



الملف الشامل حول البصمة الكربونية: من المفهوم إلى تحقيق الحياد الكربوني 2050

"لرفع الوعي بالقضايا البيئية والعمل على تعزيز أهداف التنمية المستدامة

للنشئ وطلاب الجامعات"



أ.د/ فوزى العيسوي يونس

أستاذ ورئيس وحدة فسيولوجيا الأكلمة بمركز بحوث الصحراء

استشاري البصمة الكربونية والاستدامة البيئية مدير الحوار المفتوح لتغير المناخ بمصر ما بعد COP27





الملف الشامل حول البصمة الكربونية: من المفهوم

إلى تحقيق الحياد الكربوني 2050

"لرفع الوعي بالقضايا البيئية والعمل علي تعزيز أهداف التنمية المستدامة

لللنشئ وطلاب الجامعات"

مقدم من:

د/ فوزى العيسوى يونس

أستاذ ورئيس وحدة فسيولوجيا الأقلمة بمركز بحوث الصحراء

استشاري البصمة الكربونية والإستدامة البيئية

مدير الحوار المفتوح لتغير المناخ بمصر مابعد COP27





المحتويات

1. المقدمة
2. نشأة الوعي البيئي: مؤتمر ستوكهولم 1972
3. من قمة الأرض 1972 الى اتفاقيات ريو الثلاث 1992
4. بروتوكول كيوتو وغازات الاحتباس الحراري
5. اتفاقية باريس 2015: نقطة تحول تاريخية
6. أهداف التنمية المستدامة
7. مفهوم البصمة الكربونية وتعريفاتها
8. العلاقة بين البصمة الكربونية والبصمة البيئية
9. أنواع البصمة الكربونية
10. منهجيات ومعايير قياس البصمة الكربونية
11. نطاقات الانبعاثات (النطاق 1، 2، 3)
12. كيفية تقدير البصمة الكربونية خطوة بخطوة
13. الأهداف الاستراتيجية من احتساب البصمة الكربونية
14. البصمة الكربونية وأهداف التنمية المستدامة (SDGs)
15. آلية تعديل الكربون عند الحدود الأوروبية (CBAM)
16. البصمة الكربونية ودورها في تحقيق الحياد الكربوني 2050
17. التحديات والحلول في مسار الحياد الكربوني



18. الخاتمة والتوصيات

19. قائمة المراجع والمصادر

1. المقدمة:

في ظل التسارع غير المسبوق لتداعيات التغير المناخي لم تعد القضايا البيئية مجرد موضوعات نظرية بل أصبحت واقعا يوميا يؤثر بشكل مباشر على الإنسان وجودة حياته. هذا وقد شهدت المئة عام الماضية تحولا جذريا وغير مسبوق في طبيعة العلاقة التبادلية بين الإنسان وكوكبه. فمنذ مطلع القرن العشرين ومع تسارع وتيرة الثورة الصناعية واستنزاف مصادر الطاقة التقليدية بدأ البشر بإعادة تشكيل النظم البيئية والجيولوجية للأرض بوتيرة متسارعة تهدد الاستقرار المناخي. ولم تعد التغيرات المناخية مجرد تقلبات طبيعية عابرة بل تحولت إلى أزمة بنيوية متكاملة الأبعاد تتطلب فهما علميا رصيناً ومقاربة مؤسسية دولية عاجلة تستند إلى الإرادة السياسية والابتكار التكنولوجي لتفادي النقاط الحرجة (Tipping Points) في نظام الأرض.

يعد مفهوم البصمة البيئية (Ecological Footprint) الإطار الفكري الذي انبثق منه مفهوم البصمة الكربونية. فالبصمة البيئية تقيس مساحة الأرض والموارد الطبيعية اللازمة لإنتاج ما يستهلكه الفرد أو المجتمع من موارد، واستيعاب النفايات الناتجة عن ذلك. وقد تطور هذا المفهوم ليصبح أكثر تخصصا حيث برزت البصمة الكربونية (Carbon Footprint) كمؤشر يركز تحديداً على انبعاثات غازات الدفيئة (GHG) الناتجة عن الأنشطة البشرية معبرا عنها بوحدة مكافئات ثاني أكسيد الكربون (e_2CO).

