت مصنع بي إم دبليو قبل عشر سنوات، اكتشفت أن الشركة كانت السبّاقة في تعيين ضابط للبيئة عام 1973. وكان من بين الأسباب وراء إنشاء هذا المنصب الجديد وجود اهتزازات ناتجة عن الآلات الثقيلة في المصنع والتي كانت تُقلق السكان المجاورين. فقد تناول مسؤول البيئة القضايا المجتمعية، وساهم في تحسينات داخل المصنع. وتأسست إدارة الاستدامة بهدف واضح في عام 1973، وسرعان ما تطورت هذه الإدارة لتصبح أكثر تقدمًا.

تسعى شركة بي إم دبليو اليوم لأن تكون المزود الرائد والأكثر استدامة في مجال التنقل الفردي. فما العوامل الرئيسية التي تحفزكم لتحقيق هذا الهدف حاليًا؟

زيبسه: تعد الاستدامة هدفًا متغيرًا، فعندما أطلقنا منصب مسؤول البيئة قبل نحو 40 عامًا، كان هذا الدور مستقرًا، ويركز على الاستدامة بجانب الأنشطة الأساسية. ولكن الأمور تغيرت جدًا، ويمكنني تحديد أربعة عوامل رئيسة تعزز الاستدامة.

بيكمان: ما هذه العوامل الأربعة؟

زيبسه: أولاً، يتعرض المجتمع لتغيرات مستمرة. فالقضايا البيئية تتطور، ووعي المجتمع بها اليوم يختلف كثيراً عما كان عليه قبل 40 عاماً. والنقطة الثانية تتعلق بالسياسات واللوائح، حيث أصبحت السياسات التنظيمية تتغير وتصبح أكثر تعقيداً بالنسبة للصناعة. والنقطة الثالثة تشير إلى أن نظامنا المالي أصبح أكثر تركيزاً على الأداء البيئي والاستدامة، وهو تطور جديد وسريع.

بيكمان: ما العامل الرئيسي الرابع للاستدامة؟

زيبسه: يؤثر العامل الرابع للاستدامة في سلوك العملاء، فالرغبة في شراء المنتجات وإنفاق الأموال ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالاستدامة وجودة المحتوى المنتج. ولهذا، فإن هذه العوامل الأربعة تدفعنا إلى إعادة التفكير في إستراتيجيتنا المؤسسية وتطويرها. فنحن نرى الآن أن الاستدامة ركيزة أساسية في إستراتيجيتنا المؤسسية.

بيكمان: هل يمكنك إعطاء مثال؟

زيبسه: بالتأكيد. لنأخذ على سبيل المثال انتقالنا إلى إعداد التقارير المتكاملة؛ فمنذ عام 2021 لم نعد نصدر تقارير منفصلة، فنحن لا نعمل على تقرير موجّه لقطاع الأعمال والمال وآخر للمنظمات غير الحكومية والمجتمع، بل تقرير واحد يجمعها جميعاً. إذ يوفّر هذا التقرير الشامل أداة للانضباط المؤسسي، ويقتضي أن يكون كل ما نفعله ونفصح عنه قابلاً للتحقق والقياس ويعكس الواقع بدقة. وفي صناعة السيارات، نُعدّ أول شركة تدمج تقرير الاستدامة مع التقرير التقليدي لمجموعة بي إم دبليو في وثيقة واحدة، وهي خطوة بالغة الأهمية لنا، وتؤكد أن الاستدامة ليست غاية ثابتة، بل مسار يتطور باستمرار.

نهج تكاملي: ما تأثيره في الإدارة؟

بيكمان: توجّه التقارير المتكاملة إلى مختلف أصحاب المصلحة، من مستثمرين ومنظمين وعملاء ومنظمات غير حكومية، وتسعى إلى استيعاب هذه الرؤى الخارجية ضمن إطار واحد. وعند تبني هذا النوع من التقارير للمرة الأولى، كان الهدف كسر الحواجز بين الأقسام الداخلية في الشركات، مثل أقسام الاستدامة والمالية والتقارير، وتعزيز التنسيق فيما بينها. وفي هذا السياق، نطرح سؤال مهم: إلى أي مدى ينعكس هذا التكامل الداخلي في أسلوب إدارتك لإستراتيجية الاستدامة؟

زيبسه: يعكس التقرير المتكامل طبيعة أنشطتنا الداخلية، إذ إن الخيار الأمثل يتمثل في إشراك مختلف أصحاب المصلحة- من موظفين ومساهمين وإدارة- في عمليات اتخاذ القرار. ولم يعد من الممكن التعامل مع الاستدامة بوصفها عنصراً مكمّلاً، بل بات من الضروري دمجها في صميم المنتج والدافع المؤسسي.

بيكمان: لماذا هذا مهم؟

زيبسه: كل قرار نتخذه اليوم سيؤثر في السوق لمدة 12 عاماً قادمة. فالنماذج التي نعمل عليها في عام 2021، لن تُطرح في السوق قبل عام 2025 على أقل تقدير. ومع ذلك، تستمر البنية الأساسية نفسها لمنتجات متعاقبين، مما يقودنا إلى عام 2040. فيجب أن تكون كل خطواتنا الحالية مُعدة لتلبية احتياجات دورة حياة المنتج بالكامل، وهذا يجعل التخطيط للمستقبل أمراً بالغ الأهمية في الوقت الراهن.

بيكمان: يجب أن ننظر إلى الأمور من رؤية تمتد على المدى البعيد، حيث إن وقت التطوير ودورة الحياة يجعلان من الضروري إدماج اعتبارات الاستدامة في المراحل الأولى من عملية التطوير عوضاً عن التركيز عليها في نهاية المطاف. فهل يمكنك تقديم أمثلة توضح الفرق

بين تطوير هذا النهج بعيد المدى الآن وأوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، خاصة فيما يتعلق بنهج الإدارة التكاملية؟

بيكر: تتمثل القضية المحورية في السنوات المقبلة في تجاوز التركيز على الإنتاج لكونه نقطة البداية للاستدامة بوصفها وظيفة داخل المؤسسة. ويقتضي الأمر أيضاً النظر إلى ما يتجاوز المنتج نفسه، ولا سيما ما يتعلق بالانبعاثات ومصادر الكهرباء. ولتحقيق ذلك، لا بدّ من التعمق في سلسلة القيمة، وهو ما يطرح تحدياً مزدوجاً. يتمثل التحدي الأول في إدماج الأهداف الملائمة في تخطيط المنتج منذ مراحله الأولى عبر الآليات المناسبة. ونحن نعمل باجتهاد على هذا الجانب فيما يخص منتجاتنا المستقبلية، ونسأل: كيف يمكن تقليل البصمة الكربونية للمدخلات مثل الفولاذ والألومنيوم وأجهزة التخزين عالية الجهد؟ وتبدأ الخطوة الأولى بالتفاوض مع مورديننا لتأمين مصادر الطاقة الملائمة.

بيكمان: ما الخطوة الثانية؟

بيكر: ستكون الخطوة القادمة هي تحقيق نسب أكبر بكثير من المواد الثانوية، مما سيوفر لنا خياراً إضافياً لتقليل بصمتنا البيئية، ليس فقط فيما يتعلق بثاني أكسيد الكربون، بل أيضاً من حيث الموارد المطلوبة.

بيكمان: إذن، مبادئ الاقتصاد الدائري مهمة.

بيكر: صحيح، فكل هذا جيد وضروري، لكن لإثبات إنجازاتنا وتوثيقها، نحتاج إلى إنشاء آليات تقارير واضحة، وتحديد الأهداف، ووضع إستراتيجيات توجيه. وهذا سيمكننا من إخضاع بيانات بصمتنا البيئية لنفس مستوى التدقيق الذي تخضع له بياناتنا المالية مع المدقق المعتمد. لهذا السبب تعد التقارير المتكاملة ضرورية للغاية. فالنموذج

المتكامل للاستدامة يمثل تحدياً كبيراً، لأنه يتجاوز نطاق منظماتنا، ويشمل أيضاً سلسلة التوريد. وهذا ما نعمل على معالجته حالياً.

ما القيمة التي تقدمها الاستدامة كإستراتيجية مؤسسية شاملة؟

زيبسه: من منظور أكاديمي، أين ترى القيمة للشركات في دمج الاستدامة في إستراتيجياتنا؟ هناك إجابة قصيرة وبسيطة وإجابة طويلة ومعقدة على هذا السؤال.

زيبسه: ما الإجابة القصيرة والبسيطة؟

بيكمان: تكمن الفوائد التي تجنيها الشركات في مجالات متعددة، منها إدارة المخاطر، والتحكم في التكاليف، وتنمية الإيرادات، وضمان ترخيص العمل. فالتكيف مع التغيرات التنظيمية شرط أساسي لاستمرار حضور الشركة في السوق. وفي جانب إدارة المخاطر، يمكن أن يؤدي تجاهل الاستدامة إلى تعرض الشركة لمخاطر قانونية وتشغيلية، فضلاً عن الأضرار المحتملة بسمعتها.

أما خفض التكاليف فيتحقق من خلال الحد من الهدر؛ فكل هدر يعني ضياعاً مباشراً للموارد. وفي قطاع التصنيع، يسهم الاستخدام الكفء للمواد والطاقة في خفض النفقات ويتوافق مع مبادئ الإدارة المرنة. وأخيراً، يعزز الالتزام بالاستدامة جاذبية الشركة لدى الموظفين والمستثمرين والمستهلكين، إذ تميل المنتجات المستدامة إلى جذب العملاء، ودعم الابتكار، وفتح فرص جديدة في الأسواق.

زيبسه: كيف تختلف الإجابة الطويلة؟

بيكمان: تعد هذه المحركات التي تدفع نحو الاستدامة تقليدية، لكنها أيضاً عامة. وعندما نبحث في إستراتيجية معينة، تصبح الأمور

أكثر تعقيدًا. الأهم هنا هو الشركة نفسها والعوامل السياقية التي يمكن أن تحول قضية الاستدامة المحددة إلى أحد محركات الأداء الخاصة بك. قد تختلف منطقية التأثير وفقًا للصناعة المعنية، والموقع داخل هذه الصناعة، ومدى نضج إستراتيجية الاستدامة.

زيبسه: هل يمكنك توضيح ما يعنيه ذلك؟

بيكمان: خذ مثالاً على كفاءة استخدام المواد والطاقة في عملية التصنيع. لقد حقق الإنتاج الرقمي لشركة بي إم دبليو تقدمًا ملحوظًا في هذا المجال. وبالمقابل، ما تزال الشركات الأخرى التي بدأت مؤخرًا في مجال الاستدامة تواجه تحديات في تحقيق نتائج فعالة، حيث إن أثرها يكون محدودًا، وعادة ما يعتمد على سلسلة سببية قصيرة. فإذا كانت لديك عمليات إنتاج تتطلب استهلاكًا عاليًا للطاقة، يمكنك إجراء تحليل للكفاءة البيئية وتطبيق حلول أكثر فاعلية، مثل استعادة الحرارة، مما يساهم في تقليل الانبعاثات والتكاليف. وهذا يثمر عن نتائج واضحة وسهلة القياس على المدى القصير.

زيبسه: فهمت. ما الذي يمكن أن يكون مثالاً على موقف أكثر تعقيدًا؟

بيكمان: عند تطوير إستراتيجية للتعامل مع سيناريوهات مستقبلية تتسم بدرجات عالية من التعقيد وعدم اليقين، تصبح العلاقة بين الاستدامة ونجاح الأعمال أكثر تشابكًا. فعلى سبيل المثال، يُعدّ التخطيط للوصول إلى الحياد الصفري مع تحقيق عوائد اقتصادية مهمة غير مباشرة، إذ لا يمكن ضمان نتائج قصيرة المدى. وفي مجال الاستدامة، تتطلب إزالة الكربون بفاعلية دراسة شاملة لمواقع الانبعاثات عبر دورة الحياة وتحديد أنسب السبل لخفض ثاني أكسيد الكربون، مع بحث آليات التعاون مع الأطراف الأخرى. أمّا في سياق الأعمال،

فينبغي فهم كيفية تحويل خفض الانبعاثات إلى ميزة تجارية قابلة للاستثمار. ويزداد التحدي مع الحاجة إلى مقارنة الخيارات المتاحة أو تقييم قيمتها في ظل عدم اليقين المتعلق بالتنظيمات المستقبلية، أو تكاليف الشحن، أو اتجاهات الطلب في السوق.

زيبسه: هذه في الواقع أسئلة أكثر تعقيداً.

بيكمان: تتفاعل محركات الاستدامة بطرائق متعددة، بتأثير عوامل متنوعة تشمل سلوك الحكومات والعملاء والموظفين والمستثمرين المحتملين. وفي هذه الحالة تصبح الإستراتيجية عملية تبنى على فهم العلاقات السببية بين الاستدامة ونجاح الأعمال واختيارها وبنائها، الأمر الذي يثير تساؤلات جوهرية، من قبيل: ما الترتيبات التي تتيح، في ضوء وضعك الحالي، مواءمة الاستدامة مع نجاح الأعمال؟ وهل تستطيع التأثير في العوامل الخارجية، مثل التشريعات أو المعايير الصناعية المستقبلية، أم ينبغي التعامل معها بوصفها معطيات ثابتة؟ وبالنظر إلى كفاءاتك، وهل يمكن ابتكار حلول تكنولوجية جديدة أو خلق طلب جديد في السوق؟ تختلف الإجابات عن هذه الأسئلة من شركة لأخرى تبعاً لدرجة نضج ممارساتها في مجال الاستدامة.

زيبسه: هل لديك أمثلة بارزة، ربما من مجالات أخرى غير صناعة السيارات، حيث كان التكامل في إستراتيجية الشركة وفلسفتها مثمرًا؟

بيكمان: توجد العديد من الأمثلة الملهمة في سياقات متنوعة. لنستعرض، على سبيل المثال، شركة باتاغونيا (Patagonia) التي تعد بارزة في مجال الاستدامة داخل صناعة النسيج. لقد كانت هذه الشركة دائماً تركز على الاستدامة، حيث تمتلك قاعدة عملاء تدعم هذا النهج. كما أن لديها قصة تروج لمبادئ الاستدامة. ومع ذلك، فإنها تعمل في بيئة معينة، مما يجعل من الصعب اعتبار باتاغونيا نموذجاً يحتذى

به لشركة تمتلك مكانة قوية في السوق أو قاعدة عملاء واسعة.

زيبسه: إذا كانت الاستدامة دائماً جزءاً أساسياً من نموذج أعمال الشركة، فإن التحول سيحدث سريعاً. فما بعض الأمثلة على الشركات في قطاعات مختلفة التي شهدت تغييرات جذرية؟

بيكمان: عندما تسعى الشركات العاملة في الأسواق التقليدية لتحديث نماذج أعمالها، يتفاعل بعضها مع التغييرات المفاجئة، مثلما يحدث في حالات الفضائح. بينما يتوقع آخرون هذه التغييرات استباقياً، فعلى سبيل المثال، في قطاع الأغذية، يُعد نموذج شركة روغنفالدر ميله (Rügenwalder Mühle) مثلاً جيداً. إذ إن هذه الشركة العائلية تغير حالياً نموذج أعمالها، الذي كان يعتمد فقط على اللحوم، لتطوير منتجات نباتية بوصفها خيار بديل، دون أن تضطرها أزمة إلى ذلك.

زيبسه: أعرف هذه الشركة. تجربتهم مثيرة للاهتمام بالفعل.

بيكمان: أوافقك الرأي. مع تزايد الإقبال على الأنظمة الغذائية النباتية والنباتية الصرفة، تضع هذه الإستراتيجية الشركة في موقع يتيح لها الاستعداد لتحديات السوق المستقبلية. وتسهم في إعادة تشكيل السوق مع الارتفاع الكبير في الطلب على المنتجات النباتية، إذ تمنح المستهلكين خيارات واسعة من أغذية لذيذة وأكثر استدامة. وتستمر الشركة في تقديم منتجات قائمة على اللحوم، لكنها تسعى إلى الارتقاء بمعاييرها من خلال الاهتمام برفاهية الحيوانات. وعلى هذا النهج، توفر الشركة مجموعة من الخيارات التي تعزز قدرتها التنافسية في سوق الغذاء المستقبلي. ويتجلى جوهر الاستدامة هنا في اتخاذ خطوات تدعم خيارات المستقبل، وهو ما قد يتطلب من الشركات إدخال تغييرات جوهرية على نماذج أعمالها الحالية.

كيف يمكننا سد الفجوة بين النوايا والسلوك عندما يتعلق الأمر بالاستدامة؟

بيكمان: تُعد الاستدامة تحديًا مفاهيميًا لافتًا؛ فنحن نؤكد أنها تتطلب منظورًا شاملاً ومتكاملاً. غير أن التعامل مع جميع الجوانب بالقدر نفسه من الأهمية قد يفضي إلى تشتيت التركيز الإستراتيجي. وهنا تبرز أسئلة رئيسة: كيف تُحدد أولويات أهداف الاستدامة؟ وكيف تتغير هذه الأولويات بمرور الزمن؟

زيبسه: مهما كانت خطواتك، يجب أن تعتمد إستراتيجية شاملة بزاوية 360 درجة. فمن السهل اختيار منتج أو سوق أو نظام دفع معين لإجراء تجربة عليه، لكننا تجاوزنا هذه المرحلة. لقد أطلقنا سيارة BMW i3 في عام 2013، والآن بعد حوالي 10 سنوات، ويجب أن نتعلم كيف يتفاعل العملاء مع المنتج وندمج ردود أفعالهم بسرعة في إستراتيجيتنا. ز

هناك فوارق واضحة بين ما يقوله الناس وما يفعلونه، وكذلك بين تصريحاتهم بشأن الاستدامة وسلوكهم الفعلي عند الشراء.

بيكمان: يُعرف هذا في الأوساط الأكاديمية بالفجوة بين النية والسلوك، وأحرص دائماً على توضيح هذا المفهوم لطلابي.

زيبسه: يبدو أن هذا الوصف الأكاديمي ينسجم، إلى حد ما، مع ما نلاحظه في الحياة اليومية؛ فشركة مثل بي إم دبليو لا بد أن تحقق نجاحاً مالياً، وهذه ليست مسألة تتعلق بإزالة السلاح بقدر ما ترتبط بفهم أنماط الشراء لدى العملاء. وما نشهده اليوم يشير إلى أن الاستدامة أصبحت شكلاً من أشكال «ترخيص العمل»، إذ لم يعد المستهلكون يقبلون بوسائل نقل فردي غير مستدامة، ويحدث هذا التحول بوتيرة متسارعة. ومع ذلك، لا يتغير السوق دفعة واحدة، بل يمرّ بمرحلة انتقالية طويلة.

بيكمان: هذا يبدو وكأنه عملية موازنة.

زييسه: يكمن التحدي في تحقيق توازن دقيق بين السلوكيات التقليدية والتوجهات الأكثر تقدماً لدى العملاء في مختلف الأوقات. فنحن نخدم شرائح واسعة من الشباب وكبار السن، يضمّ بعضهم «مواطنين رقميين» يفضلون الوظائف الرقمية في سياراتهم، وآخرين يبتعدون عن هذه التقنيات. ويتمثل جوهر المهمة في فهم هذه الاحتياجات المتباينة والاعتراف بها وتلبيتها مجتمعة.

وتقتضي إستراتيجيات تطوير المنتج والإنتاج والتسويق قدرًا كبيرًا من المرونة، إذ نعمل في 196 سوقًا، ولكل سوق سماته وسلوكياته الخاصة. بل إن السوق الواحدة، كالسوق الأوروبية، تُظهر فروقًا واضحة؛ فأنماط شراء العملاء في أوسلو تختلف عن تلك في صقلية. ومع ذلك، نقدّم خدماتنا بوصفنا شركة واحدة، معتمدةً على ركيزة أساسية هي الحفاظ على مرونة العمليات والقدرة على التكيف السريع مع تغيرات السوق.

إلى أي مدى تتغير أهداف الاستدامة وفقًا لاختلاف احتياجات أصحاب المصلحة؟

بيكمان: يتشكل سلوك العملاء باستمرار بفعل إستراتيجيتك، كما أن قاعدة عملائك تختلف عن قاعدة عملاء الشركات المصنعة الأخرى مثل شركات المعدات الأصلية (OEM). فهل تسهم توقعاتهم، ولا سيما القدرات المميزة لبي إم دبليو، في توجيه إستراتيجيتك في مجال الاستدامة؟ وكيف تتمايز إستراتيجيتك في هذا الجانب عن إستراتيجيات منافسيك؟

بيكر: نعرض الفروق بين الأسواق بدقة، إذ يختلف تصور الاستدامة في بكين عنه في كوبنهاغن أو لوس أنجلوس. ورغم وجود عناصر أساسية ينبغي تطبيقها على جميع منتجاتنا وأن تكون راسخة في المؤسسة

وعملياتها، فإن توقعات العملاء ليست واحدة بالضرورة. فمثلاً، يجب أن نقدّم لكل عميل معلومات دقيقة عن البصمة البيئية لمنتجاتنا مهما كان موقعه، غير أن طريقة طلب هذه المعلومات أو تقييمها تختلف من سوق إلى أخرى. ففي أوروبا ترتبط الاستدامة أساساً بإثبات سلامة المنتج من مختلف الجوانب، بينما تُعطي الصين أهمية أكبر للتجربة الشخصية والترفيه والفائدة المباشرة للعميل. ومن ثمّ، يتعيّن أخذ هذه الاختلافات في الحسبان.

بيكمان: إذن، فالأمر يتعلق بما تفعله، وكيف تنقله، وكيف تدمج بين آراء متنوعة من الأطراف المعنية؟

زيبسه: يبدأ الانتقال نحو شركة مستدامة بالفعل من خلال التعاون الفعّال. فمن المؤكد أن شركة السيارات لا تستطيع تحقيق ذلك بمفردها، لأنها ستحتاج إلى بنية تحتية جيدة للشحن، وتعاون مع مشغلي المدن، بالإضافة إلى الاعتماد على الموردين جميعهم. ويتطلب الأمر كذلك الاستفادة من الشركات الرقمية. فما تجربتك في هذا المجال؟ وما التحديات الرئيسة التي تواجهها في مسألة «ضرورة التعاون»؟

بيكمان: عند تناول قضية التعاون من أجل الاستدامة، أركز تحديداً على التعاون بين الشركات المتنافسة. إذ أن كثيراً من موضوعات الاستدامة ذات طابع منهجي يتجاوز حدود الشركة الواحدة ليشمل القطاع بأكمله. ومن منظور إستراتيجي، تدرج العديد من هذه الموضوعات ضمن ما يُعرف بالمجال ما قبل التنافسي، أي القضايا التي تخص الصناعة ككل، لكنها لا تُعد مصدراً مباشراً لميزة تنافسية فردية.

وغالبا لا يهتم العملاء بالتفاصيل التقنية، مثل حظر مواد خطيرة أو اعتماد معايير تقنية معينة، ولكن يظهر اهتمامهم عند حدوث

فضائح كبرى في القطاع. وفي الحالات الشديدة، قد تتضرر سمعة الصناعة بأكملها، كما حدث في فضيحة ديزل غيت. ولذلك يصبح التعاون لإيجاد حلول على مستوى الصناعة ووضع معايير مشتركة، أمراً ضرورياً.

زيبسه: اسمح لي أن أوضح نقطة سريعة... نحن لا نتحدث عن فضيحة «ديزل غيت» نفسها، فمصطلح «غيت» يشير إلى الشركة المعنية بالحادثة، لا إلى التكنولوجيا ذاتها.

بيكمان: لا يمكنني أن أختلف مع رأيكم، لكن من الواضح أن لهذا الأمر تأثيراً كبيراً على الفهم العام للتكنولوجيا، فقد كان لحدث واحد وقع لشركة معينة تأثير ملحوظ على الشركات الأخرى.

زيبسه: أودُّ التأكيد فقط على أننا لم نكن الطرف الرئيس في تلك القضية، رغم أن آثارها قد طالت القطاع بأكمله وانعكست علينا أيضاً. وعلى أية حال، أعود إلى مسألة التعاون التي ذكرتها. فما رأيك في هذا الجانب؟

بيكمان: عندما نتناول قضايا الاستدامة في سلسلة القيمة، حيث يتشارك المنافسون في تقديم مواردهم من الموردين أنفسهم، أو من موردين مشابهيين، يمكن أن تُسهم المعايير المشتركة في تعزيز الشفافية وتقليل التعقيد وخفض تكاليف المعاملات للجميع. ومع ذلك، يبرز تحدٍّ في احترام لوائح مكافحة الاحتكار عند تعاون المنافسين، إذ إنَّ الهدف ليس تقييد المنافسة، بل خلق بيئة متساوية.

وعندما تتضمن قواعد اللعبة معايير الاستدامة المناسبة، يصبح بإمكان الشركات التنافس بفاعلية في مجالات الابتكار. فهناك إمكانيات كبيرة لتعاون المنافسين مع الموردين والمنظمات غير الحكومية والوسطاء لدفع تحوُّل الاستدامة في الصناعة ونظامها



البيئي ككل. ويُسهّم هذا التعاون المثالي في تعزيز الاستدامة، ويُهيئُ الصناعة لمواجهة تحديات المستقبل.

هل يمكن أن يكون نهج النظام البيئي إستراتيجية للتطوير التكنولوجي السريع؟

بيكمان: تناولت موضوع البنية التحتية للشحن، وإدارة المدينة، ومواقف السيارات، وسير حركة المرور. وعندما تحاول ابتكار حلول في هذه المجالات، فإنك تعمل ضمن نظام بيئي متكامل. فما هو دور التعاون في هذه العملية؟

زيبسه: في ظل التطوّر التكنولوجي الراهن، أصبح عامل التكلفة ذا أهميّة متزايدة. فاليوم يمكن تجهيز السيارة بكل شيء تقريباً؛ مثل القيادة الذاتية والمركبات بدون سائق. ولم تعد هذه الميزات مجرد تحدّيات تقنية، بل أصبحت تتعلّق بالجدوى التجارية. فما نوع التكنولوجيا التي يمكن دمجها في السيارة لضمان توافر منتج قابل للمنافسة في السوق وتحقيق هامش ربح إيجابي؟

بيكمان: كيف يرتبط التركيز على تطوير منتجات قابلة للتطبيق بنظرة النظام البيئي والشراكة؟

زيبسه: أصبح التوسّع ضرورياً لتقليل تكاليف السيارة. فحينما تبدأ في استكشاف تقنيات جديدة، من الحكمة البحث عن شريك يساعدك على التوسّع، ليس فقط في مجموعة منتجاتك، بل أيضاً في تقليل التكاليف مع مختلف مصنّعي السيارات.

هناك حاجة واضحة لخلية البطارية، وتواجه نفس التحديات مع الكاميرات المستخدمة في الميزات الذاتية القيادة، أو أيّ تقنيات تتعلّق بالاتصال داخل السيارة. فمن الضروري العثور على الشركاء المناسبين، واللافت أن هؤلاء الشركاء غالباً ما يكونون شركات جديدة، وليست من

الموردين التقليديين لمصنعي المعدات الأصلية المعروفين بالمستوى الأول (First Tiers).

بيكمان: هل لديك مثال على ذلك؟

زيبسه: لنأخذ خلايا البطاريات مثالاً؛ فشركة كونتمبراري أمبيركس تكنولوجي المحدودة (CATL)، التي أصبحت اليوم من أبرز الشركات في هذا المجال، لم تظهر إلا قبل أقل من عقد. ويُبين ذلك أن الشراكات أصبحت ضرورة لتأمين التقنيات الملائمة بأسعار مقبولة داخل هذا النظام البيئي شديد السرعة في التغير.

بيكر: عند دراسة الشركات الرائدة في مجالات الاستدامة وأساليبها في تسويق منتجاتها، نلاحظ أن كثيراً منها لا يتبنّى خطاباً مبنياً على التفرد أو الادعاء بتحقيق كل شيء. فالمصداقية تنشأ غالباً من التعاون مع الآخرين، وتكامل الخبرات، وتنظيم سلاسل القيمة، إضافةً إلى إشراك الموردين. ومن ثمّ، يصبح إدراج هذه العوامل عنصراً أساسياً في نجاح جهود الاستدامة.

كيف يمكن لأهداف الاستدامة المؤسسية أن تسهم في خدمة المجتمع؟

بيكمان: أشرت مؤخراً إلى أهمية العمل عبر سلسلة القيمة بالكامل اعتماداً على التقنيات الحديثة. ويغدو التعاون مع الشركاء في هذه السلسلة ضرورة لإدارة التكاليف، وضبط مستوى التعقيد، والتعامل مع تأثيرات دورة حياة التقنيات الجديدة. وعند مناقشة محركات الاستدامة سابقاً، كانت أول النقاط التي ذكرتها هي تغيير المواقف المجتمعية، وهو تحوّل تمثّله منظمات المجتمع المدني، والحركات الاجتماعية، ومراكز الفكر.

والسؤال هنا: هل تلاحظ اختلافاً في طريقة تعاملك مع هذه

الأطراف، ليس فقط عبر الحوار والاستماع، بل من خلال إدماج أفكارها، وفتح عملية الابتكار، وتجريب حلول جديدة؟ وكيف يختلف هذا النمط من التفاعل عن تعاملك مع العملاء التقليديين أو الموردين على مختلف مستوياتهم في سلسلة القيمة؟

زيبسه: تجاوزنا خلال السنوات الماضية مرحلة الدفاع عن نموذج أعمالنا أمام من لا يفهمه أو لا يدعمه. نحن نُصغي لجميع الأطراف المعنية، ونتواصل مع العملاء، والموردين، والبرلمانيين، والمنظمات غير الحكومية، وصنّاع القرار السياسي، ثم ندمج ما نكتسبه من معرفة في صياغة إستراتيجيتنا.

ورغم استحالة إرضاء الجميع، فإننا نحرص على تعزيز مواءمة منتجاتنا مع المجتمع، وهو محور بالغ الأهمية. وما لا يدركه كثيرون خارج الشركة هو أن هذا التوجه يجب أن يستند إلى نموذج عمل فعال يوازن بين هامش المساهمة، والأسعار التنافسية، وتكاليف الإنتاج. ولسنا مستعدين لاعتماد المسار الأسهل لتبرير إدخال منتج جديد إلى السوق، لأن المسألة ترتبط كذلك بدورنا في خدمة المجتمع. فصناعة القيمة تمثّل مهمة أساسية لأيّ شركة كبرى، ولا تختزل في تحقيق الأرباح وحدها.

بيكمان: أتفق تمامًا مع هذا الطرح؛ فالشركات تؤدي دورًا محوريًا في المجتمع عبر خلق القيمة، ويتحقق ذلك من خلال تلبية احتياجاته وتعزيز قدرتها على الاستجابة لها. ولبلوغ هذا الهدف، ينبغي تحديد نوع القيمة المطلوبة، وتنظيم العمليات بما يتوافق مع تلك المتطلبات. غير أن تنفيذ ذلك منفردًا قد يكون صعبًا، إذ يتطلّب موارد ومشاركة أطراف أخرى. وهنا يبرز السؤال: كيف يمكن جمع هذه المدخلات من مختلف أصحاب المصلحة؟

بيكر: عند تحليل سلسلة القيمة، يتضح أنه يمكن خفض البصمة الكربونية لطنّ الألمنيوم بنسبة تصل إلى 80% باستخدام المواد الثانوية. ويستدعي هذا التحول السريع تحقيق متطلبات فنية وجودة دقيقة؛ ففي صناعة السيارات، يجب ألا تتجاوز نسبة تلوث الألمنيوم بالنحاس حدّ 2%.

وينشأ عندئذ سؤال جوهري: هل يتوافر مورّدون لخردة الألمنيوم يلّبون هذا الشرط؟ وهل تتمتع تقنيات الفرز بالقدرة الكافية على إزالة النحاس؟ حتى الآن، لا. ومع ذلك، يؤدّي مجرّد إعلان الحاجة إلى مواد ثانوية عالية الجودة إلى إعادة طرح السؤال، إذ يتمثّل العائق الرئيس أمام زيادة معدّلات إعادة التدوير في الطريقة التي تُدمج بها مكوّنات المعدن في السيارات حاليًا.

بيكمان: هل يمكنك أن تعطينا مثالاً محدّدًا؟

بيكر: خذ ضفيرة الأسلاك مثلاً؛ فهي تعتمد أساسًا على النحاس، ويجب التفكير في سُبُل تثبيتها بطريقة تسمح بإزالتها بسهولة قبل تفكيك السيارة وتقطيعها إلى أجزاء صغيرة. وللمضي في هذا الاتجاه، يصبح من الضروري تطوير حلول مناسبة بالتعاون مع شركاء متعدّدين داخل سلسلة القيمة وعبر صناعات مختلفة.

ويبرز هنا عنصر نظامي بالغ الأهمية، إذ يمكن أن تستفيد جهود إزالة الكربون استفادة كبيرة إذا أصبحت أسعار ثاني أكسيد الكربون متوقّعة، وتغيّرت بانضباط يعكس الفروق بين المواد الأولية والمواد الثانوية. ولكن تتداخل هذه الجوانب بدرجة كبيرة، فالصورة ليست دائمًا واضحة أو قابلة للتنبؤ في الوقت الراهن. ولهذا، تتمثّل مهمتنا في الحفاظ على القدرة على توجيه الاقتصاد بكفاءة، مع الاستمرار في إحراز التقدّم.



زيبسه: تتكون منتجاتنا من مجموعة تضم 16,000 قطعة يُمكن الحصول عليها من أكثر من 4,000 مورد، ونحن نتحمل المسؤولية عنها. وقد وضعت قوانين سلسلة التوريد هذا الأمر في إطار قانوني. لذا، إذا حدثت أي مشكلة، يحق للجميع أن يقولوا «أنت الجهة المجمعّة لهذه السيارة، وأنت مسؤول عن سلسلة التوريد المرتبطة بها.» في هذه الحالة، يُجبر المُجمّع، كونه بائع هذه السيارة، على فهم كيفية تنظيم المسؤولية عبر سلسلة التوريد بالكامل.

هل يمكن أن تساعد لغة موحدة لجميع قطاعات الصناعة في تعزيز الكفاءة والأداء؟

بيكمان: جمع البيانات وإدارة التغييرات داخل سلاسل قيمة معقّدة يتطلبان وجود لغة مشتركة تُسهّل التواصل بشأن متطلبات الاستدامة، وقياس الأداء، وتبادل البيانات، وتحقيق التحسينات. فعلى سبيل المثال، يؤدّي اعتماد مقاييس مناسبة إلى تعزيز أثر الاستدامة وزيادة القدرة على تطويرها.

ويتفرّع عن ذلك سؤالان أساسيان: كيف يمكن بناء هذه اللغة المشتركة على مستوى سلسلة القيمة أو على مستوى الصناعة بأكملها؟ وكيف يمكن تنظيم المسألة المرتبطة بالأطر الاجتماعية والسلوكية لدى الموردين؟

زيبسه: إنّ تنظيم المسؤولية عبر سلسلة القيمة، سواء في الاتجاه الصاعد أو الهابط، يستلزم تعاونًا واسعًا مع مختلف الشركاء؛ إذ لا يمكن تنفيذ ذلك منفردًا. فإدراج الالتزامات في العقود لا يكفي؛ بل لا بدّ من السعي إلى قدر من الشفافية. وقد جمعنا بالفعل عشرين شركة ألمانية، من بينها ساب (SAP)، وبوش (Bosch)، وعدد من شركات تصنيع المعدات الأصلية مثل مرسيدس، لتأسيس تحالف صناعي يهدف إلى إنشاء سلسلة شفافية رقمية تمتدّ عبر عدّة شركات.

يُسَهِّل هذا النظام توثيق قضايا مثل البصمة الكربونية وجودة المكونات في سلسلة التوريد. ومن هنا يتبيّن أن إشراك الشركاء في نموذج العمل مسألة جوهرية.

بيكر: يجب كذلك ضمان قبول منتجاتك وعملياتك ومصادقيتها، وهو ما سنعرضه بتفصيل في تقريرنا السنوي. فمثلاً، ينبغي أن يفضي احتساب البصمة الكربونية عبر أربعين خطوة في سلسلة القيمة إلى نتائج دقيقة. وهذا بدوره لا يتحقّق إلا بالتعاون مع الأطراف الأخرى.

زيبسه: يُعدّ الحفاظ على الربحية أحد الجوانب الأساسية للمسؤولية، رغم ما قد يرافقه أحياناً من تحديات. فالربحية جزء جوهري من التزاماتنا؛ وإذا أُديرت الشركة إدارة غير مسؤولة من الناحية المالية، فذلك يُعدّ خطأ كبيراً، لأنه يفقدها القدرة على تطوير نفسها ومواجهة باقي العوامل بكفاءة.

ولضمان هذه القدرة، ينبغي أن تظل الشركة مربحة على الدوام، ولا يمكنها التوقف عن تحقيق الربح لثلاث أو أربع سنوات. فمن خلال تحمّل مسؤولية الربح يصبح بالإمكان توجيه الموارد نحو الابتكار والخطوات اللاحقة في مسار الاستدامة.

هل تعدّ التقارير المتكاملة أساساً لوضع إستراتيجية موحدة؟

بيكمان: يمثّل توجيه الموارد نحو الابتكار والاستدامة استثماراً ضرورياً لتحقيق أرباح مستقبلية، غير أنّ بلوغ أهداف طموحة، مثل الحياد الصفري، يتطلّب صبراً وتخطيطاً طويل الأمد؛ فهذه العملية أشبه بماراثون لا يُختزل في سباق قصير، ويتعيّن على الشركات أن تبذل جهوداً مستمرة في تطوير التقنيات الجديدة، وبناء المعرفة، وتعزيز أنظمة الإدارة، وترسيخ العلاقات، وتحسين البنية التحتية. كما أن تبني رؤية بعيدة المدى أمر أساسي، خاصة أنّ كثيراً من



الشركات يُنقَد بسبب تركيزه على نتائج الربع المالي فحسب.

وهنا يبرز السؤال: كيف يمكن التوفيق بين هذا الميل إلى التركيز القصير الأمد، وبين الحفاظ على إستراتيجية استدامة فاعلة تمتد لسنوات طويلة؟

زيبسه: ما نشهده اليوم هو تقارب مصالح أصحاب المصلحة على اختلافهم؛ فلم تعد الرؤية المالية للمستثمرين منفصلة عن مطالب المنظمات غير الحكومية، بل باتت هذه الرؤى مترابطة ومتداخلة؛ فالشركات الاستثمارية الكبرى مُلزمة بتوجيه استثماراتها نحو الشركات المستدامة، ولذلك تحتاج هذه الشركات إلى تقديم أدلة واضحة على التزامها بالاستدامة، وهو مطلب تشترك فيه المنظمات غير الحكومية أيضاً. فقد كانت التقارير المنفصلة تعيق التنسيق بين هذه الأطراف، وتجعل مواءمة مصالحهم أكثر صعوبة... ومن هنا جاء التحول نحو التقارير المتكاملة.

بيكان: ما المطلوب لإنجاح هذه الرؤية المتكاملة؟

زيبسه: ترتكز الفكرة الأساسية على المواءمة بين توقعات أصحاب المصلحة والإستراتيجية بعيدة المدى من خلال منح العملاء موقع الصدارة؛ فهم العامل الحاسم في ضمان ربحية الأعمال، ومنهم تنطلق جميع الأنشطة. وينبغي أن تظلّ النقاشات الإستراتيجية منصبة على فهم العملاء واحتياجاتهم، ولهذا تكتسب جهود تطوير المنتجات والتسويق أهمية كبرى في استيعاب احتياجات العملاء عالمياً، لا ضمن السياق المحلي فحسب، فالمستهلك الصيني مثلاً يفضل مستويات أعلى من الرقمنة مقارنةً بالمستهلك الألماني أو الأوروبي، على حين تختلف توقعات العملاء في الولايات المتحدة بصورة أخرى تستدعي الانتباه.

وفي المقابل، تتقارب توجهات العملاء فيما يخص الاستدامة، رغم التباين الواضح في احتياجاتهم الأخرى، والجمع بين هذين البُعدين داخل إستراتيجية مؤسسية واحدة يمثل مهارة أساسية في التخطيط الإستراتيجي.

بيكمان: تبدو تجربة جديرة بالاهتمام، وأشكركم على جمع هذه الأفكار المتنوعة وإتاحة فرصة مناقشتها.

3.4 مستقبل الإستراتيجيات المتكاملة: التحديات والفرص والأسئلة الرئيسة:

يؤثر إدماج الاستدامة في الإستراتيجية في مختلف مراحل العملية الإستراتيجية، إذ يطرح أسئلة جديدة تتصل بتقييم وضع الشركة وصياغة الإستراتيجية وتنفيذها ومتابعتها وتقييم نتائجها. ويرافق هذا الإدماج فرص وتحديات مستجدة، فضلاً عن قضايا مستقبلية تنشأ عند التقاء الاستدامة مع الاتجاهات الكبرى الأخرى.

تحديات إستراتيجيات الاستدامة المتكاملة:

تكشف الاستدامة عن جملة من الحقائق الاجتماعية والبيئية، كما تُبرز الترابطات النظامية ودور توقعات الأطراف المعنية التي كثيراً ما تتسم بالتباين والتغير. ويقتضي ذلك بحث إدماج الاستدامة في الإستراتيجية مع مراعاة التحديات التي تفرضها بيئة تتسم بالتقلب وعدم اليقين والتعقيد والغموض (VUCA) (بينيت ولموان، 2014).

التقلب: تُظهر الاستدامة أنها هدف قابل للتغير؛ فالقضايا الاجتماعية، مثل مخاوف حقوق الإنسان في سلسلة القيمة، والتحديات المرتبطة بالحفاظ على التنوع البيولوجي، أصبحت اليوم محورية رغم أنها لم تكن مطروحة بهذه القوة قبل سنوات قليلة.

ويتجلى التقلُّب في مجال الاستدامة من خلال التغيرات السريعة في البيئة الماديَّة، بما في ذلك آثار تغيُّر المناخ وتدهور الأنظمة البيئية التي وصلت إلى نقاط تحول محليَّة وعالميَّة، وكذلك من خلال الاضطرابات في البيئة الاجتماعيَّة، مثل تبدُّل توقعات المستهلكين، وتسارع وتيرة إصدار اللوائح، وظهور مجموعات بيئية ناشطة جديدة. وقد ازدادت سرعة هذه التحولات في الآونة الأخيرة من دون مؤشرات على التباطؤ، الأمر الذي رفع مستوى التقلُّب في قضايا الاستدامة.

عدم اليقين: يتعلق هذا المفهوم بمدى إمكانية توقُّع المستقبل بسهولة أو صعوبة، ويزداد التنبؤ صعوبة مع تعقُّد الروابط داخل الأنظمة التي كثيراً ما تتصرَّف بطرائق غير خطيَّة وغير متوقعة، وقد تظهر فيها خصائص يصعب التراجع عنها. ويُعد تغيُّر نظام المناخ العالمي مثلاً بارزاً على ذلك. وقد بدأت شركات عديدة في تبني إستراتيجيات مناخية منسجمة مع اتفاقية باريس، تتعهد فيها بخفض الانبعاثات بما يحقق هدف الحد من الاحترار إلى درجتين مؤويتين أو 1.5 درجة.

وقد سبقت الإشارة إلى استناد الإستراتيجية الشاملة للاستدامة على أهداف علمية تُترجم الميزانية العالمية المتبقية للكربون إلى إطار قابل للتطبيق على مستوى الشركات.

ومع اقترابنا من نقاط تحوُّل حاسمة؛ بسبب ظاهرة الاحتباس الحراري، مثل ذوبان التربة الصقيعية أو انهيار غابات الأمازون، قد تشهد ديناميكيات المناخ تغييرات كبيرة. وتعمل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في كل تقرير جديد على مراجعة الميزانية الكربونية المتبقية، مستندةً إلى أحدث المعطيات العلميَّة، وإلى عوامل أخرى تشمل النمو الاقتصادي وفعالية جهود إزالة الكربون.

يخلق هذا التنوع في مصادر عدم اليقين تحديات حقيقية أمام الشركات اليوم عند وضع أهداف قائمة على الأسس العلمية (SBT)، إذ يتيح ذلك تخطيطاً بعيد المدى يأخذ في الحسبان عدم اليقين المرتبط بتغير المناخ ومساره المستقبلي. وبما أن التنبؤ الدقيق بالعلاقات النظامية على المدى الطويل أمر صعب بطبيعته، فإن الاستدامة تضيف مستوى أعلى من عدم اليقين يتعين على الإستراتيجيات التعامل معه.

التعقيد: يعكس عدد العوامل التي ينبغي على الإستراتيجية مراعاتها مدى اتساع نطاقها وتنوعها وتشابكاتها. ومع تزايد هذا التعقيد، يغدو تحليل البيئة بدقة ورسم صورة متكاملة لها أمراً أصعب. ويعود جزء من هذا التعقيد في مجال الاستدامة إلى طبيعتها المتعددة الأبعاد؛ فالأهداف السبعة عشر للتنمية المستدامة تنفرع إلى 169 غاية، ويجري قياسها عبر 231 مؤشراً مستقلاً (شعبة الإحصاءات في الأمم المتحدة، 2022).

وينشأ التعقيد من صعوبة جمع هذه البيانات وتحليلها لمعرفة كيفية ترابط العوامل المختلفة وتفاعلها. وبذلك يصبح إدراج عوامل إضافية تحدياً إضافياً يزيد صعوبة صياغة إستراتيجية فعالة في مجال الاستدامة.

الغموض: يُعرّف الغموض بأنه عدم اتّضاح كيفية تفسير موقف ما. وينشأ عندما تتعدد التفسيرات المحتملة، أو حين تكون المعلومات غير مكتملة أو غامضة أو متعارضة. ويتزايد الغموض في مجال الاستدامة عندما تواجه الشركات طيفاً واسعاً من أصحاب المصلحة الذين يحملون رؤى مختلفة حول القضية نفسها، مما يؤدي إلى توقعات متباينة. ويبرز الغموض أيضاً في الفجوة بين النية والسلوك؛ فكثير من العملاء يعبرون عن رغبتهم في شراء منتجات مستدامة، لكنهم لا يُقدمون على ذلك فعلياً.

ويتطلب النهج الإستراتيجي المتكامل فهم هذا النوع من المعلومات المتناقضة، والأهم من ذلك التوفيق بين وجهات نظر أصحاب المصلحة المختلفة عبر حلول ابتكارية تتجاوز المفاضلات الظاهرة (بيكمان وآخرون، 2014). وبما أن تعدد أطراف المصلحة واتساع أبعاد الاستدامة يزيدان احتمالات نقص المعلومات وتعارضها، فإن الاستدامة تضيف بدورها مستوى إضافيًا من الغموض إلى الإستراتيجية المتكاملة.

فرص إستراتيجيات الاستدامة المتكاملة:

ورغم أنَّ مناقشة عالم فوكا (VUCA) تركز عادةً على التحديات، فإنَّ جوهر الإستراتيجية يتمثل في أداء دور فاعل في تشكيل مستقبل الشركة وفتح آفاق جديدة أمامها. ويمكن للاستدامة أن تتيح فرصًا عبر مختلف أبعاد فوكا؛ فالتقلب، على سبيل المثال، لا يعني الاضطراب فحسب، بل قد يكشف أيضًا عن مساحات جديدة للابتكار مع تغيير توقعات أصحاب المصلحة وظهور قضايا مستجدة. وتشير دراسات الإدارة منذ زمن طويل إلى أنَّ عدم اليقين يوفّر بيئة مناسبة للقيادة وريادة الأعمال، بوصفهما طريقتين للتعامل مع الغموض (بايلوند وماكافري، 2017؛ والدمن وآخرون، 2001).

وانطلاقًا من هذه الرؤية؛ يمكن للقيادة المستدامة وريادة الأعمال المستدامة أن تمنح الشركات ميزة تنافسية تعزز قدرتها على التكيف في عالم فوكا. وكلما كانت أهداف الاستدامة أكثر وضوحًا ومصداقية؛ ازدادت قدرة الشركات على الاستفادة من هذه الفرص.

يبرز التعقيد إمكانيّة أن تعمل الشركات على دمج أصناف مختلفة من العوامل في عملية الابتكار، مما يمكّنها من إعادة النظر في المدخلات والعمليات والمخرجات بطرائق مبتكرة. وأيضًا، يمكن أن يمثل الغموض الناتج عن وجهات النظر المتنوعة لأصحاب المصلحة والمعلومات

الناقصة فرصة لتطوير نماذج أعمال جديدة وإنشاء شبكات فعّالة من أصحاب المصلحة تعمل على تحقيق توافق بين المصالح المتعارضة. تستند إستراتيجية الاستدامة المتكاملة إلى رؤية عالم فوكا الاستباقية، وتقدم عديدًا من المزايا التجارية التي تناولت في بداية هذا الفصل، حيث يمكن لهذه الإستراتيجية أن تعزّز من التكنولوجيا والعمليات، مما يساهم في خفض التكاليف، وتحسين الأداء، وزيادة المرونة. ومن خلال الاستجابة لاحتياجات العملاء المستقبلية، تساهم الاستدامة في رفع قيمة المنتج، وتعزيز ولاء العملاء، وفتح أسواق جديدة أمام الشركات. ويمكن لإستراتيجية استدامة شاملة أن تعزّز جاذبية المؤسسة للموظفين، وتستقطب الاستثمارات المالية الموجهة نحو الاستدامة، وتساهم في رفع مرونة سلسلة التوريد. كما تؤدي الاستدامة دورًا أساسيًا على مستوى الشركة من خلال تأمين الترخيص الاجتماعي والتنظيمي لعملياتها وتعزيز قدرتها التنافسية.

وعلى مستوى الصناعة، يساهم تحقيق قيمة أكبر من الاستدامة في ترسيخ هذا الترخيص على نطاق أوسع داخل النظام البيئي. ولتحقيق هذه المكاسب، ينبغي إدماج الاستدامة في الإستراتيجية عبر التعلم المستمر والابتكار وإدارة التغيير. وتتمثل النتيجة الإضافية لإستراتيجية متكاملة ناجحة في تعزيز مرونة المؤسسة وقدرتها على التكيف.

الأسئلة المستقبلية لمواءمة إستراتيجيات الاستدامة المتكاملة:

تركز الإستراتيجيات المتكاملة على تحقيق التوافق المستدام بين أهداف الأعمال والأهداف البيئية على المدى الطويل. وهذا النوع من التوافق يطرح عديدًا من الأسئلة المتعمقة حول جوانب الاستدامة والاتجاهات الرئيسة الأخرى في عالم الأعمال.

كيف يمكن مواءمة إستراتيجية الاستدامة مع آفاق زمنية مختلفة؟

تطلب الاستدامة رؤية مستقبليّة تمتدّ على المدى الطويل، ويتطلّب تنفيذ إستراتيجية الاستدامة المتكاملة التوفيق بين هذه الرؤية طويلة الأمد والقرارات والهياكل قصيرة الأمد. وقد يطرح ذلك تساؤلات، مثل: كيف يمكن تحقيق توافق بين أهداف الاستدامة على المدى الطويل والحوافز قصيرة الأمد؟ وما هياكل الحوكمة الملائمة لتعزيز التفكير على المدى الطويل؟ ما نوع التقارير التي يمكن أن تتماشى مع الإفصاحات الفصلية والأسواق المالية لدعم الاستثمارات الضرورية في تحول الاستدامة؟ وكيف يمكن تجاوز الاعتماد على مسارات محددة (مثل إعادة تأهيل البنية التحتية القديمة، ومنها المصانع) مع الحفاظ على الربحية؟ وما نوع إدارة التغيير المطلوبة لتحقيق التوافق بين تحول نماذج الأعمال والعمليات المؤسسية والمهارات الفردية؟

كيف يمكنك مواءمة إستراتيجية الاستدامة المتكاملة عبر الأسواق المجزأة؟

بينما تعدّ العديد من تحديات الاستدامة عالمية، تختلف توقعات السوق والمتطلبات التنظيمية للتعامل معها من منطقة لأخرى. من ناحية أخرى، تواجه الشركات متعددة الجنسيات التي تعمل في هذه المناطق تحديًا في تطوير إستراتيجية شاملة تأخذ في الحسبان هذا التنوع مع الحفاظ على الاتساق الداخلي. وهذا يطرح تساؤلات مثل: كيف ستتغير متطلبات الاستدامة بمرور الوقت؟ وكيف يمكن للشركات تعديل إستراتيجيتها العالمية لتناسب مع المشهد التنظيمي والسوقي المتنوع؟ وكيف يمكن استغلال تنوع إستراتيجيات السياقات المختلفة بوصفها فرصة للتجريب والابتكار والنمو؟

كيف يمكنك مواءمة إستراتيجية الاستدامة الخاصة بك مع سلسلة القيمة والجهات الفاعلة الأخرى في مجال الأعمال؟

تُمثِّل الاستدامة تحدّيًا يستلزم تعاونًا واسع النطاق؛ إذ لا تستطيع أيّة شركة أن تحقّق تقدّمًا جوهريًا بمفردها. فخفض البصمة الكربونية للمنتجات يتطلب تنسيق الجهود عبر سلسلة القيمة كاملة، كما أنّ تحسين ظروف العمل لدى مورّدي المواد الخام، مثل مناجم الكوبالت، يتجاوز حدود قطاع واحد، ما يجعل التعاون بين الأطراف المختلفة ضرورة.

وغالبًا ما يستلزم إدماج الاستدامة في الإستراتيجية العمل مع شركات أخرى، بما في ذلك المنافسون، في إطار ما يُعرف بـ«التعاون التنافسي» (براندنبرغر وناليبوف، 2021). ويثير هذا الواقع تساؤلات مهمة، من قبيل: كيف يمكن للشركات أن تتعاون مع منافسيها في قضايا الاستدامة؟ وكيف يمكن المواءمة بين هذا التعاون ومتطلبات قواعد مكافحة الاحتكار؟ وما السبل التي قد تتيحها سياسات مكافحة الاحتكار بصيغها الجديدة لتعزيز التعاون في مجال الاستدامة؟

كيف يمكنك مواءمة إستراتيجية الاستدامة مع التحول الرقمي؟

يُعَدُّ التحوُّل الرقمي اتجاهًا مهمًّا للغاية في إستراتيجية الاستدامة الشاملة، ويتطلب تحقيق الاستدامة تطوير أنواع جديدة من البيانات وتحليلها، مثل متابعة آثار الكربون في الوقت الفعلي. ويتعين تبادل البيانات بين الشركاء التجاريين لدعم الاستدامة على امتداد سلسلة القيمة.

وهذا يطرح تساؤلات مثل: كيف يمكن أن تعزز الرقمنة من شفافية وموثوقية بيانات الأداء البيئي والاجتماعي؟ وما السبل المناسبة لتبادل البيانات لضمان إتاحة المعلومات عبر سلسلة القيمة؟ وما الحوافز اللازمة لمشاركة البيانات مع مراعاة المخاوف المتعلقة بالأمن والخصوصية؟ وما الدور الذي يمكن أن تلعبه منصات البيانات الرقمية في تقليل تكاليف المعاملات وتحسين



جودة المعلومات؟ وكيف يمكن للرَّقْمَة أَنْ تُشرك أصحاب المصلحة الذين لم يكن لهم حضور يُذكر سابقًا، من خلال منح العمال أو المجتمعات المحلية فرصة للتعبير داخل سلسلة التوريد؟ وكيف يمكن للشركات أن تستفيد من الحلول الرقمية لتعزيز ميزتها التنافسية في مجال الاستدامة؟

3.5 الخاتمة:

يتيح دمج الاستدامة في الإستراتيجية فرصًا واسعة لتحويل الشركات إلى عناصر فاعلة في تحقيق اقتصاد خالٍ من الكربون، ودائري، ومرن، وأكثر عدلاً اجتماعيًا. ويُنشئ هذا التكامل إمكانيات كبيرة للشركات، وينعكس على نجاحها في السوق المستقبلي. ولتحقيق هذه الإمكانيات لا بد من إدماج الاستدامة إدماجًا منهجيًا في جميع مراحل العملية الإستراتيجية، فالسعي إلى الاستدامة هدف متغيّر، مما يجعل إدراجها في الإستراتيجية ليس خطوة تنجز مرة واحدة، بل بداية لمسار طويل ومتجدد.

ويبقى التساؤل: كيف يمكن إدراج الاستدامة في خطة الشركة؟

نود هنا إبراز خمس نقاط من هذا الفصل تستحق نقاشًا أعمق:

1. لضمان البقاء والنجاح في السوق على المدى الطويل، يجب على الشركات الانتقال من إستراتيجيات الاستدامة المنفصلة إلى إستراتيجيات استدامة شاملة تعيد صياغة إستراتيجية الشركة (مكان المنافسة) وإستراتيجية الأعمال (كيفية تحقيق الميزة التنافسية).

2. يمكن أن يشمل تطوير إستراتيجية الاستدامة المتكاملة أربع خطوات رئيسية:

- إجراء مسح بيئي لتحليل الظروف الداخلية والخارجية.
- وصياغة الإستراتيجية بوصفها عملية متعددة المراحل تتضمن تحديد الأهداف والخطط الإستراتيجية لكونها عناصر أساسية.
- والتنفيذ بالتعاون بين مختلف الوظائف.
- وتقييم شامل يتضمّن إعداد التقارير.

3. تتمثل المساهمة الأساسية للشركات في المجتمع في توفير قيمة لأصحاب المصلحة، ويُعد العميل هو العنصر الأساسي الذي يضمن ربحية الشركة، ويشكل قاعدة لكافة الأنشطة الأخرى. ولهذا، ينبغي أن تكون مناقشة إستراتيجية الشركة دائماً مركزية حول العميل.
4. الاستدامة ليست هدفاً يمكن تحقيقه بصورة فردية... لذلك، يبدأ الانتقال نحو عمل مستدام بالفعل من خلال التعاون الفعّال داخلياً وخارجياً، إذ يتطلب الوصول إلى صافي الصفر تغييرات جذرية في النظام البيئي بأكمله.
5. استناداً إلى استجابة استباقية لعالم فوكا، يمكن أن تؤدي إستراتيجية الاستدامة المتكاملة إلى تحقيق فوائد تجارية متعدّدة، مما يسهم في تحسين التكنولوجيا والعمليات، ويؤدي إلى خفض التكاليف، وتعزيز الأداء، وزيادة المرونة. ولكن الطريق لتحقيق الحياد الصفري لا يخص الشركة ومستثمريها فقط، بل يشمل أيضاً الأطراف الأخرى المهمة، مثل البيئة والأجيال القادمة. ويجب تعزيز الشفافية بشأن أهداف الاستدامة التي تسعى الشركة لتحقيقها والنتائج التي تمكنت من الوصول إليها. ولهذا، يركز الفصل التالي (الفصل الرابع) على مستقبل إفصاح الشركات.



المراجع

- Barney, J. B. (1997). Gaining and sustaining competitive advantage. Addison-Wesley.
- Baumgartner, R. J., & Ebner, D. (2010). Corporate sustainability strategies: sustainability profiles and maturity levels. *Sustainable Development*, 18(2), 76–89. <https://doi.org/10.1002/sd.447>
- Beckmann, M., Hielscher, S., & Pies, I. (2014). Commitment strategies for sustainability: How business firms can transform trade-offs into win-win outcomes. *Business Strategy and the Environment*, 23(1), 18–37.
- Beckmann, M., & Schaltegger, S. (2021). Sustainability in business: Integrated management of value creation and disvalue mitigation. In R. J. Aldag (Ed.), *Oxford research encyclopedia of business and management*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.322>
- Bennett, N., & Lemoine, J. (2014). What VUCA really means for you. *Harvard Business Review*, 92(1/2) <https://hbr.org/2014/01/what-vuca-really-means-for-you>
- Bjørn, A., Tilsted, J. P., Addas, A., & Lloyd, S. M. (2022). Can science-based targets make the private sector Paris-aligned? A review of the emerging evidence. *Current Climate Change Reports*, 8(2), 53–69. <https://doi.org/10.1007/s40641-022-00182-w>
- BMW. (2021). How the BMW Group is increasing the pace to combat climate change. Retrieved April 20, 2023, from <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2021/bmwgroup-sustainability.html>
- BMW. (2022). The BMW Group sustainability strategy rests on these six pillars. Retrieved April 20, 2023, from <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2022/Sustainability360.html>
- Brandenburger, A., & Nalebuff, B. (2021). The rules of co-opetition. *Harvard Business Review*, 99(1), 48–57.
- Burritt, R. L., Christ, K. L., Rammal, H. G., & Schaltegger, S. (2020). Multi-national enterprise strategies for addressing sustainability: the need for consolidation. *Journal of Business Ethics*, 164(2), 389–410. <https://doi.org/10.1007/s10551-018-4066-0>

- Bylund, P. L., & McCaffrey, M. (2017). A theory of entrepreneurship and institutional uncertainty. *Journal of Business Venturing*, 32(5), 461–475. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2017.05.006>
- Chandler, A. D. (1962). *Strategy and structure: Chapters in the history of the industrial enterprise*. MIT Press.
- Churet, C., & Eccles, R. G. (2014). Integrated reporting, quality of management, and financial performance. *Journal of Applied Corporate Finance*, 26(1), 56–64. <https://doi.org/10.1111/jacf.12054>
- David, F. R. (2011). *Strategic management: Concepts and cases*. Pearson.
- Dyllick, T., Belz, F., & Schneidewind, U. (1997). *Ökologie und Wettbewerbsfähigkeit*. Verl. Neue Zürcher Zeitung; Hanser.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Retrieved May 23, 2023, from <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Engert, S., Rauter, R., & Baumgartner, R. J. (2016). Exploring the integration of corporate sustainability into strategic management: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2833–2850. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.031>
- European Parliament. (2023). EU ban on sale of new petrol and diesel cars from 2035 explained. Retrieved April 21, 2023, from <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20221019STO44572/eu-ban-on-sale-of-new-petrol-and-diesel-cars-from-2035-explained>
- Garst, J., Maas, K., & Suijs, J. (2022). Materiality assessment is an art, not a science: Selecting ESG topics for sustainability reports. *California Management Review*, 65(1), 64–90. <https://doi.org/10.1177/00081256221120692>
- Hahn, R. (2013). ISO 26000 and the standardization of strategic management processes for sustainability and corporate social responsibility. *Business Strategy and the Environment*, 22(7), 442–455. <https://doi.org/10.1002/bse.1751>
- Higgins, C., Stubbs, W., Tweedie, D., & McCallum, G. (2019). Journey or toolbox? Integrated reporting and processes of organisational change. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 32(6), 1662–1689. <https://doi.org/10.1108/AAAJ-10-2018-3696>

- Kaplan, R. S., & Ramanna, K. (2021). Accounting for climate change. *Harvard Business Review*, 99(6), 120–131.
- Kuh, T., Shepley, A., Bala, G., & Flowers, M. (2020). Dynamic materiality: measuring what matters. Retrieved April 27, 2023, from <https://doi.org/10.2139/ssrn.3521035>
- Mckeown, M. (2016). *The strategy book* (2nd ed.). Pearson.
- Meffert, H., & Kirchgeorg, M. (1998). *Marktorientiertes Umweltmanagement: Grundlagen und fallstudien*. C. E. Poeschel.
- Mintzberg, H., & Waters, J. A. (1985). Of strategies, deliberate and emergent. *Strategic Management Journal*, 6(3), 257–272. <https://doi.org/10.1002/smj.4250060306>
- Oertwig, N., Galeitzke, M., Schmieg, H.-G., Kohl, H., Jochem, R., Orth, R., & Knothe, T. (2017). Integration of sustainability into the corporate strategy. In R. Stark, G. Seliger, & J. Bonvoisin (Eds.), *Sustainable manufacturing* (pp. 175–200). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48514-0_12
- Porter, M. E. (1979). How competitive forces shape strategy. *Harvard Business Review*, 57(2), 137–145.
- Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*, 86(1), 78–93.
- Rajagopalan, N., Rasheed, A. M. A., & Datta, D. K. (1993). Strategic decision processes: critical review and future directions. *Journal of Management*, 19(2), 349–384. <https://doi.org/10.1177/014920639301900207>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Salzmann, O., Ionescu-somers, A., & Steger, U. (2005). The business case for corporate sustainability. *European Management Journal*, 23(1), 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2004.12.007>
- Schmid, M. (2020). Challenges to the European automotive industry in securing critical raw materials for electric mobility: the case of rare earths. *Mineralogical Magazine*, 84(1), 5–17. <https://doi.org/10.1180/mgm.2020.9>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Ben-

- nett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- United Nations Statistics Division. (2022). SDG Indicators: Global indicator framework for the sustainable development goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development. Retrieved April 21, 2023, from <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>
 - van Marrewijk, M., & Werre, M. (2003). Multiple levels of corporate sustainability. *Journal of Business Ethics*, 44(2), 107–119. <https://doi.org/10.1023/A:1023383229086>
 - Van Zanten, J. A., & Van Tulder, R. (2021). Analyzing companies' interactions with the Sustainable Development Goals through network analysis: Four corporate sustainability imperatives. *Business Strategy and the Environment*, 30(5), 2396–2420. <https://doi.org/10.1002/bse.2753>
 - Verrier, B., Rose, B., & Caillaud, E. (2016). Lean and Green strategy: the Lean and Green House and maturity deployment model. *Journal of Cleaner Production*, 116, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.022>
 - Waldman, D. A., Ramirez, G. G., House, R. J., & Puranam, P. (2001). Does leadership matter? CEO leadership attributes and profitability under conditions of perceived environmental uncertainty. *Academy of Management Journal*, 44(1), 134–143. <https://doi.org/10.2307/3069341>
 - Wheelen, T. L., Hunger, J. D., Hoffman, A. N., & Bamford, C. E. (2017). *Strategic management and business policy: Globalization, innovation, and sustainability* (15th ed.). Pearson.
 - Whitehead, J. (2017). Prioritizing sustainability indicators: Using materiality analysis to guide sustainability assessment and strategy. *Business Strategy and the Environment*, 26(3), 399–412. <https://doi.org/10.1002/bse.1928>



مستقبل الإفصاح المؤسسي

مؤشرات الأداء الرئيسة غير
المالية والاستدامة والتقارير
المتكاملة

توماس فيشر وجينيفر أدولف وماركوس شوبر وجوناثان
تاويند وأوليفر زيبسه

4.1 مقدمة:

يتطلب وضع إستراتيجيات متكاملة وتبني التفكير المتكامل (انظر الفصل الثالث) اتباع نهج جديد في التقارير المؤسسية، وذلك لتزويد أصحاب المصلحة بمعلومات ذات صلة حول أنشطة الشركة. ويجب أن تلبي الإفصاحات المؤسسية احتياجات أصحاب المصلحة من المعلومات، وتقلل من عدم تناسق المعلومات، وتمكّن المستثمرين من اتخاذ قرارات استثمارية أفضل، مما يؤدي بدوره إلى تخصيص أكثر استدامة لرأس المال (انظر بونسون وبدناروفا، 2015؛ كورميه وآخرون، 2005؛ ديغان، 2002؛ موراتيس، 2018). كما تُعد التقارير المؤسسية أداة مهمة للتواصل الداخلي وتوجيه تنفيذ إستراتيجيات الأعمال.

يؤثر تطور التقنيات الرقمية الجديدة والبيئة التجارية سريعة التغير تأثيراً متزايداً في التقارير المؤسسية. فقد تؤدي هذه الاتجاهات إلى تغيير توقعات أصحاب المصلحة، مما يشكل تحدياً أمام الشركات لتلبية المتطلبات المتطورة في التقارير المؤسسية (انظر بارانتس وآخرون، 2022).⁽¹⁾

(1) ت. فيشر (*) • ج. أدولف

جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورنبرج، نورنبرج، ألمانيا
البريد الإلكتروني: wiso-controlling@fau.de

م. شوبر، جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورنبرج، إرلانغن، ألمانيا
ج. تاوويند • أ. زيبسه

شركة بي إم ديليو، ميونخ، ألمانيا

© المؤلفون 2023

أ. زيبسه وآخرون (محررون)، الطريق إلى الحياد الصفري،

https://doi.org/10.1007/978-3-031-42224-9_1

باتت التّقارير والإفصاحات المتعلقة بالأصول غير الملموسة تحظى بأهميّة متزايدة⁽¹⁾. وتواجه الشركات طيفاً واسعاً من التغيرات، من بينها ظهور نماذج أعمال جديدة في بيئة تتسم بالتقلب وعدم اليقين والتعقيد والغموض (فوكا). ولتقييم أوضاعها تقييماً دقيقاً، يتعين عليها قياس قدرتها على التعامل مع هذه التحديات⁽²⁾.

يشهد مجال التقارير المؤسسية تطورات مهمّة مع ظهور متطلبات تنظيمية جديدة. وفي مواجهة التحديات المتزايدة لتغير المناخ على مستوى المجتمع، أطلق الاتحاد الأوروبي «صفقة أوروبا الخضراء»، وهي حزمة شاملة من المبادرات التي تعكس الحاجة إلى تحوّل جذري في الاقتصاد والمجتمع⁽³⁾.

وفي إطار هذا الاتفاق، ظهرت متطلبات جديدة لتقارير استدامة الشركات، أبرزها «التصنيف الأوروبي» (EU Taxonomy) و«توجيه تقارير استدامة الشركات» (CSRD). ولواكبة هذه المتطلبات، يتعين على الشركات تبني إستراتيجيات فعالة ومتنوعة.

يتبنّى في الفصل الثالث، المخصّص لصياغة إستراتيجية استدامة الشركات، أنّ بلوغ الحياد الصفري يستلزم تبني إستراتيجيات متكاملة تُدرج الاستدامة في صلب الإستراتيجية المؤسسية والتجارية. وقد أصبح توفير معلومات موثوقة عن الآثار والمخاطر البيئية والاجتماعية للأنشطة التجارية أحد الدوافع الرئيسة لتطوير معايير التقارير في الاتحاد الأوروبي، إلى جانب الحاجة إلى فهم تأثير العوامل البيئية في مجالات العمل المختلفة.

ومن ثمّ، يعرض الفصل الرابع الأساليب الحديثة للتقارير، ليهيئ

(1) انظر إيرله وكاسيشكي، 2023؛ هالر وفيشر، 2023.

(2) انظر دوشيك، 2020.

(3) مجلس الاتحاد الأوروبي، 2022.

الانتقال إلى الفصل الخامس الذي يناقش على نحو تفصيلي التحول الفعلي في العمليات التجارية الهادف إلى إنتاج منتجات مستدامة.

ويستعرض هذا الفصل تطور أشكال التقارير خلال العقدين الماضيين، مبيِّناً الأسباب الكامنة وراء هذا التطور والآثار العملية لتطبيق المعايير الجديدة. ويبدأ القسم 4.2 بمناقشة التحول من معايير تقارير الاستدامة الطوعية إلى الإلزامية، والانتقال من أطر التقارير المنفصلة إلى التقارير المتكاملة التي تجمع بين تقارير الاستدامة والتقارير المالية.

يأخذنا القسم 4.3 إلى الإطار القانوني الحالي في الاتحاد الأوروبي للتقارير غير المالية. ويقدم القسم 4.4 مثالاً عملياً من مجموعة بي إم دبليو يوضح انتقالها إلى التقارير المتكاملة، كما يتضمّن القسم 4.5 مناقشة خبراء تتناول التحديات العملية للتقارير المتكاملة. ويناقش الفصل التحديات الحالية والمستقبلية في إعداد التقارير في ظلّ البيئة التنظيمية المتغيرة، ويختتم القسم 4.7 بملخص لأهم الدروس المستفادة.

4.2 أساليب جديدة في إعداد التقارير:

شهد مفهوم المعلومات ذات الصلة في التقارير المؤسسية تحولاً واسعاً عبر العقود. فقبل سبعينيات القرن الماضي كان التركيز منصباً على الأداء المالي وحده⁽¹⁾، وكانت الحكومات تنظّم التقارير المالية لضمان موثوقيتها وقابليتها للمقارنة، استجابةً لاحتياجات المستثمرين الساعين إلى قرارات مبنية على بيانات دقيقة. ومع صدور تقرير برونتلاند للأمم المتحدة عام 1987⁽²⁾ وظهر «مفهوم الحويلة الثلاثية» الذي قدّمه جون إكينغتون عام 1994، اتسع نطاق التقارير المؤسسية ليتجاوز المؤشرات المالية إلى الجوانب البيئية والاجتماعية والحوكمة.

(1) نافاريتي - أويارس وآخرون، 2021.

(2) برونتلاند، 1987.

وبدأ المستثمرون يدرجون هذه العوامل في تقييمهم للشركات؛ مما عزز حضورها بوصفها جزءاً لا يتجزأ من التقارير المؤسسية المعاصرة⁽¹⁾. وقد أدى هذا التوجه إلى ضرورة تطوير أطر ومعايير موحدة لدمج القضايا البيئية والاجتماعية والحوكمة في الإفصاحات المؤسسية على نحو منهجي وفعال.

تأسست المبادرة العالمية للتقارير (GRI) في عام 1997 بمشاركة واسعة من أطراف متعددة تشمل الشركات، والمنظمات غير الحكومية، وشركات التدقيق، والحكومات، وغيرها. وهدفت المبادرة إلى وضع إطار عمل موحد وسهل الاستخدام لإعداد التقارير يجمع بين الأبعاد الاقتصادية والبيئية والاجتماعية، ويتيح اتخاذ قرارات أكثر استنارة من خلال تحديد معايير واضحة لقضايا الاستدامة (المبادرة العالمية للتقارير، 2022).

أصدرت المبادرة العالمية للتقارير أول إرشادات دولية لتقارير الاستدامة عام 2000 (المبادرة العالمية للتقارير، 2022؛ روثوم ولوك، 2016). ورغم أن عدد الشركات المدرجة في قاعدة بيانات GRI كان محدوداً في البداية، فإن اعتماد هذا الإطار شهد نمواً مستمراً مع كل تحديث للإرشادات، بدءاً من إصدار G2 عام 2002، ثم G3 عام 2006، وG4 عام 2013، وصولاً إلى معايير المبادرة العالمية للتقارير عام 2015. وأصبح إطار GRI اليوم معياراً عالمياً واسع الاعتراف، كما يعد من أكثر المعايير الطوعية نضجاً في مجال إعداد تقارير الاستدامة⁽²⁾.

سعت المبادرة العالمية للتقارير منذ انطلاقتها إلى التعاون مع مؤسسات دولية، مثل منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، والميثاق العالمي للأمم المتحدة،

(1) ألنياجيك وآخرون، 2011؛ بوكينغ وألتهوف، 2017.

(2) شيرسان، 2016؛ المبادرة العالمية للتقارير، 2022.

مما أسهم في ترسيخ نجاحها. ومع ذلك، لم يتوافق إطارها في مرحلة معينة توافقاً كاملاً مع نماذج التقارير المالية التقليدية، وهو ما حدّ من جاذبيته لدى المستثمرين، نظراً لتوجهه نحو خدمة طيف واسع من أصحاب المصلحة يشمل المجتمع والموظفين والحكومات ووسائل الإعلام، لا المستثمرين فقط.

وفي عام 2009، أعلنت المبادرة إعادة توجيه اهتمامها بأصحاب المصلحة بما يلائم احتياجات المستثمرين على نحو أفضل، الأمر الذي ساعد في تطوير رؤية أكثر تكاملاً وشمولية لإعداد التقارير (إيكلز وآخرون، 2010؛ روبرتسون ولوك، 2016).

جاء تعديل المبادرة العالمية للتقارير لجمهورها المستهدف استجابةً لظهور إرشادات منافسة تركّز على المستثمرين بوصفهم الفئة الأهم من أصحاب المصلحة بالنسبة للشركات. ومن أبرز هذه الإرشادات مشروع الإفصاح عن انبعاثات الكربون (CDP) الذي تأسس عام 2000 بهدف إحداث تحوّل في التقارير البيئية عبر جعل الآثار المناخية قابلة للقياس الكمي.

ويعتمد المشروع على منهجية تقييم مستقلة لقياس أداء الشركات والمدن في العمل المناخي ومستوى الشفافية الذي تلتزم به، وينشر تصنيفاً سنوياً متاحاً للجمهور. وفي عام 2022، قيّم المشروع أداء نحو 15,000 شركة، وهو ما يجعله يقدّم نفسه بوصفه الجهة التي تشرف على أكبر قاعدة بيانات بيئية على مستوى العالم (مشروع الإفصاح عن انبعاثات الكربون، 2022).

من بين المبادرات الأخرى التي ظهرت في مجال إعداد التقارير، مشروع المحاسبة من أجل الاستدامة (A4S) في المملكة المتحدة الذي أطلقه الأمير تشارلز (ولي العهد آنذاك) في عام 2004، حيث تميز إطار

التقارير المتصلة الذي طوّره مشروع المحاسبة من أجل الاستدامة عن المبادرة العالمية للتقارير (GRI) بدمجه للمؤشرات المالية واعتبارات الحوكمة المستدامة، وربطها بإستراتيجية الشركة وتقييم المخاطر (دروكمان وفريس، 2010؛ روبرثوم ولوك، 2016).

ولعبت جنوب أفريقيا دورًا رائدًا في تطوير نموذج متكامل لإعداد التقارير يجمع بين المعلومات المالية وغير المالية (المتعلقة بالاستدامة). وقد قُدِّم أول معيار للتقرير المتكامل في عام 2002 من خلال مدونة الحوكمة «كينغ II» والتي أصبحت إلزامية لجميع الشركات المدرجة في بورصة جوهانسبرج في عام 2010. وكانت هذه المرة الأولى عالميًا التي تتخذ فيها هيئة تنظيمية قرارًا باستبدال الإفصاح المنفصل عن المعلومات المالية ومعلومات الاستدامة بالتقارير المتكاملة (برادي وباراك، 2013؛ روبرثوم ولوك، 2016).

تتعدد الأسباب الداعية إلى تنظيم الإفصاحات المتعلقة بالاستدامة. فالإفصاح الإلزامي عن المعلومات غير المالية يساهم في تقليل فجوة المعلومات، حيث يقدم صورة شاملة لأداء المنظمات، مما يعزز واقعية واكتمال تقييمها في مختلف المجالات التنظيمية (كورمير وآخرون، 2005؛ دو وآخرون، 2010). ومن ثَمَّ، يصبح إعداد التقارير غير المالية أداة فعالة لإضفاء الشرعية على أنشطة المنظمة أمام أصحاب المصلحة والمجتمع (بونسون وبدناروفا، 2015؛ ديغان، 2002؛ لوك وزيلي، 2015).

ومع ذلك، تظلُّ مصداقية هذه المعلومات أمرًا بالغ الأهمية، إذ إنَّ معلومات الاستدامة قد تفقد قيمتها بسهولة بسبب اتهامات التضليل البيئي أو التضخم المعلوماتي (ماركيز وآخرون، 2016؛ فيلتي وستافينوجا، 2017). ولكن عند إعداد تقارير الاستدامة بحرص، يمكن تحقيق فوائد جمة للمنظمة، مما يعزز من شفافيتها التنظيمية ويدعم تطورها المستدام (ديهل وكناوس، 2018).

وفي أعقاب الأزمة الاقتصادية والمالية عام 2008، ازداد الدفع في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي نحو تطوير لوائح جديدة تُعزّز شمولية التقارير المؤسسية وتكاملها؛ إلا أنَّ تنوُّع الأطر المتاحة عالمياً مثَّل تحدياً أمام هذا التوجُّه؛ نظراً لاختلاف الفلسفات التي يبنى عليها كل إطار وتباين أولوياته.

وعلى الرغم من محدودية الاعتراف الدولي بإطار التقارير المتصلة، نجح الأمير تشارلز (ولي العهد آنذاك) في إطلاق مبادرة متعددة الأطراف خلال منتدى مشروع المحاسبة البريطانية من أجل الاستدامة السنوي، حيث اجتمعت الشركات، ومطوِّرو المعايير، وممثِّلو الأمم المتحدة، والمستثمرون، ومنظمات التدقيق؛ لمناقشة تطوير إطار دولي متفق عليه للتقارير. ونظراً لتوافق الأطراف على أن الإدارة المستدامة تتطلب دمج التقارير المالية وغير المالية، تأسس المجلس الدولي للتقارير المتكاملة (IIRC) في عام 2010 بهدف تطوير الإطار الدولي للتقارير المتكاملة (IRF) (دروكمان وفريس، 2010؛ روبرثوم ولوك، 2016). وفي أغسطس 2022، انتقلت مسؤولية إطار التقارير المتكاملة إلى مؤسسة المعايير الدولية لإعداد التقارير المالية (IFRS Foundation)⁽¹⁾.

يهدف الإطار الدولي للتقرير المتكامل إلى توجيه المؤسسات في إعداد التقارير المتكاملة التي تمثل نموذجاً حديثاً وشاملاً لإعداد التقارير، وذلك وفقاً للمعايير الصادرة عن المؤسسة الدولية لمعايير التقارير المالية (IFRS، b2022، ص. 2).

ويركز الإطار الدولي للتقرير المتكامل على تلبية احتياجات جميع أصحاب المصلحة، مع التركيز على المستثمرين والدائنين خاصة، بهدف دعم اتخاذ قرارات استثمارية أكثر كفاءة وإنتاجية (المؤسسة الدولية لمعايير التقارير المالية، b2022).

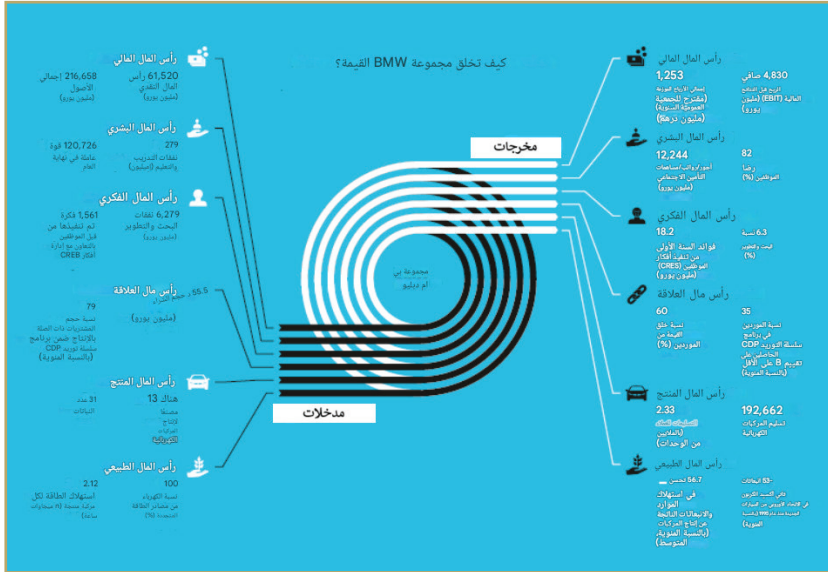
(1) مؤسسة IFRS، 2022b، ص 2.

يأخذ هذا الإطار في الاعتبار مجموعة متنوعة من رؤوس الأموال، بما في ذلك رأس المال المالي، ورأس المال المصنع، ورأس المال الفكري، ورأس المال البشري، ورأس المال الاجتماعي والعلاقاتي، ورأس المال الطبيعي. ويتيح هذا النهج تبني تفكير متكامل واتخاذ قرارات إستراتيجية تركز على الروابط بين مختلف رؤوس الأموال، مما يساهم في خلق القيمة المستدامة على المدى الطويل.

ويسمح الإطار الدولي للتقرير المتكامل للشركات بأن توضح بشفافية كيفية إسهام أنشطتها في خلق القيمة أو الحفاظ عليها أو تراجعها مع مرور الزمن، سواء على المدى القصير أو المتوسط أو الطويل. ويبيّن الشكل 4.1 كيفية تطبيق مجموعة بي إم دبليو لهذه العملية في تحويل رؤوس الأموال المدخلة إلى رؤوس أموال مخرجة.

وقد قدم الإطار الدولي للتقرير المتكامل سبعة مبادئ توجيهية أساسية تُشكل ركائز إعداد وعرض التقارير المتكاملة، تشمل هذه المبادئ: التركيز الإستراتيجي والتوجه المستقبلي، وترابط المعلومات، وإدارة علاقات أصحاب المصلحة، والأهمية النسبية، والموثوقية والاكتمال، والاتساق وقابلية المقارنة (المؤسسة الدولية لمعايير التقارير المالية، 2022b).

وبالإضافة إلى ذلك، يحدد الإطار الدولي للتقرير المتكامل ثمانية عناصر مترابطة لمحتوى التقرير المتكامل، وهي: نظرة عامة على المنظمة والبيئة الخارجية التي تعمل فيها، وهياكل الحوكمة، ووصف نموذج الأعمال، والمخاطر والفرص، والإستراتيجية وتخصيص الموارد، والأداء، والتوقعات المستقبلية، وأساس الإعداد والعرض (المؤسسة الدولية لمعايير التقارير المالية، 2022b).



شكل 4.1: العناصر الواردة في التقرير المتكامل لتوضيح عملية خلق القيمة أو الحفاظ عليها أو انخفاضها كما تطبقها مجموعة بي إم دبليو (BMW AG) (بي إم دبليو، 2021، ص. 57).

ما يزال تطبيق الإطار الدولي للتقرير المتكامل إلزاميًا في جنوب إفريقيا واليابان فقط، ولم يتحول بعد إلى معيار صناعي عالمي (ثرلفال وآخرون، 2020، ص. 21). أما في الاتحاد الأوروبي، فيفرض المشهد التشريعي مجموعة من المتطلبات القانونية المتباينة على الدول الأعضاء، كما سيُبين في القسم التالي.

4.3 المشهد التشريعي الحالي في الاتحاد الأوروبي:

لطالما كان الاتحاد الأوروبي في طليعة الجهود العالمية لتعزيز الشفافية والمساءلة في مجال الاستدامة، فمنذ تسعينيات القرن الماضي، بدأت بعض الدول الأوروبية، مثل الدول الإسكندنافية وفرنسا في عام 2001، في تطبيق معايير إلزامية للإفصاح عن الأداء الاجتماعي والبيئي للشركات (هيس، 2007؛ هوفمان وآخرون، 2018).

وفي خطوة رائدة عام 2014، أصدر الاتحاد الأوروبي توجيهًا للإفصاح غير المالي (NFRD) الذي فرض على الشركات الكبيرة تقديم معلومات غير مالية إضافية في تقاريرها السنوية، وذلك بدءًا من السنة المالية 2017. إذ يهدف هذا التوجيه⁽¹⁾ إلى توحيد معايير الإفصاح وتعزيز الشفافية وقابلية المقارنة بين الشركات. ويركز الإفصاح غير المالي على البيانات التي لا تتعلق بالجوانب المالية للشركات (باومولر وشافهاوزر- لينزاتي، 2018؛ لو وفراون، 2018).

تتجلى أهمية الإفصاح غير المالي في تركيزه العميق على الجوانب البيئية والاجتماعية والحوكمة التي تُعرف اختصارًا بعوامل «البيئة والمجتمع والحوكمة» (ESG)، وهي محاور اكتسبت زخمًا ملحوظًا منذ الأزمة المالية التي عصفت بالعالم في 2007/2008، خاصة في القطاع المالي. وقد تجسد هذا الاهتمام المتزايد في إصدار توصيات رسمية ومعايير دولية للمنتجات المالية، مثل البيان الصادر عن المنظمة الدولية لهيئات الأوراق المالية للإفصاح عن قضايا البيئة والمجتمع والحوكمة (IOSCO، 2019)، بالإضافة إلى التصنيفات التي تعتمد على هذه المعايير، مثل تصنيف فيتش (Fitch Rating) لنقاط الأهمية البيئية والاجتماعية والحوكمة (تصنيف فيتش، 2019).

ومن الجدير بالذكر أن هذا التوجه لم يقتصر على الهيئات التنظيمية، بل امتد ليشمل المستثمرين أنفسهم، حيث أظهرت دراسة أجرتها يونيون إنفستمنت (Union Investment) إنفستمنت (يونيون إنفستمنت، 2021) أن 78% من المستثمرين الكبار في ألمانيا يضعون قضايا الاستدامة في صميم قراراتهم الاستثمارية.

وسعيًا لتوجيه الاستثمارات نحو نماذج أعمال مستدامة، وضع الاتحاد الأوروبي تصنيفاً للأنشطة المستدامة، وبدأ بتحديد متطلبات

(1) التوجيه 2014/95/EU، انظر البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2014.

للشركات المدرجة الكبيرة التي يزيد عدد موظفيها عن 500 والتي يلزمها القانون بالإفصاح عن المعلومات غير المالية وفقاً للمادة 19a أو 29a من التوجيه 2013/34/EU (بوكينغ وألتهوف، 2017).

وقد أكدت المفوضية الأوروبية على أن «الإفصاح عن المعلومات غير المالية أمر بالغ الأهمية لإدارة التحول نحو اقتصاد عالمي مستدام، من خلال الجمع بين الربحية طويلة الأجل والعدالة الاجتماعية وحماية البيئة. ويساعد الإفصاح عن المعلومات غير المالية في قياس ومراقبة وإدارة أداء الشركات وتأثيرها في المجتمع» (التوجيه 2014/95/L، EU، 1/330). ومع ذلك، فقد واجهت هذه التشريعات انتقادات من الجهات العامة والخاصة بسبب تركها مجالاً واسعاً للمناورة والتفسير، مما أضعف الهدف المرجو من تعزيز قابلية المقارنة والمصادقية⁽¹⁾.

وفي السياق نفسه، تُنَوِّل نقطة أخرى من خطة عمل الاتحاد الأوروبي لتمويل النمو المستدام، والمتمثلة في «تعزيز الإفصاح عن الاستدامة ووضع القواعد المحاسبية» (المفوضية الأوروبية، 2023)، من خلال مراجعة المفوضية الأوروبية لنهج الإفصاح الإلزامي، مما أدى إلى إصدار توجيه الاتحاد الأوروبي لإعداد تقارير استدامة الشركات (CSRD) - التوجيه 2022/2464/EU في عام 2022 (البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2022).

وبموجب توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات (CSRD)، سيُطلب من الشركات تقديم معلومات تفصيلية حول أدائها في المجالات البيئية (E)، والاجتماعية (S)، والحوكمة (G). ويتضمن ذلك الإفصاح عن بيانات تتعلق بموضوعات فرعية محددة، مثل جهود التخفيف من آثار تغير المناخ، وإدارة القوى العاملة، وتطبيق أخلاقيات العمل، وتعزيز الثقافة

(1) انظر: باومولر وشافهاوزر - لينزاتي، 2018؛ الشبكة العالمية للاتفاق العالمي في ألمانيا & إكونسنس، 2018؛ لو وفراون، 2018؛ فيلتي، 2017.

المؤسسية (التوجيه 2022/2464/EU، انظر: البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2022).

ويُشترط أن تستوفي المعلومات المفصح عنها مبدأ «الأهمية المزدوجة» (double materiality)، مما يعني ضرورة تقديم الشركات لبيانات تساعد في فهم أمرين أساسيين: تأثير الشركة على قضايا الاستدامة (من منظور «الداخل إلى الخارج»)، أي كيف تؤثر عملياتها وأنشطتها على البيئة والمجتمع. وتأثير قضايا الاستدامة على أداء الشركة ووضعها التجاري (من منظور «الخارج إلى الداخل»)، أي كيف تؤثر التحديات والفرص المتعلقة بالاستدامة على تطور أعمالها ونتائجها المالية.

وبعبارة أخرى، يجب على الشركات الإبلاغ عن جوانب الاستدامة التي تستوفي أحد هذين الشرطين أو كليهما، مما يوسع نطاق المعلومات التي يجب الإفصاح عنها بموجب توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات.

تُلزم متطلبات الإفصاح الجديدة الشركات بتقديم معلومات تفصيلية حول قضايا البيئة (E) والمجتمع (S) والحوكمة (G)، المعروفة اختصاراً بإطار (ESG). ويشمل ذلك الإفصاح عن نموذج العمل والاستراتيجية، والأهداف الزمنية المرتبطة بالاستدامة، بما في ذلك خطط خفض انبعاثات غازات الدفيئة (GHG) مع بيان التقدم المحرز على أساس سنوي.

كما تتضمن هذه المتطلبات توضيح دور الهيئات الإشرافية والإدارية في إدارة قضايا الاستدامة، وبرامج الحوافز المرتبطة بها، إلى جانب السياسات وعمليات العناية الواجبة ونتائج تطبيقها. ويُضاف إلى ذلك الإفصاح عن المخاطر الرئيسية ذات الصلة وكيفية إدارتها، فضلاً عن مؤشرات الأداء المرتبطة بالإفصاح عن الاستدامة.

فضلا عن ذلك، وُسِّع نطاق المادة (2) 19a من التوجيه 2013/34/ EU لتشمل مصطلح «المرونة» (Resilience)، مما يلزم الشركات بالإفصاح عن المعلومات المتعلقة بقدرتها على التكيف مع التحديات المستقبلية⁽¹⁾. ومن بين التغييرات الأخرى، إدراج معلومات حول الأصول غير الملموسة، التي أصبحت محركاً رئيسياً لقيمة الشركات (فيشر وباومغارتنر، 2021).

ما تزال بعض الأطر القائمة لإفصاح الاستدامة تحتفظ بأهميتها؛ حيث يشير توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات (CSRD) صراحةً إلى أطر مثل المبادرة العالمية للتقارير (GRI)، والإطار الدولي للتقارير المتكاملة (IRF)، ومشروع الإفصاح عن الكربون (CDP)، وذلك بهدف «تقليل الاضطراب» الذي قد تواجهه الشركات (التوجيه 2022/2464/ EU، L 322/29، انظر: البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2022).

وفي عام 2021، كلفت المفوضية الأوروبية المجموعة الاستشارية الأوروبية لإعداد التقارير المالية (EFRAG) بدور المستشار التقني لتطوير معايير إعداد تقارير الاستدامة الأوروبية (ESRS) والتي ستتبع هيكلًا وحداتيًا يتكون من معايير عرضية ومعايير موضوعية تغطي موضوعات البيئة (E)، والمجتمع (S)، والحوكمة (G) (EFRAG، 2022) (G). ويتضمن المسودة الأولى لمجموعة معايير ESRS إجمالي 12 وحدة تحتوي على 82 مطلب إفصاح، وتشمل وحدتين للمعايير العرضية (ESRS 1 و ESRS 2)، وخمس وحدات للموضوعات البيئية (ESRS E1 – ESRS E5)، وأربع وحدات للموضوعات الاجتماعية (ESRS S1 – ESRS S4)، ووحدة واحدة للموضوعات الخاصة بالحوكمة (EFRAG، 2022) (ESRS G1).

(1) التوجيه 2022/2464/ EU، L322/24، انظر: البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2022.

تهدف معايير إعداد تقارير الاستدامة الأوروبية (ESRS) إلى أن تصبح الإطار الأساسي والمُلزم جزئيًا لإعداد التقارير بموجب توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات⁽¹⁾.

ويُعد إلزام الشركات بنشر معلومات الاستدامة إلكترونيًا وفقًا للتنسيق الإلكتروني الأوروبي الموحد (ESEF) أحد أبرز التغييرات التي أدخلها توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات (CSRD)، مقارنةً بتوجيه التقارير غير المالية (NFRD). وقد بدأ تطبيق هذا التنسيق على المعلومات المالية منذ عام 2020 (التوجيه EU/2464/2022، انظر: البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2022).

إضافة إلى ذلك، يجب أن تُدرج معلومات الاستدامة ضمن التقرير الإداري، وتخضع لمراجعة محدودة من مدققين خارجيين ومستقلين. ويُعدُّ إبراز هذه المعلومات في التقرير الإداري، على أنها أحد الفصول الأولى في كل تقرير مالي، خطوة إضافية نحو دمج معلومات الاستدامة مع المعلومات المالية.

وأكد البرلمان الأوروبي في بيان صحفي، يمثل توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات نقطة تحول حاسمة، حيث يجري التعامل مع «التقارير المالية وتقارير الاستدامة على قدم المساواة، مما يتيح بيانات أكثر قابلية للمقارنة وأكثر موثوقية» (البرلمان الأوروبي، 2022).

شهدت متطلبات إعداد التقارير في الاتحاد الأوروبي زيادة ملحوظة في التعقيد عام 2020، مع تطبيق تصنيف الاتحاد الأوروبي (EU Taxonomy) الذي بدأ تنفيذه في تقارير الشركات منذ السنة المالية 2021 (اللائحة 2020/852 (EU)، انظر: البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2020).

(1) في خطوة مهمة نحو تعزيز معايير الاستدامة، اعتمدت المفوضية الأوروبية في 31 يوليو 2023 القانون المفوض بشأن المجموعة الأولى من المعايير الأوروبية للإبلاغ عن الاستدامة (ESRS)، ليصبح ملزمًا لجميع الشركات الخاضعة لتوجيه الإبلاغ عن استدامة الشركات (EFRAG، 2023، مفوضية الاتحاد الأوروبي، 2023).

ويُعَدّ تصنيفُ الاتحاد الأوروبي نظامًا لتصنيف الأنشطة الاقتصادية المستدامة، وهو أداة رئيسة ضمن خطة عمل الاتحاد الأوروبي لتمويل النمو المستدام (2018) والاتفاق الأخضر الأوروبي (2019). ويهدف هذا التصنيف إلى توفير إطار مرجعي واضح للمستثمرين والشركات، إذ يُعترف بالأنشطة التجارية بأنها صديقة للبيئة إذا ساهمت في تحقيق واحدٍ على الأقل من الأهداف البيئية الستة لتصنيف الاتحاد الأوروبي، وهي: التخفيف من آثار تغير المناخ، والتكيف مع تغير المناخ، والاستخدام المستدام وحماية الموارد المائية والبحرية، والانتقال إلى الاقتصاد الدائري، ومنع التلوث والسيطرة عليه، وحماية واستعادة التنوع البيولوجي والنظم البيئية.

ويُعَدّ تصنيفُ الاتحاد الأوروبي بمثابة «أداة شفافية»، إذ يربط القيمة المالية لأنشطة الشركات بتقارير تستند إلى معايير بيئية محدّدة. ومع ذلك، من المتوقع أن يخضع التصنيف الأوروبي لمراجعات مستقبلية لتوسيع نطاقه ليشمل قطاعات اقتصادية أخرى غير مشمولة حاليًا (المفوضية الأوروبية، 2021).

ولهذا، ستظل المتطلبات التنظيمية لإعداد تقارير استدامة الشركات في حالة تطوّر وتوسّع مستمرين. إذ لم يكن دمج التقارير المالية وغير المالية عملية فورية، بل هو نتيجة تطوّر تدريجي استغرق وقتًا طويلًا، مثلما يتضح من المثال التالي لشركة بي إم دبليو.

4.4 التقارير المتكاملة في الممارسة العملية:

أصبحت الشركات التي بادرت بتطبيق معايير الاستدامة طوعيًا في وقت مبكر، وتوسعت في الإفصاح عن معلومات غير مالية، في وضع مثالي للانتقال السلس نحو التقارير المتكاملة. وخير مثال على ذلك

شركة بي إم دبليو التي طورت تقارير الاستدامة لديها باستمرار منذ سبعينيات القرن الماضي، ودمجتها في صلب عملية التخطيط الإستراتيجي.

وفي خطوة رائدة عام 1973، كانت بي إم دبليو أول شركة في قطاع السيارات عالمياً تعين مسؤولاً متخصصاً في حماية البيئة. ومع بداية الألفية الجديدة، أصدرت الشركة أول تقرير للاستدامة تحت عنوان «تقرير القيمة المستدامة» والذي غطى السنتين الماليتين 2001 و2002.

وقبل هذا التقرير، كانت بي إم دبليو تنشر بالفعل تقارير تفصيلية عن التأثيرات البيئية لعملياتها والإجراءات المتخذة للحد منها. وعندما بدأت في نشر «تقرير القيمة المستدامة» طوعاً، كان يُصدر كل عامين في البداية، ثم تحول إلى تقرير سنوي بدءاً من عام 2012 (مؤسسة تقارير القيمة، 2022a)

لم تتبع التقارير الأولى معايير محددة لإعداد التقارير، ولكن منذ عام 2005، اعتمدت الشركة معيار GRI (المبادرة العالمية لإعداد التقارير) لإعداد تقارير الاستدامة، ومنذ عام 2008، التزمت طوعاً بأعلى مستوى من تطبيق هذا المعيار، وهو «الخيار الشامل» (BMW AG، 2021).

وبالنظر إلى تصنيف تقارير المسؤولية الاجتماعية للشركات في ألمانيا، نجد أن ثلاث شركات ألمانية كبرى فقط، وهي دايملر (Daimler) وباسف (BASF) وبي إم دبليو، تلتزم بأعلى مستوى من تطبيق معيار GRI في تقارير الاستدامة الخاصة بها بدءاً من السنة المالية 2020 (معهد أبحاث الاقتصاد البيئي و منظمة المستقبل المسجلة — الاستدامة في الشركات، 2022). وتؤكد هذه الإنجازات الدور القيادي الذي تلعبه بي إم دبليو في الصناعة الألمانية، وهو ما تجسد في حصولها على تقدير

من مشروع الإفصاح عن الكربون (CDP) عام 2014. فقد التزمت بي إم دبليو طوعاً بمراجعة محدودة لضمان دقة تقرير الاستدامة منذ عام 2013 وذلك تعزيزاً لمصداقيتها (مجموعة بي إم دبليو، 2021).

تفتخر بي إم دبليو بكونها أول شركة سيارات فاخرة عالمياً تنجح في الانتقال من تقارير الاستدامة المنفصلة إلى تقرير متكامل شامل (مجموعة بي إم دبليو، 2021). وقد اعتمدت بي إم دبليو في تقاريرها المتكاملة للعامين الماليين 2020 و 2021 على الإطار الطوعي الصادر عن المجلس الدولي للتقارير المتكاملة، والمعروف باسم إطار التقارير المتكاملة (مجموعة بي إم دبليو، 2021، b2022).

وبحسب ما ورد في دراسة حالة نشرتها مؤسسة تقارير القيمة (Value Reporting Foundation، 2022)، فإن التقارير المتكاملة تمثل خطوة طبيعية في مسيرة التحول المستمر الذي تشهده الشركة. فعندما تصبح الاستدامة جوهر الإستراتيجية المؤسسية، تتغير الرؤية التنظيمية، وتزول الحاجة إلى إستراتيجية استدامة منفصلة (انظر الفصل الثالث). بل تصبح الاستدامة عنصراً أساسياً في عملية اتخاذ القرارات المؤسسية، كجزء من إستراتيجية مؤسسية شاملة ومتكاملة. وينتج عن ذلك منظور جديد لخلق القيمة، يُعرف باسم «التفكير المتكامل» والذي يرى أن «الاستدامة والتأثير الاجتماعي والنجاح الاقتصادي والتجاري جوانب مترابطة ومتكاملة» (مؤسسة تقارير القيمة، 2022، ص. 14).

وفي حوار مفصل، يناقش كل من البروفيسور أوليفر زيبسه، رئيس مجلس إدارة مجموعة بي إم دبليو، وجون تاوويند، رئيس المحاسبة في مجموعة بي إم دبليو، والبروفيسور الدكتور توماس م. فيشر، أستاذ المحاسبة والرقابة في جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورمبرغ بألمانيا، الآثار المترتبة على تطبيق التقارير المتكاملة في مجموعة بي إم دبليو.

4.5 محادثة الخبراء حول تنفيذ التقارير المتكاملة في مجموعة بي إم دبليو

فيشر: تعدّ التقارير المتكاملة مزيجًا مُتناغمًا بين المعلومات المالية الإلزامية والمعلومات غير المالية، إضافةً إلى عواملٍ غيرٍ ماليةٍ يُختار الإفصاح عنها طوعًا، وذلك بهدف تقديم صورةٍ شاملةٍ لإمكانات الشركة في خلق القيمة. ولقد بادرت بي إم دبليو بإعداد تقريرٍ متكاملٍ لأول مرةٍ في العام المالي 2020، فما الدوافع التي قادتكم إلى هذه الخطوة؟

زيبسه: بصفتي رجل أعمال، أرى أنّ بناء الثقة وضمان أداءٍ راسخ يشكّلان الأساس الحقيقي للنجاح. ويتحقق ذلك عبر عنصرين رئيسيين. أولهما أنّ ما (يُقاس يُنجز)؛ فترجمة الأقوال إلى أفعال، ووضع أهداف محددة ومعلنة، ثم قياسُ التقدُّم نحوها، يرسخ الثقة، ولا سيما عندما تستند العملية إلى قدرٍ كافٍ من الشفافية. أمّا العنصر الثاني فهو تحديدُ الأهداف الملائمة، إذ تحتاج المؤسسةُ إلى رؤيةٍ واضحة وثقةٍ في قيادتها.

ومن هذا المنطلق، رأينا أنّ الوقت مناسب لدمج الأهداف والتقارير المالية مع نظيراتها غير المالية التي دأبنا على إعدادها منذ سنواتٍ طويلة. ولم تكن هذه الخطوة إجراءً عابراً؛ فسنوات تتجاوز العشرين شهدت تحديد أهداف دقيقة وإتاحتها للجميع بدرجةٍ عالية من الشفافية. كما نصدر منذ عام 2001 تقريرَ استدامةٍ يغطي طيفاً واسعاً من التدابير.

فيشر: أتفق معك بشأن التأثير الداخلي للتقارير، ولكن ماذا عن العوامل الخارجية؟ ما الذي دفعكم إلى اتخاذ هذا القرار؟

زيبسه: يشهد المجتمعُ والبيئةُ السياسيةُ تغيّراتٍ متسارعة، وأصبحت

المصادقية تُبنى على الحقائق المؤثقة. وقد كنّا من الأوائل الذين دمجوا التقارير المالية وغير المالية، وجعلوا الإستراتيجية المتكاملة والتقارير جزءاً أصيلاً من السياسات الداخلية، إلى جانب السعي إلى تحقيق شفافية خارجية تنسجم مع إستراتيجيتنا المؤسسية.

وقد أثمرت هذه الخطوة رغم ما صاحبها من تحديات؛ فالجمع بين النوعين من التقارير ليس أمراً يسيراً، إذ يتطلب مستوى عالياً من الدقة في كل معيار. ومع وجود المدققين ترتفع متطلبات الجودة، ويغدو إلزاماً أن تكون البيانات دقيقة بلا مواربة. ومع ذلك ظلّت فلسفتنا قائمة على التقدّم المستمر والتطوير المتواصل. وأصبحت الاستدامة اليوم ركيزة أساسية في إستراتيجيتنا المؤسسية، وليست مجرد وسيلة لتحسين الصورة؛ فمن دون ممارسة أعمال مستدامة، سرعان ما يفقد المرء مكانه في السوق.

فيشر: إذن، بدلاً من (متعة القيادة المطلقة)، أصبح الأمر (متعة إعداد التقارير المطلقة)، أليس كذلك؟

تاويند: [يضحك] لم يشهد العالم حتى وقت قريب هذا القدر من التنوع في وضع المعايير؛ فقد كانت جهات متعددة تصوغ معاييرها الخاصة، ويُرَكّز كل منها على جوانب مختلفة. إلا أنّ المشهد تغيّر كثيراً. فللمرة الأولى ظهر تعاون وثيق بين أبرز الهيئات المعنية بوضع المعايير خارج القطاع المالي. وقد منح الاتحاد الأوروبي قضية تقارير الاستدامة اهتماماً كبيراً. ومن أبرز التطورات في نهاية عام 2021 إعلان مؤسسة المعايير الدولية لإعداد التقارير المالية (IFRS) إنشاء المجلس الدولي لمعايير الاستدامة (ISSB)، استجابةً لطلب متزايد من السوق.

وأرى أنّ هذا التطور سيمنح الشركات إطاراً أوضح لما يُنتظر منها، وسيسهم في تلبية احتياجات المستثمرين الذين يبحثون عن أهداف

محددة، وإفصاحاتٍ شفافةٍ تتيح مقارنة أداء الشركات بمثيلاتها ومنافسيها.

فيشر: أشرت إلى أهمية تعزيز الثقة في التواصل، ولكن هذه ليست مهمة يسيرة، فإعداد تقارير جديدة يمثل تحديًا معقدًا. فما أبرز التحديات التي تواجهونها مقارنةً بالتقارير المالية التقليدية التي كانت سائدة في العقود الماضية؟

تاويند: عندما يتعلق الأمر بالتقارير غير المالية؛ فإننا نتعامل مع عددٍ كبيرٍ من الجهات داخل عملية إعداد التقارير، فالأمر لا يقتصر على المحاسبين، أو المراقبين الماليين، أو الأرقام المالية فحسب، بل يشمل مجموعة واسعة من البيانات التي تتسم بطابع تقنيٍّ أكبر، وهناك ترابطٌ وثيقٌ بين هذه البيانات. فعلى سبيل المثال، عند النظر إلى بيانات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في تقاريرنا غير المالية، لا يمكن الاعتماد على شخص واحد فقط لحساب هذه البيانات، بل يجب أن نأخذ في الحسبان أنواع السيارات التي نبيعها، والروابط مع قسم الهندسة.

هناك عديد من الجهات المعنية، ومن الضروري أن يكون كلُّ زميل على دراية تامة بما يفعله الآخرون؛ إذ يتوجب علينا أن نعمل بصفتنا فريقًا متكاملًا. لقد أجرينا نقاشًا مستفيضًا في العام الماضي حول مسؤولية إعداد التقارير غير المالية. ويجب أن نضمن وضوح جميع الارتباطات والمسؤوليات بنسبة 100%، فالأمر يتعلق بضمان أن يسير جميع أعضاء الفريق في الاتجاه الصحيح، وأن يدركوا تمامًا تأثير دورهم.

فيشر: وفي هذا العمل الجماعي، من يقود زمام الأمور؟ هل ما يزال المدير المالي (CFO) هو المسؤول الأول؟

تاوينند: نعم، المدير المالي هو القائد؛ لأنَّ عملنا يركز في النهاية على الأرقام. وقد لا تكون هذه الأرقامُ مُقوَّمةً باليورو، لكنها تظلُّ أرقامًا ينبغي توحيدُها وضمانُ جودتها. وإذا تساءلنا عن الجهة داخل الشركة الأقدر على فهم آليات توحيد البيانات وضمان جودة نظام الرقابة الداخلية، فسنجد أنَّ قسمَ المحاسبة هو الأنسب، ولهذا نضطلعُ بدورٍ محوريٍّ في هذه العملية. ومع ذلك، فإنَّ الجوانبَ التقنية لهذه الأرقام، مثل استهلاك الكيلوواط / ساعة، أو انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، أو غير ذلك من بيانات سلسلة العمليات، تحتاجُ إلى خبرةٍ متخصصة.

ولذلك نتعاون مع توماس بيكر (نائب رئيس الاستدامة والتنقل في بي إم دبليو) وفريقه فيما يتعلَّق بالبيانات البيئية، ومع زملائنا في الموارد البشرية فيما يخصُّ المؤشرات الاجتماعية مثل التنوُّع والتدريب، ومع القسم القانوني في مسائل الحوكمة.

فيشر: أشرتُ إلى قضايا الرقابة المالية، وأنتَ تخاطبُ استاذن في هذا المجال، وأنا أقدرُ ذلك [يضحك]. ولكن، في نهاية المطاف، يجب علينا تحقيقُ الربحية، أي العائدُ على الاستثمار (ROI). وفي النهاية، يجب دفعُ توزيعات الأرباح. فما مدى صعوبة اختيار مقاييس الأداء الصحيحة، سواء المالية أو غير المالية، لتحليل الأداء المالي الناتج؟

زيبسه: لقد انتقلنا إلى التقارير المتكاملة استباقًا لتوجُّهٍ نرى أنه قادمٌ لا محالة. انظر إلى قانون العناية الواجبة لسلاسل التوريد في ألمانيا (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz)، وإلى التصنيف البيئي للاتحاد الأوروبي (EU Taxonomy)، وإلى توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات (CSRD). فجميعها يدور حول الشفافية للمجتمع والمستثمرين على حدٍّ سواء.

وبات من الضروري إثباتُ أنَّنا نسير على طريق التحسين

المستمر في كل أعمالنا؛ إذ لا يقتصر الأمر على تحديد أهداف طويلة الأجل، بل يتعداه إلى تحقيق تحسين سنوي في كل جانب: انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، واستهلاك المياه، واستهلاك الطاقة ومصادرُها، وأداءً سياراتنا، وتدريبُ موظفينا. والآن نسعى إلى تحقيق تقدّم سنوي ملموس. وهذا الإطارُ الشاملُ للتقارير المتكاملة يُعدّ مؤشراً قوياً على أننا استثمرنا جيداً.

فيشر: أنت محقٌّ؛ هذا هو جوهر التقارير: إطلاع الآخرين على تطور الأعمال. هل ترى أنّ المستثمرين يقدرون المعلومات غير المالية المتكاملة؟

زيبسه: يؤدّي تقرير الاستدامة دوراً استثمارياً أيضاً؛ فالتقارير المتكاملة تتيح لنا إثبات أنّنا لا نمثّل استثماراً مربحاً فحسب، بل خياراً مستداماً للمستقبل. وعلى مدى سنوات، أظهرنا بشفافية تحسناً سنوياً في أبرز العوامل البيئية، مثل استهلاك الطاقة واستخدام الموارد. فعلى سبيل المثال، تجاوزنا في عامي 2021 و2022 الأهداف التي حدّدها الاتحاد الأوروبي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون لأسطول سياراتنا الجديدة. وهذا مثال واحد فحسب؛ فمن دون الشفافية قد لا يدرك المستثمرون والجمهور الخارجي حجم التقدم المحقق. ونحن مطالبون بأن نكون استثماراً جاذباً، وبيئة عمل مناسبة، وصانع سيارات يلبي تطلعات العملاء؛ وهو الإطار الذي نوجّه عملنا في ضوءه.

فيشر: إذن، هل تعني التقارير المتكاملة نهاية المحاسبة؟

تاويند: [يضحك] لا، التقارير المتكاملة هي مستقبل المحاسبين، وربما هي نهاية الرقابة المالية [يضحك]. هذه ليست نهاية المحاسبة بطبيعة الحال؛ فأنا أرى أنّ التقارير المتكاملة تمثّل صيغة تجمع بين التقارير المالية وغير المالية، لا بديلاً عنها. وستظلّ التقارير المالية

محتفظة بأهميتها في السنوات المقبلة، لأنها تعكس موثوقية الإدارة وجودتها؛ فهي توضّح مدى اقتراب الأداء من التوقعات، وتشير إلى كفاءة التوجيه والإدارة داخل الشركة. وتكشف السياسات المحاسبية الكثير عن نهج الإدارة: هل تميل إلى الجراءة، أم تتبّع أسلوباً أكثر تحفظاً؟ وإضافةً إلى ذلك، لا يمكن الاستثمار في المستقبل من دون تدفّق نقدي كافٍ. ولهذا لا أتوقّع الاستغناء عن التقارير المالية.

تاويند: تتطوّر التقارير غير المالية لتكون على قدم المساواة مع التقارير المالية من وجهة نظر المستثمرين. والتوقعات بشأن المؤشرات غير المالية تتزايد، حيث يُنتظر منها أن تُحتسب وتُعد وفقاً لنفس الإجراءات الدقيقة، والعناية، والانتباه إلى الجودة التي نعرفها في التقارير المالية.

فيشر: هذا جانبٌ بالغ الأهمية. فعند تقديم معلوماتٍ إضافية لسوق رأس المال أو لغيره من الأطراف المعنية، يكون الهدف عادةً تعزيز الثقة أو استعادتها. غير أنّ الأبحاث المحاسبية التجريبية تشير إلى أنّ تزويد الأطراف بالمزيد من المعلومات قد ينطوي على مخاطر؛ فقد يقول أحدهم: «الآن أصبحت أرى بياناتٍ لم تكن متاحة لي سابقاً، وألاحظ ارتباطها بالتدفقات النقدية، ولا يبدو أنّ هذا الارتباط سيؤدّي بالضرورة إلى نتائجٍ إيجابية».

وهنا يبرز السؤال: كيف تتصرّف الشركة في مثل هذا الموقف لتحقيق النتائج التي كانت تستهدفها منذ البداية؟ في بيئة تتسم بالتقلّب، تواجه الإدارة صعوبةً في الحفاظ على تصرّفاتٍ موثوقة بعيدة المدى والابتعاد عن السلوك القصير الأفق.

تاويند: أشرت إلى مسألة جوهريّة تتعلّق بعددٍ مؤشرات الأداء الرئيسة التي ينبغي الإفصاح عنها. وأنا أميل بقوة إلى أنّ الإبلاغ عن عددٍ

محدودٍ من المؤشرات أكثرُ جدوى من عرضِ مجموعةٍ واسعة، بشرطِ التوافقِ مع التشريعاتِ الحالية. ويجب أن تُستمدَّ هذه المؤشراتُ بوضوحٍ من الإستراتيجية؛ فالتقريرُ المتكاملُ يُبين ما تُنفّذه الشركةُ وسببَ ذلك، ويرتكز هذا كُلُّه على إستراتيجيةٍ مترابطة. ويرتبط إعدادُ الإستراتيجية ارتباطاً وثيقاً بنظامِ مكافآتِ مجلس الإدارة.

والإفراطُ في عددِ المؤشرات يحملُ مخاطراً واضحة، إذ يرفع احتمالَ تناقضِ البيانات أو صعوبةِ تفسيرها. وليس من المستغرب أن تصل وكالاتُ التصنيف إلى نتائجٍ متباعدة بشأن جودة استثمارِ الشركة، رغم اعتمادها على المجموعة نفسها من البيانات غير المالية.

فيشر: إذن القليلُ أفضل؟

تاويند: من الخطير جداً البدءُ في الإبلاغ عن عددٍ كبيرٍ جداً من الأرقام؛ لأنك قد تفقدُ التركيزَ على ما تسعى الشركةُ إلى تحقيقه. أنا أُؤيد بقوةَ المبادئِ التوجيهية القائمةَ على المبادئ؛ لأنها تمنحُ الشركاتِ المرونةَ التي تحتاجها لتمييزِ نفسها في تقاريرها. وأعتقدُ أن هذا ما يحتاجُ المستثمرون معرفته. يجب أن يشعروا بما يكمنُ وراء الأرقام؛ فالأمرُ لا يتعلقُ فقط بملءِ مربّعاتٍ في نموذج، بل هو أمرٌ يعكس الشركةَ أو يُسوِّقُ لها فعلياً.

فيشر: سيجعلُ تقسيمُ التقارير إلى قطاعاتِ أعمالٍ مختلفة الأمرَ أكثرَ تعقيداً على الأرجح. ولكنك ذكرتِ قطاعَ السياراتِ بصفته كُلاً، وهذا يقودني إلى الموضوعِ التالي للنقاش: التصنيفُ الضريبيُّ للاتحاد الأوروبي.

زيبسه: نقطةٌ جيّدة! لننتقل إلى الموضوع التالي. التصنيفُ الضريبيُّ هو بالطبع جزءٌ مهمٌّ من التشريعاتِ القادمة من بروكسل. فما تقيّمُك له؟ وهل هو مفيدٌ لتطوير الصناعةِ برمتيها؟

فيشر: حسنًا، سواءً كان مفيدًا أم لا، أعتقد أن هذا ما يزال سؤالًا مفتوحًا ونقاشًا لا يمكننا حسمه هنا في هذه اللحظة، لكنه موضوع بالغ الأهمية، وواحد من الموضوعات التي اكتسبت زخمًا خلال الأشهر أو السنة الماضية. لدينا الآن آليات مختلفة للإبلاغ، وأيضًا للإفصاح عند مناقشة تأثير الشركة. ولدينا منظور اقتصادي جزئي صارم، أو حتى منظور قطاعي في التقارير المالية وفي التقرير المتكامل. والمسألة التي أثارها تتعلق بمنظور أكثر شمولًا؛ فعلى سبيل المثال، النقاش حول البصمة البيئية أو الاجتماعية لا يجري فقط على مستوى الشركات، بل أيضًا على مستوى القطاع برمّته.

والشيء المثير للاهتمام أنني أرى أيضًا نقاشات ناشئة، مثل تلك التي بين الخبراء الاقتصاديين الكليين حول حاجتنا إلى مؤشرات أداء رئيسية جديدة، ومقاييس مغايرة لتحديد ما إذا كانت فترة العمل ناجحة أم لا. ويستخدم اختصار KPI مثلًا للدلالة على «مؤشر الأداء الرئيس».

وهناك مبادرة أيضًا تُعرف باسم تحالف موازنة القيمة (Value Balancing Alliance) تطرح فكرة مفادها: «في نهاية المطاف، يتعلق الأمر بالبصمة البيئية أو الاجتماعية، وربما دمجها مع التدفقات النقدية أو توزيعات الأرباح». ولكن جوهر الأمر يكمن في كيفية تخصيص الموارد، وعملية خلق القيمة لأصحاب المصلحة، ويكتسب هذا المفهوم أهمية متزايدة يومًا بعد يوم.

زيبسه: هل تتوقع أن تصبح التقارير المتكاملة هي المعيار الأساسي لجميع الشركات الصناعية في المستقبل القريب؟

فيشر: لستُ في المجال السياسي، ولكن المسودة الاستشارية التي نشرها مجلس معايير الاستدامة الدولية (ISSB) في مايو 2021 حول التعليق الإداري، صيغت إلى حدٍ كبيرٍ وفقًا لإرشادات التقارير المتكاملة، حتى وإن لم يُستخدَم المصطلح مباشرة. ولكن الفكرة موجودةٌ ضمنيًا، لذا يمكننا القولُ إن التقارير المتكاملة هي التوجُّه المستقبلي. بالإضافة إلى ذلك، فإن معظم القوائم المالية، ومن ثمَّ التعليقات الإدارية، خاصةً في أوروبا، تُعدُّ بالفعل وفقًا للمعايير الدولية لإعداد التقارير المالية (IFRS). لذلك، أعتقد أنَّه في المستقبل القريب، ستصبحُ التقارير المتكاملة شكلًا بالغ الأهمية من أشكال الإفصاح المالي.

زيبسه: نتفق مع هذا الرأي؛ ففي عالمنا الحالي، لا يمكن لرواد الأعمال النجاح دون مراعاة جميع الموارد التي يستخدمونها، سواء كانت اجتماعية أو بيئية أو مالية أو طبيعية، لأنها جميعًا محدودةٌ ونادرة. أعتقد أن العالم بأسره بدأ يُدرك أنه لا يمكن للاقتصاد السوقي أن يستمرَّ دون تحمُّل تكلفة الموارد المستخدمة، أو على الأقل دون توفير شفافية كاملة حول كيفية استخدامها. ونحن نشعر أن هذا الاتجاه سيتسارع قريبًا جدًا.

فيشر: كما أشرت، يرتبط الأمرُ بقدرة الشركة على استخدام الموارد النادرة بكفاءة، ثم توضيح كيفية توليد القيمة داخل المؤسسة بما يتجاوز ما تعرضه التقارير المالية وحدها. وأثق أننا سنتمكّن، ربما في المستقبل القريب، من مناقشة ما تحقق من تقدّم، إلى جانب التقرير المتكامل الجديد الذي ستعده بي إم دبليو.

4.6 مستقبل التقارير: الفرص والتحديات ودور التقارير المتكاملة:

يقود إطار التقارير المتكاملة، بالتّضافر مع الإستراتيجية المتكاملة، مسيرة التحول المستدام في الشركات، ويتجلى ذلك بوضوح في نموذج مجموعة بي إم دبليو الذي فُصل في الأقسام السابقة.

وكما ظهر في القسمين 4.2 و 4.3، شهد الإطار التنظيمي للتقارير تطوُّراً ملحوظاً، بدءاً من تقارير الاستدامة الطَّوعيَّة (GRI) وتقارير المناخ (CDP)، وصولاً إلى التقارير المتكاملة (IR) والإطار التَّنظيمي الإلزامي الجديد لإعداد التَّقارير في الاتحاد الأوروبي (CSRD) ومعايير إعداد تقارير الاستدامة الأوروبية (ESRS)، فضلاً عن نظام تصنيف الاتحاد الأوروبي (EU Taxonomy).

يدفعنا التعامل مع هذا المشهد التنظيمي المتغيِّر إلى استكشاف مجموعة من الفرص والتَّحدّيات في القسم التالي، وسنتناول بالنقاش الدور المستقبلي المحوري للتقارير المتكاملة.

4.6.1 فرص الأساليب الجديدة في التَّقارير:

تُعَدُّ الأساليب الجديدة في التَّقارير فرصةً سانحةً للتَّأثير في عمليَّة تطوير الإستراتيجية المتكاملة، واتخاذ القرارات، والإدارة المتكاملة (كما ورد في الفصل الثالث)، ويتجلى ذلك بوضوح في كلِّ من إطار التقارير المتكاملة واللَّوائح التَّنظيميَّة الجديدة للإبلاغ في الاتِّحاد الأوروبي.

لقد نشأ إطار التقارير المتكاملة في سياق فلسفة إداريَّة تُعرف بالتفكير المتكامل (كما ورد في المجلس الدولي للتقارير المتكاملة، 2019؛ مؤسسة تقارير القيمة، 2022b). ولكونه مفهومًا يُعرف بـ «نهج

إدارة رؤوس الأموال المتعددة»⁽¹⁾؛ فإنه يسعى إلى: «ربط الغرض والقيم بالإستراتيجية، والمخاطر، والفرص، والأهداف، والخطط، والمقاييس، والحوافز في جميع أنحاء المنظمة، وذلك لتمكين اتخاذ قرارات أفضل»⁽²⁾. لذا، فإنَّ التقارير المتكاملة، بوصفها أحد مبادئ التفكير المتكامل، تتيح فرصةً لربط الإستراتيجية بتقييم الأداء المستدام عبر جميع أقسام المؤسسة، مما يؤدي إلى اتخاذ قرارات متكاملة.

يتضح تأثير تطبيق مبادئ التفكير المتكامل على الإستراتيجية والتقارير في حالة مجموعة بي إم دبليو؛ فقد كان هدف المجموعة من اعتماد تنسيق التقارير المتكاملة في تقريرها السنوي هو تقديم رؤية واضحة وشاملة للمجموعة، وشرح أنشطتها بشفافية ووضوح وقابلية للقياس (مجموعة بي إم دبليو، 2022a).

ومن خلال تقريرها المتكامل تُبيِّن مجموعة بي إم دبليو إستراتيجيتها المؤسسية التي تهدف إلى تحقيق الأهداف المالية وغير المالية، مثل هامش الأرباح قبل الضرائب (EBT)، ونسبة السيارات الكهربائية من إجمالي المبيعات، وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل مركبة مُنتَجة (مجموعة بي إم دبليو، 2022a). ومن ثم، يخدم التقرير المتكامل في هذه الحالة غرضين رئيسيين:

- التواصل الإستراتيجي داخليًا وخارجيًا مع مختلف مجموعات أصحاب المصلحة.
- أداة إدارية داخلية لمراقبة وتحليل مدى تحقيق الأهداف، ويمكن استخدامه كأساس لاتخاذ قرارات مستنيرة ضمن عملية التخطيط الإستراتيجي للشركة.

وعلى الرغم من أنَّ الإطار التنظيمي الإلزامي الجديد لإعداد التقارير

(1) المجلس الدولي للتقارير المتكاملة، 2019، ص: 5.

(2) المجلس الدولي للتقارير المتكاملة، 2019، ص: 5.

في الاتحاد الأوروبي (CSRD) وتطوير معايير الاتحاد الأوروبي لإعداد تقارير الاستدامة (ESRS) لا يعتمدان على فلسفة إدارية محددة، فإنهما يملكان القدرة على تغيير طريقة تواصل الشركات مع أصحاب المصلحة حول إستراتيجياتها، وستؤثر هذه التغييرات الأخيرة أيضًا في عملية اتخاذ القرار والأنشطة التجارية داخل الشركات.

يتضح ذلك من خلال نقطتين رئيسيتين: أولاً، من المتوقع حدوث تغيير في مستوى المسؤولية والاهتمام بقضايا الاستدامة على المستوى الفردي بين المديرين التنفيذيين، وفي هيئات مثل مجالس الإدارة، أو المجالس الإشرافية. ومن المتوقع أن يزداد الاهتمام بالاستدامة بين المديرين التنفيذيين وفي الهيئات الإدارية والرقابية. ففي الماضي، لم تحظ تقارير الاستدامة بالضرورة بالاهتمام نفسه الذي حظيت به التقارير المالية من الإدارة العليا ومجلس الإدارة، ولكن هذا الاتجاه سيتغير مع إدخال معايير إعداد تقارير الاستدامة الأوروبية⁽¹⁾، وسيتمشى ذلك مع الهدف الأساسي لتوجيه إعداد تقارير استدامة الشركات الذي يسعى إلى تحقيق توازن بين أهمية التقارير المالية وتقارير الاستدامة (زولش وآخرون، 2023).

لم يعد نطاق المسودة المعدلة لمعيار ESRS 2 - الإفصاحات العامة، الصادرة في نوفمبر 2022، يقتصر على إفصاح الشركات عن «العناصر الإستراتيجية المتعلقة بقضايا الاستدامة أو التي تؤثر فيها، ونماذج أعمالها وسلسلة القيمة الخاصة بها»⁽²⁾، بل يتضمن أيضًا التزامًا بالإبلاغ عن حوكمة هذا الإفصاح، بالإضافة إلى معايير إعداد التقارير المتعلقة بتقييم قضايا الاستدامة. وفيما يخص الحوكمة، يتطلب المعيار الإفصاح عن «مدى ارتباط الهيئات الإدارية والتنفيذية والرقابية،

(1) انظر: المجموعة الاستشارية الأوروبية للتقارير المالية، 2022.

(2) المجموعة الاستشارية الأوروبية للتقارير المالية، فريق عمل معايير الاستدامة الأوروبية، 2022، ص: 10.

بما في ذلك لجانها ذات الصلة، بقضايا الاستدامة، ومن يفصح عنها، وعدد مرات الإفصاح⁽¹⁾.

وتحدد مسودة معايير إعداد تقارير الاستدامة الأوروبية «متطلبات الإفصاح عن كيفية أخذ اهتمامات أصحاب المصلحة وآرائهم في الحسبان ضمن إستراتيجية المنشأة ونماذج أعمالها»⁽²⁾، وذلك بهدف تسليط الضوء على تأثير الأعمال في البيئة والمجتمع.

ومن جهة، تمثل هذه المعايير الجديدة للإفصاح تحدياً للشركات في تنفيذها. ومن جهة أخرى، تُعد زيادة مسؤولية الأفراد والهيئات الإدارية والتنفيذية والرقابية فرصة لتعزيز وعي الإدارات بقضايا الاستدامة والفرص والمخاطر المرتبطة بها.

ومن المتوقع أن تسهم اللوائح الجديدة للإفصاح في تسريع التحول نحو نماذج أعمال مستدامة وتعزيز حوكمتها. فعلى الرغم من أن المعلومات غير المالية لا تُترجم مباشرة إلى قيمة نقدية، فإنها تؤثر في نظرة أصحاب المصلحة للأداء المالي للشركة بمرور الوقت⁽³⁾. إذ تؤثر عوامل الاستدامة في فرص المؤسسة ومخاطرها، وفي استمرارية نموذج أعمالها، وتعزز التنمية المستدامة مرونة المؤسسة⁽⁴⁾، وتزيد مخاطر الاستدامة من مخاطر السمعة؛ نظرًا لأهميتها المتزايدة في المجتمع والتطورات التنظيمية.

ومن ثم، يسهم الإبلاغ عن قضايا الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية (ESG) في إدارة مخاطر السمعة⁽⁵⁾. لذا، تُعد المؤشرات غير

(1) المجموعة الاستشارية الأوروبية للتقارير المالية، فريق عمل معايير الاستدامة الأوروبية، 2022، ص: 9.

(2) المجموعة الاستشارية الأوروبية للتقارير المالية، فريق عمل معايير الاستدامة الأوروبية، 2022، ص: 12.

(3) بكنج وألتوف، 2017، ص: 246.

(4) شميت وسترنجر، 2019، ص: 483.

(5) بيبينجتون وآخرون، 2008، ص: 337 وما بعدها.

المالية (KPIs) مؤشرات مبكرة للمخاطر، ويجب أخذها في الحسبان ضمن إستراتيجية المنظمة⁽¹⁾. ويضمن دمج موجبات الاستدامة تحقيق الربحية على المدى الطويل، ويعزز قيمة الشركة للمساهمين⁽²⁾، إلى جانب الفرص والإمكانات التي توفرها أشكال التقارير الجديدة لتعزيز التنمية المستدامة للشركات. ومع ذلك، ما تزال هناك تحديات تشغيلية وتنظيمية تتطلب المعالجة.

4.6.2 تحديات الأساليب المستجدة في إعداد التقارير:

لا يزال التنفيذ العملي للإطار والمعايير الجديدة لإعداد التقارير يمثل تحديًا بارزًا. فقد أكدت دراسة «الجاهزية توجيه تقارير استدامة الشركات (CSRD)» التي أجراها زولش وزملاؤه (2023)، والتي شملت تحليل 160 تقريرًا إداريًا وتقرير استدامة للشركات المدرجة في مؤشرات DAX و MDAX و SDAX، صحة فرضية مفادها أن الشركات التي سبقت غيرها في إعداد تقارير الاستدامة طوعيًا هي الأكثر استعدادًا لتطبيق متطلبات التقارير الجديدة ومعاييرها في الاتحاد الأوروبي.

وتجدر الإشارة إلى أن معظم الشركات العشر الأعلى تصنيفًا تعتمد معايير دولية معترف بها في إعداد تقارير الاستدامة، وتدمج تقارير الاستدامة ضمن تقاريرها الإدارية.

وفي سياق «الجاهزية لتوجيه تقارير استدامة الشركات»، يمكن تمييز نوعين من الشركات: إذ تضم المجموعة الأولى الشركات التي لم تكن متقدمة في مجال إعداد تقارير الاستدامة، والتي ستواجه تحديات جمة في تحديد المسؤوليات والإستراتيجيات والإجراءات اللازمة لتطبيق المتطلبات التنظيمية، وتوفير القدرات البشرية المطلوبة.

(1) بُكينج وألتهوف، 2017، ص: 249.

(2) شميت وسترنجر، 2019، ص: 483.

أما المجموعة الثانية فتتألف من الشركات التي سبقت إلى تطبيق المعايير طوعياً، وربما دمجت إطار إعداد التقارير وأجرت عمليات التدقيق. سيتعين على هذه المجموعة إعادة تقييم كيفية التعامل مع نماذج التقارير المتقدمة الخاصة بها في ضوء اللوائح الجديدة، حيث إنَّ دمجَ تقرير الاستدامة ضمن التقرير الإداري بموجب توجيهات إعداد تقارير استدامة الشركات (CSRD) يبدو محدود النطاق مقارنة بإطار التقارير المتكاملة (زولش وآخرون، 2023).

ومع ذلك، إذا استبعدت المؤسسات معلومات تفصيلية وموجهة لأصحاب المصلحة حول الاستدامة من تقاريرها المتكاملة؛ فستثار تساؤلات حول قنوات نشر هذه المعلومات. لذلك، يتوقع بارانتس وزملاؤه (2022) أنَّ المؤسسات ستواصل نشر تقارير استدامة منفصلة في المدى المتوسط، ولكنها ستعمل على إعادة هيكلتها وربطها بمحتوى التقارير المؤسسية تدريجياً⁽¹⁾.

يشكل الإبلاغ عن «الموارد غير الملموسة الرئيسة» تحدياً مهماً في سياق إعداد تقارير الاستدامة، وهو ما أبرزته دراسة حديثة أجراها هالر وفيشر (2023). إذ يزداد التركيز في التقارير المالية التقليدية على مناقشة الإبلاغ عن الموارد غير الملموسة، مثل البيانات والسمعة والعلامات التجارية والعلاقات، نظراً لتأثيرها المباشر في القيمة الصافية للشركة، وتأثيرها الإستراتيجي غير المباشر في الفرص المستقبلية والمخاطر والمزايا التنافسية.

وقد يؤدي الإبلاغ غير الكافي عن الأصول غير الملموسة إلى نقص في المعلومات في التقرير الإداري، مما يترك مجالاً للتفسير، وقد ينتج عن ذلك فجوة بين القيمة الدفترية والقيمة السوقية للشركة.

(1) بارانتس وآخرون، 2022، ص: 90.

تزداد أهمية قضية الإبلاغ عن «الموارد غير الملموسة الرئيسة» في سياق إعداد تقارير الاستدامة، وذلك لأنّ قضايا الاستدامة غالباً ما تتسم بطبيعتها غير الملموسة، ويمكن أن تؤثر تأثيراً مباشراً وغير مباشر في فرص الشركة ومخاطرها في خلق القيمة أو الحفاظ عليها أو فقدانها. ولأول مرة في تاريخ إعداد التقارير، يتضمن توجيه تقارير استدامة الشركات (CSRD) حافزاً تنظيمياً للإبلاغ عن «الموارد غير الملموسة الرئيسة».

ومع ذلك، يشير هالر وفيشر (2023، ص. 82-83) إلى أن الاتحاد الأوروبي، في إطار توجيه تقارير استدامة الشركات، يتناول مفهوم «الموارد غير الملموسة الرئيسة» وينظمه من زاوية الموارد التي تعتمد عليها الشركة اعتماداً جوهرياً في أنشطتها لخلق القيمة، أي من منظور تأثير هذه الموارد في الشركة نفسها. ويرى المؤلفان أن هذا الفهم لا ينسجم مع المبدأ الأساس لـ «الأهمية المزدوجة» الذي يقوم عليه التوجيه؛ إذ إن قصر الإبلاغ على الموارد غير الملموسة التي قد تؤثر في تطور أعمال الشركة وأدائها ومركزها المالي يُغفل البعد المقابل، المتعلق بكيفية تأثير أنشطة الشركة في قضايا الاستدامة والبيئة والمجتمع من خلال تلك الموارد غير الملموسة.

بالإضافة إلى ذلك، لا يقدم توجيه تقارير استدامة الشركات تصنيفاً واضحاً «للموارد غير الملموسة رئيسة الرئيسة». وسيؤدي هذا الغياب لتعريف واضح وعدم وجود تصنيف للموارد غير الملموسة في التقارير الخارجية إلى تقليل قابلية مقارنة التقارير المؤسسية ذات الصلة (هالر وفيشر، 2023).

4.6.3 الآفاق المستقبلية للتقارير المتكاملة:

يُحدثُ توجيهُ تقارير استدامة الشركات تحولاً في مشهد إعداد التقارير في الاتحاد الأوروبي، وذلك من خلال إلزام الشركات بدمج معلومات الاستدامة ضمن التقرير الإداري للتقرير السنوي (باومولر وآخرون، 2021). وعلى الرغم من أنَّ هذه الخطوة الأولى نحو التقارير المتكاملة قد لا تبدو مماثلةً لمعيار التقارير المتكاملة وفقاً لإطار التقارير المتكاملة (IR Framework)، فإنَّ التطور التشريعي في الاتحاد الأوروبي يُعدّ دافعاً قوياً نحو تبني التقارير المتكاملة (بارانتس وآخرون، 2022، ص.90).

بالإضافة إلى ذلك، يلتزم مجلس معايير الاستدامة الدولية بتطوير إطار التقارير المتكاملة نحو إطار التقارير المؤسسية الدولي (مؤسسة المعايير الدولية لإعداد التقارير المالية، 2022a)، ممّا يعكس الأهمية المستقبلية لإطار التقارير المتكاملة.

ولضمان الاعتراف العالمي بإطارات التقارير المختلفة، ينصُّ توجيهُ تقارير استدامة الشركات على ضرورة توافق معايير التقارير الأوروبية للاستدامة مع المعايير الأساسية المستقبلية لإعداد التقارير الصادرة عن مجلس معايير الاستدامة الدولية (التوجيه [الاتحاد الأوروبي] 2022/2464، L 322/29، البرلمان الأوروبي ومجلس الاتحاد الأوروبي، 2022).

ومع ذلك، يبقى تحقيق أهداف توجيه تقارير استدامة الشركات غير مؤكد، وكذلك الدور الذي ستلعبه معايير المبادرة العالمية للتقارير، ومشروع الإفصاح عن الكربون، وإطار التقارير المتكاملة جنباً إلى جنب مع معايير إعداد تقارير الاستدامة الأوروبية في المستقبل. إذ يتضح وجود اتجاه عالمي نحو توحيد إطارات إعداد التقارير ومعاييرها، مما يبشر بتقارير أكثر اتساقاً وتجانساً. وفي المقابل، تشجع الإمكانيات

التي توفرها التقنيات الرقمية على تبني صيغ تقارير مخصصة تلبي احتياجات المستخدمين.

ومع توسع نطاق المستفيدين من التقارير، ليشمل إلى جانب المساهمين، فئات متنوعة من أصحاب المصلحة مثل الموظفين والمنظمات غير الحكومية وخبراء الاستدامة، تتزايد الحاجة إلى معلومات متنوعة ومحددة (بارانتس وآخرون، 2022).

ويبقى التساؤل مطروحاً حول كيفية تلبية هذه الاحتياجات المتزايدة في المستقبل. فهل يتحقق ذلك من خلال تطوير صيغ تواصل جديدة للتقارير، كمنصة إلكترونية مزودة بخاصية البحث، أم من خلال الحفاظ على التنوع الحالي في إطار إعداد التقارير؟

4.7 خاتمة:

تشهد تقارير الشركات تطوراً متسارعاً غير مسبق، ففي ظلّ التزام الشركات بتلبية الاحتياجات المعلوماتية لمختلف أصحاب المصلحة، من موظفين وعملاء وإعلام وخبراء؛ يتوجب عليها تكييف عمليات إعداد التقارير بما يتوافق مع المتطلبات القانونية المستجدة، كتوجيه تقارير استدامة الشركات وتصنيف الاتحاد الأوروبي. بالإضافة إلى ذلك، يشهد المشهد الأطر الطوعية السّاعية لتعزيز التفكير المتكامل تعديلات تهدف إلى تحسين قابلية مقارنة التقارير على المستوى العالمي.

وعلى الصّعيد التنظيمي، يُعد إدخال توجيه تقارير استدامة الشركات في الاتحاد الأوروبي أبرز التغييرات الجذريّة؛ فهو على عكس التوجيه السابق بشأن الإفصاح غير المالي (NFRD)، يدمج تقارير الاستدامة بصفتها جزءاً إلزامياً من التقرير الإداري، ويفرض متطلبات تدقيق مع ضمان محدود.

ويجب أن تتوافق المعلومات المقدمة حول الجوانب البيئية والاجتماعية والحوكمة مع مبدأ الأهمية المزدوجة، وهذا يوسع نطاق محتوى التقارير، حيث تُعد المعلومات غير المالية ذات أهمية إذا كان تأثير عمليات الشركة في جوانب الاستدامة كبيراً (منظور التأثير الخارجي على الشركة) و/أو إذا كانت قضايا الاستدامة تؤثر في تطور أعمال الشركة وأدائها ومركزها المالي (منظور تأثير الشركة في البيئة والمجتمع).

إذ يشكّل تنفيذ توجيه تقارير استدامة الشركات وتصنيف الاتحاد الأوروبي للأنشطة الاقتصادية المستدامة تحدياً لتقارير الشركات التقليدية، ويتطلب تغييراً في عمليّات إعداد التقارير الداخليّة. وعلى الرغم من أنّ صناع السياسات ومختلف أصحاب المصلحة يفضلون التقارير المتكاملة، فإنّ بعض الشركات قد تواجه تحديات في دمج هذا النوع من التفكير الشّامل في أنشطتها على المدى القصير، ومع ذلك لتحقيق إمكانات التقارير المتكاملة، من الحكمة أن يبدأ المديرون في إحداث التغيير الداخلي المطلوب في العمليات ذات الصلة استباقياً، حتى لو استغرق ذلك وقتاً للتجسيد.

يُختتم هذا الفصل بخمس نقاط رئيسة قد تحفز المزيد من النقاش:

1. شهدت توقعات أصحاب المصلحة والمساهمين فيما يتعلق بقضايا الاستدامة تحولاً جذرياً. فإذا رأت الشركات في هذه التوقعات فرصة لتطوير أعمال أكثر استدامة، فإن متطلبات الإبلاغ الجديدة ستساعد في هذه المرحلة الانتقالية.
2. تلزم المتطلبات الجديدة الشركات بتقديم تقارير دورية عن أدائها في مجال الاستدامة. ويُمكن التحول نحو التفكير المتكامل الشركات من مواءمة أهدافها الإستراتيجية وقراراتها ومؤشرات أدائها مع التزاماتها في الإبلاغ، مما يوفر صورة أكثر تماسكاً لأصحاب المصلحة على المدى الطويل.

3. ويتيح الإبلاغ المتكامل فرصة لشرح كيفية خلق الشركة أو الحفاظ على القيمة أو تدميرها بطريقة واضحة ومفهومة، سواء داخلياً أو خارجياً، وتجنب إغراق أصحاب المصلحة بكم هائل من المعلومات.

4. وفي ظلّ اللوائح والمعايير الجديدة للإبلاغ (توجيه تقارير استدامة الشركات والمعايير الأوروبية لإعداد التقارير المستدامة) في الاتحاد الأوروبي، ما يزال الدور المستقبلي لإطار الإبلاغ المتكامل غير محدد.

5. يجب أن تتوافق التقارير حول مؤشرات الأداء غير المالي مع الأطر والمعايير التنظيمية، وأن تقتصر على الجوانب ذات الأهمية المادية لتلبية الاحتياجات المعلوماتية، وأن تظل قابلة للتطبيق للشركات (والمراجعين)، وتوفر معلومات ذات صلة وقابلة للمقارنة وفي الوقت المناسب لجميع أصحاب المصلحة.

وفي مسار تحقيق هدف الحياد الصفري، تُعد الإستراتيجية والإبلاغ نقطتي البداية والنهاية للأنشطة التجارية التشغيلية. ولهذا، ستركز الفصول الثلاثة التالية على مجالات الأعمال التشغيلية ذات الصلة التي ستدعم التحول الداخلي نحو الاستدامة. وسيتناول الفصل الخامس؛ «إنشاء منتجات مستدامة»، التوسع في التحول المفاهيمي في تطوير المنتجات نحو الاقتصاد الدائري.



المراجع:

- Alniacik, U., Alniacik, E., & Genc, N. (2011). How corporate social responsibility information influences stakeholders' intentions. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 18(4), 234–245. <https://doi.org/10.1002/csr.245>
- Bachmann, G. (2018). CSR-bezogene Vorstands- und Aufsichtsratspflichten und ihre Sanktionierungen. *Zeitschrift für Unternehmens und Gesellschaftsrecht*, 47(2–3), 231–261. <https://doi.org/10.1515/zgr-2018-0010>
- Barrantes, E., Busch, F., Skaer, M., & Zülch, H. (2022). Zukunft Geschäftsbericht—10 Thesen zum Wandel der Unternehmensberichterstattung.
- Baumüller, J., & Schaffhauser-Linzatti, M.-M. (2018). In search of materiality for nonfinancial information—reporting requirements of the Directive 2014/95/EU. *NachhaltigkeitsManagementForum*, 26(1–4), 101–111. <https://doi.org/10.1007/s00550-018-0473-z>
- Baumüller, J., Scheid, O., & Needham, S. (2021). Die Corporate Sustainability Reporting Directive als Schlüsselement von Sustainable Finance: Zusammenhänge und Entwicklungsperspektiven. *Zeitschrift für Internationale Rechnungslegung*, 16(7–8), 337–343.
- Bebbington, J., Larrinaga, C., & Moneva, J. (2008). Corporate social reporting and reputation risk management. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 21(3), 337–361. <https://doi.org/10.1108/09513570810863932>
- BMW AG. (Ed.) (2021). Our responsibility. Our future. BMW Group Report 2020. Retrieved June 19, 2023, from https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/ir/downloads/en/2021/bericht/BMW-Group-Bericht-2020-EN.pdf
- BMW AG. (Ed.) (2022a). BMW Group Report 2021. Retrieved March 02, 2023, from https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/ir/downloads/en/2022/bericht/BMW-Group-Report-2021-en.pdf
- BMW AG. (Ed.) (2022b). The future is electric, digital, and circular.

BMW Group Report 2021. Retrieved June 19, 2023, from https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/ir/downloads/en/2022/bericht/BMW-Group-Report-2021-en.pdf

- BMW Group. (2014). Carbon Disclosure Project (CDP) zeichnet die BMW Group für Leistung und Transparenz zu Klimaschutzaktivitäten aus. Retrieved June 19, 2023, from <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0195046DE/carbon-disclosure-project-cdp-zeichnet-die-bmw-group-fuer-leistung-und-transparenz-zu-klimaschutzaktivitaeten-aus?language=de>
- BMW Group. (2021). BMW Group becomes first premium manufacturer to publish Integrated Group Report. Retrieved June 19, 2023, from <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0327384EN/bmw-group-becomes-first-premium-manufacturer-to-publish-integrated-group-report?language=en>
- Böcking, H.-J., & Althoff, C. (2017). Paradigmenwechsel in der (Konzern-) Lageberichterstattung über nicht-monetäre Erfolgsfaktoren. *Der Konzern*, 5, 246–255.
- Bonsón, E., & Bednárová, M. (2015). CSR reporting practices of Eurozone companies. *Revista de Contabilidad*, 18(2), 182–193. <https://doi.org/10.1016/j.rcsar.2014.06.002>
- Brady, C., & Baraka, D. C. (2013). Integrated reporting. In S. O. Idowu, N. Capaldi, L. Zu, & A. D. Gupta (Eds.), *Encyclopedia of corporate social responsibility* (pp. 1460–1468). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28036-8_341
- Brundtland, G. H. (1987). Our common future—Call for action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291–294. <https://doi.org/10.1017/S0376892900016805>
- CDP. (2022). The A List 2022. Retrieved March 02, 2023, from <https://www.cdp.net/en/companies/companies-scores>
- Chersan, I.-C. (2016). Corporate responsibility reporting according to Global Reporting Initiative: an international comparison. *Audit Financiar*, 14(136), 424–435. <https://doi.org/10.20869/AUDITF/2016/136/424>
- Cormier, D., Magnan, M., & van Velthoven, B. (2005). Envi-

ronmental disclosure quality in large German companies:

Economic incentives, public pressures or institutional conditions? *European Accounting Review*, 14(1), 3–39. <https://doi.org/10.1080/0963818042000339617>

- Council of the European Union. (2022). Council gives final green light to corporate sustainability reporting directive. Retrieved March 02, 2023, from Council of the European Union: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/11/28/council-gives-final-green-light-to-corporate-sustainability-reporting-directive/pdf>
- Deegan, C. (2002). Introduction: The legitimising effect of social and environmental disclosures—A theoretical foundation. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 15(3), 282–311. <https://doi.org/10.1108/09513570210435852>
- Diehl, T., & Knauß, R. (2018). Transparency through CSR reporting—the case of Stuttgart Airport. *Sustainability Management Forum*, 26(1–4), 113–121. <https://doi.org/10.1007/s00550-018-0478-7>
- Directive 2006/43/EC and Directive 2013/34/EU, as regards corporate sustainability reporting: Directive (EU) 2022/2464.
- Druckmann, P., & Freis, J. (2010). Integrated reporting: The future of corporate reporting? In R. G. Eccles, B. Cheng, & D. Saltzmann (Eds.), *The landscape of integrated reporting. Reflections and next steps* (pp. 81–85). Harvard Business School. Retrieved June 01, 2023, from https://www.dvfa.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/the_landscape_of_integrated_reporting.pdf
- Du, S., Bhattacharya, C. B., & Sen, S. (2010). Maximizing business returns to corporate social responsibility (CSR): the role of CSR communication. *International Journal of Management Reviews*, 12(1), 8–19. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2009.00276.x>
- Duchek, S. (2020). Organizational resilience: a capability-based conceptualization. *Business Research*, 13(1), 215–246. <https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7>
- Eccles, R. G., Cheng, B., & Saltzmann, D. (Eds.). (2010). *The landscape of integrated reporting: Reflections and next steps*. Harvard Business School. Retrieved June 01, 2023, from https://www.dvfa.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/the_landscape_of_integrated_re

porting.pdf

- EFRAG PTF-ESRS. (Ed.) (2022). Draft European Sustainability Reporting Standards: ESRS 2 General disclosures. Retrieved June 10, 2023, from <https://www.efrag.org/Assets/Download?assetUrl=%2Fsites%2Fwebpublishing%2FSiteAssets%2F07.%2520Draft%2520ESRS%25202%2520General%2520disclosures%2520November%25202022.pdf>
- EFRAG. (2022). First set of draft ESRS. Retrieved March 02, 2023, from <https://www.efrag.org/lab6>
- EFRAG. (2023). EFRAG welcomes the adoption of the delegated act on the first set of European Sustainability Reporting Standards (ESRS) by the European Commission. Retrieved August 15, 2023, from <https://www.efrag.org/News/>
- Eierle, B., & Kasischke, A. (2023). Finanzielle Berichterstattung über immaterielle Werte quo vadis?—Vorschläge und Würdigung des EFRAG-Diskussionspapiers. *KoR Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung*, 23(2), 69–77.
- European Commission. (2022). Corporate sustainability reporting. Retrieved March 02, 2023, from https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en
- European Commission. (2023). Renewed sustainable finance strategy and implementation of the action plan on financing sustainable growth. Retrieved June 15, 2023, from https://finance.ec.europa.eu/publications/renewed-sustainable-finance-strategy-and-implementation-action-plan-financing-sustainable-growth_en
- European Commission. (2023). The Commission adopts the European Sustainability Reporting Standards. Retrieved August 15, 2023, from https://finance.ec.europa.eu/news/commission-adopts-european-sustainability-reporting-standards-2023-07-31_en
- European Commission. (Ed.) (2021). FAQ: What is the EU Taxonomy and how will it work in practice? Retrieved March 02, 2023, from https://finance.ec.europa.eu/system/files/2021-04/sustainable-finance-taxonomy-faq_en.pdf
- European Parliament and the Council of the European Union. (2014).

Directive 2014/95/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 amending Directive 2013/34/EU as regards disclosure of non-financial and diversity information by certain large undertakings and groups: Directive 2014/95/EU.

- European Parliament and the Council of the European Union. (2020). Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088: Regulation (EU) 2022/852.
- European Parliament and the Council of the European Union. (2022). Directive (EU) 2022/2464 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 amending Regulation (EU) No 537/2014, Directive 2004/109/EC,
- European Parliament. (2022). Sustainable economy: Parliament adopts new reporting rules for multinationals. Retrieved March 02, 2023, from European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20221107IPR49611/sustainable-economy-parliament-adopts-new-reporting-rules-for-multinationals>
- Fischer, T. M., & Baumgartner, K. T. (2021). Understanding the reporting of intangibles from a business perspective. In B. Heidecke, M. C. Hübscher, R. Schmidtke, & M. Schmitt (Eds.), *Intangibles in the world of transfer pricing* (pp. 75–113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73332-6_6
- Fitch Ratings. (2019). Fitch ratings launches ESG relevance scores to show impact of ESG on credit. Retrieved March 02, 2023, from <https://www.fitchratings.com/research/corporate-finance/fitch-ratings-launches-esg-relevance-scores-to-show-impact-of-esg-on-credit-07-01-2019>
- Global Compact Network Germany & econsense. (Ed.) (2018). *New momentum for reporting on sustainability: Study on implementation of the German CSR Directive Implementation Act*. Retrieved March 02, 2023, from https://www.globalcompact.de/migrated_files/wAssets/docs/Reporting/NFE_Studie_Online_englisch_181015.pdf
- GRI. (2022). Our mission and history. Retrieved March 02, 2023, from <https://www.globalreporting.org/about-gri/mission-history/>

- Haller, A., & Fischer, T. M. (2023). Berichterstattung über Intangibles—Neue Impulse durch die CSRD. *KoR Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung*, 23(2), 78–87.
- Hess, D. (2007). Social reporting and new governance regulation: The prospects of achieving corporate accountability through transparency. *Business Ethics Quarterly*, 17(03), 453–476. <https://doi.org/10.5840/beq200717348>
- Hoffmann, E., Dietsche, C., & Hobelsberger, C. (2018). Between mandatory and voluntary: non-financial reporting by German companies. *Sustainability Management Forum*, 26(1–4), 47–63. <https://doi.org/10.1007/s00550-018-0479-6>
- IFRS Foundation. (Ed.) (2022a). Integrated reporting framework. Retrieved March 02, 2023, from <https://www.ifrs.org/issued-standards/ir-framework/>
- IFRS Foundation. (Ed.) (2022b). International <IR> Framework. Retrieved March 02, 2023, from <http://www.integratedreporting.org/wp-content/uploads/2021/01/InternationalIntegratedReporting-Framework.pdf>
- IIRC. (Ed.) (2019). Integrated thinking & strategy: State of play report. Retrieved March 02, 2023, from https://www.integratedreporting.org/wp-content/uploads/2020/01/Integrated-Thinking-and-Strategy-State-of-Play-Report_2020.pdf
- Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, & future e.V.—verantwortung unternehmen. (Eds.) (2022). CSR-Reporting in Deutschland 2021: Ergebnisse im Ranking der Nachhaltigkeitsberichte und Trends in der Berichterstattung von Großunternehmen und KMU. Retrieved March 02, 2023, from https://www.ranking-nachhaltigkeitsberichte.de/fileadmin/ranking/user_upload/2021/Ranking_Nachhaltigkeitsberichte_2021_Ergebnisbericht_1.pdf
- IOSCO. (Ed.) (2019). Statement on disclosure of ESG matters by issuers. Retrieved March 02, 2023, from <https://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD619.pdf>
- KoR Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung, 22(2), 86–91.
- Lock, I., & Seele, P. (2015). Analyzing sector-specific CSR reporting:

- Social and environmental disclosure to investors in the chemicals and banking and insurance industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(2), 113–128. <https://doi.org/10.1002/csr.1338>
- Loew, T., & Braun, S. (2018). Mindestanforderungen und Obergrenzen für die Inhalte der nichtfinanziellen Erklärung: Interpretation der neuen HGB-regelungen zur nichtfinanziellen Berichterstattung aus Sicht der Lage- und der Nachhaltigkeitsberichtserstattung. Empfehlungen an Unternehmen und Politik. Retrieved March 02, 2023, from <https://www.4sustainability.de/wp-content/uploads/2021/06/Loew-Braun-Mindestanforderungen-Obergrenzen-nichtfinanzielle-Erklaerung-2018.pdf>
 - Marquis, C., Toffel, M. W., & Zhou, Y. (2016). Scrutiny, norms, and selective disclosure: A global study of greenwashing. *Organization Science*, 27(2), 483–504. <https://doi.org/10.1287/orsc.2015.1039>
 - Moratis, L. (2018). Signalling responsibility? Applying signalling theory to the ISO 26000 standard for social responsibility. *Sustainability*, 10(11), 4172. <https://doi.org/10.3390/su10114172>
 - Navarrete-Oyarce, J., Gallegos, J. A., Moraga-Flores, H., & Gallizo, J. L. (2021). Integrated reporting as an academic research concept in the area of business. *Sustainability*, 13(14), 7741. <https://doi.org/10.3390/su13147741>
 - Public-439/EFrag-welcomes-the-adoption-of-the-Delegated-Act-on-the-first-set-of-E?AspxAutoDetectCookieSupport=1
 - Rowbottom, N., & Locke, J. (2016). The emergence of <IR>. *Accounting and Business Research*, 46(1), 83–115. <https://doi.org/10.1080/00014788.2015.1029867>
 - Schmidt, M., & Strenger, C. (2019). NZG-Serie CSR: Die neuen nichtfinanziellen Berichtspflichten—Erfahrungen mit der Umsetzung aus Sicht institutioneller Investoren. *Neue Zeitschrift für Gesellschaftsrecht*, 13, 481–487.
 - Threlfall, R., King, A., Shulmann, J., & Bartels, W. (2020). The time has come: The KPMG Survey of Sustainability Reporting 2020. Retrieved March 02, 2023, from <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2020/11/the-time-has-come.pdf>

- Union Investment. (Ed.) (2021). Nachhaltigkeit ist für die Mehrheit der Großanleger unverzichtbar—Ergebnisse der Markterhebung 2021 zum nachhaltigen Vermögensmanagement institutioneller Anleger in Deutschland. Retrieved March 02, 2023, from <https://fmos.link/17274>
- Value Reporting Foundation. (2022a). Integrated thinking in action: A spotlight on the BMW Group. Retrieved March 02, 2023, from https://www.integratedreporting.org/wp-content/uploads/2022/01/VRF_Case_BMW-final-to-publish-28.1.2022.pdf
- Value Reporting Foundation. (Ed.) (2022b). Integrated thinking principles: Value creation through organizational resilience. Retrieved March 02, 2023, from http://www.integratedreporting.org/wp-content/uploads/2021/12/VRF_ITP-Main-120721.pdf
- Velte, P. (2017). Die nichtfinanzielle Erklärung und die Diversity-Berichterstattung nach dem CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz: Auf dem Weg zur «Sustainable Corporate Governance»? *StuB—Unternehmensteuern und Bilanzen*, 19(8), 293–298.
- Velte, P., & Stawinoga, M. (2017). Integrated reporting: The current state of empirical research, limitations and future research implications. *Journal of Management Control*, 28(3), 275–320. <https://doi.org/10.1007/s00187-016-0235-4>
- Zülch, H., Schneider, A., & Thun, T. (2023). CSRD-Incoming: Welche kapitalmarktorientierten Unternehmen sind für die neue Richtlinie bereit?: Top-Unternehmen, Implikationen und Empfehlungen. *KoR Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung*, 23(2), 99–101.



إنشاء منتجات مستدامة

الطريق إلى الدائرية

لينا ريس وساندر وارتماك وأوليفر زيبسه

5.1 المقدمة:

يمثل الاقتصاد الدائري تحولاً جوهرياً من النموذج الخطي التقليدي (الأخذ - الصنع - الاستخدام - التخلص) إلى نموذج دائريٍّ مستدام «من المهد إلى المهد» (ليدر ورشيد، 2016). ويتطلب هذا النموذج تبني رؤية شاملة لدورة حياة المنتج بأكملها عبر سلسلة القيمة، بدءاً من استخراج المواد الخام وتوريد المكونات، مروراً بالتصنيع والتوزيع والاستخدام، وصولاً إلى إدارة نهاية العمر والنفايات (مؤسسة إلين ماك آرثر، 2013؛ فاروق وآخرون، 2019).

وفي هذا السياق، يركز تصميم المنتجات على مجموعة من المبادئ الأساسية. وتشمل هذه المبادئ التصميم لإعادة التدوير، بحيث تُعاد المكونات التقنية إلى أنظمة مغلقة، والتصميم لاستبعاد النفايات والملوثات والانبعاثات منذ مرحلة التصميم. كما يهدف النموذج الدائري إلى إعادة العناصر الغذائية البيولوجية إلى الغلاف الحيوي بصورة آمنة، بما يدعم تجدد النظم الطبيعية (موراي وآخرون، 2017).

أما في صناعة السيارات، تُعد المركبات الكهربائية تقنية محورية لخفض انبعاثات غازات الدفيئة (لي وآخرون، 2019). ففي ضوء هذا الانتقال من المركبات التي تعمل بالاحتراق نحو كهربائية؛ تعدُّ مرحلة التصنيع وسلسلة التوريد اللاحقة، بدلاً من مرحلة الاستخدام،

حاسمة في تحديد البصمة الكربونية، حيث إنَّ عملية تصنيع البطاريات للمركبات الكهربائية تستهلك كميات كبيرة من الطاقة (مورفيلدت وآخرون، 2021).

ومن ثَمَّ، فإنَّ منظور دورة الحياة يُعدُّ أمرًا بالغ الأهمية لتحقيق تأثير مستدام (ريس وآخرون، 2023). ويجب أن تدعم المنتجات إستراتيجيات دائرية، مثل الصيانة وإعادة الاستخدام وإعادة التصنيع أو إعادة التدوير، عن قصد، مما يبرز أهمية دور المصمم (دن هولاندر وآخرون، 2017).

وفي سياق «الطريق إلى الحياد الصفري» الذي يستعرضه هذا الكتاب، ينطلق التنفيذ الفعلي من تصميم المنتج، وذلك عقب وضع إستراتيجية شاملة ومنظومة تقارير متكاملة. وانطلاقاً من مبدأ «ما يُقاس، يُنجز» (الفصل الأول)، يمكِّن «مستقبل الإفصاح المؤسسي» (الفصل الرابع) الشركات من تحديد مجالات التحسين المحتملة في عملياتها ومنتجاتها، بما في ذلك أدائها في مجال الاستدامة؛ وعبر دمج هذه الرؤى في عمليَّات تصميم المنتجات، تستطيع الشركات إنشاء منتجات دائريَّة تلبي احتياجات العملاء، وتتوافق مع رؤية الشركة، وتستوفي متطلبات اللوائح.

كما يهدف هذا الفصل «تصميم المنتجات المستدامة» إلى إبراز أهمية التصميم الدائري وتأثيره فيه تطوير المنتجات والخدمات، ومناقشة التحديات التي تواجه الشركات المصنعة في تغيير سلوك المستهلكين.

يتناول الفصل ثلاثة أقسام رئيسية. ويقدم القسم الثاني من الفصل الخامس مراجعة موجزة لمفهوم الدائرية، ثمَّ يستعرض ثلاثة تأثيرات رئيسية للدائرية في تغيير تصميم المنتج، وتصميم الخدمة، وسلوك المستهلكين. يلي ذلك، في القسم الثالث حوار بين البروفيسور

أوليفر زيبسه، رئيس مجلس إدارة مجموعة بي إم دبليو، والبروفيسور الدكتور ساندرو وارتزاك، رئيس قسم تصميم الهندسة في جامعة إيرلانغن - نورنبرغ.

ويناقش الخبراء ظهور المنتجات المستدامة، وتوقعات المستهلكين المتغيرة عالمياً، والتطورات المستقبلية في تصميم المنتجات الدائرية من منظور عملي. تُمَّ يقدِّم القسم الرابع لمحة عامّة عن التحديات المستقبلية للتصميم الدائري، قبل أن يختتم القسم الخامس بربط انتقالي إلى القسم السادس، «تحويل سلاسل القيمة من أجل الاستدامة».

5.2 مسارات نحو التصميم الدائري:

لقد أدّى الاقتصاد الخطي إلى تفاقم عديدٍ من التحديات البيئية الرّاهنة، بما في ذلك استنزاف الموارد الطبيعية، وفقدان التنوع البيولوجي والاحتباس الحراري (روكستروم وآخرون، 2009). فعلى سبيل المثال، يسهم استخراج المواد الخام ومعالجتها بنسبة 90% في فقدان التنوع البيولوجي العالمي، وبنسبة 50% في انبعاثات غازات الدفيئة⁽¹⁾.

وقد فرضت هذه التحديات البيئية ضغوطاً كبيرة على مديري الشركات المصنعة، فالتغير المناخي ونُدرة الموارد، تحديداً، يجعلان الشركات المصنعة في مواجهة ضغوط متزايدة للتكيف مع اللوائح البيئية الجديدة وتقلبات أسعار الموارد ومخاطر سلاسل التوريد⁽²⁾. ومن ضمن الاقتراحات التي قدمتها المفوضية الأوروبية في عام 2020، توجد خطة عمل للاقتصاد الدائري، تسعى إلى تحسين تصميم المنتجات والحفاظ على قيمة المواد والمنتجات وتقليل النفايات (المفوضية الأوروبية، 2022a). ونتيجة لذلك، يتعين على الشركات المصنعة الآن إعادة النظر

(1) الهيئة الدولية للموارد الطبيعية، 2019، ص 8.

(2) جيب هارت وآخرون، 2022؛ ليدر ورشيد، 2016.

في مقارباتها التقليدية القائمة على نموذج (الأخذ - التصنيع - التخلص) (جيسدورفير وآخرون، 2017).

تكشف دراسة متعمقة لصناعة السيارات أنَّ 14% من الانبعاثات العالمية لغازات الدفيئة تُعزى إلى قطاع النقل، وهي نسبة في ازدياد مستمر (برايس ووترهاوس كوبرز، 2007). ويرجع ذلك إلى سببين رئيسين: أولاً، تشير التقديرات الحالية إلى أنَّ الأسطول العالمي للمركبات سيتضاعف ثلاث مرات بحلول عام 2050 مقارنة بعام 2000. ثانياً، هذا الأسطول آخذ في التقدم في العمر، خاصة في الدول النامية، مما يجعله غير ممثل للأنظمة الأكثر صرامة الخاصة بالانبعاثات (ماماليس وآخرون، 2013).

ول معالجة الأثر البيئي للصناعة، تحتاج الشركات إلى الامتثال للأنظمة البيئية المتزايدة. فعلى سبيل المثال، من المتوقع أن يدخل تنظيم البطاريات الجديد للاتحاد الأوروبي حيز التنفيذ في عام 2023، حيث سيضع لأول مرة قواعد تغطي دورة حياة المنتج بالكامل من حيث «الإنتاج وإعادة التدوير وإعادة الاستخدام» (المفوضية الأوروبية، 2022b).

وفيما يتعلق بالإنتاج، سيتوجب وضع علامات على البطاريات القابلة لإعادة الشحن المستخدمة في المركبات الكهربائية للإفصاح عن بصمتها الكربونية. بالإضافة إلى ذلك، سيتعين على الجهات الفاعلة في سلسلة القيمة (باستثناء الشركات الصغيرة والمتوسطة) الإفصاح عن أن المواد الخام قد تُحصَّلَ عليها بمسؤولية من الناحيتين الاجتماعية والبيئية جزءاً من سياسة العناية الواجبة. وأخيراً، فإن جواز السفر الرقمي الجديد للبطاريات، إلى جانب معايير أكثر صرامة لجمع وإعادة تدوير البطاريات، سيسهم في تعزيز جهود إعادة الاستخدام وإعادة التدوير (البرلمان الأوروبي، 2023).

ومثال آخر، كشفت مفوضية الاتحاد الأوروبي أخيراً عن خططها لمراجعة توجيه المركبات المنتهية الصلاحية (ELV) الذي سُنَّ لأول مرة في عام 2000 (المفوضية الأوروبية، 2023). إذ يمثل هذا الإعلان تحولاً كبيراً في الأنظمة التي تحكم هذه المركبات منذ أكثر من 20 عاماً.

وتهدف المراجعة المقترحة إلى إحداث تغييرات جوهرية في كيفية جمع المركبات المنتهية الصلاحية ومعالجتها وإعادة تدويرها، وذلك بهدف التوافق مع أهداف الصفقة الخضراء الأوروبية. ومن خلال تشجيع صناعة السيارات على تبني نهج مستدام في تصميم وإنتاج السيارات، يسعى هذا المشروع إلى ضمان الاتساق مع الأهداف البيئية الأشمل للاتحاد الأوروبي.

5.2.1 نهج الاقتصاد الدائري: تحول نموذجي واعد:

يتبنى الباحثون وصناع السياسات والممارسون مفهوم الاقتصاد الدائري (CE) بوصفه نموذجاً ثورياً يحمل في طياته إمكانات هائلة (ماتري وآخرون، 2021). فهو يتيح فرصاً تجارية مبتكرة لخلق القيمة وتوفير الوظائف، مع تقليل تكاليف المواد وتقلبات الأسعار (كالميكوفا وآخرون، 2018). وعلاوة على ذلك، يمكن للإستراتيجيات الدائرية أن تعزز أمن الموارد (شتاهل، 2016) وتخفف انبعاثات الغازات الدفيئة العالمية بنسبة تصل إلى 63% بحلول عام 2050 (دائرة الاقتصاد، 2019).

وعلى الرغم من أن مفهوم الاقتصاد الدائري قد طُرح للمرة الأولى من طرف بيرس وتيرنر (1990)، فقد استخدماه لوصف العلاقة التفاعلية بين الاقتصاد والطبيعة، حيث تمثل الطبيعة مصدراً للمدخلات اللازمة للإنتاج، ومستودعاً للمخلفات (جيسدورفر وآخرون، 2017). ويختلف

هذا التصور عن الفهم المعاصر الذي يركز على إطالة عمر الموارد (بلومسما وبرينان، 2017).

أما التعريف الأكثر شيوعاً للاقتصاد الدائري في الوقت الحالي، فقد قدمته مؤسسة إلين ماك آرثر (كيرشير وآخرون، 2017)، حيث تصف الاقتصاد الدائري بأنه «نظام صناعي يتسم بالتجدد والاستدامة في جوهره وتصميمه [...] فهو يستبدل مفهوم نهاية العمر الافتراضي بالتجديد، ويتجه نحو استخدام الطاقة المتجددة، ويتجنب استخدام المواد الكيميائية السامة التي تعرقل إعادة الاستخدام، ويهدف إلى القضاء على النفايات من خلال التصميم المبتكر للمواد والمنتجات والأنظمة، بما في ذلك نماذج الأعمال»⁽¹⁾.

ويبرز هذا التعريف أهمية التصميم المحوري في الاقتصاد الدائري، حيث يُنظر إلى دورة حياة المنتج بأكملها، بدءاً من التصميم وحتى إدارة نهاية العمر الافتراضي (فاروكي وآخرون، 2019). ويوضح كيف يتأثر فهم الاقتصاد الدائري بعلم البيئة الصناعية (غرادل وألينبي، 1995) وفلسفة «من المهد إلى المهد» (ماكدونو وبرونغارت، 2003).

تُرسّخ فلسفة «من المهد إلى المهد» مفهوم الدورات المتكاملة، حيث تُميز بين دورتين منفصلتين؛ الدورة البيولوجية والدورة التقنية. ففي الدورة البيولوجية، تُعيد المواد القابلة للتحلل المغذيات إلى الطبيعة بعد استخدامها، مما يضمن تجدد الموارد الطبيعية. أما في الدورة التقنية، فتتدفق المنتجات والمواد داخل أنظمة صناعية مغلقة، وذلك من خلال عمليات حيوية مثل إعادة الاستخدام والإصلاح وإعادة التصنيع وإعادة التدوير. ونتيجة لذلك، يتلاشى مفهوم النفايات تماماً، إذ تتحول كل مادة إلى مورد جديد. وتُجسد مؤسسة إلين ماك آرثر هذا النهج من خلال مخطط الفراشة الشهير (مؤسسة إلين ماك آرثر، 2019).

(1) مؤسسة إلين ماك آرثر، 2013، ص 7.

ومن ثم، تتكامل الموارد الصحية والمتجددة مع العمليات التقنية المتقدمة في هذا النظام المغلق، وذلك للحفاظ على قيمة المنتجات والمواد على مر الزمن. وتستند هذه الرؤية إلى ثلاثة مبادئ أساسية تُوجه مسار الاقتصاد الدائري: أولاً، الحفاظ على رأس المال الطبيعي وتعزيزه، ثانياً، تحقيق أقصى استفادة من الموارد، وثالثاً، الارتقاء بكفاءة النظام برمته (مؤسسة إلين ماك آرثر، 2015).

5.2.2 أطر مختلفة لتفعيل الاقتصاد الدائري: الإبطاء والإغلاق والتطبيق وإستراتيجيات R:

تُعد الشركات الصناعية محورية لتطبيق الاقتصاد الدائري، وذلك استناداً إلى قدرتها على فصل خلق القيمة عن استخدام الموارد (بلومسما وآخرون، 2019). وهذا يمكنها تحسين استخدام المنتجات، وإطالة عمر المنتج، وإغلاق تدفقات المواد، من بين أمور أخرى، من خلال إستراتيجيات دائرية مختلفة (بوكين وآخرون، 2016؛ بوتينغ وآخرون، 2017).

توجد مجموعة متنوعة من الأطر لتفعيل مبادئ الاقتصاد الدائري للشركات الصناعية، حيث يصف بوكين وآخرون (2016) ثلاث إستراتيجيات لتصميم المنتجات، وهي إبطاء حلقات الموارد (متانة المنتج وخدمات إطالة العمر) وإغلاق حلقات الموارد (إعادة التدوير) وتضييق تدفقات الموارد (كفاءة الموارد) لإدارة تدفقات المواد والمنتجات بمرور الوقت. ويعمل جيسدورفر وآخرون (2018) على توسيع هذه الإستراتيجيات لتشمل تكتيف حلقات الموارد (زيادة استخدام المنتج)، وإزالة الطابع المادي عن حلقات الموارد (استبدال فائدة المنتج بالخدمات وحلول البرمجيات).

بينما يميز بعض الباحثين بين إستراتيجيات «R» الثلاث الأساسية، وهي التقليل (Reduce)، وإعادة الاستخدام (Reuse)، وإعادة التدوير (Recycle) (جيزيليني وآخرون، 2016؛ ريكي وآخرون، 2018)، ويقدم آخرون قائمة أكثر شمولاً تصل إلى عشر إستراتيجيات مختلفة (بوتينغ وآخرون، 2017). إذ يكمن الاختلاف الرئيسي بين النهجين في أن الأول يركز على تدفقات المواد، بينما يعتمد الثاني على منظور نظامي أوسع يشمل، على سبيل المثال، إعادة التفكير في استخدام المنتجات (ستمبرف وباومغارتنر، 2022).

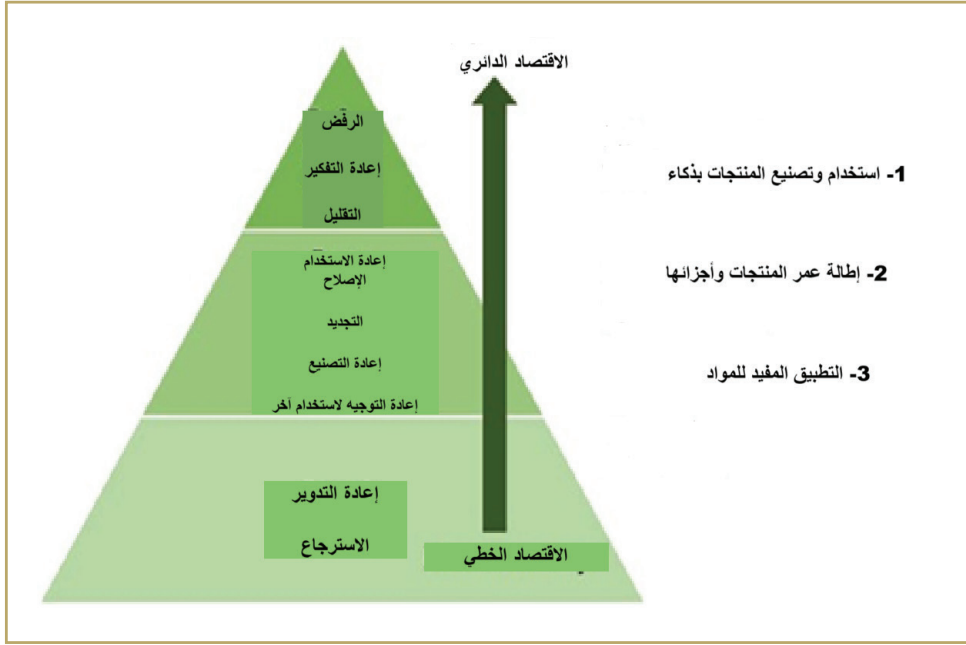
وتشارك جميع أطر إستراتيجيات «R» في اعتماد تسلسل هرمي يُصنف هذه الإستراتيجيات بناءً على قدرتها على الحفاظ على القيمة كيرشير وآخرون، 2017؛ ريكي وآخرون، 2018).

ففي أسفل الهرم، تقع الإستراتيجيات التي تهدف إلى الاستخدام الأمثل للمواد، على حين تحتل الإستراتيجيات التي تُعنى بإطالة عمر المنتج أو مكوناته المستوى المتوسط، أما في القمة فتتربع الإستراتيجيات التي تركز على الإنتاج والاستخدام الذكي (ستمبرف وباومغارتنر، 2022).

ويوضح الشكل 5.1 إستراتيجيات «R» العشر الشاملة وفقاً لبوتينغ وآخرون (2017)، بناءً على تصور ستمبرف وباومغارتنر (2022)، ويمكن تفسيرها على النحو التالي: إستراتيجية الاسترداد؛ تشير إلى استعادة الطاقة من المواد. إعادة التدوير، وتصنف معالجة المواد للحصول على منتجات بالجودة نفسها أو بجودة أقل، مما يعني أن هذه الإستراتيجيات تركز على مستوى المادة وتشكل المجموعة الثالثة ذات الأولوية الأدنى في الاقتصاد الدائري.

أما الإستراتيجيات التي تهدف إلى إطالة عمر المنتج أو مكوناته فتشمل إعادة التوظيف، وتصنف استخدام المنتجات أو المكونات لأداء

وظائف مختلفة عن تلك التي صُممت من أجلها. ويُصنّف كل من إعادة التجديد (أي استعادة المنتجات القديمة وتحديثها) وإعادة التصنيع (أي استخدام مكونات المنتجات المهملة في منتج جديد يؤدي نفس الوظيفة) ضمن إستراتيجيات إطالة عمر المنتجات.



الشكل 5.1. إستراتيجيات R-إستراتيجيات زيادة التعميم (رسم توضيحي خاص يستند إلى بوتنغ وآخرين. (2017، ص 5) وستامف وبومغارتنر (2022، ص 6)

وأخيراً، تكمل إصلاح المنتجات المعيبة وإعادة استخدام المنتجات المعطلة في حالة جيدة هذه المجموعة. إذ تتضمن المجموعة العليا الخاصة بالاستخدام والتصنيع الأذكى للمنتجات مبدأ التقليل والذي يعني زيادة الكفاءة في عملية التصنيع أو استخدام المنتج. كما أن إعادة التفكير التي تصف تكثيف استخدام المنتج، والرفض الذي يعني جعل المنتج غير ضروري إما بالتخلي عن وظيفته أو تقديم نفس الوظيفة من خلال منتج مختلف جذرياً، يعتمدان على ابتكار نماذج الأعمال.

5.2.3 ثلاث نتائج مترتبة على التصميم:

يتطلب تنفيذ إستراتيجيات R المختلفة ثلاث نتائج مترتبة على التصميم، وهي: تغيير في تصميم المنتج، وتغيير في تصميم الخدمة، وتغيير في سلوك المستخدم. يجب تصميم المنتجات بحيث تتبنى الإستراتيجيات الدائرية (باكر وآخرون، 2014). ومع ذلك، فإن المنتجات الدائرية لا تحقق إمكاناتها الكاملة إذا انتهى بها الأمر في درج أو مكب نفايات.

ولهذا السبب، بالإضافة إلى تغيير تصميم المنتج، يحتاج المصنعون إلى تصميم عروض خدمات جديدة تشمل إعادة الاستخدام والإصلاح والتجديد وإعادة التصنيع، وإعادة التوجيه لاستخدام آخر، و/أو إعادة التدوير (ريفيلو، 2022). ويجب أن تكون هذه الخدمات جذابة للمستخدم لضمان الاستفادة الفعلية منها (أميند وآخرون، 2022)؛ مما يؤكد على دور المستخدم وسلوكه. إذ ترتبط هذه المستويات الثلاثة ببعضها البعض، وقد تحدث مقايضات بين هذه المستويات أو داخل كل منها عند السعي إلى تصميم دائري.

5.2.3.1 النتيجة الأولى: تغيير في تصميم المنتج:

يوجّه مبدأ القصور الذاتي التصميم الدائري وفقاً لتسلسل إستراتيجيات R: «لا تصلح ما لم يتعطل، لا تعد تصنيع شيء يمكن إصلاحه، لا تعد تدوير منتج يمكن إعادة تصنيعه. [...] استبدل أو عالج فقط الجزء الأصغر الممكن للحفاظ على القيمة الاقتصادية القائمة للنظام التقني»⁽¹⁾. إذ يشير هذا إلى تصميم المنتجات بحيث تكون قابلة لإعادة الدوران، ومتينة، وفعالة (بوير وآخرون، 2021).

(1) شتاهل، 2010، ص 195.

أما على مستوى المنتج، هناك عنصران أساسيان في بُعد التصميم الخاص بإعادة الدوران (بوير وآخرون، 2021). أولاً، زيادة نسبة المواد المعاد تدويرها في المنتج (أي المواد المدخلة التي تأتي من منتجات مستخدمة سابقاً) (ليندر وآخرون، 2017)، ويُشار إلى هذا أحياناً على أنه تصميم لتقليل التأثير المتجسد أثناء الإنتاج (تيكيو وآخرون، 2017). وهذه الإستراتيجية تنتمي إلى الفئة الثالثة من إستراتيجيات إعادة التدوير.

ثانياً، نسبة المخرجات المعاد تدويرها، أي مقدار المنتج الذي يُعاد تدويره في نهاية عمره الوظيفي (بوير وآخرون، 2021). في هذا السياق، يكون تصميم المنتجات وفقاً للدورة التكنولوجية، والدورة البيولوجية، والتفكيك وإعادة التجميع ذا أهمية كبيرة (بوكين وآخرون، 2016). وبالتالي، إلى جانب إستراتيجيات الاسترجاع وإعادة التدوير، فإن إستراتيجيات التجديد، وإعادة التصنيع، وإعادة التوجيه لاستخدام آخر ضرورية لتحقيق إعادة دوران فعالة؛ حيث تضمن تقليل النفايات المتبقية في نهاية العمر الوظيفي (تيكيو وآخرون، 2017).

مثال على التصميم الدائري سيارة (أي فيجن سيركولار) من بي إن دبليو، والتي صُنِّعت إلى أقصى حد ممكن من مواد ثانوية، وهي 100% قابلة لإعادة التدوير في نهاية عمرها (مجموعة بي إن دبليو، 2021). وعلاوة على ذلك، استُخدِمت الموصلات والبراغي بدلاً من اللحام في مناطق التقاء المواد؛ لتسهيل عملية التفكيك.

إن إمكانات إعادة التدوير وتأثيرها في تقليل الكربون واعدة؛ حيث تعمل الشراكة بين بي إن دبليو والشركات المحلية لإعادة التدوير في الصين على استعادة عدة مواد، مثل النيكل والليثيوم والكوبالت، من البطاريات عالية الجهد المستهلكة وإعادتها إلى دورة إنتاج البطاريات (مجموعة بي إن دبليو، 2022). ووفقاً لبي إن دبليو، يمكن لهذه

العملية توفير ما يصل إلى 70% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنةً باستخدام المواد الخام الجديدة.