2. نشأة الوعي البيئي: مؤتمر ستوكهولم 1972

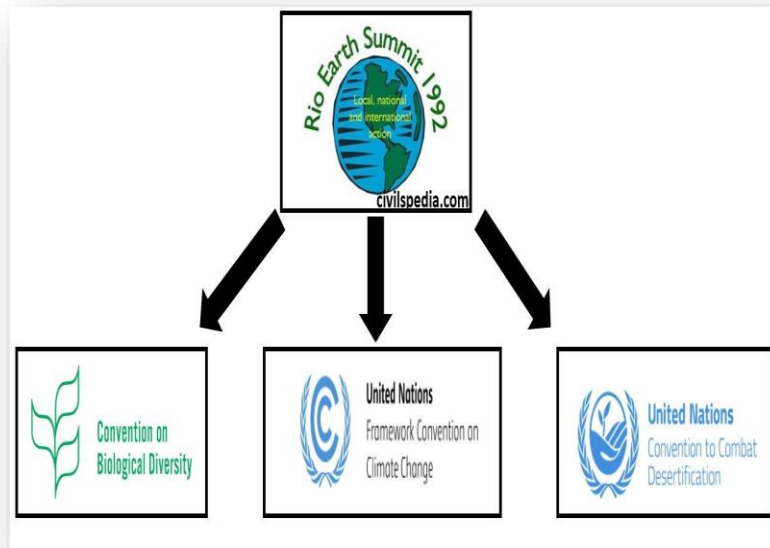
شكل مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة البشرية، الذي عُقد في ستوكهولم عام 1972 نقطة تحول محورية في تاريخ الوعي البيئي العالمي. فقد كان هذا المؤتمر الذي نظّمته الأمم المتحدة أول محفل عالمي يضع القضايا البيئية على طاولة النقاش السياسي الدولي. لم يكن المؤتمر مجرد حدث دبلوماسي عابر بل كان ثمرة أربع سنوات من الإعداد اعتمدت خلالها على تقارير ومدخلات من شبكة واسعة من الخبراء والمؤسسات العلمية، أسفرت عن تجميع أكثر من 20,000 صفحة من الوثائق من جميع أنحاء العالم تلخّصت في 800 صفحة من المواد الرسمية لمندوبي المؤتمر. هذه العملية أسست لنموذج جديد في صنع السياسات البيئية الدولية القائمة على العلم.

هذا ويعكس هذا التطور الاهتمام المتزايد بظاهرة تغير المناخ حيث باتت انبعاثات الكربون محورا رئيسيا في السياسات البيئية العالمية وفي صميم الاتفاقيات الدولية مثل اتفاقية باريس للمناخ. هذا وان الانتقال من الإطار الشامل للبصمة البيئية إلى التركيز على الكربون يعكس الأولوية الملحة لمعالجة الانبعاثات الحرارية التي تشكل النسبة الأكبر من الضغط البيئي المعاصر.



3. من قمة الأرض 1972 الى اتفاقيات ريو الثلاث 1992

بعد عشرين عاما من ستوكهولم اجتمع العالم مرة أخرى في ريو دي جانيرو عام 1992 في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية (UNCED) المعروف بقمة الأرض. وقد كان هذا المؤتمر علامة فارقة في تاريخ العمل البيئي الدولي حيث أسفر عن ثلاث اتفاقيات دولية كبرى عرفت باسم اتفاقيات ريو الثلاث: هي اتفاقية العمل المناخي - اتفاقية التنوع البيولوجي - اتفاقية التصحر.



وبصورة أكثر توضيحاً:

1. اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) وتركز علي معالجة تحديات المناخ ضمن إطار زمني محدد، والسماح للنظم البيئية بالتكيف، وتمكين التنمية الاقتصادية وضمان الأمن الغذائي.
2. اتفاقية التنوع البيولوجي (CBD) وتركز علي حفظ التنوع البيولوجي، والاستخدام المستدام لمكوناته، والتقسيم العادل والمنصف للمنافع الناشئة عن استخدام الموارد الجينية.
3. اتفاقية مكافحة التصحر (UNCCD) وتركز علي مكافحة التصحر وآثار تدهور الأراضي والجفاف نحو تحقيق حياة تدهور الأراضي.



4. بروتوكول كيوتو وغازات الاحتباس الحراري

في عام 1997 تم اعتماد بروتوكول كيوتو كأول اتفاقية دولية ملزمة قانونيا تلزم الدول الصناعية (الملحق الأول) بتخفيض انبعاثاتها من غازات الدفيئة.