يُعدُّ تحمل المنتج بُعدًا أساسيًا في عملية التصميم، إذ يشير إلى قدرته على الحفاظ على قيمته بمرور الوقت (بوير وآخرون، 2021). ويتطلب ذلك تصميم منتجات ذات عمر افتراضي طويل، مع التركيز على الموثوقية والمتانة، وتعزيز الارتباط والثقة لدى المستخدمين.

ومن ناحية أخرى، يجب أن يضمن تصميم المنتج الاستخدام الممتد من خلال تصاميم الصيانة والإصلاح والتصميم للترقية والتكيف والتصميم للتوحيد والتوافق (بوكين وآخرون، 2016؛ دن هولندر وآخرون، 2017). ويُعدُّ التصميم للوحدات القابلة للفصل عنصرًا محوريًا؛ حيث يسمح بفصل الوحدات التي تحتوي على أجزاء تقنية ذات قيمة عن تلك التي لا تحتوي عليها (كريكي وآخرون، 2004).

وبالمثل، فإنه يسهل استخدام كتيبات الإرشاد لإصلاح المنتج ذاتيًا (أمند وآخرون، 2022). فمن هنا، نجد أن تحمل المنتج يتصل جوهريًا بإستراتيجيات الإصلاح التي تتضمن تصميم المنتجات لإطالة عمرها الافتراضي وإعادة تصور التصميم لإنتاج منتجات ذات متانة أطول.

يستند تصميم المنتجات الذي يسعى إلى تحقيق كفاءة المواد والموارد خلال الاستخدام إلى مبادئ التصميم البيئي، وهو بذلك يتجاوز مفهوم الاقتصاد الدائري (تيكيو وآخرون، 2017). ويتبنى هذا النوع من التصميم إستراتيجية (التقليل) ضمن مجموعة الإستراتيجيات الأساسية. ويتجلى التصميم البيئي الفعال في صناعة السيارات من خلال التصميم خفيف الوزن الذي يُقلل الوزن الإجمالي للمركبة ويُحسن كفاءة استهلاك الوقود. فعلى سبيل المثال، استخدم مصممو سيارة BMW i3 الكهربائية بالكامل هيكلًا مصنوعًا من البلاستيك المدعّم بألياف

الكربون، مما أدى إلى خفض الوزن بنسبة 50% مقارنةً بالهياكل الفولاذية التقليدية (زانج وشو، 2022). بيد أن هذه المادة، ورغم مساهمتها في تعزيز الكفاءة أثناء الاستخدام بانخفاض الوزن، تُشكّل عائقًا أمام إعادة التدوير في نهاية العمر الافتراضي نظرًا لتداخل مكوناتها من البلاستيك وألياف الكربون.

إضافة إلى ذلك، فإنها قد تُسهم في زيادة الانبعاثات في مرحلة الإنتاج التي تتطلب استهلاكًا كبيرًا للطاقة، ما لم تعتمد عمليات الإنتاج على الطاقة المتجددة، كما هو الحال في بي إم دبليو. ويُظهر هذا المثال المفاضلات التي قد تظهر في التصميم الدائري، سواء على مستوى المنتج أو بين مراحل دورة حياته.

يقدم دليل التصميم الدائري، الذي أُعدّ بالتعاون بين مؤسسة إلين ماك آرثر وشركة (IDEO) العالمية للتصميم والابتكار، مجموعة من الأساليب والأدوات التي تساعد المصممين على تطبيق التفكير التصميمي ومبادئ التصميم الدائري (مؤسسة إلين ماك آرثر، 2017).

وفيما يتعلق بقياس دائرية المنتجات، استعرض ليندر وآخرون (2017) طيفًا متنوعًا من المقاييس، من بينها مؤشر دائرية المواد (MCI) التابع لمؤسسة إلين ماك آرثر، وإطار شهادة «من المهد إلى المهد» (C2C) الصادر عن معهد ابتكار منتجات «من المهد إلى المهد»، إضافة إلى مقياس دائرية المنتجات القائم على تقييم دورة الحياة (شيبينز وآخرون، 2016).

ومع ذلك، ما يزال توافر البيانات اللازمة لتقييم الأثر يمثل تحديًا رئيسيًا، الأمر الذي يبرز الحاجة إلى توجيه البحث نحو تطوير أدوات قياس أكثر سهولة في الوصول، وأقل تحيزًا، وميسرة الاستخدام (بوير وآخرون، 2021).

5.2.3.2 الأثر الثاني: التغيير في تصميم الخدمة

أنظمة خدمة المنتجات (PSSs) هي نوع من نماذج الأعمال التي تدمج بين المنتجات الملموسة والخدمات غير الملموسة في حزمة حلول تهدف إلى تلبية احتياجات العملاء بفاعلية أفضل (موننت، 2002). وبالاعتماد على تزايد الخدمات، تتحول هذه الأنظمة تدريجيًا من تركيزها على المنتجات إلى تقديم الخدمات، وإتاحة الوصول إلى المنتجات، وتحسين الأداء (توكر، 2004). ومن الأمثلة على هذه الأنظمة مشاركة المنتجات، مثل مشاركة السيارات أو مشاركة الأجهزة المنزلية (بريسانيلي وآخرون، 2018).

إذ يُعد هذا التحول نحو أنظمة خدمة المنتجات أمرًا مهمًا من منظور اقتصادي وبيئي (توكر، 2015)، حيث إن منطق التصميم لهذه الأنظمة يشجع على الاحتفاظ بملكية المنتجات، مما يتيح تقييم التكلفة الإجمالية للملكية والتصميم لتعزيز الدائرية (تيتزي وهانسن، 2017). وبذلك، تُعد أنظمة خدمة المنتجات وسيلة لتحقيق اللامادية؛ حيث تمهد الطريق إلى اقتصاد أكثر انغلاقًا وكفاءة في استخدام الموارد وصديقًا للمناخ (يانغ وإيفانز، 2019).

يؤدي استخدام أنظمة خدمة المنتجات إلى تأثيرين رئيسيين على تصميم الخدمات. أولاً، تحتاج الشركات المصنعة إلى تصميم خدمات إضافية أو تشكيل شراكات لتقديم خدمات من شأنها إطالة عمر المنتجات وإغلاق دورات الموارد. وتشمل هذه الخدمات الصيانة والإصلاح والترقية والتحديثات وإدارة الاسترجاع وعمليات معالجة النفايات (لوديكي-فرونند وآخرون، 2019).

يجب تصميم هذه الخدمات من منظور يركز على المستهلك. فعلى سبيل المثال، يجب تضمين الخدمات الدائرية في عقود الخدمة (أمنند

وآخرون، 2022)، حيث يتوقع المستخدمون أن تتحمل الشركات المصنعة هذه التكاليف (موجي وآخرون، 2005). ومن بين الأمثلة البارزة على هذه الخدمات في قطاع السيارات، مصانع إعادة التصنيع التابعة لشركة رينو في فرنسا وإسبانيا والتي تعمل على تجديد المركبات المستعملة، وإعادة تصنيع الأجزاء الفردية، وإصلاح البطاريات، وتوفير تطبيقات جديدة لها في دورة حياة ثانية (مجموعة رينو، 2020).

يكن المتطلب الثاني في تطوير الشركات المصنعة لنماذج أعمال جديدة لأنظمة خدمات المنتجات، بحيث تركز على الاستخدام الأمثل للمنتجات (التقليل وإعادة التفكير)، مثل مشاركة المنتجات (بريسانيلي وآخرون، 2018). وتعتمد هذه الأنظمة على ملكية مقدم الخدمة للمنتج، مما يجعله مسؤولاً عن الصيانة والإصلاح، مع إتاحة الوصول للمستخدمين مقابل رسوم استخدام (توكر، 2004).

تهدف النماذج إلى رفع معدلات الاستخدام، وتقاس بمدى تكرار الاستخدام (بوير وآخرون، 2021). ويظل تأثيرها في تحقيق الدائرية مرتبطاً بتغيير سلوك المستخدمين (توكر، 2015). إذ يتجلى ذلك في مساهمة نماذج مشاركة السيارات في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والتي تتوقف على استبدال السيارات الخاصة بنظام المشاركة (هاريس وآخرون، 2021).

أظهرت الأبحاث عدم تحقق هذا الهدف بعد بسبب تأثيرات الارتداد. وتوصلت شركة بي إم دبليو إلى اعتماد الفوائد البيئية على دمج خدمات مشاركة السيارات في أنظمة النقل الحضري، ومن ثم تختلف التأثيرات الإيجابية للتنقل حسب الطلب من مدينة لأخرى، وتتوقف على تخطيط نقل مبتكر وشامل.

لذا، يعد استبدال السيارات الخاصة بالسيارات الكهربائية التي

تعمل بالطاقة المتجددة الحل الأكثر فعالية لتقليل الانبعاثات. ويمثل تغيير سلوك المستخدمين العامل الأساسي لتحقيق تأثير دائري إيجابي لنماذج الأعمال الخدمية.

5.2.3.3 الأثر الثالث: تحول في سلوك المستخدم

لم يحظَ دور المستهلك في الاقتصاد الدائري (CE) بالاهتمام الأكاديمي الكافي. ومع ذلك، وكما هو الحال مع المنتجات والخدمات، يجب أن يتحول سلوك المستخدم من النمط الخطي إلى النمط الدائري (سلفيفورس وآخرون، 2019). يضطلع المستهلكون بثلاثة أدوار رئيسة (شيفتسينكو وآخرون، 2023): أولاً، اختيار وشراء منتجات أو خدمات ذات توجه دائري بدلاً من البدائل التقليدية. ثانياً، عدم الاكتفاء باستخدام المنتج، بل صيانتته وتحديثه. وأخيراً، التخلص من المنتج عبر قنوات مناسبة لإعادة الاستخدام أو التصنيع أو التدوير.

ويوضح سلفيفورس وآخرون (2019) هذه المراحل الثلاث من منظور المستخدم، مع التركيز على تبادل المنتجات بين المستخدمين من خلال الحصول على المنتج (الشراء أو تداول أو تلقي المنتجات كهدايا أو الاستئجار أو الاشتراك أو تأجير أو الاستخدام المشترك)، ثم استخدام المنتج (الاستعمال والتعديل والإصلاح وإعادة التوظيف والتخزين)، وأخيراً التخلي عن المنتج (الإهداء أو التداول أو البيع أو إعادة المنتج إلى المزود أو إنهاء عقد الإيجار أو الاشتراك أو إعادة المنتجات المستعارة أو المؤجرة أو إنهاء الاستخدام المشترك).

ووفقاً لهذا النهج، استخلص المؤلفون مبادئ تصميم تتمحور حول المستخدم، تشمل التصميم للاستخدام المطول والتصميم لما قبل الاستخدام وما بعده والتصميم للتبادل والتصميم لدورات استخدام متعددة (سلفيفورس وآخرون، 2019).

تؤكد الدراسات الدور المتغير للمستهلك، الذي يغدو بمثابة حارس للمنتج في إطار الاقتصاد الدائري (روجرز وآخرون، 2021). ويتقاطع هذا التصور مع مفاهيم مثل «المستهلك المنتج» (كوهتالا، 2015) و«المستخدم المنتج» (شتاهل، 2019)، والتي تشير إلى إسهام المستخدمين في إنشاء المنتجات أو إطالة عمرها. ومع ذلك، تظهر الأدلة وجود فجوة واضحة بين السلوك المعلن والسلوك الفعلي. فعلى سبيل المثال، عبّر 77% من المشاركين الأوروبيين عن رغبتهم في إصلاح المنتجات، في حين لم يسع سوى 45% منهم إلى البحث عن معلومات تتعلق بإمكانية الإصلاح (باراجولي وآخرون، 2020).

وبناءً على ذلك، يُعد تصميم تدخلات لتغيير السلوك أو توجيهه عنصراً محورياً في تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري (واستلنج وآخرون، 2018). ويتطلب ذلك فهم العوامل الداخلية، مثل المعرفة والدوافع والعادات والقيم، إلى جانب العوامل الخارجية، كالمعايير الاجتماعية والحوافز المالية والقيود التحتية، التي تؤثر في السلوك البشري (باراجولي وآخرون، 2020).

تُعد السيارات مثلاً لمنتجات تتمتع بعمر تشغيلي طويل، مدعوماً بسوق نشطة للسيارات المستعملة وإمكانية إصلاحها على نطاق واسع. يقتضي هذا التحول السلوكي توفير خدمتين أساسيتين: الخدمة الأولى هي الدعم التشغيلي، الذي يعمل على مساعدة المستخدم في استخدام المنتج بكفاءة واستدامة، ويشمل ذلك التدريب ومراقبة الأداء (كياير وآخرون، 2019). ويتضح ذلك في كتيبات الإصلاح المصممة جيداً في إطالة عمر المنتج من خلال تمكين المستخدمين من إصلاح المنتج بأنفسهم عند حدوث عطل (أميند وآخرون، 2022). ومن ثم، يوفر الدعم التشغيلي المعرفة الضرورية لتحقيق ذلك.

يوفر الدعم التشغيلي المعرفة والتثقيف اللازمين لاستخدام المنتج بكفاءة. أما الدعم السلوكي، فيحفّز المستخدمين على التصرف بسلوك

مستدام، متغلبًا بذلك على التحديات التحفيزية من خلال تحديد الأهداف وتحقيقها (رييس وآخرون، 2023). ويمكن تحقيق ذلك من خلال تقديم الملاحظات الإيجابية، والتلعيب (مثل تقييمات القابلية للإصلاح) والحوافز المالية أو من خلال مجتمع داعم (بوفيا وآخرون، فالنسيا وآخرون، 2015).

وإلى جانب تعزيز السلوك الدائري، تبرز أهمية تصميم المنتجات والخدمات على نحو يحدّ من الممارسات السلبية للمستخدمين، لما قد تسببه هذه الممارسات من تآكل سريع وتقليص في العمر التشغيلي للمنتج (بريسانيلي وآخرون، 2018). فعلى سبيل المثال، قد يؤدي سوء استخدام المنتجات إلى ارتفاع تكاليف الصيانة التي يتحملها المزود، خاصّة في نماذج الأعمال القائمة على الأداء (ريم وآخرون، 2018).

ويتضح من العلاقة بين منطق التسعير وسلوك المستخدم أن فهم الكيفية التي تحفّز بها إستراتيجيات التسعير أنماطًا سلوكية محددة أمرٌ ضروري (رييس وآخرون، 2023). فعلى سبيل المثال، قد يؤدي تسعير خدمات مشاركة السيارات على أساس دقائق القيادة بدلًا من المسافة المقطوعة إلى تشجيع القيادة السريعة، الأمر الذي قد يهدد السلامة. ويبرز من ذلك أن التصميم الملائم لعقود الخدمة وإستراتيجيات التسعير في العروض الخدمية يُعد عنصرًا أساسيًا لتحقيق السلوك الدائري المنشود.

5.2.4 تحديات التنفيذ:

على الرغم من الاهتمام المتزايد بمفهوم الاقتصاد الدائري، ما زالت شركات عديدة تواجه صعوبات في تطبيق إستراتيجياته على أرض الواقع (ليدر وراشد، 2016)، ويتجلى ذلك تحديدًا في قطاع التصنيع

(لوبيز دي سوزا جابور وآخرون، 2018). ففي عام 2020، لم تتجاوز نسبة الاقتصاد العالمي الموجهة نحو النموذج الدائري 8.6% (سيركل إيكونومي، 2019، ص. 8)، مما يستدعي تسليط الضوء على حجم التحديات القائمة.

يُعد تبني منظور شبكة القيمة المتكاملة أحد أبرز التحديات، حيث يتطلب بناء وتعزيز علاقات وثيقة مع مختلف الأطراف الفاعلة في سلسلة التوريد، بالإضافة إلى العملاء وشركاء الخدمات (سينتوبيلي وآخرون، 2020). ويهدف هذا التعاون إلى توفير قيمة مضافة من خلال خدمات مبتكرة وحلول متكاملة للمنتجات والخدمات (بارييرو-جين ولوزانو، 2020).

وعلى الرغم من وجود نماذج أولية لهذا التكامل في قطاع السيارات الذي يشمل وكالات التأجير وورش الإصلاح وأسواق السيارات المستعملة، فإن تحقيق الاستدامة الدائرية الشاملة يستلزم مستوى أعمق من التعاون، وهو ما سنتناوله بالتفصيل في القسم 5.3.

تتعدد العوائق التي تعرقل تبني الاقتصاد الدائري، وتشمل جوانب متنوعة. فعلى الصعيد الحكومي، يبرز نقص المعايير الواضحة كعائق رئيسي. أما اقتصاديًا، فيظل عدم اليقين بشأن ربحية إستراتيجيات الاقتصاد الدائري تحديًا قائمًا. وعلى المستوى التكنولوجي، تواجه الشركات صعوبات في تصميم منتجات متينة أو الحفاظ على متانتها. كما أن هناك قصور في المعرفة والمهارات اللازمة لتطبيق هذه الإستراتيجيات، وتحديات إدارية، مثل عدم كفاية الدعم من الإدارة العليا (جوفيندان وحسناغيتش، 2018).

تُركز جهود معظم الشركات حاليًا على الإستراتيجيات الدائرية التي تدور حول تقليل النفقات وإعادة تدويرها، سعيًا لتحقيق فوائد

بيئية واقتصادية متكاملة. ومع ذلك، غالباً ما يجري تطبيق هذه الإستراتيجيات على نحو منفرد مما يغفل التنوع الغني للإستراتيجيات الدائرية، وأهمية تبني نهج شامل يركز على النظام البيئي (بارييرو-جين ولوزانو، 2020).

ونتيجة لذلك، فإن تحقيق التنفيذ الشامل للإستراتيجيات الدائرية لا يقتصر على تصميم المنتجات المبتكر (كورهنين وآخرون، 2018) والتقدم التكنولوجي (سوتشيك وآخرون، 2021) فحسب، بل يستلزم أيضاً تضافر جهود شبكة واسعة من أصحاب المصلحة (إيفانز وآخرون، 2017) وتبني ثقافة التعلم المستمر (بوكين وآخرون، 2018).

يتصل ما سبق أيضاً بتحديد النطاق المفاهيمي للاقتصاد الدائري، فهناك من يرى فيه عملية تشغيلية تتبناها الشركات لتحقيق أهداف التنمية المستدامة (جيزيليني وآخرون، 2016؛ موراى وآخرون، 2017)، بينما يراه آخرون مجرد نموذج من نماذج الأعمال المستدامة (ألود وآخرون، 2012؛ بوكين وآخرون، 2014).

يُركز الاقتصاد الدائري في نطاقه الضيق على إيجاد حلول تحقق هدفين رئيسيين: تقليل الأثر البيئي (عبر كفاءة استخدام الموارد وتقليل النفايات)، وتعزيز القيمة الاقتصادية (من خلال زيادة قيمة العميل وتحقيق النمو). غير أن الاقتصاد على هذين البعدين، البيئي والاقتصادي، يتجاهل البعد الاجتماعي الأساسي من أبعاد الاستدامة الثلاثة (بيروني وآخرون، 2019).

وعليه، فإن نماذج الأعمال الدائرية التي تتبنى هذا المفهوم الضيق قد لا تكون مستدامة بالضرورة على المدى الطويل. ولكي يتمكن الاقتصاد الدائري من المساهمة الفعالة في تحقيق التنمية المستدامة، يجب أن يتجاوز نطاقه «إعادة التدوير ذات الأجل القصير والمكاسب الاقتصادية

المحدودة نحو اقتصاد تحويلي ينظم الوصول إلى الموارد بهدف الحفاظ على الرفاه الاجتماعي أو تحسينه، وضمان جودة البيئة»⁽¹⁾.

5.3 محادثة خبراء حول الاستدامة في تطوير المنتجات

لماذا تولي بي إم دبليو الاستدامة أهمية قصوى؟

زيبسه: ربما يكون العاملُ الأبرز في قرارات الشراء هو قوة العلامة التجارية، حيث نؤكد في بي إم دبليو على أنَّ بناء علامة تجارية راسخة أمر جوهري - علامة تجارية ترسخ في الأذهان صورة الابتكار- وذلك لأنَّ العالم بات يربط الابتكار بالاستدامة ارتباطاً وثيقاً. ونحن على قناعة تامة بأنَّ أغلب حلول المنتجات المستدامة تنبثق من صميم الابتكار. ولهذا، فإنَّ التأثير الأهم للاستدامة بالنسبة لنا يتجلى في تعزيز مكانة علامتنا التجارية وصورتها المبتكرة.

وارتزاك: وماذا يعني هذا التوجه بالنسبة لتصميم المنتجات لدينا؟

زيبسه: يرتبط الأمر بتشكيل صورة مميّزة للعلامة التجارية تحافظ على جاذبيتها لدى العملاء الحاليين، وتستقطب عملاء المستقبل. وقد جعلنا الاستدامة أحد المحاور الرئيسية في عملية تطوير منتجاتنا، لأنَّ المصادقية في هذا المجال تتطلب ترجمة الالتزامات المعلنة إلى تطبيقات فعلية. فالتحدث عن الطموحات والأهداف المستقبلية لا يكفي ما لم تنعكس هذه الرؤى في المنتجات ذاتها. إذ يستطيع المستخدمون اختبار المنتج ولمسه وتجربته عملياً، الأمر الذي يعزّز ثقة الجمهور في استراتيجية المنتجات عندما يرونها متجسدة على أرض الواقع.

(1) فيليننتورف وپرنيل، 2021، ص: 1453.

ما فئة عملائكم؟

وارتزاك: في مجال تطوير المنتجات، نركز على مفهوم «التصميم من أجل X»، حيث يمثل X جوانب حيوية مثل قابلية إعادة التدوير أو الاستدامة الشاملة أو سهولة الاستخدام أو كفاءة النقل أو سلسلة الإنتاج. ويُعد «التصميم من أجل الاستدامة» ذا أهمية قصوى، لا سيما لجيل الشباب.

نشهد حراكًا عالميًا تجسده مبادرة «أيام الجمعة من أجل المستقبل» والتوجه نحو إنتاج محايد للكربون. ومع ذلك، فإن هذه الفئة العمرية الشابة لا تمثل الشريحة النموذجية لعملاء بي إم دبليو. فما تقيمكم لهذا الأمر؟

زيبسه: نحن نخدم قاعدة عملاء متنوعة تشمل مختلف الفئات العمرية. تبدأ شريحة المشتريين الجدد لسياراتنا من حوالي 25 عامًا، ويبلغ متوسط أعمار عملائنا حوالي 50 عامًا. وعلى امتداد هذه الفئات العمرية، أصبحت الاستدامة عاملًا بالغ الأهمية في تحديد سلوك الشراء. وبعبارة أخرى، إذا لم يُنظر إلى علامتك التجارية على أنها مستدامة — خاصة إذا كانت علامة تجارية فاخرة مثل بي إم دبليو — فستجد نفسك خارج المنافسة تمامًا. ببساطة، لن تحظى بالجاذبية المطلوبة في هذا السوق مستقبلاً. فلقد أصبحت الاستدامة في صميم الحركات السياسية العالمية، ويدرك جميع أصحاب المصلحة أن الابتكار والاستدامة هما مفتاح للنجاح والتقدم.

وارتزاك: أتفق معك. عكس هذا التحول اختلافًا واضحًا في تصورات الأجيال تجاه امتلاك السيارات. فبينما ارتبطت السيارة سابقًا بالحرية الشخصية، يتعامل الجيل الأصغر معها بوصفها وسيلة تُستخدم عند الحاجة، على أن تكون متوافقة مع متطلبات الاتصال الرقمي والاعتبارات البيئية.

ما أبرز التحولات في اختيار المواد لتصميم المنتجات، من التركيز التقليدي على التكلفة والأداء الوظيفي إلى تبني منظور أكثر استدامة؟

زيبسه: عندما نتناول عملية تطوير المنتجات؛ فإنَّ جوهر الأمر يرتكز في نهاية المطاف على المواد التي تدخل في تصنيع السيارة. فكيف ترون تطور استخدام المواد في صناعة السيارات، بالانتقال من الحقبة التي كانت فيها التكلفة والوظيفة حبر الزاوية في تطوير المنتجات، نحو تبني نهج يولي الاستدامة أولوية متزايدة؟

وارتزك: يشهد مجال تصميم المنتجات بروزًا ملحوظًا لمجموعة متنوّعة من المواد المبتكرة، تشمل مواد طبيعية، كالقنب، والسيزال، والكتان. غير أنَّ هذا التوجه يواجه عديدًا من التحديات التصميمية الناجمة عن خصائص هذه المواد الجديدة. فعلى سبيل المثال، تصل مقاومة الشد القصوى لألياف الزجاج إلى حوالي 1000 ميغا باسكال، على حين لا تتعدى 250 ميغا باسكال في ألياف القنب. ونتيجة لذلك، يصبح لزامًا على مهندسي المواد ومصممي المنتجات مراعاة هذه الفروقات الجوهرية وتكييف تصاميم المنتجات بما يتناسب معها.

زيبسه: أتفهم تمامًا هذه النقطة. أعتقد أنَّ أقسام الهندسة والابتكار والتصميم لدينا تواجه تحديات مماثلة عند التعامل مع المواد الطبيعية المستجدة. إذن، السؤال الذي يطرح نفسه هو: كيف يمكن التغلب على المعوقات التصميمية المصاحبة لاستخدام هذه المواد الطبيعية؟

وارتزك: إنَّ دمج المواد الطبيعيّة في عمليّة التصميم يستلزم توافر بيانات موثوقة ودقيقة، ولعلَّ التساؤل عن سبب إجماع المهندسين غالبًا عن استخدام الخشب في التصميم يوضّح هذه النقطة؛ فالسبب الرئيسي يكمن في صعوبة التنبؤ بسلوك الخشب نظرًا لخصائصه المتغيرة وغير المنتظمة، مثل وجود العقد. ولهذا السبب تحديدًا، يشكل التصميم باستخدام المواد الطبيعية تحدّيًا حقيقيًا يواجه المصممين.

ومع ذلك، من الضروري أن نميز بين الاستخدامات المختلفة لهذه المواد. ففيما يتعلق بمكونات السيارة التي تقع ضمن مسار التحميل الرئيسي للصدمات، فإنني أرى أن الاستمرار في استخدام الفولاذ والألومنيوم هو الخيار الأمثل لما يتمتعان به من قابلية عالية لإعادة التدوير. أما للأجزاء الأخرى، مثل أنظمة الأبواب أو الحواجز الداخلية، فيمكننا الاستفادة من المواد الحيوية والمركبات الحيوية. وتجدر الإشارة إلى وجود نماذج أولية لسيارات تجريبية يتكون هيكلها الخارجي برمته من مواد مركبة حيوية. وعليه، فإنَّ المبدأ الأساسي يكمن في اختيار المادة الأكثر ملاءمة لكل جزء في التصميم.

ما الأهمية التي يكتسبها تخفيف وزن السيارات في عملية التصميم؟

زيبسه: لمسألة الوزن في تصميم السيَّارات جانبان إيجابي وسلبي. فعندما شرعنا في تصميم سيارة كهربائية قبل عقد من الزَّمن تصوَّرنا أنَّ الوزن هو العامل الحاسم. ولهذا السبب، وظفنا ألياف الكربون في الهيكل الخارجي لسيارة BMW i3، وأنشأنا منظومة توريد متكاملة حول هذه المادة، وبذلنا جهودًا مضيئة لتقليل وزن السيارة إلى أقصى حد ممكن. وما يزال تخفيف الوزن يمثل أولوية لدينا، إلا أنه في الوقت ذاته، تبرز عوامل أداء أخرى، كالديناميكا الهوائية، التي تكتسب أهمية متزايدة من منظور الاستدامة. فما هو تقييمكم لأهمية تخفيف الوزن واستخدام المواد الخفيفة في تصميم السيارات؟

وارتزاك: لا شك أنَّ تقليل الوزن من خلال الاعتماد على مواد خفيفة وعالية الجودة يظل عاملاً محوريًّا، خاصة في قطاع السيارات الفاخرة، لما له من تأثير مباشر في ديناميكيات القيادة وأدائها. وتُعد سيارة BMW i3 مثالاً بارزاً بفضل هيكلها المصنوع بالكامل من البلاستيك المقوى بألياف الكربون، والذي صُمِّمَ باستخدام أدوات تحديد أبعاد وأدوات هندسة حاسوبية مكثفة

ومتطورة. ومع ذلك، ينطوي التصميم باستخدام المواد الهجينة على فوائد عديدة. ولكن تطبيق هذا النهج يستلزم اكتساب مهارات هندسية جديدة وتبني مفاهيم مبتكرة في مجال إعادة التدوير. فالسيارة في جوهرها تشكل مزيجاً متناغماً من مواد متنوعة، تُوظَّف كل منها في الموضع الأمثل بما يتماشى مع متطلبات مسارات تحميل الصدمات والموجبات الاقتصادية.

كيف يمكننا دمج المزيد من المواد الطبيعية في صناعة السيارات؟

وارتزك: لقد تميَّز التصميم الداخلي لسيارة BMW i3 بالاعتماد الكبير على المواد الطبيعية، وهو ما يمنح المستخدم إحساساً مميزاً بالدفع عند لمس الأسطح. فهل تشكل المواد الطبيعية جزءاً أساسياً من رؤيتكم لأجيال السيارات المستقبلية؟

زيبسه: تكتسب المواد الطبيعية أهمية متزايدة، ولكننا في الوقت نفسه نستثمر في البحث وتطوير مواد طبيعية مبتكرة للمستقبل، مثل الجلود الصناعية المصنعة من مواد يمكن أن تحل محل النفط الخام في نهاية المطاف. ونهدف إلى استبدال الجلود الطبيعية في سياراتنا المستقبلية.

يلعب عامل الوزن دوراً حيوياً، فكلما انخفض وزن السيارة؛ قلَّ استهلاكها للطاقة طوال دورة حياتها. بالإضافة إلى ذلك، نلاحظ تأثيراً ثانوياً يتزايد أهمية: السيارة الأخف وزناً تتطلب كميات أقل من المواد في عملية تصنيعها. وبالنظر إلى الوضع العالمي الراهن، نجد أنَّ كفاءة استخدام الموارد هي جوهر الأمر. ففي الوقت الحالي، يستخرج البشر حوالي 100 مليار طن من المواد الخام من كوكبنا سنوياً.

وارتزك: تبدو هذه حقيقة تبعث على القلق.

زيبسه: يمكن للمرء أن يتساءل عما إذا كانت هذه الكمية مفرطة.

وربما هي كذلك بالفعل. لقد أدى هذا الوضع إلى ارتفاع مستمر في تكلفة استخراج الموارد الطبيعية من باطن الأرض. ولهذا السبب يمثل استخدام أقل قدر ممكن من المواد نهجًا ثانويًا بالغ الأهمية، نظرًا للارتفاع المطرد في أسعار المواد الخام.

لننظر إلى أسعار البلاديوم والروديوم في هذه الأيام مثلاً. وبالطبع، كان لجائحة كوفيد-19 أيضًا دورٌ في تفاقم ارتفاع أسعار المواد الخام. ولكن هناك خطر كامن؛ فالإفراط في استخدام المواد سيؤدي حتمًا إلى زيادة تكلفة الإنتاج الأساسية.

وارتباك: إذن، ما الإستراتيجية المثلى لتحقيق التوازن بين التكلفة وتقليل الوزن؟

زيبسه: نحن ملتزمون بشدة بتحقيق هدفين متوازيين: تقليل استهلاك المواد وخفض التكلفة الأساسية. وقد تبيننا عديدًا من الأساليب لتحقيق تقليل الوزن، فعلى سبيل المثال، نعتمد على التصميم الحيوي وتقنيات التصنيع الإضافي في بناء بعض الأجزاء.

إنَّ كلَّ كيلو غرام يُوفَّر في وزن السيارة يحمل تأثيرًا مضاعفًا؛ فالسيارة الأخف وزنًا تتيح استخدام مكابح أصغر أو حزم بطاريات أصغر لقطع المسافة نفسها. وبعد تحقيق تقدم ملحوظ في تحسين الديناميكا الهوائية للسيارة، بات تقليل الوزن أحد أهم مجالات التطوير التي نركز عليها اليوم. فما رأيك في ذلك؟

وارتباك: نعم، أوافق تمامًا. ترتكز الاستدامة على ترشيد المواد وتقليل الوزن، ويوفر التصميم الذكي باستخدام أدوات تحديد الأبعاد المكثفة إمكانات كبيرة لتحقيق ذلك. وعلى هذا الأساس يتعيَّن على مصممي المنتجات العمل على دمج هذين الهدفين في تصاميمهم.

ما الذي يضيف على مادة ما صفة الاستدامة المميزة؟

زيبسه: عند انتقاء المواد، هل ترون أنَّ المواد المستدامة ينبغي أن تعكس هذه الصفة مظهرًا ولمسًا؟ وهل يمثل الملمس والجودة معيارًا حاسمًا؟ أم يكفي أن تُنتج المادة بأسلوب مستدام وببصمة كربونية ضئيلة للغاية؟ وهل يبدي العملاء استعدادًا لدفع المزيد مقابل المزايا المستدامة في المنتجات؟

وارتذاك: إنَّ مظهر السيارة قضية بالغة التعقيد. فمن جهة، تتظاهر الأجيال الشابة في فعاليات «جمعة من أجل المستقبل»، ويطالب المجتمع بإنتاج محايد لثاني أكسيد الكربون، في ظل وعي بيئي متزايد وصحة عالمية تجاه الاستدامة.

ومن جهة أخرى، يبرز مثال هواتف آيفون بوصفه دلالة على أهمية تصوّر المستخدم وجاذبية المنتج في استراتيجية آبل. فهذان العاملان يشكلان عنصرين حاسمين في قرارات الشراء، إلى حدّ أن فئات عمرية متقدمة باتت تميل إلى اقتناء هواتف آيفون، رغم توافر هواتف محمولة صُمّمت خصيصًا لتلبية احتياجات كبار السن.

ويُظهر ذلك أن تجربة المستخدم لا تقتصر على الوظيفة وحدها، بل تشمل البعد العاطفي، حيث يسهم الالتزام بالمواد المستدامة والإنتاج المسؤول وسلاسل التوريد المستدامة في تعزيز قيمة المنتج وجاذبيته لدى العملاء.

زيبسه: لقد أشرتُ إلى أن مواد المقصورة الداخلية لسيارة i3 تمنح إحساسًا بالدفء. ففي السابق، ولا سيما قبل نحو عقد من الزمن، كان الاتجاه السائد يتمثل في إبراز طابع بارد في التصميم الداخلي، حيث هيمن الكروم والمعدن المصقول، إلى جانب الألواح السوداء، على معظم عناصر المقصورة. غير أن هذا التوجه يشهد تحولًا ملحوظًا

اليوم. فعند التأمل في طرازي iX أو i7 الجديد، يتضح أن التصميم يهدف إلى توفير تجربة أقرب إلى أجواء صالة خاصة مريحة. ويواكب هذا التحول ما نشهده في تصميم المساحات السكنية، حيث لم تعد المواد الباردة رائجة، وتراجع استخدام الجلد الأسود والكروم بصورة واضحة. وبدلاً من ذلك، يزداد الإقبال على المواد الدافئة ذات الألوان الترابية، وهو اتجاه ينعكس بوضوح في التصميم الداخلي للسيارات.

ويعكس هذا التحول العلاقة الوثيقة بين خيارات المواد وطبيعة تجربة القيادة في السيارات الكهربائية، التي باتت توفر فضاءً هادئاً يعزز رغبة الركاب في بيئة داخلية مريحة، أقرب إلى الأجواء المنزلية. وارتزك:: برأيك، إلى أي مدى يمكن أن يعكس تصميم سيارات بي إم دبليو طابعاً صديقاً للبيئة في المستقبل؟

إلى أي مدى يمكن أن يعكس تصميم سيارات بي إم دبليو طابعاً صديقاً للبيئة في المستقبل؟

زيبسه: لا نرى أنَّ التصميم المستدام يجب أن يبدو منقوصاً أو باهتاً. بل ينبغي أن يبدو... كما تفضلت بالإشارة إلى هاتف الآيفون، فهو منتج رفيع المستوى من حيث الجودة، وهذا برأيي لن يتغير أبداً. إذ تتعلق المسألة بالرواية التي نقدمها حول كيفية تصنيع هذا المنتج. ويَجِبُ أن يحافظ دائماً على مظهره المتميز. فما لا يمكننا فعله هو التضحية بجودة المنتج ثم الادعاء بأنه مستدام؛ فهذا النهج محكوم عليه بالفشل، ولا يوجد له أي مُسَوِّغ. الأمر يتعلق تحديداً بما يُنظر إليه على أنه تفوق جمالي معاصر.

وارتزك: أتفق معك تماماً فيما يتعلق بأهمية الجودة. ولكن ما المعايير التي يتبناها المستهلكون اليوم لتقييم هذا التفوق؟

زيبسه: المواد الطبيعية تكتسب جاذبية وجمالية أكبر، وتُعبّر عن روح التقدم، ولكن بشرط أن تُقدّم بمستوى عالٍ من الجودة. عندئذٍ، سينبع الإحساس بالجودة طبيعيًا من هذه المواد؛ لأنها تُضفي شعورًا بالدفء بطبيعتها. ومع ذلك، ليس من الضروري أن تبدو المواد الطبيعية طبيعية بالضرورة. ونحن الآن في مرحلة تصميم تتيح قدرًا أكبر من الحرية، حيث لم يعد من السهل التمييز بين المواد الطبيعية والمواد الاصطناعية. فالتصميم هو العنصر الحاسم.

وارتزاك: هذا ينطبق بلا شك على المواد الطبيعية، فهي مستدامة وغالبًا ما تكون قابلة لإعادة التدوير أو التحلل الحيوي. ولكن ماذا عن المواد الاصطناعية؟ خاصة في التصميم الداخلي، حيث تتكون المكونات من طبقات متعددة، مما يحد من إمكانية إعادة تدويرها.

زيبسه: هذه نقطة في غاية الأهمية. أحد الجوانب الأساسية الأخرى التي نركز عليها هو استخدام المواد أحادية التركيب. والمثال الذي أفضله لتوضيح ذلك هو أغطية المقاعد. تقليديًا، تتكون هذه الأغطية من طبقة سطحية ثم مادة داعمة أسفلها، ثم طبقة من الإسفنج اللاصق فوق طبقة أخرى من الإسفنج، وكل طبقة مصنوعة من مادة مختلفة. هذا التكوين يجعل عملية إعادة التدوير معقدة للغاية؛ لأن هذه المواد غير قابلة للفصل بسهولة.

ما نسعى لتطبيقه الآن في تصميماتنا المستقبلية هو التوسع في استخدام المواد الأحادية؛ لأنها تُسهّل عمل عملية إعادة التدوير. لم نكن نفكر في هذه الجوانب بهذا العمق من قبل، لكن الانتقال إليها ليس بالأمر الصعب. فكل ما يتطلبه الأمر هو البدء في التفكير من منظور عملية إعادة التدوير بأكملها، وليس فقط من زاوية تصميم المنتج بحد ذاته. وفي نهاية المطاف، قد نكتشف إمكانية تقليل التكلفة الأساسية للمنتج.

كيف تطورت أساليب إعادة التدوير على مدى العقود الماضية؟

وارتذاك: ما أبرَزَ التحوُّلات التي شهدتها أساليب إعادة التدوير على مدار العقود الماضية؟ أذكر الحماس الكبير الذي صاحب هذا المفهوم في تسعينيات القرن الماضي، وقد أثارت إعجابي زيارتي لمصنع تجريبي لإعادة التدوير في ميونيخ آنذاك. وقبل ذلك، كانت بعض مكُونات لوحة القيادة في سيارَات بي إم دبليو تُصنع من مزيج معقّد يُضمُّ البولي بروبيلين الرغوي، والبولي فينيل كلوريد، وأجزاء معدنية. وقد حفز هذا التحديّ على تطوير عديدٍ من الأساليب والأدوات التصميميّة التي تهدف إلى تسهيل إعادة التدوير في تلك الفترة. فالى أيّ مدى ترسّخت هذه المنهجيات التي ظهرت منذ ذلك الحين في صلب عمليات الإنتاج الحالية لدى بي إم دبليو؟

زيبسه: في حياتنا اليوميّة، نألف جميعًا علامة «النقطة الخضراء» في ألمانيا، التي تمثل شعار أنظمة جمع النفايات وإعادة تدويرها. الجميع على دراية بها؛ حيث تُوجّه المواد المختلفة عبر مسارات إعادة تدوير محددة: الورق إلى مسار، والمواد المختلطة إلى آخر، والزجاج إلى مسار مختلف. بيد أنّ صناعة السيارات تتميز بحجمها الهائل، وتعقيدها التنظيمية العالمية المتنوعة فيما يتعلق بإجراءات إعادة التدوير ومصير المركبة بعد انتهاء دورة حياتها التشغيلية.

نتوقع في المستقبل القريب صدور بعض التشريعات الجديدة على مستوى الاتحاد الأوروبي، مثل لائحة البطاريّات التي تتضمّن أهدافًا جديدة، بما في ذلك تحديد نسب للمواد المعاد تدويرها. لذا، يتعين علينا أن نفكّر مليًّا في مستقبل سيارَاتنا بعد عشر سنوات من الآن، خاصة إذا ما جرى تعديل توجيه نهاية عمر المركبات ليشمل متطلبات أكثر صرامة لإعادة التدوير واستخلاص جميع المواد الخام القيمة من المركبة. يدفعنا هذا التوجه مباشرةً نحو زيادة الاعتماد على المواد

الثانوية. ومع ذلك، فإنَّ مستوى جودة المواد الثانوية المتاحة حاليًا لا يزال دون التطلعات المرجوة.

وارتزك: وما الأسباب الكامنة وراء ذلك؟

زيبسه: السبب في ذلك هو أنَّ عملية إعادة التدوير لا تتيح لنا فصل المواد كليًا، فلو أمكن فصلها بالدقة التي نفصل بها النفايات المنزليَّة في حياتنا اليوميَّة، لما واجهتنا أية صعوبات، ولأضحت المنتجات المعاد تدويرها تضاهي المنتجات الأصليَّة في الجودة. وسيكون فصل المواد أمرًا يسيرًا لو روعي هذا الجانب في تصميم المنتج منذ البداية، لكن محاولة تحقيقه بأثر رجعي تمثِّل تحدّيًا بالغ الصُّعوبة. فكيف يمكننا رفع نسبة المواد الثانوية المستخدمة في التصنيع؟

نعلم جميعًا مصطلح «من المهد إلى اللحد»، لكن الطموح المستقبلي يكمن في تبني مفهوم «من المهد إلى المهد». فالسيارة تخوض دورة حياتها، ثم يجري تفكيكها وإعادة تدويرها لتغدو جزءًا من سيارة جديدة مرة أخرى. هذا هو النظام الذي نسعى جاهدين لتأسيسه.

بصفتك باحثًا متخصصًا في تصميم المنتجات... ما رؤيتك حول سبل تطبيق مبادئ التصميم من أجل الاقتصاد الدائري؟

وارتزك: يجب على المصمم أن يضع في حسابه سهولة إعادة تدوير المواد عند تصميم المنتج، وذلك من خلال تبني حلول مثل استخدام مفاصل قابلة للفصل. إذ تمثل شفافية المعلومات عنصرًا بالغ الأهمية؛ فلا بد من توفير بيانات واضحة حول التركيب المادي لكل جزء، وقد يؤدّي التعامل مع ملصقات بلاستيكية غير موثقة إلى تعقيدات جمة.

ينبغي أن تتحمل الشركات المصنّعة مسؤولية إعادة التدوير، فهي الأقدر على فهم تفاصيل مركباتها ووضع إستراتيجيات فعالة لإعادة

التدوير منذ المراحل الأولى للتصميم. وتمتلك المعرفة اللازمة لتحديد المكونات التي يمكن منحها دورة حياة ثانية. وعلى سبيل المثال، تستخدم بي إم دبليو بالفعل وحدات البطاريات المستعملة بصفتها مخازن طاقة ثابتة في مصنعها بمدينة لايبزيغ.

زيبسه: نعم، لقد بدأنا بالفعل في استخدام وحدات البطاريات المستهلكة بصفتها مخازن للطاقة الثابتة منذ عام 2017، وما زلنا نشهد نتائج إيجابية لهذا المشروع الرائد.

وارتزاك: هذا أمر رائع! إنَّ إطالة دورة حياة استخدام السيَّارات يمثل أيضًا نهجًا مستدامًا للغاية. ففي ألمانيا على سبيل المثال، تُستخدم السيارات لمدة تتراوح بين 10 و15 عامًا، ثم تُباع ليعاد استخدامها في أفريقيا أو مناطق أخرى لفترة تمتد من 10 إلى 20 عامًا إضافية.

وعلى الرغم من أنَّ هذا النهج قد لا يبدو منافياً للاستدامة للوهلة الأولى، فإنه لا يسهم في إعادة المواد الثانوية إلى دائرة الإنتاج. وأتصوَّر أنَّ التحكم في ملكية السيارة بعد انتهاء عمرها الافتراضي يمثل تحديًا كبيرًا، وينطبق الأمر ذاته على إستراتيجيات إعادة التدوير، خاصة عندما لا تكون مدعومة بإطار تشريعي ملزم.

زيبسه: أتنفق معك تمامًا. وبما أننا نتطرق إلى أفريقيا ومواردها الطبيعية، فلنعد إلى موضوع استخدام المواد الطبيعية. إذ تتميز المواد الطبيعية بخصائص إعادة تدوير ممتازة، لكن في الوقت نفسه، يصعب استخدامها نظرًا لعدم تجانس خصائصها.

لقد أشرت إلى استخدام الخشب، فما تقييمك لخصائص المنتجات المصنوعة من المواد الطبيعية وقدرتها على إعادة التدوير؟

كيف يمكن تحقيق التوازن الأمثل بين المواد الطبيعية وإمكانية إعادة التدوير؟

وارتذاك: كيف يمكن تحقيق التوازن الأمثل بين الاستعانة بالمواد الطبيعية وضمان سهولة إعادة تدويرها؟ إنه تحدٍ حقيقي. فبينما يمثل استخدام المواد الطبيعية كالخامات الليفية (القنب، الكتان، السيزال) والخشب والجلد خيارًا جذابًا، إلا أنه يضيف تعقيدًا إلى عمل المصمم.

قد يصبح توفير بيانات موثوقة أمرًا ضروريًا لإجراء تنبؤات دقيقة حول الخصائص الميكانيكية لهذه المواد. فعلى سبيل المثال، قد يكون من المجدي إجراء اختبارات الشد والمحاكاة بأنفسنا، وتنفيذ دورات تحقق متعددة، بدلًا من الاكتفاء بالاعتماد على البيانات المقدمة من الموردين. إذ تشكل هذه الخطوات أساسًا متينًا لتحديد أبعاد المنتجات ومكوناتها.

صحيح أنها تستلزم بذل جهد كبير، إلا أن مردودها الإيجابي على المدى الطويل يستحق ذلك. فكيف تتعاملون مع هذه المعضلات في قسم تصميم المنتجات لدى بي إم دبليو؟

زيبسه: ما يزال أماننا كثيرًا لنتعلمه حول الاستخدام الأمثل للمواد الطبيعية. ويبرز مجال منهجيات المحاكاة بصفته أحد القطاعات التي تتطلب تطويرًا مكثفًا في البحث والتطوير؛ فكيف يمكننا محاكاة سلوك المواد الطبيعية بدقة؟ ربما يستدعي الأمر تخصيص مجال بحثي جديد لهذا الغرض تحديدًا. وكما تفضلت بالإشارة، فإن الاستثمار في هذا الاتجاه مُجدٍ. فالمواد الطبيعية النقية تتمتع بقدرة عالية على الاندماج بسهولة في دورتها الطبيعية، بينما تتطلب جميع المواد الأخرى عمليات إعادة تدوير معقدة لاستخدامها مجددًا، وهو ما يمثل تحديًا بحد ذاته.

وارتزك: بالفعل، هذا المجال البحثي يشهد نمواً ملحوظاً. ومع التوقعات باستخراج ما يقارب 100 مليار طن من المواد الخام الجديدة، يصبح الاعتماد الكلي على المواد الطبيعية أمراً غير ممكن، نظراً للقيود الحالية على استخدامها في تصميم السيارات.

زيبسه: أنت محق تماماً. هناك عديد من العوامل الأخرى التي تستوجب الدراسة المتأنية، مثل فقدان التنوع البيولوجي الناتج عن التوسع في الأراضي الزراعية الضرورية لإنتاج هذه المواد بالاعتماد على التقنيات الراهنة. لقد استفدت كثيراً عند قراءة كتاب بيل غيتس؛ حيث قدم رؤية مستقبلية تمتد حتى عام 2050. وأشار إلى أن العديد من التقنيات اللازمة لمواجهة تحديات تغير المناخ لم تُكتشف بعد، مما يستلزم استثماراً مكثفاً في البحث والتطوير لإيجاد الحلول التكنولوجية المناسبة. وبالمثل، ما تزال جوانب عديدة في تصميم السيارات بحاجة إلى إعادة تقييم وتطويرات تكنولوجية جديدة.

وارتزك: لمواجهة هذه التحديات العالمية المعقدة، نحتاج إلى تبني مناهج أكثر شمولية، مثل تحليل دورة الحياة للمنتجات. يمكننا تحقيق تقدم كبير، ولكن ذلك يتطلب توفر بيانات دقيقة للغاية عبر كامل سلسلة القيمة. إن بناء سلسلة عمليات مستدامة يمثل مهمة بالغة التعقيد؛ إذ يجب تتبع مصادر المواد وكيفية استخراجها وعمليات نقلها إلى المصانع.

لنأخذ مثلاً بسيطاً عن النبيذ. أي نوع من النبيذ تفضل من منظور الاستدامة: نبيذ من أستراليا؟ أم نبيذ من إيطاليا؟ يميل معظم الناس إلى اختيار النبيذ الإيطالي، لأنه يبدو الخيار الأكثر استدامة للوهلة الأولى. ولكن ماذا لو كان النبيذ الأسترالي يُشحن بكميات كبيرة عبر السفن؟

قد يتضح في نهاية المطاف أن البصمة الكربونية للنبيذ الأسترالي أفضل من نظيرتها للنبيذ الإيطالي الذي يُنقل بكميات أقل. فدقة

البيانات هي الأساس، لذا يستلزم الأمر إجراء تحليل شامل لتقييم دورة الحياة ومقارنتها بدقة. لقد بلغت مفاهيم إعادة التدوير وتحليل دورة الحياة أوجها في تسعينيات القرن الماضي، ولكننا نمتلك اليوم إمكانيات جديدة تمامًا بفضل التقدم في مجال الذكاء الاصطناعي، وهذا المجال يشهد تطورًا سريعًا.

زيبسه: النبيذ مثال ممتاز. قد يبدو منطقيًا للوهلة الأولى افتراض أن النبيذ الإيطالي، أو حتى النبيذ الألماني، سيحقق أفضل نتائج في تحليل دورة الحياة نظرًا لقصر مسافة النقل. ولكن الحقائق غالبًا ما تكون أكثر تعقيدًا. نحن نتعلم من تجاربنا السابقة؛ فقبل عقد من الزمن، كنا نعتقد أن خدمات النقل التشاركي تمثل خيارًا صديقًا للبيئة في المدن.

وارتزاك: ولكن هذا الاعتقاد لم يكن صحيحًا؟

زيبسه: تبين أن الأمر ليس كذلك. فقد أدى تحول العديد من الأشخاص من استخدام وسائل النقل العام إلى الاعتماد على النقل الخاص عبر هذه الخدمات إلى زيادة إجمالي عدد الكيلومترات المقطوعة. ففي مدينة سان فرانسيسكو على سبيل المثال، تفاقمت الازدحامات المرورية بسبب خدمات النقل التشاركي بدلًا من أن تنخفض. لقد كان الافتراض بأن هذا النظام سيترك أثرًا بيئيًا إيجابيًا خالصًا خاطئًا تمامًا. لهذا السبب تحديدًا، يجب أن نولي اهتمامًا للتأثير الكامل لدورة حياة أي منتج أو خدمة. وسيصبح تقييم تأثير دورة الحياة عاملًا حاسمًا في اتخاذ القرارات المستقبلية، ولن يتسنى تحقيق شفافية كاملة حول هذا التأثير إلا من خلال الأطر التشريعية والتنظيمية.

وارتزاك: ثمة حاجة ماسة إلى جهود تنظيمية لجعل تكاليف دورة الحياة أكثر وضوحًا وشفافية. ويتجلى ذلك بوضوح عند النظر إلى

المواد الطبيعية التي غالباً ما تكون أغلى من المواد التقليدية، وذلك لأن التكاليف الكاملة لدورة حياتها لا تُؤخذ دائماً في الحسبان بدقة كافية. وارتزاك: هل تبرر المواد الطبيعية ارتفاعاً في سعر المنتج؟

هل يستحق دفع المزيد مقابل المواد الطبيعية؟

زيبسه: نعم، شريطة أن يُؤخذ الأثر الكامل لدورة حياة المنتج في الحسبان. إذ ينبغي أن تتوافق قاعدة التكاليف مع توجهات العملاء، لا سيما في ظل الحساسية العالية للأسعار التي يُبديها المستهلكون اليوم، حتى ضمن فئة المنتجات الفاخرة.

ولا تمثل هذه إجابة واحدة تنطبق على جميع الحالات. غير أنه إذا اعترف السوق والمستهلكون بقيمة تقييم دورة الحياة الشاملة، فسيكون من الممكن تخصيص ميزانيات أكبر لاستخدام المواد الطبيعية. وقد طُبِّق ذلك بالفعل في سيارة i3 من خلال استخدام ألياف كربون جرى إنتاجها بالاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة.

وبطبيعة الحال، جاءت تكلفة هيكل ألياف الكربون أعلى بكثير من تكلفة الهيكل الفولاذي التقليدي. ومع ذلك، نبقى منفتحين على الاستثمار في مثل هذه الخيارات مستقبلاً، متى ما توفرت مؤشرات واضحة تُظهر أثراً إيجابياً شاملاً ومُعترفاً به على امتداد دورة الحياة.

وارتزاك: هل يمكن عدُّ الإستراتيجية المطبقة في سيارة i3، والتي تضمنت هيكلًا كاملاً مصنوعاً من ألياف الكربون، نموذجاً يُحتذى به في المستقبل؟

هل الإستراتيجية المطبقة على i3 التي تشمل هيكلًا كاملاً مصنوعاً من ألياف الكربون تُعدُّ نموذجاً يُحتذى به للمستقبل؟

زيبسه: أعتقد أننا اكتسبنا خبرة قيمة في استخدام ألياف الكربون. ومع ذلك، قد لا تكون هذه المادة قابلة للتوسع لتلبية حجم الإنتاج

الكبير المطلوب حاليًا. فالمركبات الكهربائية تتجه الآن نحو التحول إلى فئة سوقية جماهيرية، لذا فإن استخدام هيكل كامل مصنوع من ألياف الكربون يبدو خيارًا غير عملي.

يمكنكم ملاحظة استخدام ألياف الكربون في الإطار الجانبي لسيارة iX. فنحن نستخدمها في بعض الهياكل حيث يكون استخدامها منطقيًا من الناحية الهندسية والاقتصادية، ولكن لن نشهد هيكلًا كاملاً آخر مصنوعًا من ألياف الكربون في السنوات القليلة المقبلة. فتطوير المنتجات يمثل حقًا إحدى كفاءاتنا الأساسية، وهناك العديد من التطورات التكنولوجية المثيرة التي تتضمنها خططنا المستقبلية.

5.4 مستقبل تطوير المنتجات المستدامة:

كما تبين في مناقشة الخبراء (القسم الثالث من الفصل الخامس)، ترسخ مفهوم التصميم من أجل الدائرية بوصفه مرتكزًا أساسيًا في مسيرة تطوير المنتجات. وبينما يتيح هذا التحول النموذجي آفاقًا واعدة لتجويد دورة حياة المنتجات وتعزيز رضا العملاء واستحداث فرص عمل مبتكرة وتفعيل عمليات إعادة التدوير بكفاءة، فإنه في الوقت ذاته يفرض تحديات تستلزم المعالجة والتذليل. وتسعى هذه الفقرة إلى إلقاء الضوء على جانبين محوريين يرسمان ملامح مستقبل تطوير المنتجات في ظل تبني مبادئ التصميم من أجل الدائرية.

5.4.1 دور التقنيات الرقمية في تفعيل الاقتصاد الدائري:

تستطيع التقنيات الرقمية، على غرار إنترنت الأشياء (IoT) والبيانات الضخمة (Big Data) والذكاء الاصطناعي (AI) وتقنية سلسلة الكتل (Blockchain)، أن تُمكن الشركات المصنعة من تبني نموذج الاقتصاد

الدائري (تشاوهان وآخرون، 2022). إذ يتيح توظيف هذه التقنيات جمع معلومات دقيقة وشاملة حول دورة حياة المنتج، والتنبؤ بحالته التشغيلية وصلاحيته للاستخدام. ويسهم ذلك بفاعلية في تحسين العمليات التجارية وأتمتتها؛ مما يعزز القدرة على تطبيق مختلف الإستراتيجيات الدائرية (ألكاياجا وآخرون، 2019).

وتشير الدراسات والأبحاث إلى أن التكامل بين تبني الإستراتيجيات الدائرية والاستفادة من التقنيات الرقمية يؤدي إلى تعزيز أداء الشركات ورفع كفاءتها (لوبيز دي سوزا جابور وآخرون، 2022). فعلى سبيل المثال، يتيح مفهوم «جواز السفر الرقمي للمنتج» تخزين بيانات تفصيلية وثابتة عنه، مثل تركيبة المواد المستخدمة وإرشادات التفكيك وطرق التعامل السليمة معه عند انتهاء عمره الافتراضي وذلك عبر شريحة إلكترونية أو مستشعر مدمج (لوبيز دي سوزا جابور وآخرون، 2018). وعلاوة على ذلك، يمكن لهذا الجواز تجميع بيانات ديناميكية ومتغيرة، كتاريخ إنتاج المنتج والتعديلات التي أجريت عليه، على امتداد دورة حياته الكاملة (هانسن وآخرون، 2020). وبذلك، يفسح جواز السفر الرقمي للمنتج المجال لمشاركة البيانات ذات الصلة؛ مما ييسر تنفيذ مختلف الإستراتيجيات الدائرية وفي مقدمتها إعادة التدوير بكفاءة وفعالية.

وبالنظر إلى المجموعة الثانية الموضحة في الشكل 5.1 (كما ورد في القسم الثاني من الفصل الخامس) والتي تركز على إطالة العمر الافتراضي للمنتجات، يمكن للتقنيات الرقمية أن تسهم بفاعلية في إعادة توزيع المنتجات المستعملة وإتاحة الفرص لإنشاء أسواق تسهل على المالكين السابقين والمشتريين من قطاع السلع المستعملة تبادل المنتجات، مما يدعم إستراتيجية إعادة الاستخدام (ليو وآخرون، 2022). وبالمثل، فإن تتبع موقع المنتج وحالته النوعية ييسر عملية استرجاع الوحدات

أو الأجزاء التي ما تزال قابلة للاستخدام (هانسن وآخرون، 2020).

وفي سياق إستراتيجية الإصلاح، يتيح كل من إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) تطبيق الصيانة التنبؤية القائمة على الحالة والتي تعتمد على تقييم دقيق للحالة الفيزيائية للآلة أو المنتج، واستخلاص الإجراءات الصيانة الضرورية لتجنب الأعطال استناداً إلى البيانات المستنبطة (إنجمارسدوتير وآخرون، 2021). وهذا بدوره يمكن أن يعزز أداء المنتج ويرفع من كفاءته التشغيلية ويطيل عمره الافتراضي (ألكايجا وآخرون، 2019).

ويمكن للخوارزميات والروبوتات أن تدعم عمليات التفكيك بكفاءة عالية، بناءً على جودة المنتج ومكوناته، بهدف إعادة التأهيل أو إعادة التصنيع (هانسن وآخرون، 2020؛ كيرين وفام، 2020). وأخيراً، وعلى غرار إستراتيجية إعادة الاستخدام، يمكن للأسواق القائمة على تقنيات المنصات أن تُمكن من إعادة التوظيف من خلال تحويل النفايات أو المنتجات الثانوية الناتجة عن صناعة معينة إلى مدخلات إنتاجية لصناعات أخرى (ليو وآخرون، 2022).

وبهدف الحد من الأثر البيئي للمنتجات في مرحلة تطويرها، يمكن للمصممين الاستعانة بمنهجيات المحاكاة المتقدمة. إذ تسهم أدوات النمذجة أيضاً بدور فعال في تعميق فهم تأثيرات الاستدامة الناجمة عن القرارات المتخذة خلال عملية تصميم المنتج (مثل انتقاء تركيبة المواد الأساسية)، وذلك من خلال اختبار التفاعلات المتعددة والمعقدة بين الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية (جاغبير وآخرون، 2017).

وتتيح تقنيات مبتكرة أخرى، مثل التوائم الرقمية، فرصة واعدة للتنبؤ بانبعاثات الكربون والتحكم فيها بكفاءة أكبر، من خلال تحسين مراحل عملية التصنيع (تشانغ جي وآخرون، 2019).

وفيما يتعلق بإستراتيجيتي إعادة التفكير والرفض، يكتسب تقديم خدمات جديدة ومبتكرة وتعديل سلوك المستهلك أهمية قصوى. ويمكن للتقنيات الرقمية أن تلعب دورًا محوريًا في توجيه سلوك المستخدم نحو ممارسات أكثر استدامة، مثل تشجيع الاستخدام الفعال والرشيد للمنتجات بهدف إطالة دورة حياتها، وذلك من خلال آليات مراقبة سلوك المستخدم وتقديم الحوافز المناسبة (بريسانيلي وآخرون، 2018)، فضلاً عن تمكين الدعم التشغيلي والسلوكي اللازم لتحقيق هذا الهدف (رييس وآخرون، 2023).

5.4.2 نحو تكامل أشمل: ضرورة توسيع الآفاق

يتطلب الارتقاء بتطبيق الاستراتيجيات الدائرية ما هو أبعد من التركيز على تصميم المنتج أو الابتكار التكنولوجي وحدهما (كورهونين وآخرون، 2018؛ سوشيك وآخرون، 2021)، إذ يستدعي تحولاً شاملاً في ممارسات الأعمال يدمج تقييم الأثر عبر دورة حياة المنتج كاملة، بما في ذلك مرحلة نهاية العمر والأبعاد الاجتماعية ذات الصلة (فارووك وآخرون، 2019)، إلى جانب تعزيز التعاون بين مختلف أصحاب المصلحة على امتداد سلسلة القيمة بأكملها (إيفانز وآخرون، 2017).

يتطلب تقييم الأثر المستدام لنماذج الأعمال الدائرية تحليلاً معمقاً لمجموعة متنوعة من التأثيرات والمفاضلات المحتملة بين مختلف مراحل دورة الحياة في مراحل مبكرة من التطوير. أولاً، قد تتسبب تأثيرات الارتداد في ظهور آثار سلبية غير متوقعة في الاستدامة (كجير وآخرون، 2019). فمن الأمثلة على ذلك أن بعض الإستراتيجيات الدائرية قد تؤدي إلى انخفاض الأسعار أو تقليل الوقت اللازم للاستخدام أو توفير خدمات أكثر سهولة، مما قد يحفز زيادة الطلب، ويؤدي في نهاية المطاف إلى ارتفاع في استهلاك الموارد وتوليد النفايات والانبعاثات (كاسترو وآخرون، 2022).

كما يمكن أن تنشأ تحولات سلبية قائمة على الاستهلاك بين مراحل مختلفة من دورة الحياة (كجير وآخرون، 2016) أو مفاضلات معقدة داخل عنصر تصميم واحد أو بين عناصر تصميم متعددة (رييس وآخرون، 2023). ويتضح ذلك في إمكانية ارتفاع استهلاك الطاقة ارتفاعاً ملحوظاً مع تحسين عمليات الصيانة بالاعتماد على التقنيات الرقمية المتقدمة (هالستنبرج وآخرون، 2019).

وأخيراً، قد تظهر تأثيرات إعادة التوازن، مثل الحاجة إلى إعادة توزيع الدراجات باستخدام المركبات والموظفين لتعويض أنماط الاستخدام غير المتوازنة في أنظمة مشاركة المنتجات (بونيل-أليسيا وآخرون، 2020). لذا، فإن الإلمام العميق والشامل بدورة حياة المنتج، مقروناً بفهم دقيق للافتراضات الأساسية التي تحكم سلوك المستهلك، يشكل ضرورة لا غنى عنها لإجراء أي تحليل دقيق لتأثيرات الاستدامة المترتبة على تبني نماذج الأعمال الدائرية (نيرو وآخرون، 2021).

ينبغي لهذا الفهم العميق أن يراعي الأبعاد البيئية والاجتماعية على حد سواء، مما يوسع نطاق الاقتصاد الدائري ليشمل جوانب الاستدامة كافة. وعلى الرغم من توافر مؤشرات كافية لتحليل دورة الحياة الاجتماعية، فقد ركزت أغلب الدراسات على المؤشرات المتعلقة بالصحة والسلامة في مواقع عمل الشركات رئيسة الرئيسة، بينما أهملت الأطراف الفاعلة الأخرى في سلسلة القيمة والمستهلكون أنفسهم (كوهنن وهاهن، 2017).

بإمكان التقنيات الرقمية أن تساهم في إدراج البعد الاجتماعي للاستدامة ضمن هذه التقييمات. فعلى سبيل المثال، يمكن لدمج التقنيات الرقمية أن يعزز تحليل مسؤولية المنتج (أي تأثيرات الصحة والسلامة على المستخدم) (رييس وآخرون، 2023). ويتجلى ذلك في أمثلة مثل: منع الإصابات (مورينو وآخرون، 2017) وتجنب الأعطال (ليم وآخرون،

(2018) وتعزيز القيادة الآمنة (هافتور وكليمنت، 2021) ودعم أنماط الحياة الصحية (فالينسيا وآخرون، 2015).

كما يمكن لتقنية سلسلة الكتل (البلوك تشين) أن تعزز استعداد الأطراف الفاعلة في سلسلة القيمة لتبادل البيانات الاجتماعية الحساسة الضرورية لإجراء هذه التقييمات (روش وآخرون، 2022). ويرتبط هذا الجانب بتوسيع نطاق التعاون ليشمل مختلف الشركاء. فبينما يغدو دمج أصحاب المصلحة وتنسيق الشراكات ضمن النظام البيئي للأعمال مهارة أساسية في التحول نحو الاقتصاد الدائري (سانتا ماريا وآخرون، 2022)، فإن تطوير هذه النظم البيئية وتحقيق التشارك في خلق القيمة ضمنها، استنادًا إلى التواصل الفعال والتفاعل المستمر، يمثل تحديًا حقيقيًا يواجه العديد من الشركات (لي وآخرون، 2020).

يتكون النظام البيئي للأعمال القائم على الاقتصاد الدائري من شبكة واسعة من الأطراف الفاعلة، تشمل المنتجين والموردين، ومقدمي الخدمات، والمستخدمين النهائيين، وجامعي النفايات، ومفككي المنتجات، ومعيدي التدوير وواضعي السياسات وأعضاء منظمات المجتمع المدني الذين يسهمون جميعًا في تحقيق هدف مشترك (كونيتزكو وآخرون، 2020).

ويتطلب بناء هذا النظام البيئي تعاونًا وثيقًا من الشركات المصنعة مع الهيئات التنظيمية لتطوير إستراتيجيات دائرية أكثر فعالية (أوان وآخرون، 2021)، ويستوجب عليها التفاعل البناء مع جامعي النفايات ومفككي المنتجات ومعيدي التدوير لزيادة الكفاءة وتقليل تكاليف إعادة التدوير (باريدا وآخرون، 2019).

يُعد جامعو المنتجات وشركات التفكيك ومعيدي التدوير أطرافًا فاعلة محورية في سلسلة التوريد الدائرية (لوديكي-فروند وآخرون، 2019).

والتدفق العكسي للمعلومات والمشاركة الدائرية، بدءاً من مرحلة نهاية عمر المنتج وصولاً إلى مرحلة تصميم المنتج لدى الشركات المصنعة للمعدات الأصلية (OEM)، يكتسب أهمية قصوى لتحقيق الاستفادة القصوى من الإمكانيات الدائرية (هانسن وريفيلو، 2020)؛ غير أن تدفق المعلومات غالباً ما يتوقف عند المستخدم النهائي (بلوميكي وآخرون، 2020).

بإمكان المصنّعين والمستخدمين ومقدمي الخدمات اللوجستية العكسية وشركات التفكيك ومعيدي التدوير تجاوز هذه الثغرات من خلال إقامة روابط متينة عبر الأجهزة الذكية والمنصات الرقمية، مما يرفع من كفاءة عمليات الجمع والتفكيك وإعادة التدوير (ليو وآخرون، 2022). وعبر تسهيل التعاون وتعزيز الأتمتة، تستطيع التقنيات الرقمية أن تحسن عمليات تفكيك المنتجات وإعادة تدويرها، وأن تسهم في تحقيق الجدوى الاقتصادية لهذه العمليات (بلوميكي وآخرون، 2020).

ومن الأمثلة البارزة على هذا النوع الجديد من النظم البيئية للبيانات، نذكر في قطاع صناعة السيارات منصة Catena-X؛ حيث يعكف مختلف الفاعلين في سلسلة القيمة حالياً على بناء منصة تتيح تبادل المعلومات الضرورية حول تاريخ المنتج وحالة المركبة ومكوناتها (موغي وآخرون، 2023). إن تطبيق التطورات التكنولوجية الحديثة بهدف تحسين تبادل البيانات من شأنه أن يدعم تشكيل نطاق النظم البيئية للأعمال الدائرية وتوسيعها.

إن إنشاء وتعزيز العلاقات المتينة بين مختلف أصحاب المصلحة من شأنه أن يوجد فهماً مشتركاً ويعزز تنفيذ الإستراتيجيات الدائرية بفاعلية أكبر (شوغل وآخرون، 2020).

5.5 الخاتمة:

يعالج الاقتصاد الدائري (CE) التحديات الراهنة المتمثلة في ندرة الموارد، وتفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري، والتقلبات الاقتصادية المتزايدة. ولتجسيد هذا المفهوم النظري، تحظى إستراتيجيات (10R) بتقدير واسع النطاق، وتشمل: الرفض (Refuse) وإعادة التفكير (Rethink)، والتقليل (Reduce) - أي الاستخدام الذكي للمنتجات والتصنيع - وإعادة الاستخدام (Reuse)، والإصلاح (Repair)، والتجديد (Refurbish)، وإعادة التصنيع (Remanufacture)، وإعادة التوظيف (Repurpose) - بهدف إطالة عمر المنتجات وأجزائها - وإعادة التدوير (Recycle)، والاسترداد (Recover) - أي الاستخدام الفعال للمواد. ويترتب على تطبيق هذه الإستراتيجيات آثار واضحة على عملية التصميم.

كيف يمكن تبني منهج تصميم المنتجات وفقاً لمبادئ الدائرية؟

فيما يلي خمس نقاط رئيسة مستخلصة من هذا الفصل تستدعي مزيداً من التمعن والنقاش:

1. يتطلب التصميم الدائري تحولاً في جوهر تصميم المنتج. ولتحقيق مبادئ الدائرية، يتعين على المبتكرين دمج المواد المعاد تدويرها في عملياتهم، مع الأخذ في الحسبان إمكانية إعادة تدوير المنتج وأجزائه ومكوناته في المستقبل. ويستلزم استخدام المواد المعاد تدويرها توافق جودتها مع متطلبات المنتج، وتوفرها بكميات كافية لتلبية الاحتياجات. وتصميم المنتجات مع مراعاة المتانة والكفاءة يدعم مفهوم الدائرية ويجعل من إعادة التدوير والمتانة والكفاءة مرتكزات أساسية توجه عملية التصميم.

2. يتطلب التصميم الدائري تحولاً في تقديم الخدمات. إذ تلعب الخدمات المصاحبة، مثل استرجاع المنتجات بعد انتهاء استخدامها، دوراً حيوياً

في تمكين الاقتصاد الدائري. وتغيير نموذج ملكية المنتجات من المنتج إلى المُرُود، وتبني نماذج أعمال تقوم على إتاحة الوصول إلى المنتجات بدلاً من امتلاكها، يمكن أن يدعم بفاعلية تطبيق الإستراتيجيات الدائرية. لذا، يجب أن يتكامل تصميم المنتجات تكاملاً وثيقاً مع تصميم الخدمات المقدمة.

3. يتطلب التصميم الدائري تغييراً في سلوك المستهلك. ويؤكد الاقتصاد الدائري على الدور المحوري للمستهلك بفتحها طرفاً فاعلاً واعٍ يهتم بالمنتج ويعيده في الوقت المناسب ضمن دورة حياته. ويُعد سلوك المستخدم عاملاً حاسماً في تقييم أي تأثير مستدام، مما يستوجب أن يكون التصميم الدائري مُركّزاً على احتياجات المستخدم وتفاعلاته.

4. يتطلب التصميم الدائري تبني بُعداً اجتماعياً. ولقد أولت الصناعة والأبحاث حتى الآن اهتماماً كبيراً للعلاقة بين الجوانب البيئية والاقتصادية في سياق الاقتصاد الدائري. ومع ذلك، فإن إلقاء البعد الاجتماعي الأهمية اللازمة وتضمينه ضمن هذا المفهوم أمر بالغ الأهمية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة بمختلف أبعادها.

5. يتطلب التصميم الدائري تعاوناً وثيقاً عبر سلسلة القيمة. ولتطبيق الإستراتيجيات الدائرية بفاعلية، تحتاج الشركات الصناعية إلى تجاوز حدودها التنظيمية التقليدية وإنشاء نظم بيئية للأعمال تشمل، على سبيل المثال، الموردين ومقدمي الخدمات ومقدمي الخدمات اللوجستية والعملاء ومفككي المنتجات ومعيدي تدوير المركبات بعد انتهاء عمرها الافتراضي. ويتطلب ذلك تبني عقلية جديدة تعزز الانفتاح على التعاون والتفكير بمنظور دورة الحياة الكاملة للمنتج.

يبدأ التصميم الدائري، مثل استخدام مواد قابلة لإعادة التدوير أو متجددة وتطوير خدمات جديدة لإغلاق حلقات تداول الموارد بابتكار المنتجات والخدمات، ولكنه يحتاج إلى احتضان العديد من الوظائف المختلفة داخل الشركة ومجموعة متنوعة من الجهات الفاعلة عبر الحدود التنظيمية التي تشمل نظامًا بيئيًا للسيارات. وينتج عن ذلك ضرورة تحويل التفكير التنظيمي من المنتج إلى نموذج المنتج بصفقتها خدمة (PSS)، ومن الإنتاج إلى دورة الحياة ومن النهج الفردي إلى النهج التعاوني. وتركز المرحلة التالية (الفصل السادس) بعنوان الطريق «إلى الحياد الصفري» على تحويل سلاسل القيمة لتحقيق الاستدامة.



المراجع

- Alcayaga, A., Wiener, M., & Hansen, E. (2019). Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review. *Journal of Cleaner Production*, 221, 622–634. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.085>
- Allwood, J. M., Cullen, J. M., & Carruth, M. A. (2012). *Sustainable materials: With both eyes open*. UIT Cambridge.
- Amend, C., Revellio, F., Tenner, I., & Schaltegger, S. (2022). The potential of modular product design on repair behavior and user experience—Evidence from the smartphone industry. *Journal of Cleaner Production*, 367, 132770. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132770>
- Awan, U., Sroufe, R., & Shahbaz, M. (2021). Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2038–2060. <https://doi.org/10.1002/bse.2600>
- Bakker, C., Wang, F., Huisman, J., & den Hollander, M. (2014). Products that go round: exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*, 69, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.028>
- Barreiro-Gen, M., & Lozano, R. (2020). How circular is the circular economy? Analysing the implementation of circular economy in organisations. *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3484–3494. <https://doi.org/10.1002/bse.2500>
- Blömeke, S., Mennenga, M., Herrmann, C., Kintscher, L., Bikker, G., Lawrenz, S., Sharma, P., Rausch, A., Nippraschk, M., Goldmann, D., Poschmann, H., Brüggemann, H., Scheller, C., & Spengler, T. (2020). Recycling 4.0. In R. Chitchyan, D. Schien, A. Moreira, & B. Combemale (Eds.), *Proceedings of the 7th international conference on ICT for sustainability* (pp. 66–76). ACM. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401666>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/jie.12200>

jiec.12603

- Blomsma, F., Pieroni, M., Kravchenko, M., Pigosso, D. C., Hildenbrand, J., Kristinsdottir, A. R., Kristoffersen, E., Shahbazi, S., Nielsen, K. D., Jönbrink, A.-K., Li, J., Wiik, C., & McAloone, T. C. (2019). Developing a circular strategies framework for manufacturing companies to support circular economy-oriented innovation. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118271>
- BMW Group. (2021, September 6). Der BMW i vision circular [Press release]. München. <https://www.press.bmwgroup.com/>
- BMW Group. (2022, May 25). BMW Group etabliert geschlossenen Recycling-Kreislauf für Hochvoltbatterien in China [Press release]. München. <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/>
- Bocken, N., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/2168101>
- Bocken, N., Schuit, C., & Kraaijenhagen, C. (2018). Experimenting with a circular business model: Lessons from eight cases. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 28, 79–95. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.02.001>
- Bocken, N., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>
- Bonilla-Alicea, R. J., Watson, B. C., Shen, Z., Tamayo, L., & Telenko, C. (2020). Life cycle assessment to quantify the impact of technology improvements in bike-sharing systems. *Journal of Industrial Ecology*, 24(1), 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.jie.2019.12.003>
- Bovea, M. D., Quemades-Beltrán, P., Pérez-Belis, V., Juan, P., Braulio-Gonzalo, M., & Ibáñez-Forés, V. (2018). Options for labelling circular products: Icon design and consumer preferences. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1253–1263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.180>
- Boyer, R. H. W., Mellquist, A.-C., Williander, M., Fallahi, S., Nyström, T., Linder, M., Algurén, P., Vanacore, E., Hunka, A. D., Rex, E., & Whalen,

- K. A. (2021). Three-dimensional product circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 25(4), 824–833. <https://doi.org/10.1111/jiec.13109>
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability*, 10(3), 639. <https://doi.org/10.3390/su10030639>
 - Castro, C. G., Trevisan, A. H., Pigosso, D. C., & Mascarenhas, J. (2022). The rebound effect of circular economy: Definitions, mechanisms and a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 345, 131136. <https://doi.org/10.1016/j.j>
 - Centobelli, P., Cerchione, R., Chiaroni, D., Del Vecchio, P., & Urbinati, A. (2020). Designing business models in circular economy: A systematic literature review and research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 29(4), 1734–1749. <https://doi.org/>
 - Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508. <https://doi>
 - Circle Economy. (2019). The circularity gap report 2019. <https://www.circle-economy.com/resources/the-circularity-gap-report-2019>
 - den Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product design in a circular economy: development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517–525. <https://doi.org/10.1111/jiec.12610>
 - Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1->
 - Ellen MacArthur Foundation. (2015). Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe. <https://ellenmacarthurfoun>
 - Ellen MacArthur Foundation. (2017). The circular design guide. <https://www.circulardesignguide.com/>
 - Ellen MacArthur Foundation. (2019). The butterfly diagram: visualizing the circular economy. <https://ellenmacarthurfoundation.org/>
 - European Commission. (2022a). Circular economy action plan.

- <https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action->
- European Commission. (2022b, December 9). Green Deal: EU agrees new law on more sustainable and circular batteries to support EU's energy transition and competitive industry [Press release]. <https://ec.europa>
 - European Commission. (Ed.) (2023). End-of-life vehicles—revision of EU rules. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/>
 - European Parliament. (2023). Making batteries more sustainable and better performing [Press release]. <https://www.europarl>
 - Evans, S., Vladimirova, D., Holgado, M., van Fossen, K., Yang, M., Silva, E. A., & Barlow, C. Y. (2017). Business model innovation for sustainability: towards a unified perspective for creation of sustainable business models. *Business Strategy and the Environment*, 26(5), 597–608. <https://doi.org/10.1002/bse.1939>
 - Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 882–900. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303>
 - Gebhardt, M., Spieske, A., & Birkel, H. (2022). The future of the circular economy and its effect on supply chain dependencies: Empirical evidence from a Delphi study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102570. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102570>
 - Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712–721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>
 - Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy—A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
 - Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j>

- Govindan, K., & Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 278–311. <https://doi.org/10.1080>
- Graedel, T., & Allenby, B. R. (1995). *Industrial ecology*. Prentice Hall.
- Groupe Renault. (2020, November). Refactory [Press release]. <https://www.press.renault.co.uk/assets/documents/original/18432->
- Haftor, D. M., & Climent, R. C. (2021). CO2 reduction through digital transformation in long-haul transportation: Institutional entrepreneurship to unlock product-service system innovation. *Industrial Marketing Management*, 94, 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.08.022>
- Halstenberg, F. A., Lindow, K., & Stark, R. (2019). Leveraging circular economy through a methodology for smart service systems engineering. *Sustainability*, 11(13), 3517. <https://doi.org/10.3390/su11133517>
- Hansen, E., & Revellio, F. (2020). Circular value creation architectures: Make, ally, buy, or laissez-faire. *Journal of Industrial Ecology*, 24(6), 1250–1273. <https://doi>
- Hansen, E., Wiedemann, P., Fichter, K., Lüdeke-Freund, F., Jaeger-Erben, M., Schomerus, T., Alcayaga, A., Blomsma, F., Tischner, U., Ahle, U., Büchle, D., Denker, A., Fiolka, K., Fröhling, M., Häge, A., Hoffmann, V., Kohl, H., Nitz, T., Schiller, C., ... Kadner, S. (2020). Circular business models: Overcoming barriers, unleashing potentials. *acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ*.
- Harris, S., Mata, É., Plepys, A., & Katzeff, C. (2021). Sharing is daring, but is it sustainable? An assessment of sharing cars, electric tools and offices in Sweden. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105583. <https://doi.org/10.1016/j>
- Ingemarsdotter, E., Kambanou, M. L., Jamsin, E., Sakao, T., & Balkenende, R. (2021). Challenges and solutions in condition-based maintenance implementation—A multiple case study. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126420. <https://doi>
- International Resource Panel. (2019). *Global resources outlook 2019: Natural resources for the future we want*. <https://www>

- Jaghbeer, Y., Hallstedt, S. I., Larsson, T., & Wall, J. (2017). Exploration of simulation-driven support tools for sustainable product development. *Procedia CIRP*, 64, 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.069>
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., & Rosado, L. (2018). Circular economy—From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j>
- Kerin, M., & Pham, D. T. (2020). Smart remanufacturing: a review and research framework. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(6), 1205–1235. <https://doi.org/10.1108/JMTM-06-2019-0205>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kjaer, L. L., Pagoropoulos, A., Schmidt, J. H., & McAlloone, T. C. (2016). Challenges when evaluating product/service-systems through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 120, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.048>
- Kjaer, L. L., Pagoropoulos, A., Schmidt, J. H., & McAlloone, T. C. (2016). Challenges when evaluating product/service-systems through life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production*, 120,* 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.048>
- Kjaer, L. L., Pigosso, D. C. A., Niero, M., Bech, N. M., & McAlloone, T. C. (2019). Product/service-systems for a circular economy: the route to decoupling economic growth from resource consumption? *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 22–35. <https://doi.org/10.1111/jiec.12747>
- Kjaer, L. L., Pigosso, D. C. A., Niero, M., Bech, N. M., & McAlloone, T. C. (2019). Product/service-systems for a circular economy: The route to decoupling economic growth from resource consumption? **Journal of Industrial Ecology*, 23*(1), 22–35. <https://doi.org/10.1111/jiec.12747>
- Kohtala, C. (2015). Addressing sustainability in research on distributed production: an integrated literature review. *Journal of*

- Cleaner Production, 106, 654–668. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.039>
- Kohtala, C. (2015). Addressing sustainability in research on distributed production: An integrated literature review. **Journal of Cleaner Production*, 106,* 654–668. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.039>
 - Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020). Circular ecosystem innovation: An initial set of principles. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119942>
 - Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020). Circular ecosystem innovation: An initial set of principles. **Journal of Cleaner Production*, 253,* 119942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119942>
 - Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>
 - Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production*, 175,* 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>
 - Krikke, H., Le Blanc, I., & van de Velde, S. (2004). Product modularity and the design of closed-loop supply chains. *California Management Review*, 46(2), 23–39. <https://doi.org/10.2307/41166208>
 - Krikke, H., Le Blanc, I., & van de Velde, S. (2004). Product modularity and the design of closed-loop supply chains. **California Management Review*, 46*(2), 23–39. <https://doi.org/10.2307/41166208>
 - Kühnen, M., & Hahn, R. (2017). Indicators in social life cycle assessment: A review of frameworks, theories, and empirical experience. *Journal of Industrial Ecology*, 21(6), 1547–1565. <https://doi.org/10.1111/jiec.12663>
 - Kühnen, M., & Hahn, R. (2017). Indicators in social life cycle assessment: A review of frameworks, theories, and empirical experience. **Journal of Industrial Ecology*, 21*(6), 1547–1565. <https://doi.org/10.1111/jiec.12663>
 - Li, A. Q., Rich, N., Found, P., Kumar, M., & Brown, S. (2020). Explor-

- ing product-service systems in the digital era: a socio-technical systems perspective. *The TQM Journal*, 32(4), 897–913. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2019-0272>
- Li, A. Q., Rich, N., Found, P., Kumar, M., & Brown, S. (2020). Exploring product-service systems in the digital era: A socio-technical systems perspective. *The TQM Journal*, 32*(4), 897–913. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2019-0272>
 - Li, Z., Khajepour, A., & Song, J. (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. *Energy*, 182, 824–839. <https://doi.org/10.1016/j>
 - Li, Z., Khajepour, A., & Song, J. (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. *Energy*, 182,* 824–839. <https://doi.org/10.1016/j>
 - Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
 - Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115,* 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
 - Lim, C.-H., Kim, M.-J., Heo, J.-Y., & Kim, K.-J. (2018). Design of informatics-based services in manufacturing industries: Case studies using large vehicle-related databases. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29*(3), 497–508. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>
 - Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A metric for quantifying product-level circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21*(3), 545–558. <https://doi.org/>
 - Liu, Q., Trevisan, A. H., Yang, M., & Mascarenhas, J. (2022). A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms. *Business Strategy and the Environment*, 31*(5), 2171–2192. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108581>
 - Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Chiappetta Jabbour, C. J., Choi, T.-M., & Latan, H. (2022). ‘Better together’: Evidence on the joint adoption of circular economy and industry 4.0 technologies. *International*

- tional Journal of Production Economics, 252,* 108581. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: A proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research, 270*(1–2), 273–286. <https://doi.org/10.1111/jiec.12763>
 - Lüdeke-Freund, F., Gold, S., & Bocken, N. (2019). A review and typology of circular economy business model patterns. *Journal of Industrial Ecology, 23*(1), 36–61. <https://doi.org/10.1007/>
 - Mamalis, A. G., Spentzas, K. N., & Mamali, A. A. (2013). The impact of automotive industry and its supply chain to climate change: Some techno-economic aspects. *European Transport Research Review, 5*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.008>
 - McDonough, W., & Braungart, M. (2003). Towards a sustainable architecture for the 21st century: The promise of cradle-to-cradle design. *UNEP Industry and Environment, 26,* 13–16.
 - Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A., & Bibyan, S. (2021). A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. *Sustainable Production and Consumption, 26,* 187–202. <https://doi.org/10.1016/S0959->
 - Mont, O. (2002). Clarifying the concept of product–service system. *Journal of Cleaner Production, 10*(3), 237–245. <https://doi.org/10.3390/su15097187>
 - Moreno, M., Turner, C., Tiwari, A., Hutabarat, W., Charnley, F., Widjaja, D., & Mondini, L. (2017). Re-distributed manufacturing to achieve a circular economy: A case study utilizing IDEF0 modeling. *Procedia CIRP, 63,* 686–691. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
 - Morfeldt, J., Davidsson Kurland, S., & Johansson, D. J. (2021). Carbon footprint impacts of banning cars with internal combustion engines. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 95,* 102807. <https://doi.org/10.1111/jiec.13134>
 - Mügge, J., Grosse Erdmann, J., Riedelsheimer, T., Manoury, M. M., Smolka, S.-O., Wichmann, S., & Lindow, K. (2023). Empowering end-of-life vehicle decision making with cross-company data exchange

- and data sovereignty via Catena-X. **Sustainability*, 15*(9), 7187. <https://doi.org/10.3390/su11020391>
- Mugge, R., Schoormans, J. P. L., & Schifferstein, H. N. J. (2005). Design strategies to postpone consumers' product replacement: The value of a strong person-product relationship. **The Design Journal*, 8*(2), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036>
 - Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics*, 140*(3), 369–380. <https://www.pwc>
 - Niero, M., Jensen, C. L., Fratini, C. F., Dorland, J., Jørgensen, M. S., & Georg, S. (2021). Is life cycle assessment enough to address unintended side effects from Circular Economy initiatives? **Journal of Industrial Ecology*, 25*(5), 1111–1120. <https://doi.org/10.25368/2022.163>
 - Parajuly, K., Fitzpatrick, C., Muldoon, O., & Kuehr, R. (2020). Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU. **Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, * 100035. <https://doi.org/10.1007/s11573-023-01154-8>
 - Parida, V., Sjödin, D., & Reim, W. (2019). Reviewing literature on digitalization, business model innovation, and sustainable industry: Past achievements and future promises. **Sustainability*, 11*(2), 391. <https://doi.org/10.1038/461472a>
 - Pieroni, M. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. (2019). Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. **Journal of Cleaner Production*, 215, * 198–216. <https://doi.org/10.1002/bse.2956>
 - Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: Measuring innovation in the product chain. **PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.**
 - PWC. (2007). The automotive industry and climate change framework and dynamics of the CO2 (r)evolution. Retrieved June 19, 2023, from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.075>
 - Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0?—Exploring controversies in

the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling, 135,* 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.117>

- Reim, W., Sjödin, D., & Parida, V. (2018). Mitigating adverse customer behaviour for product-service system provision: An agency theory perspective. *Industrial Marketing Management, 74,* 150–161. <https://doi.org/10.1002/bse.2834>
- Revellio, F. (2022). Mythos: Langlebige Produkte sind schlecht fürs Geschäft. In A. Böckl, J. Quaing, I. Weissbrod, & J. Böhm (Eds.), *Mythen der Circular Economy* (pp. 31–45). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.198>
- Ries, L., Beckmann, M., & Wehnert, P. (2023). Sustainable smart product-service systems: A causal logic framework for impact design. *Journal of Business Economics, 93*(4), 667–706. <https://doi.org/10.17863/CAM.13931>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature, 461*(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1002/bse.414>
- Rogers, H. A., Deutz, P., & Ramos, T. B. (2021). Repairing the circular economy: Public perception and participant profile of the repair economy in Hull, UK. *Resources, Conservation and Recycling, 168,* 105447. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.095>
- Rusch, M., Schöggel, J.-P., & Baumgartner, R. J. (2022). Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Business Strategy and the Environment, 32,* 1159–1174. [URL35]
- Santa-Maria, T., Vermeulen, W. J. V., & Baumgartner, R. J. (2022). How do incumbent firms innovate their business models for the circular economy? Identifying micro-foundations of dynamic capabilities. *Business Strategy and the Environment, 31*(4), 1308–1333. [URL36]

- Scheepens, A. E., Vogtländer, J. G., & Brezet, J. C. (2016). Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: Making water tourism more sustainable. *Journal of Cleaner Production, 114,* 257–268. [URL37]
- Schöggel, J.-P., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2020). The narrative of sustainability and circular economy—A longitudinal review of two decades of research. *Resources, Conservation and Recycling, 163,* 105073. [URL38]
- Selvefors, A., Rexfelt, O., Renström, S., & Strömberg, H. (2019). Use to use—A user perspective on product circularity. *Journal of Cleaner Production, 223,* 1014–1028. [URL39]
- Shevchenko, T., Saidani, M., Ranjbari, M., Kronenberg, J., Danko, Y., & Laitala, K. (2023). Consumer behavior in the circular economy: Developing a product-centric framework. *Journal of Cleaner Production, 384,* 135568. [URL40]
- Stahel, W. R. (2010). *The performance economy.* Palgrave Macmillan. [URL41]
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature, 531*(7595), 435–438. [URL42]
- Stahel, W. R. (2019). *The circular economy: A user's guide.* Routledge. [URL43]
- Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2022). Die Circular Economy—ein Konzept mit vielen Perspektiven. In A. Böckl, J. Quaing, I. Weissbrod, & J. Böhm (Eds.), *Mythen der Circular Economy* (pp. 5–12). [URL44]
- Suchek, N., Fernandes, C. I., Kraus, S., Filser, M., & Sjögrén, H. (2021). Innovation and the circular economy: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment, 30*(8), 3686–3702. [URL45]
- Tecchio, P., McAlister, C., Mathieux, F., & Ardente, F. (2017). In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. *Journal of Cleaner Production, 168,* 1533–1546. [URL46]
- Tietze, F., & Hansen, E. (2017). To own or to use? Retrieved June 19, 2023, from [URL47]

- Tukker, A. (2004). Eight types of product–service system: Eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. *Business Strategy and the Environment, 13*(4), 246–260. [URL48]
- Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy—a review. *Journal of Cleaner Production, 97,* 76–91. [URL49]
- Valencia, A., Mugge, R., Schoormans, J., & Schiffersein, H. (2015). The design of smart product-service systems (PSSs): An exploration of design characteristics. *International Journal of Design, 9*(1).
- Velenturf, A. P., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption, 27,* 1437–1457. [URL50]
- Wastling, T., Charnley, F., & Moreno, M. (2018). Design for circular behaviour: Considering users in a circular economy. *Sustainability, 10*(6), 1743. [URL51]
- Yang, M., & Evans, S. (2019). Product-service system business model archetypes and sustainability. *Journal of Cleaner Production, 220,* 1156–1166. [URL52]
- Zhang, C., & Ji, W. (2019). Digital twin-driven carbon emission prediction and low-carbon control of intelligent manufacturing job-shop. *Procedia CIRP, 83,* 624–629. [URL53]
- Zhang, W., & Xu, J. (2022). Advanced lightweight materials for automobiles: A review. *Materials & Design, 221,* 110994. [URL54]



تحويل سلاسل القيمة من أجل الاستدامة

نحو اقتصاد دائري في عصر
التنقل الكهربائي

كاي-إنغو فويغت ولوثار تشايا وأوليفر زيبسه

6.1 مقدمة:

في ظل تصاعد وتيرة الاحتباس الحراري وتقلبات المناخ الحادة، اتفقت 196 جهة على هدف طموح بموجب اتفاق باريس: حصر ارتفاع درجة الحرارة دون عتبة الدرجتين المئويتين مقارنة بعصر ما قبل الصناعة، وهو ما يستلزم بلوغ الحياد الصفري بحلول عام 2050 (اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، 2022).

يُعدُّ التحول نحو مصادر الطاقة المتجددة واعتماد التنقل الكهربائي حجر الزاوية في بناء اقتصاد خالٍ من الكربون (فايمر وآخرون، 2019). ويُشكل النقل البري التقليدي، القائم على الوقود الأحفوري، حاليًا المحرك الأكبر للاحتباس الحراري ضمن قطاع النقل، مما يفتح آفاقًا واسعة للتحول عبر التوسع في استخدام المركبات الكهربائية (باسيا وآخرون، 2021). وتتبوأ بطاريات الليثيوم-أيون القابلة لإعادة الشحن (LIBs) مكانة الحل التقني الأمثل في سوق المركبات الكهربائية الراهن (فايمر وآخرون، 2019).

ورغم المزايا البيئية العديدة التي تقدمها المركبات الكهربائية، فإن تأسيس سلاسل قيمة جديدة وتطوير القائمة منها في قطاع السيارات لتمكين هذا التحول يمثل تحديًا كبيرًا. ويمثل المسار نحو الحياد الصفري، الذي يستعرضه هذا الكتاب تحت عنوان «تحويل سلاسل القيمة من أجل الاستدامة»، حلقة وصل محورية تربط بين الفصل

الخامس والفصل السابع.

وبعد أن استعرض الفصل الخامس المفهوم العام للاقتصاد الدائري وإمكاناته في إنتاج مستدام، يتعمق بنا الفصل السادس في دراسة سلاسل القيمة الخاصة ببطاريات المركبات الكهربائية. إذ يهدف هذا التعمق إلى استجلاء تعقيداتها واستكشاف إمكاناتها الكامنة ومناقشة التحديات المصاحبة لجهود إبقاء المواد ضمن دورة مستمرة من الاستخدام وإعادة الاستخدام.

وبالنظر إلى الدور المحوري الذي تلعبه البطاريات وتقنياتها في المركبات الكهربائية الحديثة، يصبح التكامل الشامل والمعقد بين سلسلة قيمة صناعة السيارات وسلسلة قيمة بطاريات السيارات أمرًا حتميًا، حيث تتشابك خطوات الجهات الفاعلة وتتنظم في إطار تكاملي. وعلى الرغم من ذلك، ما تزال سلسلة قيمة بطاريات الليثيوم-أيون (Li-ion) في الوقت الراهن أسيرة نموذج الاقتصاد الخطي التقليدي (دي بيرسيو وآخرون، 2020).

وانطلاقًا من التوجه نحو تحقيق أهداف المناخ، أكدت المفوضية الأوروبية على ضرورة إحداث تحول جذري في قطاع البطاريات. وقد تجلّى هذا التأكيد في التزامها بإنشاء سلسلة قيمة تنافسية ومستدامة للبطاريات، تنسجم مع مبادئ الاقتصاد الدائري وتتبنى معايير بيئية واجتماعية رفيعة.

ولتحقيق هذه الغاية، يتعين على سلاسل إنتاج البطاريات وإعادة تدويرها العمل على تقليص الأثر البيئي إلى أدنى مستوياته. وستضطلع المتطلبات المتعلقة بالإنتاج الآمن والمستدام وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير بدور محوري في إنجاح هذا التحول (بيليفسكي وآخرون، 2021).

يهدف هذا الفصل إلى تقديم تحليل معمق لتأثير تحول صناعة السيارات نحو التنقل الكهربائي على سلسلة قيمة بطاريات المركبات الكهربائية واستكشاف التداعيات المترتبة على ذلك. ويتألف الفصل من سبعة أقسام متكاملة. يستهل القسم الثاني من الفصل السادس بتقديم مرجعية إستراتيجية تركز على ندرة الموارد الطبيعية، بوصفها محركاً رئيسياً للتوجه نحو الاقتصاد الدائري. ويسلط هذا الجزء الضوء على حتمية معالجة محدودية الموارد في سياق الاستدامة والتحول الصناعي.

ينتقل بنا القسم الثالث من الفصل السادس لاستعراض تفصيلي لمراحل سلسلة قيمة بطاريات المركبات الكهربائية، مع التركيز على الوضع الراهن للإنتاج والتوزيع والتصنيع ضمن النموذج الخطي التقليدي، وذلك قبل الخوض في مبادئ الدائرية. ويقدم القسم الرابع من الفصل السادس حواراً متخصصاً يجمع البروفيسور أوليفر زيبسه، الرئيس التنفيذي لشركة بي إم دبليو، والبروفيسور الدكتور كاي-إنغو فويغت، أستاذ إدارة الصناعات بجامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ، حيث يتناول الحوار رؤى إستراتيجية وعملية تتعلق بسلاسل القيمة في سياق التنقل الكهربائي.

وفي القسم الخامس من الفصل السادس، يعود النقاش إلى سلسلة قيمة بطاريات المركبات الكهربائية، ولكن من منظور الاقتصاد الدائري. يستكشف هذا القسم الحلول التقنية والمراحل الضرورية في سلسلة القيمة لتحقيق إغلاق الحلقة في دورة حياة البطارية، بما يضمن كفاءة استخدام الموارد وإعادة تدويرها. ويخصص القسم السادس من الفصل السادس لعرض التحديات التي تعترض تطبيق نهج دائري فعال في سلاسل قيمة بطاريات المركبات الكهربائية، وتشمل هذه التحديات الجوانب التقنية والتنظيمية والاقتصادية.

ويختتم الفصل في القسم السابع بتلخيص النقاط والمخرجات الرئيسية التي تُوصَّل إليها، مع ربطها بالفصل السابع الذي يتناول استدامة قطاع التصنيع، بعدّه امتدادًا طبيعيًا للموضوعات التي تُنوّلت في هذا الفصل.

6.2 في عصر ندرة الموارد:

يشهد سوق المركبات الكهربائية تحولًا محوريًا، إذ ينتقل من كونه سوقًا محفّزًا بالسياسات الحكومية إلى سوقٍ يركز توسعه على نحو متزايد على الطلب الطبيعي من المستهلكين. ففي العديد من الدول، باتت قيود العرض تشكل عائقًا أكبر من محدودية الطلب في تبني المركبات الكهربائية (بلومبرغ إن إي إف، 2022).

وبالنظر إلى حجم سوق التنقل الكهربائي الذي بلغ 142 غيغاواط ساعة في عام 2018، تشير التوقعات إلى نمو هائل في سوق بطاريات المركبات الكهربائية ليصبح أكبر بنحو 16 ضعفًا بحلول عام 2030، وبمعدل نمو سنوي مركب قدره 26.3% (المنتدى الاقتصادي العالمي، 2019).

تُلقِي هذه التطورات بظلالها على الصناعة بتحديات جسيمة، لا تقتصر على تلبية الطلب المتزايد على المواد الخام الضرورية لإنتاج المركبات فحسب، بل تمتد لتشمل التعامل الأمثل مع المركبات بعد انتهاء استخدامها.

وفيما يتعلق بالطلب على المواد الخام، تجد ألمانيا نفسها – والصناعة الألمانية تحديدًا – معتمدة كليًا على الاستيراد لتأمين احتياجاتها من الوقود الأحفوري والمعادن الفلزية والعديد من المعادن الصناعية الأخرى. وتواجهها في ذلك جملة من المخاطر، تتراوح بين عدم الاستقرار السياسي في الدول المنتجة وقيود التجارة الإستراتيجية.

ويُضاف إلى ذلك، تفاقم صعوبات التسليم، واختناقات سلاسل الإمداد، وتهديدات انقطاع التوريد التي تواجه الشركات. كما أن تصاعد طلب الدول النامية والناشئة على المواد الخام يزيد من حدة التنافس في أسواق الموارد الطبيعية. ويبرز هذا الوضع خاصة فيما يتعلق بالمواد الخام الحيوية للتقنيات الحديثة في صناعات السيارات والإلكترونيات والتقنيات البيئية.

وتُلقى الأسعار المرتفعة والمتقلبة واختناقات الإمداد بثقل متزايد على الاقتصاد الألماني، مما يحتم على الشركات تنويع مصادر التوريد، والتحوط من مخاطر الأسعار، واستكشاف بدائل للمواد الخام الشحيحة (اتحاد غرف الصناعة والتجارة الألمانية، 2022).

أما فيما يتعلق بسوق البطاريات الذي يكتسب أهمية استثنائية في قطاع التنقل الكهربائي، يمكن تصنيف السوق العالمي للبطاريات إلى نوعين رئيسيين: البطاريات الأولية غير القابلة للشحن، والبطاريات الثانوية القابلة لإعادة الشحن، بنسبة تقريبية تتراوح بين 1 إلى 3. فبينما تعتمد البطاريات الأولية على تفاعلات كيميائية غير عكسية وتُستخدم مرة واحدة، تستند البطاريات الثانوية إلى تفاعلات كيميائية عكسية، مما يتيح إعادة شحنها وتفريغها عدة مرات.

ففي عام 2019، استحوذت بطاريات الرصاص الحمضية وبطاريات الليثيوم-أيون على حصة متقاربة بلغت حوالي 50٪ لكل منهما من السوق العالمي للبطاريات الثانوية (تشاو وآخرون، 2021). وتتميز بطاريات الليثيوم-أيون بخصائص تقنية تجعلها الخيار الأمثل لتزويد المركبات الكهربائية بالطاقة. وعلى الرغم من ثبات المبدأ الأساسي لعمل هذه البطاريات، تتعدد أنواعها تبعاً للتركيب الكيميائية والتصميم الهندسي.

وتتطلب عملية إنتاج بطاريات الليثيوم-أيون المستخدمة في المركبات كميات كبيرة من مواد لم تكن شائعة الاستخدام في قطاع السيارات سابقًا. وعلاوة على ذلك، يؤدي الاعتماد على البطاريات إلى زيادة الطلب على المعادن بنحو ستة أضعاف مقارنة بالمركبات التقليدية (الوكالة الدولية للطاقة، 2018).

يمثل هذا الواقع تحديًا كبيرًا للصناعة فيما يتعلق بضمان إمدادات مستدامة من المعادن النفيسة في ظل تصاعد الطلب العالمي (الوكالة الدولية للطاقة، 2018). وفي حين يتوفر بعض هذه المواد بسهولة نسبية، فإن ما يُعرف بالموارد الحرجة قد يشكل في كثير من الأحيان عقبات كبيرة.

ونظرًا للاتجاهات الراهنة والتطورات في كيمياء البطاريات، تُصنف مواد الكوبالت والغرافيت والليثيوم والمنغنيز والنيكل ضمن المواد الخام الحرجة في صناعة البطاريات، وسيجري تناولها بإيجاز (بوبًا وآخرون، 2020). وتُصنف المواد الثلاث الأولى (الكوبالت، الليثيوم، الغرافيت) ضمن فئة المخاطر الأعلى للإمداد مقارنةً بالنيكل والمنغنيز (رابطة الاقتصاد البافاري - فراينغونغ دير بايريشن فيرتشافت، 2021).

يُستخلص الكوبالت على أنه منتج ثانوي لعمليات تعدين النحاس والنيكل. وتتصدر جمهورية الكونغو الديمقراطية قائمة الدول المنتجة للكوبالت الخام بدءًا من عام 2021؛ حيث تستحوذ على 70٪ من الإنتاج العالمي. وتتركز عمليات معالجة الكوبالت رئيسيًا في الصين التي تمتلك أكثر من 90٪ من القدرة العالمية على التكرير والمعالجة (المسح الجيولوجي الأمريكي، 2022).

يمثل هذا التركيز الشديد في عمليات التعدين والمعالجة في دولتين فقط خطرًا كبيرًا على استقرار سلسلة إمداد الكوبالت (الوكالة الدولية

للطاقة، 2021). وتُعد الصين أكبر مستهلك للكوبالت على مستوى العالم، حيث يُستخدم 80% منه في صناعة البطاريات القابلة لإعادة الشحن. ويوجد اتجاه متزايد نحو تقليل نسبة الكوبالت في تركيبات البطاريات (المسح الجيولوجى الأمريكى، 2022).

لقد برز أمن إمدادات الليثيوم العالمى أخيراً بصفته أولوية قصوى لشركات التكنولوجيا، وذلك نظراً للدور الحيوى لهذا العنصر في صناعاتها. وتسيطر أستراليا وتشيلي والصين على 95% من الإنتاج العالمى لليثيوم، وينقسم هذا الإنتاج إلى مصدرين رئيسيين: المحاليل الملحية التي تتركز في تشيلي والصين، وخام الإسبودومين المتوفر في أستراليا. ويختلف نوع المصدر أيضاً من حيث عمليات المعالجة والتكرير اللاحقة.

وتفرض الصين هيمنتها على سوق تكرير الخام الصلب (الإسبودومين)، حيث تمتلك 45% من القدرة العالمية على التكرير. وفي المقابل، تتركز 32% من القدرة التكريرية في تشيلي، و20% في الأرجنتين، مع التركيز على استخلاص الليثيوم من المحاليل الملحية (المسح الجيولوجى الأمريكى، 2022).

وفيما يخص جانب الإمداد، لا تُتوقع مشكلات كبيرة على المدى القريب أو المتوسط لسلسلة توريد البطاريات (هايسمان وآخرون، 2020). وعلى الرغم من التطورات الحديثة في بطاريات الصوديوم-أيون، فإنه لا يُرجح استبدال الليثيوم بمادة بديلة على نطاق واسع في بطاريات السيارات في المستقبل القريب (المسح الجيولوجى الأمريكى، 2022).

إن استحواذ الصين على 79% من الإنتاج العالمى للغرافيت؛ يُسيطر على ربع إنتاج الغرافيت غير المتبلور وثلاثة أرباع الغرافيت الرقائقى المتاح عالمياً (المسح الجيولوجى الأمريكى، 2022). وتهيمن الصين

على معالجة الغرافيت الكروي في المراحل النهائية للتصنيع. ويخضع الغرافيت المستخدم في إنتاج بطاريات الليثيوم-أيون لمتطلبات دقيقة فيما يتعلق بحجم الرقائق ومحتوى الكربون (بوبّا وآخرون، 2020). ونتيجة لذلك، تحتل الصين موقعًا مهيمناً في السوق، مما يعيق أي مساعٍ لتنويع سلسلة الإمداد. وإلى جانب الغرافيت الطبيعي، يشهد السوق نموًا متزايدًا في استخدام مسحوق الغرافيت الصناعي والغرافيت الصناعي الثانوي الناتج عن عمليات تشكيل الغرافيت (المسح الجيولوجي الأمريكي، 2022).

وفي عام 2021، استحوذت إندونيسيا والولايات المتحدة الأمريكية والفلبين وروسيا على نحو 75% من إنتاج النيكل العالمي (المسح الجيولوجي الأمريكي، 2022). إذ تتطلب بطاريات أيونات الليثيوم نيكلًا عالي النقاوة، مما يستدعي استخدام كبريتات النيكل التي يمكن إنتاجها من منتجات النيكل من الفئة الأولى التي تتجاوز درجة نقائها 99.8% (الوكالة الدولية للطاقة، 2021). وبالنظر إلى استخداماته المتعددة تاريخيًا، يتمتع النيكل بسلسلة إمداد متطورة بالفعل، ولا تشكل بطاريات أيونات الليثيوم سوى جزء صغير من إجمالي الطلب عليه (الوكالة الدولية للطاقة، 2018).

ومع ذلك، شهدت منطقة آسيا والمحيط الهادئ تطورات ملحوظة خلال السنوات الخمس الماضية (الوكالة الدولية للطاقة، 2021)، حيث ساهمت إندونيسيا والفلبين وحدهما بنسبة 50.7% من الإمدادات العالمية.

تُعد جنوب إفريقيا والغابون وأستراليا من الدول الرئيسة المساهمة في تأمين إمدادات المنغنيز، إذ تستحوذ مجتمعة على 71.5% من الإنتاج العالمي. وتشير التوقعات إلى عدم وجود بديل للمنغنيز في تقنيات بطاريات أيونات الليثيوم (المسح الجيولوجي الأمريكي، 2022).

ختامًا، في عصر ندرة الموارد، يُرتقب أن يمثل تأمين المواد الخام الضرورية للتنقل الكهربائي، الذي سيتعاظم شأنه مستقبلاً، تحديات جمة لسلسلة القيمة في قطاع السيارات، وأن يفضي إلى تحولات هيكلية واسعة النطاق.

يواجه قطاع صناعة السيارات معضلة أخرى كبرى، فحتى مع حداثة عهد التنقل الكهربائي، يتنبأ الباحثون بكميات سنوية ضخمة من البطاريات المستهلكة بحلول عام 2040. لذا، تضحى المفاهيم والتقنيات المتعلقة بالاستخدام المستدام لبطاريات أيونات الليثيوم المستهلكة ضرورة ملحة، شأنها شأن سلاسل القيمة التي تُكيف وتُعدل لمواجهة هذه التحديات المتصلة بالمواد الخام.

6.3 تحولات سلسلة القيمة:

تتسم سلسلة قيمة بطاريات أيونات الليثيوم في قطاع السيارات بتوزع عالمي لخطواتها. فتعدين المواد الخام ومعالجتها اللاحقة ثم تصنيع البطاريات تجري في مواقع جغرافية متنوعة حول العالم، وفقاً لتوافر الموارد ومستوى الخبرات المتخصصة وتكاليف الإنتاج. وبينما يتركز استخراج المواد الخام الحيوية بصورة أساسية في نصف الكرة الجنوبي، فإن عمليات المعالجة اللاحقة وإنتاج الخلايا تُجرى في قارة آسيا. وغالبًا ما تتولى شركات تصنيع المعدات الأصلية (OEM) التجميع النهائي للوحدات وبطاريات المركبات الكهربائية، وتنتشر هذه الشركات في دول آسيا ودول الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية.

ويمكن تقسيم مراحل سلسلة القيمة الخطية إلى أربع مراحل رئيسية: تبدأ باستخراج المواد الخام والحصول عليها وتتبعها عملية المعالجة ومن ثم تصنيع المكونات الفردية للخلية وتجميعها

لتكوين خلية البطارية. وتأتي المرحلة التالية لدى الشركات المصنّعة، وتشمل تجميع الخلايا في وحدات وحزم، بالإضافة إلى دمج نظام إدارة البطارية والأنظمة المساعدة، ثم دمج نظام البطارية داخل المركبة الكهربائية. أما المرحلة الأخيرة، مرحلة نهاية العمر الافتراضي، فتتمثل في إزالة البطارية من المركبة، يليها إما إعادة استخدامها في دورة حياة ثانية، أو إعادة تدوير المواد القيّمة (تشولا وآخرون، 2021؛ لبيدييفا وآخرون، 2017).

وتخضع الخطوات الأولية مثل شراء المواد الخام ومعالجتها وإنتاج المكونات والخلايا، لموجبات التكلفة، مما يجعلها ساحة تنافس عالمية. وفي المراحل اللاحقة، ينصب التركيز على الجدوى التطبيقية ومتطلبات العملاء الخاصة، وهو ما يدفع نحو تحقيق القيمة في المرحلة النهائية (ستين وآخرون، 2017).

يتجلى الطلب المرتفع على بطاريات أيونات الليثيوم بوضوح في المراحل الأولية من سلسلة القيمة، وذلك من خلال تزايد الطلب على المواد الخام. وتُصنف المواد الخام الضرورية لإنتاج بطاريات أيونات الليثيوم ضمن مستويات أهمية متنوعة، اعتمادًا على الطلب المتوقع، ووفرته الطبيعية، والطاقة الإنتاجية العالمية.

ومثلما أُشير إليه سابقًا، تصنف الأدبيات كلاً من الكوبالت والغرافيت والليثيوم والمنغنيز والنيكل على أنها مواد حرجة. وبسبب طبيعتها، ترتبط هذه المواد ارتباطًا وثيقًا بدول ومناطق غنية بالمعادن؛ مما ينشئ علاقات تعاون مع دول تتباين في ظروف العمل ومعايير كرامة الإنسان (تشولا وآخرون، 2021).

تستلزم المواد الخام المستخرجة في صورتها الأولية معالجة وتنقية إضافيتين لتصبح صالحة للاستخدام في عمليات الإنتاج. وتتباين

متطلبات النقاء وحجم الجزيئات تبعاً لنوع المادة، ويتعين تلبية هذه المواصفات الدقيقة لإنتاج مكونات الخلايا. ففي عام 2020، استحوذت الصين (52%) واليابان (31%) على الحصة الأكبر من القدرة العالمية للمعالجة، مما يبرز الاعتماد الكبير على منطقة آسيا (بوبا وآخرون، 2020). أما المرحلة اللاحقة، وهي المرحلة المتوسطة التي تبدأ بإنتاج المكونات بوصفها الخطوة الثالثة، فتسيطر عليها الصين أيضاً، إذ تجري فيها نحو 60% من عمليات التصنيع، تليها اليابان وكوريا الجنوبية (تشولا وآخرون، 2021).

وتغطي هذه الدول مجتمعة ما يقارب 85% من الإنتاج العالمي للمكونات والتي تشمل الأقطاب الموجبة والسالبة والفواصل والإلكترونيات وأغلفة الخلايا (بوبا وآخرون، 2020). وتكمن القيمة الفعلية في إنتاج الأقطاب في نجاح عملية طلاء الرقائق الحاملة، التي تتألف من ست مراحل (هايمس وآخرون، 2018). ويشير إنتاج الخلية إلى عملية تجميع المكونات، ويمثل المرحلة الرابعة في خلق القيمة. وكما هو الحال في المرحلة السابقة، تهيمن السوق الآسيوية بقوة على هذه الخطوة كذلك. وللمحد من هذا التركز الإقليمي، اتخذت شركات مثل مجموعة بي إم دبليو قرارات بإنشاء وتطوير إنتاج خلايا البطاريات في أوروبا وأمريكا الشمالية.

ويجري تجميع المكونات الفردية لتكوين خلية البطارية التي تُعد أصغر وحدة في نظام البطارية. وتتبع عملية التجميع، بما في ذلك اللمسات النهائية والاختبارات، مساراً من سبع مراحل (هايمس وآخرون، 2018). وعموماً، تُقسم تكاليف الإنتاج الناتجة إلى ثلاث مراحل: إنتاج الأقطاب (39%) وتجميع الخلية (20%) وإنهاء الخلية (41%) (كيبّر وآخرون، 2018).

تشتمل مرحلة القيمة النهائية على تصنيع حزمة البطارية ودمجها في المركبة الكهربائية. وتنفذ هذه الخطوة لدى شركات تصنيع المعدات

الأصلية (OEM) في قطاع السيارات، حيث تُجمع خلايا متعددة لتكوين وحدات، ثم تُربط هذه الوحدات لتشكيل نظام بطارية متكامل. ويحتوي نظام البطارية، بالإضافة إلى الوحدات، على مكونات ميكانيكية وكهربائية عديدة، كالهيكل الخارجي والإلكترونيات ونظام إدارة البطارية. وتنتهي هذه المرحلة بتركيب البطارية بالكامل داخل المركبة. وعندما تصل البطارية إلى الحد الأدنى من السعة المطلوبة ونهاية عمرها الافتراضي، تُنزع من السيارة، ويلى ذلك التخلص منها أو إعادة تدوير المكونات القيّمة الموجودة فيها. ونظرًا للأهمية المتزايدة لهذه الخطوة لتحقيق نموذج دائري مغلق، سيُتناول تسلسل عمليات إعادة التدوير الخطية بمزيد من التفصيل في القسم التالي.

6.3.1 إعادة تدوير بطاريات أيونات الليثيوم (LIBs):

يمكن تقسيم مراحل دورة حياة البطارية إلى ثلاث أقسام: الإنتاج والاستخدام وإعادة التدوير والتخلص (فان وآخرون، 2020). وبينما انصب التركيز في الماضي جليًا على المرحلتين الأوليين، تزداد المرحلة الأخيرة أهمية باطراد مع تنامي الطلب على بطاريات أيونات الليثيوم وأهميتها المتزايدة.

ونظرًا للنمو المتسارع في الطلب على البطاريات، تتخلف طرائق التعامل مع بطاريات أيونات الليثيوم المستهلكة زمنيًا، مما يستدعي تطويرها وتطبيقها على نطاق صناعي. ويمكن تلبية الطلب المتزايد على المواد الخام على نحو أفضل من خلال تعزيز عمليات إعادة التدوير (فان وآخرون، 2020). ومع ذلك، ما يزال مجال إعادة تدوير بطاريات أيونات الليثيوم قيد التطور، ولم تُعتمد بعد عمليات نهائية ومعايير موحدة له (نيويمان وآخرون، 2022). ويتضح ذلك أيضًا في الأدبيات، حيث تتناول غالبية المنشورات والأنشطة البحثية

الخطوات الجزئية اللازمة ضمن سلسلة إعادة التدوير، بينما قلما تُحلل السلسلة الكاملة تحليلًا شاملاً إلى جانب العمليات المساندة لها.

وتصف الأدبيات مقاربات مستقبلية عدة للخطوات العملية ضمن إطار الاقتصاد الدائري الشامل، لكنها ما تزال تكشف عن فجوات ملحوظة بين الطرح الأكاديمي والواقع الصناعي (نيويمان وآخرون، 2022). وقد حُددت تحديات الاقتصاد الدائري بوصفها إحدى المهام الملحة والاتجاهات المتسارعة، ويستند هذا الاقتصاد إلى عملية خطية لإعادة تدوير بطاريات الليثيوم المستهلكة على المستوى الصناعي.

عمومًا، يمكن تقسيم عملية إعادة تدوير بطاريات المركبات الكهربائية إلى أربع مراحل رئيسية: أولاً، اللوجستيات العكسية لحزم البطاريات من المركبات الكهربائية؛ وثانياً، المعالجة الأولية لتفكيك هذه الحزم وتحويلها إلى مواد مُركزة؛ وثالثاً، المعالجة المعدنية باستخدام تقنيات إعادة التدوير للحفاظ على المواد الأساسية المحددة؛ وأخيراً، إعادة إدخال المواد النقية إلى السوق. ويتمثل الهدف الأساسي في استخلاص المواد القيّمة من البطاريات المستهلكة وإعادتها إلى سلسلة الإنتاج.

ويركز النهج الحالي بصورة رئيسية على إعادة تدوير المواد القيّمة والنادرة التي توجد غالباً في الأقطاب الموجبة، كالكوبالت والليثيوم والنيكل (هوا وآخرون، 2020). ومستقبلاً، يُتوقع أن يشمل نطاق إعادة التدوير الأقطاب السالبة والإلكتروليّات أيضاً، تعزيزاً للجدوى الاقتصادية والاستدامة البيئية لهذه العمليات. وتُعرض غالبية خطوات هذه العمليات في الأدبيات الأكاديمية، وما تزال بعيدة عن التطبيق الصناعي، لكنها حظيت باهتمام متزايد في السنوات الأخيرة (نيويمان وآخرون، 2022). وتُعد هذه التطورات ضرورية لبلوغ مرحلة يمكن فيها الحديث فعلاً عن إعادة تدوير شامل لجميع المكونات وتحقيق اقتصاد دائري متكامل (نيويمان وآخرون، 2022).

6.3.2 اللوجستيات العكسية (المرحلة الأولى):

تُشكل اللوجستيات العكسية الركيزة الأساسية لإستراتيجية إعادة تدوير ناجحة وشاملة (فويغت وتييل، 2004)، إذ تتضمن مسؤولية إخراج البطاريات المستهلكة من التداول ونقلها إلى المراحل اللاحقة من عملية إعادة التدوير.

ويمكن تقسيم خطوات اللوجستيات العكسية الفرعية إلى جمع المواد وتصنيفها، ثم نقلها والتعامل معها. وحاليًا، لا توجد عمليات موحدة أو واسعة النطاق لجمع بطاريات المركبات الكهربائية المستهلكة وتصنيفها. وما تزال المعايير والمواصفات الضرورية لإعادة تدوير شامل لجميع البطاريات المستهلكة مستقبلاً غير متوفرة (ستيوارد وآخرون، 2019).

ونظريًا، فإن الخطوات المطلوبة معلومة وتتبع تسلسلاً بسيطاً؛ فينبغي جمع المركبات التي انتهى عمرها التشغيلي فور إخراجها من الخدمة في الوكالات أو ساحات الخردة، يلي ذلك نقلها إلى مصنع التفكيك، حيث قد تُخزن لفترة. وفي هذه المرحلة، تُفصل البطاريات عن المركبة وتُجمع (ستيوارد وآخرون، 2019). وتواجه هذه المرحلة تحديين رئيسيين: التباين الكبير في الأحجام والتصاميم، والاختلاف في التراكيب الكيميائية للبطاريات. ولتجنب اختلاط المواد وزيادة كفاءة إعادة التدوير في المرحلة المعدنية اللاحقة، يجب الانتباه إلى توحيد التراكيب الكيميائية للبطاريات. وغياب الملصقات التي تتضمن معلومات أساسية حول خصائص البطارية وتركيبها يزيد من صعوبة عملية الفرز الموحد، مما يشير إلى ضرورة فرض ملصقات إلزامية مستقبلاً (نيويمان وآخرون، 2022).

تُنقل البطاريات المفككة لاحقاً إلى منشآت إعادة التدوير لمتابعة المعالجة. ونظرًا للمخاطر الكامنة في بطاريات أيونات الليثيوم، تُفرض

اشتراطات سلامة خاصة أثناء عمليات النقل والمعالجة اللاحقة. وتتبع هذه المخاطر من كثافة الطاقة العالية والمواد السامة والقابلة للاشتعال داخل البطارية. ويُعد الهروب الحراري أكثر هذه المخاطر تهديداً، وهو سلسلة من التفاعلات الطاردة للحرارة غير المنضبطة. وقد تنجم هذه الظاهرة عن التعرض لمصادر حرارة خارجية أو حدوث دوائر كهربائية قصيرة داخلية أو خارجية أو ضغوط ميكانيكية ويمكن أن تؤدي إلى اشتعال البطارية بالكامل. ونتيجة لذلك، تُفرض قيود صارمة على كميات الشحن ومتطلبات التغليف الآمن ومواصفات الحجم واشتراطات وضع الملصقات وأنظمة اختبارات السلامة.

وتؤثر هذه الإجراءات تأثيراً كبيراً في تكاليف النقل التي تعتمد أساساً على مسافة النقل وحجم الشحن ومدى استغلال السعة والإجراءات الإضافية المتعلقة بالسلامة. وتشير التقديرات إلى أن تكاليف النقل تمثل في المتوسط نحو 41٪ من إجمالي تكاليف إعادة التدوير؛ مما يؤثر تأثيراً كبيراً في الربحية الاقتصادية لعمليات إعادة التدوير. وتسهم هذه التكاليف سلباً في الميزان البيئي من حيث انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) (نيويمان وآخرون، 2022).

6.3.3 المعالجة الأولية (المرحلة الثانية):

تتضمن المرحلة الثانية ما يُعرف بالمعالجة الأولية، وتهدف إلى تهيئة البطاريات لعملية استخلاص المواد. إذ يتعين فصل المكونات والمواد القيّمة وإثرائها بالاعتماد على الاختلافات في الخواص الفيزيائية كالشكل والكثافة والخصائص المغناطيسية. وبذلك، يمكن تحقيق معدلات استرداد أعلى وتقليل استهلاك الطاقة وتخفيف المخاطر المتعلقة بالسلامة والحد من التهديدات البيئية. وتتألف المعالجة الأولية من سلسلة عمليات كيميائية وفيزيائية تشمل

خطوات تفريغ الشحنة الكهربائية وتفكيك البطارية وسحقها وفصل مكوناتها (هوا وآخرون، 2020).

وقد تتسبب الطاقة المتبقية في البطاريات المستهلكة في حدوث دوائر كهربائية قصيرة، مما يؤدي إلى انفجارات أثناء عملية المعالجة الأولية. وقد تؤدي شرارة صغيرة جدًا إلى إشعال المركبات العضوية المتطايرة أثناء عملية السحق، مما قد ينجم عنه نشوب حريق. وللمحد من هذا الخطر على الإنسان والآلات، تُفَرَّغ شحنة البطاريات الكهربائية أولاً، ومن ثم تُثَبَّت (نيويمان وآخرون، 2022). كما توجد طرائق صناعية متعددة لتفريغ شحنة البطاريات، وأكثرها شيوعاً هما: طريقة الماء المالح التي تعتمد على غمر البطارية في أحواض ملحية وطريقة التفريغ الأومي التي تُجرى عبر دوائر خارجية يُتحكم من خلالها في التفريغ الكهربائي (هوا وآخرون، 2020).

تتضمن الخطوة الثانية في المعالجة الأولية تفكيك حزم بطاريات المركبات الكهربائية، حيث يُجرى تفكيك تدريجي لنظام البطارية بدءاً من مستوى الحزمة وصولاً إلى الوحدات ثم الخلايا. ويهدف هذا التفكيك إلى تحقيق فرز أولي تقريبي للمكونات بغية تعظيم العائد الاقتصادي. في البداية، يُفتح الإطار الخارجي للبطارية وتُقطع التوصيلات الكهربائية بين المكونات. بعد ذلك، تُفك التوصيلات الميكانيكية بين المكونات والقاعدة، ثم تُزال الأجزاء الإلكترونية.

وفي النهاية، تُكشف الخلايا المستهلكة للبطارية. ويُعد غياب المعايير الموحدة لتصميم وتركيب حزم البطاريات من أبرز التحديات التي تُعيق عمليات الأتمتة الآلية لهذه الخطوة. إذ ما يزال التباين الكبير في التصاميم والتكوينات يستلزم تدخلاً بشرياً مكثفاً وتعاملاً يدوياً مع العمليات (هوا وآخرون، 2020).

تُمثل عملية السحق خطوة لاحقة لتحسين معالجة البطاريات على مستوى الخلية. وسواء أُجري التمزيق الخشن أو السحق الدقيق، يُقلل حجم الجزيئات لتسهيل خطوات المعالجة اللاحقة. وللمحد من التلوث وتقليل خطر الهروب الحراري، يمكن تنفيذ عمليات تمزيق البطاريات أو سحقها في بيئة غاز خامل باستخدام غاز ثاني أكسيد الكربون. وبديلاً لذلك، يمكن إجراء السحق في محلول ملحي الليثيوم لتحديد الإلكتروليت ومنع انبعاث الغازات (هوا وآخرون، 2020).

تُفصل المواد المسحوقة، المعروفة باسم «الكتلة السوداء»، عبر عملية فصل متعددة المراحل. وينصب التركيز أساساً على فصل الجزيئات المعدنية كالغلاف ورقائق النحاس والألومنيوم عن الكتلة السوداء. وتتألف هذه الأخيرة من مزيج المواد الفعالة في القطبين السالب والموجب، وتُعد المكون الأكثر قيمة في خلية البطارية، لذا يجب استردادها بأكبر قدر ممكن خلال المعالجة الأولية (نيومان وآخرون، 2022).

ويمكن فصل المواد بالاعتماد على الاختلافات في الخصائص الفيزيائية كالجم والكثافة والمغناطيسية الحديدية والخاصية الكارهة للماء. وتُجرى هذه العملية ضمن سلسلة من خطوات الفصل الفيزيائي متعددة المراحل، تشمل مراحل متعددة من السحق والغربلة والفصل المغناطيسي والتعويم أو إحداها (هوا وآخرون، 2020).

6.3.4 المعالجة المعدنية (المرحلة الثالثة):

تُعنى المرحلة الثالثة من عملية إعادة التدوير بالمعالجة المعدنية للمواد المركزة المستخلصة في المراحل السابقة. وتتوافر لهذا الغرض تقنيات معدنية عدة تتباين في تصميمها وخصائصها ومستوى نضجها التقني، وهي: المعالجة الرطبة والمعالجة الحرارية والدمج بين الطريقتين

والمعالجة البيولوجية الرطبة (الترشيح الحيوي) وإعادة التدوير المباشر (هوا وآخرون، 2020). وبينما بلغت الطريقتان الأوليان مستوى نضج تقني كافياً لتطبيقهما صناعياً، ما تزال الطريقتان الأخيرتان في طور المختبر، وقد أثبتت جدواهما فقط في ظروف البحث العلمي (نيويمان وآخرون، 2022). وتعتمد تقنية المعالجة الحرارية على المعالجة الحرارية للبطاريات المستهلكة، حيث يحول فرن ذو درجة حرارة عالية أكاسيد المعادن القيمة إلى سبائك مختلطة (نيويمان وآخرون، 2022).

وتنقسم هذه العملية إلى ثلاث خطوات: التسخين المسبق وحرق المواد البلاستيكية واختزال المعادن القيمة. وتتضمن الخطوتان الأوليان معالجة حرارية تؤدي إلى تبخير الإلكتروليت، مما يقلل من خطر الانفجار يليها احتراق المواد العضوية كالبلاستيك. وأخيراً، عند درجات حرارة تتراوح بين 800 و1000 درجة مئوية، تُصهر المواد وتُختزل إلى سبيكة من المواد القيمة كالنحاس والحديد والكوبالت والنيكل. أما الخَبث الناتج فيحتوي على الليثيوم والألمنيوم والكالسيوم (هوا وآخرون، 2020). ولا تستلزم هذه العملية معالجة أولية مكثفة.

بيد أن السبائك الناتجة عن المعالجة الحرارية تستلزم معالجة لاحقة بهدف حفظ المواد واستخلاصها بكفاءة. وينبغي معالجة الخَبث تفادياً لهدر الموارد. ولا تُعد هذه الطريقة مجدية اقتصادياً عند استخدام بطاريات لا تحوي الكوبالت والنيكل، كبطاريات فوسفات الحديد والليثيوم (LFP).

أما المعالجة الرطبة، فتعتمد على ترشيح المعادن القيمة واستخلاصها من بطاريات الليثيوم المستهلكة باستخدام محاليل مائية. وتخضع المواد المُعالجة أولاً لعملية متعددة المراحل تتضمن خطوات رئيسة هي: الترشيح الحمضي والترسيب والاستخلاص بالمذيبات (هوا وآخرون، 2020). ففي البداية، يُرشح المسحوق الأسود باستخدام أحماض معدنية،

ثم يُزال الراشح المحتوي على الشوائب بعملية ترسيب، ليسترد بعد ذلك المواد القيمة باستخلاص متعدد المراحل بواسطة المذيبات. وعبر تعديل درجة الحموضة (pH) للمحلول الحمضي المستخدم، يمكن استخلاص المنغنيز والكوبالت والنيكل تباً في صورة أملاح مختلطة.

أما المرحلة النهائية من الترسيب فتُستخدم لاستخلاص الليثيوم أيضاً على هيئة أملاح مختلطة (نيومان وآخرون، 2022). ويمكن دمج تقنيتي المعالجة الحرارية والمعالجة الرطبة لرفع كفاءة عملية إعادة التدوير. إذ تُنقى السبائك الناتجة عن المعالجة الحرارية باستخدام أساليب المعالجة الرطبة لعزل المعادن القيمة. وتُتيح هذه الطريقة معدل استرداد أعلى للكوبالت والنيكل، تزيد من مرونة العملية في التعامل مع تغير التركيب الكيميائي للبطاريات. ومع ذلك، لا تعالج هذه الطريقة مشكلة الخَبث الذي يظل منتجاً ثانوياً غير مستقل يُتخلص منه بصفته نفايات (رولاند بيرغر، 2022).

تعتمد المعالجة البيولوجية الرطبة على الكائنات الحية الدقيقة لاستخلاص المواد القيمة من البطاريات المستهلكة، وتُعد بديلاً اقتصادياً وصديقاً للبيئة مقارنةً بالأساليب المذكورة سابقاً. وقد حظيت إحدى تقنيات هذه المعالجة، وهي الترشيح الحيوي، باهتمام متزايد في مجال إعادة تدوير بطاريات الليثيوم (روي وآخرون، 2021). وتُستخدم البكتيريا الكيميائية التغذية المحبة للأحماض في عمليات المعالجة، حيث تستمد طاقتها من أيونات الحديد والكبريت لإنتاج مستقلبات داخل وسط الترشيح (معزم وآخرون، 2021). وتُنتج هذه الكائنات الحية أحماضاً عضوية وغير عضوية تُستخدم في ترشيح المعادن عن طريق تحويل المواد الصلبة غير القابلة للذوبان إلى أشكال ذائبة وقابلة للاستخلاص (معزم وآخرون، 2021). وتستطيع هذه الطريقة إذابة معادن عدة، من بينها الكوبالت والنحاس والليثيوم والمنغنيز والنيكل. ومع ذلك،

ما تزال هذه التقنية تُطبق على نطاق مختبري فقط، وتستغرق وقتًا طويلاً نظرًا للفترة اللازمة لنمو الكائنات الحية الدقيقة؛ حيث يمكن استخلاص المعادن خلال 10 إلى 15 يومًا بكفاءة تتراوح بين 80% و95% (روي وآخرون، 2021).

أما إعادة التدوير المباشر، فتهدف إلى استرداد المواد دون التأثير في بنيتها الأصلية أو تفكيكها (هوا وآخرون، 2020). وتقوم الفكرة الأساسية على إنعاش وإعادة تنشيط المواد الفعالة التي ما تزال تحتفظ ببنيتها الوظيفية. وعوضًا عن تفكيك المواد الفعالة إلى مكوناتها الأولية لإعادة تصنيعها، يمكن استعادة السعة والخصائص المفقودة نتيجة دورات الاستخدام. وما تزال الطرق المستخدمة في هذه التقنية قيد البحث، وتشمل إعادة التنشيط الحراري وإعادة الليثيوم بالمعالجة الحرارية المائية والطرق الكهروكيميائية لإعادة الليثيوم والنضات الكهربائية ذات الجهد العالي القصير وتعريض المادة لبيئات عالية المحتوى من الليثيوم، بما في ذلك إعادة التليد (نيومان وآخرون، 2022). وتُسترد المادة الفعالة في القطب الموجب من الكتلة السوداء دون الحاجة إلى عمليات الصهر أو الترشيح (رولاند بيرغر، 2022). وبذلك، يمكن تقليل عدد خطوات المعالجة اللازمة لإعادة تصنيع مواد القطب، مما يسهم في خفض الأثر البيئي.

وتُعد هذه الطريقة حاليًا الوحيدة القابلة للتطبيق اقتصاديًا في إعادة تدوير أقطاب فوسفات الحديد والليثيوم (LFP) وأكسيد منغنيز الليثيوم (LMO). ومع ذلك، عند اختيار المواد الأولية، يجب التأكد من تجانس التركيب الكيميائي للقطب الموجب. ومثلما هو الحال مع الترشيح الحيوي، ما تزال إعادة التدوير المباشر محصورة في المختبرات، لكنها تحمل إمكانات واعدة جدًا للمستقبل (نيومان وآخرون، 2022).

6.3.5 إعادة إدخال المواد إلى السوق (المرحلة الرابعة):

بعد نجاح عملية استخلاص وإعادة تدوير المواد النقية، يمكن إعادة تدوير المواد الخام في دورة الإنتاج ضمن المرحلة الرابعة. وتُصبح هذه المواد متاحة مجددًا بصفاتها مدخلات أساسية لإنتاج بطاريات جديدة ومنتجات أخرى، ويتعين توزيعها على الشركات المصنعة المعنية. ومع وجود انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الناجمة عن عمليات تصنيع وإعادة تدوير البطاريات، يمثل إزالة الكربون من قطاع السيارات تحديًا مشتركًا بين مختلف الشركات، لا سيما وأن الجزء الأكبر من البصمة البيئية يتكون ضمن سلسلة الإمداد. ويستدعي هذا الوضع مشاركة البيانات المتعلقة بالانبعاثات على امتداد سلسلة القيمة. وقد بدأت تبرز حلول رقمية عديدة لتلبية هذه الحاجة. ومن أبرز هذه الحلول، نهج «سي غرين - SiGreen» القائم على الأنظمة البيئية والذي طورته شركة سيمنز (Siemens)، حيث يتيح هذا النظام استعلامًا فعالًا وحسابًا دقيقًا ومشاركة سلسلة للمعلومات المتعلقة بالبصمة الكربونية الحقيقية للمنتجات.

ويسمح هذا الحل بتبادل بيانات الانبعاثات عبر سلسلة الإمداد، ودمجها مع بيانات الانبعاثات الخاصة بسلسلة القيمة الداخلية لكل شركة، مما يُمكن من إنشاء بصمة كربونية واقعية للمنتجات. ويُساهم ذلك في تعزيز الشفافية ضمن سلسلة قيمة السيارات، ويفتح آفاقًا جديدة لجعلها أكثر استدامة (سيمنز، 2021).

وفي السياق ذاته، تبرز منصة «كاتينا-إكس - Catena-X» بصفقتها منصة رقمية صناعية لتبادل البيانات، تُمكن شركات تصنيع المعدات الأصلية (OEMs) والموردين من مشاركة بيانات دورة الحياة على امتداد سلسلة القيمة بأكملها (كاتينا-إكس، 2023). وتسعى كاتينا-إكس، في إطار التحول نحو صافي الانبعاثات الصفري، إلى إرساء مقاييس

موحدة لتوثيق البيانات الكربونية الفعلية التي تعكس العمليات الواقعية والظروف الجغرافية عبر سلسلة الإمداد. بالإضافة إلى ذلك، تهدف كاتينا-إكس إلى تسهيل الحصول على البيانات اللازمة لتحسين قابلية التتبع والكفاءة والدائرية عبر مختلف مراحل سلسلة القيمة. وبما أن تحقيق الاستدامة يتطلب تحولاً على مستوى الصناعات بأكملها، فإن هذه الأنظمة الرقمية وأشكال تبادل البيانات الجديدة ستكون ضرورية لتعزيز سلاسل القيمة المستقبلية.

6.4 نقاش خبير حول الاستدامة في سلسلة الإمداد:

فوغت: أصبحت الاستدامة ذات أهمية إستراتيجية في صناعة السيارات، وهي وثيقة الصلة بسلاسل الإمداد التابعة لها. إذ تُعدُّ شركة بي إم دبليو رائدة عالمياً في جوانب الاستدامة. فهل يمكنكم توضيح كيفية تعاملكم مع إدارة سلسلة الإمداد من منظور الاستدامة؟ وما التغييرات الجوهرية التي طرأت على شبكة سلسلة الإمداد لدى بي إم دبليو فيما يتعلق بالتحول الرقمي أو الاستدامة أو حتى الدروس المستفادة من جائحة كوفيد-19؟

زيبسه: إن هذه الصناعة في قلب المجتمع تماماً لأن سياراتنا - منتجاتنا - بارزة جداً في الشوارع. يعرف الجميع بي إم دبليو. وهناك نقاش مستفيض حول الاستدامة؛ فالمجتمع لن يتقبل عدم الامتثال للوائح محددة، مثل انبعاثات الغازات أو معايير السلامة، سواء كنت في أوروبا أو الولايات المتحدة أو آسيا.

والأسوأ من ذلك: أن صورة علامتك التجارية وقيمتها السوقية ستتضرر مباشرة إن لم تكونوا ملتزمين، ولذلك يجب أن تلتزموا فعلياً. خلاف ذلك، ستكون العواقب وخيمة. ففضيحة الديزل لم تكن مجرد مشكلة تقنية، بل دمرت جزءاً كبيراً من القيمة السوقية ورأس المال المستقبلي.

فوغت: كيف تعاملت بي إم دبليو مع هذا الوضع؟

زيبسه: لقد تجاوزت بي إم دبليو ذلك. ولقد جعلنا الاستدامة جزءاً جوهرياً من سياسة الشركة وإستراتيجيتنا. لكن هذا يعني أننا مُلزمون بتنفيذ هذا الالتزام. ويجب أن يكون القول مطابقاً للفعل. فلا يمكن الاكتفاء بتصريحات مثل «سأضع هدفاً جديداً بحلول عام 2050». كما يجب أن يبدأ الأمر اليوم! وإلا، فإن وسائل الإعلام ستكشف التناقض بين الأقوال والأفعال.

فوغت: ما هو دور سلسلة القيمة في هذا السياق؟

زيبسه: ستمد أكثر من 85% من القيمة المضافة في السيارة من خارج الشركة، وفي كثير من الحالات لا يجري تصميم هذه المكونات داخلياً، بل تتولى ذلك سلسلة الإمداد وشركاؤها. ومع ذلك، تظل مسؤولية جميع هذه المكونات المختلفة في منتج نهائي متكامل مسؤولية الشركة المصنعة. ويقع على عاتق كل مصنع سيارات واجب الإحاطة الكاملة بوضع سلسلة الإمداد، ولا سيما فيما يتعلق بالانبعاثات، وبخاصة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO₂)، إلى جانب الوعي بالجهات التي تُمنح العقود. وانطلاقاً من ذلك، جرى اعتماد قواعد سلوك صارمة تنطبق على جميع شركائنا في سلسلة الإمداد، مقرونة بمتطلبات واضحة تضمن مستوى عالٍ من الشفافية في ممارساتهم.

كيف يمكن وضع معايير في ثقافة قائمة على العقود؟

فوغت: تواجه سلاسل الإمداد دائماً مسألة ندرة الموارد، وهي قضية بالغة الأهمية لمستقبل أي صناعة. وتُعد صناعة السيارات الأضخم عالمياً من حيث حجم سلسلة الإمداد. فما الحلول التي يمكن أن تقدمها الأوساط الأكاديمية لتحسين إدارة ندرة الموارد في سلاسل الإمداد الخاصة بنا؟

زيبسه: يتمحور كل فكر اقتصادي وكل نموذج اقتصادي حول ندرة الموارد، لأننا لا نملك ما يكفي أبدًا. ويجب علينا أن نقرر ما سنستخدمه وما لن نستخدمه. فنحن الآن أمام شبكات معقدة للغاية من سلاسل القيمة الدولية، لا سيما في قطاع السيارات. ومثلما ذكرت، 85% من القيمة تُولّد في المراحل الأولية (Upstream)، وعليك بصفتك مُصنّعًا أصليًا (OEM) أن تقيس ذلك.

فوغت: إلى أي مدى تطورت أدوات القياس التي تناقشها الأوساط الأكاديمية؟

زيبسه: لدينا طرائق وأنظمة فعالة للغاية في قياس التأثيرات الاقتصادية مثل التكاليف والقيمة المضافة. ومن المرجح أنكم تعرفون جميع التكاليف في سلسلة القيمة بأكملها لكل مورد.

ولكن في المقابل، نفتقر إلى الكفاءة في قياس التأثيرات الاجتماعية أو البيئية. فهذه مهمة يتعين على الأوساط الأكاديمية والممارسين تطويرها. وهي ليست سهلة، لأن الاقتصاديين لديهم بُعد واحد فقط وهو الدولار أو اليورو.

أما في الجانب البيئي، فلدينا انبعاثات متعددة، لذلك نحتاج إلى أجهزة استشعار لقياس كل انبعاث ممكن.

بعد ذلك، لا بد من الاستجابة الذكية للبيانات، ومن هنا تنبع الحاجة إلى تطوير أنظمة دعم القرار وتنفيذها.

فوغت: يعمل رئيس قسم المشتريات في سيارات دايملر، الدكتور غوتينكه، على تطوير نظام يستخدم تقنية سلسلة الكتل (البلوك تشين) لقياس البصمة الكربونية لكل مورد. فهل لديكم مبادرات مماثلة في بي إم دبليو؟ وما مدى صعوبة تطوير نظام قياس كهذا؟ وما مدى أهمية قياس البيانات والحصول عليها لاتخاذ قرارات دقيقة؟

زيبسه: لدى بي إم دبليو أكثر من 4000 مورد مباشر، وأكثر من 12,000 مورد إجمالاً.

فما نوع العلاقة التي تجمعكم بهم؟ وهل تحمّلون المسؤولية لسلسلة الإمداد وتقولون: «يجب أن تلتزموا بالمعايير الاجتماعية ومعايير الانبعاثات وبنود العقود وغيرها»؟ كلا، ليس تفويض المشكلة الحل.

فالنهج الصحيح هو العمل المشترك ودعم الموردين. ففي كثير من الحالات، لا يمتلكون المعرفة أو القدرة الاقتصادية لتنفيذ خطوات محددة، مثل تركيب أنظمة سلسلة الكتل (البلوك تشين) أو أنظمة التقارير. ولكن العنصر الأهم هو تبني ثقافة التعاون بدلاً من ثقافة العقود. وعليكم أن تعملوا على تعزيز الشفافية عبر سلسلة الإمداد بأكملها.

فوغت: هل يمكنكم تقديم مثال على ذلك؟

زيبسه: تأملوا ندرة شرائح السيارات الإلكترونية. فلو توفرت لدينا شفافية وموثوقية أكبر فيما يتعلق بسلسلة الإمداد عبر مستوياتها المختلفة (سلسلة إمداد متعددة المستويات)، كمعرفة مواقع الطلبات أو حالة الطاقة الإنتاجية في المصانع، لكانت المشكلة أقل حدة وأيسر حلاً بكثير، لأنها كانت حينها ستستند إلى بيانات واقعية.

فوغت: مثال بالغ الأهمية! أرى إمكانيات هائلة في مشاركة البيانات عبر سلسلة القيمة.

زيبسه: نعم، لكن شركاء سلسلة الإمداد لن يقدموا على مشاركة بياناتهم إلا إذا وثقوا بكم. ولدينا، بالطبع، إمكانيات تقنية هائلة، كسلسلة الكتل (البلوك تشين). ولكن انظروا إلى ما يمكن أن يتحقق مع مشروع غايا-إكس

فبدلاً من «إنترنت الأشياء»، قد نصل إلى «إنترنت الشركات». فالإمكانات التقنية متاحة، وما تبقى هو الثقة.

كيف يمكن للموردين أن يضطلعوا بدور محوري في تحقيق أهداف الاستدامة؟

فوغت: إن توجيه نداء مباشر إلى شبكتنا الواسعة التي تضم أربعة آلاف مورد، مطالبين إياهم بتجاوز معايير نظام الإدارة البيئية والتدقيق البيئي (EMAS) والمعيار الدولي لنظام إدارة البيئة (ISO 14001) نحو التزام أعمق بقضايا الاستدامة، قد يُقابل بتحفظات مشروعة تتعلق بالتكاليف الإضافية التي قد لا يقابلها عائد ملموس في نظرهم. ومع ذلك، ندرك تمام الإدراك أن مساهمة الموردين تُعدُّ ركناً أساسياً لا غنى عنه لبلوغ غاياتنا الطموحة. نتذكر جيداً المراحل الأولى لتطبيق أنظمة الجودة، حيث أبدى الموردون في البداية بعض التوجس، لكنهم سرعان ما استوعبوا أهمية الامتثال وتكاملوا مع المنظومة الجديدة. إزاء هذا، ما الرسالة التي نود توجيهها إلى شركائنا الرئيسيين من الموردين؟

زيبسه: إن الاكتفاء بالجهود الداخلية وحدها لن يحدث الأثر المرجو. ففي إطار شراكاتنا التعاقدية مع الموردين، من الأهمية بمكان أن يتبنى المنافسون أيضاً توجهات مماثلة. ولهذا، عند تضمين بنود الاستدامة في عقودنا، نسعى جاهدين لضمان اتساقها على مستوى قطاع صناعة السيارات بأكمله. وهذه الخطوة حاسمة، إذ إنها لا تترك للموردين خياراً آخر سوى الامتثال. ولنتأمل هنا قطاع السيارات الكهربائية؛ فالبصمة الكربونية الأكبر تنبع من سلسلة الإمداد، إذ يُعزى حوالي 60% منها إلى عمليات شراء وإنتاج خلايا البطاريات، مقارنة بمحركات الاحتراق الداخلي التي تتركز انبعاثاتها في مرحلة استخدام السيارة.

فوغت: بناءً على ذلك، كيف تعملون على تقليل البصمة الكربونية الإجمالية لمركباتكم الكهربائية؟

زيبسه: لقد ألزمتنا جميع مورديننا الخمسة الرئيسيين لخلايا البطاريات بالامتثال الكامل والشفافية فيما يتعلق بمصدر الطاقة المستخدم والذي يجب أن يكون طاقة خضراء بنسبة 100%. يُرَسَّخ هذا الالتزام ببنود تفاوضية في العقود.

وعند إدراج مثل هذا الشرط في الاتفاقية، من الطبيعي توقع زيادة في التكاليف. بيد أن هذه الزيادة تُعدّ مؤشراً واضحاً على تبني إستراتيجية استدامة فعّالة ومُلتزمة. وقد بدأ الموردون بالفعل في استيعاب الأهمية القصوى لهذا التوجه، وعلى المدى الطويل، سيصبح هذا هو المعيار السائد في الصناعة بأكملها.

كيف يمكن للقيادة الذاتية أن تعزز الاستدامة؟

فوغت: تُثبت الأبحاث والأوساط الأكاديمية أن الجميع سيستفيد على المدى البعيد.

دعنا الآن ننتقل إلى موضوع آخر: هل تعتقد أن القيادة الذاتية يمكن أن تحقق فوائد بيئية؟

زيبسه: السؤال الأساسي هو: «كيف تُنظَّم حركة المرور؟»، فحل مشكلات الازدحام المروري ليس الهدف الأساسي لصناعتنا، ولكن تحسين الوضع لتقليل الاختناقات المرورية يقع ضمن اهتماماتنا. وإذا نظرت إلى بعض المدن مثل لوس أنجلوس أو مدن في الصين، تجد أن متوسط السرعة هو 20 كيلومتراً في الساعة، أي أن السيارة تكون متوقفة أكثر مما تسير.

فوغت: ما الذي يمكن للتقنية أن تقدمه لمواجهة هذا التحدي؟

زيبسه: تُحدث السيارات ذاتية القيادة فرقاً ملموساً عندما تُمكنها الأتمتة من التنقل بمرونة داخل بيئات مرورية معقّدة، شريطة تنظيم

استخدامها على نحو فعال. ولا يقتصر الأثر المحتمل على تحسين انسيابية حركة المرور فحسب، بل يمتد ليشمل تعزيز راحة الركاب وإتاحة إمكانات جديدة لاستخدام وقت الرحلة بصورة أكثر كفاءة. ويمكن النظر إلى قدرة الركاب على الاسترخاء، أو حتى النوم، بوصفها مؤشراً على تحسّن جودة التجربة داخل المركبة. وتمثّل أنظمة القيادة الذاتية، حتى عند مستوى Level 2+ الذي يتيح تخفيف عبء التركيز المستمر على السائق، خطوة نوعية إلى الأمام في هذا الاتجاه.

فوغت: هل لديك أدلة علمية تُظهر كيف يمكن للقيادة الذاتية أن تُحسّن الاستدامة؟

فوغت: أعمل في المجال الأكاديمي لصناعة السيارات منذ 20 عاماً، ولكن لم أجِر أبحاثاً خاصة في هذا الموضوع، ولم أطلع على دراسات سوقية تُظهر كيف يتفاعل المشترون مع ذلك. ففي كل النقاشات حول التنقل الكهربائي والقيادة الذاتية، نادراً ما يُذكر العميل، وهذا أمر مفاجئ. فالشركة تنتج من أجل العملاء، ورغبة العميل يجب أن تكون نقطة الانطلاق.

كيف يمكن دمج احتياجات العميل في هذه العملية؟

زيبسه: تبدأ إستراتيجية أي شركة قائمة على المنتج بفهم العميل، حيث الهدف هو ربط العميل باهتمامات أصحاب المصلحة الآخرين. فعميل اليوم متوافق مع الأهداف المجتمعية. والسيارة التي لا تُسهم بوضوح في الجوانب الاجتماعية والبيئية ستفقد حصتها في السوق، حتى لو كانت هناك دائماً فئة محددة تقبل بها.

فوغت: إذن، أنت ترى العميل محرّكاً محتملاً للاستدامة؟

زيبسه: إذا كنت تملك منتجاً جذاباً يُسهم في الاستدامة، فسيحظى بسهولة بالدخول إلى السوق. انظر إلى الأحذية الرياضية: الحذاء القابل لإعادة التدوير بالكامل أغلى من الحذاء التقليدي، ومع ذلك يحظى



بإقبال. يمكنك تصميم منتجات جذابة للغاية، وفي الوقت نفسه دمج الاستدامة والتأثير الإيجابي ضمن العملية. هذا ليس تناقضًا، بل العكس تمامًا، إذا تجاهلت العميل، فإنك لا تسهم حتى في التغيير.

فوغت: من منظور انتشار الابتكار في السوق، نحن نعلم أننا لا نصل إلى السوق بالكامل منذ البداية. إن فتح السوق وتطويره مهمتان ترتبطان بالإدارة الناجحة للابتكار. فما آلياتكم لتطوير السوق؟

زيبسه: تجمع بي إم دبليو بين تقديم تجربة قيادة ديناميكية ودمج الاستدامة في استراتيجيتها المؤسسية، وهو تكامل يُظهر أن الأداء العالي والاستدامة ليسا بالضرورة خيارين متعارضين. فبدلاً من المقايضة بين هدفين، يجري إدماجهما ضمن رؤية شاملة تتيح تحقيق قيمة مضافة مستدامة.

ويظل الانتقال إلى مراحل أكثر تقدماً من هذا التحول مرتبطاً بتوافر موارد مالية كافية، وهو ما يتطلب أساساً أداءً اقتصادياً قوياً. فالأسواق المالية اليوم تشهد ارتباطاً متزايداً بالأهداف البيئية، إذ لم تعد تقتصر تقييماتها على المؤشرات المالية التقليدية. ويتجلى ذلك في أطر تنظيمية مثل تصنيف الأنشطة الاقتصادية ولوائح التقارير المؤسسية للاستدامة في الاتحاد الأوروبي، التي باتت تشكل جزءاً لا يتجزأ من منظومات الإفصاح المؤسسي.

هل يمكن أن تسهم الثورة الصناعية الرابعة في مستقبل أكثر استدامة؟

فوغت: دعنا ننتقل إلى الحديث عن الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0). لقد سُررت بقيادة مشروع بحثي في جامعة إرلانغن-نورنبرغ للتحقق مما إذا كانت الثورة الصناعية الرابعة تمثل مفهوماً لإيجاد قيمة مضافة أكثر استدامة في الصناعة. ولطالما كانت صناعة السيارات سباقاً في تبني تقنيات الإنتاج، لذلك قد يظن البعض أنه يمكن الاستغناء عن الثورة الصناعية الرابعة. فما إستراتيجية بي

إم دبليو في هذا الصدد؟ وهل ترون أي فوائد تتعلق بالاستدامة من تطبيق الثورة الصناعية الرابعة؟

زيبسه: تعد الثورة الصناعية الرابعة علامة تجارية ألمانية. فإذا ذهبنا إلى اليابان أو الولايات المتحدة، فسيقولون: «الثورة الصناعية الرابعة؟ هذه قادمة من ألمانيا». إنها تمثل دمج رقمنة المصانع مع أنظمة الإنتاج والكفاءة وتقليل الهدر وغير ذلك.

لقد أحدثت هذه الثورة، بالتكامل مع إنترنت الأشياء (IoT)، نقلة نوعية على صعيد الربحية. وربما يكون من المفيد إجراء بحث حول ذلك: فما مقدار تقليل التكلفة الفعلي لكل وحدة إنتاج من خلال الثورة الصناعية الرابعة؟ وهو ما نشاهده واقعًا في جميع المصانع.

فوغت: هل ترى فروقًا بين ألمانيا أو أوروبا وبقية العالم في هذا المجال؟

زيبسه: الأمر الأكثر إثارة هو مقارنة رقمنة العمليات واسعة النطاق في سياقات تطبيقية مختلفة. ففي قطاع التجزئة، من البديهي أن تكون الشركات الأمريكية الكبرى هي المتصدرة. ولكن في القطاع الصناعي، ترى العكس تمامًا؛ فأوروبا، وخاصة ألمانيا، تقود العالم من حيث خلق القيمة المضافة من خلال الثورة الصناعية الرابعة. وهذا ما نلمسه من خلال خبراتنا وأبحاثنا الخاصة.

في مصانعنا، تُعد الثورة الصناعية الرابعة معيارًا أساسيًا، وهي تؤثر في قضايا الاستدامة. أما الآن، فنحن ننتقل إلى الخطوة التالية: إنترنت الشركات (Internet of Companies)، لنُطلق عليها الثورة الصناعية الخامسة.

فوغت: أرى العلاقة بينها وبين مناقشتنا السابقة حول سلسلة القيمة...

زيبسه: لقد أشرنا إليها مسبقًا: سلسلة الإمداد هي إنترنت من الشركات. ولتحقيق الشفافية داخل سلسلة الإمداد، نحن بحاجة إلى إنترنت للشركات. لقد أسَّسنا تحالفًا في قطاع السيارات بالتعاون مع شركات مثل ساب (SAP) وبوش (Bosch) وزد إف (ZF) وكونتيننتال (Continental). في هذا التحالف، الذي يُعرف باسم كاتينا-أكس (Catena-X)، قررنا بناء منصات تربط الشركات ببعضها البعض تحت ضوابط أمان محددة. نطمح من خلال ذلك إلى الإسهام في السياسة الأوروبية الأوسع، وتحديدًا في إطار مشروع غايا-إكس (GAIA-X).

فوغت: بناءً على استطلاع شمل ما يقارب 500 شركة صناعية كبرى، تبين لنا أن خفض التكاليف يُعدُّ من أبرز المزايا التي تحققت بفضل الثورة الصناعية الرابعة. ومع ذلك، فإن نطاق هذه الثورة يتجاوز مجرد تقليل النفقات؛ ففي قطاعات مثل الإلكترونيات، أتاحت إمكانية تحويل المنتجات النمطية إلى أخرى مُخصصة لتلبية احتياجات المستهلكين بصورة دقيقة.

قد تتمكن من تسليم ملايين النسخ المختلفة من كل سيارة. فهل ترى مثل هذه الفوائد تتجاوز جانب خفض التكاليف؟

زيبسه: هذه الفوائد لا تقتصر على تقليل التكاليف فقط، بل تشمل أيضًا تحسين الجودة وتعزيز القدرة على إدارة التعقيد. لكن أي تحول يتطلب استثمارًا أوليًا. ونحن نسير على هذا الطريق. إنترنت الأدوات (Internet of Tools) بات معيارًا متناميًا. فعندما تشتري آلة جديدة للمصنع، تجد أنها جزء من هذا العالم الذكي. وتضطلع ألمانيا وأوروبا بدور رائد في تطوير تطبيقات مبتكرة تعتمد على إنترنت الأشياء، لا سيما عند تضافر جهود الممارسة الصناعية مع البحث الأكاديمي.

أُقدِّر أنك تُجري هذا البحث في عالم التطبيقات العملية. ومن

المواضيع البحثية المهمة الأخرى، تحديد الخطوة التالية في إدارة سلاسل الإمداد من حيث خلق الشفافية للأغراض التنظيمية وضبط الجودة والتكلفة، وبالطبع، الاستدامة.

فوغت: نحن على استعداد للقيام بهذا النوع من البحث، لكننا بحاجة إلى شركاء عمليين لتحقيق قيمة مضافة حقيقية.

6.5 إغلاق الحلقة

ما تزال سلسلة القيمة الخطية لبطاريات الليثيوم-أيون (Li-ion) هي النهج السائد حاليًا في الصناعة (دي بيرسيو وآخرون، 2020). غير أن التطورات الأخيرة المتعلقة بالطلب والعرض المستقبليين والاستدامة والامتثال لأهداف المناخ، تستلزم التحول من هذه السلسلة الخطية إلى نموذج دائري مُغلق. ومن ثم، فإن تبني نهج الاقتصاد الدائري أصبح أمرًا حتميًا لتحقيق التنمية المستدامة في المستقبل.

إن الاقتصاد الدائري نظام اقتصادي يقوم على تجنب الهدر وتعزيز الاستخدام المستمر للموارد، وبدلاً من الاعتماد على استهلاك مواد خام جديدة مثلما هو الحال في الاقتصاد الخطي. ويُركّز هذا النظام على إدارة النفايات وتقليل استخدام المواد وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير والتصنيع المسؤول. ويهدف إلى خلق صناعات ووظائف جديدة وتقليل الانبعاثات وزيادة كفاءة استخدام الموارد الطبيعية.

وفي قطاعي النقل والطاقة، يُنظر إلى الاقتصاد الدائري على أنه محرّك رئيس لتحقيق الامتثال لاتفاقية باريس للمناخ. إذ يُمكن أن يؤدي اعتماد نموذج الحلقة المغلقة إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة تصل إلى 30% في هذين القطاعين (تشاو وآخرون، 2021).

وفي المستقبل القريب، سيُحال عدد كبير من بطاريات الليثيوم-أيون إلى التقاعد، لتصبح جزءًا من تيار النفايات (هوا وآخرون، 2020). ولتعظيم الاستفادة من هذه البطاريات في نهاية عمرها الافتراضي، سيُعاد استخدامها بأشكال مختلفة، مثل إعادة التصنيع أو إعادة التوظيف في أنظمة جديدة. وفي الخطوة النهائية، ستُستخرج المواد القيّمة منها عبر إعادة التدوير لإعادتها إلى خطوات التصنيع الأولى ضمن الدورة (هوا وآخرون، 2020).

تتكون مراحل دورة حياة البطارية في إطار الاقتصاد الدائري، ومن ثم خطوات سلسلة القيمة، من دورتين مترابطتين: الدورة الأولية (Primary Life Cycle) وتشمل جميع المراحل حتى استخدام البطارية داخل السيارة، وتنتهي بمرحلة إعادة التدوير. والدورة الثانوية (Secondary Life Cycle) وتزداد أهميتها تدريجيًا، وتشير إلى إعادة استخدام بطاريات المركبات الكهربائية في تطبيقات جديدة، ويُشار إليها عادةً باسم «الحياة الثانية» (جيرنانت وآخرون، 2022).

يهدف هذا الدمج بين الدوريتين إلى تعظيم الاستفادة من المواد والجهد المبذول، مما يقلل من استهلاك الموارد والانبعاثات النسبية على مدار دورة الحياة، ويزيد من العائد على «الاستثمار الكربوني» المستخدم في التصنيع (نيزه وآخرون، 2020). وسواء مرت البطارية بالدورة الأولى فقط أو أُدرجت في الدورة الثانية، فإن إعادة تدويرها، وبالتالي استخراج المواد القيّمة، هو ما يُغلق الدائرة فعليًا.

ففي الدورة الأولية، تنقسم العمليات، على غرار سلسلة القيمة الخطية، إلى ثلاثة أقسام رئيسية: المصب العلوي (Upstream)، الذي يشمل استخراج ومعالجة المواد الخام؛ والمصب الأوسط (Midstream)، الذي يختص بإنتاج مكونات الخلايا وتجميعها في خلايا مكتملة؛ وأخيرًا المصب السفلي (Downstream)، حيث يتولى المُصنّع الأصلي (OEM)

تصنيع حزمة البطارية وتركيبها في السيارة الكهربائية. ويُشكّل إكمال إنتاج السيارة بداية مرحلة الاستخدام الأولى للبطارية.

ويُقدَّر أن مدى السير الكلي للسيارة الكهربائية يتراوح بين 120,000 و240,000 كم، ويضمن معظم المصنّعين مدىً تقريبيًا يبلغ 160,000 كم مع عمر افتراضي يصل إلى 8 سنوات (هوا وآخرون، 2020). ومع زيادة الاستخدام وحدوث تراجع في السعة، تصبح بطاريات الليثيوم-أيون غير قادرة على تلبية متطلبات الأداء والطاقة، مثل مدى القيادة والتسارع (هوا وآخرون، 2020).

وهذا ما يُعبر عنه بحالة البطارية (State of Health) والتي تصل عادةً إلى نهاية عمرها عند فقدان سعة بنسبة تتراوح بين 20% و30%. وحتى خلال الاستخدام الأولي، يمكن استبدال الوحدات التالفة أو المتدهورة بأخرى من بطاريات منتهية العمر جزئًا من إعادة التأهيل والإصلاح للاستفادة من الطاقة المتبقية في الوحدات الأخرى. وبسبب التقدم في تقنيات البطاريات وأنظمة إدارة البطارية، فإن الشيوخة المتجانسة للبطاريات تجعل إعادة التأهيل ممكنة لحوالي 5% فقط من بطاريات نهاية العمر على المدى الطويل (تشاو وآخرون، 2021). وبناءً على تحليل خصائص البطارية، يجب اتخاذ القرار بشأن ما إذا كانت ستُدرج في الدورة الثانوية، أي ستُستخدم في تطبيقات الحياة الثانية، أم سيجري تحويلها مباشرةً إلى خطوة إعادة التدوير.

تركّز الدورة الثانوية على قيمة إعادة توظيف البطارية بعد استخدامها جزئيًا، وذلك على خلاف إعادة التدوير التي تركز على القيمة المادية لمحتواها المعدني (نيزه وزملاؤه، 2020). وتتضمن خطوات هذه الدورة فحص البطارية، ثم تفكيكها وإعادة تجميعها، وصولًا إلى تطبيقات البطاريات المعاد توظيفها (شاه جلال وزملاؤه، 2022).

وتُعد الجدوى التقنية لكيمياء البطارية والجدوى الاقتصادية المرتبطة بالحياة الثانية من العوامل الأساسية في هذه الدورة، ويجري تقييمهما بعد انتهاء دورة الحياة الأولى من خلال عمليات لوجستية عكسية وتحليلات فنية دقيقة. ومن بين الأساليب المستخدمة في هذا التقييم التحليل الطيفي للممانعة الكهروكيميائية وتحليل انقطاع التيار وتحليل السعة (كيل وزملاؤه، 2021).

وتُستخدم بطاريات الليثيوم-أيون المستعملة في أنظمة تخزين الطاقة (ESS)، ويمكن استخدامها في صيانة وحدات البطارية التالفة من الدورة الأولى وإصلاحها. وتزداد أهمية هذه البطاريات المعاد توظيفها في مجالات متنوعة مثل الشبكات المصغرة (Microgrids) والشبكات الذكية (Smart Grids) والطاقة المتجددة، وتنظيم الطاقة على مستوى المساحة والتردد، وخاصةً في التطبيقات الثابتة المتصلة بالشبكة، والتطبيقات الثابتة خارج الشبكة، والتطبيقات المتنقلة (شاه جلال وزملاؤه، 2022).

ويُتوقع أن يؤدي التوسع في دمج مصادر الطاقة المتجددة داخل الشبكات الكهربائية إلى زيادة الطلب على أنظمة تخزين الطاقة الثابتة نظرًا لمساهمتها في تحقيق التوازن بين التوليد المتذبذب للطاقة المتجددة والانحرافات في الطلب، وعملها بصفقتها منظمًا للحفاظ على استقرار الشبكة (شاه جلال وزملاؤه، 2022).

وتختلف متطلبات البطاريات في المركبات الكهربائية (EVs) عن تلك المطلوبة في أنظمة تخزين الطاقة (ESS)، لا سيما فيما يتعلق باستقرار عدد الدورات وكثافة القدرة والتبريد ومقاومة الصدمات والسلامة. وتُعد معايير أنظمة تخزين الطاقة أقل صرامة وأسهل تحقيقًا مقارنة ببطاريات المركبات الكهربائية، إذ تقل أهمية خصائص مثل كثافة القدرة ومقاومة الصدمات. كما تظهر فروقات واضحة في كيمياء خلايا البطاريات، حيث تُعد الخلايا منخفضة التكلفة أكثر جاذبية

لاستخدامها في الحياة الثانية، وذلك لتوافرها وسهولة توظيفها تقنيًا، فضلًا عن كونها أقل قيمة من حيث محتواها المعدني، مما يجعلها أقل ملاءمة لإعادة التدوير المباشر.

ومثال ذلك بطاريات فوسفات الحديد الليثيوم (LFP) التي تمتاز باستقرار أعلى في عدد دورات الشحن والتفريغ وأمان داخلي وعمر افتراضي أطول مقارنة بالتقنيات المتقدمة. وعندما تتراوح حالة البطارية بين 40% و50% خلال استخدامها في الحياة الثانية، تُعد قد بلغت نهاية عمرها التشغيلي، وفي هذه المرحلة تُستخرج المواد القيمة منها في خطوة إعادة التدوير النهائية لتعود إلى بداية دورة الإنتاج (جيرنانت وزملاؤه، 2022).

6.6 نظرة مستقبلية وتحديات إضافية

تتمثل تحديات سلسلة القيمة المستقبلية لبطاريات السيارات في القضايا العامة التي تواجه صناعة البطاريات، بالإضافة إلى فئات فرعية أخرى من التحديات. ومع دخول القيادة الذاتية حيز التنفيذ، أصبحت منظومة خلق القيمة التقليدية في صناعة السيارات مهددة، ومن المتوقع حدوث اضطرابات كبيرة، لا سيما في علاقات الأعمال بين العملاء والمصنّعين الأصليين، وكذلك في نماذج الملكية.

وتُعد الشركات غير المتخصصة في صناعة السيارات، مثل غوغل (Google)، ووايمو (Waymo)، وهواوي (Huawei)، وأبل (Apple) من أبرز الجهات المُسببة لهذه الاضطرابات.

ومن المتوقع أن تواجه سلسلة القيمة الخاصة ببطاريات السيارات تحديات تقنية في جميع مراحلها. وتترافق هذه التحديات مع أهمية اقتصادات الحجم والتي سيزداد تأثيرها في المستقبل. ولكي تكون أي

تقنية مستقبلية ذات جدوى اقتصادية، فإنها ستتطلب مستوى عاليًا من التوحيد القياسي على صعيد المواد وتصميم خلايا البطارية (الشكل والتكوين). وستتزايد أهمية هذا التوحيد خاصة عند النظر إليه من منظور التكلفة الإجمالية للملكية.

وما تزال تكلفة تقنية البطاريات تمثل تحديًا كبيرًا، ويرجع ذلك بالأساس إلى عمليات التصنيع والمعالجة والمواد الخام. وسيكون من الضروري تحقيق توازن بين متطلبات المستخدم وتكلفة التكنولوجيا، وهو تحدٍّ آخر يجب التعامل معه. ولكن هناك العديد من النقاط التقنية التي تحتاج إلى تطوير لخفض التكاليف والوصول إلى سوق جماهيري حقيقي وتحقيق كهربة شاملة للنقل. يُعد تطوير البنية التحتية الكهربائية، بما في ذلك سرعة الشحن، تحديًا رئيسًا لنجاح تنفيذ التحول الكهربائي. ويرى العديد من الخبراء أن تطبيق الاقتصاد الدائري في تكنولوجيا البطاريات يمثل تحديًا حاسمًا. ويبدأ هذا من تتبع البطاريات. ففي الاتحاد الأوروبي، يُلزم المصنعون قانونيًا بتحمل مسؤولية البطارية عند وصولها إلى نهاية عمرها الافتراضي (EoL). ولضمان ذلك، يجب أن يعرف المصنعون دائمًا موقع بطارياتهم المنتهية. إلا أن هذا التتبع يصبح معقدًا للغاية في ظل نموذج الملكية التقليدي السائد حاليًا، ويظل هذا التحدي قائمًا دون حل واضح.

بات تطوير بنية تحتية رقمية شاملة للبيانات تتضمن معلومات حول موقع السيارة الحالي داخل سلسلة القيمة أمرًا لا مفر منه، في ظل الزيادة المستمرة في عدد المركبات. وحتى الآن، ما تزال الأسس اللازمة لهذا التطوير غير متوفرة، وتتمثل الخطوة الأولى نحو هذا الهدف في إطلاق «جوازات بطارية» موحدة وسلسلة قيمة مترابطة رقميًا تضم جميع الموردين والشركاء المعنيين. وعلاوة على ذلك، فإن إنشاء دورة مواد مغلقة للبطاريات والمواد المستخدمة فيها ربما يكون العامل الأكثر أهمية لترسيخ سلسلة القيمة على المدى الطويل.

وبينما لا يُتوقع حدوث مشكلات في تأمين المواد الضرورية لتوسُّع السوق على المدى القصير، فإن النظام لن يكون قادرًا على العمل بعد عام 2050 دون وجود اقتصاد دائري مغلق بنسبة شبه كاملة (100%). ولتحقيق ذلك، يجب إغلاق الدورة وإنشاء واجهات واضحة بين الجهات الفاعلة. وما يزال السؤال حول من سيتولى المسؤولية عن إدارة هذه الدورة قائمًا: هل جهة واحدة ستتولى الإشراف الكامل، أم أن هناك تقسيمًا للأدوار؟ هذا ما يزيد من أهمية تلك الواجهات. ويؤكد بعض الخبراء على أهمية درجة التدوير في تلبية توقعات انخفاض كثافة الكربون والتأثير البيئي. وتعتمد العديد من التقديرات المتعلقة بتقليل البصمة الكربونية لإنتاج البطاريات على استخدام مواد معاد تدويرها. ولتحقيق هذه المستويات المستهدفة، يرى الخبراء أن التحرك السياسي القوي بات ضروريًا.

أما سلسلة المواد فتمثل تحديًا آخر. فالإمداد بالمواد الخام يُعد نقطة ضعف بارزة، خاصة في أوروبا، مما يتطلب إعادة تموضع سيادي لتقليل الاعتماد الخارجي. وتُطرح بصفتها حلاً محتملة لإعادة تصميم سلاسل الإمداد بما يعزز الاستدامة، والدخول في شراكات إستراتيجية مع دول أخرى. وحتى إن لم يكن بالإمكان التخلص من الاعتماد كليًا، ينبغي لأوروبا تكييف شروط سلسلة القيمة بما يتماشى مع رؤيتها ومبادئها في الاستدامة، بما في ذلك ظروف العمل والمعايير الاجتماعية.

ويُتوقع أن تُحدث التحولات في تقنيات البطاريات تأثيرًا كبيرًا في سلسلة المواد، من خلال تغيير الطلب على المواد. فعلى سبيل المثال، يُتوقع انخفاض الطلب على الكوبالت، وارتفاع الطلب على المنغنيز، بالإضافة إلى الاتجاه المتزايد نحو استخدام كيميائ فوسفات الحديد الليثيوم (LFP). كذلك، فإن الانتقال إلى تقنيات الحالة الصلبة والأنودات المعدنية من شأنه أن يُغيّر الوضع القائم حاليًا جذريًا.

وفيما يتعلق ببناء القدرات، تختلف آراء الخبراء. فبينما يرى بعضهم أن التوسع في تلبية الطلب على البطاريات ليس مشكلة طالما أن المواد الخام متوفرة، يرى آخرون أن بناء القدرات الإنتاجية يمثل تحديًا كبيرًا، إلى جانب الحاجة المصاحبة لتوفير المواد. ويشيرون إلى وجود تضارب إستراتيجي حالي في التخطيط لبناء هذه القدرات. إذ يجب اتخاذ قرارات تتعلق بمواقع مصانع البطاريات ونوع الكيمياء المستخدمة والتعاون مع مشغلي أنظمة تخزين الطاقة في الوقت الحاضر لضمان توفر قدرة إنتاجية كافية خلال العقد القادم. ويقود هذا الأمر إلى إشكالية أن العديد من القرارات الإستراتيجية يجب أن تتخذ في ظل حالة من عدم اليقين.

ما تزال عمليات الإنتاج تمثل معضلة إضافية في سعي تطوير سلسلة قيمة البطاريات. ففي حين تستند معالجة المواد الخام ومركباتها الأولية إلى أسس متينة، بفضل الخبرات المتراكمة في قطاع السلع الاستهلاكية سريعة التداول، يحمل المستقبل تحديات جمة في خطوات التصنيع المبتكرة. فالضبابية تغلف مصير بطاريات الجيل القادم، وتحديدًا فيما يتعلق بسبل إنتاج المواد الخام أو المركبات الأولية بكميات تلبي الطلب الصناعي.

وينطبق الأمر ذاته على إنتاج مكونات الخلايا والخلايا نفسها، حيث لا تتوفر بيانات عملية موثوقة على نطاق صناعي واسع، مما يُبرز نقصًا في الخبرة التقنية والحاجة الماسة إلى تطوير تقنيات جديدة. إذ تُعد معالجة الإلكتروليت الصلب والأنودات المعدنية من أبرز التحديات في هذا السياق. وعلى الرغم من أن بعض العمليات الفرعية مثل الضغط الجاف وصلت إلى درجة متوسطة من النضج على المستوى الصناعي، فإن العديد من الخطوات الأخرى، وخصوصًا في مرحلة التجميع، ما تزال تمثل تحديات كبيرة.

ويعتقد الخبراء أن هناك إمكانات كبيرة لتقليل التكاليف عبر اعتماد عمليات مثل الطلاء الجاف، وهي عملية ما تزال معقدة وتستهلك كميات كبيرة من الطاقة والعمالة. ويتوقعون في المستقبل الاعتماد على عمليات مائية خالية من المذيبات الكيميائية كبديل مستدام.

كما أن اللوجستيات العكسية تُعد تحديًا آخر بارزًا؛ فصعوبة استرجاع بطاريات نهاية العمر الافتراضي تظهر بوضوح في تنظيم سلسلة الإمداد المتعلقة بـ«الحياة الثانية» وإعادة التدوير. وهذا يتطلب تعاونًا تكامليًا بين جهات راسخة وأخرى جديدة، لم يسبق لها العمل معًا بهذا الشكل الموسع من قبل. وتنعكس هذه التعقيدات أيضًا في ارتفاع تكاليف النقل.

وفي الاتحاد الأوروبي، تُصنّف البطاريات ضمن البضائع الخطرة، ما يتطلب تراخيص وشهادات واتفاقيات خاصة لنقلها. ونظرًا لتباين تطبيق اللوائح بين الدول الأعضاء في الاتحاد، يُصبح من الضروري تكييف عمليات النقل والتحقق منها على أساس قطري، مما يجعل النقل عملية بطيئة ومكلفة. وتبرز تحديات إضافية في جمع بطاريات نهاية العمر الافتراضي؛ فبالرغم من أن مستوى تتبع بطاريات السيارات أعلى من نظيراتها في السلع الاستهلاكية، إلا أن تعدد خيارات «الحياة الثانية» يجعل إعادة التدوير عالية الجودة للمواد الحرجة أمرًا معقدًا.

ويُعد الفصل الواضح بين أنواع كيميائ البطاريات أمرًا ضروريًا لضمان جودة إعادة التدوير ونقاؤها. وما تزال مسألة تصنيف بطاريات غير محسومة، وهو أمر يتطلب الحصول على معلومات مباشرة من الشركات المصنّعة، وهي معلومات يصعب الحصول عليها حاليًا.

أما التحدي الأخير، فيكمن في إعادة التدوير ذاتها، وإعادة النظر في العمليات المعتمدة حاليًا. فهناك العديد من الصعوبات والمسائل

غير المحلولة، حيث توجد فجوة واضحة بين شركات إعادة التدوير والمصنّعين. ويُنظر إلى العمليات الحالية لإعادة التدوير على أنها غير فعّالة ومضلّلة في بعض الأحيان، حيث تكفي بعض الشركات بفرم البطاريات والتخلص مما يُعرف بـ «الكتلة السوداء» في مكبات النفايات، دون استرجاع أو معالجة المواد الخام.

وحتى الشركات التي تسترجع المواد، تستخدم عمليات تحتاج إلى تطوير إضافي. فالإجراءات المعتمدة حاليًا ليست الأكثر كفاءة، لأنها تتطلب كميات كبيرة من الطاقة وتكاليف عالية لتحليل المواد وفصلها. ومن ثم، هناك حاجة ملحة إلى تطوير أساليب أكثر لطفاً واستدامة لإعادة التدوير. وتكمن المشكلة في الوقت الراهن في صغر نطاق العمليات وتعدد كيميائيات الخلايا. إذ لا يمكن تحسين أي عملية بفاعلية ما لم تكن هناك كيميائيات خلوية موحدة ومواد متوقعة.

وتُمثل بطاريات فوسفات الحديد الليثيوم تحديًا إضافيًا، نظرًا لشعبيتها المتزايدة في المركبات غير الفاخرة، بفضل توفر موادها وسعرها المنخفض. وبحلول السنوات العشر إلى الخمس عشرة القادمة، سيكون هناك عدد كبير من بطاريات فوسفات الحديد الليثيوم منتهية الصلاحية لا يرغب أحد في إعادة تدويرها، لأنها لا تحتوي على مواد قيّمة تجعلها مجدية اقتصاديًا.

وما تزال الشركات والحكومات تتجاهل مشكلة إعادة تدوير بطاريات فوسفات الحديد الليثيوم، ما يُلقي بالمسؤولية على الجهات الحكومية لسنّ سياسات تنظيمية تُشجع على إعادة تدوير هذا النوع من البطاريات.

6.7 الخاتمة

يُعدُّ الانتقال إلى اقتصاد خالٍ من الكربون ضرورة حتمية للحد من الاحتباس الحراري العالمي، ويمثل الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة والتنقل الكهربائي عنصرين أساسيين لتحقيق هذا الهدف. غير أن هذا التحول في قطاع السيارات نحو المركبات الكهربائية يُحوّل الموجبات البيئية، كالبصمة الكربونية، إلى المراحل الأولى من سلسلة القيمة. لذا، فإن فهم سلاسل القيمة المستقبلية وإدارتها بكفاءة والابتكار فيها، يُشكّل محورًا جوهريًا على طريق تحقيق الحياد الصفري.

كيف يمكن تطوير سلاسل قيمة مستدامة للمستقبل؟ نختم هذا الفصل بخمس خلاصات رئيسة تدعو إلى مواصلة النقاش والبحث:

1. لا يقتصر تقليل الآثار البيئية والاجتماعية السلبية على المركبات الكهربائية وحدها، بل يستلزم تبني منظور شمولي لسلسلة القيمة ونهجًا دائريًا في التفكير.
2. على الرغم من أن إغلاق حلقة تدفق المواد يتيح إمكانيات هائلة لخفض الانبعاثات وتحقيق الأهداف البيئية، فإن هناك عوائق تقنية وتنظيمية ومؤسسية كبيرة تعترض كل مرحلة من مراحل سلسلة القيمة الدائرية.
3. بالنظر إلى أن الاقتصاد الدائري يعتمد على بيانات دقيقة، فمن الضروري تعزيز التحول الرقمي، مثل جوازات البطاريات الرقمية (Digital Battery Passport)، وتطوير آليات فعالة لتبادل البيانات.
4. لا تستطيع أي شركة بمفردها مواجهة تحديات سلاسل القيمة الدائرية؛ بل ثمة حاجة ماسة إلى التعاون على امتداد سلاسل القيمة وداخل مختلف القطاعات الصناعية.

5. يمكن للتطوير المستمر لتقنيات تخزين البطاريات أن يسهم بدور حاسم في التغلب على ندرة الموارد المتزايدة، وسيؤثر تأثيراً كبيراً في تصميم سلاسل الإمداد المستدامة مستقبلاً.

وفي إطار السعي نحو صافي الانبعاثات الصفرية، تضطلع سلاسل القيمة بدور محوري.

ورغم أهمية سلسلة القيمة في مراحلها المبكرة، ما تزال الأنشطة التصنيعية الأساسية للمصنّعين الأصليين مُركزة في عملياتهم الصناعية الداخلية، حيث يجري تجميع مكونات الشبكات المعقدة لسلاسل الإمداد في منتجات ذات قيمة مضافة. وبهذا يكون التصنيع هو المجال الذي تتمتع فيه الشركات بأعلى مستويات السيطرة، ويمكنها من خلاله معالجة بصمتها البيئية مباشرة.