وركز البروتوكول على ست غازات دفيئة رئيسية:

- ثاني أكسيد الكربون (CO_2)
- الميثان (CH_4)
- أكسيد النيتروز (N_2O)
- المركبات الكربونية الفلورية المشبعة (HFCs)
- المركبات الكربونية الفلورية غير المشبعة (PFCs)
- سادس فلوريد الكبريت (SF_6)

ومع أن البروتوكول مثل تقدماً مهماً إلا أن محدوديته كانت واضحة: فقد استثنى الدول النامية من التزامات التخفيض، وانسحبت منه بعض الدول الكبرى.

5. اتفاقية باريس 2015: نقطة تحول تاريخية

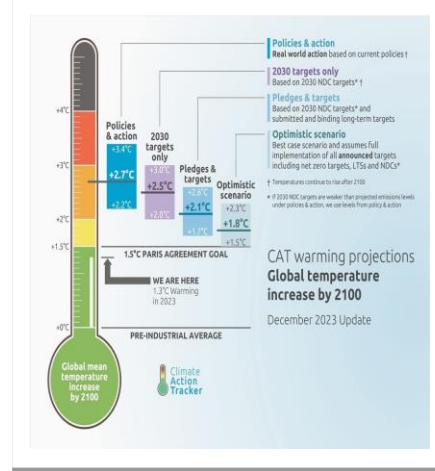
في 12 ديسمبر 2015، اعتمدت 195 دولة في مؤتمر الأطراف الحادي والعشرين (COP21) في باريس اتفاقية تاريخية دخلت حيز التنفيذ في 4 نوفمبر 2016.

هذا وتمثل الاتفاقية نقلة نوعية في العمل المناخي العالمي لعدة أسباب:

- الهدف الطموح: إبقاء ارتفاع متوسط درجة الحرارة العالمية "أقل بكثير من 2 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل الثورة الصناعية"، مع السعي للحد من الارتفاع إلى 1.5 درجة مئوية



- **المساهمات المحددة وطنيا (NDCs):** آلية جديدة تطلب من كل دولة تقديم خططها الوطنية الطموحة للعمل المناخي، على أن تتصاعد هذه الخطط في الطموح مع كل مراجعة
- **إشراك جميع الدول:** على عكس بروتوكول كيوتو، ألزمت الاتفاقية جميع الدول (متقدمة ونامية) بالتحرك
- ويشير تقرير الفجوة الانبعاثية لعام 2025 الصادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة إلى أن التوقعات الحالية تشير إلى ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 2.3-2.5 درجة مئوية بحلول نهاية القرن وهو تحسن طفيف عن تقديرات العام السابق (2.6-2.8 درجة مئوية). لكن هذا لا يزال بعيدا عن هدف 1.5 درجة مئوية.



6. أهداف التنمية المستدامة

تشكل أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر (SDGs) التي اعتمدها الأمم المتحدة في عام 2015 خارطة طريق شاملة للتنمية المستدامة حتى عام 2030. هذا ويرتبط الهدف 13 (العمل المناخي) ارتباطا مباشرا بجهود التصدي للتغير المناخي لكن التغير المناخي يؤثر في تحقيق جميع الأهداف الأخرى.



تمتد الرؤية طويلة المدى إلى ما بعد 2030:

- 2050: هدف الحياد الكربوني الذي تطمح إليه العديد من الدول والمناطق (مثل الاتحاد الأوروبي)
- 2100: الأفق الزمني الذي تركز عليه النماذج المناخية، حيث تتوقف نتائج ارتفاع درجة الحرارة بشكل كبير على مسار الانبعاثات خلال العقود القادمة.

7. مفهوم البصمة الكربونية وتعريفاتها

تُعرف البصمة الكربونية بأنها المقدار الإجمالي لانبعاثات غازات الدفيئة (مباشرة وغير مباشرة) التي ينبعث عنها نشاط معين أو تُنتج خلال دورة حياة منتج معين أو تعزى إلى مؤسسة أو فرد معبرا عنها بمكافئات ثاني أكسيد الكربون (e_2CO). هذا ولا تقتصر البصمة الكربونية على ثاني أكسيد الكربون فقط، بل تشمل جميع غازات الدفيئة الأخرى بموجب بروتوكول كيوتو مثل:

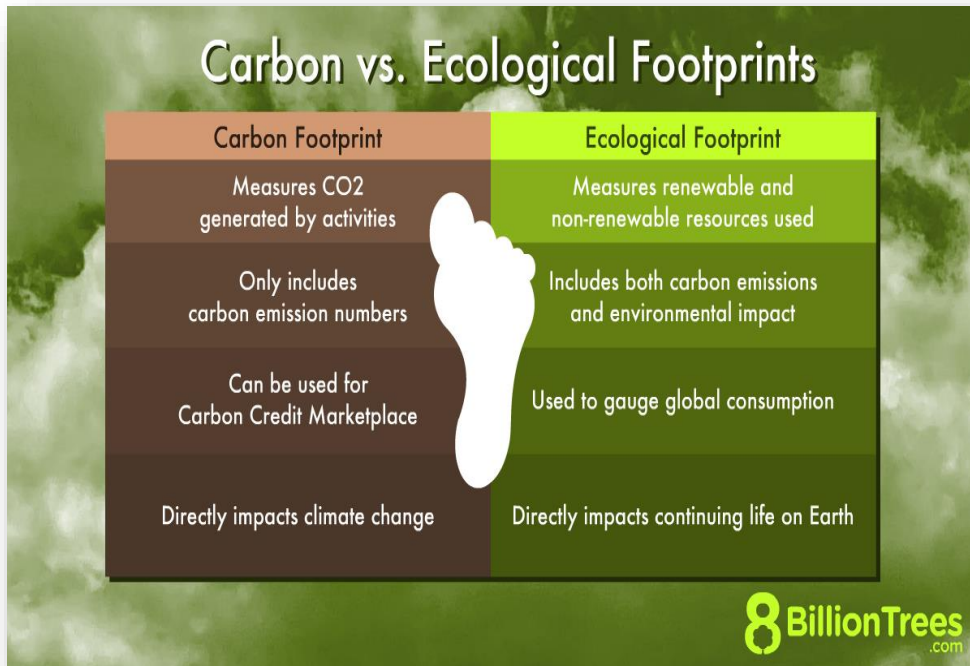
- الميثان (CH_4)
- أكسيد النيتروز (O_2N)
- الغازات المفلورية ($HFCs$, $PFCs$, SF)



هذا ويتم تحويل تأثير كافة الغازات الدفيئة إلى "مكافئات ثاني أكسيد الكربون" بناءً على إمكانية الاحتباس الحراري (GWP) لكل غاز مقارنة بثاني أكسيد الكربون على مدى زمني محدد.

8. العلاقة بين البصمة الكربونية والبصمة البيئية

تمثل البصمة الكربونية أحد المكونات الأساسية والأكثر تأثيراً للبصمة البيئية.



فالعلاقة بينهما هي علاقة جزء بكل:

البصمة الكربونية	البصمة البيئية
مقياس متخصص لتأثير الانبعاثات الحرارية	مقياس شامل للضغط البشري على البيئة
تركز حصراً على انبعاثات غازات الدفيئة	تشمل استخدام الأراضي، والمياه، والموارد
تُقاس بوحدة "مكافئات ثاني أكسيد الكربون"	تُقاس بوحدة "الهكتار العالمي"



يمكن القول إن البصمة الكربونية هي المؤشر الأكثر أهمية في عصرنا الحالي نظرا لارتباطها المباشر بظاهرة الاحتباس الحراري مما جعلها محورا للسياسات البيئية العالمية.

هذا وتشكل البصمة الكربونية اليوم أكثر من 60% من إجمالي البصمة البيئية العالمية مما يبرر تخصيص أدوات قياس مستقلة ودقيقة لها.

9. أنواع البصمة الكربونية

تتنوع أنواع البصمة الكربونية حسب موضوع القياس والغرض منه:

- **البصمة الكربونية الوطنية (National Carbon Footprint)**

تحسب على مستوى الدولة وفقاً للمبادئ التوجيهية الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، وتستخدم في التقارير الوطنية المقدمة إلى اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC).

- **البصمة الكربونية للمؤسسة (Organizational Carbon Footprint)**

تطبق على الشركات والمؤسسات وفقاً لمعايير مثل بروتوكول غازات الدفيئة (GHG Protocol) و ISO 14064 وتشمل الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة ضمن حدود المؤسسة.