ولهذا السبب، يتناول الفصل التالي (الفصل السابع) موضوع الاستدامة في التصنيع.



المراجع

- Basia, A., Simeu-Abazi, Z., Gascard, E., & Zwolinski, P. (2021). Review on state of health estimation methodologies for lithium-ion batteries in the context of circular economy. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, 517–528. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.02.004>
- Bielewski, M., Blagoeva, D., Cordella, M., Di Persio, F., Gaudillat, P., Hildebran S., Mancini, L., Mathieux, F., Moretto, P., Paffumi, E., Paraskevas, D., Ruiz, V., Sanf  lix, J., Villanueva, A., & Zampori, L. (2021). Analysis of sustainability criteria for lithium-ion batteries including related standards and regulations. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/811476> June
- BloombergNEF (Ed.). (2022). Electric vehicle Outlook 2022: Executive summary Retrieved 26, electric-vehicle-outlook 2023, from <https://about.newenergyfinance.com/>
- Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F., & Pavel, C. (2020). Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU: A foresight study. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2873/58081>
- Catena-X. (2023). The Vision of Catena-X. Retrieved July 9, 2023, from <https://catena-x.net/en/vision-goals>
- Ciulla, F., Dayal, N., & Gujral, A. (2021). Charged-up demand brings challenges to the battery value chain. L.E.K. Consulting, 2021(23). Retrieved June 26, 2023, from <https://www.lek.com/insights/ei/charged-demand-brings-challenges-battery-value-chain>
- Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) (Ed.). (2022). Versorgung mit Rohstoffen. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.dihk.de/de/themen-und-positionen/wirtschaftspolitik/rohstoffe/versorgung-mit-rohstoffen-6254>
- Di Persio, F., Huisman, J., Bobba, S., Alves Dias, P., Blengini, G. A., & Blagoeva D. (2020). Information gap analysis for decision maker to move EU towards a circular economy for the lithium-ion battery value chain. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/811476>

org/10.2760/069052

- Fan, E., Li, L., Wang, Z., Lin, J., Huang, Y., Yao, Y., Chen, R., & Wu, F. (2020) Sustainable recycling technology for Li-ion batteries and beyond: Challenges and future prospects. *Chemical Reviews*, 120(14), 7020–7063. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00535>
- Gernant, E., Seuster, F., Duffner, F., & Jambor, M. (2022). Understanding the auto motive battery life cycle: A comprehensive analysis of current challenges in the circular economy of automotive batteries. Porsche Consulting. Retrieved June 26, 2023, from https://newsroom.porsche.com/dam/jcr:5a063b1d-7d12-4072-94ee-e4c479cd1621/Understanding%20the%20Automotive%20Battery%20Life%20Cycle_C_Porsche%20Consulting_2022.pdf
- Heimes, H. H., Kampker, A., Lienemann, C., Locke, M., Offermanns CMichaelisS., & Rahimzei, E. (2018). Lithium-ion battery cell production process (3rd ed.). PEM der RWTH Aachen University; DVMA.
- Hua, Y., Zhou, S., Huang, Y., Liu, X., Ling, H., Zhou, X., Zhang, C., & Yang, S (2020). Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 478, 228753. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228753>
- Huisman, J., Ciuta, T., Mathieux, F., Bobba, S., Georgitzikis, K., & Pennington, D (2020). RMIS—raw materials in the battery value chain. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/239710>
- International Energy Agency (Ed.). (2018). Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification. Retrieved June 26, 2023, from https://iea.blob.core.windows.net/assets/387e4191-acab-4665-9742-073499e3fa9d/Global_EV_Outlook_2018.pdf
- International Energy Agency (Ed.). (2021). The role of critical minerals in clean energy transitions: World energy outlook special report. Retrieved June 26, 2023, from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- Kehl, D., Jennert, T., Lienesch, F., & Kurrat, M. (2021). Electrical characterization of Li-ion battery modules for second-life applications. *Batteries*, 7(2), 32. <https://doi.org/10.3390/batteries7020032>

- Kuepper, D., Kuhlmann, K., Wolf, S., Pieper, C., Xu, G., & Ahmad, J. (2018). The future of battery production in electric vehicles. Boston Consulting Group. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.bcg.com/publications/2018/future-battery-production-electric-vehicles>
- Lebedeva, N., Di Persio, F., & Boon-Brett, L. (2017). Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/6060>
- Moazzam, P., Boroumand, Y., Rabiei, P., Baghbaderani, S. S., Mokarian, P., Mohagheghian, F., Mohammed, L. J., & Razmjou, A. (2021). Lithium bioleaching: An emerging approach for the recovery of Li from spent lithium ion batteries. *Chemosphere*, 277, 130196. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130196>
- Neumann, J., Petranikova, M., Meeus, M., Gamarra, J. D., Younesi, R., Winter M & Nowak, S. (2022). Recycling of lithium-ion batteries - current state of the art, circular economy, and next generation recycling. *Advanced Energy Materials*, 17, 2102917. <https://doi.org/10.1002/aenm.202102917>
- Niese, N., Pieper, C., Arora, A., & Xie, A. (2020). The case for a circular economy in electric vehicle batteries. Boston Consulting Group. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.bcg.com/de-de/publications/2020/case-for-circular-economy-in-electric-vehicle-batteries>
- Roland Berger (Ed.). (2022). The Lithium-Ion (EV) battery market and supply chain: Market drivers and emerging supply chain risks. Retrieved June 26, 2023, from https://content.rolandberger.com/hubfs/07_presse/Roland%20Berger_The%20Lithium-Ion%20Battery%20Market%20and%20Supply%20Chain_2022_final.pdf
- Roy, J. J., Srinivasan, M., & Cao, B. (2021). Bioleaching as an eco-friendly approach for metal recovery from spent NMC-based lithium-ion batteries at a high pulp density. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(8), 3060–3069. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c06573.s001>
- Shahjalal, M., Roy, P. K., Shams, T., Fly, A., Chowdhury, J. I., Ahmed, M. R. Liu K. (2022). A review on second-life of Li-ion batteries: Prospects, challenges, and issues. *Energy*, 241, 122881. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122881>

- Siemens. (2021). Siemens entwickelt ökosystembasierten Ansatz für den Austausch von Emissionsdaten. Retrieved June 26, 2023, from <https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/siemens-entwickelt-oekosystembasierten-ansatz-fuer-den-austausch-von>
- Steen, M., Lebedeva, N., Di Persio, F., & Boon-Brett, L. (2017). EU competitiveness in advanced Li-ion batteries for e-mobility and stationary storage applications - opportunities and actions. Publications Office of the European Union <https://doi.org/10.2760/75757>
- Steward, D., Mayyas, A., & Mann, M. (2019). Economics and challenges of li-ion battery recycling from end-of-life vehicles. *Procedia Manufacturing*, 33, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.033> U.S. Geological Survey (Ed.). Mineral commodity summaries 2022.
- U.S. Geological Survey (Ed.). (2022). Mineral commodity summaries 2022. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (Ed.). (2022). The Paris Agreement: What is the Paris Agreement? Retrieved June 26, 2023, from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (Ed.). (2021). Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Freizugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2020/Downloads/201202-Studie-Rohstoffe.pdf>
- Voigt, K.-I., & Thiell, M. (2004). Industrielle Rücknahme- und Entsorgungssysteme. In G. Prockl, A. Bauer, A. Pflaum, & U. Müller-Steinfahrt (Eds.), *Entwicklungspfade und Meilensteine moderner Logistik* (pp. 389–418). Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-89044-3_19
- Weimer, L., Braun, T., & vom Hemdt, A. (2019). Design of a systematic value chain for lithium-ion batteries from the raw material perspective. *Resources Policy*, 64, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101473>
- World Economic Forum (Ed.). (2019). A vision for a sustainable battery value chain in 2030: unlocking the full potential to power sustainable

development and climate change mitigation. Retrieved June 26, 2023, from https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf

- Zhao, Y., Pohl, O., Bhatt, A. I., Collis, G. E., Mahon, P. J., Rüther, T. Hollenkamp A. F. (2021). A review on battery market trends, second-life reuse, and recycling. Sustainable Chemistry, 2(1), 167–205. <https://doi.org/10.3390/suschem2010011>



الاستدامة في التصنيع

التحول واستشراف مصنع
المستقبل

نيكو هانينكامب وأوليفر زيبسه

7.1 المقدمة

لقد استأثر مفهوم الإنتاجية المستدامة باهتمام واسع لدى الباحثين والممارسين على مدى العقدين الماضيين. ففي بدايات هذا الاهتمام، انصب التركيز الأكبر على جوانب منفصلة مثل رفع كفاءة استخدام الموارد وتجنب المواد الخطرة. غير أن ثمة إدراكًا متناميًا ومشتريًا بين الأوساط الأكاديمية والصناعية بأن الاستدامة تتجاوز هذه الجوانب لتشمل طيفًا أوسع يغطي الأبعاد الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. ويجسد هذا التوجه بوضوح الهدف الثاني عشر من أهداف التنمية المستدامة (SDGs) والذي ينص على «الاستهلاك والإنتاج المسؤولين» (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015).

في عالمنا المعاصر، وفي ظل ندرة الموارد المادية والبشرية وتصادم وتيرة اللوائح البيئية والاجتماعية، لم يعد بإمكان شركات التصنيع الاكتفاء بمعالجة الجوانب المنفردة للاستدامة. بل بات لزامًا عليها تطوير إستراتيجية ورؤية شاملة لتطبيق مبادئ الاستدامة في صميم عملياتها.

يتناول هذا الفصل بالتفصيل الكيفية التي يمكن للشركات من خلالها ترجمة هذه الطموحات إلى واقع ملموس ضمن سياق عملياتها التصنيعية القائمة. وكما أشرنا في الفصلين السابقين، فإن تحقيق هدف الإنتاج المسؤول يستلزم تبني نهج دائري مبتكر في تصميم المنتجات

(راجع الفصل الخامس)، وهو ما ينطوي على تأثيرات بعيدة المدى على استدامة سلاسل القيمة (راجع الفصل السادس).

وقبل أن يستعرض الفصل التالي (الفصل الثامن) التحولات التكنولوجية التي يمكن أن تُسهم في الانتقال نحو تنقل صديق للبيئة، يتناول هذا الفصل مفهوم الاستدامة في التصنيع بوصفه خطوة محورية في هذه الرحلة التحويلية؛ فبينما يكتسب تصميم المنتجات وشبكات القيمة أهمية قصوى، تظل عملية التصنيع نفسها هي الأداة التي تُمكن الشركات من تعديل بصمتها المادية، واستهلاكها للطاقة، وتأثيراتها الاجتماعية والبيئية مباشرة وبفاعلية.

يهدف هذا الفصل إلى مناقشة مساهمات وأدوات وتحديات تبني التصنيع المستدام لتحقيق هدف الإنتاج المسؤول. وينقسم الفصل إلى ثلاثة أقسام رئيسية: يبدأ القسم الثاني بتقديم موجز حول نشأة التصنيع المستدام وتعريفه، ثم يتناول شرحًا للأبعاد الثلاثة للاستدامة وتأثيراتها في قطاع التصنيع، ويتضمن هذا القسم عرضًا لثلاث دراسات حالة توضح كيفية إدارة الاستدامة على المستوى التشغيلي، بالإضافة إلى استعراض لآفاق البحث المستقبلي المتعلقة بترشيد استخدام الطاقة، وتطوير تقنيات التصنيع المبتكرة، وتبني العمليات الدائرية.

ويعرض القسم الثالث حوارًا ثريًا بين البروفيسور أوليفر زيبسه، رئيس مجلس إدارة شركة بايريشه موتورن فيركه (بي إم دبليو) والبروفيسور الدكتور المهندس نيكو هانينكامب، من معهد آلات الإنتاج الفعالة في الموارد والطاقة بجامعة إرلانغن-نورنبرغ. ويتحول التركيز في القسم الرابع نحو استشراف ملامح المصنع المستدام في المستقبل، بينما يُختتم الفصل في القسم الخامس بملخص مُوجز يربط بسلسلة مع الفصل الثامن الذي يحمل عنوان قوة الابتكار التكنولوجي.

7.2 الأبعاد الثلاثة للإنتاج المستدام

على الرغم من مرور ما يقرب من ثلاثة عقود على البحث والتطبيق العملي، ما يزال مفهوم التصنيع المستدام يفتقر إلى تعريفات موحدة (مولدافسكا وويلو، 2017). ومع ذلك، فقد ترسخ إجماع عام على ضرورة اشتغال التصنيع المستدام على ثلاثة أبعاد رئيسية: الاقتصادي، والبيئي، والاجتماعي (فون هاوف ويورغ، 2017).

وعلى الرغم من أن غياب تعريف مُحدد قد يبدو للوهلة الأولى أمراً ثانوياً، يؤكد الباحثون أن هذا الغياب يثير تحديات عند محاولة ترجمة مفاهيم الاستدامة من الإطار النظري إلى التطبيق العملي في بيئة الإنتاج وداخل المصانع. ويبقى النقاش قائماً حول طبيعة التصنيع المستدام، وهل هو مبادرة بيئية، أم عملية منهجية، أم نموذج مفاهيمي، أم تحقيق لتوازن دقيق بين الأبعاد الثلاثة.

شهدت تسعينيات القرن الماضي ظهور العديد من التعريفات، لكنها غالباً ما أسهمت في زيادة الغموض بدلاً من توضيح المفهوم. وفي عام 2008، قدمت وزارة التجارة الأمريكية تعريفاً للتصنيع المستدام بأنه: «إنتاج منتجات مُصنَّعة باستخدام عمليات تقلل من الآثار البيئية وتحافظ على الطاقة والموارد الطبيعية وتضمن سلامة الموظفين والمجتمعات والمستهلكين، مع تحقيق الجدوى الاقتصادية» (نقلاً عن هابالا وآخرين، 2013، ص. 041013-2). ومنذ ذلك الحين، استندت العديد من الأبحاث والتطبيقات العملية مباشرة إلى هذا التعريف أو تبنت مصطلحات مماثلة له.

يتأثر البُعد البيئي لعمليات التصنيع مباشرة من خلال استهلاك الموارد (المتجددة وغير المتجددة) وانبعاث الملوثات في البيئة. فبينما يقتضي الحفاظ على الموارد المتجددة استهلاكها بما لا يتجاوز معدل

تجدها الطبيعي، يستلزم استخدام الموارد غير المتجددة ضرورة توفر بدائل مستدامة لها على المدى الطويل. وعلى صعيد الشركات الفردية، ينطوي البُعد الاقتصادي على خفض تكاليف دورة حياة المعدات وتكاليف الإنتاج.

أما البُعد الاجتماعي، فيولي اهتمامًا لاحتياجات الموظفين والمجتمع ضمن بيئة التصنيع وسلسلة الإمداد، ويشمل ضمان الصحة والسلامة في مواقع الإنتاج، والسعي لتحقيق المساواة بين الموظفين من مختلف الخلفيات، بالإضافة إلى معالجة الجوانب الاجتماعية في سلسلة التوريد كحقوق الإنسان وظروف العمل.

ففي الماضي، كانت العديد من الشركات تُولي الجوانب الاقتصادية والبيئية أولوية في إستراتيجيات الاستدامة الخاصة بها. غير أن التحولات الديموغرافية المرتقبة، وعلى رأسها شيخوخة السكان في الدول المتقدمة وما صاحبها من تقلص في الأيدي العاملة، تدفع قطاع التصنيع حاليًا إلى إيلاء الجوانب الاجتماعية اهتمامًا متزايدًا (يوان وآخرون، 2012).

وقد أظهرت الدراسات أن أبعاد الاستدامة الثلاثة وثيقة الترابط، مما يستلزم تبني منهج شمولي ومتكامل لتحقيق كامل إمكانات التصنيع المستدام (ستارك وآخرون، 2014). ويمكن للوائح المستقبلية، مثل معايير التقارير الأوروبية للاستدامة التي تحدد عناصر التقرير ومؤشرات الأداء الرئيسة، أن تقدم دعمًا عمليًا للممارسين أثناء التنفيذ (المجموعة الاستشارية الأوروبية للتقارير المالية، 2022). فالتكامل المتزامن بين الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية يعزز القدرة التنافسية للشركات، وهو ما ينعكس إيجابًا على أدائها التجاري عند تبنيها لمنهج الاستدامة ثلاثي الأبعاد بصورة منهجية.

دأبت شركات التصنيع على السعي نحو تحسين أدائها التشغيلي، وقد

أثمر هذا المسعى ابتكار مبادئ وأنظمة إدارية متطورة مثل الإدارة الرشيقة والتصنيع الأخضر ومنهجية سيغما ستة (Six Sigma). وعلى الرغم من أن هذه الأنظمة المتقدمة تسهم بالفعل في تعزيز الاستدامة في الإنتاج، فإن اقتصار الممارسات على الإدارة الرشيقة وحدها لا يكفي لمعالجة جوانب الاستدامة كافة (هارتيني وتشيبتموليونو، 2015). ويُعزى ذلك إلى أن أنواع الهدر المختلفة التي تستهدفها هذه المنهجيات لا تشمل جميع أبعاد الاستدامة، ولا تركز بالضرورة على منظور دورة الحياة الكاملة للمنتج.

ولهذا، يكمن التحدي من منظور التنفيذ في تحقيق التكامل بين المفاهيم والأنظمة الإدارية المتباينة، مع مراعاة أن لكل منها بؤرة تركيز وخبرة متخصصة، وذلك بهدف توفير نهج شامل ومتكامل لتحقيق الاستدامة في قطاع التصنيع.

وفي سياق البحث العلمي حول التصنيع المستدام، تتضمن الموضوعات البحثية المعتادة: التقنيات ودورة حياة المنتج بمنظور شمولي وشبكات القيمة المضافة والأثر العالمي للتصنيع. ولكل فئة من هذه الموضوعات، ينبغي تناول الأبعاد الثلاثة للاستدامة – البيئي والاقتصادي والاجتماعي – تناولاً متكافئاً ومتوازناً.

7.2.1 وجهات نظر عملية حول التصنيع المستدام

توضح الفقرة التالية كيفية التطبيق الناجح للتصنيع المستدام من خلال مقارنة ثلاث حالات عملية من مصنع بي إم دبليو iFACTORY⁽¹⁾، حيث يركز هذا المصنع على الأبعاد الثلاثة للاستدامة بصورة متوازنة، ويغطي مجموعات متنوعة من موضوعات البحث. وتسعى شركة بي

(1) iFACTORY: مبادرة إستراتيجية من شركة بي إم دبليو لتطوير مصانعها بما يتماشى مع متطلبات الاستدامة والرقمنة والمرونة في الإنتاج (المترجم).

إم دبليو من خلال iFACTORY إلى تحقيق التكامل بين ثلاث ركائز أساسية: الرشاقة (LEAN)، والاستدامة البيئية (GREEN)، والرقمنة (DIGITAL)، ووضعة بذلك أسس تحول شامل في خبرات التصنيع عبر شبكة إنتاجها العالمية (انظر: شركة بي إم دبليو، 2022). ويتضمن هذا التوجه ما يلي:

- الرشاقة- الكفاءة، والدقة العالية، والمرونة
 - الاستدامة والبيئة- الاستخدام الأمثل للموارد والنهج الدائرية
 - الرقمنة- مستوى جديد من تكامل البيانات من خلال الاستخدام الفعال للذكاء الاصطناعي، وعلوم البيانات، والمحاكاة الافتراضية
- توضح الحالة الأولى أن دمج المواد الدائرية المبتكرة والأنظمة الذكية يُسهم في الحفاظ على الموارد ويوفر مزايا مريحة للعاملين. ولتقليل استهلاك الموارد، نفذت مجموعة بي إم دبليو عدة مشروعات في مجال لوجستيات التغليف. إذ تهدف هذه المشروعات إلى خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالتعاون مع الموردين، وتطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري إلى أقصى حد ممكن. وتستخدم المصانع الأوروبية على نحو متزايد مواد مُعاد تدويرها في التغليف.

ففي عام 2022، نصّت العقود الجديدة الخاصة بتغليف المواد اللوجستية القابلة لإعادة الاستخدام على مضاعفة نسبة المواد المعاد تدويرها تقريباً، حيث ارتفعت من حوالي 20% إلى أكثر من 35%. كما يجري تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أيضاً من خلال استخدام مواد مستدامة بديلة والحد من التغليف الأحادي الاستخدام واستخدام تغليف خفيف الوزن وتقليص أحجام الشحن.

وتتولى مجموعة بي إم دبليو تخطيط ومتابعة آثار هذه الإجراءات الفردية من خلال حاسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المخصصة

للتغليف. أما المثال الثاني لعمليات إنتاج مبتكرة تحقق خفضاً إيجابياً في استهلاك الطاقة والمياه، فيتمثل في نظام التنقية الجافة.

وفي خطوة مهمة نحو تعزيز الاستدامة، استبدلت ورش الطلاء نظام الغسل بالماء لإزالة جزيئات الطلاء الزائدة بنظام الفصل الجاف. ففي كبائن الرش، يُجمع الآن الطلاء المتناثر الذي لا يستقر على هيكل السيارة باستخدام مسحوق الحجر الجيري بدلاً من الماء، مما يحقق خفضاً كبيراً في استهلاك المياه.

ومن المزايا الرئيسة الأخرى لنظام الفصل الجاف إمكانية تنفيذه باستخدام هواء مُعاد تدويره بنسبة تصل إلى 90%، على عكس نظام الغسل بالماء الذي يتطلب تغيير الهواء بالكامل. ويعني هذا أن 10% فقط من الهواء تحتاج إلى رفع درجة حرارتها وضبط رطوبتها، مما يساهم في توفير كميات هائلة من الطاقة. فلا يحتاج مسحوق الحجر الجيري إلى معالجة أو التخلص منه كما هو الحال مع المياه الملوثة، بل يمكن إعادته إلى دورة المواد، ليستخدم مثلاً في صناعة الإسمنت.

أما الحالة الثالثة، فتجسد تطبيقاً متكاملًا للأبعاد الثلاثة للإنتاج المستدام، حيث يُستخدم في هذه الحالة نظام محاكاة بشرية ثلاثي الأبعاد يُنشئ نموذجاً افتراضياً للإنسان داخل بيئة إنتاج افتراضية. ويعتمد هذا النظام على مزيج من بيانات التخطيط المترابطة لمحاكاة عملية الإنتاج والتجميع بأكملها بتقنية ثلاثية الأبعاد. وبواسطة هذه المحاكاة، يمكن جمع معلومات قيّمة بسهولة، مثل تحليل الوقت المُخطط وتقييمات بيئة العمل وتحسين مواقع العمل والتحقق من صحة التخطيط. ويُتيح ذلك بدوره تحسين هندسة العمليات، وظروف عمل العمال في مواقع الإنتاج ومستوى جاهزية العملية منذ بدء التشغيل الفعلي.

7.2.2 آفاق البحث في التصنيع المستدام

يُتيح التصنيع المستدام نطاقًا واسعًا من الفرص البحثية. ونظرًا للطبيعة التداخلية لدراسات الاستدامة، فإن البحث في الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية والبيئية يستلزم كفاءات بحثية متنوعة. وبسبب هذه الطبيعة المعقدة، يركز هذا القسم على المنظورات الهندسية، خاصة فيما يتعلق بالطاقة والعمليات الدائرية وتقنيات وإستراتيجيات التصنيع.

وفيما يخص الطاقة في سياق التصنيع المستدام، يمكن تحديد أربعة محاور بحثية رئيسية؛ أولاً، لطالما كان تحسين كفاءة الطاقة محورًا أساسيًا في البحث والتطبيق العملي. وإلى جانب كفاءة الطاقة (أي العلاقة بين القيمة المضافة والطاقة المستخدمة؛ المعهد الألماني للتوحيد القياسي DIN، 2021)، أصبحت مرونة الطاقة مجالًا يستدعي اهتمامًا متزايدًا في المستقبل (بوب، 2020). وتشير مرونة الطاقة إلى قدرة المصنع أو العملية على التكيف مع إمدادات الطاقة المتقلبة دون التأثير سلبًا في الإنتاجية أو الجودة أو خدمات التسليم (الاتحاد الألماني للمهندسين، 2020).

وقد حُدد ستة عشر إجراءً لتعزيز المرونة، يمكن تصنيفها على مستوى المصنع أو الإنتاج أو العملية. ومن منظور بحثي، يجب أن تتطور عمليات التصنيع وممارسات إدارة العمليات والتقنيات الرقمية لمعالجة كلٍّ من كفاءة الطاقة ومرونتها.

ثانيًا، يتمثل أحد المحاور البحثية في استبدال مصادر الطاقة الأحفورية بمصادر وتقنيات طاقة متجددة داخل المصنع. ويوجد حاليًا توجه قوي نحو كهربة العمليات الصناعية (وي وآخرون، 2019). ومع انخفاض أسعار الألواح الشمسية وزيادة قدرة البطاريات على التخزين، أصبح دمج مصادر الطاقة المتقلبة في تشغيل العمليات الصناعية

ذات الطلب المستمر أمرًا ممكنًا ومجديًا. ورغم أن العمليات الصناعية تتطلب درجات حرارة متفاوتة، فإن أنظمة التسخين الكهربائية ومضخات الحرارة عالية الحرارة والتقنيات الحرارية الشمسية يمكنها توليد درجات حرارة منخفضة تصل حتى 140 درجة مئوية بسهولة.

ثالثًا، يركز المحور الثالث على التحول المنهجي في سلسلة إمداد الطاقة الكهربائية بأكملها، بدءًا من التوليد وصولًا إلى الاستهلاك. فقد أصبح التوليد اللامركزي للطاقة باستخدام أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية قادرًا جزئيًا على استبدال الإمدادات الخارجية التقليدية التي تُنتج في محطات طاقة ضخمة وتُنقل لمسافات طويلة. وتُسهم هذه المقاربات في خفض التكاليف وزيادة مرونة الطاقة.

وأخيرًا، تمثل أنظمة الإنتاج والمصانع التي تعمل بالتيار المستمر (DC) مجالًا بحثيًا جديدًا واعدًا. وتُسَهِّل هذه الأنظمة دمج مصادر الطاقة المتجددة مثل الخلايا الكهروضوئية، كما أنها تلغي الحاجة إلى محاولات التردد التي تسبب فقدًا في الكفاءة (مثل التوافقيات)، وتتيح أيضًا استرداد الطاقة الكهربائية بسهولة أكبر (زاور، 2020). إذ يكشف هذا النطاق الواسع لنظام الطاقة ككل من الإمداد والنقل إلى الاستهلاك عن إمكانيات هائلة لتحسين الكفاءة والمرونة والاستبدال في مجال الطاقة.

7.2.3 آفاق البحث في التصنيع المستدام: العمليات الدائرية والرقمنة

يُشكِّل مجال العمليات الدائرية المحور الثاني الهام للبحث في التصنيع المستدام، مع تركيز قوي على تدفقات المواد والرقمنة. فالنهج الخطي التقليدي في التصنيع، والقائم على «الاستخراج - التصنيع -

الاستخدام - التخلّص»، لم يعد يقتصر تأثيره على تجاوز القدرة البيئية لكوكب الأرض في استيعاب النفايات فحسب، بل أدى كذلك إلى زيادة كبيرة في معدلات استخراج الموارد خلال السنوات الأخيرة. ففي دول الاتحاد الأوروبي (EU-28)، ساهم قطاع التصنيع بنسبة 10.3٪ من إجمالي النفايات، مما يجعله ثالث أكبر مساهم بعد قطاعي البناء والتعدين (رشيد وآخرون، 2020).

يتطلب فصل استهلاك الموارد وتوليد النفايات عن النمو الاقتصادي تطبيق نماذج التصنيع الدائري. ويهدف النظام الدائري أو المغلق تقليدياً إلى تقليل مدخلات الطاقة والموارد، وتعظيم القيمة المضافة، وتقليل النفايات والانبعاثات (ناصر وثورستون، 2006). ويمكن تحقيق إغلاق الحلقة بين المخرجات وإعادة المدخلات من خلال آليات مثل إعادة الاستخدام أو إعادة التصنيع أو إعادة التدوير. ومع ذلك، يواجه هذا النهج تحديات في العديد من الحالات، نظرًا لأن المنتجات والعمليات الحالية لم تُصمَّم في الأصل لتكون جزءًا من نظام دائري مغلق، إضافة إلى أن الجهد المطلوب لتطبيق الدورة قد يفوق الفوائد المحتملة في بعض الأحيان.

ووفقًا لرشيد وآخرين (2020)، وبما يتماشى مع تعريف الاقتصاد الدائري لدى مؤسسة إلين ماك آرثر (2013)، يُعرّف نظام التصنيع الدائري بأنه: «نظام يُصمَّم عن قصد لإغلاق الحلقة الخاصة بالمكونات أو المنتجات، ويفضّل أن يكون ذلك في شكلها الأصلي، عبر دورات حياة متعددة» (رشيد وآخرون، 2020، ص. 355). إذ يمكن أن يعمل التصنيع الدائري على ثلاثة مستويات رئيسية: المستوى الجزئي (Micro) مثل المنتجات أو العمليات الصناعية الفردية، ويتميّز بكونه الأقصر في دورات المواد، ما يجعله يمتلك أعلى إمكانات الأثر البيئي الإيجابي. المستوى المتوسط (Meso) مثل المدن الصناعية أو المصانع. المستوى الكلي (Macro) مثل المناطق والمدن الذكية.

واستنادًا إلى مفهوم 3R الأصلي (التقليل، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير)، طُوّر إطار R6 لتطبيق التصنيع الدائري، وهو يغطي دورة حياة المنتج بالكامل ويمثل أحدث ما توصلت إليه البحوث والممارسات في هذا المجال (جاواهير وبرادلي، 2016). ويشير التقليل (Reduce) إلى تقليل استهلاك الموارد في مرحلة ما قبل التصنيع وتقليل استهلاك الطاقة والمواد في مرحلة التصنيع وتقليل الانبعاثات في مرحلة الاستخدام. وتعني إعادة الاستخدام (Reuse) إعادة استخدام المنتج الأصلي أو مكوناته بعد كل دورة نهاية عمر (EOL). أما إعادة التدوير (Recycle) فتشير إلى تحويل المواد التي تُعد عادة نفايات إلى مواد خام جديدة تدخل في العمليات الصناعية. ويشير الاسترجاع (Recover) إلى استرجاع المنتجات بعد انتهاء عمرها لاستخدامها لاحقًا. وتتعلق إعادة التصميم (Redesign) بإعادة دمج مكونات أو منتجات سابقة ضمن التصميم الجديد. وتعني إعادة التصنيع (Remanufacture) استعادة المنتجات المستخدمة إلى حالتها الأصلية.

يجمع نظام 6R بين الأساليب التقليدية (مثل أدوات كفاءة الطاقة) والتقنيات المبتكرة في إعادة التصنيع، مما يسهل التطبيق التدريجي (برونو وآخرون، 2019).

وعلى الرغم من الإمكانيات الكبيرة التي يوفرها التصنيع الدائري للاستدامة، فإن تطبيقه يُواجه عقبات متعددة وغير متجانسة. فبحكم تعدد الأطراف المعنية، مثل الموردين والمصنّعين والمستخدمين وخبراء إعادة التصنيع، تُعد مشاركة البيانات والمعلومات تحديًا رئيسيًا. ومن الحلول المطروحة: استخدام التوأَم الرقمي لتدفقات المواد لجميع البيانات المعقدة وغير المتجانسة في سياق التصنيع المتقطع وإدارتها (أشيري وآخرون، 2022)، أو بصفتها بديلًا للنماذج الهرمية للبيانات، طُبِّقت تقنية سلسلة الكتل (البلوك تشين) لمشاركة البيانات بين الجهات المختلفة (غوفيندان، 2022).

تساعد هذه النماذج في وصف العلاقات بين العمليات وتدفقات المواد وتُظهر إمكانات التحسين في التصنيع الدائري وتُوفّر بيانات موثوقة ومتسقة. وبالتالي، وبالإضافة إلى منهجية R6، تُعد مشاركة البيانات والمعلومات شرطاً أساسياً لتطبيق التصنيع الدائري بنجاح.

وأخيراً، يُعد قطاع تقنيات التصنيع وإستراتيجياته ركيزة أساسية ثالثة في أبحاث الاستدامة التشغيلية. فعلى صعيدٍ واحد، تُحدث الابتكارات، مثل التصنيع الإضافي والرقمنة، تأثيراً عميقاً في سلاسل العمليات التقليدية الراسخة. وعلى صعيدٍ آخر، تحتاج هذه التقنيات الحديثة إلى مزيد من التطوير لتحقيق مستويات الجودة المطلوبة وتعزيز قدرات المعالجة وتوسيع نطاق تطبيقها لتشمل الإنتاج الفردي والضمخ على حدٍ سواء.

تقنياً، يُعدّ التصنيع الإضافي مجالاً بحثياً رئيسياً. ففي سيناريوهات الإنتاج ذات التعقيد العالي والحجم المنخفض، أثبت التصنيع الإضافي قدرته التنافسية مقارنة بالتقنيات التقليدية كالتصنيع الطرحي أو التشكيل (بيريرا وآخرون، 2019). ونظراً لما يوفره من تقليل في استهلاك الموارد وتوليد النفايات، فإنه يحمل تأثيراً إيجابياً قوياً على الاستدامة. إلا أن التحدي الأبرز في المستقبل يكمنُ في دمج تقنيات التصنيع وآلاته الإضافية ضمن سلاسل التوريد المتكاملة التي تلبي متطلبات الإنتاج عالي التعقيد والكثافة.

وتبرز تحديات تقنية أخرى في إنتاج السيارات الكهربائية، لا سيما بطاريات المركبات أو مكونات تطبيقات الهيدروجين. فكلتا المثلين يتطلبان خطوات تصنيع مبتكرة ومعزولة، بالإضافة إلى أنظمة وآلات إنتاج جديدة بالكامل، مما يؤدي غالباً إلى انخفاض مستويات الجودة وارتفاع التفاوت في الأداء، وهو ما ينعكس سلباً على فعالية المعدات الإجمالية (شنيل وراينهارت، 2016).

ومن الجدير بالذكر أن سلاسل العمليات المبتكرة أو المعتمدة على التصنيع الإضافي لن تحل محل التقنيات التقليدية كلياً، بل إن مزيداً من إمكانيات التحسين يكمن في تبني أساليب التصنيع الهجينة، مثل تكوين سلسلة عمليات مثالية باستخدام التقنيات الأنسب، أو حتى دمج أكثر من تقنية في آلة واحدة (ميركلاين وآخرون، 2016).

وتُعد الرقمنة واستخدام الذكاء الاصطناعي من الآفاق البحثية المستقبلية الهامة في مجال الاستدامة. ففي الوقت الراهن، استُخدمت تطبيقات الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) لمعالجة البُعد البيئي، إلا أن الباحثين وضعوا أجندات بحثية لتوسيع نطاق البحث ليشمل الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية ضمن منهجية شاملة (ماتشادو وآخرون، 2020؛ شتوك وسليغر، 2016).

وتشكل تقنيات الرقمنة، مثل إنترنت الأشياء والتصنيع السحابي، أدوات تكنولوجية أساسية لتحقيق أهداف الاستدامة. ويمكن استخدام الذكاء الاصطناعي لإدارة تعقيدات البيانات المرتبطة بالاستدامة، مثل الاستفادة من تحليلات البيانات الضخمة. لكن في جميع الأحوال، تتطلب الرقمنة والذكاء الاصطناعي الوصول إلى بيانات موثوقة على مستوى العمليات.

وتُمثل إستراتيجيات التصنيع مجالاً بحثياً إضافياً بالغ الأهمية. وبما أن الاستدامة ذات طبيعة متعددة الأبعاد، فإنه ينبغي ربطها ربطاً وثيقاً بالإستراتيجيات الوظيفية، مثل تطوير المنتج أو تطوير العمليات. ويشمل التصنيع المستدام الجوانب التقنية إلى جانب الأساليب والأدوات الإدارية، لذا فإن التحدي المستقبلي يتمثل في دمج العمليات الإدارية المعروفة، كإدارة الجودة وسلسلة التوريد وأنظمة الإنتاج مثل الإدارة الرشيقة، ضمن منهجيات الاستدامة الشاملة. ولا يُوصى باستبدال العمليات أو الأدوات القائمة، بل يجب تطويرها بما يراعي متطلبات الاستدامة المتزايدة (بامبانيلي وآخرون، 2014).

وباختصار، سُلِّط الضوء على جوانب متعددة من البحث المستقبلي في مجالات الطاقة والعمليات الدائرية وتقنيات التصنيع، دون الادعاء بشمولها الكامل. ومن الجدير بالتأكيد أن الموظفين الذين يمتلكون دافعاً ذاتياً هم المحرك الأساسي للتحويل نحو التصنيع المستدام؛ فهم يعتمدون على بيانات دقيقة وفي الوقت الفعلي لاتخاذ قرارات تساهم في تحقيق أهداف استدامة فردية ومحددة. ولذلك، فإن تطوير مفهوم تأهيلي مناسب يُعد أمراً بالغ الأهمية جذباً إلى جنب مع التحديات التقنية والتنظيمية المذكورة أعلاه. ولضمان قبول واسع لتطبيق التصنيع المستدام، لا بد من تطوير محتوى تدريبي وبرامج تأهيلية تجمع بين الجانب النظري والتطبيقي، على أن تشمل جميع المستويات الإدارية داخل المؤسسة.

7.3 حوار الخبراء حول الاستدامة في الإنتاج:

ما أهمية إدارة التغيير في التحويل نحو الاستدامة؟

هانينكامب: لا يمكن فصل إدارة التغيير عن أي مسعى تجاري ناجح، غير أن الاستدامة تفرض تحديات وأنواعاً من التغييرات جديدة تماماً. فكيف تصفون النهج الإستراتيجي لإدارة التغيير في سياق الاستدامة؟ وكيف يجري التعامل مع الصراعات الناشئة عن هذا التحويل؟

زيبسه: تكتسب إدارة التغيير أهمية قصوى، خاصة في الصناعات ذات الاستثمارات الكبيرة. وهذا المصنع الضخم الذي يقع خلفنا يمثل استثماراً هائلاً يقارب ملياري يورو. فمن الطبيعي أن تنشأ حجج قوية تدعو إلى الإبقاء على الوضع الراهن. لذلك، نحن بحاجة إلى صياغة إستراتيجية مؤسسية تأخذ في الحسبان المدخلات الخارجية وتجيب على سؤال محوري: هل الوضع الراهن - بما في ذلك هيكل

الابتكار، وسلوك العملاء، وهيكـل التكاليف – قادر على الاستمرار في المستقبل؟ من الضروري مراجعة هذا الوضع الراهن باستمرار. فإذا تبين أن أساليب عملك وعملياتك، وكذلك ثقافتك المؤسسية، لم تعد كافية؛ يصبح التغيير حينها ضرورة ملحة.

لقد عملنا في شركة بي إم دبليو على صياغة مفهوم يعبر عن الثقافة التي نطمح إليها: «تبنى رؤية بي إم دبليو». إذ يدرك الجميع داخل الشركة جوهر ما تمثله بي إم دبليو: روح المبادرة والابتكار المتقدم وتصنيع أفضل السيارات في العالم؛ «متعة القيادة القصوى». وفي الوقت نفسه، يجسد هذا المفهوم إستراتيجية تقوم على الاستدامة والربحية في آن واحد. فقد تبدو المتطلبات متعددة، لكن جميع العاملين في بي إم دبليو يؤمنون بإمكانية تحقيق هذه المعادلة.

هانينكامب: يبدو الأمر وكأنه رحلة مستمرة لا تتوقف!

زيبسه: هذا صحيح تمامًا. ولتحقيق ذلك، يجب أن نتطور باستمرار، يومًا بعد يوم. وينبغي البحث عن فرص للتحسين في كل لحظة، وتجاوز الوضع الراهن إذا لم يعد يخدم مستقبل الشركة. أما في مجال الإنتاج، فنتبنى جميعًا مبدأ «كايزن» (التحسين المستمر)، حيث يراجع كل موظف أنشطته بوعي وتكرار، ويسعى باستمرار إلى تحسين طريقة أدائه.

لا تقتصر إدارة التغيير على الخطوات الكبيرة والواضحة فحسب، بل تشمل أيضًا التحسينات الصغيرة التي تحدث يوميًا، فإذا تحقق انخفاض في استهلاك الطاقة بنسبة 30% هذا الأسبوع، فلماذا لا نسعى لإضافة نسبة أو اثنتين في الأسبوع التالي؟ ولا يتوقف الأمر عند هذا الحد؛ فالتغيير عملية مستمرة لا نهاية لها، ولا يوجد ما يمكن تسميته «أفضل عملية ممكنة» بصورة مطلقة. إذ يتكون التصنيع من آلاف

العمليات، ولهذا السبب تحديداً، يكتسب استمرار عملية التحسين أهمية قصوى.. إنه جزء من ثقافتنا، وهو بالطبع جانب تقني أيضاً. هانينكامب: أفهم من ذلك أن التحسين المستمر يمثل عنصراً جوهرياً لنجاح أي مؤسسة، وهو ضروري كذلك لتحقيق الاستدامة. فنحن لدينا بالفعل عديد من العمليات التي تعتمد على التحسين المستمر، مثل أنظمة إدارة الجودة وثقافة الإدارة الرشيقة وغيرها، وهناك بالتأكيد نقاط التقاء بين هذه المفاهيم. فكيف تخططون لتطبيق إدارة الاستدامة في المستقبل؟ وهل سيكون هناك معيار مستقر أم «مجموعة أدوات للاستدامة» تضم جميع مناهج الاستدامة؟ أم أننا سنتجه نحو دمج هذه الجوانب ضمن عمليات الإدارة القائمة؟

زييسه: التكامل هو الحل الأمثل، فلا يمكن الفصل بين ممارسات الاستدامة والعمليات التشغيلية الأخرى، بل يجب أن يكون نهجاً تكاملياً شاملاً.

وفي مجال الإنتاج تحديداً، تتجلى الاستدامة على مستويين أساسيين، المستوى الأول وهو الأمثل، يتمثل في الاستغناء التام عن استخدام الموارد. وببساطة، يجب العمل على تقليل استهلاك الموارد من خلال تعزيز الكفاءة وتقليل استخدام الإضاءة والطاقة والمواد الخام، وهذا هو أساس نهج «كايزن» التقليدي. ويكتسب هذا الأمر أهمية بالغة؛ فالطاقة التي لا تستهلك هي الأفضل من منظور الاستدامة.

أما المستوى الثاني، فهو ذو طبيعة تقنية ويتناول السؤال التالي: ما العمليات الجديدة التي يمكن تبنيها لتحقيق أهداف الاستدامة؟ وما الدور الذي يلعبه المجال الرقمي في تحسين هذه العمليات؟ وما أنواع التقنيات الحديثة التي يمكن الاستعانة بها



لتعزيز الاستدامة؟ إذن، لدينا في قطاع التصنيع إطاران أساسيان لتحقيق الاستدامة: تقليل استهلاك الموارد والتقدم التكنولوجي.

وبعد كايزن والتحسين المستمر، ما الآفاق الأكاديمية التالية لتحسين الأداء؟ وهل تتوقعون توجهاً مهيماً على مشهد الإنتاج خلال العقدين القادمين؟ وما ملامح ذلك التوجه، خاصة في مجال التصنيع المستدام؟

هانينكامب: تتطلب المرحلة القادمة خطوتين أساسيتين، أولاً: ضرورة دمج مبادئ الاستدامة بعمق في صميم عملياتنا وثقافتنا المؤسسية الراسخة. وثانياً: الانفتاح الواسع على مفاهيم الاستدامة والتحول الرقمي، وتعزيز قدرتنا على تطوير نماذج رقمية توأمية (Digital Twins) لعمليات وخطوات الإنتاج كافة لدينا. ومع ذلك، ما تزال هناك تساؤلات جوهرية تحتاج إلى إجابات واضحة. ويبقى استكشاف الآليات المنهجية لتحقيق ذلك أمراً ضرورياً، بدءاً بكيفية جمع البيانات بكفاءة وتنظيمها بفعالية، وصولاً إلى ضمان إتاحتها وإدارتها وصيانتها على المدى الطويل.

هذه هي مهمتنا المستقبلية: دمج الرصيد المعرفي والخبرات المتراكمة لدينا على مدى عقود، منذ نشأة ثقافة كايزن وأنظمة إدارة الجودة، مع الفرص الهائلة التي يتيحها العصر الرقمي. ينبغي أن يكون تركيزنا الأساسي على تطوير عملياتنا وتحسينها، مع إيلاء الاهتمام اللازم للثقافة المؤسسية وأنماط تفكير العاملين لدينا، فهما عنصران لا يقلان أهمية عن الجانب التقني.

هل تمثل تقنية الاسترجاع أفقاً واعداً في أنظمة إنتاج الطاقة المستدامة؟

زيبسه: درجت العادة في مصانعنا على تشغيل جميع الآلات والأدوات باستخدام التيار المتردد (AC). وعلى النقيض، تعتمد سيارة BMW iX على التيار المباشر (DC)، مما يتيح لنا الاستفادة من الطاقة المسترجعة

بكفاءة. فعند تباطؤ المركبة أو الكبح؛ نستعيد الطاقة الحركية ونحوّلها إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام. وبالنظر إلى بيئة المصانع، نجد أنّ الحركة والتسارع والتباطؤ عناصر ملازمة للعديد من العمليات، فإذا تمكّنّا من تشغيل المصنع بأنظمة تعتمد على التيار المباشر، فسيصبح من الممكن استرجاع الطاقة الناتجة عن عمليات التباطؤ وإعادة تدويرها إلى دورة النظام. لقد حددنا هذا المجال تحديًا بصفته أحد محاور البحث المهمة لدينا، ونحن على أعتاب تحقيق تطبيقات عملية له.

ألا ترون في هذا التوجه خطوة مستقبلية جوهرية نحو تطوير أنظمة إنتاج تتسم بقدر أكبر من الاستدامة وكفاءة استهلاك الطاقة؟

هانينكامب: نعم، بالتأكيد. هذا جانب بالغ الأهمية، وهناك عديد من الجوانب الأخرى التي يمكن دمجها لتعزيز هذا التوجه، مثل تقنية الشحن ثنائي الاتجاه (Bidirectional Charging). والأمر الجدير بالإدراك هو أنّ التيار المباشر يتمتع بكفاءة أعلى في نقل الطاقة من المصدر إلى المستهلك، وذلك بفضل تقليل الفواقد الناجمة عن التوافقيات. وتكمن هنا إمكانيات هائلة لخفض هذه الفواقد.

تكمن الميزة الأساسية في أن آلات الإنتاج القائمة لا تستدعي بالضرورة إجراء تعديلات جوهرية عليها. فجل ما نحتاجه هو إعادة هندسة بنية إمداد الطاقة داخل المصانع ودمج مبادئ التيار المباشر، وعندئذ ستنتفتح أمامنا فرص واسعة لتحقيق تحسينات كبيرة.

زيبسه: نتشارك معكم هذا التوجه ذاته. تتعلق المسألة بإعادة تقييم جذري للطريقة التي اعتدنا بها التعامل مع الطاقة في الماضي.

هانينكامب: نحن بحاجة إلى تحول شامل في طريقة تفكيرنا. ففي السابق، كان يُنظر إلى الطاقة على أنها مورد لا ينضب، وهو ما قلّل من مستوى الاهتمام الموجه لكفاءة استخدامها. ولكن اليوم، وبالإضافة إلى

إمكانية الحصول على التيار المباشر من مصادر الطاقة المتجددة، نشهد اتجاهًا متزايدًا نحو استخدام أنظمة توليد طاقة موزعة في العديد من المصانع، مثل محطات الطاقة الحرارية اللامركزية (Decentralized thermal power plants) وأنظمة الطاقة المتجددة. ويعني هذا أن إمدادات الطاقة لدينا أصبحت تتسم بالديناميكية والتغير بمرور الوقت. وبناءً على ذلك، تبرز الحاجة إلى دمج أنظمة تخزين فعالة ضمن هذه المنظومة المتكاملة.

ففي الماضي، كنا نبذل جهودًا مضنية لتحقيق نقطة تشغيل مستقرة واحدة للمصنع. أما اليوم، فيتمثل التحدي في إيجاد نقاط تشغيل متعددة يمكننا من التكيف المستمر مع هذا الإمداد المتقلب والمتجدد. وهذا التحول يمثل فرصة هائلة وآفاقًا واعدة لمستقبل أنظمة الإنتاج المستدامة.

ما الآفاق الكامنة وراء عملية «الربط بين الأنظمة»؟

زيبسه: لقد تفضلتم بالإشارة إلى موضوع الربط بين الأنظمة، وهو محور بالغ الأهمية في سياق مصنع بهذا الحجم، نظرًا لتعدد الأنظمة الفرعية للطاقة العاملة فيه. ففي كثير من الأحيان، يمثل ناتج أحد أنظمة الطاقة مدخلًا حيويًا لنظام آخر. وعلى سبيل المثال، يمكن استغلال الحرارة المتولدة من عملية الربط بين إنتاج الطاقة والحرارة (Power-Heat Coupling) في قسم الطلاء بالمصنع. فإن تحقيق التكامل بين هذه الأنظمة المتباينة يحمل تأثيرًا هائلًا على الكفاءة والاستدامة.

وثمة مثال آخر عملنا على تطبيقه منذ أكثر من عقد من الزمان، حيث استعضنا عن «عملية الطلاء الرطب» التقليدية باستخدام دهان مبتكر. وقد أثمر إلغاء هذه العملية وحدها عن خفض استهلاك الطاقة بنسبة ملحوظة بلغت 30%.

لقد ترسخت في الوقت الحاضر ممارسة اعتماد منظور متكامل لتصميم المنتج والعملية الإنتاجية من زاوية الاستدامة. ولنا في أنظمة التصميم البيولوجي التي تستفيد من تقنيات التصنيع بالإضافة مثلاً جلياً على ذلك. وتمكنا من خفض التكاليف؛ على الرغم من أنها ما تزال مرتفعة نسبياً، للتوسع على نطاق صناعي واسع، ولكننا نحرز تقدماً مطرداً عاماً بعد عام.

فضي هذا النهج إلى تصميم منتجات أخف وزناً وأكثر كفاءة في استخدام الموارد. كما يكشف النظر في تكامل تصميم المنتج مع تصميم عمليات الإنتاج عن إمكانيات واعدة لم تُستثمر بالكامل بعد.

هانينكامب: أتفق تماماً مع ما تفضلتم به بشأن أهمية الربط بين الأنظمة. فهناك بالفعل إمكانيات هائلة يمكننا استثمارها لتحقيق مكاسب كبيرة. إن غالباً ما تعاني مرافق الإنتاج والبنية التحتية التقنية للمباني من عدم تناسق كافٍ في تصميمها وتشغيلها، بيد أن تحقيق هذا التناسق أمر ممكنٌ وضروري، ففي بعض الأحيان، يستهلك الجانب التقني من البنية التحتية للمباني ما يصل إلى 50٪ من إجمالي الطاقة المستخدمة في المصنع، ويعمل بمعزل تام عن العمليات الإنتاجية الفعلية داخل الورش.

فعلى سبيل المثال، ما المنطق في تشغيل نظام التدفئة قبل خمس دقائق فقط من انتهاء ساعات العمل؟ إنه نهج غير فعال، وفي كثير من الأحيان، تُدار هذه العمليات باستخدام أنظمة تحكم أساسية للغاية، تعتمد على حدود دنيا وقصى لدرجات الحرارة، فإذا استطعنا أن نطوّر نظام تنبؤي قادر على تحليل مسار العملية الإنتاجية، فسيكون بوسعنا تعديل معايير التحكم بسهولة وذكاء، دون الحاجة إلى إيقاف تشغيل أنظمة التدفئة قبل نهاية الوردية بوقت قصير.

ويترتب على هذا التوجه وفورات كبيرة في استهلاك الطاقة، وهو أمر يسير التنفيذ نسبياً، ففي الوقت الراهن يمكننا الوصول إلى معايير التحكم عبر واجهات موحدة، ولكننا بحاجة أولاً إلى نمذجة دقيقة للعملية الإنتاجية، ومن ثم إجراء إسقاطات مستقبلية موثوقة. وسنتمكن من استغلال هذه الإمكانيات الكامنة من خلال تبني هذه الخطوات. فلا يلزم بالضرورة ربط أنظمة الإنتاج على مستوى الآلات الفردية فقد تحقق جزء كبير من ذلك بالفعل، لكن الفرص الأكبر تكمن في تحقيق تكامل حقيقي بين البنية التحتية التقنية للمبنى والعمليات الإنتاجية الجارية في أرض المصنع.

ما الدور الذي تضطلع به تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) في منظومة الإنتاج الحديثة؟

زيبسه: ما الآفاق المتاحة لاستخدام الذكاء الاصطناعي وتطبيقه في بيئات الإنتاج المتنوعة؟

هانينكامب: تنطوي هذه التقنيات على إمكانيات واعدة، بيد أن تفعيلها ليس بالأمر الهين؛ فالتحديّ الأبرز الذي يواجهنا لا يقتصر على تطبيق حلول ذكاء اصطناعي منعزلة هنا وهناك، فأنظمة الذكاء الاصطناعي حاضرة بالفعل في يومنا هذا؛ ولنا في أنظمة الرؤية (Vision Systems) المستخدمة في ضمان الجودة مثلاً واضحاً، حيث اعتمدنا عليها لأكثر من عقدين في تطبيقات محددة، لكن الإمكانيات الأوسع نطاقاً تكمن في تبني رؤية موحدة للبيانات بهدف رصد العلاقات الارتباطية المعقدة بين العمليات الإنتاجية المختلفة.

وقبل الخوض في تطبيقات الذكاء الاصطناعي؛ لا بد من إرساء أسس راسخة من خلال التحول الرقمي؛ فالبيانات ليست مجرد حجر الزاوية لتطبيقات الذكاء الاصطناعي، بل هي الركيزة الأساسية

لأيّ قرار يتَّسم بالاستناد إلى الحقائق والتحليل الدقيق. إذ يكمن التحدي الجوهري المتعلق بالبيانات في ضرورة جمعها بكفاءة عالية بمجرد تخصيص الموارد للاستثمار في هذه العملية، فليس من المنطقي جمع البيانات وتخزينها عشوائياً ثم محاولة استخلاص قيمة منها لاحقاً، بل يجب ربط البيانات بحالات استخدام محددة وأهداف واضحة المعالم، وإلا فإننا سنجد أنفسنا أمام مشكلة الإفراط في جمع البيانات، حيث ننتهي بجمع كميات هائلة من المعلومات ثم نضطر إلى إدارتها وتخزينها لفترات طويلة، مما يستنزف الوقت والمال والطاقة.

واستناداً إلى هذه البيانات المنظمة، يصبح بالإمكان تطوير تطبيقات ذكاء اصطناعي متقدمة من خلال تدريب الأنظمة عليها. إذ يتوفر نطاق واسع من الأنظمة والخوارزميات، لكننا بحاجة إلى اكتساب خبرة عملية معمقة بشأن النظام الأمثل لكل حالة تطبيق على حدة.

ويجب أن نتجاوز التصور القائل بأن أنظمة الذكاء الاصطناعي هي بمنزلة « صندوق أسود » مبهم، ندخل إليه البيانات ونحصل على المخرجات دون فهم آليات عمله الداخلية، بل يتعين علينا تعزيز خبرتنا في ضبط معلمات الشبكات العصبية وتطبيق الأنظمة المناسبة على الحالات الملائمة. زيبسه: هذا بالفعل مجال بحثي مثير للاهتمام، ويحمل في طياته آثاراً جانبية إيجابية لاستخدام الذكاء الاصطناعي.

هانينكامب: آثار جانبية؟ هل يمكنكم التوضيح؟

زيبسه: في الماضي، كنا نعتمد على توفير إضاءة مثالية لضمان التعرف الدقيق على الأنماط الموجودة على أسطح السيارات. وكان التعرف على الأنماط يجري دائماً باستخدام كاميرا تعتمد على شاشة عرض بلورية سائلة (LCD)، وكنا نراقب الصورة بعناية فائقة، وإذا انحرف النمط عن الوضع المثالي، كنا نكتشف وجود خلل في الجودة.

لكن بفضل الذكاء الاصطناعي، أصبح بإمكاننا تدريب الأنظمة بكفاءة حتى في ظل ظروف إضاءة غير مثالية. ففي بيئات المصانع، تتغير مستويات الإضاءة باستمرار على مدار النهار والليل وغير ذلك، ويمكننا الذكاء الاصطناعي مرونة فائقة في التعامل مع هذه التقلبات، حتى في الأوقات التي تكون فيها الإضاءة ضعيفة، وذلك من خلال استخدام تقنيات متقدمة للتعرف على الأنماط. وهذا يعني إمكانية تقليل الاعتماد على الإضاءة المكثفة التي كانت تستهلك قدرًا كبيرًا من الطاقة؛ مما يحقق وفورات ملحوظة في استهلاك الطاقة.

هذه هي الآثار الجانبية الإيجابية القيّمة لتقنيات الذكاء الاصطناعي. ويجب ألا يقتصر تفكيرنا على التطبيقات المباشرة للخوارزميات أو الشبكات العصبية، بل يجب أن يمتد ليشمل تأثيرها الأوسع؛ فالذكاء الاصطناعي يمنحنا قدرًا كبيرًا من المرونة والتسامح مع حالات عدم الكمال، وهو ما يمثل إمكانًا مثيرًا للغاية، خاصة في بيئات الإنتاج الديناميكية.

ما مدى التحديات المصاحبة لكسب التأييد لإحداث التغيير؟ وما الدور المحوري الذي يلعبه التعاون والشفافية في تيسير هذه العملية؟

هانينكامب: ما تجربتكم فيما يتعلق باستقبال التغييرات التي تركز على مبادئ الاستدامة؟ عند تقييم قوة العمل لديكم، وهل يبدي الجميع انفتاحًا على تبني مفاهيم الاستدامة؟ أم أن البعض ينظر إليها بعين الريبة أو التهديد؟

زيبسه: الأمر الذي يثير الإعجاب حقًا هو الحماس الكبير الذي يبديه فريقنا وموظفونا في شركة بي إم دبليو للمساهمة الفعالة في هذا التحول. إن لم ألاحظ أي مؤشر على عدّ هذه المبادرات تهديدًا،

بل على العكس نسعى دائماً لاستكشاف سبل جديدة لتعزيز كفاءة الشركة وتحقيق مزيد من النجاح يوماً بعد يوم.

فالاستدامة، وتقليل استهلاك الموارد، والارتقاء بجودة منتجاتنا، كلها أهداف متكاملة ومتضافرة، وليست متعارضة على الإطلاق، إنها جميعاً تصبُّ في مصلحة تحقيق رؤية مشتركة. ومع التغيرات المتسارعة التي يشهدها المجتمع، يزداد لدى جميع موظفينا الرغبة في الإسهام بفعالية في جعل العمليات والمنتجات أكثر استدامة وتقليل استهلاك الطاقة، وذلك لكون هذه المفاهيم قد أصبحت جزءاً لا يتجزأ من التيارات الفكرية السائدة في مجتمعاتنا. إننا نؤمن بأنه لو لم نطالب بتبني سلوك عملي يتسم بأعلى معايير الاستدامة؛ فإنَّ فريقنا سيشعر بالإحباط والتقصير.

فنحن نحظى بدعم كامل وتأييد راسخ من موظفينا في تنفيذ إستراتيجيتنا الطموحة للاستدامة، وهم يتطلعون إلى الاضطلاع بدور فاعل في تحقيقها. وبالطبع، يمثل هذا الجانب بعداً ثقافياً مهماً لنا؛ ونطمح إلى تحقيق الريادة في هذا المجال، وهدفنا أن تكون السيارة الكهربائية الأكثر صداقة للبيئة في السوق هي من إنتاج بي إم دبليو.

قد يبدو إعلان هذا الهدف أمراً يسيراً، لكن تحقيقه على أرض الواقع ينطوي على تحدياتٍ جمة؛ فعندما ننشر تقريرنا المتكامل، سيصبح معياراً لقياس الأداء البيئي لكل منافس، حيث سنُقيّم بناءً على أدنى بصمة بيئية من حيث استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وغيرها من المؤشرات البيئية المهمة.

ونعمل كذلك على تقييم الموارد البشرية المستثمرة، مثل حجم العمل المنجز، وسيُدرج كلُّ مؤشر أداءٍ رئيسٍ ذي صلة ضمن هذا التقييم الشامل. وعندئذ، سيتحوّل هذا المجال إلى ساحة تنافسٍ صناعي حقيقيّة، وشركة بي إم دبليو تتأهّب للمنافسة بقوة ضمن هذا الإطار.

هانينكامب: أتفق معكم تمامًا في هذا الطرح. وإذا تجاوزنا حدود مؤسستنا ونظرنا إلى سلسلة التوريد بأكملها، فسنلاحظ أن القيمة المضافة المتولدة داخل مصنع الشركة تُعد منخفضة نسبيًا؛ إذ إن الجزء الأكبر من هذه القيمة يتحقق في المراحل الأولى من سلسلة التوريد. ولهذا، نتطلع إلى مساهمة مورديننا كذلك في جهود خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

وتخيّلوا أن عملياتكم الداخلية قد بلغت مستوى راسخًا من الاستدامة والكفاءة، فكيف ستعملون حينها مع الموردين لخفض البصمة الكربونية عبر سلسلة القيمة بأكملها؟ وكيف سيُمتد مفهوم التحسين المستمر خارج إطار شركتكم ليشمل شركاءكم في سلسلة التوريد؟

زيبسه: ثمة ثلاث نتائج أساسية تترتب على ذلك. فإذا نظرنا إلى مسار إنتاج السيارات الكهربائية بالأساليب التقليدية، نجد أن بصمتها الكربونية قد تكون أعلى من تلك الخاصة بالسيارات المزودة بمحركات الاحتراق الداخلي، خاصة إذا افترضنا أن 50% من مصادر الطاقة في ألمانيا غير متجددة. وهذا الوضع غير قابل للاستمرار على المدى الطويل، لكننا نعمل بثبات على تحسينه يوميًا بعد يوم.

ومع ذلك، فإن تحقيق ذلك يتطلب إسهامًا أكثر فاعلية من جميع حلقات سلسلة التوريد في دورة الإنتاج بهدف تقليل البصمة الكربونية. فإذا أخذنا الوضع الحالي وزدنا وتيرة استراتيجيتنا الطموحة للتحويل نحو التنقل الكهربائي، فسنجد أنفسنا - في الواقع - نُفاقم البصمة الكربونية في سلسلة التوريد، وهو ما يتعارض جذريًا مع الأهداف التي نسعى إلى تحقيقها.

هانينكامب: إذن، ما السبيل الأمثل للخروج من هذا المعضلة؟

زيبسه: الطريقة الوحيدة لضمان استدامة عمليات إنتاج الموردين هي العمل المشترك والوثيق معهم، فعلى سبيل المثال، إذا أردنا من موردي البطاريات لدينا استخدام الطاقة الخضراء في تصنيع خلايا البطارية؛ يجب تضمين هذا الالتزام في الاتفاقيات التعاقدية بوضوح. وتتمثل الخطوة التالية في تحقيق شفافية مشتركة فيما يتعلق بالبصمة البيئية. وتحقيقاً لهذه الغاية؛ فقد أسسنا تحالف كاتينا - إكس (Catena-X) في قطاع صناعة السيارات، بالتعاون مع شركات رائدة مثل ساب (SAP) وبوش (Bosch) وزبي إف (ZF) وسيمنس (Siemens) وتليكوم وغيرها، بهدف إرساء الشفافية الرقمية عبر مختلف الشركات المشاركة في سلسلة القيمة.

تتوسع هذه الشبكة بسرعة وتحظى بدعم قوي من الحكومة الألمانية. إنها أشبه بـ «إنترنت الشركات» (Internet of Companies)، فكما نشهد تطبيق مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة في مصانعنا، فإن المرحلة التالية هي الثورة الصناعية الخامسة، وهي حقبة جديدة يتمكن فيها من توثيق سلسلة التوريد بأكملها بدقة من حيث بصمة الكربون، وجودة الإنتاج، والامتثال للمعايير البيئية، وغيرها من المؤشرات الحيوية.

هانينكامب: أتفق تمامًا مع هذا الرأي. فلا يمكن تحقيق أي تحسين جوهري من دون وجود شفافية واضحة في خط الأساس الحالي. ويواجه كثير من الموردين الذين تواصلت معهم تحديات حقيقية نتيجة لارتفاع متطلبات الشفافية، غير أن هذه الخطوة لا غنى عنها. ولتحقيق التحسين، لا بد من معرفة نقطة البداية معرفة دقيقة. وهذا يستلزم جمع البيانات بكفاءة عالية، وإبراز ما تكشفه من مصادر الهدر والخسائر والانبعاثات على مدار العام.

كما ينبغي تقسيم هذه البيانات إلى وحدات مرجعية أصغر حجمًا؛ ليس فقط على الصعيد السنوي أو الشهري أو الأسبوعي، بل على المستوى اليومي، بل وحتى على مستوى القطعة الواحدة، بما يتيح لنا رصد الانحرافات بدقة ومعالجتها بفاعلية.

وسيكون لهذا النهج أثر بالغ في خفض إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. فالشفافية تمثل الخطوة الأولى الحاسمة، ومن هذه النقطة ستسهم التقنيات الرقمية في جمع البيانات وتصنيفها بصورة منهجية، ثم توظيفها في تعزيز الأداء المستدام.

زيبسه: المثير للاهتمام هو الانخفاض الملحوظ في تكلفة الحساسات، سواء أكانت لقياس درجة الحرارة أم الضغط أم غيرهما من حساسات إنترنت الأشياء. وفي الوقت ذاته، أصبح الوصول إلى السُّحْب الصناعية الكبرى (Industrial Clouds) متاحًا وبتكاليف معقولة، إلى جانب التشريعات الجديدة التي تفرض قدرًا متزايدًا من الشفافية.

وتتضافر هذه العوامل الثلاثة لتُحدث تأثيرًا بالغ الأهمية، إذ توفر - فجأة - الأدوات اللازمة لتحقيق مستوى شامل من الشفافية.

لم يعد الأمر مجرد مسألة تقنية بحتة؛ فاليوم أصبح بإمكاننا قياس أي حالة فيزيائية تقريبًا في سلسلة التوريد أو المصنع أو حتى داخل السيارة نفسها. وبعد ذلك، يصبح الأمر متعلقًا بالتعاون الفعال: من المستعد لمشاركة هذه البيانات الحيوية؟ لقد بدأنا بالفعل في دمج هذه العناصر الثلاثة معًا. ونعم، نعقد عديدًا من الاتفاقيات التعاقدية، لكن التعاون الحقيقي يبقى دائمًا الخيار الأمثل والأكثر فعالية.

هانينكامب: أوافقك الرأي تمامًا. فيما يتعلق بجمع البيانات واستخدام الحساسات، فقد أصبح الأمر أيسر بكثير مما كان عليه قبل بضع سنوات فقط، أمّا من الناحية الذهنية ومنهجية العمل فيتبادر

للأذهان تساؤلٌ مهمّ: هل يتعيّن علينا جمع البيانات باستمرارٍ؟ أم أنّه من المنطقي جمعها مؤقتًا وبصورة مُوجّهة؟ فبالنظر إلى آلة تشغيل مُجهّزة بأنواع متعدّدة من الحساسات لقياس الاهتزاز ودرجة الحرارة ومعدّلات التدفق، نجد أنّ تكلفتها تزيد بنسبة تصل إلى 40٪ مقارنة بالآلة القياسيةّة. لذلك، لا يُفضّل تعميم هذا النوع من القياسات على نطاق واسع في كل مكان.

فعلى سبيل المثال، لا أهميّة لقياس الاهتزاز إلّا في عمليات محدّدة. وأحد الحلول العمليّة هو استخدام أنظمة استشعار متنقّلة، حيث يُنقل الحساس من آلة إلى أخرى حسب الحاجة، ممّا يحقّق مرونة أكبر وتكلفة أقل مع الحصول على البيانات المطلوبة. ومن جهة أخرى، نجد أنفسنا أحيانًا أمام خيار شراء آلات تتضمّن تقنيات استشعار مُتكاملة من المورد، بينما قد يكون تركيب بعض هذه الحساسات بأنفسنا أكثر فعاليّة من حيث التكلفة. الأمر ليس بالتعقيد الذي قد يبدو عليه، إذ يكفي وضع حسّاس في المواقع الإستراتيجية لرصد أي انحراف عن الأداء الطبيعي.

زيبسه: سعيد لأنك أثرت هذه النقطة الهامّة. ترتبط الصيانة في الغالب بالآلات والمعدّات القائمة بالفعل. فعلى سبيل المثال، قد يمتدّ العمر التشغيلي لورشة الضغط الموجودة لدينا إلى 40 أو 50 عامًا. وبالتأكيد، لدينا التكنولوجيا الحالية، لكن يمكن دائمًا تحديثها وتطويرها بإضافة الحساسات المناسبة. لقد أصبح هذا التوجّه سائدًا، فلم يعد الهدف الأساسي هو شراء آلات جديدة باهظة الثمن، بل تحديث ورقمنة الآلات القائمة باستخدام تقنيات الاستشعار المتاحة. وبذلك نتمكّن من تحسين دورات الصيانة، والانتقال تدريجيًا نحو تطبيق مفهوم الصيانة الوقائيّة، وتحقيق تحسينات هائلة في الكفاءة والموثوقية. إنّنا بالفعل نعيش مرحلة بالغة الإثارة والتحوّل في عالم الصناعة.

ما الدور الذي تضطلع به المدن الذكية في رسم ملامح المستقبل؟

هانينا كانب: اسمح لي بالخروج قليلاً عن نطاق موضوع الإنتاج والتحول إلى مفهوم المدن الذكية. فحسب فهمي، لا يوجد تعريف جامع مانع لهذا المصطلح، لكن من منظوري الخاص، تسعى المدن الذكية إلى تحقيق توازن دقيق بين المتطلبات الاقتصادية للشركات العاملة فيها واحتياجات السكان المتنوعة والموجبات البيئية والاجتماعية الملحة. إنها تمثل مزيجاً متناغماً بين الاقتصاد المستدام والبيئة الحضرية الصحية والتماسك الاجتماعي القوي والتحول الرقمي العميق وربط الأنظمة الذكية، وهي جميعها محاور جوهرية ناقشناها سابقاً بوصفها ممكنات رئيسة للتقدم. وبالنظر إلى آفاق المستقبل، إلى أي مدى ستُعِيد المدن الذكية تشكيل مواقع شركات التصنيع وطرائق عملها ومدى توافر الكفاءات العاملة، على سبيل المثال؟

زيبسه: يجب أن ترتقي المدينة الذكية بحق إلى مستوى ذكائها كما يوحي اسمها. إذ ينبغي أن تعكس واقع الحياة اليومية لسكانها، وبالطبع، يجب أن يكون لديها الاستعداد اللازم للاستثمار في بنيتها التحتية وتطويرها المستمر. نحن نجلس هنا بجوار مصنعنا الواقع في قلب مدينة ميونيخ النابضة بالحياة. وأؤمن إيماناً راسخاً بأنه لا يوجد تعارض جوهري بين النشاط الصناعي والحياة المدنية المزدهرة، بل على العكس، يمكن تحقيق تعايش وتكامل تام بينهما. فالمدينة الحديثة الحقيقية هي التي تخلق تناغماً مستداماً بين النسيج الصناعي والحيوي للمدينة والبيئة السكنية المريحة لسكانها. والصناعة لا تنحسر أو تختفي من المدن، بل على العكس، لدينا هذا المصنع هنا في ميونيخ مثلاً حياً، فهو مُدمج بعمق في نسيج المجتمع المحلي، ويوفر فرص عمل قيمة ويؤثر إيجابياً في أنماط تنقل السكان.

نحن نستثمر بكثافة في تطوير الموارد البشرية وفي تعزيز استخدام وسائل النقل العام الفعالة وتوفير الدراجات الهوائية للموظفين وتشجيع استخدام وسائل التنقل المستدامة الأخرى. هذه هي رؤيتي للمدينة الذكية: يجب أن تتسم بالذكاء في توفير خيارات تنقل متنوعة ومناسبة لجميع السكان، بدءًا من الدراجات الهوائية وصولاً إلى السيارات والحافلات ووسائل النقل العام المتطورة. إنها منظومة متكاملة ومعقدة، ويجب أن تتوافر بنية حكومية رشيدة ومستعدة وقادرة على الاستثمار الإستراتيجي في تطوير هذه المنظومة. فموضوع التنقل، تحديدًا، يعتمد على تحديد موقع تركز الذكاء في منظومة النقل: فهل يكمن داخل السيارة نفسها؟ أم في البنية التحتية الذكية للمدينة؟ في مناطق مختلفة من العالم، نشهد تطور مدن ذكية حقيقية، حيث يُدمج الذكاء بسلاسة في البنية التحتية الحضرية، ومن ثم، تقل الحاجة إلى وجود ذكاء اصطناعي معقد داخل كل مركبة على حدة. فالمدن الذكية تدور في جوهرها حول تحقيق تكامل سلس بين احتياجات التنقل الفردية المتنوعة وذكاء البنية التحتية الحضرية المتطورة وواقع الحياة اليومية لسكانها.

7.4 المصنع المستدام في المستقبل

يمثل تعزيز كفاءة استخدام الموارد وتطبيق أسس الاستدامة تحديين محوريين سيشكلان ملامح الصناعة المستقبلية. ففي عام 2010، سجل القطاع الصناعي مسؤولية تتجاوز 30% من إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة عالميًا، وهو مؤشر واحد فقط على البصمة البيئية الهائلة لهذا القطاع. لهذا، تقع على عاتق الشركات مسؤولية جسيمة للإسهام الفاعل في تقليص هذا الأثر البيئي.

وتتجاوز الرؤية الطموحة للإنتاج المستدام مجرد البعد البيئي المنفرد، لتشمل أبعادًا أخرى لا تقل أهمية، ألا وهي المسؤولية الاجتماعية، والقدرة التنافسية المتزايدة، والحماية البيئية الشاملة.

وتتجسد القيمة الحقيقية في التفاعلات الإيجابية بين هذه الأبعاد الثلاثة، حيث تُفُضي إلى منافع جمة تعود على جميع الأطراف المعنية (ستارك وآخرون، 2014).

ويُعد الدافع نحو تبني ممارسات الإنتاج المستدام مزدوجاً، إذ ينبع من حوافز اقتصادية واضحة ومتطلبات تنظيمية متزايدة. وقد أثمرت هذه الجهود بالفعل عن بعض النجاحات الملموسة، مثل التحسينات الملحوظة في كفاءة الطاقة والآثار الإيجابية الناجمة عن تطبيق نظم إدارة الاستدامة المتكاملة.

وعلى الرغم من ذلك، تبرز تحديات جوهرية تعيق المسيرة نحو التصنيع المستدام. إذ يتمثل أحد أبرز هذه التحديات في غياب نموذج عالمي موحد للتحويل، مما يستلزم اتباع نهج فردي لكل حالة على حدة في مراحل التخطيط والتنفيذ والمتابعة. ومن جانب آخر، تعتمد أغلب الشركات الصناعية على الخبرات المتراكمة لإدارة التحولات المعقدة، على غرار التحويل إلى نموذج الشركة الرشيقة أو تبني مبادئ وتقنيات الثورة الصناعية الرابعة.

ولكن وسط هذه التحديات، تلوح في الأفق فرص واعدة للاستفادة من التقنيات الحديثة، مثل تطبيقات الذكاء الاصطناعي المتطورة، أو تبني المعايير المعترف بها عالمياً، مثل منهجية تقييم دورة الحياة (LCA)، بهدف تحقيق تحسينات جوهرية في الأثر البيئي. وفي أغلب السيناريوهات، يتطلب هذا التحويل تبني نهج براونفيلد (Brownfield)، أي تحديث ودمج المعدات والبنية التحتية القائمة ضمن نظام الإنتاج الجديد، بالتوازي مع تبني عمليات إنتاجية مبتكرة مثل التصنيع الإضافي.

وخلاصة القول، يمثل هذا التحويل نقلة نوعية معقدة، حيث تسعى هذه المقالة إلى استجلاء المبادئ الأساسية لهذا التغيير من منظور

العمليات التشغيلية. بدايةً، سيجري استعراض آليات تخطيط العمليات والمصانع المستدامة جنبًا إلى جنب مع إدارة العمليات بكفاءة. ثانيًا، سيجري تناول الدور المحوري للرقمنة والذكاء الاصطناعي في السياق الصناعي. ثالثًا، سيجري إلقاء الضوء على تأثير المعايير والأساليب المتخصصة في التصنيع المستدام. وأخيرًا، ستجري مناقشة أهمية التكامل بين الأنظمة الصناعية المباشرة وغير المباشرة، ودمج مفاهيم الإنتاج الحضري في إطار المدن الذكية.

7.4.1 عمليات التصنيع المستدام على امتداد دورة الحياة

تؤكد الدراسات والأبحاث التطبيقية على حقيقة مفادها أن تحقيق جوانب الاستدامة المنشودة لا يمكن أن يتبلور إلا من خلال إحداث تحسينات جذرية تشمل جميع مراحل دورة حياة المنتج، بدءًا من مرحلة التطوير والتصنيع، مرورًا بمرحلة الاستخدام، وصولًا إلى مرحلة نهاية العمر الافتراضي. ويتطلب هذا المنظور الشامل إيلاء التفاعلات المعقدة بين هذه المراحل المختلفة بالغ الأهمية (ليو وآخرون، 2019).

ففي هذا القسم، سنحلل تحليلًا مفصلاً التحديات والفرص الكامنة في مرحلتي التصميم والتصنيع ضمن سياق دورة الحياة، وكيفية تأثيرها المباشر في تحقيق أهداف الاستدامة.

يُعد تصميم نظام التصنيع خطوة تأسيسية بالغة الأهمية؛ إذ إن إدخال تعديلات جوهرية في المراحل اللاحقة غالبًا ما يستلزم بذل جهود مضيئة وموارد كبيرة. وعلاوة على ذلك، تتطلب عملية اتخاذ القرارات في هذه المرحلة المبكرة التعامل مع ظروف تتسم بعدم اليقين وحدود غير واضحة المعالم. ويبرز الارتباط الوثيق بين تحديد حجم نظام الإنتاج وخاصة طاقته الاستيعابية وتأثيره المباشر في الاستدامة،

مما يستوجب تحديده وفقاً لعملية منهجية ومدرسة. فعلى سبيل المثال، إذا تجاوزت القدرة التكنولوجية والإنتاجية بعد مرحلة التشغيل الأولي الطلب الفعلي على العمليات، فإن ذلك سيؤدي حتماً إلى نقاط تشغيل غير فعالة في مرحلة التصنيع، مما يترتب عليه هدر للموارد وزيادة في الانبعاثات.

وبالإضافة إلى تحديد الحجم الأمثل، يكتسب تحديد خصائص معدات الإنتاج من حيث خطوات العملية وتقنيات التصنيع أهمية قصوى. ويتعين في هذا السياق العمل على تحسين الخطوات التي تضيف قيمة حقيقية للمنتج، مع السعي الحثيث لتقليل الخطوات التي لا تضيف قيمة وتقليل الهدر التشغيلي إلى أدنى حد ممكن. ولمعالجة حالة عدم اليقين المصاحبة لتحديد الحجم الأمثل وتعريف العمليات المثالية، يصبح توفر بيانات موثوقة ودقيقة عن العمليات أمراً لا غنى عنه. ومع ذلك، فإن جمع البيانات من خلال الاختبارات الفيزيائية المكلفة وتصميم التجارب (DoE) غالباً ما يستغرق وقتاً طويلاً، وقد يكون مستحيلاً في بعض الأحيان نظراً لعدم توفر معدات التصنيع الفعلية في هذه المرحلة المبكرة من التطوير.

وهنا يبرز الدور الحيوي للتوائم الرقمية (Digital Twins) وتقنيات المحاكاة المتقدمة، التي توفر تمثيلاً افتراضياً شاملاً للأنظمة على امتداد دورة حياتها، مما يتيح محاكاة دقيقة للسلوك الديناميكي لنظام الإنتاج من منظور الاستدامة (نيغريا وآخرون، 2017). فمن خلال هذه التقنيات، يمكن تحديد العوامل الداخلة (مثل المواد الخام، والمستهلكات، والطاقة) والعوامل الخارجية (مثل الإنتاجية أو تدفقات النفايات) في ظل ظروف تشغيلية متنوعة دون الحاجة إلى إجراء اختبارات مادية مكلفة ومستهلكة للوقت.

ولغرض تقليل الجهد المبذول في التنفيذ وتحقيق دقة عالية في نمذجة التوائم الرقمية، يتبع غالبية الممارسين والباحثين منهج الهندسة النظامية، حيث يجري تقسيم نظام الإنتاج المعقد إلى وحدات أصغر وأكثر قابلية للإدارة، تُطوّر لكل منها توائم رقمية موثوقة بالاعتماد على البيانات المتاحة، مثل التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD)، وإدارة دورة حياة المنتج (PLM)، وغيرها من المصادر. ومع تزايد نضج النظام وتوفر معدات التصنيع والتصميم الفعلي للعمليات، يصبح تحقيق التوافق والتكامل بين التوأم الرقمي والنظام الفيزيائي الفعلي أمراً بالغ الأهمية لضمان دقة المحاكاة وفعالية التحسينات.

وأخيراً، لا يقتصر الدور المتزايد للتوائم الرقمية على تحسين الكفاءة في عمليات جودة المنتج المتقدمة (APQP) داخل حدود الشركة الواحدة، بل يمكن الاستفادة منها أيضاً في نمذجة العلاقات المتبادلة المعقدة المتعلقة بالاستدامة على المستوى بين المؤسسات المختلفة، مما يفتح آفاقاً جديدة للتعاون الجماعي لتحقيق أهداف الاستدامة.

وينبغي أن ينصب التركيز الأساسي على تحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية. إذ تُعد «الفعالية الشاملة للمعدات» مؤشراً جوهرياً في هذا السياق، وهي تتألف من ثلاثة عناصر رئيسية: فقدان التوافر، وفقدان الأداء، وفقدان الجودة (فوكا وشتاينبك، 2018).

ونظراً لأن فقدان التوافر يشمل جميع فترات التوقف التي تطرأ على نظام التصنيع، فإن هذا المؤشر يعكس النسبة المئوية للوقت الذي يكون فيه النظام قيد التشغيل المستقر. ويتأثر بُعد الاستدامة سلباً بارتفاع معدل فقدان التوافر، إذ يستلزم ذلك الاحتفاظ باحتياطات إضافية في الطاقة الإنتاجية لتلبية إجمالي الطلب، مما ينعكس سلباً على المساحة المستغلة. علاوة على ذلك، يؤدي التوقف المتكرر للعمليات إلى خسائر في الطاقة، والموارد البشرية، والمواد الخام خلال مرحلة الإقلاع الحساسة.

أما المكون الثاني لمؤشر الفعالية الشاملة للمعدات فهو فقدان الأداء، الذي يشير إلى مدى اقتراب نظام الإنتاج من نقطة التشغيل المثلى فيما يتعلق باستهلاك الطاقة، وتدفقات المواد الداخلة والخارجة، وتوزيع القوى العاملة. وتستدعي الانحرافات المؤقتة أو الدائمة عن هذه النقطة المثالية توفير قدرة إنتاجية إضافية للتعويض.

وأخيراً، يدل فقدان الجودة على حجم الهدر والمنتجات غير المطابقة للمواصفات (التي تتطلب إعادة تصنيع) في سلسلة العمليات الإنتاجية. وتؤثر المستويات المنخفضة من الجودة تأثيراً مباشراً في الاستدامة؛ حيث إن المواد الخام المستهلكة لم تتحول إلى منتجات نهائية قابلة للاستخدام. ومن ثم، تكون الانبعاثات واستهلاك المواد والموارد الأخرى قد وقعت بالفعل خلال مرحلة إنتاج المواد الخام، دون أن تُستغل في إنتاج قيمة مضافة حقيقية أو خلقها.

ولدمج جوانب الاستدامة بفاعلية، يجب إيلاء اهتمام أكبر للمدخلات والمخرجات التي لم تكن تؤخذ في الحسبان سابقاً، مثل الانبعاثات وتدفقات النفايات. ومن شأن إضافة هذه العوامل إلى مؤشرات الأداء رئيسة الرئيسة أن توفر بيانات موثوقة ومتسقة تدعم اتخاذ قرارات مستنيرة في مجال الاستدامة.

وتظهر التطبيقات العملية والأبحاث الحديثة أن أنظمة الإدارة المتطورة في أرض المصنع (Shop Floor Management Systems) تتبنى هذا التوجه وتدمج مقاييس الاستدامة ضمن إطار عملها. فمن خلال تحليل هذه البيانات، يصبح بالإمكان تحديد الانحرافات عن نقاط التشغيل المثلى واتخاذ الإجراءات التصحيحية المناسبة على مستوى أرض المصنع (سيرداس وآخرون، 2017).

وفيما يتعلق بتصميم نظام الإنتاج ومراحل التصنيع، تظل الكفاءة الهدف المحوري. فالعمليات الصناعية بطبيعتها تعمل على تحويل المواد والطاقة ومدخلات أخرى إلى منتجات نهائية، وتوليد قيمة مضافة مصحوبة بنواتج ثانوية مثل تدفقات النفايات وفواقد الطاقة. وللحد من هذه النواتج الثانوية غير المرغوب فيها، يتعين تطوير وتركيب عمليات إنتاج دائرية ومستدامة (غوبتا وآخرون، 2021).

ويقوم مفهوم «المصنع عالي الكفاءة» (Ultra-Efficient Factory) على مبدأ إعادة استخدام جميع أنواع النفايات والطاقة من خلال مسارين رئيسيين لإعادة التدوير. ففي المسار الأول، تُعاد الطاقة والمواد المهذرة مباشرة إلى مرحلة التصنيع. أما في المسار الثاني، فيُعاد المنتج إلى سلسلة التوريد في نهاية دورة حياته. وهذا يقلل من ظاهرة التحلل في الاستخدام، أي استخدام المواد في تطبيقات ذات جودة وقيمة أقل.

وخلاصة القول، تعتمد الاستدامة في جوهرها على وجود عمليات إنتاج تتسم بالكفاءة العالية، بالإضافة إلى تبني مفاهيم فعالة لإعادة التدوير وإعادة التصنيع، وهي مفاهيم يجب دمجها وعدّها جزءاً لا يتجزأ من مرحلة تصميم نظام التصنيع ذاته.

7.4.2 الرقمنة والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء

تمتلك الرقمنة، بما تشمله من مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة وإنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، إمكانيات هائلة لتمكين الشركات الصناعية من تنفيذ مبادرات الاستدامة بفعالية (شتوك وزيليغر، 2016). ومع ذلك، فمن الضروري إدراك أن الرقمنة ليست هدفاً بحد ذاتها، بل هي وسيلة تتطلب تبني نهج منهجي لتحقيق أقصى استفادة منها.

ومن النماذج الشائعة في هذا السياق نموذج تحليلات التصنيع الذي يقوم على أربع مراحل متكاملة:

- (1) الرؤية: توفير إمكانية الوصول الشامل إلى البيانات.
- (2) الشفافية: تحديد الأسباب الجذرية للمشكلات والانحرافات.
- (3) القدرة على التنبؤ: توقع الاتجاهات المستقبلية وإدارة الانحرافات استباقياً.
- (4) الإرشاد: اقتراح مسارات العمل المثلى.

وقد طُور هذا النهج خصيصاً لتطبيق تقنيات الرقمنة بطريقة منظمة ومدروسة (مايستر وآخرون، 2019). ويغطي هذا النموذج نطاقاً واسعاً من تطبيقات الرقمنة، بدءاً من جمع البيانات الأساسية وصولاً إلى نمذجة سلوك الأنظمة المعقدة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة.

وعلى الرغم من أن هذا النموذج لا يستهدف تطبيقات الاستدامة مباشرة، فإنه يمثل إطاراً منهجياً لاكتساب البيانات ومعالجتها وإدارتها بكفاءة لتحقيق أهداف محددة. وعند تطبيق هذا النهج على قضايا الاستدامة، يمكن الاستفادة منه في فهم العلاقات السببية بعمق، وتحسين العمليات التشغيلية، والتنبؤ بالتأثيرات السلبية المحتملة ومنعها عبر الأبعاد الثلاثة للاستدامة.

تَهْدِفُ المرحلة الأولى؛ الرؤية إلى جمع البيانات الشاملة من أرض المصنع. ويُمثِّل الوصول إلى هذه البيانات تحدياً كبيراً في كثير من الأحيان؛ إذ يتطلب التعامل مع مجموعة متنوعة من البروتوكولات المختلفة، مثل الهيكل الموحد لـ OPC (OPC UA)، وبروتوكول MTConnect، ومعياري EuroMap7، أو قد تكون هذه البيانات غير متاحة أساساً في بعض

الحالات. ونظرًا لأن بيانات الاستدامة غالبًا لا تكون جزءًا أصيلاً من البروتوكولات الحالية؛ يُصبح تزويد الآلات القديمة بحساسات متوافقة مع تقنيات إنترنت الأشياء ضرورةً في كثيرٍ من الأحيان.

وتُجمَع البيانات المترابطة لحظيًا على منصة مركزية مشتركة، تكون في الغالب قائمةً على الحوسبة السحابية. أمّا المرحلة الثانية؛ الشفافية، فتركّز على تحديد الأسباب الجذرية للمشكلات والانحرافات التشغيلية، مثل الاستهلاك المفرط للطاقة أو المواد الخام، ويمكن من خلال هذه المرحلة استخلاص مؤشرات أداء رئيسية محدّدة لكل وحدة وظيفية على حدة.

وتُتيح المرحلة الثالثة؛ القدرة على التنبؤ، إمكانية إجراء تنبؤات دقيقة للاتجاهات المستقبلية، ومن ثمّ إدارة الانحرافات المحتملة استباقياً. وعلى سبيل المثال، يمكن الاستفادة من هذه القدرة التنبؤية في إدارة الطلب على الطاقة لمعدّات الإنتاج بطريقة ذكية، أو تقليل تشغيل العمليات ذات الأولوية المنخفضة في حالات نقص الطاقة أو ارتفاع أسعارها وفي المرحلة الرابعة؛ الإرشاد، تُقترَح مسارات العمل والإجراءات التصحيحية المناسبة بناءً على التحليلات والتنبؤات.

ومثلما أشرنا سابقاً، يرتبط هذا النهج التحليلي وتطبيق أدوات وأساليب الذكاء الاصطناعي ارتباطاً وثيقاً وتكاملياً. فخوارزميات الذكاء الاصطناعي تتطلب بيانات مُتّسقة وموثوقة، وهو ما يوفره النموذج ذو المراحل الأربع بكفاءة عالية. وعند توافر هذه الشروط الأساسية، يمكن تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي أولاً لتقليل التعقيد الهائل في مستودعات البيانات الضخمة.

فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام تحليل المكونات الرئيسية لتحديد العوامل الجوهرية التي تدفع تحسين الاستدامة بفاعلية. كما يمكن تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي المعتمدة على منهج «الصناديق

السوداء»، مثل الشبكات العصبية، لتسريع عمليات المحاكاة المعقدة المتعلقة باستهلاك الطاقة في ظل ظروف متغيرة أو غير مؤكدة.

7.4.3 تطبيق معايير الاستدامة:

كثيراً ما شكّل تطوير الأساليب والمعايير المتخصصة بالإنتاج المستدام محوراً جوهرياً للبحث والتطبيق العملي.. وينصبُّ الهدف الأساسي على إيضاح الترابط بين مراحل الإنتاج والاستهلاك والتخلص من النفايات، بالإضافة إلى تقييم الآثار الناجمة عن الأنشطة الاقتصادية المختلفة. وقد تبوّأت منهجية تقييم دورة الحياة مكانة مرموقة بوصفها الطريقة الأهم والأكثر قبولاً على الصعيد التقني (هاجن وآخرون، 2020).

وتندرج هذه المنهجية تحت مظلة سلسلة المواصفات القياسية البيئية أيزو 14000 التي تُعنى بمعالجة قضايا الإدارة البيئية ذات الصلة بعمليات الإنتاج والخدمات المتنوعة. وتشترك جميع معايير الاستدامة في تبسيط سلاسل القيمة الصناعية المعقدة إلى وحدات عملية قابلة للتحليل، حيث يجري فحص تدفقات الكتلة (مثل المواد الخام، ومستلزمات الوقود، والمنتجات النهائية، والنواتج الثانوية، والنفايات)، بالإضافة إلى مدخلات الطاقة والانبعثات في الماء والهواء والترربة.

وفيما يتعلق ببيانات النطاقين 1 و 2 وفقاً للمواصفة DIN EN⁽¹⁾ ISO 14064، فيمكن جمعها داخلياً بسهولة. بينما يتطلب تجميع بيانات النطاق 3، المتعلقة بمدخلات المواد الخام والمواد التشغيلية، تعاوناً وثيقاً مع شبكة الموردين. وتكتسب انبعثات ثاني أكسيد الكربون ضمن النطاق 3 أهمية خاصة واستثنائية، إذ يمكن أن تمثل ما يصل إلى 50٪ من إجمالي البصمة الكربونية للمنتج أو

(1) اختصار لـ Deutsches Institut für Normung / European Norm / International Organization for Standardization، أي المواصفة الدولية ISO المعتمدة وفق المعايير الأوروبية والألمانية (المترجم).

المؤسسة (غروس وهاننكامب، 2021).

وفي الواقع العملي المتزايد، يواجه الموردون ضغوطاً متزايدة ومستمرة من العملاء لتوفير بيانات دقيقة وشفافة حول انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بمنتجاتهم وعملياتهم. ويجري ربط فئات التأثير البيئي بتحليل الجرد البيئي، وتتيح عملية القياس الكمي لهذه الفئات إمكانية التركيز بفاعلية على التأثيرات البيئية ذات الأولوية القصوى. إلا أن التطبيق العملي لمعايير الاستدامة غالباً ما يستلزم بذل جهد تقني كبير نظراً لتعقيدها المتأصل، بالإضافة إلى ضرورة توفر معرفة منهجية متقدمة وخبرة متخصصة في هذا المجال.

ونتيجة لذلك، تُجرى عمليات التقييم في أغلب الأحيان على أساس كل مشروع على حدة، وتتسم بطبيعتها الثابتة والمحدودة زمنياً، مما يجعلها غير ملائمة لتحسين العمليات الإنتاجية مباشرة وباستمرار.

ولتجاوز هذه القيود، يمكن تفعيل منهجية تقييم دورة الحياة وتحويلها إلى أداة ديناميكية (أي توليد نتائجها باستمرار بناءً على بيانات آنية في الوقت الفعلي)، وذلك بهدف اشتقاق تدابير دقيقة وقابلة للتطبيق لتحسين العمليات التشغيلية مباشرة على أرض المصنع (سيرداس وآخرون، 2017).

وأخيراً، وبغية تقليل العبء الواقع على جميع الأطراف المعنية في سلسلة الإمداد المعقدة، يصبح تبادل بيانات الاستدامة القائم على الثقة المتبادلة، وبالاعتماد على نماذج بيانات مرجعية موحدة ومتفق عليها، أمراً بالغ الأهمية والضرورة.

7.4.4 الرِّبْطُ بين الأنظمة والإنتاج الحضري والمدن الذَّكيَّة:

تستلزم الضرورة الملحة لتبني عمليَّات أكثر كفاءة واستدامة إعادة تقييم كيفية تطوير أنظمة الإنتاج وتحسينها. فبدلاً من تطويرها بمعزل عن بعضها البعض، ينبغي النظر إليها بوصفها كيانات مترابطة ومتكاملة ضمن منظومة أوسع. ففي صميم المفهوم الدائري للاقتصاد، يكمن مبدأ أساسي يقضي بضرورة أخذ تدفقات الطاقة والمواد والنفايات الناتجة عن عملية إنتاجية ما بالحسبان، وذلك بهدف إعادة استخدامها بفاعلية في عمليات أخرى. ولا يمكن تحقيق هذا التكامل المنشود إلا من خلال إرساء روابط قوية بين مختلف الكيانات المكونة لنظام التصنيع.

يُتيح مفهوم الربط بين الأنظمة إمكانية تدفق المواد مادياً بين الأنظمة الفرعية المختلفة، واستعادة الطاقة المهدرة (مثل الكهرباء أو الحرارة) واستخدامها بكفاءة، وتبادل المعلومات الحيوية (مثل توقعات الطلب المستقبلي أو حالة التشغيل الحالية للأنظمة).

وعلى صعيد التطبيق العملي، غالباً ما تُشغّل المكونات الطرفية ضمن أنظمة الإنتاج، كأجهزة التبريد الصناعية مثلاً، باستخدام إستراتيجيات تحكم بسيطة تعتمد على نقاط ضبط ثابتة ومحدودة؛ مما يؤدي حتماً إلى حدوث ذروات غير مرغوب فيها في الطلب على الطاقة يصعب تفاديها. وبالمثل، تعتمد أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء على إستراتيجيات تحكم أكثر تعقيداً، إلا أنَّها غالباً ما تفتقر إلى القدرة على التكيف الديناميكي مع احتياجات التدفئة أو التهوية المتوقعة في أوقات مختلفة.

لذا، يُعد تبادل البيانات بسلاسة بين أنظمة التصنيع المختلفة

ومعدات المباني التقنية شرطاً أساسياً لتحقيق التكامل الفعّال داخل المصنع. فهذا التبادل الحيوي للمعلومات يمكّن من تحديد نقاط التشغيل المثلى لكلّ نظام فرعي وتعديل معلمات التحكم الخاصة بها تبعاً لذلك، مما يعزز الكفاءة ويقلل من استهلاك الموارد. بيد أن مفهوم الربط بين الأنظمة لا يقتصر على العمليات التي تجري داخل حدود المصنع فحسب، بل يمتد ليشمل تفاعل موقع التصنيع مع البيئة الحضرية المحيطة به.

وعلى مرّ التاريخ، شهدنا تعايشاً وثيقاً بين المناطق الصناعيّة والمناطق الحضرية. ومع ذلك، أدّت الآثار السلبية الناجمة عن الأنشطة الصناعيّة التقليديّة إلى اتجاه نحو نقل المصانع إلى أطراف المدن. أما اليوم، وفي ظل التحضر المتسارع كاتجاه عالمي شامل، فيبرز توجه نحو تطوير مفاهيم جديدة ومبتكرة، مثل التصنيع الحصري، أو دمج الأنشطة التّصنيعيّة على نحو متكامل في إطار المدن الذّكيّة (مات وآخرون، 2020).

يُعرّف المصنع الحصري بأنه ليس مجرد منشأة صناعيّة تقع في بيئة حضرية، بل هو كيان ديناميكي يتفاعل بعمق مع الكيانات الحضرية الأخرى من خلال تدفّقات المعلومات والمواد والطاقة، ويعتمد بشكل كبير على السوق المحليّة وشبكة المورّدين المحليين (إجاسي وآخرون، 2022). وبهذا المنظور، يمكن للإنتاج الحصري أن يقدم مساهمات قيمة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة التالية: الطاقة النظيفة والميسورة (SDG 7)، والعمل اللائق والنمو الاقتصادي (SDG 8)، والصناعة والابتكار والبنية التحتية (SDG 9)، والمدن والمجتمعات المستدامة (SDG 11)، والاستهلاك والإنتاج المسؤولان (SDG 12) (يوراشيك وآخرون، 2018).

تُسفر الأنشطة الصناعية في البيئات الحضرية عن آثار سلبية محتملة، غير أنَّها في الوقت نفسه تنطوي على مساهمات إيجابية لا يمكن تجاهلها، من بينها خلق فرص عمل جديدة ومستدامة في سياقات التصنيع الحضري. ومع تسارع الاتجاه العالمي نحو التوسع الحضري، يُتوقع أن تؤدي المدن الذكية دورًا محوريًا ومتزايد الأهمية في تحقيق أهداف الاستدامة الشاملة.

ورغم عدم وجود تعريف موحد ومتفق عليه لمفهوم المدينة الذكيَّة في الأوساط البحثية والتطبيقية حتى الآن، فإنَّ نطاقها يتجاوز قطاع التصنيع وحده ليشمل جميع الكيانات الحضرية (سوفارنا وآخرون، 2020). فهي تشمل جميع العناصر المكوِّنة للمدينة بما في ذلك المباني، وشبكات النقل، وشبكات الطاقة، ومرافق الرِّعاية الصحيَّة، والقطاع التصنيعي، والخدمات التجارية المتنوعة التي يجبُ أن تكون مترابطة ومتكاملة فيما بينها. ويعني هذا التكامل ضرورة فحص وتحسين تدفقات المواد والمعلومات والطاقة والأفراد ضمن السياق العام للنظام البيئي الحضري لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة والاستدامة.

7.4.5 الخلاصة والتطلُّعات المستقبلية:

استعرض هذا الفصل أربعة مبادئ أساسية ترتكز عليها رؤية المصنَّع المستدام في المستقبل:

- أولاً: تناولنا تخطيط عمليَّات التصنيع وتشغيلها من منظور الاستدامة، ففي مرحلة التخطيط يكتسب تحديد أبعاد النظام الإنتاجي ومواصفاته أهميَّة قصوى، على حين ينصبُّ التركيز في مرحلة التشغيل على تحقيق الكفاءة، وإدارة الانحرافات التشغيليَّة بفاعلية. وفي المستقبل، سيتطلب ذلك دمج جوانب الاستدامة في

صميم إدارة العمليات اليومية على أرض المصنع على سبيل المثال.

- ثانيًا: تُعدُّ إتاحة بيانات التصنيع والعمليات في الوقت الفعلي عاملاً بالغ الأهمية لتحقيق الاستدامة. فغالبًا ما تتسم قرارات الاستدامة بتعقيد كبير، مما يستلزم تبني نهج منهجي في جمع البيانات الصناعية، ومعالجتها بكفاءة، وتوظيفها استباقياً لاتخاذ إجراءات مستنيرة.

- ثالثًا: يمكن تقييم مدى استدامة المصنع المستقبلي بالاستناد إلى معايير معترف بها عالمياً. وبالمقارنة مع أساليب التقييم الحالية ذات الطبيعة الثابتة؛ ستميّز التقييمات المستقبلية بتواتر أعلى وجهد أقل في التنفيذ، مما يجعلها أكثر عمليّة وفعالية.

- أخيراً: يتميَّز المصنع المستدام في المستقبل بالربط المنهجي متعدد المستويات فداخل حدود المصنع، تُربط أنظمة الإنتاج والمكونات المحيطية وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء مادياً ورقمياً، وتُدار وفقاً لأفضل النماذج التشغيلية الشاملة لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة. أما خارج حدود المصنع المادية، فيجب أخذ تبادل المواد والمعلومات والطاقة مع البيئة الحضرية المحيطة في الحسبان لتحقيق تأثير إيجابي وملموس على الاستدامة على نطاق أوسع.

واستناداً إلى هذه التوجُّهات المستقبلية، يواجه كل من البحث العلمي والمجال التطبيقي تحدّياً كبيراً ومهمّاً يتمثل في تطوير أدوات وأساليب فعّالة ومبتكرة لتنفيذ رؤية المصانع المستدامة على أرض الواقع.

7.5 الخاتمة:

على الرغم من الانتشار الواسع لمبادئ الاستدامة والاعتراف بأهميتها، ما يزال تطبيقها الفعلي في القطاع الصناعي يمثل تحديًا جوهريًا؛ فالأبعاد الثلاثة للاستدامة: الاجتماعية، والبيئية، والاقتصادية، تستوجب أخذها في الحسبان على قدم المساواة، ويشكل الابتكار والبحث العلمي عنصريين أساسيين لتحقيق استدامة حقيقية ومستدامة في العمليات الصناعية.

إذن، كيف يمكن دمج الاستدامة بعمق في نسيج القطاع الصناعي؟ نلخص هنا خمسة دروس رئيسة انبثقت عن هذا الفصل والتي تمهد الطريق لمزيد من النقاش والتطبيق العملي:

1. التحول نحو الإنتاج المستدام رحلة مستمرة: هو مسار دائم التطور والتكامل، وليس مجرد مشروع منفصل أو مبادرة مؤقتة ذات أجل محدد. يتعين على الشركات أن تستثمر خبراتها المتراكمة، ومنهجياتها الراسخة، وأدوات التحسين المستمر، كتلك المستخدمة في إدارة الجودة الشاملة أو الإدارة الرشيقة، في تخطيط وتنفيذ إجراءات الاستدامة بما يتماشى مع أهدافها الإستراتيجية طويلة الأمد.

2. الاستدامة تتطلب بيانات شاملة وسهلة الوصول: تعتمد الاستدامة على توفر البيانات وإمكانية الوصول إليها من مصادر متنوعة، تشمل آلات الإنتاج، وأنظمة تكنولوجيا المعلومات المتكاملة، وحتى العمليات اليدوية. ويمكن الاستفادة من حساسات إنترنت الأشياء ومنصات السحب الصناعية المتقدمة لتحليل البيانات ذات الصلة بالاستدامة بدقة وفعالية، وتحقيق مستويات أعلى من الشفافية في

العمليات.

3. توسيع نطاق التحسين المستمر ليشمل الاستدامة: يجب توسيع نطاق عمليات التحسين المستمر، مثل منهجية كايزن، لتشمل تطوير العمليات الإنتاجية كليًا وتحسينها، سواء من خلال تطبيق إجراءات فيزيائية ملموسة، أو من خلال الاستخدام المبكر للتوائم الرقمية. ويتيح هذا النهج المتكامل إمكانية تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي لخدمة مختلف جوانب الاستدامة وتعزيزها.

4. دمج معايير الاستدامة في الاستثمارات المستقبلية: على الرغم من ضرورة تنفيذ تدابير تحسين الكفاءة على المدى القصير وفي المواقع الصناعية القائمة، يجب أن تحتل معايير الاستدامة مكانة محورية في عملية اختيار الاستثمارات الجديدة في المعدات والبنية التحتية، لتكون عنصرًا أساسيًا في قرارات الشراء والتطوير.

5. الاستفادة من العمليات الدائرية واسترجاع الطاقة: يساهم استرجاع الطاقة بكفاءة من العمليات الإنتاجية المختلفة في تعزيز الكفاءة التشغيلية. ويتطلب ذلك ربط مصادر الطاقة بمستقبلاتها بذكاء ضمن سلسلة العمليات. وبالمثل، يجب أن تتبوأ العمليات الدائرية لتدفقات المواد دورًا محوريًا في صميم الهندسة الصناعية المستقبلية، لتقليل الهدر وتعزيز الاستفادة من الموارد.

وفي الطريق إلى الحياد الصفري، يمثل التصنيع المستدام أقوى أداة مباشرة تمتلكها الشركات لتحقيق إزالة الكربون من عملياتها وتحقيق أهداف الاستدامة الطموحة ضمن كامل سلسلة القيمة الصناعية. غير

أنَّ القدرة على ابتكار عمليَّات التصنيع المستدامة وتطويرها تُعدُّ أيضًا شرطًا جوهريًّا لتسويق التقنيات الجديدة الصديقة للبيئة. ففي قطاع السيارات، على سبيل المثال، تبرز حاجة ملحة إلى تحوُّل تقنيٍّ جذري يهدف إلى استبدال تقنيات دفع مبتكرة تعتمد كليًّا على مصادر الطاقة المتجدَّدة بمحرِّكات الاحتراق الداخلي التقليدية العاملة بالوقود الأحفوري، ومن هنا، ينطلق بنا الفصل الثامن ليتناول بعمق موضوع «قوة الابتكار التكنولوجي».



المراجع

- Acerbi, F., Sassanelli, C., & Taisch, M. (2022). A conceptual data model promoting data-driven circular manufacturing. *Operations Management Research*, 15, 838. Springer Verlag.
- BMW AG. (2022). Die Produktion von Morgen: BMW iFACTORY. Retrieved June 19, 2023, from <https://www.bmwgroup.com/de/news/allgemein/2022/bmw-ifactory.html>
- Brunoe, T., Andersen, A., & Nielsen, K. (2019). Changeable manufacturing systems supporting circular supply chains. *Procedia CIRP*, 81, 1423–1428
- Cerdas, F., Thiede, S., Juraschek, M., Turetskyy, A., & Hermann, C. (2017). Shop-floor life cycle assessment. *Procedia CIRP*, 61, 393–398
- DIN EN ISO 50001. (2011). Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Beuth Verlag
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy Vol. 1: An economic and business rationale for an accelerated transition. Retrieved September 19, 2022, from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- European Financial Reporting Advisory Group. (2022). Sustainability reporting standards interim draft. Retrieved September 19, 2022, from <https://www.efrag.org/Activities/2105191406363055/Sustainability-reporting-standards-interim-draft>
- Focke, M., & Steinbeck, J. (2018). Steigerung der Anlagenproduktivität durch OEE-management. Springer Verlag
- Govindan, K. (2022). Tunneling the barriers of blockchain technology in remanufacturing for achieving sustainable development goals: A circular manufacturing perspective. *Business Strategy and the Environment*, 31(8), 3769–3785
- Gross, D., & Hanenkamp, N. (2021). Energy efficiency assessment of cryogenic minimum quantity lubrication cooling for milling operations. *Procedia CIRP*, 93, 523–528
- Gupta, H., Kumar, A., & Wasan, P. (2021). Industry 4.0, cleaner produc-

tion and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126253

- Haapala, K. R., Zhao, F., Camelio, J., Sutherland, J. W., Skerlos, S. J., Dornfeld D. A., Jawahir, I. S., Clarens, A. F., & Rickli, J. L. (2013). A review of engineering research in sustainable manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 135(4), 041013
- Hagen, J., Büth, L., Haupt, J., & Cerdas, F. (2020). Live LCA in learning factories Real time assessment of product life cycles environmental impacts *Procedia Manufacturing*, 45, 128–133
- Hartini, S., & Ciptomulyono, U. (2015). The relationship between lean and sustainable manufacturing on performance: Literature review. *Procedia Manufacturing*, 4, 38–45
- Ijassi, W., Evrard, D., & Zwolinski, P. (2022). Characterizing urban factories by their value chain: A first step towards more sustainability in production *Procedia CIRP*, 105, 290–295
- Jawahir, I., & Bradley, R. (2016). Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, 40, 103–108
- Juraschek, M., Bucherer, M., Schnabel, F., Hoffschroer, H., Vossen, B., Kreuz, F Thiede, S., & Herrmann, C. (2018). Urban factories and their potential contribution to the sustainable development of cities. *Procedia CIRP*, 69, 72–77
- Liu, Y., Syberfeldt, A., & Strand, M. (2019). Review of simulation-based life cycle assessment in manufacturing industry. *Production & Manufacturing Research*, 7(1), 490–502
- Machado, C., Winroth, M., & Ribeiro da Silva, E. (2020). Sustainable manufacturing in industry 4.0: An emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1462–1484
- Matt, D., Orzes, G., Rauch, E., & Dallasega, P. (2020). Urban production – A socially sustainable factory concept to overcome shortcomings of qualified workers in smart SMEs. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105384
- Meister, M., Beßle, J., Cviko, A., Boing, T., & Metternich, J. (2019) Manufacturing analytics for problem-solving processes in production *Procedia CIRP*, 81, 1–6

- Merklein, M., Junker, D., Schaub, A., & Neubauer, F. (2016). Hybrid additive manufacturing technologies – An analysis regarding potentials and applications. *Physics Procedia*, 83, 549–559
- Moldavska, A., & Welo, T. (2017). The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 744–755
- Nasr, N., & Thurston, M. (2006). Remanufacturing: A key enabler to sustainable product systems. *Proceedings of LCE*, 15–18. Retrieved September 19 2022, from <https://www.mech.kuleuven.be/lce2006/key4.pdf>
- Negria, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939–948
- Pampanelli, A., Found, P., & Bernardes, A. (2014). A lean & green model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*, 85, 19–30
- Pereira, T., Kennedy, J., & Potgieter, J. (2019). A comparison of traditional manufacturing vs. additive manufacturing, the best method for the job *Procedia Manufacturing*, 30, 11–18
- Popp, R. (2020). *Energieflexible, spanende Werkzeugmaschinen – Analyse*. TU München, Utz Verlag
- Rashid, A., Roci, M., & Asif, F. (2020). Circular manufacturing systems. In MBrandao, D. Lazarevic, & F. Finnveden (Eds.), *Handbook of the Circular Economy* (pp. 343–357). Elgaronline
- Sauer, A. (2020). *Die Gleichstromfabrik: Energieeffizient*. Carl Hanser Verlag
- Schnell, J., & Reinhart, G. (2016). Quality management for battery production: A quality gate concept. *Procedia CIRP*, 57, 568–573
- Stark, R., Grosser, H., Beckmann-Dobrev, B., & Kind, S. (2014). Advanced technologies in life cycle engineering. *Procedia CIRP*, 22, 3–14
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–541
- Suvarna, M., Büth, L., Hejny, J., Mennenga, M., Li, J., Ng, Y. T., Herrmann, C, W Wang, X. (2020). Smart manufacturing for smart cities Overview insights and future directions. *Advanced Intelligent Systems*, 2(10), 2000043
- UN General Assembly. (2015). *Transforming our world: The 2030*

Agenda for Sustainable Development. Retrieved July 6, 2023, from <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html>

- Urbinati, A., Rosa, P., Sassanelli, C., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Circular business models in the European manufacturing industry: A multiple case study analysis. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122964
- VDI. (2020). *Energieflexible Fabrik – Grundlagen (VDI 5207 Blatt 1)*. Beuth Verlag
- Von Hauff, M., & Jörg, A. (2017). *Nachhaltiges Wachstum*. DeGruyter
- Weber, T., Sossenheimer, J., Schäfer, S., Ott, M., & Walther, J. (2019). Machine learning based system identification tool for data-based energy and resource modeling and simulation. *Procedia CIRP*, 80, 683–688
- Wei, M., McMillan, C., & de la Rue du Can, S. (2019). Electrification of industry Potential, challenges and outlook. *Current Sustainable/ Renewable Energy Reports*, 6, 140–148
- Yuan, C., Zhai, Q., & Dornfeld, D. (2012). A three dimensional system approach for environmentally sustainable manufacturing. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 61, 39–42



قوّة الابتكار التكنولوجي

المحرك نحو التنقل المستدام

يورغ فرانكه وبيتر فاسرشايد وتورستن إينه
وبيتر لامب ويورغن غولدنر وأوليفر تسيزه

8.1 المقدمة:

يتطلب تحقيق هدف الـ 1.5 درجة مئوية لإزالة الكربون تحوُّلاً تكنولوجياً جذرياً. وعامة، تتشابك علاقات وثيقة بين الابتكار التكنولوجي وتعزيز الاستدامة؛ مما يجعل التقدم التكنولوجي مفتاحاً جوهرياً لدفع جهود الاستدامة قُدماً. وفي المقابل، يستلزم التركيز المتزايد على أهداف الاستدامة حتماً مزيداً من الابتكار التكنولوجي.

يمثل التقدم التكنولوجي فرصاً وتحديات متوازنة لمختلف الفاعلين في السوق، فالتقنيات الناشئة بطبيعتها تنطوي على قدر من الغموض ينبع من عوامل متعددة، مما يجعل إمكاناتها ومدى تحققها وتوقيت ظهورها غير محددة بوضوح لفترة طويلة (كابور وكلويتز، 2021). ونتيجة لذلك، يواجه جميع أصحاب المصلحة المعنيين في قطاعات الأعمال والمجتمع والسياسة تحديات جمة.

وتتجلى هذه الحقيقة بوضوح في التحول الراهن الذي يشهده قطاع التنقل في أغلب الأسواق الرئيسية، وذلك في سياق مواجهة تغير المناخ والحفاظ على البيئة. وفي الطريق إلى الحياد الصفري، يتناول هذا الفصل المعنون بـ «قوة الابتكار التكنولوجي» كيفية التعامل مع حالة عدم اليقين المصاحبة للتقنيات الناشئة في مجال التنقل.

وفي صميم هذا التحول التكنولوجي يكمن نظام الدَّفْع وتفاعله الحيوي مع منظومة الطاقة المتصلة به. بناءً على ذلك، يُعد هذا

الفصل استكمالاً للفصول السابقة، وهي: «تصميم منتجات مستدامة» (الفصل الخامس)، و«نحو سلاسل قيمة مستدامة» (الفصل السادس)، و«الاستدامة في عمليات التصنيع» (الفصل السابع)، وذلك بتوسيع نطاق التحليل ليشمل العوامل الخارجية المؤثرة كالبنية التحتية وأنظمة الطاقة.

وتتداخل هذه الجوانب مع التكنولوجيا، ولا يمكن تقييمها بمعزل عن اعتبارات انبعاثات الكربون والبصمة البيئية. وبالمقابل، يجب أخذ التوازن الاقتصادي في الحسبان بصورة شاملة، إذ يمثل هذا الجانب عاملاً حاسماً لنجاح مسار التحول. وتشير التوقعات المستقبلية إلى طيف واسع من السيناريوهات المحتملة، تتراوح بين استمرار الاعتماد العالمي على الوقود الأحفوري، وصولاً إلى هيمنة التنقل الكهربائي (زاف وآخرون، 2021).

يهدف هذا الفصل إلى تناول هذه العوامل ذات الصلة بتفصيل أعمق. في مستهله، يستعرض القسم 8.2 مزايا أنظمة الدفع البديلة وعيوبها. ويتبعه شرح للمحركات الدافعة لهذا التحول التكنولوجي الراهن. ثم يقدم القسم 8.3 حواراً ثرياً بين نخبة من الخبراء: الأستاذ أوليفر تسييزه، الرئيس التنفيذي لمجلس إدارة شركة بي إم دبليو، والدكتور بيتر لامب، المدير العام لقسم تقنية خلايا البطاريات في بي إم دبليو، والأستاذ الدكتور المهندس يورغ فرانكه، من معهد أتمتة المصانع ونظم الإنتاج في جامعة إرلانغن - نورنبرغ، حيث يتناولون مستقبل تكنولوجيا الدفع من منظور قطاع الأعمال. وفي القسم 8.4، يُقام حوار خبراء آخر يجمع بين الأستاذ أوليفر زيبسه، والدكتور يورغن غولدنر، المدير العام لبرنامج تقنية الهيدروجين في بي إم دبليو، والأستاذ الدكتور بيتر فاسرشايد، مدير معهد هلمهولتس إرلانغن - نورنبرغ للطاقة المتجددة ورئيس قسم الهندسة الكيميائية (هندسة التفاعلات) في جامعة فريدريش - ألكسندر إرلانغن. ويناقش الخبراء خلاله الفرص المستقبلية للهيدروجين بوصفه مصدراً بديلاً للطاقة في صناعة السيارات.

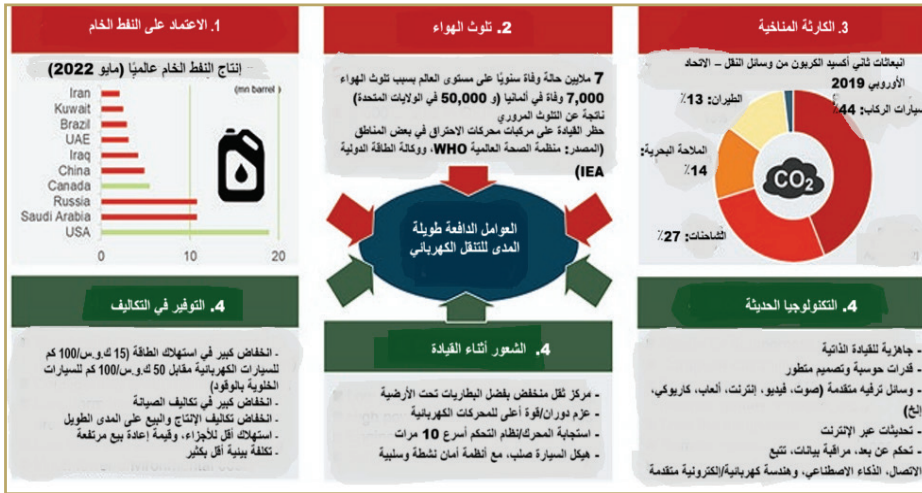
393

والأهم من ذلك، بدأت تظهر تقنيات جديدة تُعيد تشكيل سوق السيارات الذي ظل مستقرًا لعقود طويلة؛ فالقيادة الذاتية تبشر بظهور نماذج أعمال مبتكرة كليًا في مجال تنقل الأفراد والبضائع. وعلاوة على ذلك، ستتغلب البرمجيات تدريجيًا على الوظائف الميكانيكية. وأخيرًا، سيجري الانتقال في نهاية المطاف من محركات الاحتراق الداخلي إلى أنظمة دفع كهربائية.

لقد شكل محرك الاحتراق الداخلي حجر الزاوية في ازدهار التنقل الفردي خلال القرن العشرين. فقد تميزت محركات البنزين والديزل بالموثوقية والقوة، وبلغ إنتاجها ذروته بما يقارب 100 مليون سيارة ركاب وشاحنة سنويًا، بالإضافة إلى عشرات الملايين من الدراجات النارية حول العالم (وكالة البيئة الأوروبية، 2019؛ الهيئة الاتحادية الألمانية للبيئة، 2022؛ وانغ، 2021).

وقد أتاح الكثافة العالية للطاقة في الوقود الأحفوري قطع مسافات تصل إلى 1000 كيلومتر دون الحاجة للتوقف للتزود بالوقود. وأسهم انخفاض تكلفة الطاقة والوفرة الظاهرة للنفط في تمكين عامة الناس من التنقل بحرية عبر القارات. ومع مرور الوقت، تطورت أنظمة الدفع المعتمدة على محركات الاحتراق الداخلي لتصبح إبداعات هندسية بالغة التعقيد. وتحسنت كفاءتها في استهلاك الطاقة، وانخفض تأثيرها في تلوث الهواء وتغير المناخ.

ومع ذلك، ما تزال وسائل النقل التي تعتمد على محركات الاحتراق مسؤولة عن نحو 20٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وتسهم في تلوث الهواء، خاصة في المدن الكبرى. وتستهلك موردًا طبيعيًا ثمينًا هو الوقود الأحفوري، وتواصل الاعتماد على دول ذات استقرار سياسي هش أو مصداقية متدنية (انظر الشكل 8.2) (وكالة الطاقة الدولية، 2022، 2023؛ رايتز وآخرون، 2020).



الشكل 8.2: عوامل الدفع وال جذب التي تدعم نجاح التنقل الكهربائي

(رسم توضيحي من إعداد المؤلف، بالاعتماد على بيانات وكالة الطاقة الدولية (2022)،
(2023) وريتز وآخرين (2020))

تفرض التنظيمات السياسية ضغوطاً متزايدة على بيئة السوق؛ ويُعدُّ تشديد حدود الانبعاثات الأوروبية (المعيار الأوروبي السابع Euro 7) والهدف الطموح المتمثل في تحقيق الحياد المناخي بحلول عام 2050 (الاتفاق الأخضر الأوروبي European Green Deal) مثالين بارزين على هذه الضغوط. ومع بلوغ محركات الاحتراق الداخلي (ICEs) مراحل متقدمة من منحائها التطوري (منحنى S)، حيث تتطلب التحسينات الإضافية جهوداً مضيئة لا تتناسب مع العائد الملموس، بادرت العديد من شركات تصنيع السيارات بالإعلان عن وقف تطوير محركات احتراق داخلي جديدة.

وعلى النقيض من ذلك، تبرز المحركات الكهربائية بوصفها تقنية دفع عريقة نسبياً، ولكنها تتميز بانعدام الانبعاثات وكفاءة استثنائية تقارب 95% (مقارنة بمحركات الاحتراق الداخلي التي بالكاد تتجاوز كفاءتها 30%). هذه الكفاءة العالية تعني أن المحركات الكهربائية تُحدث عُشر الفاقد الذي تولده محركات الاحتراق الداخلي. وعلاوة

على ذلك، يمكن لهذه المحركات الاستفادة المباشرة من مصادر الطاقة المتجددة بيسر، مما يجنب استنزاف الموارد الأحفورية القيّمة. وتتيح الخصائص الفريدة للمحركات الكهربائية نطاقاً أوسع للسرعة وعزم دوران عالٍ وثابت، وهو ما يُعني عن الحاجة إلى أنظمة نقل حركة معقدة (قد تصل إلى عشرة تروس)، ويمنح تجربة قيادة ديناميكية فائقة. وتسمح ديناميكية التحكم المتفوقة في أنظمة الدفع الكهربائية بتوجيه المركبة طويلاً وعرضياً ضمن نطاقات واسعة دون الحاجة إلى الكبح التقليدي، مع إمكانية استعادة الطاقة الحركية أثناء ذلك (على سبيل المثال، تبلغ قدرة الاسترجاع القصوى في سيارة بي إم دبليو iX xDrive50 نحو 208 كيلوواط) (شفار تسر، 2019).

تتمتع المحركات الكهربائية بكثافة طاقة أعلى بكثير، وهدوء تشغيل ملحوظ بفضل آلية الدوران، ويكاد يكون معدل تأكلها معدوماً نظراً لآلية نقل الطاقة غير التلامسية (باريزيه وآخرون، 2016؛ شِخت، 2020). واستناداً إلى المزايا التقنية والبيئية والاقتصادية الموجزة في الشكل (8.2)، يُرجح بقوة أن تعتمد غالبية المركبات البرية في المستقبل على أنظمة الدفع الكهربائية.

وتتوافق المحركات الكهربائية مع طيف واسع من أنماط أنظمة الدفع، مما أفسح المجال لتنوع كبير في حلول التنقل الكهربائي، بدءاً من المركبات الكهربائية التي تعتمد على البطاريات (BEVs)، مروراً بالمفاهيم الهجينة المختلفة، ووصولاً إلى تطبيقات خلايا الوقود الواعدة. وفي هذا المشهد، تستحوذ المركبات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات على حصة سوقية متنامية. تعتمد هذه المركبات على بطارية عالية الجهد لتشغيل الوحدات المساعدة كهربائياً، واستعادة طاقة الكبح بكفاءة، وإعادة الشحن بسهولة عبر مقبس كهربائي منزلي أو محطات الشحن العامة المتوفرة.

بيد أن نقطة الضعف الرئيسة التي ما تزال تحد من انتشار هذه المركبات تتمثل في مدى القيادة الذي لا يزال قصيراً نسبياً (يتراوح حالياً بين 400 و 700 كيلومتر تقريباً). ويعزى هذا القيد إلى أن البطاريات الكهروكيميائية لا توفر سوى حوالي 5% من الكثافة الطاقية الوزنية لأنظمة تخزين البنزين التقليدية (0.5 كيلوواط / ساعة للكيلوغرام الواحد مقابل 11.4 كيلوواط / ساعة للكيلوغرام الواحد) (سارتبافا وآخرون، 2008؛ فان باسهويسن وشيفر، 2017). ومن الناحية التقنية، تتفاقم هذه المعضلة بسبب أوقات الشحن التي ما تزال تستغرق وقتاً طويلاً (حوالي 30 دقيقة لشحن كبير)، حيث إن قدرة الشحن الكهربائية البالغة 250 كيلوواط تعادل حوالي 1% فقط من معدل نقل الطاقة أثناء عملية تعبئة الوقود التقليدية السريعة.

ومع الوضع التكنولوجي الراهن (SoT)، لا يمكن تعويض هذه الفروقات الكبيرة في الكثافة الطاقية إلا جزئياً من خلال الكفاءة الأعلى بكثير التي تتمتع بها المركبات الكهربائية والتي تتفوق بثلاثة إلى أربعة أضعاف في أنماط القيادة الاعتيادية (على سبيل المثال، في دورة إجراء اختبار المركبات الخفيفة الموحد عالمياً (WLTP)⁽¹⁾: تستهلك سيارة بي إم دبليو i4 eDrive40 Gran Coupé [بقوة 250 كيلوواط] 16.8 كيلوواط / ساعة لكل 100 كيلومتر، مقارنة بسيارة بي إم دبليو M440d xDrive Coupé [بقوة 250 كيلوواط] التي تستهلك 5.7 لتر ديزل لكل 100 كيلومتر، وهو ما يعادل تقريباً 55.9 كيلوواط / ساعة لكل 100 كيلومتر).

(1) (ملاحظة المؤلف) إجراء اختبار المركبات الخفيفة الموحد عالمياً (WLTP): دورة اختبار موحدة تُجرى على أجهزة الاختبار الثابتة ضمن ظروف مخبرية محددة، وتعتمد على بيانات قيادة واقعية جُمعت تجريبياً من آسيا وأوروبا والولايات المتحدة. وقد أصبحت هذه الدورة سارية المفعول في الاتحاد الأوروبي منذ سبتمبر 2017 (رابطة صناعة السيارات الألمانية – Ver-band der Automobilindustrie e.V. 2018).

وتشهد تقنيات البطاريات حاليًا تطورًا حثيثًا بهدف معالجة تحدي مدى القيادة. وتُعد بطاريات الليثيوم أيون هي التقنية المهيمنة في قطاع السيارات، وذلك بفضل متانتها العالية، واستقرارها الممتاز في دورات الشحن المتكررة، وكثافتها الطاقية المرتفعة نسبيًا. وقد تحققت زيادات ملحوظة في الكثافة الطاقية بالتوازي مع انخفاض كبير في التكاليف؛ فبينما كان متوسط سعر الكيلوواط /ساعة حوالي 600 يورو في عام 2010، من المتوقع أن ينخفض إلى حوالي 83 يورو بحلول عام 2025.

ولا تقتصر جهود التطوير على زيادة الكثافة الطاقية وخفض التكاليف فحسب، بل تشمل أيضًا تقليص أوقات الشحن، وإطالة العمر الافتراضي للبطاريات، وتحسين الأداء في مختلف الظروف المناخية، وتعزيز الاعتمادية عامة. وتكتسب الموجبات البيئية وتأمين مصادر المواد الخام الحيوية أهمية متزايدة. وقد بدأت بالفعل برامج لإعادة استخدام البطاريات وتدويرها على نطاق محدود، وتجري حاليًا توسعات كبيرة في البنية التحتية المخصصة لهذه العمليات (بلوا، 2022).

وبالتوازي مع هذه التطورات، تجري أبحاث مكثفة على تقنيات بديلة للبطاريات التقليدية، مثل بطاريات الحالة الصلبة بالكامل (ASSB) التي يُحتمل أن توفر كثافة طاقية نوعية أعلى بكثير. وتشترك شركة بي إم دبليو أيضًا بنشاط في تطوير تكنولوجيا بطاريات الحالة الصلبة.

ونظرًا للتحديات التي ما تزال قائمة فيما يتعلق بمدى القيادة في المركبات الكهربائية البحتة، تحتفظ المركبات الهجينة بأهميتها في المشهد الحالي، فهي تمثل حلًا وسطًا تجمع بين محرك احتراق داخلي ومحرك كهربائي، مدعومين بنظامين منفصلين لتخزين الطاقة هما خزان الوقود والبطارية، مما يمنحها مرونة أكبر في التشغيل.

ويمكن تصنيف أنظمة الدفع الهجينة بناءً على درجة التهجين وآلية تدفق الطاقة داخل النظام. وقد شهدنا تطوراً لأنواع مختلفة، بدءاً من المركبات الكهربائية الهجينة المصغرة التي تُفَعِّل إستراتيجية التوقف والتشغيل التلقائي الذكية، وصولاً إلى المركبات الهجينة الكهربائية الخفيفة التي يستعين فيها محرك الاحتراق الداخلي بمساعدة المحرك الكهربائي لتحسين نقطة عمل المحرك وتقليل استهلاكه.

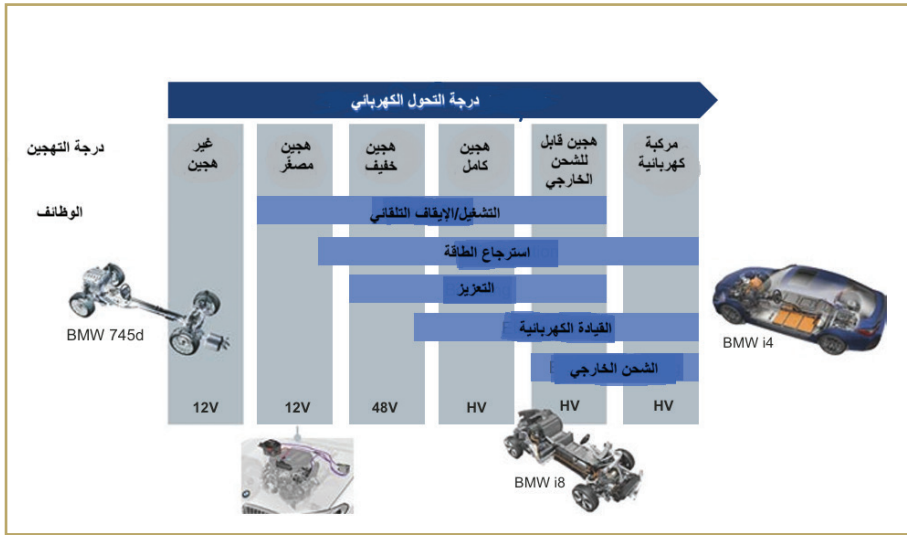
إلا أن هذه التدابير لم تعد كافية من منظور بيئي وحماية المناخ، فتحقيق هدف القيادة الخالية من الانبعاثات محلياً ولو لفترات محدودة يتطلب درجة تهجين تسمح بالتشغيل الكهربائي الكامل. وهنا تبرز المركبات الكهربائية الهجينة الكاملة التي تتيح القيادة الكهربائية لمسافات قصيرة، مع تحقيق كفاءة جيدة عبر استغلال نقل نقطة الحمل واستعادة طاقة الكبح. ومع ذلك، يظل مدى القيادة الكهربائي والأداء الكهربائي لهذه المركبات محدودين نسبياً.

ولمعالجة هذه القيود، ظهرت المركبات الهجينة القابلة للشحن الخارجي (PHEVs) التي تتميز بإمكانية إعادة شحن بطارية الدفع الخاصة بها من مصدر طاقة خارجي. ويوضح الشكل (8.3) نظرة شاملة على وظائف إستراتيجيات التهجين المختلفة.

وبغض النظر عن درجة التهجين، تتبنى هذه المركبات هياكل تصميمية متنوعة. ففي الهيكلية التسلسلية، يقتصر دور محرك الاحتراق الداخلي على توليد الطاقة الكهربائية فقط، بينما تتولى المحركات الكهربائية وحدها مهمة دفع العجلات. إذ يضمن هذا التصميم عمل محرك الاحتراق الداخلي باستمرار ضمن نطاق التشغيل الأمثل لكفاءة استهلاك الوقود. في هذه الحالة، يقتصر دور محرك الاحتراق الداخلي، الذي يعمل فقط عند الضرورة، على شحن بطارية المركبات الكهربائية الكاملة في الظروف التي تستدعي ذلك.

وفي المقابل، يعتمد النظام الهجين المتوازي على اتصال ميكانيكي مباشر وقابل للفصل بين محرك الاحتراق الداخلي والمحور الدافع، مما يسمح باستخدام أي من المحركين (الاحتراق أو الكهربائي) على نحو منفرد أو متزامن لتوفير قوة الدفع. يتيح هذا التصميم تصغير حجم المكونات بوجه عام.

وتوجد أنظمة هجينة مختلفة تجمع بين مبادئ التشغيل التسلسلي والمتوازي، وتُعرف باسم الأنظمة الهجينة مُقسَّمة القدرة. في هذه الأنظمة، يُستخدم محرك الاحتراق الداخلي في كل من توفير الدفع المباشر وشحن البطارية، مما يحقق كفاءة عالية في استهلاك الوقود عبر نطاق واسع من ظروف التشغيل.



الشكل 8.3: وظائف إستراتيجيات التهجين المختلفة (رسم توضيحي خاص مستند إلى دويلباور (2020) وتشوكي وآخرون (2019))

وعلى الرغم من أن المركبات الهجينة تمتلك القدرة المبدئية على تقليل استهلاك الوقود والانبعاثات، فإن مستقبلها على المدى المتوسط في السوق الأوروبية يبدو غير مؤكد. ويعزى ذلك إلى عدة عوامل رئيسية تشمل: التعقيد العالي في تصميم النظام، وارتفاع

تكاليف الشراء والتشغيل، وزيادة وزن المركبة، والمساحة المحدودة المتاحة لتركيب المكونات الإضافية. ولا توفر هذه المركبات تشغيلًا خاليًا من الانبعاثات كليًا.

تُظهر محركات الدفع الكهربائي في هندسة السيارات تنوعًا في التصميم ومواضع التثبيت. أما عن موضع التركيب، فقد أصبحت تكوينات جديدة كليًا ممكنة، مثل محركات العجلات (Wheel Hub Motors). ويسهل تنفيذ أنظمة الدفع الرباعي وتوجيه العزم (Torque Vectoring) نسبيًا باستخدام محركات متعددة.

ويمكن أيضًا تكثيف التكامل الوظيفي، إذ يمتد الطيف من التكامل الجزئي بين المحرك وناقل الحركة إلى الأنظمة المتكاملة بالكامل التي تشمل المحرك الكهربائي وعلبة التروس والإلكترونيات القوية. بل يمكن استكمال الوحدة الوظيفية بمكونات المحور لتشكيل محور كهربائي جاهز للتركيب. ويوضح هذا التنوع في الأنظمة المتاحة في الشكل (8.4).

ومثلما هو الحال مع محركات الاحتراق الداخلي، تُعد أنواع مختلفة من المحركات الكهربائية ذات صلة بتطبيقات السيارات. ويركز الاستخدام التجاري الحالي على المحركات الحثية (Induction Motors)، ومحركات التزامن المثارة دائمًا (Permanently Excited Synchronous Motors)، ومحركات التزامن المثارة خارجيًا (Externally Excited Synchronous Motors). وتتميز المحركات الحثية بتصميم بسيط وسهولة التصنيع. وفي تطبيقات السيارات، تُستخدم دوائر القفص السنجابي (Squirrel-Cage Rotors)، حيث يحفز المجال المغناطيسي الناتج عن الجزء الثابت مجالًا مغناطيسيًا في قضبان مدمجة من الألومنيوم أو النحاس داخل الجزء الدوار.



الشكل (8.4): نظرة عامة على الأشكال المتنوعة لتكامل الوظائف في المحركات الكهربائية (رسم توضيحي مستند إلى شركة شايفلر للتقنيات AG لعامي 2014 و2023، وشركة زد إف فريديشهايفن AG لعامي 2017 و2023)

نتيجة لذلك، يتبع الجزء الدوّار المجال المغناطيسي الدوّار في الجزء الثابت بتأخير بسيط. ومن عيوب هذا النوع من المحركات انخفاض الكفاءة وانخفاض كثافة القدرة الحجمية والوزنية.

أما محركات التزامن المثارة دائماً، والتي تُعرف أيضاً باسم محركات التزامن ذات المغناطيس الدائم، فهي توفر أعلى كفاءة وأفضل كثافة عزم وزناً، إلى جانب خصائص موثوقة من حيث الاعتمادية وكفاءة التجميع. يُعزى ذلك أساساً إلى عدم وجود ملفات إثارة في الجزء الدوّار وما يترتب عليه من تقليل الفاقد. ومع ذلك، فإن استخدام مغناطيسات دائمة من عناصر الأرض النادرة يحمل عيوباً كبيرة من حيث التكلفة، والأثر البيئي، ومخاطر سلاسل الإمداد. ويُعدّ تطوير عمليات إعادة تدوير المغناطيسات الدائمة من عناصر الأرض النادرة مهمة أساسية للمستقبل. وقد استُخدم هذا النوع من المحركات في سيارة بي إم دبليو i3.

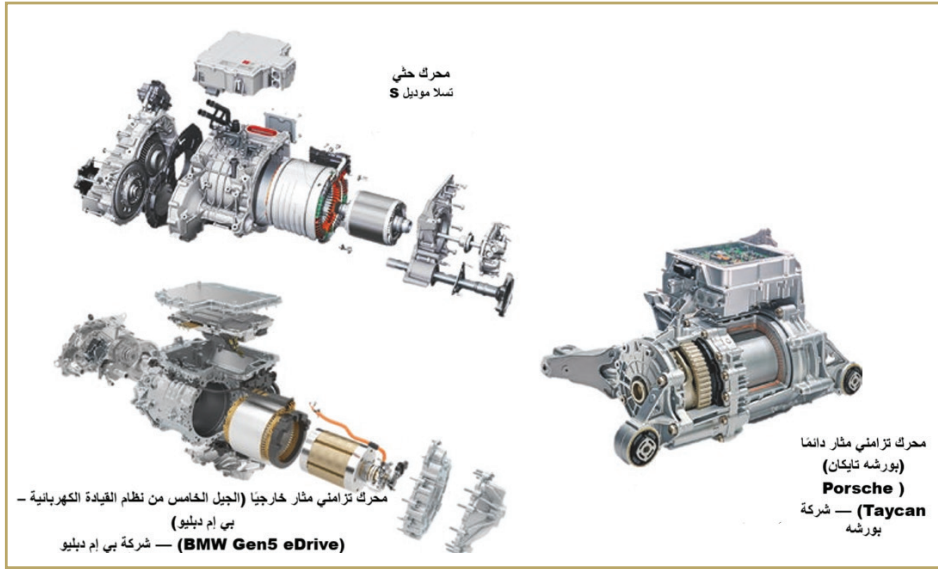
أما محركات التزامن المثارة خارجياً فتعتمد على مبدأ تشغيل مشابه، لكنها تستخدم ملفات نحاسية في الجزء الدوّار بدلاً من المغناطيسات الدائمة للإثارة. وينتج عن ذلك كفاءة أقل قليلاً ومتطلبات أكبر من حيث حجم النظام، إلا أن القدرة على تعديل المجال المغناطيسي في الجزء الدوّار تمنح أداءً تشغيلياً جيداً. ووفقاً للوضع التقني الراهن،

غالبًا ما يزود الجزء الدوّار بالطاقة عبر الحلقات المنزلقة (Slip Rings)، وهي عناصر عرضة للتآكل. ونتيجة لذلك، قد تؤثر الحلقات المنزلقة سلبًا في العمر التشغيلي والكفاءة. وفي الجيل الخامس الحالي من وحدات القيادة، تستخدم شركة بي إم دبليو نظامًا محسنًا يعتمد على الحلقات المنزلقة، حيث يُقلل التلوث بالغبار الضار من خلال تحسين العزل. وهناك بديل آخر يتمثل في الناقلات الحثّية والتي بدأت تثير اهتمامًا متزايدًا في السوق (انظر الشكل 8.5).

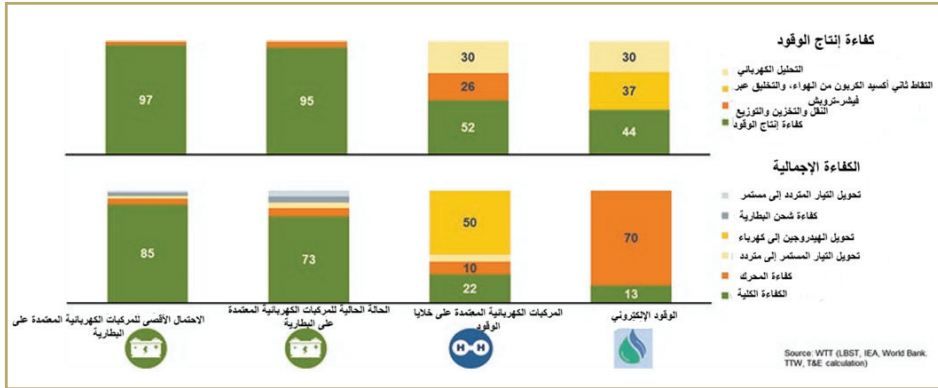
بالإضافة إلى الأنواع المذكورة، تُظهر آلة الممانعة المتبدّلة (Switched Reluctance Machine) ومحرك التدفق المحوري (Axial Flux Motor) إمكانيات كبيرة لاستخدامهما بوصفها محركات دفع. تُعدّ آلة الممانعة المتبدّلة حاليًا محورًا لنشاط بحثي متزايد بوصفها بديلًا لمحرك التزامن المثار دائمًا، إذ توفّر كفاءة عالية دون الحاجة إلى استخدام عناصر الأرض النادرة، إلا أن التحكم فيها أكثر تعقيدًا. وتحظى آلات التدفق المحوري باهتمام بحثي أيضًا لقدرتها على توفير كثافة طاقة عالية مع تقليل الأثر الحجمي على تصميم النظام. وعلى الرغم من استخدامهما للمغناطيسات الدائمة، فإن كميتهما أقل نسبيًا.

وبالإضافة إلى هذه الأنواع الجديدة من المحركات، هناك توجهات حالية نحو: زيادة جهد التشغيل (في حدود 800-1000 فولت)، رفع سرعات المحرك، وتحسين مفاهيم التبريد. ومن التحديات التقنية الأخرى: كهربة فئات المركبات المتوسطة والثقيلة.

وبديلًا عن الديزل أو البنزين أو البطاريات، يُعدّ الهيدروجين (H_2) خيارًا واعدًا نظرًا لقيمته الحرارية البالغة 33 كيلوواط-ساعة/كجم، ويمكن استخدامه بوصفه وسيطًا لتخزين الطاقة. ويمكن لاحقًا استخدام هذا الهيدروجين إما في خلايا الوقود أو حتى في محركات الاحتراق الداخلي دون انبعاثات من ثاني أكسيد الكربون.



الشكل 8.5: سلاسل نقل الحركة التسلسلية المبنية على أنواع مختلفة من المحركات الكهربائية (رسم توضيحي مستند إلى شركة أودي AG لعام 2019، وشركة الدكتور المهندس ف. بورشه AG لعام 2021، وشركة بي إم دبليو AG لعام 2020)



الشكل 8.7: كفاءة خيارات أنظمة الدفع المختلفة (المركبة الكهربائية المعتمدة على البطارية BEV، الحالة التقنية الحالية SoT، المركبة الكهربائية المعتمدة على خلايا الوقود FCEV) (رسم توضيحي خاص مستند إلى الاتحاد الأوروبي للنقل والبيئة، 2017)

وبينما يُتوقع أن يلعب احتراق الهيدروجين دورًا أكبر في تطبيقات المركبات الثقيلة والمركبات خارج الطرق، فإن المركبات الكهربائية العاملة بخلايا الوقود (FCEVs) قد تمثل تقنية تكميلية لتحقيق تنقل

فردى لمسافات طويلة خالٍ من الانبعاثات. إذ تحتوي هذه المركبات على أنظمة دفع كهربائي تقليدية، بالإضافة إلى وحدات خلايا الوقود وأنظمة التخزين. ولا تُعدُّ مسافة القيادة عائقًا كبيرًا، نظرًا لأن تعبئة الهيدروجين لا تستغرق سوى 3 إلى 4 دقائق. ومن ثم، تجمع مركبات الهيدروجين بين «أفضل ما في العالمين»: إذ توفّر جميع مزايا القيادة الكهربائية مثل: التسارع الفوري، والقيادة السلسة والهادئة، وانعدام الانبعاثات، إلى جانب راحة التزود السريع بالوقود المرتبطة بمركبات محركات الاحتراق الداخلي. وبلاشتراك مع شريكها تويوتا، تمتلك بي إم دبليو سنوات طويلة من الخبرة في تطوير مركبات خلايا الوقود، وقد أطلقت أخيرًا الجيل الثاني من أنظمة خلايا الوقود في أسطولها التجريبي BMW iX5 Hydrogen (انظر الشكل 8.6).

ويتناول البعض كفاءة سلسلة طاقة الهيدروجين بصفتها عائقًا محتملاً نظرًا لعدد خطوات التحويل المتعددة، التي تنطوي عليها العملية (كما هو موضح في الشكل 8.7)

تبدأ العملية بإنتاج الهيدروجين من الكهرباء باستخدام التحليل الكهربائي. ثم يُعدّ الهيدروجين للنقل عبر عدة خيارات، تشمل ضغطه، على سبيل المثال لضخه عبر خطوط أنابيب الغاز الطبيعي بعد تكييفها، أو تبريده ليصبح في الحالة السائلة، أو تخزينه ضمن حامل هيدروجين عضوي سائل (LOHC) وفي المرحلة الأخيرة، يُعاد تحويل الهيدروجين إلى كهرباء داخل المركبة من خلال خلايا الوقود.

ولكن لا ينبغي أن نركز فقط على الكفاءة النظرية، بل يجب أن نأخذ في الحسبان الجوانب الشاملة للنظام المقارنة في الشكل 8.7، على سبيل المثال، تقتصر على مرحلة الاستخدام فقط. ولكن عند النظر إلى دورة الحياة الكاملة للمركبة، بدءًا من استخراج المواد الخام، مرورًا بتصنيع المكونات والأنظمة، وتجميع المركبات وصولاً إلى إعادة التدوير بعد انتهاء عمرها الافتراضي،

يتضح أن الفارق في الكفاءة بين المركبات الكهربائية المعتمدة على البطاريات (BEVs) والمركبات الكهربائية المعتمدة على خلايا الوقود (FCEVs) يتقلص. إذا كان توليد الطاقة يعتمد بالكامل على مصادر متجددة، فإن خسائر التحويل لا يكون لها تأثير بيئي كبير.

ومن منظور اقتصادي شامل ولنظام الطاقة كله، من المهم أيضًا النظر في موقع إنتاج الطاقة المتجددة وتوقيته. فالعديد من الدول المتقدمة لن تتمكن من تحقيق الاكتفاء الذاتي من الطاقة الخالية من الانبعاثات، مما يعني أنها ستظل تعتمد على واردات الطاقة. وهنا يبرز دور الهيدروجين كناقل طاقة كيميائي يُنتج من مصادر متجددة، حيث يمكن أن يلعب دورًا حاسمًا في إزالة الكربون.

فعل سبيل المثال، غالبًا ما تقع أفضل المناطق لإنتاج الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح بعيدًا عن المراكز الصناعية الكبرى. في هذه الحالة، يصبح الهيدروجين وسيطًا فعالًا لنقل الطاقة، خاصة وأن خطوط نقل الكهرباء التقليدية تواجه قيودًا، خاصة في المسافات الطويلة. وبما أن إنتاج الطاقة في هذه المناطق يمكن أن يكون أعلى بكثير، فإن خسائر التحويل غالبًا ما تُعوّض بفضل محدودية إنتاج الطاقة المتجددة في المناطق الصناعية (مثل وسط أوروبا). يُضاف إلى ذلك أن إنتاج الطاقة المتجددة يعتمد على الظروف الجوية، مما يؤدي إلى فترات يتوفر فيها فائض في الإنتاج عندما يكون الطلب على الطاقة منخفضًا.

فخلال هذه الفترات، وبدلاً من إيقاف محطات الطاقة الشمسية أو الرياح، يمكن توجيه هذا الفائض نحو إنتاج الهيدروجين. هذا النهج لا يزيد فقط من الكفاءة الشاملة للنظام، بل يحقق أيضًا عوائد إضافية لمشغلي محطات الطاقة الشمسية والرياح

يمكن أن يمثل الوقود الصناعي (E-Fuels) الذي يُنتج من الكهرباء المتجددة، حلاً بديلاً لأسطول المركبات الحالي المزود بمحركات الاحتراق الداخلي. ويُصنع هذا النوع من الوقود، المعروف باسم الوقود الإلكتروني، عبر تفاعل الهيدروجين الناتج عن التحليل الكهربائي مع ثاني أكسيد الكربون المُستخلص من الهواء أو من مصادر الانبعاثات.

ومع ذلك، فإن احتراق الوقود الإلكتروني في محركات الاحتراق الداخلي التقليدية لا يرقى إلى الكفاءة التقنية العالية لأنظمة الدفع الكهربائي؛ إذ يفقد كمية كبيرة من الطاقة أثناء التشغيل، مما يرفع تكلفة توفيره (انظر الشكل 8.7). ورغم الأهمية المتزايدة للوقود الإلكتروني في قطاع الطيران بوصفه خياراً لخفض الانبعاثات، فإن استخدامه في مركبات الطرق يُرجَّح أن يظل محدوداً، ويقتصر على تطبيقات متخصصة كرياضات المحركات أو المركبات الكلاسيكية، كما هو الحال في اعتماد بطولة الفورمولا 1 لهذا الوقود في سياراتها الهجينة ابتداءً من عام 2026 (بارتو، 2022).

تسم الخصائص التقنية والقدرات المحتملة لهذه الأنظمة بدرجة عالية من التعقيد، ما يجعل فهمها وتقييمها أمراً صعباً، كما أن تعدد العوامل المؤثرة في الأداء والتكاليف، إلى جانب الاعتبارات البيئية، يحدّ من إمكانية إجراء مقارنة موضوعية بين خيارات أنظمة الدفع المختلفة، حتى بالنسبة إلى الخبراء (ويغليت، 2022).

نتيجة لذلك، وعلى الرغم من السيطرة الواضحة لأنظمة الدفع الكهربائي، ما يزال المستهلكون التقليديون يشعرون بالتردد حيال التحول المطلوب في التوجه، ويستمترون في التمسك بمركباتهم ذات محركات الاحتراق الداخلي. يتضح ذلك من أعداد تسجيلات

السيارات، وحقيقة أن الحكومات ما زالت مضطرة لتحديد أهداف لتسجيل المركبات الكهربائية (رابطة مصنعي السيارات الأوروبيين، 2022؛ وزارة البيئة وحماية الطبيعة والسلامة النووية وحماية المستهلك الألمانية، 2021؛ وزارة الاقتصاد وحماية المناخ الألمانية، 2023). لذا، فإن أحد أبرز التحديات هو رفع مستوى قبول العملاء من خلال إثبات موثوقية هذه التقنيات الجديدة.

لا بد من النظر إلى مفهوم التنقل الشامل فهو لا يشمل المركبة ونظام الدفع فحسب، بل يمتد ليشمل البنية التحتية ونظام الطاقة القائم، والذين يختلفان بدرجة كبيرة من دولة إلى أخرى. لهذه الجوانب تأثير كبير في الكفاءة الكلية والبصمة البيئية لمفاهيم الدفع المختلفة. فعلى سبيل المثال، في حالة التنقل الكهربائي تشمل التحديات التقنية تغييرات في كيمياء خلايا البطاريات وبنية الشحن وإغلاق دورات المواد للمواد الخام المستخدمة في البطاريات. أما للهيدروجين والوقود الاصطناعي، فتشمل التحديات إنتاج الهيدروجين الأخضر ونقله بكفاءة بيئية. لسوء الحظ، تُلقِي هذه التحديات بضغط كبير على شركات صناعة السيارات التقليدية لإدارة الشكوك المرتبطة بالتقنيات الناشئة، بينما تستغل الشركات الجديدة هذه الفرصة للتركيز على التقنيات المبتكرة.

بعد هذا العرض الموجز والمقارنة بين أنظمة الدفع البديلة، ستتناول الحوارات التالية بين خبراء من الأوساط البحثية والعملية التحديات الحالية والفرص المستقبلية لأنظمة الدفع، بالإضافة إلى إمكانات الهيدروجين في قطاع السيارات.

8.3 حوار خبراء حول مستقبل التنقل

ما تاريخ المركبات الكهربائية في شركة بي إم دبليو وأين تقفون اليوم؟

فرانكه: يشرفني ويسعدني كثيرًا أن أتحدث معكم عن مستقبل التنقل. أرى أن مستقبل التنقل، وخصوصًا التنقل في قطاع السيارات، يُختصر في أربعة أحرف: م، ذ، ت، م

وهي تعني: (Connected متصلة،) Autonomous ذاتية القيادة)، (Shared تشاركية)، وأنا شخصيًا أعيد تعريفها لتكون Sustainable (مستدامة)، وبالطبع Electric (كهربائية). كان هذا هو الشعار عندما قررت شركة بي إم دبليو قبل عشر سنوات أن تصمّم وتنتج سيارة كهربائية بالكامل، وهي بي إم دبليو i3. وأنا أقود سيارة i3 كذلك. زيبيسه: حقًا؟ آمل أن تكون قيادتها ممتعة.

فرانكه: إنها ما تزال سيارة ممتازة، رغم أن عمرها يقارب العشر سنوات. فلقد صُمّمت خصيصًا لتكون كهربائية، على الرغم من أنها بدأت بوجود مُوسّع مدى صغير لتقليل القلق من نفاد البطارية. ولكن هذا الموسّع ألغي لاحقًا، وتغيّرت إستراتيجية بي إم دبليو قليلًا. ومن خلال ما أراه من الخارج، تبدو إستراتيجية بي إم دبليو الحالية أنها تسعى إلى تقديم جميع خيارات أنظمة الدفع في كل فئة من فئات السيارات. ومع ذلك، فإن السيارات الكهربائية المصمّمة من الأساس لهذا الغرض قد تتفوّق على نماذج بي إم دبليو من حيث تكامل المكونات، وتصميم الأسلاك الكهربائية، وتخطيط حبرات السيارة، وربما أيضًا من حيث الكفاءة والتكلفة. فكيف ستتغلب بي إم دبليو على هذه العوائق المحتملة؟

زيبسه: شكرًا جزيلاً على هذا السؤال الإستراتيجي بالفعل. ما أطلقت عليه CASE، نطلق عليه نحن في بي إم دبليو ACES، لكنه يعني الشيء نفسه (Autonomous: ذاتية القيادة)، (Connected (متصلة)، (Electric (كهربائية)، (Shared (تشاركية). وفيما يتعلق بالسيارات الكهربائية، وهو محور حديثنا هنا، إذ لم نُغيّر إستراتيجيتنا، بل طوّرها نحو المستقبل. ولقد أنشأنا أول سيارة كهربائية في عام 2008، وكانت نسخة كهربائية بالكامل من ميني (Mini) والتي لم تكن متاحة للجمهور، لكنها كانت موجودة.

وكان هناك أيضًا نسخة كهربائية من الفئة الثانية (2-Series)، كما تعلم. لقد جربنا ذلك، ثم اتخذنا القرار: فلنعمل على بناء سيارة كهربائية. وقتها، أطلقنا عليها اسم مركبة المدينة الكبرى (Megacity Vehicle)، والتي تطورت لاحقًا لتصبح i3. وقلنا أيضًا إن هذا المشروع سيكون حقل تجارب لتصميم هيكل السيارة، نظرًا للحاجة لتقليل الوزن من أجل زيادة مدى القيادة. وتحولت i3 إلى سيارة مصنوعة من الكربون بسبب تلك القيود الخاصة بالوزن. وهي حتى يومنا هذا السيارة الكربونية الوحيدة التي تُنتج بكميات كبيرة في العالم. ولا توجد أي شركة تصنيع أخرى أنتجت سيارة بهذه المواصفات.

فرانكه: ماذا حدث منذ ذلك الحين؟

زيبسه: في ذلك الوقت، كنا نعمل على الجيل الثالث من تقنية بطارياتنا، أما الآن فقد وصلنا إلى الجيل الخامس. كنا نعلم حينها، وفي صناعة السيارات يجب أن ننظر بعيدًا نحو المستقبل، أن التنقل الكهربائي قادم لا محالة. ولكن حتى ذلك الحين، لم يكن هناك إلزام بمركبات كهربائية، ولا بنية تحتية كافية، ولا حتى التزام من العملاء بشرائها. ولكن لأننا رأينا أن هذا سيتحقق بفضل تشريعات تنظيم انبعاثات الكربون التي بدأت في الولايات

المتحدة، ثم في أوروبا، ولاحقًا في الصين، اتخذنا خطوة جريئة ومبكرة جدًا.

لقد غيّرنا إستراتيجيتنا في ذلك الوقت، وليس بعد ذلك كما يعتقد البعض، وهذه فكرة خاطئة. ولقد تعاملنا مع التغيير القادم بجدية تامة. ثم انتظرنا لمدة عام ونصف تقريبًا، حتى عام 2014، لنرى كيف تسير الأمور مع سيارة i3 لاحظنا أن المنافسين بدأوا يظهرين ويخططون لمركبات كهربائية. فقلنا: «حسنًا، لنعامل مع الأمر بجدية الآن!» وبعد تجربة i3، اتخذنا خطوة حاسمة بتوجيه جهودنا نحو كهربة منصاتنا الرئيسية. لم تكن هذه سيارات تقليدية حُوّلت لاحقًا، بل بُنيت على منصات مرنة. وقد استغرق هذا من أربع إلى خمس سنوات، بينما ظنّ العالم الخارجي أننا توقفنا عن العمل في مجال المركبات الكهربائية، وهو أمر غير صحيح على الإطلاق.

كنا نعدّ أنفسنا للحظة التي سينطلق فيها التنقل الكهربائي فعليًا، وهذه اللحظة هي الآن. إذ كانت iX3 أول سيارة كهربائية بالكامل بعد i3، تلتها iX سيارة ثانية. وقد أُجري اختبار أخيرًا في مجلة «أوتو موتور سبورت» (Auto Motor Sport)، حيث قُورنت ست سيارات كهربائية بالكامل صُممت جميعها خصيصًا لهذا الغرض. بالإضافة إلى iX3، كانت هناك سيارات من شركات ألمانية ويابانية وغيرها. وقد جاءت iX3، المبنية على منصة مرنة وليست مخصصة، في المركز الأول بفارق كبير. إنها أفضل نظام متكامل، والناس يشترونها بالفعل.

فرانكه: إذن، ما الفائدة من العمل بمنصات مرنة؟

زيبسه: لا يشتري الناس مفاهيم مثل «ACES» أو «CASE»، بل يشترون سيارات متكاملة. فالعميل لا يقتني مكونًا منفردًا، مهما بلغت جودته، بل يختار نظامًا متكاملًا يجمع بين الأداء والتجربة والاعتمادية.

ومن هنا، يشيع تصوّر غير دقيق مفاده أن التفوق في عنصر واحد، كالبطارية مثلاً، كفيل وحده بحسم قرار الشراء. وحتى النسخة الأولى من i3 المزوّدة بموسّع مدى لم تكن تلبي، في حينها، توقعات العملاء من حيث المسافة المقطوعة. فالسيارة تُقيّم بوصفها كلّاً متكاملًا، لا كمجموعة أجزاء منفصلة.

كما أن من غير الدقيق الاعتقاد بأن تطوير السيارات الكهربائية لا يمكن أن يتم إلا عبر منصات مخصصة حصريًا لها. فنحن نمر حاليًا بمرحلة انتقالية تمتد حتى عام 2030، يُتوقع أن يشهد خلالها التنقل الكهربائي نموًا واسع النطاق. وفي شركة بحجم شركتنا، تُطوّر المنصات الجديدة، ولا سيما من حيث البنية الرقمية، على دورات تمتد لنحو عشر سنوات. وقد توصّلنا إلى قناة مفادها أن حجم الطلب المتوقع بحلول عام 2025 سيكون كافيًا لتبرير تطوير منصة كهربائية مخصصة بالكامل، إلى جانب تحديث نظام الدفع الكهربائي والبنية الرقمية في آن واحد.

وفي تلك المرحلة، سيجري استبدال المنصة الحالية بمنصة جديدة. ولا يعني ذلك أن المنصات الكهربائية المخصصة أفضل جوهرًا من غيرها، بل إن المنطق الكامن وراء تبنيها يختلف تبعًا لمرحلة السوق. فنحن اليوم في مرحلة توسّع كبير؛ وبحلول نهاية عام 2023، نكون قد أطلقنا 12 طرازًا كهربائيًا بالكامل. كما ستُطرح الفئة السابعة الجديدة بأربعة خيارات مختلفة لأنظمة الدفع، وينطبق المبدأ نفسه على iX3 التي حققت نتائج متميزة في مختلف الاختبارات.

إننا نستعد لتوسّع سريع مدفوع بطلب واضح في السوق، وهو ما يفسّر القرار المتخذ. وقد مثّل هذا القرار تحولًا في الاستراتيجية، لا تغييرًا في الاتجاه العام.

فرانكه: وليس فقط الاختبارات التقنية هي التي تثبت صحة مفهومكم، بل النجاح المالي أيضاً؛ فهو يؤكد أن إستراتيجيتكم صائبة. كم عدد السيارات التي يجب أن تبيعوها سنوياً لتبرروا إنشاء منصة مخصصة لمركبة واحدة؟

زيبسه: نحن نبني من 6 إلى 8 سيارات على منصة واحدة، لإنتاج حجم يقارب مليون مركبة. ولكن بالطبع، لا يرى العميل أنها منصة واحدة. وكما تعلم، تأتي السيارات المبنية على منصة واحدة بأشكال مختلفة تماماً. فلا يتوقع أحد أن الفئة الرابعة المكشوفة (4-Series Convertible) وX5 مبنيتان على نفس المنصة، لكنهما كذلك بالفعل.

ما إستراتيجية نظام الدفع الكهربائي؟

فرانكه: دعنا نلقي نظرة أقرب على نظام الدفع الكهربائي. وبصفتي مهندس إنتاج، فإنني مُعجب بالطريقة التي تصمم بها شركة بي إم دبليو وتُنتج، لا محركات الاحتراق فحسب، بل المحركات الكهربائية أيضاً. ولكن بصفتي مهندساً يركز على إنتاج المحركات الكهربائية، أعلم أيضاً أن نظام الدفع لا يتكون فقط من محرك كهربائي، بل يشتمل أيضاً على البطاريات والإلكترونيات القدرة، وبالطبع يُدمج هذا كله ضمن شبكة شحن. فكيف ستميّز بي إم دبليو نفسها في المستقبل ضمن هذه المكونات الأخرى من نظام الدفع؟

لامب: ما ذكرته دقيق تماماً. ليست المكونات الفردية هي ما يصنع الفارق، بل النظام الكامل للدفع هو ما يُميز الأداء. وهنا تكمن خبرتنا. كما أشار السيد زيبسه، في الجيل الخامس من تقنياتنا، حاولنا تحسين النظام برمته، بدءاً من المحرك الكهربائي، إلى وحدة الشحن، إلى حزمة البطارية. وكما قلت، فإن المحرك الكهربائي (E-Motor) ليس فقط من بين الأكثر كفاءة، بل لقد ضاعفنا كثافة القدرة فيه مقارنة بين محرك i3 والمحرك المستخدم حالياً في iX.

والأهم من ذلك، أن محرك iX هو من نوع المحركات المتزامنة المثارة كهربائيًا، وهي خالية من المعادن الأرضية النادرة، وهذه نقطة محورية في جانب الاستدامة، ونحن فخورون بذلك. لقد خطونا خطوة إضافية، حيث دمجنا المحرك وعلبة التروس وإلكترونيات القدرة في وحدة واحدة، مما يقلل التكلفة ويجعل النظام أكثر دمجًا وملاءمة للتطبيق على منصات متعددة، سواء متعددة الأغراض أو مخصصة.

فرانكه: وكيف توائمون هذا الدمج مع تنوع منتجاتكم؟

لامب: المفتاح هو أن مجموعة المكونات هذه صُممت لتكون قابلة للتوسع عبر مختلف الطرازات. إذ نستطيع أن نبدأ من قدرة تبلغ 90 كيلوواط ونصل حتى ما يقارب 400 كيلوواط باستخدام نفس مفهوم المحرك الكهربائي. وينطبق الأمر على المكونات الأخرى. أما البطارية، فهي الأعلى تكلفة ضمن نظام الدفع؛ إذ تمثل حوالي 80% من التكلفة الإجمالية. وهنا أيضًا، نعتمد على وحدة بنائية موحدة. نصمم الخلايا على نحو يسمح لنا ببناء وحدات قياسية يمكن تركيبها في حزم بطاريات مختلفة.

فرانكه: حتى خلايا البطارية نفسها؟

لامب: نعم، نحن نحدد مواصفات الخلايا بأنفسنا. ولم نحاول قط أن نشترى خلايا جاهزة من السوق. وحتى عندما أنتجنا i3، وكانت واحدة من أوائل السيارات الكهربائية ذات البطاريات كبيرة السعة، كانت شركة سامسونغ هي من تنتج آنذاك، وقد أُتيحت لنا الفرصة لتطوير خبراتنا لتكون على قدم المساواة مع الشركات المصنعة للخلايا. لقد عملنا معًا لإيجاد أفضل حل لتصميم وحدتنا المعيارية للبطارية. ولدينا أحجام وحدات مختلفة، لكن طريقة البناء الأساسية موحدة. ويمكننا استخدام نفس المعدات لإنتاج أعداد مختلفة من الخلايا.



فرانكه: من خلال خبرتي المهنية في قطاع الأعمال والصناعة، تعلمت أن الأمر كله يتعلق بالقدرات الجوهرية. فالأمر لا يتعلق فقط بتصميم المنتج أو الوحدة أو الأجزاء، بل أيضاً بإنتاجها والتقنيات والأدوات المستخدمة في الإنتاج. إذ يصمم بعض المنافسين وينتجون خلايا بطارياتهم، ويستخدمون على سبيل المثال إلكترونيات القدرة القائمة على كربيد السيليكون. فما الوحدات التي ستعمل بي إم دبليو على إنتاجها مستقبلاً لتعدها قدرة محورية وتتميز عن منافسيها؟

زيبسه: ينبغي لك أن تبني قدرة محورية إذا كنت تتوقع أن تكون في موقع احتكار أو احتكار القلة في السوق. حينها، سيعتمد العملاء عليك لأنهم لا يملكون خيارات أخرى. وقد يكون ذلك خياراً أيضاً إذا كان من شأنه تمييزك عن منافسيك، أو إذا كانت سرعة تطويرك أسرع بكثير من بقية السوق. إذا كانت الإجابة «نعم» عن هذه الأسئلة، يمكنك حينها بناء البطاريات من البداية بنفسك. لكن ليس هذا هو الحال حالياً. البطارية هي تكنولوجيا تتطور بسرعة كبيرة.

فرانكه: هل يمكنك أن توضح أكثر ما تعنيه هذه الجوانب المختلفة فيما يخص البطارية؟

زيبسه: أولاً، لا يوجد احتكار في السوق، ولا حتى احتكار قلة. هناك العديد من المنافسين: أوروبيون، كوريون، يابانيون، وصينيون. إنها شبكة صناعية عالمية ضخمة آخذة في التشكل. وحالياً، لدينا أربعة موردين رئيسيين للبطاريات. فنحن لا نعتمد على أي طرف، وليس هناك حاجة لأن نبني البطاريات بأنفسنا، لأن طلبنا مغطى بصورة ممتازة من خلال هؤلاء الأربعة. ولا بد من وجود عقود سليمة؛ فهذه مسألة مهارة تفاوضية.

زيبسه: الجانب الثاني هو سرعة التطوير. أنت تُسرّع التطوير عندما يكون لديك أكثر من مورّد واحد. ففي عام 2019، أنشأنا مركز البحث والتطوير الخاص بنا هنا، حيث طورنا قدراتنا التقنية الذاتية. فهناك أكثر من 2000 متغيّر في خلية البطارية، والجمع المناسب بينها هو ما يحدد أداء الخلية. والآن يأتي الجزء المثير: ماذا يحدث مع خلايا الليثيوم-أيون؟ أولاً، تبدأ بتحسين أداء الكاثود عبر زيادة محتواه. فتزيد من نسبة النيكل (Ni)، والمنغنيز، وسائر مكونات الكاثود. ولكن عندما تزيد من كثافة الطاقة في الكاثود، تحتاج أيضاً إلى تغيير في الأنود، فتتحول من الغرافيت إلى مزيج من السيليكون والغرافيت أو ما شابه ذلك. بمجرد أن يحدث هذا، تأتي الخطوة الثالثة وهي تحسين أداء الإلكتروليت، ثم الخطوة الرابعة، والتي قد ننفذها خلال هذا العقد، وهي التحول من إلكتروليت سائل إلى إلكتروليت صلب.

فرانكه: وهذا التسارع في التطوير يتطلب مرونة من جانب الموردين.

زيبسه: تماماً. هذه سلسلة تطوير سريعة تبدأ من الكاثود، ثم الأنود، ثم الإلكتروليت. وقد يحدث أن تحتاج إلى موردين جدد في أي مرحلة من المراحل. ومع ذلك، نحن حذرون جداً في عدم استثمار وقت طويل في تقنية واحدة. فما قد يكون الأحدث في 2021، ويُنصح باستخدامه حينها، قد يُصبح غير كافٍ في 2026.

هناك فرق كبير بين الإلكتروليت السائل والإلكتروليت الصلب. لماذا نستثمر؟ لأن هناك العديد من المنافسين الأكفاء جداً. فنحن نبني شراكات، وهذا هو نموذج أعمالنا. ومن الأفضل أن نستفيد من السوق المفتوحة بدلاً من الاستثمار في تطوير تقنيات محددة بأنفسنا.

نحن نستثمر في الحالات التي يكون فيها لدينا مهمة دمج، حيث تتلاقى جميع التقنيات داخل السيارة. ونسمي هذا HEAT، وهو

اختصار ألماني لـ Hochintegrierte Elektrische AntriebsTechnik (أي: تقنية الدفع الكهربائي عالية الدمج)، وهي تشمل نظام الدفع الكهربائي الكامل والنقطة النهائية للكتش.

فرانكه: أرى أن الحجج المتعلقة بالبطارية تشبه إلى حد كبير ما حصل في سوق أشباه الموصلات قبل 30 عامًا. في أوروبا، كنا نعتقد أننا بحاجة لبناء قدراتنا الإنتاجية الخاصة في أشباه الموصلات. واليوم، لا أحد يتحدث عن ذلك. بل إننا الآن نعيش في احتكار قلة مع عدد قليل من مُصنّعي المعالجات حول العالم. فمثلاً، شركة TSMC – تايوان لصناعة أشباه الموصلات تصنّع 80% من المعالجات العالمية. ومع ذلك، نحن بخير مع هذا الوضع. فلماذا قررتم تصميم المحرك الكهربائي بأنفسكم، لكن لم تتجهوا لإنتاج إلكترونيات القدرة، رغم أهميتها الكبيرة في الكفاءة والأداء الديناميكي، وأنها مدمجة في المحرك؟

زيبسه: دعونا ننظر إلى محركات الاحتراق الداخلي في شركتنا. فعلى الرغم من أن اسم الشركة هو «مصانع محركات بافاريا»، فإننا لا ننتج داخلياً سوى نحو 5% من مكونات هذه المحركات، في حين يُصنّع ما يقارب 95% منها عبر شبكة الموردين. فنحن لا ننتج المكابس أو الشواحن التوربينية أو غيرها من المكونات الرئيسية، إذ توجد سوق متطورة ومتخصصة لهذه الأجزاء. وننظر إلى دورنا في هذا السياق بوصفنا مُدمجي أنظمة، ونؤمن أننا ما زلنا نطوّر محركات عالية الأداء، رغم أن القيمة المضافة الداخلية محدودة نسبياً. ومن ثمّ، فإن الافتراض القائل بأن التصنيع الداخلي بحد ذاته يضمن تفوقاً تقنياً يُعد افتراضاً غير دقيق، إذ تُظهر تجربتنا واقعاً مختلفاً.

وتتبلور القدرات الجوهرية للشركات على نحو أوضح في السياقات التي تتسم بندرة المنافسة أو بهيكل احتكار القلة. ويمكن الاستشهاد بورش تشكيل الصفائح المعدنية مثلاً على ذلك؛ فبناء هذه الورش

عملية معقدة وتتطلب استثمارات رأسمالية كبيرة، إذ تصل تكلفة الورشة الواحدة إلى نحو 100 مليون يورو، ولا تمتلك القدرة على إنشائها سوى شركات قليلة في السوق. ورغم أن هذه التقنية ليست بالغة التعقيد من الناحية التكنولوجية، فإنها تمثل مجاًلاً استراتيجياً قائماً على احتكار قلة، وتعتمد عليه عمليات الإنتاج اعتماداً كبيراً. وفي مثل هذه الحالات، يصبح الاستثمار الداخلي خياراً منطقيّاً.

وفي المقابل، يراقب قسم المشتريات باستمرار تطورات السوق. فإذا لم يكن بالإمكان تحقيق وتيرة تطوير أسرع من خلال التصنيع الداخلي، أو إذا لم تتسم السوق بندرة واضحة في المعروض، فإن خيار الشراء من الموردين يُعد أكثر كفاءة من التصنيع الذاتي.

فرانكه: ومتى ستطرحون أول وحدة إلكترونيات قدرة تعمل بكربيد السيليكون في السوق؟ فقد أثبت المنافسون أنها توفر ما يصل إلى 20٪ من الطاقة.

زيبسه: عمليات الإطلاق دائماً مرتبطة بإدخال منصات جديدة. فنحن نعمل ضمن دورة تطوير تستغرق 7 سنوات، ولذا سيكون هناك دائماً مصنع يبدأ قبل الآخر. وسندمج هذه التقنية في منصتنا القادمة. فمن الطبيعي أن يبدأ أحد المنافسين قبلنا، لأن منصته ستكون جديدة. أنا لا أشعر بالقلق من ذلك.

كيف يبدو مستقبل التنقل؟

فرانكه: فهمت. دعنا ننتقل إلى موضوعنا التالي: «مستقبل التنقل»، أو ما تسمونه أنتم ACES. فالمنافسة محتدمة للغاية في مجال تقنيات القيادة الذاتية، والتي تعتمد على أجهزة استشعار متطورة مثل الكاميرات المجسمة والرادار والليدار (LiDAR) وأجهزة الاستشعار فوق الصوتية. ففي قسمنا، نستخدم وحدات تحكم قوية من شركات مثل نفيديا وموبايلي، ونستخدم

وحدات معالجة الرسومات (GPUs) أو وحدات المعالجة العصبية (NPU) لتشغيل برمجيات تعتمد على الذكاء الاصطناعي، جرى تدريبها على ملايين الأميال من البيانات والبنية التحتية الضخمة.

يتفوق المنافسون الرئيسيون مثل جوجل ووايمو وأبل، وحتى تسلا في الولايات المتحدة أو هواوي في الصين، في العديد من هذه التقنيات الأساسية: المستشعرات، والذكاء الاصطناعي، والبنية التحتية للبيانات، وغيرها. فكيف ستحافظ بي إم دبليو على ريادتها التكنولوجية في هذا المجال على المدى الطويل؟

زيبسه: أود أن أضيف الاتصال الشبكي إلى هذه القائمة. فنحن نطمح لأن نكون رواد التكنولوجيا، ليس فقط في أنظمة الدفع الكهربائية، بل أيضاً في القيادة المساعدة. وسيحقق ذلك على مراحل. ولكن، بالإضافة إلى التكنولوجيا، هناك عاملان مهمان يجب أخذهما في الاعتبار في هذه المعادلة. فالأمر لا يقتصر على توافر التكنولوجيا أو الكفاءة أو القدرة التقنية. في هذه النقاط، نحن في وضع ممتاز بالفعل: لدينا سيارات بمستوى قيادة ذاتية من المستوى الخامس (Level 5) تعمل حالياً في مراكز الاختبار الخاصة بنا.

هناك عاملان آخران حاسمان: أولاً، ماذا سيفعل المشرعون؟ هل يسمحون ببيع سيارات ذات قدرات قيادة ذاتية؟ وما المتطلبات المحددة في ألمانيا؟ على سبيل المثال، يمكنك الحصول على المستوى الثالث (Level 3)، ولكن فقط حتى سرعة 60 كم/ساعة. ثانياً، عليك أن تسأل نفسك، وهذه هي الخطوة الأخيرة في المعادلة، هل هذا مجد تجارياً؟ بين المستوى الثاني والثالث، هناك فرق سعر يتجاوز 10,000 يورو، وهو مبلغ كبير حتى بالنسبة لعملاء الفئة الممتازة. عليك التأكد من تحقق جميع هذه العوامل الثلاثة: الكفاءة التقنية، والتشريعات، ونموذج الأعمال المربح.

فرانكه: إذن، أنت لست خائفًا من جوجل أو آبل؟

زيبسه: الشركات التي ذكرتها لا تصنع سيارات؛ إنها تصنع التكنولوجيا. وفي قطاع السيارات، هي لا تحقق أي أرباح. إذن، السؤال هو: متى يُقدم صانع السيارات على باستثمارات محددة دون النظر إلى هامش المساهمة؟ الأمر بسيط للغاية: فعندما نطرح سيارة في السوق، يجب أن يكون سعر التكلفة أقل من السعر الذي يضمن تحقيق هامش مساهمة إيجابي. ولا واحدة من هذه الشركات تفكر في هوامش المساهمة.

ما الذي سيحدث، على الأقل في السنوات العشر القادمة؟ سنكون في طليعة القيادة المساعدة التي تصل إلى المستوى 2+ مع إشراف السائق في ألمانيا، وهي بالمناسبة قيادة دون استخدام اليدين. إذ يعتقد الناس أن القيادة دون استخدام اليدين تعني المستوى الثالث فقط، لكن هذا غير صحيح. وفي المستوى 2+، حيث يُراقب السائق للتأكد من انتباهه للطريق، وفي حال عدم انتباهه، تطلب السيارة منه استعادة التحكم.

أما المستوى الثالث هو قيادة دون استخدام اليدين بالكامل، لكنه مقيد بشدة في جميع أنحاء العالم. ولتقديم المستوى الثالث، تحتاج إلى الرادار، والليدار، وأجهزة استشعار بصرية مثل الكاميرا؛ نحن متأكدون تمامًا من ذلك. لا يمكنك الوصول إلى المستوى الثالث باستخدام الكاميرات فقط. ولكن مستشعر الليدار في السيارة باهظ الثمن للغاية.

فرانكه: حسنًا، جهاز آيفون 12 الجديد من آبل مزود بالفعل بليدار، ورخيص جدًا. أعلم ذلك.

زيبسه: هذه مسألة تطور تكنولوجي. فنحن نراقب الأمر عن كثب لنعرف متى يمكننا رؤية نموذج أعمال ناجح. ونذكر تمامًا أن هناك سابقًا آخر يجري، لكنه يحدث في جزء مختلف من صناعتنا. هذا السباق هو سباق المستوى الخامس.



وهذا أمر مختلف تمامًا، لكنه سيبدأ في قطاع النقل، وليس في صناعة سيارات الركاب العادية. إذ سنرى شاحنات بمستوى 5 بسرعة كبيرة، ربما في الصين والولايات المتحدة. ولكن هذه الشاحنات ستسير فقط على الطرق السريعة. لن تدخل المدن، ولن تدخل اختناقات المرور العادية، ولن تضطر إلى الالتفاف؛ فلا يوجد سائقون بداخلها؛ إنها تتحرك فقط من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) مثل القطار. سترى ذلك قريباً جداً.

أما في بقية الصناعة، فسنرى حافلات صغيرة تنقل الأشخاص بسرعات منخفضة، وما إلى ذلك. وقد تنقل الروبوتات كسي الركاب عبر المدن، لكن هذا أيضاً سيكون سؤالاً عن نموذج الأعمال: فهل الاستثمار في التكنولوجيا سيعمل على نطاق واسع؟

فرانكه: وماذا يعني هذا بالنسبة لـ بي إم دبليو؟

زيبسه: السؤال هو: هل ستشارك بي إم دبليو في هذا السباق؟ نحن لا نمنع حافلات نقل الركاب اليوم، لكنها قطاع سوقي مهم. نحن ندرس عن كثب في أي مرحلة يمكن أن تسهم الحافلات في نموذج أعمالنا. ولكن، مرة أخرى، هذا ليس سؤالاً عن الكفاءة التقنية في المقام الأول، لأن في هذا المجال، الجميع يحتاجون إلى شركاء. فلا أحد يستطيع القيام بذلك بمفرده. وهل لديك نموذج أعمال يمكنك من خلاله إقناع العملاء بدفع سعر معين مقابل كفاءة معينة في السيارة؟ ستري سيارات بي إم دبليو بالمستوى الثالث في الشوارع بمجرد أن يُسمح لنا بذلك.

ما هو دور الاتصال الشبكي؟

فرانكه: يجب أن أ طرح سؤالاً أخيراً على الأقل. تحدثنا عن التنقل الكهربائي والقيادة الذاتية، لكنني أعتقد أن الاتصال الشبكي مع العميل ومع البنية التحتية مهم جداً أيضاً. فالسيارات الحديثة متصلة

بالفعل بالإنترنت من خلال تقنيات الاتصالات المتنقلة، لتوفير المكالمات والاجتماعات عبر الإنترنت، والخرائط المحدثه بمعلومات الازدحام لحظةً بلحظة، والموسيقى، والفيديو، وخدمات الترفيه، ومنتفليكس. كل شيء متاح داخل السيارة.

وبالمثل، فإن الاتصال المستمر بين السيارات الكهربائية وشبكة الطاقة الذكية مهم جداً. وتقنيات الشحن الحثي الديناميكي، أي شحن السيارة أثناء قيادتها، توفر مدى قيادة غير محدود. إذ يدعم الاتصال الشبكي القيادة الذاتية والقيادة القافلة، ويعمل على استقرار شبكة الكهرباء، ويوفر خدمات جديدة للتنقل الفردي مثل تحصيل الرسوم دون محطات دفع، والملاحة، والاتصال بالإنترنت عالي السرعة، وما إلى ذلك. هذه التقنية نادراً ما تُناقش، فكلنا نتحدث عن البطاريات والهيدروجين، لكن لا أحد يتحدث عن الشحن الحثي أثناء حركة السيارة. كيف يمكن لـ بي إم دبليو الاستفادة من هذه التقنية الواعدة؟

زيبسه: يشير الحرف الثاني في اختصار ACES إلى الاتصال الشبكي (Connected)، وهو عنصر محوري في هذا السياق. فطراز iX، على سبيل المثال، يُعد من أوائل السيارات الإنتاجية المزودة بالكامل بتقنية 5G. وتكتسب هذه التقنية أهمية خاصة عند العودة إلى مسألة القيادة الذاتية؛ إذ إن الاتصال الشبكي الحقيقي عبر 5G يتيح نقل جزء كبير من ذكاء القيادة الذاتية إلى خارج المركبة، وهو ما يوفر كلفة أقل على المدى المتوسط مقارنة بتحميل جميع مكوّنات الذكاء الاصطناعي والمستشعرات داخل السيارة نفسها. فكلما زاد الاعتماد على المعالجة الداخلية، ارتفعت كلفة المركبة بصورة ملحوظة.