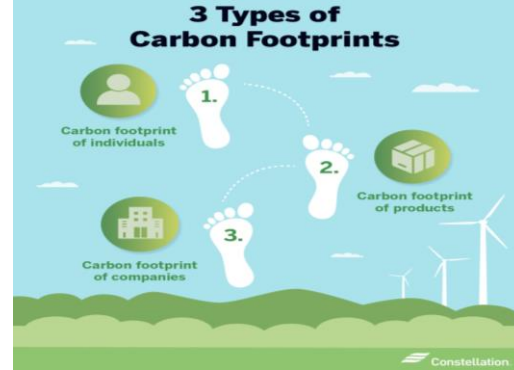
- **البصمة الكربونية للمنتج (Product Carbon Footprint – PCF)**

تحسب وفقاً لمعيار ISO 14067 و PAS 2050، وتقيس انبعاثات غازات الدفيئة طوال دورة حياة المنتج (من استخراج المواد الخام إلى التخلص النهائي).

- **البصمة الكربونية للفرد**

تقدر الانبعاثات الناتجة عن نمط حياة الفرد، وتشمل استهلاك الطاقة – والنقل – والغذاء – والسلع.

هذا ويساعد تعدد مستويات القياس في توجيه السياسات الفعالة بدءاً من سلوكيات الأفراد وصولاً إلى التخطيط الاستراتيجي لاقتصادات الدول.



10. منهجيات ومعايير قياس البصمة الكربونية

تتعدد المعايير والمنهجيات المعتمدة عالمياً لقياس البصمة الكربونية وأهمها:

- بروتوكول غازات الدفيئة (GHG Protocol)

يعد المعيار الأكثر استخداماً عالمياً وقد صدرت نسخته الأولى عام 2001. يوفر إطاراً شاملاً لاحتساب الانبعاثات على مستوى المؤسسات والمنتجات والمشاريع.

- سلسلة معايير ISO 1406x

1. ISO 14064: خاصة باحتساب انبعاثات غازات الدفيئة على مستوى المؤسسة.

2. ISO 14067: خاصة بالبصمة الكربونية للمنتج.

3. ISO 14040/14044: المتعلقة بتقييم دورة الحياة (LCA).

- PAS 2050 (المعيار البريطاني)

من أوائل المعايير الخاصة بالبصمة الكربونية للمنتجات صدر عام 2008 وتم تحديثه عام 2011.

- المبادئ التوجيهية للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)



المعيار الأساسي لحساب الانبعاثات على المستوى الوطني.

تطور مهم: في سبتمبر 2025 أعلن بروتوكول غازات الدفيئة والمنظمة الدولية للمعايير (ISO) عن بدء العمل على مواءمة وتوحيد معاييرهما مما سيسهم في تعزيز قابلية المقارنة بين النتائج على المستوى العالمي.

11. نطاقات الانبعاثات (النطاق 1، 2، 3)

يصنف بروتوكول غازات الدفيئة الانبعاثات إلى ثلاثة نطاقات لتجنب الازدواجية في الحساب ولتحديد مسؤوليات كل جهة:

• النطاق 1: الانبعاثات المباشرة

انبعاثات صادرة (الانبعاثات المباشرة) عن مصادر مملوكة أو مسيطر عليها من قبل المنشأة مثل:

1. احتراق الوقود في المراحل والأفران.

2. انبعاثات المركبات المملوكة للمنشأة.

3. الانبعاثات الصادرة عن العمليات الصناعية.

• النطاق 2: الانبعاثات غير المباشرة من الطاقة المشتراة

انبعاثات ناتجة عن توليد الكهرباء أو البخار أو التبريد (متفردة أو مجمعة) الذي تشتريه المنشأة وتستهلكه.

• النطاق 3: الانبعاثات غير المباشرة الأخرى

جميع الانبعاثات غير المباشرة الأخرى التي تحدث في سلسلة القيمة للمنشأة وتشمل:

1. المواد الأولية المشتراة.

2. النقل والتوزيع (للأعلى وللأسفل).

3. السفر والتنقل للموظفين.