تتبنى الصين نهجاً مختلفاً، حيث تستثمر على نحو مكثف في البنية التحتية والاتصال الشبكي مقارنة بأوروبا أو الولايات المتحدة. ويتركز السؤال الرئيس هناك على زمن الاستجابة (Latency) داخل السيارة،

بوصفه العامل الحاسم في تحديد إمكانية تطبيق القيادة الذاتية بالاعتماد على البنية التحتية المحيطة. إذ إن فروقاً زمنية لا تتجاوز بضع ميلي ثانية قد تكون ذات أثر بالغ. ورغم تعدد المسارات التقنية الممكنة، فإن العامل المشترك بينها جميعاً يظل الاتصال الشبكي.

فرانكه: أشرتُ سابقاً إلى الاتصال بالمعلومات، غير أن النقاش يمكن توسيعه ليشمل الاتصال بالطاقة. فالسؤال المطروح هو: لماذا لا تُشحن السيارة أثناء سيرها بسرعات عالية، كـ 200 كم/ساعة على الطرق السريعة؟ ولماذا لا يُستفاد على نطاق أوسع من تقنية الشحن الحثي (IPT)، رغم أن التكنولوجيا متاحة بالفعل، ولدينا مسارات اختبار موزعة في أنحاء مختلفة من العالم؟

فقبل أكثر من عشر سنوات، جرى تشغيل حافلة تعتمد على شحن حثي بقدرة 60 كيلوواط عند سرعة 60 كم/ساعة، وتقنيًا يمكن رفع هذه القيم إلى 200 كيلوواط وسرعات تصل إلى 200 كم/ساعة دون عوائق جوهرية. وعليه، لا تبدو المسألة تقنية بقدر ما هي مسألة قرار، قد يكون قراراً سياسياً، أو قراراً استراتيجياً من شركة تصنيع كبرى. إذ يمكن، على سبيل المثال، تصور سيناريو تعرض فيه شركة سيارات على دولة أو مدينة مثل دبي لتوريد مليون سيارة كهربائية، إلى جانب تطوير بنية تحتية داعمة للشحن الحثي. وهنا يبرز التساؤل حول ما إذا كان هذا التوجه يمكن أن يشكل نموذج أعمال جديداً لشركة مثل بي إم دبليو.

زيبسه: سؤال جيد. ولكن يبدو أننا ندور في حلقة مفرغة.

فرانكه: إذا نظرت إليها على أنها عمل مشروع، وهو شيء جديد تماماً لـ بي إم دبليو، فلن تكون هناك مشكلة. وسيكون مشروعاً متكاملًا. فنحن نرغب التقنية في دبي في جميع أنحاء المدينة، ونبيع فقط سيارات بي إم دبليو المتوافقة مع هذا المشروع.

زيبسه: لن نفعل أي شيء لا يمكننا توسيعه. نحن شركة ذات حضور عالمي. ولدينا 140 سوقًا. والطريقة الوحيدة لتكون فعالاً في هذه الصناعة هي التوسع.

فرانكه: حسنًا، يمكنك فعل ذلك في دبي، ويمكنك فعل ذلك في لندن، ويمكنك فعل ذلك في شنغهاي، ثم توسع في أماكن أخرى.

زيبسه: إذا رأينا إمكانية التوسع، فسنمضي بها. ولكن في الوقت الحالي، الأمر لا يتعلق بالتوسع فقط؛ بل هناك أمر آخر. فعلى الطريق السريع A5⁽¹⁾ بين دارمشتات وفرانكفورت، هناك مقطع طوله 10 كم لتقنية شحن الشاحنات عبر خطوط كهرباء علوية. فأنا أقود هناك أحيانًا، ونحن نراقبه عن كثب، لأنه حل ممتاز للشاحنات.

فرانكه: لكن ليس لسيارات الركاب؟

زيبسه: حتى في حالة الشاحنات، لم يشهد هذا الحل توسعًا فعليًا في أوروبا أو في ألمانيا حتى الآن. لذا، ندرجه حاليًا ضمن نطاق البحث والتطوير، ونراقب تطوراتهِ دون الالتزام باستثمارات واسعة النطاق. ولا نرى في الوقت الراهن جدوى لأن تستثمر بي إم دبليو منفردة لتوسيع هذا الحل.

وما قد يسبق ذلك، ولا سيما في الصين، هو إنشاء مدن خضراء بالكامل من الصفر، قائمة على حلول متكاملة للبنية التحتية والطاقة والتنقل. وفي مثل هذه السيناريوهات، يمكن أن نطرح أنفسنا شريكًا تقنيًا. غير أن عدد المدن الكبرى التي تُبنى من الصفر يظل محدودًا.

فرانكه: شكرًا جزيلاً لك، سيد زيبسه والسيد لامب، على مشاركتكما هذه الرؤى القيّمة. لقد كان من دواعي سروري أن أناقش هذه التقنيات والإستراتيجيات الجديدة في بي إم دبليو. شكرًا جزيلاً لكما على هذه المناقشة.

(1) A5 هو الطريق السريع الألماني رقم 5 الذي يربط بين عدة مدن، منها دارمشتات وفرانكفورت. (المترجم)

8.4 حوار الخبراء حول الهيدروجين بصفته وقود المستقبل

ما أهمية إستراتيجية الهيدروجين؟

فاسر شايد: أشعر بسعادة كبيرة لوجودي هنا ومناقشة موضوع الهيدروجين بصفته وقود مستقبلي. ويبدو لي أن مجال الهيدروجين يشهد ديناميكية عظيمة في الوقت الحالي. فقد أدرك العديد من العلماء والشركات وحتى الساسة أن نظام الطاقة الحالي تمامًا من الكربون الذي نطمح إليه بحلول عام 2045 لن ينجح إلا بوجود ناقلات طاقة قابلة للتخزين.

أصبح تطوير استراتيجيات للهيدروجين أولوية على مختلف المستويات؛ فهناك إستراتيجية للهيدروجين في بافاريا، وإستراتيجية ألمانية للهيدروجين، وإستراتيجية أوروبية للهيدروجين.

سؤالي الأول هو: ماذا عن إستراتيجية بي إم دبليو للهيدروجين؟

زيبسه: عملت في الشركة لثلاثين عامًا، والآن، لم يتبقَّ أماننا سوى أقل من ثلاثة عقود حتى عام 2050 لنصل إلى الحياد الصفري. وهذا ليس وقتًا طويلًا، فرغم طول المدة الظاهري، هي في الواقع قصيرة. وبحلول ذلك الوقت، علينا أن نكون محايدين كربونيًا على الأقل، ويفضل أن نكون خاليين تمامًا من الانبعاثات. إذ ما زلنا نعتقد أن أحد المسارات الرئيسة لتحقيق ذلك — كما ناقشنا سابقًا — هو التنقل الكهربائي. وهذا هو الطريق الأساسي. فالبنية التحتية للشحن قيد الإنشاء الآن، وهناك طلب قوي من المستهلكين على السيارات الكهربائية. فهذه التقنية تنتشر بسرعة كبيرة، ونحن نرى ذلك بوضوح.

السؤال الوحيد هو: ماذا لو كان عليك أن تكون خاليًا تمامًا من الانبعاثات في مرحلة ما؟ قد يكون التنقل الكهربائي الحل الأمثل في بعض الحالات فقط. وإذا لم يتوفر لك وصول إلى بنية تحتية للشحن، أو إذا لم يتوفر لك وصول إلى الطاقة المتجددة، فأنت بحاجة إلى شكل من أشكال تخزين الطاقة.

فاسرشايد: إذن، هل تتفق معي على أن تخزين الطاقة موضوع مهم؟

زيبسه: نؤمن بأن الهيدروجين هو أفضل حل لقطاعات سوق السيارات، ولا أقصد بذلك سيارات الركاب فقط، بل تحديدًا الحافلات والشاحنات، وقطاع النقل البحري، والطيران، وما إلى ذلك. لذلك، ستتسع تطبيقات الهيدروجين كثيرًا عما نراه اليوم في التنقل الكهربائي.

وبالنظر إلى عام 2050، نرى أن الهيدروجين سيكون عنصرًا أساسيًا في مزيج أنظمة الدفع لدى بي إم دبليو، ونحن لا نتحدث إلا عن بي إم دبليو التي تبلغ حصتها السوقية العالمية 3.4%، خاصة أن هناك دولًا متقدمة جدًا في مجال الهيدروجين الآن، مثل كوريا الجنوبية (هيونداي) واليابان (تويوتا) اللتين تدفعان هذه التقنية قدمًا منذ ما يقارب عقدًا من الزمان في الإنتاج التسلسلي.

بي إم دبليو شركة عالمية، ونرى ذلك جزءًا مهمًا من إستراتيجيتنا لعلامتنا التجارية الفاخرة.

فاسرشايد: في ألمانيا، غالبًا ما يُطرح عليّ هذا السؤال: من أين سيأتي الهيدروجين الأخضر؟ فالناس يقولون إننا نحتاج إلى 2.5 ضعف كمية الكهرباء الحالية لإنتاجه، لكنني أرى الأمر من زاوية مختلفة. وجهة نظري أن ألمانيا اليوم مستورد للطاقة، وجميع التحليلات تظهر أن هذا سيظل صحيحًا بالنسبة لأنظمة الطاقة المستقبلية. فاليوم، 80% من طاقتنا تأتي من دول أخرى، وسيكون الوضع مشابهًا في المستقبل.

وستكون الطريقة الغالبة لاستيراد الطاقة عبر الهيدروجين، سواء في صورة مشتقاته، أو الهيدروجين المرتبط كيميائياً، أو الأمونيا، أو مركبات حاملات الهيدروجين العضوية السائلة (LOHC)، فضلاً عن وسائط أخرى محتملة.

فالفكرة هي أنه إذا أخذنا الهيدروجين وسيلة لنقل الطاقة إلى ألمانيا، فإن نقاش الكفاءة يصبح مختلفاً تماماً، لأنه لا معنى لتحويل الهيدروجين إلى كهرباء لشحن بطارية سيارتك. والأفضل استخدام هذا الهيدروجين فوراً ومباشرة في التنقل، وبالطبع لدى القطاعات التي تواجه فيها البطاريات مشكلات (مثل الشاحنات). فهل تظن أن لدينا كهرباء كافية في ألمانيا؟ لأن الأمر لا يتعلق بألمانيا وحدها، أليس كذلك؟ فتغير المناخ مشكلة عالمية. وهناك أماكن أخرى يمكن فيها توليد الطاقة المتجددة بسهولة وكفاءة أكبر بكثير من ألمانيا.

زيبسه: صحيح. نحن نتبنى منظوراً عالمياً للهيدروجين، وهو أمر بالغ الأهمية، ولا سيما أن نحو 8% فقط من إيراداتنا العالمية تتحقق في ألمانيا. لذلك، لا يمكننا حصر رؤيتنا في النقاش الألماني حول الهيدروجين، بل ينبغي النظر إلى الصورة العالمية الأشمل. وعند اعتماد هذا المنظور، تتضح حالات كثيرة لا يتوافر فيها الوصول إلى التنقل الكهربائي القائم على البطاريات. ومن وجهة نظرنا، فإن الخيار الوحيد للتنقل الخالي من الانبعاثات في سيارات الركاب الخاصة، إلى جانب السيارات الكهربائية بالبطاريات، يتمثل في السيارات الكهربائية العاملة بخلايا الوقود (FCEVs) المعتمدة على الهيدروجين. فستظل هناك مناطق عديدة لا تتوافر فيها بنية تحتية للشحن أو حتى إمدادات كهرباء مستقرة. وفي مثل هذه السياقات، يشكّل الهيدروجين مكملاً منطقياً لإستراتيجيتنا الشاملة.

وهذا لا يعني بأي حال من الأحوال أننا مترددون. على العكس، نحن ماضون بحزم، لأننا لا نعدّ الهيدروجين خيارًا انتقاليًا أو ثانويًا. فنحن ننتج قرابة ثلاثة ملايين سيارة سنويًا، ولدينا القدرة على دعم ثلاثة أو أربعة أنظمة دفع مختلفة، ولا سيما أن فلسفتنا تقوم على مفهوم الهياكل لا المنصات.

ما ميزتها، وكيف ستبدو سيارة الهيدروجين؟

فاسرشايد: إنه تغيير تكنولوجي جذري أن ننتقل من الوقود الأحفوري إلى التقنيات المتجددة. فإذا كنت ستبني أول سيارة هيدروجين من بي إم دبليو، فما نوع السيارة، وما نوع العميل الذي تستهدفه؟ غولدنر: لقد أكملنا للتو تطوير الجيل الثاني من تقنية خلايا الوقود لدينا، ودمجناه في طراز X5، وهو أحد طرازاتنا الأكثر مبيعًا. وهناك أسطول تجريبي صغير من سيارات BMW iX5 Hydrogen يُستخدم حاليًا في جميع أنحاء العالم لأغراض الاختبار والعرض، وقد حقق نجاحًا كبيرًا. بعد ذلك، سننتقل إلى الخطوات التطويرية التالية، وستكون سيارات العملاء جاهزة عندما تستعد الأسواق لذلك. فالدول تتحرك بسرعات مختلفة، وسنرى متى يحين الوقت المناسب، ربما قبل نهاية هذا العقد.

فاسرشايد: أنا أقود سيارة هيدروجين بنفسني، كسيارة خاصة، من طراز هيونداي نيكسو، وأنا حقًا في انتظار سيارة بي إم دبليو. لا تنسوني! فأنا أول عميل لكم!

غولدنر: سنتواصل معك قريبًا لتجربة قيادة [يضحك].

فاسرشايد: من واقع تجربتي، تُعد هذه وسيلة قيادة ممتازة، ولا سيما في الرحلات الطويلة. فحتى مع محدودية عدد محطات التزود

باليهيدروجين، يظل ذلك كافياً عند القيادة لمسافات طويلة؛ إذ تمر عادة بمحطة تعبئة كل نحو خمسين كيلومتراً، وهو معدل أكثر من مناسب. دعنا ننتقل الآن إلى أفق أبعد، إلى عام 2045، حين يُفترض أن تكون ألمانيا قد حققت هدف الحياد الصفري للانبعاثات، وفقاً لقوانين المناخ الجديدة. فما النسبة المتوقعة بين السيارات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات والسيارات الكهربائية التي تعمل بالهيدروجين حينها؟ إحساسي أن البطاريات تتقدم بسرعة اليوم بفضل وفورات الحجم والإنتاج الضخم.

أما في مجال الهيدروجين، فالوضع مختلف حتى الآن. فعلى سبيل المثال، إذا أردت الحصول على خلية وقود رخيصة اليوم، فأفضل حل هو شراء سيارة نيكسو أو ميراي، ثم إزالة خلية الوقود واستخدامها فقط، والتخلص من الباقي. والسبب هو أن إنتاج خلايا الوقود لم يبلغ بعد مرحلة التصنيع واسع النطاق.

فكيف ترى الصورة بحلول عام 2045؟ دعنا نفترض أن التكنولوجيا حينها بلغت مرحلة السوق الواسع لجميع التقنيات، وأصبح هناك سوق راسخ لكلتا التقنيتين.

زيبسه: السؤال الجوهرى هو: ما العامل أو المتغيّر الذي نراهن عليه؟ هل سينفر الناس فعلاً من أوقات الشحن الطويلة في التنقل الكهربائي؟ فحتى في أفضل السيناريوهات، سيظل الشحن أطول من التزوّد بالوقود التقليدي. وقد لا يرغب كثيرون في الانتظار عشر دقائق في الظلام حتى تُشحن السيارة؛ إذ يفضل المستخدمون التزوّد بالطاقة بسرعة ثم الانطلاق. ومع ذلك، لا يمكن الجزم بسلوك المستهلك.

من وجهة نظري، يتمثّل العامل المحرّك الرئيس للهيدروجين في البيئات التي تُفرض فيها قيادة خالية من الانبعاثات، من دون توافر بنية تحتية

كافية لمحطات الشحن. فالمسألة هنا لا تتعلق بالمدى، ولا حتى بالتكلفة في المقام الأول. فعلى سبيل المثال، إذا أمكن تثبيت سعر الكيلوغرام الواحد من الهيدروجين عند نحو خمسة يورو، فسيصبح خيارًا تنافسيًا.

ويتعزز هذا السيناريو مع اتجاه العديد من الدول إلى سنّ تشريعات تحظر انبعاثات غازات الدفيئة من السيارات بحلول عام 2040، ليس في جميع الدول، ولكن في عدد كبير منها. وهنا يبرز السؤال الحاسم: ماذا سيحدث إذا لم يكن بالإمكان شحن هذا العدد الهائل من السيارات الكهربائية؟ فالتحدي الحقيقي لا يكمن في توفر السيارات الكهربائية العاملة بالبطاريات، بل في جاهزية وانتشار البنية التحتية لمحطات الشحن.

فاسرشاید: ما المثال الذي تفكر فيه؟

زيبسه: ماذا ستفعل في المناطق الريفية؟ ففي المناطق المكتظة بالسكان، مثل معظم أنحاء ألمانيا، يمكنك توفير نقاط شحن كافية. وعند بناء منازل جديدة، يمكنك إدخال مرافق الشحن. ويمكنك فعل ذلك في المدن أو في الريف. ولكن في بيئة طبيعية جميلة وغير ملوثة، حيث الطبيعة هي السائدة، لا تستطيع تدمير كل الطرق وبناء بنية تحتية ضخمة للشحن. ستحصل حينها على مشكلة سياسية كبيرة.

ماذا ستفعل في تلك الحالة؟ ولكن تذكر، بحلول عام 2040، نريد أن نقود بدون انبعاثات. إذن، إما أن نتوقف عن قيادة السيارات إلى تلك الأماكن، وهذا خيار، أو نعتمد على سيارة هيدروجين.

فاسرشاید: لكن الأمر نفسه ينطبق على مدينة ميونيخ، أليس كذلك؟ إذا أمضيت نصف ساعة كل مساء في البحث عن مكان لركن السيارة، فسيكون من الصعب جدًا في المستقبل العثور على موقف مزود بمحطة شحن. هذا قد يكون سيناريو مشابهاً.

زيبسه: نعم، أعتقد أن هذا هو العامل الأهم: عدم توفر عدد كافٍ من نقاط الشحن. ولا أقصد هنا فقط مشكلة بطء بناء البنية التحتية اللازمة، فهذه معضلة قائمة بحد ذاتها. ولكن حتى في المجتمعات التي تتطور فيها شبكات الشحن بسرعة، توجد ببساطة أماكن يصبح فيها تركيب محطات الشحن مكلفًا للغاية، أو يصعب الوصول إليها، أو لا نرغب في ذلك. الأمر أشبه بمحاولة تركيب محطة شحن عامة لمنزل وحيد في عمق غابة الغابة السوداء. وهذا غير واقعي.

غولڈنر: هناك أيضًا عامل اقتصادي: تظهر الدراسات أن وجود بنية تحتية مزدوجة، تشمل محطات وقود الهيدروجين ومحطات الشحن الكهربائي، هو في الواقع أرخص من الاعتماد على الكهرباء وحدها. ويعود السبب في ذلك إلى أن بناء بنية الشحن الكهربائي له تكلفة غير خطية؛ فكلما زاد عدد المحطات، ارتفعت التكلفة.

أما محطات وقود الهيدروجين، فهي تكلف دائمًا نفس الشيء. ومن الناحية العملية، فإن محطات وقود الهيدروجين موجودة بالفعل، ويمكن دمجها بسهولة مع محطات الوقود التقليدية. ولا تحتاج إلى مناقشة من يملك الأرض، أو من يديرها، وما إلى ذلك. فكل هذه الأمور قائمة مسبقًا. وهذا يجعل من السهل جدًا نشرها.

زيبسه: هذه نقطة جيدة. من الأسهل نشر محطات وقود الهيدروجين على مستوى البلاد.

غولڈنر: وهناك تآزر أيضًا مع المركبات التجارية، وخصوصًا الشاحنات، حيث علينا بالفعل نشر شبكة محطات وقود الهيدروجين.

ما الإستراتيجية التكنولوجية وراء الهيدروجين؟

فاسرشايد: دعني أعمق قليلًا في الإستراتيجية التكنولوجية. يعد الهيدروجين تقنية جديدة تمامًا؛ إنها تقنية ثورية. فما سلسلة

القيمة الخاصة به؟ ومن سيشترك فيها، وبأي نوع من الخدمات، وبأي نوع من المنتجات؟ أعتقد أن هذا أيضًا قرار استراتيجي لـ بي إم دبليو. ومتى وأين نشكّل تحالفات مع مصنّعي المعدات الأصلية الآخرين لتقنية خلايا الوقود — أعلم بشأن تعاونكم مع تويوتا — أو هل سنعتمد على الموردين التقليديين مثل بوش وشافلر وغيرهم، الذين لحسن الحظ ينشطون أيضًا في مجال الهيدروجين؟

أرى أنه من المشجع جدًا أن الشركات الألمانية بدأت تدرك أن هذا النوع من الأعمال يتناسب جدًا مع خبراتهم الحالية، وهو يختلف ربما عن مجال تصنيع البطاريات. فما قرار بي إم دبليو الإستراتيجي لتحقيق ميزة تنافسية فريدة في سباق الهيدروجين، وامتلاك محفظة منتجات خاصة ضمن نظام الدفع المستقبلي هذا؟

زيبسه: لقد تطرقنا إلى هذه النقطة سابقًا في سياق البطاريات. وأعتقد أن الكفاءة الداخلية الشاملة في كل المجالات أمر مبالغ فيه. فإن أهم ما نحتاجه هو كفاءة تكامل الأنظمة. وبعد ذلك، عليك امتلاك قدرة عالية جدًا على التعاون. فإذا كان لديك شركاء أقوياء، ونحن بالفعل لدينا شركاء نتعاون معهم منذ سنوات طويلة، فلست بحاجة لامتلاك كل الكفاءات داخليًا إلا إذا كانت لديك تقنية فريدة للغاية، وهو ليس الحال هنا.

أنا متأكد أنه مع كل هذه المحركات التي تدفع نحو الهيدروجين، سيكون هناك سوق مزدهر للموردين. ولن يكون هناك مورد وحيد لخلايا الوقود. فالنقطة المهمة هي أن إمكانيات التكامل بسيطة نسبيًا، لأننا نمتلك بالفعل نظام دفع كهربائي. فسيارة الهيدروجين هي في الأساس سيارة كهربائية.

لقد صممنا هياكل سياراتنا بحيث يوجد قدر كبير من التآزر بين سيارات البطاريات الكهربائية والسيارات الكهربائية بخلايا الوقود. وهذا

أمر حاسم لإستراتيجيتنا الكهربائية. ولدينا علاقة طويلة الأمد مع تويوتا ونحن سعداء جدًا بها. وعندما نقرر إنتاج نموذج تجاري، علينا اختيار المورد أو الشريك الأفضل. وبالنسبة لقرار «الصنع أم الشراء»، فليس صحيحًا دائمًا أن التصنيع الداخلي هو الخيار الأمثل. قد يكون صحيحًا أحيانًا، ولكن في معظم الأوقات ليس كذلك، لأنك تفقد الكثير من المرونة.

فاسر شايد: هذا النقاش يزداد عمقًا إذا فكرت في سلسلة القيمة الكاملة للهيدروجين، بدءًا من إنتاج الهيدروجين الأخضر، إلى الخدمات اللوجستية للهيدروجين، وخلايا الوقود كإحدى وسائل استخدام الهيدروجين، وصولًا إلى جانب التصنيع واسع النطاق والتصعيد الصناعي. فأحيانًا يسألني الناس: «أوه، الهيدروجين موجود منذ 100 عام! لماذا لم ينتشر بعد؟»، المشكلة الرئيسية هي أن سلسلة القيمة هذه معقدة نسبيًا؛ فعليك أن تجد الموردين والشركاء، وهذا ليس سهلًا في البداية. فعلى سبيل المثال، توجد تقنيات مختلفة لتخزين الهيدروجين على متن المركبة: مضغوط، ومضغوط بالتبريد، ووسائل، وغيرها. ومن المهم جدًا أن يكون «الرواد»، مثل تويوتا وهيونداي، قادرين ومستعدين لتغطية أجزاء من سلسلة القيمة هذه بأنفسهم. وإلا فلن تبدأ التكنولوجيا في الانتشار.

زيبسه: هل ترى أن هذا التغيير بدأ يحدث بالفعل؟

فاسر شايد: أنا مقتنع بأننا سنبنى هذه السلسلة القيمة الآن. ونرى ذلك في مركز الهيدروجين البافاري. إذ توجد شركات تعمل في مجال التحليل الكهربائي، مثل سيمنز إنرجي، وشركات تعمل في أنواع مختلفة من لوجستيات الهيدروجين، مثل Hydrogenious LOHC Technologies، وشركات تعمل في خلايا الوقود أو مكونات خلايا الوقود، مثل بوش وشافلر. وعندما تجتمع كل هذه العناصر معًا، ستعمل السلسلة بكفاءة. فما مدى استعدادكم في بي إم دبليو للمساهمة بدوركم في بناء هذه السلاسل القيمة؟ هل الأمر يقتصر فقط على القول: «عليّ شراء هذا

وذاك، ثم أجهّز السيارة؟ أم أنكم تقولون: «أنا أوّمن بهذه التقنية، وأرغب بأن أكون جزءاً من هذا التمكين مثل هيونداي أو تويوتا؟» لقد شاهدنا سيارات تويوتا في الأولمبياد، لديهم مهمة حقيقية تجاه الهيدروجين. فهل الأمر نفسه ينطبق على بي إم دبليو؟

غولدنر: بالطبع. لقد ذكرنا بالفعل سلسلة القيمة، ونحن نعمل عن كثب مع تويوتا. ونتعاون أيضاً مع عدد من الموردين في مجال المكونات، ثم ندمج نحن النظام بأنفسنا.

انظر إلى نظام خلايا الوقود نفسه، نحن ننفذ التكامل الداخلي بأنفسنا، لأن هذه هي كفاءتنا الأساسية. وبالنسبة لنظام الخزان (تخزين الوقود)، نحن نشترى أوعية التخزين وما إلى ذلك، لكننا نتولى تكامل النظام. ونعمل بجد لإدماج ذلك في هياكل سياراتنا الكهربائية في المستقبل. وهنا تبرز كفاءتنا الخاصة: أخذ المكونات وتجميعها في نظام متكامل، ثم امتلاك نظام دفع يعكس تجربة القيادة الخاصة بـ بي إم دبليو، تلك القيادة الديناميكية التي يمكنك تجربتها عندما تعود لزيارتنا مرة أخرى لتجربة القيادة [يضحك].

فاسرشايد: أطلع لذلك فعلاً. وأنا أفهم أنكم تحتاجون إلى شركاء لتنفيذ هذا التكامل. فأين تحتاجون شركاء آخرين أيضاً؟

غولدنر: نعتمد على جهات أخرى لبناء البنية التحتية. ولقد قامت مبادرة H2 Mobility بعمل رائع في ألمانيا، حيث أنشأت أول 100 محطة وقود هيدروجين. وبالطبع، نحتاج إلى شبكة أوروبية متكاملة، ونرى ذلك يتحقق من خلال المبادرات الأوروبية. ونأمل أنه خلال السنوات الخمس إلى العشر القادمة، ستتوفر محطات وقود تباع الهيدروجين الأخضر بأسعار مناسبة لكل من سيارات الركاب والمركبات التجارية، لأنه في النهاية، هو نفس الجزيء، بخلاف الديزل الذي يختلف في



الشاحنات عنه في سيارات الركاب. وهذا شيء مثير للغاية، وأنا واثق من أنه ليست هناك حاجة لأن نستثمر نحن في بنية تحتية لمحطات وقود الهيدروجين، لأنها في طور التحقق بالفعل.

ما تأثير تقنية الهيدروجين على أهداف المناخ؟

فاسر شايد: عندما نتحدث عن إزالة الكربون، والمنتجات الخضراء، والبصمة الكربونية المنخفضة، يجب أيضًا أن نأخذ في الحسبان عملية إنتاج السيارات. ففي سبارتانبرغ، أعتقد أنكم كنتم أول شركة تظهر أن التنقل بالهيدروجين قد يكون مفيدًا جدًا في تقليل البصمة الكربونية للإنتاج من خلال استخدام الرافعات الشوكية التي تعمل بالهيدروجين. فإلى أي مستوى تستطيعون توسيع تلك التجربة؟ وإلى أي مستوى تظن أن المنافسين والشركات الأخرى التي تنقل البضائع من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) سيتبنون هذه التقنية؟

زيبسه: إن بناء سيارة متطورة للغاية، ومبتكرة، وعالية الأداء، ليس شيئًا تستطيع أي شركة فعله بمفردها. ولهذا السبب لدينا شركاء تعاون أقوىاء. فنحن في حالة تآزر دائم مع الجهات التنظيمية، ومع صناع القرار السياسيين، ومع اللاعبين الآخرين في الصناعة، ومع الموردين، ومع شركات الهندسة الخارجية. إنه دائمًا جهد مشترك. ومن الضروري أن نوضح أن هذا جزء من إستراتيجيتنا للمستقبل، وأننا لا نتعامل مع موردين مختلفين كل عام.

هذا هو الوقت الذي تبذل فيه البيئة التنظيمية والسياسية جهدًا كبيرًا، ومشروع «المصلحة الأوروبية المشتركة الهامة» (IPCEI) الأخير هو مجرد مثال واحد على ذلك. فلم يحدث من قبل أن أطلق مشروع IPCEI بهذا الحجم بمليارات. وهذه هي المرة الأولى التي تفعل فيها أوروبا هذا. فالولايات المتحدة، والصين، وكوريا تفعل نفس الشيء في الوقت نفسه. ولذا، هذه فرصة فريدة.

أنا لا أقول أن هذا شيء سينتشر بسرعة في جميع قطاعات صناعة السيارات مثل التنقل الكهربائي. ولكنه سيجد مكانه في قطاع السيارات الفاخرة العليا، حيث يوجد المشترون الأوائل. فلقد عملنا على هذا الموضوع لأكثر من 20 عامًا. ونعلم أنه موضوع صعب، فعندما يكون أمامك خياران فقط، إما ضغط 700 بار أو درجة حرارة 250- مئوية، يكون الأمر مختلفًا [يضحك].

فاسرشايد: ولهذا السبب يحاول الناس ابتكار حلول تقنية أخرى.

زيبسه: نحن نعلم ذلك. ولكننا ما زلنا نعتقد أنه خلال 25 عامًا من البحث والتطوير في الهيدروجين، لم يكن هناك وقت أفضل من الآن.

فاسرشايد: بالتأكيد. ولهذا السبب قلت في مداخلتي الأولى إن هذه أوقات ديناميكية: السياسيون مقتنعون، وأعتقد أنهم على حق، وأن هذا مسار مهم يمضي بنا إلى الأمام. إنه عنصر أساسي في نظام طاقة مستقبلي خالٍ من الكربون.

زيبسه: بي إم دبليو ملتزمة جدًا بتقنية الهيدروجين. وبالطبع هناك من يقول: «ينقصكم التركيز» أو «عليكم التركيز فقط على تقنية واحدة لتكونوا منتجين وفعالين». فنحن لا نعتقد أن هذا هو الطريق الصحيح. فالتأزر ليس في أنظمة الدفع؛ بل في الهياكل. واختيار نظام الدفع مرهون باحتياجات العملاء. والخطر الأكبر من التركيز على تقنية أو تقنيتين فقط هو أنك قد تجد نفسك في سيناريو انكماش، لأن سلوك العملاء مختلف من مكان لآخر حول العالم. ونحن نؤمن بشدة أنه إذا أردت أن تنمو في هذه الصناعة، فعليك تحقيق ذلك من خلال آليات السوق وانفتاح التكنولوجيا. فإذا لم يتوفر عدد كافٍ من العملاء لتقنية معينة بعد فترة من الزمن، فسوف تتوقف.

ولكن، نرى أن الديزل لم يمت، بل بعيد جدًا عن ذلك. ففي أوروبا وحدها، ما يزال واحد من كل خمسة عملاء يشتري سيارة

ديزل. إنه سوق مزدهر. ومحرك البنزين ما يزال موجودًا، وكذلك الهجين: نحن أكبر مُنتج عالميًا للهجينة بين جميع مصنعي المعدات الأصلية. فهذا قطاع مزدهر بالنسبة لنا، رغم كل النقاشات العامة.

وقد شهدت السيارات الكهربائية البحتة نموًا مطردًا في السنوات الأخيرة أيضًا. إذن، جميع أنظمة الدفع الأربعة مربحة للغاية. ويبقى السؤال: هل سيكون الهيدروجين هو نظام الدفع الخامس، أم ستكون هناك تقنية أخرى؟ لا يهم، طالما أنك فكرت في ذلك وأدرجته ضمن الهياكل. فهذا ما فعلناه، وما زلنا نفعله. وحتى الآن، كانت هذه الإستراتيجية صحيحة تمامًا، لأننا نعلم أنه إذا لم تنم شركة بحجمنا، فستواجه مشكلات؛ لذلك علينا أن ننمو، والوسيلة لذلك هي انفتاح التكنولوجيا.

ما الموارد المحدودة في قطاع الهيدروجين؟

فاسر شايد: القرار يعود للعميل. أعتقد أن كثيرين ينسون أن السيارة التي تقطع 700 كيلومتر وتستغرق 20 دقيقة على الأقل للشحن هي منتج مختلف تمامًا عن السيارة التي تحتاج بضع دقائق فقط للتزود بالوقود. فهناك عملاء يقدرّون هذا الفرق ومستعدون لدفع تكلفة أعلى مقابله. ولكن دعنا نفترض للحظة أن سوق الهيدروجين سينمو، خصوصًا في قطاع النقل الثقيل. فما رأيك بشأن القيود المتعلقة بالموارد؟ وهل ترى، مقارنة بالتقنيات الأخرى، حدودًا مرتبطة بالموارد؟

غولدنر: حسنًا، توجد نقطتان في هذا السياق. أولاً، وكما ناقشنا سابقًا، مسألة الكفاءة. نريد أن ننظر إلى سلسلة القيمة بالكامل من منظور الموارد أو المواد الخام: بدءًا من تصنيع السيارة وإنتاج جميع المكونات وتجميعها، إلى مرحلة الاستخدام، وأخيرًا إلى إعادة التدوير. فالمادة الرئيسية المستخدمة في خلايا الوقود هي البلاتين، والبلاتين يتمتع بالفعل بمعدل إعادة تدوير عالٍ جدًا. وفي السنوات القادمة،

سيعود الكثير من المحفّزات من جميع المركبات الأخرى. ولهذا، يعمل قطاع إعادة تدوير البلاتين على نحو جيد جدًا حاليًا. وهذا سيساعد على المدى الطويل في تقليل كمية المواد الخام المطلوبة. أما البطارية، فالقصة مختلفة. نحن نبذل جهدًا كبيرًا لجعل طريقة استخدامنا للمواد الخام أكثر استدامة. ولكن قطاع إعادة تدوير البطاريات يتطلب المزيد من الجهد، وما يزال في بدايته.

زيبسه: جميع الموارد محدودة دائمًا، وصناعة السيارات من أكثر الصناعات استهلاكًا للموارد. فهناك سؤالان: أولاً، عندما تندر الموارد، هل تصبح أكثر تكلفة؟ وثانيًا، متى تصبح ندرة الموارد حجة اقتصادية حاسمة للبقاء؟ ولهذا السبب حددنا مبدأ «المواد الثانوية أولاً» كأحد الركائز الأساسية، على الأقل للعشر سنوات القادمة. فالبشرية تستخرج حوالي 100 تريليون طن من الخامات والموارد من كوكب الأرض. ثم تسأل الناس: «إلى متى سيستمر ذلك؟» شيء واحد مؤكد: معظم الموارد محدودة. وتستطيع استخدامها لفترة، لكنها ستصبح أغلى. فالبلاديوم، والروديوم... وحتى الفولان، كلها أصبحت أغلى. ولذلك من المنطقي اقتصاديًا إعطاء الأولوية للمواد الثانوية، على الأقل كركيزة أساسية لاستراتيجيتك. أعتقد أن هذا قرار حكيم.

فاسرشايد: نعم، من المفيد أن البلاتين ثمين جدًا، وقد طوّر الناس بالفعل عمليات لتنقيته وإعادة تدويره. بالإضافة إلى ذلك، فإن الكميات المستخدمة في خلايا الوقود ووحدات إطلاق الهيدروجين صغيرة نسبيًا. وهذا يقودني إلى سؤال آخر: هناك مورد آخر قد يكون محدودًا أيضًا، ألا وهو العقول [يضحكون جميعًا ويومئون] فلكل ما ناقشناه، نحتاج إلى أشخاص، أشخاص بعقلية مختلفة. فإذا تلقيت تدريبًا في مجال محركات الاحتراق التقليدية، فمن المحتمل أن تفشل في هذا العالم الكهربائي. أو ربما لا؟ فإن، كيف تديرون خططكم لجذب



المواهب والخبرات في مجالات مثل البطاريات، والهيدروجين، وكل تقنيات التنقل الكهربائي هذه؟ وكيف يغير ذلك طريقة عمل شركة مثل بي إم دبليو في المستقبل؟

زيبسه: لقد أصبتَ كبد الحقيقة؛ فالعقول بالفعل مورد محدود. غير أن الأهم من ندرتها هو عقلية الأفراد أنفسهم. ونحن نرى أن مصدر القوة الحقيقي يكمن في بناء العقلية المناسبة. ولم نلاحظ فروقاً جوهرية بين أنظمة الدفع المختلفة؛ فالسيارة الكهربائية ليست مختلفة جذرياً عن سيارة محرك الاحتراق الداخلي، كما أن معظم المكونات الكهربائية، باستثناء البطارية، هي في جوهرها مكونات «ميكانيكية». وانطلاقاً من ذلك، ننقل الموظفين العاملين في مصانع محركات الاحتراق الداخلي إلى مصنع دينغولفينغ، إذ تتقاطع المهارات إلى حدٍّ كبير، ولا تختلف طبيعة العمل اختلافاً جوهرياً. وما يظل ثابتاً هو مسار التطور المستمر في كل تقنية. وخذ الرقمنة مثلاً؛ فهي ليست جديدة علينا من حيث المبدأ، لكن مستجداتها تتسارع عاماً بعد عام. والتحدي الحقيقي يتمثل في إدماج الحلول الرقمية المناسبة داخل السيارة، وتحويلها إلى نموذج أعمال قابل للاستدامة والربحية. ففي نهاية المطاف، ينبغي أن يكون المنتج فريداً، ومربحاً، وجذاباً في آن واحد. ولا تتعلق هذه المسألة بالمؤهلات وحدها، ولا بمجرد امتلاك قدر كافٍ من الرقمنة، بل ببناء وعي مشترك داخل الشركة، بحيث يشعر الجميع أنهم جزء من نظام أشمل يساهم في نموذج الأعمال ككل. وعندما تتوافر هذه العقلية، تتوافر معها العقول القادرة على الإسهام بفاعلية.

فاسر شايد: أعتقد أن إحدى الطرائق المهمة لتحقيق ذلك هي التعاون الوثيق والتفاعل بين الجامعات وشركة بي إم دبليو، كما حدث في نقاشنا الممتع اليوم. شكراً جزيلاً لكم على ذلك!

8.5 ما بعد الوظائف التقنية: النظام البيئي للطاقة حول حلول نقل الحركة الصديقة للبيئة

كما أُشير في الأقسام السابقة، تتنافس تقنيات متعددة في مجال التنقل الفردي لتلبية احتياجات فئات مستهدفة وأسواق متنوعة. وفي حين تتنافس بعض هذه التقنيات مباشرة، يكمل بعضها الآخر ضمن تطبيقات وقطاعات مختلفة. إذ يُعد الانفتاح على تنوع الحلول التكنولوجية عاملاً حاسماً في تحقيق الحياد المناخي.

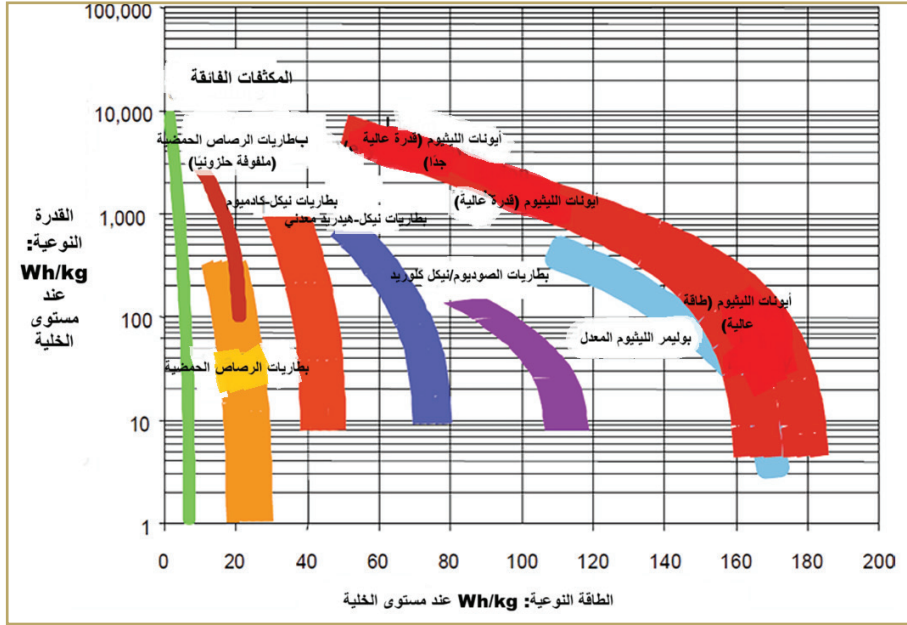
وفي السياق الأوروبي، يُتوقع أن تهيمن السيارات الكهربائية على سوق المستهلكين في المستقبل. أما في قطاعات أخرى، مثل النقل الثقيل، فما يزال من غير الواضح أيُّ نظم الدفع سيحظى بالانتشار على المدى الطويل. وتستلزم جميع هذه المسارات جهوداً بحثية مكثفة عبر مجالات متعددة لرفع مستوى نضجها التكنولوجي.

ويصاحب هذا التحول التكنولوجي ضرورة تعاون وثيق بين الصناعة، بما في ذلك الشركات المصنّعة للمعدات الأصلية والموردين، والبحث العلمي، وصنّاع السياسات على المستويين الوطني والدولي. وفي الوقت نفسه، يظل تعزيز قبول المستهلك عنصراً لا غنى عنه.

وتعتمد قابلية تطبيق نظم الدفع البديلة وقبول المستخدم لها إلى حدٍّ كبير على توافر البنية التحتية المناسبة والنظام البيئي للطاقة. ولذلك، ينبغي أن تركز الممارسات المستقبلية والجهود البحثية على هذين البعدين معاً.

يناقش هذا القسم ثلاثة مسارات محتملة لتخزين الطاقة الكهربائية الصديقة للبيئة، سواء في التطبيقات المتنقلة أو الثابتة. ونظراً للتفاعل الوثيق بين تقنيات الدفع الجديدة والبنية التحتية المصاحبة لها، تُعرض كذلك أنظمة مبتكرة لتوزيع الطاقة في سياق السيارات.

8.5.1 التخزين الصديق للبيئة للطاقة الكهربائية على متن السيارة



الشكل 8.8 مخطط راغون يوضح كثافات الطاقة النوعية والقدرة النوعية لتقنيات البطاريات المختلفة

ملاحظة: يعكس الوضع الموضح البيانات المتاحة حتى عام 2013 وعلى مستوى الخلية. ومنذ ذلك الحين، شهدت تقنية بطاريات أيونات الليثيوم توسعاً إضافياً باتجاه القيم الأعلى، كما هو مبين في مخطط راغون.

العنوان: مخطط راغون لتقنيات البطاريات المختلفة مع عرض القيم على مستوى الخلية لتطبيقات السيارات، دون تضمين بطاريات الليثيوم-الكبريت وبطاريات المعدن-الهواء.

نُشر الشكل أصلاً في: بوّده-مايفيس وآخرون (2013)، وقائع معهد المهندسين الميكانيكيين، الجزء D: مجلة هندسة السيارات، المجلد 227(5)، الصفحات 761-776.

<https://doi.org/10.1177/0954407013485567>

© جميع الحقوق محفوظة. (بوّده-مايفيس وآخرون، 2013)

يوضح الشكل 8.9 مبدأ التشغيل والخطوات المتتالية لبناء خلية أيونات الليثيوم، بدءاً من المواد الأولية (مثل المساحيق، المذيبات، رقائق التوصيل، الفاصل، الإلكتروليت، وغلاف الخلية) وصولاً إلى الخلية النهائية.

إذ تعد المواد النشطة المكونة للأنود والكاثود هي العناصر الأساسية في الخلية، لقدرتها على تخزين أيونات الليثيوم ضمن بنيتها الداخلية. وفي حين يهيمن الجرافيت على صناعة الأنود في جميع التطبيقات، فإن اختيار مادة الكاثود (التي غالباً ما تكون من أكاسيد معادن الليثيوم) يعتمد على طبيعة التطبيق والمتطلبات المحددة.

فعلى سبيل المثال، تتباين مؤشرات الأداء الرئيسة لتطبيقات السيارات عن تلك الخاصة بالإلكترونيات الاستهلاكية، مما يؤدي إلى تبني حلول مختلفة. فبينما يُستخدم مركب أكسيد الليثيوم والكوبالت على نطاق واسع في الإلكترونيات الاستهلاكية، إلا أنه لا يُعد مناسباً لتطبيقات السيارات نظراً للتكلفة واعتبارات السلامة. إذ تعد مادة كاثود أكسيد الليثيوم-النيكل-المنغنيز-الكوبالت (وهي تتميز ببنية أكسيد طبقية) هي المادة المهيمنة في خلايا بطاريات المركبات الكهربائية حالياً.



الشكل 8.9 نظرة عامة على مبدأ تشغيل خلية بطارية أيونات الليثيوم، والمجموعة النموذجية من المواد، والطريقة النموذجية للتحويل من المواد إلى الأقطاب وأخيراً إلى الخلايا (عبوة مرنة، أسطوانية، أو غلاف صلب موشوري).

قبل عقدٍ من الزمن، كان تركيب المواد النشطة يُعرف باسم NMC111 (أي بنسب متساوية من النيكل والكوبالت والمنغنيز، بواقع 33% لكل منها). ومع التطورات اللاحقة، ازداد محتوى النيكل تدريجياً

ليصل إلى 80% في مادة NMC811 الحالية (80% نيكل، 10% منغنيز، و10% كوبالت).

إذ تكمن الفائدة الرئيسة لهذه الزيادة في رفع السعة النوعية للمادة، من حوالي 150 ملي أمبير-ساعة لكل غرام في NMC111 إلى حوالي 210 ملي أمبير-ساعة لكل غرام في NMC811. أما الجانب السلبي، فيتمثل في أن هذه المواد عالية الأداء أقل استقرارًا حراريًا، مما يطرح تحديات تتعلق بعمر البطارية و/أو سلامتها.

وكما هو موضح في الشكل 8.9، يمكن دمج الطبقات الفعّالة للخلية (والتي تتكوّن من عدة طبقات من الأقطاب والفواصل المرتبة في هيئة رزم أو ملف أسطواني) ضمن أغلفة خلوية ميكانيكية متنوّعة. وتشمل هذه الأغلفة: الخلايا ذات العبوة المرنة (Pouch cells)، والخلايا الأسطوانية (Cylindrical cells)، وخلايا العلبة الصلبة المنشورية (Prismatic hard case cells) ولكل نوعٍ من هذه الأغلفة نقاط قوة وضعف خاصة به، وتُستخدم جميعها في التطبيقات الخاصة بالسيارات.

الخلايا ذات العبوة المرنة (Pouch Cells):

- الغلاف: يتكون من رقائق مركبة رقيقة (بوليمر مع طبقة من الألومينا في المنتصف). ويجري الإغلاق بعملية الترقق الحراري (sealing).
- الميزة: خفة الوزن وحرية كبيرة في تصميم الأشكال المختلفة (القيود تنحصر في سمك الخلية).
- العيب: احتمالية حدوث تسرب عبر الختم، وانخفاض المتانة الميكانيكية.

الخلايا الأسطوانية (Cylindrical Cells):

- الغلاف: غالبًا ما يكون من الفولاذ، ويمكن أن يكون من الألومنيوم أيضًا.
- الميزة: يسمح دمج الملف الأسطواني بتحقيق أعلى كثافة طاقة حجمية. يجري الإغلاق بالكبس (مع وجود خطر تسرب ولكنه أقل من العبوة المرنة) أو باستخدام اللحام بالليزر.
- الميزة الإضافية: المتانة الميكانيكية وثبات الشكل حتى عند زيادة الضغط داخل الخلية.
- العيب: تقييد حجم الخلية (بسبب قيود عملية الإنتاج، وإدارة الحرارة، إلخ).

خلايا العلبة الصلبة المنشورية (Prismatic Hard Case Cells):

- الغلاف: عبارة عن علبة منشورية مصنوعة من الألومنيوم.
 - الميزة: متانة ميكانيكية عالية وعمر طويل، وسهولة في الاستخدام ضمن عمليات الإنتاج المؤتمتة بالكامل لتصنيع الوحدات والحزم.
 - الإغلاق: يجري باستخدام اللحام بالليزر.
- تُعد كل من الكيمياء المستخدمة في الخلية ومفهوم الغلاف الميكانيكي عاملين أساسيين في تحديد خصائص السيارة الكهربائية مثل المدى، والأداء أثناء القيادة، ومدة الشحن.
- إن تنصب جهود بي إم دبليو على خلايا العلبة الصلبة المنشورية كأساس لبنية بطارياتها، مستفيدةً من صلابتها الميكانيكية، وعمرها الطويل، وملاءمتها للإنتاج واسع النطاق وعالي الجودة لوحدة البطارية وحزمها. وقد طوّرت بي إم دبليو هذا النوع من البطاريات عبر خمسة أجيال، وهو الآن يمد أسطول سياراتها الكهربائية الحالية بالطاقة بنجاح (انظر الشكل 8.10).

وفي الجيل السادس من تقنية BMW eDrive والمستخدم في سيارات NEUE KLASSE، أُحرزت تطورات جوهرية في تصميم الخلية وكيميائها. فقد أدى إدخال الخلية المستديرة الجديدة الخاصة بهيكل سيارات NEUE KLASSE الكهربائية إلى زيادة ملحوظة في مدى الطراز الأعلى بمقدار يصل إلى 30% (وفقًا لاختبارات WLTP) (مجموعة بي إم دبليو، 2022؛ انظر الشكل 8.11).

وعلى خلاف خلايا الجيل الخامس المنشورية، يتميز الجيل السادس من خلايا بي إم دبليو المستديرة بزيادة محتوى النيكل في مادة الكاثود، مما ساهم في خفض محتوى الكوبالت. بالإضافة إلى ذلك، أسهمت الزيادة الملحوظة في محتوى السيليكون في مادة الأنود في تحقيق زيادة كبيرة في كثافة الطاقة الحجمية للخلية بأكثر من 20% (مجموعة بي إم دبليو، 2022).



الشكل 8.10 بنية خلية الجيل الخامس (Gen5) من بي إم دبليو، الوحدة، وحزمة البطارية



الشكل 8.11 بنية خلية وحزمة بطارية الجيل السادس (Gen6) من بي إم دبليو والتحسينات الناتجة لبعض مؤشرات الأداء الرئيسة ذات الصلة (المقارنة مع بنية حزمة

بطارية الجيل الخامس الحالية).

علاوةً على ذلك، ستعمل بطارية سيارات NEUE KLASSE، وتقنية نظام الدفع الكهربائي، وتقنية الشحن على جهدٍ أعلى يبلغ 800 فولت. إذ يهدف هذا التحسين إلى تعزيز إمداد الطاقة من محطات الشحن السريع بالتيار المستمر، مما يتيح سعة شحن أعلى بكثير تصل إلى 500 أمبير. ونتيجةً لذلك، سيستغرق شحن البطارية من 10% إلى 80% وقتًا أقل بنسبة تصل إلى 30% (مجموعة بي إم دبليو، 2022؛ انظر الشكل 8.11).

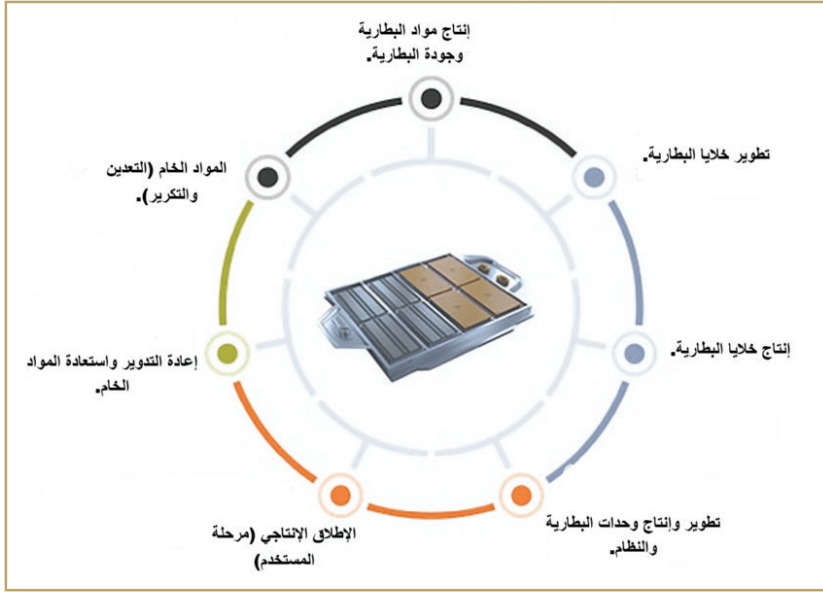
تُولي مجموعة بي إم دبليو أهمية قصوى لخفض البصمة الكربونية وتقليل استهلاك الموارد عبر كامل عملية الإنتاج، بدءًا من سلسلة التوريد. ولتحقيق ذلك، تعتمد على استخدام الليثيوم والنيكل والكوبالت مع دمج نسب متزايدة من المواد الثانوية، أي المواد الخام التي سبق استخدامها وأُعيد تدويرها ضمن دورة المواد بدلاً من استخراجها حديثًا من المناجم.

وإلى جانب ذلك، تلتزم مجموعة بي إم دبليو باستخدام الكهرباء الخضراء المولدة حصريًا من مصادر متجددة في إنتاج خلايا البطاريات. ومن المتوقع أن تسهم هاتان الخطوتان مجتمعتين في خفض البصمة الكربونية المرتبطة بإنتاج خلايا البطاريات بنسبة تصل إلى 60% مقارنة بالجيل الحالي (مجموعة بي إم دبليو، 2022).

وفي إطار التأكيد على أهمية الاقتصاد الدائري في مجال التنقل الكهربائي، تهدف مجموعة بي إم دبليو إلى إعادة استخدام المواد الخام بكفاءة عالية. إذ تسهم الدوائر المغلقة في تقليل الطلب على المواد الخام البكر، والحد من مخاطر انتهاك المعايير البيئية والاجتماعية في سلسلة التوريد، فضلًا عن خفض ملحوظ في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

ويعكس انخراط مجموعة بي إم دبليو الفعّال في جميع مراحل الاقتصاد الدائري للبطاريات (انظر الشكل 8.12) التزامها الواضح بهذا النهج. ويتمثل الهدف طويل المدى في تطوير خلايا بطاريات قابلة لإعادة التدوير بالكامل (مجموعة بي إم دبليو، 2022).

وبالنسبة إلى الجيل الجديد من خلايا بطاريات بي إم دبليو، فسيجري توريد المواد الخام، ولا سيما الكوبالت والليثيوم، من مناجم معتمدة، بما يضمن الشفافية في أساليب الاستخراج ويعزز ممارسات التعدين المسؤول.



الشكل 8.12 سلسلة القيمة الدائرية لبطاريات بي إم دبليو

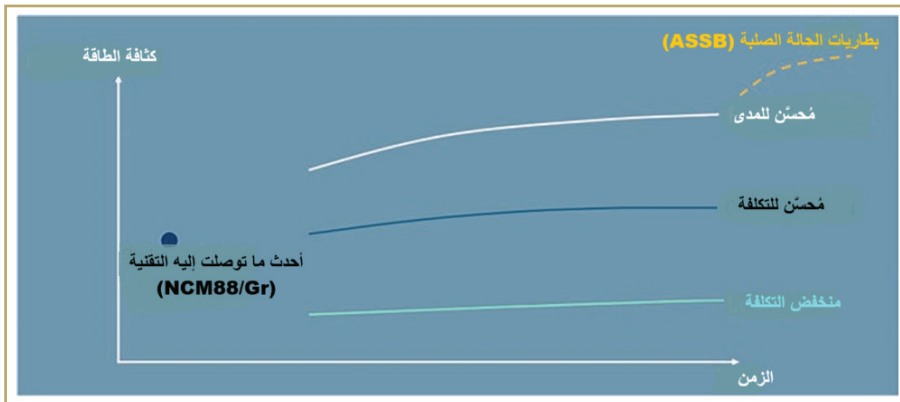
تُجلب المواد الخام إما مباشرةً عبر مجموعة بي إم دبليو أو من خلال مُصنّع خلايا البطاريات (مجموعة بي إم دبليو، 2022).

وعلى مدى سنوات عديدة، شاركت مجموعة بي إم دبليو بفاعلية في مبادرات تهدف إلى إرساء معايير مسؤولية لاستخراج المواد الخام، وضمن الامتثال للمعايير البيئية والاجتماعية من خلال نظم شهادات التعدين. ولا يعكس هذا النهج التزام الشركة بالممارسات التجارية

المستدامة فحسب، بل يسهم أيضاً في تقليل اعتمادها على موارد أو موردين بعينهم من منظور تكنولوجي وجغرافي وجيوسياسي.

وبالنسبة إلى الشركات المصنّعة للمعدات الأصلية، يُعد التطوير المستمر لأنظمة البطاريات ضرورة استراتيجية. ففي المراحل السابقة، انصبّ التركيز الرئيس في تطوير خلايا البطاريات على رفع كثافة الطاقة، وما يترتب عليه من زيادة مدى سير السيارات الكهربائية. ومع سلسلة سيارات NEUE KLASSE، سيصل مدى القيادة إلى نحو 900 كيلومتر، تبعاً للطراز. ومن حيث المبدأ، يمكن تحقيق مدى يتجاوز 1000 كيلومتر من الناحية التقنية، غير أن ذلك يُعد في معظم الحالات غير مجدٍ اقتصادياً ولا مبرراً بيئياً.

الأهم من ذلك هو تطوير منتج مُحسّن يلبي احتياجات العملاء عبر جميع مؤشرات الأداء الرئيسة ذات الصلة. لذا، سيتنوع تطوير خلايا البطارية في المستقبل وسيتجه إلى مجالات مختلفة ضمن مجموعة السيارات (انظر الشكل 8.13). هذه المجالات تشمل: (أ) الاستمرار في تحسين كثافة الطاقة (محسّن المدى)، (ب) المواءمة المثلى بين كثافة الطاقة والتكلفة (محسّن التكلفة)، (ج) القطاع منخفض التكلفة للطرازات المبدئية (منخفض التكلفة).



الشكل 8.13 اتجاهات التطوير المتنوعة المستقبلية لتقنية خلايا البطاريات

ومنذ عام 2008، عملت مجموعة بي إم دبليو على تنمية خبرتها في مجال تقنيات خلايا البطاريات بصورة تدريجية. وقد تركزت هذه الخبرة وتعززت في مركز كفاءة خلايا البطاريات (BCCC) في ميونيخ، الذي افتُتح عام 2019. ويغطي هذا المركز سلسلة القيمة بأكملها، بدءًا من البحث والتطوير، مرورًا بتصميم خلايا البطاريات، وصولًا إلى تقييم قابليتها للتصنيع، حيث يعمل بوصفه محورًا لترجمة أحدث الابتكارات في تقنيات خلايا البطاريات إلى تطبيقات عملية بسرعة وكفاءة.

ولتحقيق ذلك، تتعاون مجموعة بي إم دبليو مع شبكة واسعة تضم نحو 300 شريك، تشمل شركات صناعية راسخة، وشركات ناشئة، ومؤسسات بحثية. وتُحقق صحة هذه النتائج والتقنيات في مركز كفاءة تصنيع الخلايا (CMCC)، الواقع بالقرب من ميونيخ في بارسدورف (مجموعة بي إم دبليو، 2022). إذ تعد هذه الخبرة والجهود المتواصلة ضرورية لضمان تقديم أفضل تقنيات خلايا البطاريات وأكثرها كفاءة بيئية للعملاء.

8.5.2 التخزين المستدام للهيدروجين والتحويل الكهربائي عند الطلب

تُمكن الطاقة المولدة من المصادر المتجددة من توفير الكهرباء والتدفئة والوقود البديل بطرائق صديقة للبيئة. غير أن الطبيعة المتقلبة لهذه المصادر تفرض الحاجة إلى تقنيات فعّالة تتيح تخزين الطاقة المتجددة ونقلها وتداولها على نطاق عالمي، بما يضمن ربط مواقع الإنتاج ذات الإمكانيات العالية بمراكز الاستهلاك.

ويُعد تخزين الطاقة على هيئة هيدروجين أحد الحلول الرئيسة في هذا السياق؛ إذ يمكن إنتاج الهيدروجين عبر التحليل الكهربائي للماء باستخدام الكهرباء المولدة من مصادر متجددة. وعند الحاجة إلى الطاقة المخزنة، يمكن استخدام الهيدروجين في خلايا الوقود لتوليد الكهرباء، مع بخار الماء بوصفه

الناتج الثانوي الوحيد. وبهذه الآلية، يصبح من الممكن إنشاء نظام طاقة خالٍ تمامًا من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

وفي مستقبل الأنظمة الطاقية الخالية من الوقود الأحفوري والانبعاثات، يُتوقع أن تؤدي تقنيات الهيدروجين دورًا محوريًا. فهي تتيح حلولًا للتطبيقات التي لا تكون فيها تقنيات البطاريات مناسبة، سواء لأسباب تتعلق بالتكلفة أو بالجدوى العملية. وينطبق ذلك على المجالات التالية:

1. التطبيقات الصناعية التي لا يُستخدم فيها الهيدروجين ناقلًا للطاقة، بل عامل اختزال «أخضر» (كما في صناعة الفولاذ)، أو عامل تفاعل في العمليات الكيميائية، مثل تحويل ثاني أكسيد الكربون، أو الكتلة الحيوية، أو نفايات البوليمرات.

2. التطبيقات التي تتطلب كميات كبيرة جدًا من الطاقة المخزنة والمنقولة مع عدد محدود من دورات الشحن السنوية (غالبًا أقل من 20 دورة سنويًا)، مثل التخزين الموسمي واسع النطاق للطاقة الكهربائية، أو النقل العالمي للطاقة المتجددة منخفضة التكلفة من مناطق الإنتاج العالية لطاقة الشمس والرياح إلى المراكز الصناعية كثيفة الاستهلاك.

3. تطبيقات النقل الثقيل وطويل المدى الخالي من الانبعاثات، بما في ذلك السفن البحرية وسفن الأنهار، والقطارات، والشاحنات، والحافلات، والمركبات التجارية المستخدمة في الزراعة والغابات والتعدين، فضلًا عن سيارات الركاب التي تتطلب مدى قيادة طويلًا.

ومع ذلك، يتمثل أحد التحديات الرئيسية في أن الهيدروجين العنصري (H_2) يتمتع بكثافة طاقة حجمية منخفضة جدًا في الظروف المحيطة. ولذلك، ولأغراض التخزين والنقل، يُخزّن الهيدروجين إما في صورة

غاز مضغوط عند ضغوط مرتفعة تصل إلى 700 بار، أو في صورة سائل عند درجات حرارة منخفضة للغاية تقل عن 250- درجة مئوية (بروستر وآخرون، 2017).

وفيما يتعلق بنقل الهيدروجين، تتيح الاستفادة من البنية التحتية القائمة للوقود الأحفوري، ولا سيما شبكات أنابيب الغاز الطبيعي، مزايا مهمة. إذ يُعدّ توظيف هذه البنية التحتية أكثر كفاءة من حيث التكلفة واستهلاك الموارد مقارنة بإنشاء بنى جديدة بالكامل (وزارة الطاقة الأمريكية، 2023). غير أن مزج الهيدروجين بالغاز الطبيعي يظل مجدياً تقنياً ضمن نسب محدودة فقط، في حين أن تحويل شبكات الغاز الحالية لتوزيع الهيدروجين النقي يثير تحديات تقنية وقانونية وتنظيمية أكثر تعقيداً (جاينتي، 2022).

وعلى الصعيد الدولي، تتطلب طرق نقل الهيدروجين القائمة على الهيدروجين الجزيئي إنشاء بنية تحتية جديدة مخصصة، وهو ما ينطوي على تكاليف مرتفعة. وفي ضوء هذه القيود، يتجه البحث العلمي إلى استكشاف طرائق بديلة لنقل الهيدروجين تتجاوز الاعتماد الحصري على خطوط الأنابيب التقليدية. إذ تركز الأبحاث الجارية في جامعة فريدرش ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ على تطوير حلول مبتكرة لتخزين الهيدروجين ونقله تكون متوافقة بدرجة كبيرة مع البنية التحتية الحالية للطاقة.

وتوفر هذه التوافقية مع البنية التحتية القائمة فرصة مهمة لتسريع نشر تقنيات الطاقة النظيفة المعتمدة على الهيدروجين على نطاق عالمي، وربطها بالأنظمة القائمة بوتيرة أسرع.

ولتحقيق هذا التوافق، يُربط الهيدروجين الجزيئي الغازي كيميائياً بجزيء ناقل في تفاعل هدرجة طارد للحرارة، مما يؤدي إلى تكوين مركب

غني بالهيدروجين يمكن تخزينه ونقله بسهولة في صورة سائلة أو سائلة مُسالّة. وعند الحاجة، يُحرّر الهيدروجين مرة أخرى من هذا المركب في تفاعل نزع هدرجة عكسي ماص للحرارة، لينتج المركب الحامل الفارغ من جديد، القابل لإعادة الاستخدام في دورة تخزين لاحقة.

وتؤدي المحفزات دورًا حاسمًا في تفاعلات التخزين والتحرير هذه، إذ تعمل على تسريع معدلات التفاعل وضمان انتقائية عالية في عمليتي الهدرجة ونزع الهيدروجين.

ويُعد أحد أكثر الأمثلة التقنية الواعدة لهذا النهج تقنية الناقل العضوي السائل للهيدروجين (LOHC)، حيث يُربط الهيدروجين الجزيئي بصورة عكسية بمركب عطري سائل (بروستر وآخرون، 2017). وقد أظهرت أبحاث جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ خلال العقد الماضي أن مركب بنزيلتولوين مناسب بوصفه ناقلًا منخفض الهيدروجين (جورشك وآخرون، 2017؛ روديه وآخرون، 2022).

ويُعد بنزيلتولوين منتجًا صناعيًا متوافرًا على نطاق واسع، وقد استُخدم منذ ستينيات القرن الماضي بوصفه زيتًا ناقلًا للحرارة. كما أن خصائصه الفيزيائية والكيميائية معروفة جيدًا، وتجعله ملائمًا لتطبيقات تخزين الهيدروجين، ولا سيما ثباته الحراري العالي ومستوى السلامة الجوهري المرتفع.

وبالاستناد إلى هذا النظام (LOHC)، طوّر باحثو جامعة فريدريش ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ تقنية متكاملة لتخزين الهيدروجين ونقله، جرى تسويقها لاحقًا من خلال الشركة المنبثقة عن الجامعة هايدروجينوس (Hydrogenious) لتقنيات الناقل العضوي السائل للهيدروجين (www.hydrogenious.net). ومنذ تأسيسها عام 2013، تطورت الشركة لتصبح رائدًا عالميًا في مجال تقنيات تخزين الهيدروجين باستخدام أنظمة LOHC، ويعمل لديها اليوم أكثر من 200 موظف.

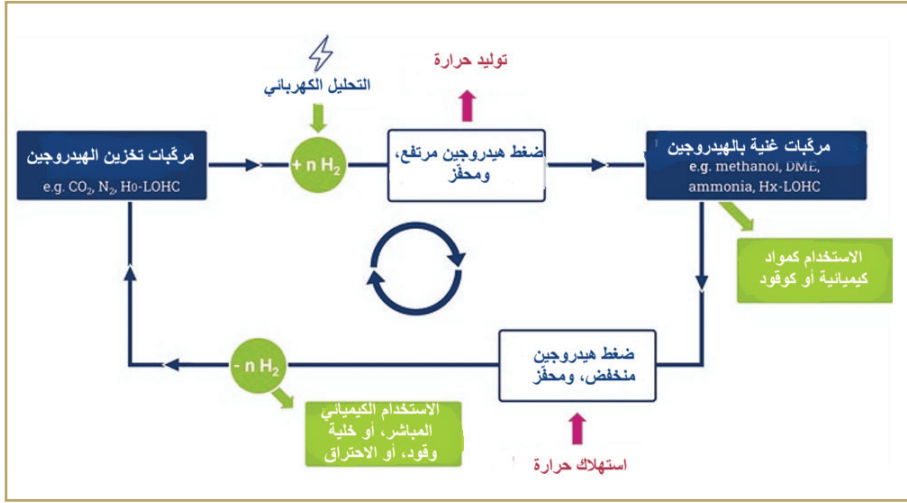
تشمل البدائل الواعدة في مجال تخزين الهيدروجين كيميائياً الربط الكيميائي العكسي للهيدروجين مع غازات مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) أو النيتروجين (N_2)، مما يؤدي إلى تكوين مركبات تخزين سائلة غنية بالهيدروجين، مثل الميثانول والديزل الاصطناعي (آرتس وآخرون، 2018)، أو مركبات غازية قابلة للتسييل، مثل الأمونيا وثنائي ميثيل الإيثر (شوت وآخرون، 2012). ويمكن تفكيك هذه المركبات عند الطلب لاستخلاص الهيدروجين، أو استخدامها مباشرة بوصفها مواد كيميائية أو وقود احتراق محايداً مناخياً (انظر الشكل 8.14).

ويكمن الفرق الجوهرى بين مفاهيم التخزين القائمة على CO_2 و N_2 وتقنية الناقل العضوي السائل للهيدروجين (LOHC) في جودة الهيدروجين الناتج. ففي حالة LOHC، يكون الهيدروجين المُحرَّر ذا نقاء عالٍ يكفي لإعادة تحويله مباشرة إلى كهرباء باستخدام خلايا الوقود، وذلك بعد فصل الناقل السائل.

في المقابل، تؤدي عمليات تكسير الأمونيا أو الميثانول أو ثنائي ميثيل الإيثر لاستخلاص الهيدروجين إلى تكوين مخاليط غازية من الهيدروجين مع النيتروجين أو ثاني أكسيد الكربون، على التوالي. ويستلزم تشغيل خلايا الوقود في هذه الحالة خطوات فصل إضافية لضمان النقاء المطلوب للهيدروجين.

وتختلف الدورات التخزينية لهذه التقنيات اختلافاً جوهرياً. فبينما تُنقل مركبات الناقل العضوي السائل للهيدروجين في حالتها المشبعة بالهيدروجين من مواقع الإنتاج الغنية بالطاقة إلى نقاط الاستهلاك، ثم تُعاد في صورتها الفقيرة بالهيدروجين لإعادة الشحن ضمن دورة مغلقة، تُغلق الدورة التخزينية للتقنيات القائمة على ثاني أكسيد الكربون أو النيتروجين عادةً عبر الغلاف الجوي. إذ يُستخلص CO_2 أو N_2 من الهواء

في مواقع الإنتاج، ثم يُعاد إطلاق هذه الغازات إلى الغلاف الجوي بعد عملية تكسير الهيدروجين وفصله في مواقع الاستهلاك.



الشكل 8.14 توضيح لمبدأ عمل تخزين الهيدروجين الكيميائي

تُقدّم تقنيات تخزين الطاقة الكيميائية، ولا سيما تقنية الناقل العضوي السائل للهيدروجين (LOHC)، مزايا واضحة مقارنة بالبطاريات وبالتخزين الفيزيائي للهيدروجين العنصري، ولا سيما في التطبيقات التي تركز على التخزين الثابت لكميات كبيرة من الطاقة، والنقل العالمي للطاقة، والتنقل الخالي من الانبعاثات للمركبات الثقيلة.

ويُمكن تحقيق تخزين الهيدروجين كيميائياً في ظروف محيطية من حيث درجة الحرارة وتحت ضغط منخفض أو حتى عند الضغط الجوي، مع توفير كثافات طاقة مرتفعة للغاية. ونظراً لإمكانية التعامل مع المادة المخزنة المحملة بسهولة مماثلة للوقود التقليدي، يمكن الاستفادة مباشرة من البنية التحتية القائمة لناقلات الطاقة السائلة، مثل الناقلات البحرية، وصهاريج السكك الحديدية، ومستودعات التخزين. وهي بنية تحتية تحظى بقبول مجتمعي واسع وأثبتت موثوقيتها على مدى عقود طويلة.

ولا تستلزم هذه المقاربة إنشاء بنية تحتية جديدة باهظة التكاليف للإمداد، كما لا تتطلب عمليات تبريد عميقة أو ضغوط تشغيل معقدة. والأهم من ذلك، أن تقنيات التخزين الكيميائي للهيدروجين تتمتع بقابلية عالية للتصدير، ويمكن تطبيقها بفعالية في البلدان التي لا تزال بنيتها التحتية لتوزيع الغاز والكهرباء محدودة التطور (هانك وآخرون، 2020).

8.5.3 التوزيع الصديق للبيئة للطاقة الكهربائية عبر بنية تحتية للطرق الكهربائية

لا يمكن تجاوز القيد البنيوي المتمثل في السعة المحدودة لتخزين الطاقة وسرعات الشحن في تقنيات البطاريات. إذ يُعد توسيع البنية التحتية للشحن أحد أبرز التحديات الراهنة في هذا السياق. ووفقاً لإحصاءات الوكالة الفيدرالية الألمانية للشبكات، بلغ عدد نقاط الشحن في ألمانيا حتى 1 ديسمبر 2022 نحو 63,806 نقطة شحن عادية و12,755 نقطة شحن سريع (الوكالة الفيدرالية الألمانية للشبكات، 2023).

واستجابة لهذه التحديات، تخطط الحكومة الألمانية لرفع عدد نقاط الشحن المتاحة للعامة إلى نحو مليون نقطة بحلول عام 2030 (وزارة النقل والرقمنة الألمانية 2022، BMDV). وعلى المستوى الأوروبي، يعتزم الاتحاد الأوروبي تركيب محطة شحن واحدة كل 60 كيلومتراً على امتداد الطرق الرئيسية (البرلمان الأوروبي، 2022). ومن المتوقع أن يسهم التوسع في تقنيات الشحن ثنائي الاتجاه، إلى جانب تطوير الشبكات الذكية، في تعزيز التكامل بين قطاعي الطاقة والتنقل وخلق مزيد من أوجه التآزر.

يمكن لتقنيات إضافية أن تسهم في استكمال هذه الإستراتيجية. فبدلاً من الاعتماد على بطاريات كبيرة تُخزَّن فيها الطاقة داخل السيارة، يتيح أحد البدائل نقل الكهرباء مباشرةً من الطرق الكهربائية إلى المركبات الكهربائية، سواء كانت متوقفة أو أثناء الحركة. فعند

استخدام تقنية النقل اللاسلكي للطاقة (IPT)، يبدأ الشحن تلقائيًا بمجرد توقف السيارة فوق ملف الشحن.

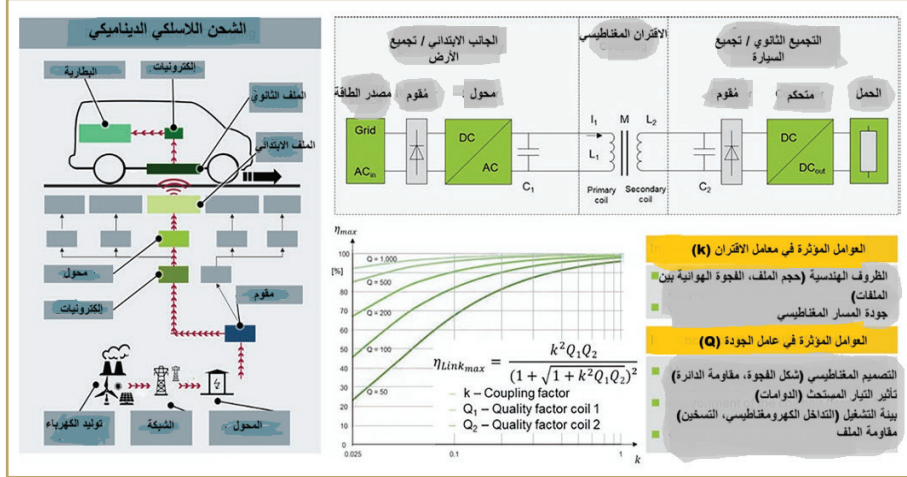
وعند دمج هذه التقنية في الطرق السريعة، يمكن تزويد المركبات بالطاقة اللازمة للقيادة المستمرة، مما يقلل الأحمال العالية على الشبكة الكهربائية الناتجة عن الشحن فائق السرعة، ويتيح في الوقت ذاته تقليص حجم البطاريات. وينعكس ذلك في سيارات كهربائية أخف وزنًا وأقل تكلفة، كما يفتح المجال لتشغيل الشاحنات الثقيلة بالكهرباء بكفاءة عالية، ومن دون انبعاثات، وعلى مسافات طويلة من دون الحاجة إلى التوقف لإعادة الشحن.

وعلى العكس من نماذج الشحن التقليدية، يؤدي الاستغناء عن محطات الشحن أثناء التوقف إلى خفض الاستثمارات المطلوبة في أعمدة الشحن فائق القدرة، وتقليل المساحات المخصصة لها، فضلًا عن توفير الوقت الذي يهدره المستخدمون في شحن البطاريات خلال الرحلات الطويلة.

ولقد كانت بي إم دبليو سباقة في هذا المجال؛ فبعد تقديمها طراز i3 بوصفه أول سيارة كهربائية مخصصة بالكامل في ألمانيا، ثم طراز 530e الهجين القابل للشحن، أصبحت أول شركة سيارات تطرح تقنية الشحن اللاسلكي ضمن إنتاج متسلسل موجه للأسواق.

وتركّب الملفات الأولية، المكوّنة من موصلات نحاسية ملفوفة حلقيًا، أسفل سطح الطريق في مواقف السيارات أو على امتداد الطرق، بفواصل تقارب مترًا واحدًا (انظر الشكل 8.15). ويُولد تيارٌ متناوب عند تردد يبلغ 85 كيلوهرتز مجالًا مغناطيسيًا نابضًا، يُحدث جهدًا كهربائيًا في الملفات الثانوية المثبتة أسفل السيارة. ويمكن لكل ملف نقل أكثر من 20 كيلوواط من

الطاقة، وهو مستوى كافٍ لتزويد السيارة بالطاقة اللازمة للقيادة وشحن البطارية في آن واحد، حتى عند السرعات العالية وفي ظروف التشغيل الاعتيادية.



الشكل 8.15 الشحن الحثي يعتمد على اقتران التدفق المغناطيسي الرنيني (رسم توضيحي خاص مستند إلى لويسيل وآخرون (2014))

يمكن تلبية متطلبات القدرة العالية، كتلك الخاصة بالشاحنات والحافلات، من خلال تركيب ملفات ثانوية متعددة. ومع وجود دائرة رنينية مضبوطة بدقة وجودة ممتازة لكل من الملفات الابتدائية والثانوية، يمكن تحقيق كفاءات نقل طاقة تتجاوز 90%، متفوقة بذلك على كفاءة أنظمة نقل الطاقة الموصولة عالية الأداء السابقة، إذ تُزال الحاجة إلى التحويلات الإضافية للطاقة الكهروكيميائية داخل وخارج البطارية.

ونظرًا لأن المجالات المغناطيسية للملفات الابتدائية تُعدّ في الأساس غير ضارة بالكائنات الحية، ولا تُفَعّل إلا عند اقتران نظام الملف الثانوي، فمن الممكن كهربة البنية التحتية للطرق دون تردد. ومع ذلك، سيكون من الضروري توعية الجمهور لتبديد أي تحفّظات لديهم. كما يُسهم التعريف التلقائي للمركبات في نظام الطاقة،

الذي يُشبه تسجيل الهاتف المحمول في شبكة الاتصالات، في تبسيط عملية الدفع.

ويتيح الاتصال الدائم للمركبات الكهربائية بالشبكة الذكية، سواء أثناء التوقف أو أثناء القيادة، إمكانية استخدام بطاريات المركبات للمساهمة بفعالية في استقرار الشبكة الكهربائية (المركبة إلى الشبكة). حتى لو تحول نصف السيارات الألمانية فقط إلى أنظمة الدفع الكهربائي، فإن ذلك سيوفر سعة تخزين تبلغ حوالي تيراواط ساعة (لويسيل وآخرون، 2014)، وهو ما يعادل نحو 25 ضعف السعة الإجمالية لجميع محطات الطاقة الكهرومائية لتخزين الكهرباء في ألمانيا.

وبطبيعة الحال، سيتطلب إدخال هذه التقنية استثمارات كبيرة لتحديث البنية التحتية الحالية وتوسيع شبكة الطرق الكهربائية. إذ تُقدّر التكاليف الإضافية للبنية التحتية الخاصة بالطرق الكهربائية بحوالي مليون يورو لكل كيلومتر من الطريق (المعهد الملكي للتكنولوجيا و Qi لتقييم الطاقة، 2019).

وبالمقارنة مع التقنيات الأخرى، ما يزال الشحن الحثي على نطاق واسع مجالاً ناشئاً نسبياً. ويطرح هذا المجال أسئلة بحثية مثيرة للاهتمام تتعلق بإمكانات التطبيقات والتطوير. ونظراً للحاجة إلى الانفتاح التكنولوجي لاستيعاب سيناريوهات الاستخدام المختلفة، فإن استكشاف هذه المسارات البحثية يمكن أن يساعد في تقييم الجدوى التقنية والاقتصادية لهذه الطريقة في الشحن، وما إذا كان من الممكن أن تكمل تقنيات الشحن الأخرى في المستقبل.



8.6 الخاتمة

يعيش قطاع التنقل حاليًا في حالةٍ من عدم اليقين، ويواجه العديد من الجهات الفاعلة في السوق تحديات ناجمة عن التغيرات التكنولوجية، وزيادة التنظيم، وتغير سلوك العملاء، وظهور منافسين جدد. تفقد التقنيات الراسخة التي هيمنت لسنواتٍ عديدة أهميتها تدريجيًا، وتُستبدل بتقنيات بديلة.

ويُعد الاستبدال المستمر لمحرك الاحتراق الداخلي واستبدال الوقود الأحفوري هو التغير التكنولوجي الأكثر وضوحًا في أنظمة الدفع. وهذا التغير الجوهرى في التكنولوجيا ضروري لتمكين مستقبل خالٍ تمامًا من الانبعاثات في سياق تغير المناخ، كما أنه مدفوع بدوافع تتعلق بحماية البيئة والصحة. ووفقًا لذلك، توجد تفاعلات قوية مع الاتجاهات العالمية الكبرى مثل إزالة الكربون والاستدامة.

تحدث هذه التطورات تسلسليًا؛ إذ تُسهّل تقنيات الجسر، مثل أنظمة الدفع الهجينة، وعملية الانتقال، بينما تتنافس تقنيات أخرى مباشرةً كحلول طويلة الأجل. وفي الوقت نفسه، يمكن أن توجد حلول تكميلية لتطبيقات وقطاعات مختلفة، مثل التنقل الكهربائي باستخدام البطاريات والهيدروجين كوقود للمستقبل.

ومن المحتمل أن تُشكّل المركبات الكهربائية التي تعتمد على البطاريات العمود الفقري للتنقل الفردي الخالي من الانبعاثات في المستقبل. ويمكن أن يوفر الهيدروجين المنتج بالطاقة المتجددة، والذي يمكن استخدامه في خلايا الوقود ومحركات الاحتراق الداخلي، حلاً تكميليًا. وتشمل التطبيقات المحتملة النقل لمسافات طويلة، والمركبات الثقيلة، أو النقل خارج الطرق السريعة. وفي جميع الأحوال، هناك تفاعل وثيق بين تقنية الدفع والنظام البيئي

للطاقة المصاحب لها. إذ يجب أن تكون الكهرباء والهيدروجين متاحين بكميات كافية وبشروط اقتصادية جذابة. وبالإضافة إلى ذلك، يجب ضمان التوزيع وراحة المستخدم النهائي. إذ يتطلب ذلك بنية تحتية للشحن والتزود بالوقود بنفس كفاءة البنية الحالية للوقود الأحفوري. وتُعد أهداف الاتحاد الأوروبي الخاصة بنقاط الشحن كل 60 كيلومترًا ومحطات التزود بالهيدروجين على الأقل كل 200 كيلومتر على الطرق الرئيسية وفي كل مدينة خطوة في الاتجاه الصحيح. وقد تكون تقنية الشحن الحثي أثناء القيادة خيارًا جذابًا آخر. وفي جميع الأحوال، يُعد الاستثمار الهائل في البنية التحتية أمرًا ضروريًا. وتشمل الاتجاهات الكبرى الأخرى في صناعة السيارات الاتصال، والقيادة الذاتية، والتنقل كخدمة (غال وسير، 2021). إذ يمكن تلخيص هذه التطورات تحت مصطلح ACES، والذي يشير إلى: القيادة الذاتية، الاتصال، الكهرباء، والتنقل المشترك. وهي في الغالب لا ترتبط مباشرةً بتقنية الدفع المستخدمة، لكنها تستفيد من زيادة كهربة المركبات ورقمنتها. ونتيجةً لذلك، هناك إمكانيات كبيرة لتحسين السلامة والراحة، مع تقليل البصمة البيئية. تؤثر هذه التطورات التقنية على أعمال مصنعي المعدات الأصلية والموردين، إذ ستواجه الشركات التي لا تستطيع التكيف مع هذه التطورات وحالة عدم اليقين مشكلات كبيرة. ومع ذلك، يمكن النظر إلى هذا التحدي أيضًا كفرصة؛ حيث تنشأ أسواق ومنتجات ومجالات أعمال جديدة. وفي الوقت ذاته، يستفيد عامة الناس من الاستدامة، وانعدام الانبعاثات، وزيادة السلامة. إذن، كيف يمكن للتقنيات المستقبلية أن تسهم في تحقيق الاستدامة؟ نود أن نسلط الضوء على خمس نقاط أساسية من هذا الفصل تدعو إلى مزيدٍ من النقاش:

1. سيارة المستقبل ستكون ACES: ذاتية القيادة، ومتصلة، وكهربائية، ومشتركة. وكل خاصية من هذه الخصائص تحمل في طياتها القدرة على تعزيز الاستدامة، شريطة دمجها بفاعلية.
2. نظرًا لأن كل تقنية تتمتع بمزايا وقيود فريدة، فإن الانتقال إلى التنقل الخالي من الانبعاثات لن يستند إلى تقنية واحدة، بل إلى مزيج متكامل من التقنيات القادرة على دفع عجلة إزالة الكربون في سياقات وحالات استخدام متباينة. فالتوجهات الواضحة نحو الحياد الصفري، إلى جانب الانفتاح التكنولوجي، يمكن أن تسرع من وتيرة التعلم والتجربة والمرونة اللازمة لهذا التحول.
3. يمكن لحلول الهيدروجين أن تُشكّل وسيلة لردم الهوة في أوجه القصور التي قد تعترى المركبات الكهربائية البحتة. فمن خلال استغلال مزاياها في تدفقات الطاقة الدولية، وتخزين الطاقة، والمدى، والبنية التحتية للشحن، يمكن للهيدروجين أن يكون مكملًا حيويًا للتنقل الكهربائي.
4. تتطلب تقنيات أنظمة الدفع الخالية من الانبعاثات نظامًا بيئيًا طاقيًا داعمًا، لا يقتصر على التوليد الكافي للطاقة المتجددة فحسب، بل يشمل أيضًا بنية تحتية ضرورية للشحن. وإلى جانب محطات الشحن الكهربائي التقليدية، يمكن للابتكارات ضمن هذا النظام البيئي للشحن أن تتضمن: نقل الهيدروجين بتقنية الناقل العضوي السائل للهيدروجين، توفير الهيدروجين في محطات الوقود القائمة، بالإضافة إلى الأشكال المبتكرة من النقل اللاسلكي للطاقة على الطرق، مما يحمل في طياته إمكانات لإعادة تشكيل التنقل الكهربائي جذريًا.

5. إن تطبيق تقنيات المستقبل لا يتطلب المعرفة الهندسية وحدها، بل يستلزم أيضاً تبني العقلية الصحيحة والقدرة على التعاون المثمر مع الأطراف المعنية الأخرى. وعلاوةً على ذلك، يتطلب الانتشار السوقي للتقنيات الخضراء وجود نماذج أعمال ناجحة. ومن منظور هذه النماذج، يكتسب دمج هذه التقنيات ضمن حلول عملية أهميةً قصوى، متجاوزاً مجرد التركيز على التكنولوجيا بمعزل عن التطبيق. ولا شك أن تنفيذ هذا التكامل يستفيد من الشراكات والتعاون مع الآخرين. تُعد تقنيات المستقبل ضروريةً لكسر هيمنة الوضع الراهن القائم على الوقود الأحفوري، وتطوير المنتجات وسلاسل القيمة نحو تحقيق تنقلٍ خالٍ تماماً من الانبعاثات. وبهذا، يختتم هذا الفصل نقاشنا حول مختلف الخطوات الفردية على الطريق إلى الحياد الصفري.

وفي الوقت نفسه، أبرز هذا الفصل أن التكنولوجيا ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالإستراتيجية، والمنتجات، وسلاسل القيمة، وغيرها من الجوانب. ومن خلال التأكيد على هذا الترابط بين المساهمات المختلفة في هذا الكتاب، ينسج الفصل الختامي التالي (الفصل التاسع): «الطريق إلى الحياد الصفري وما بعده» خيوط مناقشاتنا السابقة المهمة معاً، ويختتم هذا الكتاب بنظرةٍ مستقبلية تتجه نحو التعاونات التي يمكن أن تدفع عجلة تحول الاستدامة.



المراجع

- AUDI AG (Ed.) (2019). Audi e-tron Bauteile E-Antrieb (Animation). Retrieved July 09 2023, from <https://www.audi-mediacycenter.com/de/videos/video/audi-e-tron-bauteile-e-antrieb-animation-4846>
- Artz, J., Müller, T. E., Thenert, K., Kleinekorte, J., Meys, R., Sternberg, . Bardow ALeitner, W. (2018). Sustainable conversion of carbon dioxide: An integrated review of catalysis and life cycle assessment. Chemical Reviews, 118(2), 434–504. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00435>
- Association des Constructeurs Européens d'Automobiles. (2022). Electric Vehicles: tax benefits & purchase incentives: In the 27 member states of the European Union (2022). Retrieved June 26, 2023, from <https://www.acea.auto/files/Electric-Vehicles-Tax-Benefits-Purchase-Incentives-2022.pdf>
- Barretto, L. (2022). Formula 1 on course to deliver 100% sustainable fuels for 2026 Formula One World Championship Limited. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.formula1.com/en/latest/article.formula-1-on-course-to-deliver-100-sustainable-fuels-for-2026.1szcnS0ehW3IOHJeelw-Pam.html>
- Blois, M. (2022, June 23). Umicore wants to build the world's largest battery recycling plant. Chemical & Engineering News (C&EN). Retrieved June 26, 2023, from <https://cen.acs.org/environment/recycling/Umicore-wants-build-worlds-largest/100>
- BMW AG (Ed.) (2020). BMW Gen5 eDrive. Retrieved July 09, 2023, from <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/photo/detail/P90392490/bmw-gen5-edrive>
- BMW AG (Ed.) (2022). Brennstoffzellensystem. Retrieved July 09, 2023, from <https://mediapool.bmwgroup.com/download/edown/pressclub/publicq?dokNo=P90476503&attachment=1&actEvent=image>
- BMW Group. (2022, September 09). More performance, CO2-reduced production significantly lower costs: BMW group to use innovative round BMW battery cells in NEUE KLASSE from 2025 [Press release]. München. Retrieved July 20, 2023, from: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0403470EN/more-performance-co2-reduced-production->

- significantly-lower-costs:-bmw-group-to-use-innovative-round-bmw-battery-cells-in-neue-klasse-from-2025?language=en
- Budde-Meiwes, H., Drillkens, J., Lunz, B., Muennix, J., Rothgang, S., Kowa Sauer, D. U (2013). A review of current automotive battery technology and future prospects. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 227(5), 761–776. <https://doi.org/10.1177/0954407013485567>
 - Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). (2022). Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung. Retrieved June 26, 2023, from https://2618thepoweroftechnologicalinnovationbmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-2.pdf?__blob=publicationFile
 - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). (2021, September 29). Förderung der Elektromobilität durch die Bundesregierung. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.bmuv.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/foerderung>.
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). (2023). Electric mobility in Germany. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/electric-mobility.html>
 - Bundesnetzagentur. (2023, February 2). Elektromobilität: Öffentliche Ladeinfrastruktur. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html>
 - Doppelbauer, M. (2020). Grundlagen der Elektromobilität. Springer Vieweg Wiesbaden <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29730-5>
 - Dr. Ing. h.c.F. Porsche AG (Ed.) (2021). Hochspannung - Porsche-Elektromotoren erklärt. Retrieved July 09, 2023, from <https://newsroom.porsche.com/de/2021/innovation/porsche-elektromotoren%2D%2Dtaey-can-hochspannung-christophorus-398-23885.html>
 - European Environment Agency. (2019, December 11). Cumulative global fleet of battery electric vehicles (BEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) in different parts of the world. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/cumulative-global-fleet-of-battery>

- European Federation for Transport and Environment (Ed.). (2017, July 25) Renewable electricity is a must to decarbonise land freight transport. <https://www.transportenvironment.org/discover/renewable-electricity-must-decarbonise-land-freight-transport/>
- European Parliament. (2022). Europaabgeordnete fordern Ladestationen für E-autos alle 60 km. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20221014IPR43206/europaabgeordnete-fordern-ladestationen-fur-e-autos-alle-60-km>
- Gall, C., & Sieper, J. (2021, August 4). Wie Unternehmen sich auf die Mobilität der Zukunft vorbereiten können. Retrieved June 26, 2023, from https://www.ey.com/de_de/automotive-transportation/zukunftstrends-der-automobilindustrie-im-ueberblick
- Hank, C., Sternberg, A., Köppel, N., Holst, M., Smolinka, T., Schaadt, A Hebling, C Henning, H.-M. (2020). Energy efficiency and economic assessment of imported energy carriers based on renewable electricity. *Sustainable Energy & Fuels*, 4(5), 2256–2273 <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/D0SE00067A>
- International Energy Agency. (2022). Global energy-related CO2 emissions by sector Retrieved June 26, 2023, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector>
- International Energy Agency. (2023). Transport: Improving the sustainability of passenger and freight transport. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.iea.org/topics/transport>
- Jayanti, S. E.-P. (2022). Repurposing pipelines for hydrogen: Legal and policy considerations. *Energy Reports*, 8(16), 815–820 <https://doi.org/10.1016/j.jegyr.2022.11.063>
- Jorschick, H., Preuster, P., Dürr, S., Seidel, A., Müller, K Bösmann A Wasserscheid P. (2017). Hydrogen storage using a hot pressure swing reactor. *Energy & Environmental Science*, 10(7), 1652–1659. <https://doi.org/10.1039/C7EE00476A>
- Kapoor, R., & Klueter, T. (2021). Unbundling and managing uncertainty surrounding emerging technologies. *Strategy Science*, 6(1), 62–74. <https://doi.org/10.1287/stsc.2020.0118>
- Kaul, A., Hagedorn, M., Hartmann, S., Heilert, D., Harter, C., Olschewski, I Eckstein L. Baum, M., Henzelmann, T., & Schlick, T. (2019). Automobile

Wertschöpfung 2030/2050: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. IPE Institut für Politikevaluation GmbH; fka GmbH; Roland Berger GmbH. Retrieved June 26, 2023, from https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/automobile-wertschoepfung-2030-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=16

- KTH, & QiE, P. (2019). Detailed LCA/LCCA assessment of environment and cost impact of E-roads (Road Infrastructure Impact & Solutions). FABRIC. http://www.fabric-project.eu/www.fabric-project.eu/images/Deliverables/FABRIC_D53_4-LCA_eRoads_Final.pdf
- Loisel, R., Pasaoglu, G., & Thiel, C. (2014). Large-scale deployment of electric vehicles in Germany by 2030: An analysis of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid concepts. *Energy Policy*, 65, 432–443. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.029>
- Parizet, E., Janssens, K., Poveda-Martinez, P., Pereira, A., Lorenski, J., & Ramis Soriano, J. (2016). NVH analysis techniques for design and optimization of hybrid and electric vehicles. In N. Campillo-Davo & A. Rassili (Eds.), *NVH analysis techniques for design and optimization of hybrid and electric vehicles* (pp. 313–355). Shaker Verlag.
- Preuster, P., Alekseev, A., & Wasserscheid, P. (2017). Hydrogen storage technologies for future energy systems. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 8, 445–471. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-060816-101334>
- Preuster, P., Papp, C., & Wasserscheid, P. (2017). Liquid organic hydrogen carriers (LOHCs): Toward a hydrogen-free hydrogen economy. *Accounts of Chemical Research*, 50(1), 74–85. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.6b00474>
- Reitz, R. D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y, Agarwal, A. K Arcoumanis, D., Assanis, D., Bae, C., Boulouchos, K., Canakci, M., Curran, S., Denbratt, I., Gavaises, M., Guenther, M., Hasse, C., Huang, Z., Ishiyama, T., et al. (2020). IJER editorial: The future of the internal combustion engine. *International Journal of Engine Research*, 21(1), 3–10. <https://doi.org/10.1177/1468087419877990>
- Rüde, T., Dürr, S., Preuster, P., Wolf, M., & Wasserscheid, P. (2022) Benzyltoluene/perhydro benzyltoluene – Pushing the performance limits of pure hydrocarbon liquid organic hydrogen carrier (LOHC) systems.

Sustainable Energy & Fuels, 6(6), 1541–1553. <https://doi.org/10.1039/D1SE01767E>

- Sartbaeva, A., Kuznetsov, V. L., Wells, S. A., & Edwards, P. P. (2008). Hydrogen nexus in a sustainable energy future. *Energy & Environmental Science*, 1(1), 79 <https://doi.org/10.1039/b810104n>
- Schaeffler Technologies AG (Ed.) (2014). E-Wheel Drive. Retrieved July 09 2023 from https://www.schaeffler.de/de/news_medien/mediathek/downloadcenter-detail-page.jsp?id=37159745
- Schaeffler Technologies AG (Ed.) (2023). Technologien für hybride und rein elektrische Antriebssysteme. Retrieved July 09, 2023, from https://www.schaeffler.de/de/produkte-und-loesungen/automotive-oem/hybride_elektrische_antriebssysteme/
- Schüth, F., Palkovits, R., Schlögl, R., & Su, D. S. (2012). Ammonia as a possible element in an energy infrastructure: Catalysts for ammonia decomposition. *Energy & Environmental Science*, 5(4), 6278–6289. <https://doi.org/10.1039/C2EE02865D>
- Schwarzer, C. (2019, March 21). Bremsenergie rückgewinnung und ihr Wirkungsgrad Wer bremst, gewinnt. heise online. Retrieved June 26, 2023, from <https://www.heise.de/autos/artikel/Bremsenergie-rueckgewinnung-und-ihr-Wirkungsgrad-4340576.html>
- Specht, M. (2020, January 23). Elektroautos sind die besseren Gebrauchtwagen Weniger Verschleiß, längere Lebensdauer. *Der Spiegel*. Retrieved June 26, 2023 from <https://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/elektroautos-sind-die-besseren-gebrauchtwagen-weniger-verschleiss-laengere-lebensdauer-a-89f4d920-ed88-4c9e-9747-310f685f418a>
- Tschöke, H., Gutzmer, P., & Pfund, T. (2019). Elektrifizierung des Antriebsstrangs Grundlagen - vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb. Springer Vieweg Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60356-7>
- Umweltbundesamt. (2022, March 16). Marktdaten: Mobilität. Retrieved June 26 2023 from <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-mobilitaet#car-sharing>
- U.S. Department of Energy (Ed.) (2023). Hydrogen Pipelines. Hydrogen and fuel cell technologies office. Retrieved, July 09, 2023, from <https://>

- www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-pipelines
- van Basshuysen, R., & Schäfer, F. (Eds.). (2017). Handbuch Verbrennungsmotor Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven (8th ed.). Springer Vieweg Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-10902-8>
 - Verband der Automobilindustrie e. V. (2018). WLTP – neues Testverfahren weltweit am Start: Fragen und Antworten zur Umstellung von NEFZ auf WLTP. Retrieved June 26, 2023, from https://www.vdik.de/wp-content/uploads/2019/09/WLTP_Fragen-und-Antworten-zum-neuen-Testverfahren.pdf
 - Wang, E. (2021). The potential of electric vehicles. Princeton University Retrieved June 26, 2023, from <https://psi.princeton.edu/tips/2021/2/20/the-potential-of-electric-vehicles>
 - Weigelt, M. (2022). Multidimensionale Optionenanalyse alternativer Antriebskonzepte für die individuelle Langstreckenmobilität. In FAU Studien aus dem Maschinenbau (Vol. Band 412). FAU University Press. <https://doi.org/10.25593/978-3-96147-608-4>
 - Zapf, M., Pengg, H., Bütler, T., Bach, C., & Weindl, C. (2021). Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile: Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten - Heute und in Zukunft. Springer Vieweg Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-33251-8>
 - ZF Friedrichshafen AG (2017, June 22). Für Achshybride oder reine E-Fahrzeuge: ZF integriert leistungsstarken elektrischen Antrieb direkt in innovative Hinterachse [Press Release]. Retrieved July 09, 2023, from https://press.zf.com/press/de/releases/release_2782.html
 - ZF Friedrichshafen AG (Ed.) (2023). CeTrax – Elektrischer Zentralantrieb Systemkompetenz für elektrische Sonderfahrzeuge. Retrieved July 09, 2023, from https://www.zf.com/products/de/special_vehicles/products_64419.html



الطريق إلى الحيات الصفري وما بعده نظرة إلى الورا، تقييم الوضع، والمضي قدماً

ماركوس بيكرمان وإيرين فيجه

تأملات في التعلم التعاوني:

بهدف الإجابة عن سؤال: «ما المسارات الإستراتيجية لتحول الأعمال القائم على الاستدامة؟»، تعاونت شركة بي إم دبليو مع جامعة فريدریش-ألكسندر إرلانغن نورنبرغ في سلسلة من الحوارات المتعمقة مع الخبراء. وناقشت هذه الحوارات الجوانب الجوهرية المتعلقة بالطريق إلى الحياد الصفري.

إذ لا يقتصر دور هذا الكتاب على توثيق هذه الحوارات فحسب، بل يتخذها أساسًا لسبعة فصول مستقلة، يفك كل منها التعقيدات المتعددة والقضايا المحورية المرتبطة بتحويل اقتصادنا نحو الاستدامة. ولتمكين القارئ من التعمق مباشرة في الجوانب التي تهمه من «الطريق إلى الحياد الصفري»، يتضمن كل فصل مقدمة موجزة لموضوعه ومقترحات مختارة لأبحاث مستقبلية. وعلى الرغم من استقلالية كل فصل، فإنه لا يمكن فصله عن بقية الفصول. إذ تتفاعل الخطوات المختلفة على طريق الحياد الصفري وتترابط ارتباطًا وثيقًا، ما يستدعي منظورًا متكاملًا وشاملاً.

يهدف هذا الفصل الختامي إلى استعراض الصورة الأكبر، وسيكون ذلك على أربع مراحل: أولاً: سنعود بالذاكرة لمراجعة موجزة لخطوط الحجة التي طُورت في كل فصل، وكيفية ترابطها ببعضها البعض. ثانيًا: سنقيم الوضع الراهن من خلال تحديد الموضوعات المتكررة

والرؤى النقدية والدروس المستفادة (المتوقعة) التي رصدناها عبر الفصول المختلفة. ثالثًا: مع التركيز على المضي قدمًا، سنتجاوز حدود «الطريق إلى الحياد الصفري» المرسومة في هذا الكتاب لتحديد أسئلة مستقبلية حول تحول الأعمال القائم على الاستدامة. وأخيرًا: سنتأمل في طبيعة هذه التحديات، وسنناقش دور الشراكات بين الجامعات والقطاع الصناعي في التصدي لها.⁽¹⁾

9.2 ملخص السرد في هذا الكتاب:

9.2.1 الفصل الثاني: رسم المسار نحو الحياد الصفري:

يحمل عنوان هذا الكتاب، «الطريق إلى الحياد الصفري»، في طياته هدفًا طموحًا: تحقيق صافي انبعاثات صفيرية للحد من ظاهرة الاحتباس الحراري. لهذا الطموح الجريء تبعات عميقة؛ إذ لا يمكننا تحقيق الحياد الصفري من خلال إدخال تحسينات طفيفة ضمن الاقتصاد القائم على الوقود الأحفوري. بل يتطلب ذلك تحولًا كاملاً في ممارساتنا التجارية، بما يستلزمه من عواقب ومساهمات واسعة النطاق عبر مختلف المجالات، كما نوقش في كل فصل من فصول هذا الكتاب.

استهل الفصل الثاني النقاش بتفكيك الجوانب العلمية والسياسية لمفهوم الحياد الصفري. وشرح لماذا كان اتفاق باريس لحظة محورية

(1) م. بيكمان (*)

جامعة فريدريش-ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ (FAU)، نورنبرغ، ألمانيا
البريد الإلكتروني: markus.beckmann@fau.de

إ. فيجه

شركة بي إم دبليو (BMW AG)، ميونيخ، ألمانيا

© المؤلف (أو المؤلفون) 2023

أ. زيبسه وآخرون (محررون)، الطريق إلى الحياد الصفري،

https://doi.org/10.1007/978-3-031-42224-9_9

في سياسة المناخ العالمية؛ فلم يكن الاتفاق أول معاهدة عالمية تحظى بدعم جميع الجهات رئيسة الرئيسة المسببة للانبعاثات الكربونية، بما في ذلك الولايات المتحدة، والصين، والهند فحسب، بل وضع أيضاً أهدافاً مطلقة لدرجة حرارة الاحتباس الحراري.

وبناءً على العلوم المناخية، تُترجم هذه الأهداف المتفق عليها سياسياً إلى حد أقصى يُعرف بميزانية الكربون المتبقية التي يمكن للبشرية تحملها، وذلك بخلاف نهج التخفيض النسبي الذي تبناه بروتوكول كيوتو. ونتيجة لذلك، يتطلب الطريق إلى الحياد الصفري تحولاً جذرياً في أنظمتنا، بدلاً من الاكتفاء بتحسينات تدريجية على تقنيات الوقود الأحفوري ونماذج الأعمال القائمة.

وتعمق الفصل أيضاً في كيفية تمكين الحكومات لهذا التغيير التحويلي. واستكشف الحوار الذي دار بين الخبراء في الفصل دور السياسات الحكومية في تهيئة الظروف المواتية لإزالة الكربون من الاقتصاد. ويتضمن ذلك إستراتيجيات مثل: تسعير الكربون من خلال شهادات الانبعاثات وضرائب الكربون، وفرض الأنظمة السوقية المناسبة، ودعم تطوير البنية التحتية اللازمة لإدخال وتوسيع نطاق التقنيات البديلة.

كما أوضح الفصل الثاني كيف يمكن للشركات مواءمة أهداف أعمالها مع المسار العالمي نحو الحياد الصفري. وقدم مفهوم الأهداف القائمة على أسس علمية، الذي يمثل إطاراً علمياً وعملياً تم التحقق من صحته، لمساعدة الشركات على مواءمة عملياتها مع الجهود العالمية للتخفيف من تغير المناخ.

9.2.2 الفصل الثالث: صياغة استراتيجية الاستدامة المؤسسية:

يتناول هذا الفصل عملية اتخاذ القرار الإستراتيجي داخل الشركات، مستكشفًا الكيفية التي تؤثر بها المعايير والمتطلبات الخارجية في توجيه العمليات التجارية. ففي الماضي، كانت العديد من الشركات تميل إلى صياغة أهداف الاستدامة بمعزل عن إستراتيجياتها الأساسية، وغالبًا ما كانت تُدرج ضمن إطار المسؤولية الاجتماعية للشركات. غير أن تصاعد أزمة تغيّر المناخ وما يرافقها من ضغوط تنظيمية ومجتمعية فرض تحولًا جوهريًا في هذا النهج.

لم تعد الإستراتيجيات المؤسسية الناضجة تنظر إلى الاستدامة بوصفها عنصرًا منفصلًا أو مكملًا، بل باتت تدمجها دمجًا كاملاً في صميم نموذج أعمالها. وعلى «الطريق إلى الحياد الصفري»، يتطلب تحقيق خفض فعلي للانبعاثات عبر دورة الحياة بأكملها إدماج الاستدامة في جوهر عملية خلق القيمة داخل الشركة، بما يشمل سلسلة القيمة كاملة، وليس فقط العمليات التشغيلية المباشرة.

وقد تعمّق الفصل الثالث في توضيح كيف يمكن لهذا النهج المتكامل أن يعيد تشكيل العملية الإستراتيجية برمتها. وانطلاقًا من الأسس التي طُرحت في الفصل الثاني، بدأ الفصل بمناقشة صياغة الإستراتيجية بوصفها مرحلة لتحديد أهداف قائمة على أسس علمية موثوقة، ثم انتقل إلى مرحلة التنفيذ التي تستلزم نهجًا إداريًا منسقًا ومتكاملًا، قبل أن يختتم بتناول تقييم الإستراتيجية، الذي يتطلب بدوره أساليب مبتكرة في القياس والإفصاح. وبهذا، يمهد الفصل بسلاسة للانتقال إلى مناقشات الفصل الرابع.

9.2.3 الفصل الرابع: مستقبل الإفصاح المؤسسي:

مع تصاعد الاهتمام بإستراتيجيات الشركات وأدائها في مجال الاستدامة، بات النهج التقليدي للإفصاح، القائم على المؤشرات المالية وحدها، غير كافٍ لتلبية توقعات جميع الأطراف المعنية. فقد صُمم الإفصاح المالي التقليدي أساسًا لخدمة المستثمرين، وكان يركز بصورة شبه حصرية على الأداء المالي للشركة. غير أن السياق الراهن، ولا سيما في «الطريق إلى الحياد الصفري»، يفرض توسيع نطاق الإفصاح ليشمل الجوانب غير المالية المرتبطة بالاستدامة، بما يلبي احتياجات معلوماتية أوسع تشمل الموظفين، والجهات الحكومية، والمجتمع بوجه عام.

فقد شهد الإفصاح غير المالي، أو إفصاح الاستدامة، تطورًا ملحوظًا، إذ انتقل من معايير طوعية محدودة القابلية للمقارنة إلى متطلبات تنظيمية أكثر صرامة تهدف إلى تعزيز الشفافية وقابلية المساءلة.

وقد تناول الفصل الرابع هذا التحول بعمق، موضّحًا علاقته بالإفصاح المتكامل، ومستعرضًا أحدث التطورات التشريعية في هذا المجال. كما ناقش التحديات المرتبطة بقياس مؤشرات الأداء الرئيسة واختيارها، سواء كانت مالية أو غير مالية، وسلط الضوء على التعقيد الكامن في تحقيق توازن دقيق بين مصالح الأطراف المعنية المختلفة.

9.2.4 الفصل الخامس: تصميم منتجات مستدامة:

في قطاع صناعة السيارات، يقوم «الطريق إلى الحياد الصفري» على توافر معلومات موثوقة وإفصاح شامل لسبب جوهري يتمثل في أن انتشار المركبات الكهربائية قد نقل الجزء الأكبر من انبعاثات دورة الحياة من مرحلة الاستخدام إلى مرحلة الإنتاج. ونتيجة لذلك، اكتسبت سلاسل القيمة الدائرية ومكوناتها المختلفة أهمية محورية في التحول

التشغيلي نحو الحياد الصفري.

وانطلاقاً من هذا التحول، ركّز الفصل الخامس على الدور الحاسم لتصميم المنتجات. فقرارات التصميم تؤثر تأثيراً مباشراً في توريد المواد، وعمليات التصنيع، ومرحلة الاستخدام، فضلاً عن الخيارات المتاحة لإغلاق دورات المواد في نهاية عمر المنتج. ومن ثم، فإن الانتقال إلى اقتصاد دائري يستلزم تبني نهج جديد في تطوير المنتجات.

وقد استعرض الفصل الخامس مفاهيم تصميم المنتجات من أجل إعادة التدوير، واستبدال الموارد النادرة بمواد ثانوية، وإدماج المواد الطبيعية، مع إيلاء اهتمام خاص للتصميم الداخلي. كما بيّن أن تطبيق مبادئ التصميم الدائري لا يقتصر على المنتج نفسه، بل يمتد ليشمل تصميم الخدمات المصاحبة له.

إذ تكتسب الخدمات التي تسهّل عمليات التدوير، مثل برامج استرجاع المنتجات، أهمية متزايدة. وكذلك، يمكن أن يسهم التحول من نماذج ملكية المنتج إلى نماذج قائمة على تقديم الخدمة، مع التركيز على الوصول ونماذج الأعمال المعتمدة على الأداء، في دعم تنفيذ الإستراتيجيات الدائرية. وبناءً عليه، يصبح من الضروري أن يتطور تصميم المنتج وتصميم الخدمة بصورة متكاملة ومتوازية.

9.2.5 الفصل السادس: تحويل سلاسل القيمة نحو الاستدامة:

تفرض مناقشة الاستدامة في تطوير المنتجات بالضرورة إلى مسألة تأمين الموارد النادرة وذات القيمة العالية. وعلى «الطريق إلى الحياد الصفري»، يُمثّل استبدال المواد الأولية بمواد ثانوية ركيزة أساسية لخفض الانبعاثات الكربونية عبر دورة الحياة الكاملة للمنتج. وانطلاقاً

من ذلك، تعمق الفصل السادس في تحليل تدفقات المواد، مسلطاً الضوء على الفرص المتاحة في هذا المجال، إلى جانب التحديات المرتبطة بتوريد الموارد النادرة وذات الأهمية الإستراتيجية للتنقل الكهربائي.

ويستلزم تصنيع البطاريات وأنظمة الدفع الكهربائي استخدام مواد تتطلب طاقة عالية في إنتاجها. ولا تقتصر إشكالية هذه المواد على محدودية كمياتها فحسب، بل تمتد إلى تركزها الجغرافي في عدد محدود من الدول. وإلى جانب أثرها المباشر في انبعاثات غازات الدفيئة، تبرز هذه المعطيات الحاجة الملحة إلى تطوير سلاسل إمداد مغلقة تقوم على دمج المواد الثانوية في العمليات الإنتاجية.

ومع ذلك، فإن استثمار الإمكانيات الكبيرة لهذه الدورات المادية في تحقيق أهداف خفض الكربون وتقليل الأثر البيئي يواجه تحديات جوهرية، تشمل عوائق تقنية وتنظيمية، فضلاً عن تحديات تتعلق بهياكل المنظمات، وذلك عبر مختلف مراحل سلسلة القيمة الدائرية.

ونظراً لاعتماد الدائرية على توافر بيانات دقيقة وموثوقة، يصبح التقدم في الحلول الرقمية، مثل جواز البطارية الرقمي وآليات مشاركة البيانات الفعالة، عاملاً حاسماً لدعم هذا التحول. وكما أوضح الفصل السادس، وبالتمهيد للمناقشات التي يتناولها الفصل الثامن حول دور التكنولوجيا، أن الابتكار المستمر في تقنيات تخزين البطاريات يمكن أن يسهم في التخفيف من قيود ندرة الموارد الحالية، وأن يلعب دوراً محورياً في تشكيل سلاسل إمداد أكثر استدامة في المستقبل.

9.2.6 الفصل السابع: الاستدامة في قطاع التصنيع:

قبل أن يتناول الفصل الثامن دور التكنولوجيا، ركّز الفصل السابع على تحويل المصانع التقليدية إلى مصانع خضراء ومستدامة بوصفه عنصرًا محوريًا في التحول التشغيلي نحو الحياد الصفري.

وعلى مدى العقدين الماضيين، شكّل تحسين الإنتاج محور اهتمام الباحثين والممارسين. وبينما كان التحول السابق نحو التميز التشغيلي يتمحور أساسًا حول العمليات الداخلية، فإن الإستراتيجية المتكاملة تتطلب الآن منظورًا أوسع يشمل النظام ككل، وهو ما يرتبط بالفصول الثالث والخامس والسادس.

ولتوضيح هذا التحول، استخدم الفصل السابع مثال مصنع بي إم دبليو iFACTORY (المصنع الذكي المتكامل)، الذي يجمع بين الأنظمة الرشيقة، والتقنيات الرقمية، والإنتاج الدائري لمعالجة الاستدامة كليًا.

ومن ثم، أبرز الفصل السابع أن مسؤولية تنفيذ إزالة الكربون والدائرية تبدأ، ولكن لا تنتهي عند حدود عمليات الشركة الداخلية. وشدد على أن الإنتاج المستدام ليس مشروعًا مؤقتًا، بل هو عملية مستمرة تُبنى على خبرة الشركة في إدارة الجودة أو الإدارة الرشيقة. إذ يتطلب هذا النوع من التعلم المستمر الوصول إلى مصادر بيانات متعددة، بدءًا من ماكينات الإنتاج وصولًا إلى العمليات اليدوية، مما يؤكد مجددًا أهمية البيانات والشفافية.

9.2.7 الفصل الثامن: قوة الابتكار التكنولوجي:

إن التحول الجذري المطلوب لتحقيق «الطريق إلى الحياذ الصفري» لا يمكن بلوغه من خلال تحسينات تدريجية للتقنيات القائمة المعتمدة على الوقود الأحفوري، ويظهر ذلك بوضوح في قطاع النقل.

وقد تناول الفصل الثامن البدائل التكنولوجية القادرة على إحلال محرك الاحتراق الداخلي (ICE) بوصفه تقنية الدفع المهيمنة. وقدم الفصل تحليلًا منهجيًا لسلاسل الدفع المستقبلية، بدءًا من أنظمة الدفع الكهربائي، مرورًا بمحركات الاحتراق المعتمدة على الوقود الاصطناعي، وصولًا إلى تقنيات خلايا الوقود. كما ناقش الكفاءة البيئية لكل خيار، إلى جانب التحديات والفرص المرتبطة به، واستعرض مسارات التطور التكنولوجي المحتملة على المدى المتوسط والطويل.

ومن أبرز النتائج التي خلص إليها الفصل غياب حل تكنولوجي واحد شامل، إذ يُتوقع أن تشكّل التقنيات المختلفة عناصر متكاملة ضمن خارطة طريق الحياذ الصفري، تبعًا لحالات الاستخدام والسياقات الجغرافية والقطاعية المحددة. فمن المرجح أن تهيمن المركبات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات على قطاع النقل الشخصي، في حين يمكن أن يؤدي الهيدروجين دورًا مكملًا في تطبيقات مثل النقل لمسافات طويلة، والنقل الثقيل، أو في المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة.

وبصرف النظر عن تقنية الدفع المستخدمة، يُرجّح أن تتسم مركبات المستقبل بكونها ذاتية القيادة، ومتصلة، وكهربائية، ومشاركة، على أن تسهم هذه العناصر مجتمعة، عند دمجها بصورة فعالة، في تعزيز الاستدامة.

غير أن تقنيات الانبعاثات الصفريّة تظل مرهونة بتوافر نظام طاقة داعم، يقوم على إمدادات كافية من الطاقة المتجددة

وبنية تحتية مبتكرة للشحن والتوزيع. وتمثل هذه المهمة مسؤولية مشتركة بين القطاع الخاص وصانعي السياسات العامة، من خلال أطر تنظيمية ملائمة، وحوافز اقتصادية، واستثمارات موجهة لتوفير هذا النظام التمكيني.

وبذلك اختتم الفصل الثامن الدائرة بالعودة إلى النقاشات التمهيدية التي عُرضت في الفصل الثاني، ولا سيما تلك المتعلقة بدور السياسات العامة في توجيه مسارات التحول نحو الحياد الصفري.

9.2.8 نظرة تأملية في الطريق إلى الحياد الصفري:

عند التأمل في الملخص السابق، نود أن نشارك ملاحظتين بالعتي الأهمية: أولاً، لا تدعي المناقشات الموثقة في هذا الكتاب والفصول السبعة الناتجة عنها تقديم رؤية شاملة لكل التحديات والأسئلة المحيطة بـ «الطريق إلى الحياد الصفري». فعلى الرغم من تناول العديد من الموضوعات الحيوية، فإن بعض المنظورات المهمة لم تُطرح بعمق. فعلى سبيل المثال، جرى التطرق إلى دور المستهلكين (كما في الفصل الثالث بوصفهم دافعين للاستدامة، أو في الفصل الخامس عند مناقشة تصميم الخدمات لتعزيز سلوكيات الاستهلاك الدائري)، لكن لم يُستكشف هذا الدور بعمق.

وقد ذكر التفاعل بين التنقل بالسيارات وأنظمة التنقل الأوسع (مثلاً في الفصل السابع عند الحديث عن المدن الذكية)، ولكن لم يُحلل هذا التفاعل بعمق. إذ نتوقع أن تُناقش هذه الجوانب وغيرها من الجوانب التي لم تُبحث كفاية في النقاشات المستقبلية. ثانيًا، يعرض هذا الملخص فصول الكتاب بأسلوب خطي، مما



يوحي بتسلسل متتابع. غير أن التحول الحقيقي نحو الحياذ الصفري بعيد كل البعد عن الخطية؛ إذ يجب أن تحدث جميع العناصر في وقت واحد، مع وجود العديد من الروابط المتبادلة وردود الفعل بين مختلف الموضوعات. لذلك، ستحدد الفقرة التالية وتناقش الموضوعات المتكررة التي تربط الفصول المختلفة والرؤى الناشئة بوصفها دروسًا محتملة يمكن تعلمها عبر الفصول.

9.3 رؤى وموضوعات متكررة عبر الفصول:

بصفتنا محررين، كانت لنا تجربة مثمرة في مراجعة جميع الفصول مراتٍ متعددة، متنقلين غالبًا بين مختلف الأجزاء. وقد أضاءت هذه العملية المتكررة موضوعات ورؤى متكررة تتردد في أنحاء الفصول المختلفة، وأحيانًا عبر الكتاب بأكمله. إذ نقدم بعض هذه الملاحظات في هذه الفقرة.

ومن المهم الإشارة إلى أن هذه الرؤى ليست جميعها جديدة أو غير متوقعة. فبالنسبة لأولئك الذين انخرطوا بعمق في إدارة الاستدامة، قد تبدو بعض النتائج بديهية ومألوفة. ومع ذلك، فإن تكرارها لا يقلل من أهميتها؛ بل يبرز دلالتها. ونشارك هذه الرؤى مع القراء الذين قد يكونون جددًا على هذا الخطاب الخاص بإدارة الاستدامة.

وبغض النظر عما إذا كانت هذه الرؤى جديدة بالنسبة لك، أو تتقاطع مع تجاربك، أو تشير لديك أفكارًا نقدية، فإن هدفنا هو تحفيز نقاش فكري متعمق.

9.3.1 الاستدامة تتطلب تفكيرًا وإدارة متكاملين:

يُعترف على نطاق واسع بأن الاستدامة تتطلب تفكيرًا متكاملًا نظرًا للطبيعة المتعددة الأبعاد لتحدياتها. فمثل هذه التحديات تتقاطع مع مختلف التخصصات والقطاعات واهتمامات أصحاب المصلحة، مما يستدعي فهمًا يتجاوز المعرفة المجزأة في كل تخصص بمفرده. ويتيح التفكير المتكامل دمج وجهات النظر المختلفة والقدرة على رؤية الروابط المتبادلة والتفاعلات، وهو أمر بالغ الأهمية لوضع إستراتيجيات شاملة وفعالة للاستدامة، بحيث تُؤخذ في الحسبان الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية بصورة مترابطة، وليس بصورة منفصلة.

ففي هذا الكتاب، جسّد الخبراء من تخصصات متعددة هذا التفكير المتكامل مع التركيز على الإستراتيجية المتكاملة (الفصل الثالث)، والإفصاح المتكامل (الفصل الرابع)، ودمج الاستدامة في تطوير المنتجات (الفصل الخامس)، وسلاسل القيمة (الفصل السادس)، أو مصنع المستقبل (الفصل السابع). تُبرز هذه المساهمات أن التفكير المتكامل لا يعني فقط النظر المتزامن في العوامل البيئية والاجتماعية والاقتصادية، بل يتطلب أيضًا رؤية شاملة عند تبني منظور دورة الحياة، بحيث تُدمج جوانب الاستدامة من استخراج المواد الخام إلى نهاية عمر المنتج.

ومع ذلك، فإن التفكير المتكامل لا يأتي تلقائيًا. فبالرغم من أن التمايز الوظيفي والتخصصي بين التخصصات أمر ضروري لتحقيق الفهم التفصيلي اللازم لمعالجة التحديات المحددة على الطريق إلى الحياد الصفري، فإن هذا التخصص نفسه يخلق أيضًا حالة من التجزئة تتطلب إعادة دمج. ويؤدي ذلك إلى دعوة قوية لتبني نهج الإدارة المتكاملة، سواء داخل المنظمات أو فيما بينها.



وتركز الإدارة المتكاملة على التعاون والتنسيق عبر مختلف الوحدات داخل المؤسسة، وكذلك بين الأطراف الخارجية المتنوعة. وقد يعني ذلك مواءمة الوظائف الداخلية المختلفة، التي يمثل بعضها موضوعات هذا الكتاب، على أهداف الاستدامة. وقد يشمل أيضاً التعاون مع الأطراف الخارجية مثل الموردين، والعملاء، والحكومات، والمنظمات غير الحكومية، والمجتمعات، للمشاركة في خلق قيمة مستدامة.

فما الخلاصة؟ إن التفكير المتكامل المطلوب لتحقيق الاستدامة يجب أن يُستكمل بأشكال مناسبة من الإدارة المتكاملة. ولا يعني ذلك فقط دمج الاستدامة في وظائف الشركات الفردية؛ بل يشمل أيضاً بناء هياكل تنظيمية تعزز التعاون بين الأقسام المختلفة ومشاركة المعرفة. إذ أصبح من الضروري مواءمة الحوافز التي تربط الأدوار والمسؤوليات الفردية بالصورة الأكبر للاستدامة.

9.2.3 الاستدامة: هدف دائم التغيير:

إن القول بأن «الاستدامة هدف دائم التغيير» لا يقتصر على كونه مقولة شائعة في هذا الحقل، بل يعكس واقعاً عملياً لمسناه بوضوح أثناء العمل على هذا الكتاب. فمنذ انطلاق الحوارات بين الخبراء في عام 2021 وحتى اكتمال الكتاب، طرأت تحولات ملحوظة على مضمون النقاشات. وبعض القضايا التي كانت تُعد حديثة في المراحل الأولى باتت اليوم أقل راهنية. ومع ذلك، جرى الحفاظ على جوهر هذه النقاشات، مع إدخال تعديلات مدروسة عند الضرورة. كما حرصنا على تنظيم حوارات الخبراء ضمن فصول متكاملة تركز على الرؤية الشاملة طويلة المدى، بهدف تقديم قيمة معرفية مستدامة للقراء.

تُعد الاستدامة هدفًا متغيرًا بطبيعتها لأنها تعمل ضمن نظام معقد وديناميكي يتسم بالتحول المستمر. فالعوامل الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والتكنولوجية ليست ثابتة، بل تتغير باستمرار، ويؤثر كل منها في كيفية فهم الاستدامة، وفي الدوافع والآليات المعتمدة لمعالجتها.

فعلى سبيل المثال، مع تعمق المعرفة العلمية بتغير المناخ، تزداد طموحات أهداف خفض الانبعاثات الكربونية (الفصل الثاني). وبالمثل، تؤدي تحولات متطلبات السوق والأطر التنظيمية إلى إعادة تشكيل دوافع واستراتيجيات الاستدامة على مستوى الشركات (الفصل الثالث).

ومنذ بداية مشروع هذا الكتاب، أسهمت التغيرات التنظيمية المتسارعة في إعادة رسم مشهد الإفصاح عن الاستدامة (الفصل الرابع). كما أعادت الاضطرابات الجيوسياسية تشكيل النقاش حول سلاسل القيمة المستدامة والمرنة بين الحوارات الأولى في عام 2021 وتاريخ النشر في عام 2023 (الفصل السادس). وأخيرًا، يفتح التسارع التكنولوجي، ولا سيما التقدم السريع في تقنيات الذكاء الاصطناعي، آفاقًا جديدة لتعزيز الدائرية (الفصل الخامس)، والتصنيع المستدام (الفصل السابع)، وكذلك التنافس المتسارع بين أنظمة الدفع الخضراء (الفصل الثامن).

إذن، ما الخلاصة؟ على «الطريق إلى الحياد الصفري»، يجب علينا باستمرار تحديث فهمنا لهدفنا للطريق المؤدي إليه. فالتبيعة متعددة الأبعاد للاستدامة تعني أن التقدم في مجال ما قد يطلق تحديات وفرصًا جديدة في مجالات أخرى. ولذلك، فالاستدامة ليست هدفًا ثابتًا، بل هي رحلة مستمرة ومتطورة تتطلب إعادة تقييم دائم وضبط إستراتيجياتنا وأهدافنا.

تتطلب هذه الرحلة التعلم التكراري، والأهم من ذلك، التخلي عن المفاهيم القديمة. ويجب علينا إعادة تقييم ما تعلمناه بالأمس، وربما نضطر للتخلي عن بعض الإجابات والممارسات القديمة من أجل تطوير إجابات جديدة غدًا. ويتطلب ذلك أيضًا التشكيك في المسؤوليات

المؤسسية الراسخة، ونماذج الأعمال، والتقنيات، وحتى فكرة العمل المنفرد. ويُعدّ التخلي عن المفاهيم القديمة أمرًا صعبًا، خاصةً في حالة العزلة. لذا، فإنّ التعاون والتعرض لوجهات نظر بديلة أمران حاسمان للتعلم والنجاح، وهو ما يقودنا إلى الرؤية التالية.

9.3.3 الاستدامة: سباق لا يمكن الفوز به منفردًا:

تُعدّ التحديات المرتبطة بالاستدامة، وعلى رأسها تغيّر المناخ، مشكلات منهجية بطبيعتها، ولا يمكن التعامل معها إلا من خلال حلول منهجية شاملة. ومن هذا المنطلق، يتمحور «الطريق إلى الحياد الصفري» حول إحداث تحول جذري في النظام ككل. غير أنّ ما أبرزته معظم حوارات الخبراء في هذا الكتاب هو أنّ أي شركة أو مؤسسة، مهما بلغ حجمها، لا تستطيع بمفردها إحداث هذا التحول. فالتقدّم نحو مستقبل مستدام يتطلب تعاونًا واسع النطاق يتيح تجميع الموارد، وتبادل المعارف، وتنسيق الجهود حول أهداف مشتركة.

يمثّل التعاون مع أصحاب المصلحة ممارسة مألوفة في عالم الأعمال؛ إذ يُعدّ خلق القيمة المشتركة مع العملاء والموردين والمستثمرين والموظفين والمجتمعات عنصرًا أساسيًا في تعريف الشركة الناجحة وأحد مرتكزات النمو المستدام. غير أنّ «الطريق إلى الحياد الصفري» يفرض أشكالًا أعمق وأكثر تعقيدًا من التعاون. وانطلاقًا من تركيز هذا الكتاب على قطاع السيارات، يمكن إبراز ثلاثة أنماط رئيسة من الشراكات الضرورية لتحقيق هذا التحول.

أولاً، يُعدّ التعاون بين القطاعين العام والخاص شرطًا أساسيًا لتأسيس حلول تنقل مستدامة. ويشمل ذلك تنظيم أسواق الطاقة، وتسيير الكربون، وبناء البنية التحتية اللازمة للتنقل الكهربائي والهيدروجيني،

بدءاً من توليد الطاقة المتجددة، مروراً بالتوزيع والتخزين، وصولاً إلى بنية الشحن (الفصلان الثاني والثامن).

ثانيًا، يفرض السعي نحو الحياد الصفري على الشركات تحمّل مسؤولية الأثر البيئي لدورة حياة منتجاتها بالكامل. وتكتسب هذه المسألة أهمية خاصة في قطاع السيارات، حيث يؤدي الانتقال إلى المركبات الكهربائية إلى نقل الجزء الأكبر من الانبعاثات من مرحلة الاستخدام إلى المراحل الأولية من سلسلة القيمة (الفصل السادس). ويتطلب التعامل الجاد مع هذا الأثر بناء شراكات أعمق عبر سلسلة القيمة، تشمل تبادل بيانات الاستدامة، وتطوير ودمج التقنيات الأقل أثرًا بيئيًا، وإنشاء تدفقات مادية دائرية (الفصل الخامس). فعلى سبيل المثال، يمكن للمصنّعين الأصليين تقليل بصمتهم الكربونية من خلال استبدال المواد الأولية بمواد ثانوية، غير أن تنفيذ هذه الحلول يستلزم تنسيقًا معقدًا عبر سلسلة الإمداد، كما أوضح الفصل السادس في حالة بطاريات المركبات الكهربائية.

ثالثًا، تتطلب إزالة الكربون على مستوى الصناعات والقطاعات بأكملها تعاونًا بين المنافسين أنفسهم، بهدف تطوير معايير صناعية مشتركة وتهيئة بيئة تنافسية متكافئة تدعم الاستدامة (الفصل الثالث). وقد بدأت مثل هذه الجهود بالفعل في قطاع السيارات من خلال مبادرات كـ «Drive Sustainability»، التي تجمع كبار المصنّعين الأصليين لتحسين استدامة سلاسل الإمداد، وكذلك عبر النظام البيئي الرقمي الناشئ «كاتينا-إكس» (الفصلان الخامس والسادس).

ما الخلاصة إذن؟ بات التعاون مفهومًا راسخًا لا يُجادل في أهميته، لكنه في التطبيق العملي عملية معقدة. فتتسيق شركاء

متنوعين يضاعف مستويات التعقيد، ويتطلب مواءمة مصالح غالباً ما تكون متباينة أو متعارضة. ورغم أن «الطريق إلى الحياد الصفري» يقوم على التزام مشترك بمستقبل مستدام، فإن وجهات نظر الشركات والجهات التنظيمية وأطراف المجتمع المدني تختلف، بل وتتباين حتى داخل القطاع الواحد. ففي صناعة السيارات نفسها، يتنافس المصنعون الأصليون والموردون على خلق القيمة، ويسعى المنافسون إلى التفوق بعضهم على بعض، كما تتنافس الشركات على الحصة السوقية.

لا تُلغى المنافسة ولا تختفي تضاربات المصالح في سياق الاستدامة؛ بل تكمن المهمة في بناء شراكات تعترف بهذه الاختلافات وتعمل على توجيهها نحو هدف مشترك. ومن ثم، يصبح التزاماً على الشركات تطوير كفاءاتها في إدارة الشراكات، بما يشمل القدرة على المنافسة ضمن أطر متفق عليها، والمساهمة في الوقت ذاته في تحسين هذه الأطر وصياغتها بما يخدم التحول المستدام.

9.3.4 البيانات هي الأساس: المؤشرات القابلة للقياس، والأهداف، والشفافية، والتحول الرقمي:

تُعَدّ البيانات، والمؤشرات القابلة للقياس، والأهداف الواضحة، والشفافية، والتحول الرقمي، عناصر جوهرية في «الطريق إلى الحياد الصفري». ومنذ بداية هذا الكتاب، جرى التأكيد على مبدأ أساسي مفاده أن «ما يُقاس، يُنَجَز». ويعني ذلك أن التقدم نحو الاستدامة لا يمكن أن يتحقق إلا إذا استند إلى بيانات موثوقة وأدلة راسخة، ولا سيما في ما يتعلق بخفض الانبعاثات الكربونية في القطاعات الصناعية. فغياب هذه الأسس يحوّل جهود الاستدامة إلى مبادرات غير موجهة، تفتقر إلى الأثر القابل للتحقق.

ويمثّل اختيار المؤشرات المناسبة الخطوة الأولى والحاسمة في هذا المسار. وفي سياق تغيّر المناخ، تبدو نقطة الانطلاق واضحة نسبيًا؛ إذ يشكّل ثاني أكسيد الكربون (CO₂) وغيره من غازات الدفيئة المحددة في بروتوكول كيوتو، والمعبر عنها بمكافئات ثاني أكسيد الكربون، المرجع الرئيس للنقاشات والسياسات المناخية عالميًا. وتتيح هذه المؤشرات صياغة أهداف كمية قابلة للمقارنة على المستويين العالمي والمؤسسي.

وعلى المستوى العالمي، تُعدّ أهداف حصر الاحترار العالمي عند درجتين مئويتين أو 1.5 درجة مئوية، إلى جانب مفهوم ميزانية الكربون المتبقية، معايير مركزية لتقييم فعالية الجهود المناخية. وتكشف هذه المؤشرات بوضوح الفجوة القائمة بين المسارات الحالية والمسارات المطلوبة لتحقيق الأهداف المناخية المتفق عليها.

أما على مستوى الشركات، فتتيح أطر مثل مبادرة «الأهداف القائمة على أسس علمية» مواءمة استراتيجيات إزالة الكربون المؤسسية مع المسارات العالمية، من خلال ترجمة الأهداف الكلية إلى أهداف تشغيلية قابلة للتطبيق والقياس باستخدام مؤشر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

ولا تقل أهمية تحديد نطاق القياس عن أهمية اختيار المؤشرات نفسها. فعلى الصعيد العالمي، يشمل القياس مجموع الانبعاثات البشرية، بينما تتسم الصورة على مستوى الشركات بدرجة أعلى من التعقيد. إذ تنشأ الانبعاثات جزئيًا من العمليات الداخلية، وجزئيًا آخر من المراحل السابقة واللاحقة ضمن سلسلة القيمة.

وهنا يبرز نهج تقييم دورة الحياة بوصفه أداة أساسية لقياس الانبعاثات على نحو شامل، إذ يأخذ في الحسبان الانبعاثات المتولدة عبر جميع مراحل دورة حياة المنتج، بدءًا من استخراج المواد الخام، مرورًا بالتصنيع والاستخدام، وصولًا إلى نهاية العمر. وتسهم هذه المقاربة في كشف مصادر الانبعاثات غير المرئية في القياسات التقليدية، بما يدعم

اتخاذ قرارات أكثر دقة وفعالية. غير أن هذا الاتساع في النطاق يزيد من تعقيد القياس، لا سيما فيما يتعلق بانبعاثات النطاق الثالث داخل سلسلة القيمة، التي يصعب قياسها والتأثير فيها على نحو مباشر.

ومع ذلك، فإن المؤشرات والأهداف والنطاقات المحددة تفقد قيمتها ما لم تُدعم ببيانات عالية الجودة. فدفع عملية إزالة الكربون داخل أنظمة معقدة كسلاسل القيمة يتطلب بيانات دقيقة، ومحدثة، وقابلة للمقارنة. وتمكّن هذه البيانات الشركات من تحديد نقاط التأثير الأكبر، وتنفيذ التدخلات المناسبة، ثم تتبع نتائجها بصورة منهجية، بما يحوّل الاستدامة من طموح معلن إلى ممارسة قابلة للتحقق.

ولكن إنتاج بيانات عالية الجودة ليس باليسير. ففي الوقت الحالي، تعتمد غالبية تقديرات انبعاثات النطاق الثالث على قواعد بيانات، وليس على بيانات فعلية وفورية. ويضاف إلى ذلك تحدٍ آخر، وهو تردد الموردين غالباً في مشاركة بياناتهم.

ولمواجهة هذه التحديات، نحتاج إلى التعاون والابتكار التكنولوجي. تُقدم المنصات الرقمية مثل «كاتينا-إكس» نموذجاً يُبشر بالخير، مُظهرة كيف يمكن للحلول الرقمية أن تُسهّل مشاركة البيانات ضمن إطار الطريق إلى الحياد الصفري.

لا يمكن المبالغة في دور الحلول الرقمية في تسريع الوصول إلى الحياد الكربوني أبداً؛ فالرقمنة تمتلك القدرة على تعزيز الشفافية فيما يتعلق بانبعاثات الكربون ضمن سلاسل القيمة. وتقنيات مثل تقنية سلسلة الكتل (البلوك تشين)، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء تُوفّر مستوى غير مسبوق من الوضوح حول البصمة البيئية للمنتجات والخدمات على مدار دورة حياتها بأكملها.

وعلى سبيل المثال، يمكن لأجهزة إنترنت الأشياء التقاط بيانات الانبعاثات

لحظيًا في كل مرحلة من مراحل الإنتاج والتوزيع، بدءًا من استخراج المواد الخام وصولًا إلى المستخدم النهائي. بعد ذلك، يتولى الذكاء الاصطناعي معالجة هذا الكم الهائل من البيانات لتوليد رؤى قابلة للتنفيذ، وتحديد النقاط الساخنة للانبعاثات، واقتراح إستراتيجيات فعالة للتخفيف منها. وفي الوقت نفسه، تُمكن تقنية سلسلة الكتل (البلوك تشين) من تأمين هذه البيانات وضمان سلامتها وحمايتها من التلاعب. فهذا السجل المشترك واللامركزي يسمح لكل مشارك في سلسلة القيمة بالوصول إلى نفس بيانات الانبعاثات والتحقق منها، مما يعزز ثقافة المساءلة والتعاون. وبهذه الطريقة، ومن خلال تسخير قدرات هذه التقنيات الرقمية، يمكننا بناء نظام قائم على البيانات يتميز بالشفافية والموثوقية لتتبع وتقليل انبعاثات الكربون عبر سلاسل القيمة.

وأخيرًا، تُعد البيانات ذات أهمية قصوى في صنع القرار الداخلي. فالإبلاغ عن هذا النوع من البيانات، بكل تعقيداته وتفصيله الدقيقة، أمرٌ بالغ الأهمية لضمان الشفافية وبناء الثقة بين جميع الأطراف المعنية. إذ لا تعزز الشفافية المساءلة فحسب، بل تُهيئ أيضًا بيئة لتبادل أفضل الممارسات وتكرارها، مما يسرّع من وتيرة التحول على مستوى الصناعة نحو الاستدامة.

إذن، ما الخلاصة؟ ببساطة، يعتمد التقدم في الطريق إلى الحياد الصفري على جودة البيانات التي تُوجّهنا هذا يعني أن على الشركات تبني نهج علمي لتحديد مؤشرات موثوقة ووضع أهداف تتماشى مع الأهداف المجتمعية للاستدامة. ولأخذ التأثيرات الشاملة لدورة الحياة في الحسبان، يتطلب التعاون عبر سلسلة قيمة تدفق البيانات والمعلومات على طولها. وهنا، تُقدم الرقمنة الابتكارات الثورية اللازمة لإنتاج هذه البيانات وتبادلها ومعالجتها والإفصاح عنها وفقًا لهذا المستوى الجديد من التعقيد.

9.3.5 ليس كل ما يهم يمكن قياسه (بدقة):

بينما تُعدّ البيانات والمؤشرات والقياسات ضرورية للغاية في الطريق إلى الحياد الصفري، فقد أكدت العديد من الفصول على أن هناك عوامل أخرى لا تقل أهمية لتحقيق انتقال ناجح نحو الاستدامة. إذ نتحدث هنا عن أمور مثل الرؤية والقيادة والثقافة.

صحيح أن المؤشرات حاسمة لتتبع التقدم واتخاذ القرارات، لكن طبيعتها الانتقائية تفرض عليها قيودًا. فمن أبرز التحديات التي تواجهها هي الأبعاد المتعددة للاستدامة. فالاستدامة تشمل طيفًا واسعًا من العناصر، بدءًا من حماية البيئة وصولًا إلى العدالة الاجتماعية والجدوى الاقتصادية. وبينما يمكن قياس بعض هذه الجوانب وتحويلها إلى أرقام، إلا أن هناك جوانب أخرى نوعية وغير ملموسة، يصعب دمجها كلها في مؤشر استدامة شامل واحد.

وعلاوة على ذلك، فإن الانتقال نحو الاستدامة الذي يناقشه هذا الكتاب يحدث في عالمٍ نطلق عليه «VUCA» (متقلب، غير مؤكد، معقد، وملتبس). إذ يستلزم التنبؤ بالسيناريوهات أو النتائج المستقبلية التعامل مع العديد من المتغيرات والافتراضات، والتي قد تتغير بفعل عوامل لا يمكن التنبؤ بها. لذا، فرغم أن المؤشرات يمكن أن توجه أفعالنا وقراراتنا، فإنها لا تستطيع التنبؤ بالمستقبل كليًا، ولا أن تعكس التعقيد الشامل للاستدامة.

وهنا تبرز الأهمية القصوى للرؤية والقيادة والثقافة والالتزام بعيد المدى. إذ لا يقتصر دور القيادة على فهم المؤشرات واستخدامها، بل يمتد إلى تقديم رؤية للمستقبل تتجاوز حدود هذه القياسات. فقد يحتاج القادة إلى إلهام الآخرين وتحفيزهم والعمل على غرس ثقافة استدامة تستند إلى القيم والمعتقدات بقدر ما تستند إلى البيانات والأدلة. هذه

الثقافة بدورها يمكن أن تُشكل السلوكيات والقرارات بطرائق يصعب قياسها بدقة، لكنها تظل ضرورية لتحقيق أهداف الاستدامة. وخير مثال على ذلك هو هدف الحد من الاحتباس الحراري عند 1.5 درجة مئوية، الذي يشكل الأساس لمفهوم الطريق إلى الحياد الصفري. فرغم أن هذا الهدف مستند إلى بيانات علمية حول التأثيرات المحتملة لتغير المناخ، فإن القرار بتحديدده كان في النهاية قرارًا سياسيًا. إذ يمثل رؤية جماعية لمستقبل نُقيد فيه الاحتباس الحراري بمستوى، وفقًا للإجماع العلمي، قد يمنع أشد الآثار كارثية لتغير المناخ. وتعد هذه الرؤية، والقيادة اللازمة لتحقيقها، مكملات أساسية للمؤشرات التي توجه مسيرتنا نحو الاستدامة.

إذن، ما الخلاصة؟ يتطلب الانتقال نحو الاستدامة نهجًا متوازنًا. ويجب أن نجمع بين التقدم التكنولوجي واتخاذ القرارات المستندة إلى الأدلة من جانب، وبين القيم المشتركة والرؤية الواضحة من جانب آخر. فالمؤشرات وحدها، دون رؤية توجيهية، قد تفتقر إلى الاتجاه وقد لا تؤدي إلى تغييرات ذات معنى حقيقي. وفي المقابل، قد تفضي الرؤية الطموحة بدون حقائق موثوقة إلى حلول سطحية أو غير فعالة.

ويتطلب تحقيق الاستدامة تكاملًا مدروسًا بين هذين الجانبين. إذ يجب أن تُبنى إستراتيجيتنا الشاملة على أسس علمية راسخة، وأن تكون موجهة في الوقت ذاته بالقيم والتطلعات المشتركة.

9.4 ما بعد الطريق إلى الحياد الصفري:

لقد جمع هذا الكتاب رؤى مختارة، كل منها يلعب دورًا مهمًا في إطار الطريق إلى الحياد الصفري. ورغم أننا ركزنا على القضية الملحة لتغير المناخ، فإنه كما أشرنا سابقًا، الاستدامة هدف متحرك. إذ إنها تتطور باستمرار مع تعاظم فهمنا لعلاقتنا بكوكب الأرض وإدراكنا

لمسؤولياتنا المشتركة. ولذا، فإن الوصول إلى الحياد الصفري يُعد محطة مهمة، لكنه ليس الوجهة النهائية.

ففي هذا القسم، نسلط الضوء على عدد من الموضوعات النموذجية التي تستحق المزيد من البحث والتعمق، والتي تتجاوز نطاق هذا الكتاب. ورغم أن هذه الموضوعات قد طُرحت بالفعل ضمن محتوى الكتاب، فإنها تدعو إلى استكشاف أعمق في سعيينا المستمر نحو تحقيق الاستدامة. وهذه القائمة ليست شاملة، لكنها كافية لتوضيح الإمكانيات الكبيرة لمزيد من التعاون بين الجامعات والصناعة في هذا المجال.

9.4.1 ما بعد إزالة الكربون:

ركز هذا الكتاب على «الطريق إلى الحياد الصفري»، مُدرِّكًا الحاجة الملحة لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لمواجهة أزمة المناخ المستمرة. إذ تعد خطوة مهمة جدًا في معالجة تحديات الاستدامة. ولكن يجب أن نُدرِك أن إزالة الكربون ليس التحدي البيئي الوحيد الذي نواجهه اليوم. فبالإضافة إلى انبعاثات الكربون، هناك تحديات بيئية أخرى مُلحة، مثل البصمة الكبيرة لاستهلاكنا للموارد المادية. هذه البصمة لا تؤثر فقط في انبعاثات الكربون، بل تطال أيضًا التنوع البيولوجي، وموارد المياه، والقضايا الاجتماعية، بما في ذلك صحة الإنسان.

لقد كشف تقرير الموارد العالمي الصادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) في عام 2019 أن استخراج الموارد قد تضاعف ثلاث مرات منذ عام 1970، بينما تضاعف عدد السكان فقط خلال الفترة نفسها. وتُسهم الصناعات الاستخراجية في نصف انبعاثات الكربون في العالم، وتتسبب بأكثر من 80% من خسارة التنوع البيولوجي.

فأنماط الاستهلاك الحالية، حيث يستخدم العالم أكثر من 92 مليار طن من المواد سنوياً بمعدل نمو سنوي يبلغ 3.2%، هي أنماط غير مستدامة. والتغيرات في استخدام الأراضي الزراعية مسؤولة عن أكثر من 80% من خسائر التنوع البيولوجي و85% من الإجهاد المائي. وكذلك، يُسهم استخراج المعادن ومعالجتها الأولية في التأثيرات الصحية الناتجة عن تلوث الهواء، وكذلك في انبعاثات الكربون العالمية.

وللتصدي لهذه القضايا، نحتاج إلى فك الارتباط بين النمو الاقتصادي والاستهلاك المادي. إذ يمكن تحقيق ذلك من خلال «الاقتصاد الدائري» الذي لا يقلل فقط من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، بل يخفف أيضاً من الضغط على الموارد المحدودة لكوكبنا.

ولقد تناول الفصل الخامس من هذا الكتاب أهمية (الإبطاء)، و(التضييق)، و(إغلاق) تدفقات المواد لهذا الغرض بالتفصيل. وهناك بالفعل قاعدة معرفية واسعة في مجال إدارة الاستدامة لتنفيذ ممارسات الاقتصاد الدائري عبر إستراتيجيات مختلفة. ومع ذلك، وبالمقارنة مع الطريق إلى الحياد الصفري المتعلق بالمناخ، ما يزال الطريق طويلاً أمام هذا التوجه.

إن أهمية «الطريق إلى الحياد الصفري» تتجاوز مجرد كونه مرتبطاً بتغير المناخ. فهو يرمز إلى المحاولة الأولى للبشرية لترجمة حدود كوكب الأرض الحرجة إلى أطر سياسات وأهداف مؤسسية تستند إلى العلم. يُدرك الطريق إلى الحياد الصفري أن رفاهية الإنسان والنمو الاقتصادي يجب أن يتماشيا مع القدرة الاستيعابية البيئية لكوكبنا، ويُعد نظام المناخ أحد هذه الحدود الكوكبية.

ويُوفر «اتفاق باريس» وما يرتبط به من أطر معياراً مقبولاً لتغير المناخ. إلا أن الأمر يختلف بالنسبة للحدود الكوكبية الأخرى، مثل

التنوع البيولوجي. فعملية تطوير المؤشرات العالمية والأهداف ومسارات التنمية لتحقيقها، وكذلك الأهداف الخاصة بالشركات والمعايير اللازمة لقياس الأداء ومقارنته، ما تزال في مراحلها الأولى.

ولقد ركز هذا الكتاب على الطريق إلى الحياد الصفري بالنسبة لانبعاثات غازات الدفيئة. ومع ذلك، يجب على البشرية أيضاً أن تُغير مسار فقدان التنوع البيولوجي، والتربة، أو موارد المياه العذبة. ومع اعتماد «إطار التنوع البيولوجي العالمي» في ديسمبر 2022 في مؤتمر الأمم المتحدة للتنوع البيولوجي (COP15) في مونتريال، قد ينشأ مسار جديد نحو الحياد الصفري فيما يخص فقدان التنوع البيولوجي. تُعد الأهداف القائمة على أسس علمية للطبيعة (Science-Based Targets for Nature – SBTN) مبادرة مرتبطة بهذا المسار، وهي امتداد لمبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية (SBTI) الخاصة بالمناخ لتشمل جوانب أخرى من الطبيعة.

وتهدف هذه المبادرة إلى تطوير أهداف كمية تستند إلى العلم للتخفيف من آثار التدهور البيئي وفقدان التنوع البيولوجي. ورغم أن نجاح هذه المبادرة لم يتضح بعد، فإن إمكاناتها في التأثير على أنشطة الشركات تُعد أمراً مشجعاً.

وتواجه الشركات أيضاً تحديات كبيرة تتعلق بتأثيرها الاجتماعي الأوسع، بما في ذلك مسؤوليتها في احترام حقوق الإنسان وحمايتها. فمع تحول الصناعات نحو الكهرباء، والطاقة النظيفة، والاقتصاد الدائري، تزداد تعقيدات سلاسل الإمداد العالمية. وهذا التعقيد المتزايد يطرح مخاطر جديدة للتورط غير المباشر في انتهاكات حقوق الإنسان. ويُكلف الشركات بضمنان ممارسات عمل عادلة، ليس فقط داخل مؤسساتها، بل أيضاً في سلاسل الإمداد التابعة لها، والتي تمتد عبر ولايات قضائية متعددة بمعايير عمل متفاوتة. وحتى التقدم السريع

في التكنولوجيا، مثل الأتمتة والذكاء الاصطناعي، قد أدخل تحديات جديدة فيما يخص حماية الخصوصية ومنع التمييز.

وكما هو الحال في الطريق إلى الحياد الصفري يتعين على الشركات تعزيز التعاون الفعال مع الحكومات، والمنظمات غير الحكومية، والمجتمعات المحلية للتصدي لهذه القضايا بنجاح. إذ يجب عليها وضع آليات شكاوى فعالة وعمليات تصحيحية متينة للاستجابة السريعة والفعالة عندما تسوء الأمور. ولا يمكن المبالغة في أهمية الشفافية والمساءلة في هذا الصدد. ومع ذلك، وكما ناقشنا بالنسبة للتحديات البيئية، فإن تطوير مؤشرات ومعايير شاملة لقياس الأداء في مجال حقوق الإنسان، ومقارنته، والإبلاغ عنه، ما يزال عملية مستمرة. هذا يعكس مرة أخرى الطبيعة المتغيرة والمتحركة لمفهوم الاستدامة.

وأخيراً، يُعد إدراك الترابط والتداخل بين مختلف تحديات الاستدامة أمراً بالغ الأهمية. فعلى سبيل المثال، التحول إلى السيارات الكهربائية واعدٌ جداً في تقليل انبعاثات الكربون، لكنه قد يزيد بصورة غير مباشرة الطلب على معادن معينة، مما يؤدي إلى تفاقم مشكلات التنوع البيولوجي ويثير تحديات تتعلق بحقوق الإنسان.

وبالمثل، ليس الانتقال إلى الاقتصاد الدائري خالياً من التعقيد؛ فقد يتطلب ذلك إدارة المفاضلات بين خفض انبعاثات غازات الدفيئة، وترشيد استهلاك المياه، والحد من التأثيرات في التنوع البيولوجي، وتحسين استخدام الأراضي، وتقليل الانبعاثات الخطرة. إذ يتعين على الشركات التي تسعى إلى تطبيق الاقتصاد الدائري أن تفهم هذه المفاضلات فهماً دقيقاً، وتضع معايير صارمة لتقييمها ومقارنتها عند اتخاذ القرارات الحاسمة.

ومع استمرارنا في رحلتنا نحو مستقبل مستدام، من الضروري أن يكون نهجنا شاملاً، ومتوازناً، ومُدرِكاً لهذه الجوانب المتداخلة لمفهوم الاستدامة.

9.4.2 ما بعد تقليل الأضرار السلبية: نحو التأثير الإيجابي الصافي:

بينما ركز نقاشنا حول الطريق إلى الحياد الصفري على كيفية خفض انبعاثات الكربون، انصب الاهتمام كلياً على الحد من الأثر السلبى للشركات على بيئتها. ولا شك أن تخفيف الأضرار له أهمية بالغة، وهي حقيقة تناولناها باستفاضة. ومع ذلك، فإن التركيز المفرط على تقليل الأضرار قد يُلقي بظلاله على جانب آخر لا يقل أهمية: الأثر الإيجابي الذي يتوقعه المجتمع من الشركات.

تشمل هذه المساهمات الإيجابية مجموعة واسعة من العوامل، بدءاً من منفعة المنتجات والخدمات التي تقدمها الشركات لتلبية احتياجات الإنسان المتعددة، إلى فرص النمو المالى والشخصى التي توفرها للموظفين، وصولاً إلى العوائد المالية التي تُوزع على المستثمرين والمجتمع من خلال الضرائب.

وفي سياق الطريق إلى الحياد الصفري، يصبح الاعتراف بالدور الإيجابى للشركات أمراً بالغ الأهمية لضمان ألا تؤدي المحاولات الصادقة للحد من الآثار السلبية، مثل خفض انبعاثات الكربون، إلى إحداث ضرر غير متناسب في جوانب أخرى، وذلك عبر تقويض القيمة التي تضيفها الشركات لأصحاب المصلحة.

كما أن فهم كيفية قدرة الشركات على إحداث تأثيرات إيجابية ضروري أيضاً لتحقيق أهداف الحياد الصفري، كما ناقش هذا الكتاب. فالمصطلح نفسه «الحياد الصفري» يشير إلى التوازن؛ فهو لا يعنى الغياب المطلق للانبعاثات، بل يعكس فكرة إمكانية تعويض الانبعاثات المتبقية في الغلاف الجوى من خلال إزالتها أو تخزينها في مكان آخر.

ففي «اتفاق باريس»، تنص أهداف الحياد الصفري على أنه بحلول عام 2050، يجب أن تكون الانبعاثات العالمية أقرب ما يمكن إلى الصفر، ومع امتصاص أي انبعاثات متبقية من الغلاف الجوي عبر المحيطات أو الغابات مثلاً. وهذا يُبرز الحاجة إلى إزالة الكربون، مما يوجه الاهتمام إلى الإجراءات ذات الأثر الإيجابي.

وبالمثل، ينص «معيار الحياد الصفري» الصادر عن مبادرة الأهداف القائمة على أسس علمية على أن الشركات التي تسعى للامتثال لهذا المعيار الطموح يجب ألا تكتفي بتحديد أهداف قوية للتقليل (خفض ما لا يقل عن 90% من الانبعاثات بحلول عام 2050)، بل يجب عليها أيضاً تحييد أي انبعاثات متبقية من خلال إزالة الكربون وتخزينه.

يمتد التركيز على الأنشطة ذات الأثر الإيجابي إلى ما هو أبعد من مجرد انبعاثات الكربون الصافية، ليشمل أهداف صافي التأثير الصفري فيما يتعلق بالتنوع البيولوجي والمياه. فهنا، يتعين على الشركات، في حال حدوث خسائر في التنوع البيولوجي لا يمكن تجنبها، تحييد هذه الآثار السلبية المتبقية من خلال إجراءات ذات أثر إيجابي.

ومن ثم، فإن الأنشطة ذات الأثر الإيجابي تُعد محورية لتحقيق أي هدف من أهداف الحياد الصفري. ومع ذلك حتى عند الوصول إلى هذه المحطة، فإن الحياد الصفري أو «صافي خسائر التنوع البيولوجي» لا تعني سوى التوق عن إحداث أضرار مستقبلية لمناخنا وبيئتنا الطبيعية. أما الأضرار القائمة والنظم البيئية المتدهورة فما تزال بحاجة إلى معالجة، وهنا يبرز دور ممارسات الأعمال التجديدية.

تمثل ممارسات الأعمال التجديدية نموذجاً ناشئاً يهدف إلى استعادة مصادر الطاقة والمواد التي تعتمد عليها الشركات وتجديدها وتعزيزها..

يتجاوز هذا المفهوم الاستدامة التقليدية، حيث لا يقتصر على تقليل الأضرار بل يمتد ليشمل الإصلاح والتحسين الفعال للبيئات والمجتمعات التي تعمل فيها الشركات. فهذه الممارسات تجسد جوهر التجديد إذ إنها، بطبيعتها، إيجابية حيادية. فهي تمكن الشركات من تصميم أنظمة لا تكتفي بالصون، بل تعزز أيضاً قدرة البيئة والمجتمعات على الازدهار. ويمكن للشركات تطبيق هذه الممارسات التجديدية ضمن عملياتها الداخلية، أو تشجيع مورديها على اتباعها، أو التعاون مع أطراف ثالثة (مثل استعادة النظم البيئية الطبيعية أو إزالة الكربون من الغلاف الجوي).

إن هذه القدرات على إحداث آثار إيجابية، سواء كانت فردية أو بالتعاون مع الآخرين، تفتح آفاقاً واسعة تتجاوز محطة الحياد الصفري. ومن ثم، فإن المرحلة التالية من الطموح قد تكون الطريق إلى الحيادية الإيجابية.

9.4.3 ما بعد المسارات الأحادية: أهمية دور المكان في الاستدامة:

التعامل مع تغير المناخ من خلال «الطريق إلى الحياد الصفري» هو جهد عالمي كبير. ولكن من الضروري جداً أن ندرك أن الحلول والمساهمات تعتمد اعتماداً كبيراً على السياق المكاني الذي نطبقها فيه.

لقد تطرق هذا الكتاب لهذا البعد الجغرافي باختصار، لكننا في حاجة ماسة إلى بحث أعمق وحوارات أوسع بين مختلف القطاعات في الدراسات المستقبلية.

ويُعد المكان عاملاً بالغ الأهمية عندما يتعلق الأمر بمسارات التحول نحو الاستدامة. فمن منظور الشركات، تتأثر عوامل متعددة بالموقع الجغرافي

الذي تعمل فيه الشركة. وهذه العوامل تشمل: البيئة التمكينية، ومحركات الإستراتيجية، والبدائل المحتملة، والقيود العملية، وحتى الفوائد المتوقعة من تبني الاستدامة. إذ غالبًا ما تواجه الشركات سياقات بيئية مجزأة، وأحيانًا متناقضة، مما يفرض تحديات كبيرة عند محاولة صياغة إستراتيجية موحدة ومتسقة.

فعلى سبيل المثال، في الفصلين الثاني والثامن وما بعدهما، يبرز هذا الكتاب دور السياسات العامة في تشكيل إستراتيجيات الاستدامة المؤسسية، بدءًا من تنظيم أسواق الطاقة وتسعير الكربون، مرورًا بالسياسات المتعلقة بالمنتجات والتقنيات (مثل انبعاثات أساطيل المركبات أو حظر محركات الاحتراق الداخلي)، وصولًا إلى تطوير البنية التحتية (مثل محطات الشحن). ولكن، السياسات العامة ليست موحدة عالميًا. فمثلًا، تختلف اللوائح الناشئة الخاصة بإعادة تدوير البطاريات الكهربائية بين الصين والاتحاد الأوروبي. وهذا يعني أن متطلبات إستراتيجية الاستدامة للشركات تختلف باختلاف السياق التنظيمي الذي تعمل فيه.

وفي قطاع السيارات، يُعد توفير خدمات التنقل مسألة مرتبطة حتميًا بالمكان. ويختلف الأمر تمامًا إذا كانت خدمات التنقل تُقدّم في سياق حضري مزدحم في هولندا أو في سياق ريفي واسع في البرازيل؛ فالسياق المكاني سيؤثر في احتياجات العملاء، وتوافر البنية التحتية للشحن، ومدى ملائمة التقنيات المختلفة لتلبية هذه الاحتياجات.

وعند تقييم استدامة سلاسل القيمة، يصبح من الضروري أخذ العوامل المكانية في الحسبان؛ فهي تؤثر تأثيرًا مباشرًا في الآثار البيئية عبر دورة حياة المنتجات والتقنيات؛ فتوافر الطاقة الخضراء وشح المياه، وتأثيرات التنوع البيولوجي، والانبعاثات الناتجة عن النقل واللوجستيات، كلها مرتبطة بالموقع الجغرافي. لذا، فإن البديل الأكثر استدامة في مكان معين قد لا يكون هو الأفضل في مكان آخر.

وتلعب المحركات الخارجية مثل توقعات المجتمع واحتياجات العملاء والموظفين دوراً رئيسياً في تشكيل إستراتيجية الشركة تجاه الاستدامة (انظر الفصل الثالث) وتختلف هذه العوامل الاجتماعية بين المناطق ولذلك، يجب على الشركات العالمية تحقيق التوازن بين تلبية توقعات متنوعة مع الحفاظ على اتساقها الداخلي. وبالنظر إلى هذه السياقات المكانية، فإن الرحلة نحو الحياد الصفري ستسلك مسارات مختلفة في مناطق متنوعة حول العالم.

لقد تناول هذا الكتاب نقاشات بين خبراء ينتمون إلى نفس البيئة الجغرافية؛ فكل من جامعة فريدريش-ألكسندر إرلانغن - نورنبيرغ ومقر شركة بي إم دبليو يقعان في ولاية بافاريا بألمانيا. ومع ذلك، ومن أجل فهم أشمل وأعمق، نحتاج إلى تعزيز الحوار مع أصحاب المصلحة من مناطق عالمية أخرى مثل الصين والولايات المتحدة وغيرها.

إذ يجب أن تركز التبادلات المستقبلية على فهم هذه السياقات المختلفة، والعوامل المؤثرة فيها، وانعكاساتها على الاستدامة، وكيف يمكن للشركات، والجهات التنظيمية، وأصحاب المصلحة الآخرين تنسيق مسارات التحول المتعددة على كوكبنا المشترك.

9.5 مستقبل الشراكات بين الصناعة والجامعات:

تتطلب الرحلة نحو الاستدامة تقنيات مبتكرة وأطر سياساتية قوية، إضافة إلى شراكات ديناميكية تتجاوز الحدود التقليدية. وهذا الكتاب هو شهادة حية على روح التعاون هذه، حيث يوثق ويوسع حوارات الخبراء من شركة بي إم دبليو وجامعة فريدريش-ألكسندر إرلانغن-نورنبيرغ الذين اجتمعوا لمناقشة معالم مهمة في هذه الرحلة. وتبرز هذه الحوارات الإمكانيات الكبيرة لشراكات الجامعات

والصناعة في معالجة تحديات الاستدامة. فهذه التحديات معقدة ومتعددة الأبعاد، وتتطلب تنوعاً في وجهات النظر وحوارات متعددة التخصصات. فالجامعات الشاملة، مثل جامعة فريدرش-ألكسندر إرلانغن-نورنبرغ، تتمتع بموقع فريد يُمكنها من تسهيل مثل هذه الحوارات؛ فهي تحتضن طيفاً واسعاً من التخصصات، وتتمتع بمسافة ضرورية واستقلالية عن عالم الأعمال والسياسيين والمجتمع المدني. وتتيح هذه الاستقلالية لها تقييم الوضع الراهن نقدياً، واقتراح حلول مبتكرة تستند إلى أبحاث علمية دقيقة.

ومع ذلك، رغم أن الحوارات التي تناولها هذا الكتاب كانت ثرية، لكنها اقتصرت على وجهات نظر متجانسة نسبياً. إذ يسلط هذا الضوء على الحاجة إلى تنوع أكبر في وجهات النظر ضمن نقاشاتنا حول الاستدامة. وينبغي ألا يُنظر إلى الجدل حول الاستدامة على أنه عائق، بل بصفته مصدراً للابتكار والتعلم؛ فإذا جرى تنظيمه بأسلوب بناء، يمكن أن يولد حلولاً إبداعية ويدفع عجلة التقدم.

وفي هذه الحوارات، من المهم احترام الهويات والاحتياجات والتوجهات المختلفة لكل طرف من الأطراف، والاعتراف بأن كلا منهم يسهم بمنظور فريد في الحوار العام.

ورغم تركيز هذا الكتاب على شراكة قوية بين طرفين في بافاريا، وهما بي إم دبليو وجامعة فريدرش-ألكسندر إرلانغن نورنبرغ، فإن التعاون المستقبلي ينبغي أن يتجاوز الحدود الجغرافية والمؤسسية. والجامعات، بحكم طبيعتها الدولية وتاريخها الطويل في التعاون البحثي، مهياً تماماً لتيسير مثل هذه الشراكات؛ إذ يمكنها أن تُشكّل منصة تلتقي فيها وجهات النظر القادمة من مناطق مختلفة، ومن تخصصات وقطاعات متعددة، مما يثري النقاش ويدعم التحول نحو الاستدامة.



تُعد الجامعات جسراً طبيعياً ومنتدًى للحوار بين الأجيال؛ فهي أماكن يلتقي فيها الشباب المتحمس والداعم للاستدامة مع المهنيين والأكاديميين ذوي الخبرة. هذا الحوار بين الأجيال يمكن أن يحفز أفكاراً جديدة ويحرك الزخم نحو تحقيق أهداف الاستدامة.

وفي الختام، لا يمكن التقليل من أهمية شراكات الجامعات والصناعة في دفع عجلة الانتقال إلى الاستدامة. إذ توفر هذه الشراكات منصة لا تُقدر بثمن للحوار متعدد التخصصات، وتنوع وجهات النظر، والتعاون الدولي. وتُشكل فضاءً يلتقي فيه احترام الهويات والاحتياجات المختلفة، وحماسة الأجيال المتنوعة تجاه الاستدامة، ليُشعل شرارة العمل التحويلي في «الطريق إلى الحياد الصفري» وما بعده.



مسرد المصطلحات



مسرد المصطلحات

English	Arabic
Abnormality Management	إدارة الانحرافات التشغيلية
Absolute contraction approach (ACA)	نهج الانكماش المطلق
Additive Manufacturing (AM)	التصنيع الإضافي
Anode	المصعد (الأنود) قطب رئيسي في الخلية الكهروكيميائية
Area and Frequency Regulation	التنظيم الترددي والمساحي
Association of German Engineers (VDI)	الاتحاد المهندسين الألمان
Automated Disassembly	التفكيك الآلي
Axial Flux Motor	محرك التدفق المحوري
Battery cell	خلية بطارية
Battery chemistry	كيمياء البطاريات
Battery pack	حزمة البطارية
BEV (Battery Electric Vehicle)	مركبة كهربائية بالبطارية
Bidirectional Loading	التزود بالطاقة ثنائي الاتجاه
Biohydrometallurgy (bioleaching)	المعالجة البيومعدنية (الترشيح الحيوي)

Black mass	الكتلة السوداء
Blockchain	سلسلة الكتل
BMW iFACTORY	مصنع بي إم دبليو الذكي
British Accounting for Sustainability (A4S) Project	مشروع المحاسبة البريطانية من أجل الاستدامة
Business Ecosystem	النظام البيئي للأعمال
Byproducts	المنتجات الثانوية
Cap-and-trade	الحد الأقصى للانبعاثات وتداولها تجارياً
Capital Allocation	تخصيص رأس المال
Car Architectures	هياكل السيارات
carbon budget	ميزانية الكربون
Carbon Disclosure Project (CDP)	مشروع الإفصاح عن انبعاثات الكربون
Carbon Fiber-Reinforced Plastics	اللدائن المعززة بألياف الكربون
Carbon Pricing	تسعير الكربون
Catalysts	محفّزات (خلايا الوقود)
Cathode	المهبط (الكاثود) قطب رئيسي في الخلية الكهروكيميائية
Charging and discharging cycle	دورة الشحن والتفريغ
Charging network	شبكة الشحن
Charging station	محطة شحن
Circular design	التصميم الدائري
Circular value chains	سلاسل القيمة الدائرية
Cloud Manufacturing	التصنيع السحابي
CO ₂ Calculator	حاسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون
Cobalt	الكوبالت
Connected Reporting Framework	إطار التقارير المتصلة



COP15 (Biodiversity Conference)	مؤتمر الأطراف (التنوع البيولوجي)
Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)	توجيه إعداد تقارير استدامة الشركات
Data Lakes	مستودعات البيانات
Defossilization	إزالة الكربون
Degree of electrification	درجة التحول الكهربائي
Dematerialization	اللامادية
Digital Product Passport	جواز السفر الرقمي للمنتج
Dimensioning tools	أدوات تحديد الأبعاد
DIN EN ISO 50001	معييار إدارة الطاقة
Direct Current (DC) Systems	الأنظمة العاملة بالتيار المستمر
Disclosure	الإفصاح
Drive Sustainability	قيادة الاستدامة (مبادرة)
Dry Coating	الطلاء الجاف
Dry Pressing	الضغط الجاف
Dry Scrubber / Dry Separation	تنقية جافة
Dynamic Materiality	الأهمية الديناميكية
Eco-design	التصميم البيئي
Ecological Carrying Capacity	القدرة الاستيعابية البيئية
Ecosystem	النظام البيئي
Electric drivetrain	نظام الدفع الكهربائي
Electric motor	محرك كهربائي
Electrically excited synchronous motor	محرك متزامن مثار كهربائياً
Electrification	التحول نحو الكهرباء

Electrochemical Impedance Spectroscopy	التحليل الطيفي للممانعة الكهروكيميائية
Electrolyte	إلكتروليت
End-of-Life Handling	التعامل مع نهاية عمر المنتج
Energy Sinks and Sources	مصادر ومصارف الطاقة
Energy Storage Systems (ESS)	أنظمة تخزين الطاقة
Environmental Footprint	البصمة البيئية
Environmental impact	التأثير البيئي
Environmental, Social, and Governance (ESG) factors	عوامل البيئة والمجتمع والحوكمة
EU Action Plan on Financing Sustainable Growth	خطة عمل الاتحاد الأوروبي لتمويل النمو المستدام
EU Green Deal	صفقة أوروبا الخضراء
EU Taxonomy	تصنيف الاتحاد الأوروبي
European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG)	المجموعة الاستشارية الأوروبية لإعداد التقارير المالية
European Sustainability Reporting Standards (ESRS)	معايير إعداد تقارير الاستدامة الأوروبية
European Sustainability Reporting Standards (ESRS)	المعايير الدولية لإعداد التقارير المستدامة
Externally Excited Synchronous Machine	محرك تزامني مثار خارجيًا
FHEV (Full Hybrid Electric Vehicle)	مركبة كهربائية هجينة كاملة
Financial Capital	رأس المال المالي
Financial Reporting	إعداد التقارير المالية
Fiscal year	السنة المالية
Flax	الكتان

Flotation	التعويم
Fossil energy	الطاقة الأحفورية
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	جامعة فريدريش-ألكسندر إرلانغن- نورنبرغ
Fuel Cell Technology	تقنية خلايا الوقود
Full circularity	الاستدامة الدائرية الكاملة
Full Integration	تكامل كامل
Fully Integrated e-Axis	محور كهربائي متكامل بالكامل
Gamification	التلعيب
Gentle Recycling Methods	العمليات الصديقة للبيئة
German Institute for Standardiza- tion (DIN)	المعهد الألماني للتوحيد القياسي
Global Reporting Initiative (GRI)	المبادرة العالمية للتقارير
Global warming	الاحتباس الحراري
Graphite	الغرافيت
Green Drivetrains	تقنيات الدفع الأخضر
Green Hydrogen	الهيدروجين الأخضر
Greenhouse Gases (GHG)	غازات الدفيئة
Greenwashing	التضليل البيئي
Hazardous Goods	البضائع الخطرة
HEAT (Highly Integrated Electric Drivetrain)	نظام الدفع الكهربائي عالي الدمج
Hemp Fibers	ألياف القنب
High-voltage batteries	البطاريات عالية الجهد
Human Capital	رأس المال البشري
HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)	أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء

Hybrid Manufacturing	التصنيع الهجين
Hybridization strategies	إستراتيجيات التهجين
hydrofluorocarbons (HFCs)	مركبات الهيدروفلوروكربون
Hydrometallurgy	المعالجة المائية المعدنية (الهيدرومتالورجيا)
Hydrophobicity	خاصية الطرد المائي / كره الماء
Induction Motor	محرك حثّي
Industrial Clouds	السُحب الصناعية
Industry 4.0	الثورة الصناعية الرابعة
Inertia Principle	مبدأ القصور الذاتي
Intangible Resources	الموارد غير الملموسة
Integrated Report (IR)	التقرير المتكامل
Integrated Reporting Framework (IRF)	الإطار الدولي للتقارير المتكاملة
Integrated Thinking	التفكير المتكامل
Intellectual Capital	رأس المال الفكري
Internal Combustion Engines (ICEs)	محركات الاحتراق الداخلي
International Energy Agency	الوكالة الدولية للطاقة
International Financial Reporting Standards (IFRS) Foundation	مؤسسة المعايير الدولية لإعداد التقارير المالية
International Integrated Reporting Council (IIRC)	المجلس الدولي للتقارير المتكاملة
International Organization of Securities Commissions (IOSCO)	المنظمة الدولية لهيئات الأوراق المالية
International Resource Panel (IRP)	الهيئة الدولية للموارد الطبيعية
International Sustainability Standards Board (ISSB)	مجلس المعايير الدولية للاستدامة



Internet of Things (IoT)	إنترنت الأشياء
Key Performance Indicator (KPI)	مؤشر الأداء الرئيسي
Lead-acid batteries	بطاريات الرصاص الحمضية
LEAN.GREEN.DIGITAL	يعتمد نهج «LEAN.GREEN.DIGITAL» الذي تتبناه بي إم دبليو على تحقيق الكفاءة والاستدامة من خلال تقليل الهدر وتحسين العمليات (LEAN)، وتعزيز الاستدامة البيئية عبر تقليل الانبعاثات واستخدام الموارد بكفاءة (GREEN)، والاستفادة من التقنيات الرقمية مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لتحسين الأداء البيئي والتشغيلي (DIGITAL). يجمع هذا النهج بين الابتكار والاستدامة لضمان إنتاج أكثر كفاءة ومسؤولية بيئياً.
Life cycle assessment (LCA)	تقييم دورة الحياة
Limestone Powder	مسحوق الحجر الجيري
Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)	الناقل العضوي السائل للهيدروجين
Lithium-ion batteries	بطاريات الليثيوم-أيون
Low-Carbon Economy	الاقتصاد منخفض الكربون
Mandatory reporting standards	معايير التقرير الإلزامي
Manufactured Capital	رأس المال المصنَّع
Manufacturing Analytics Approach	نهج تحليلات التصنيع
Market Players	الجهات الفاعلة في السوق
Material Circularity Indicator (MCI)	مؤشر دائرية المواد
Materiality Analysis	تحليل الأهمية النسبية

MCHEV (Micro Hybrid Electric Vehicle)	مركبة كهربائية هجينة مصغرة
Megapascal (MPa)	ميغا باسكال
Metallurgical treatment	المعالجة المعدنية
methane (CH4)	غاز الميثان
MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle)	مركبة كهربائية هجينة خفيفة
Microgrids	الشبكات المصغرة
Modular design	التصميم القائم على الوحدات القابلة للفصل
Modular Structure	هيكل وحداتي
Natural Capital	رأس المال الطبيعي
Net-zero	الحياد الصفري: يشير إلى الحالة التي يكون فيها إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة التي ينتجها الفرد أو المنظمة أو الدولة مساوياً للانبعاثات التي يتم تعويضها أو إزالتها من الغلاف الجوي
Nitrogen trifluoride (NF3)	ثلاثي فلوريد النيتروجين
Nitrous oxide (N2O)	أكسيد النيتروز
Non-Financial Reporting	التقارير غير المالية
Off-grid Stationary Applications	تطبيقات خارج الشبكة
Optimal operating point	نقطة التشغيل المثلى
Overall Equipment Effectiveness (OEE)	الفعالية الشاملة للمعدات
Parallel hybrid	نظام هجين متوازي
Partial Integration	تكامل جزئي
perfluorocarbons (PFCs)	المركبات الكربونية الفلورية المشبعة

Permanent Excited Synchronous Machine	محرك تزامني مثار دائماً
Permanent Magnet Synchronous Motor	محرك تزامني ذو مغناطيس دائم
PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)	مركبة هجينة قابلة للشحن الخارجي
Power density	كثافة القدرة
Power electronics	إلكترونيات القدرة
Power-split hybrid	نظام هجين مقسم القدرة
Predictive Maintenance	الصيانة التنبؤية
Primary batteries	بطاريات أولية
Product Stewardship	إدارة المنتج المستدامة
Product Uptime	مدة تشغيل المنتج
Product-service systems (PSSs)	أنظمة خدمة المنتجات
Pro-sumer / Pro-user	المستهلك المنتج / المستخدم المنتج
Pyrometallurgy	المعالجة الحرارية المعدنية (البيرومييتالورجيا)
Range extender	وحدة تمديد المدى
Raw materials	المواد الخام
Rebound effects	تأثيرات الارتداد
Recirculated Air	التهوية المعاد تدويرها
Refurbishing	التجديد
Relationship Capital	رأس المال العلاقتي
Remanufacturing	إعادة التصنيع
Renewable Energy Sources Act	قانون مصادر الطاقة المتجددة
Repurposing	إعادة التوظيف
Residual waste	النفايات المتبقية

Resilience	المرونة
Resource Scarcity	ندرة الموارد
Reverse Logistics	اللوجستيات العكسية
Secondary batteries	بطاريات ثانوية
Sectoral Decarbonization Approach)SDA (	النهج القطاعي لإزالة الكربون
Self-repair manuals	كتيبات الإصلاح الذاتي
Serial hybrid	نظام هجين تسلسلي
Servitization	الخدماتية
Shop Floor	أرض المصنع
Shop Floor Management	إدارة أرض المصنع
Sieving	الغربلة
Silicon-graphite anode	أنود من السيليكون والجرافيت
Sisal	السيزال
Slip Rings	حلقات منزلقة
Smart Grids	الشبكات الذكية
Social Capital	رأس المال الاجتماعي
Social Footprint	البصمة الاجتماعية
Solar Panels	الألواح الشمسية
Solid-state electrolyte	إلكتروليت صلب
Spherical graphite	الجرافيت الكروي
Squirrel-Cage Rotor	دوّار القفص السنجابي
Statement on Disclosure of ESG Matters	بيان الإفصاح عن قضايا البيئة والمجتمع والحوكمة
Stationary Grid Applications	تطبيقات الشبكة الثابتة
Subtractive Manufacturing	التصنيع الطرحي

sulphur hexafluoride (SF6)	سادس فلوريد الكبريت
Supply chain actors	الجهات الفاعلة في سلسلة التوريد
Sustainable Factory	المصنع المستدام
Sustainable Financial Management	الإدارة المالية المستدامة
Sustainable Manufacturing	التصنيع المستدام
Sustainable Report	التقرير المستدام
Sustainable mobility	التنقل المستدام
Switched Reluctance Machine	آلة الممانعة المتبدلة
Synfuel	الوقود الاصطناعي
System Coupling	الربط بين الأنظمة
Take-back management	إدارة استرجاع المنتجات
Take-Back Services	خدمات استرجاع المنتجات
Technical Building Infrastructure	البنية التحتية التقنية للمباني
Technological cycle	الدورة التكنولوجية
the clean development mechanism (CDM)	آلية التنمية النظيفة
The EU's (CSRD)	توجيه إعداد التقارير عن استدامة الشركات في الاتحاد الأوروبي
The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
Thermal Block-Type Power Plants	محطات الطاقة الحرارية اللامركزية
Time-Bound Sustainability Targets	الأهداف الزمنية للاستدامة
Total cost of ownership (TCO)	التكلفة الإجمالية للملكية
Traction batteries	بطاريات الدفع
Transformed economy	اقتصاد متحول

Triple Bottom Line)TBL(	الحصيلة الثلاثية (هي منصة للمحاسبة تحتوي علي تحتوي ثلاثة أجزاء: الاجتماعي، البيئي والمالي).
U.S. Geological Survey	المسح الجيولوجي الأمريكي
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)	اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ
User-centric design	التصميم المرتكز حول المستخدم
Value Balancing Alliance	تحالف موازنة القيمة
value chain downstream	سلسلة القيمة النهائية
Value Creation	خلق القيمة
Value network	شبكة القيمة
Voluntary Limited Assurance Audit	التدقيق المحدود الطوعي
VRIO Framework	هو نموذج تحليلي يستخدم لتقييم الميزة التنافسية للمؤسسة من خلال أربعة أبعاد رئيسية: القيمة والامكانات التقليدية والندرة والتنظيم
Water-Based Processes	العمليات المائية
Wear and tear	التآكل والتلف
Wheel Hub Motor	محرك العجلة
Wiring harness	ضفيرة الأسلاك
World Meteorological Organization (WMO)	المنظمة العالمية للأرصاد الجوية



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مركز الترجمة والتعريب والاهتمام باللغة العربية

GCC Centre for Translation, Arabisation and Promotion of Arabic



☎ (+٩٦٨) ٢٤٩٦٨٨٥٩ | CTAPA@GCCSG.ORG ✉

📠 (+٩٦٨) ٢٤٦٧٥٥٠ | @CTAPA_GCC ✉

ص.ب: ٥٣٩، الرمز البريدي: ١٨، مسقط، سلطنة عُمان