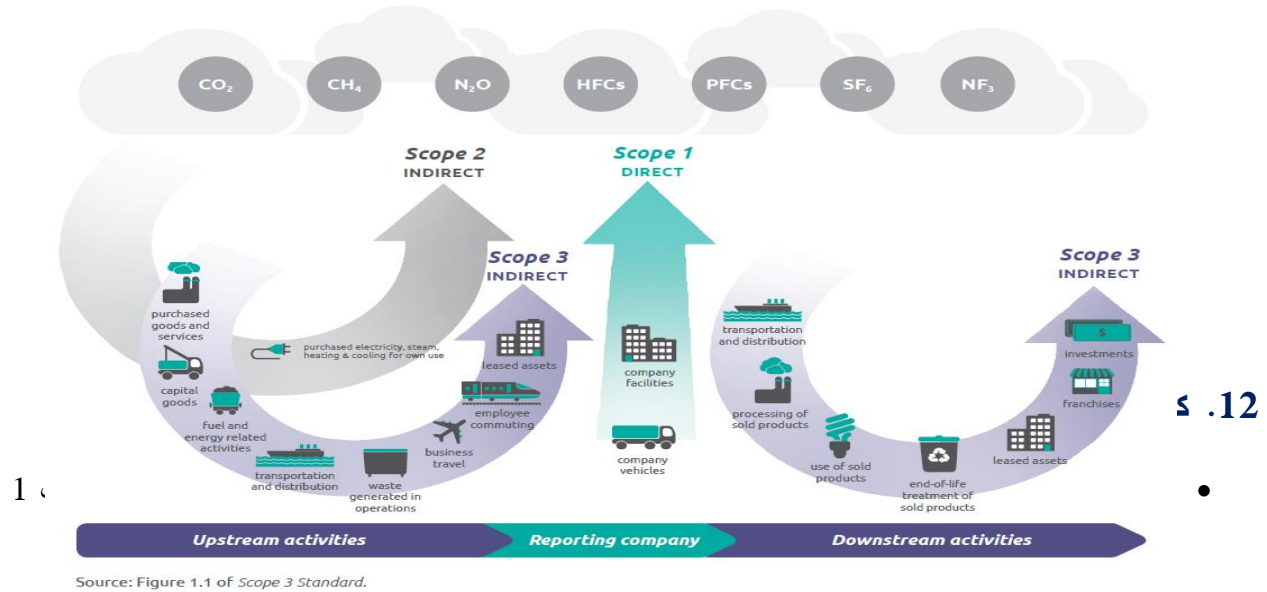
4. التخلص من النفايات.



5. استخدام المنتجات المباعة.

هذا ويمثل النطاق 3 غالباً الجزء الأكبر من إجمالي انبعاثات الشركات (غالباً ما يتجاوز 70%)، ورغم صعوبة قياسه إلا أنه حاسم لتحقيق استدامة حقيقية في سلاسل التوريد.

Overview of GHG protocol scopes and emissions across the value chain



- الخطوة 2: تحديد مصادر الانبعاثات: حصر جميع مصادر غازات الدفيئة ضمن الحدود المحددة.
- الخطوة 3: جمع بيانات النشاط (Activity Data): جمع البيانات الكمية عن الأنشطة المسببة للانبعاثات (مثل: كمية الوقود المستهلك - كمية الكهرباء المشتراة - كمية المواد الخام المستخدمة).
- الخطوة 4: اختيار معاملات الانبعاث (Emission Factors): اختيار معاملات الانبعاث المناسبة من قواعد البيانات المعتمدة مثل Ecoinvent، ELCD أو NREL.
- الخطوة 5: حساب الانبعاثات: تحسب الانبعاثات باستخدام المعادلة الأساسية



- **الخطوة 6: تحويل جميع الغازات إلى مكافئات ثاني أكسيد الكربون:** استخدام قيم إمكانية الاحتباس الحراري (GWP) لكل غاز.

- **الخطوة 7: التحقق والمراجعة:** إخضاع النتائج لعملية تحقق خارجية أو داخلية لضمان الدقة والمصادقية.

وبذلك فدقة مخرجات البصمة الكربونية تعتمد اعتمادا مباشرا على جودة وموثوقية بيانات النشاط ومعاملات الانبعاث المستخدمة في الخطوات التنفيذية.



13. الأهداف الاستراتيجية من احتساب البصمة الكربونية

- **الامتثال التنظيمي**

تتطلب العديد من الدول والمناطق (خاصة الاتحاد الأوروبي) تقديم تقارير عن الانبعاثات كشرط للامتثال للقوانين البيئية.



• تحديد النقاط الساخنة (Hotspots)

يساعد احتساب البصمة الكربونية في تحديد مراحل سلسلة القيمة الأكثر إسهاما في الانبعاثات، مما يتيح توجيه جهود التخفيف بكفاءة.

• الميزة التنافسية

أصبحت المنتجات منخفضة الكربون مطلوبة في الأسواق العالمية، خاصة مع تزايد وعي المستهلكين واشتراطات الاستيراد.

• إدارة المخاطر والفرص

يساعد في تقييم مخاطر التسعير المستقبلي للكربون وتأثير آليات مثل CBAM على تنافسية المنتجات.

• رسم استراتيجيات الحياد الكربوني

يوفر خط الأساس (Baseline) الضروري لوضع أهداف طموحة للحد من الانبعاثات، مثل أهداف مبادرة الأهداف القائمة على العلم (SBTi).

وبذلك تفتجاوز فوائد حساب البصمة الكربونية الجانب البيئي لتصبح أداة استراتيجية رئيسية لضمان استمرارية الأعمال والوصول إلى الأسواق التصديرية.

14. البصمة الكربونية وأهداف التنمية المستدامة (SDGs)

هذا وترتبط البصمة الكربونية ارتباطا وثيقا بعدد من أهداف التنمية المستدامة ويمكن توضيح ذلك في الجدول التالي:

الهدف	الصلة بالبصمة الكربونية
الهدف 7 : طاقة نظيفة وبأسعار معقولة	تحسين كفاءة الطاقة استخدام مصادر متجددة يقلل البصمة
الهدف 9 : الصناعة والابتكار والبنية التحتية	الابتكار في عمليات الإنتاج منخفضة الكربون
الهدف 11 : مدن ومجتمعات مستدامة	تقليل انبعاثات النقل والمباني



تحسين كفاءة الموارد وتقليل الانبعاثات في دورة الحياة

الهدف 12 : الاستهلاك والإنتاج المسؤولين

الهدف المباشر لخفض الانبعاثات والتكيف مع التغيرات

الهدف 13 : العمل المناخي

التعاون الدولي عبر آليات نقل التكنولوجيا النظيفة

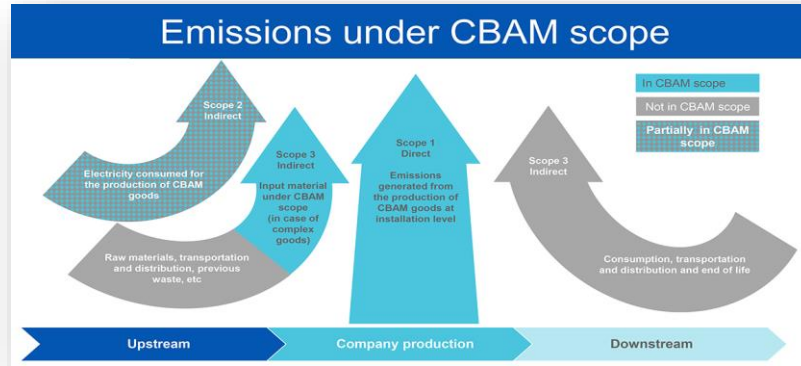
الهدف 17 : عقد الشراكات

15. آلية تعديل الكربون عند الحدود الأوروبية

Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)

• ما هي آلية CBAM؟

تعد آلية تعديل الكربون عند الحدود (Carbon Border Adjustment Mechanism) أداة الاتحاد الأوروبي لمنع تسرب الكربون (Carbon Leakage) أي انتقال الأنشطة الصناعية كثيفة الانبعاثات إلى خارج الاتحاد الأوروبي لتجنب سياسات المناخ الصارمة. تطبق الآلية سعرا للكربون على السلع المستوردة يعادل السعر المدفوع من قبل المنتجين الأوروبيين بموجب نظام تداول الانبعاثات الأوروبي (EU ETS).



• القطاعات المشمولة حاليا

1. الأسمنت

2. الحديد والصلب



3. الألمنيوم

4. الأسمدة

5. الكهرباء

6. الهيدروجين

• التوسع المستقبلي (من 2028)

في ديسمبر 025، قدمت المفوضية الأوروبية مقترحاً لتوسيع نطاق CBAM ليشمل حوالي 180 منتجاً من المنتجات النهائية (Downstream Products) كثيفة الاستخدام للصلب والألمنيوم مثل:

1. الآلات والمعدات الصناعية.

2. قطع غيار السيارات (العجلات، علب التروس، المحركات).

3. بعض الأجهزة الكهربائية والأثاث.

4. مركبات الشحن.

• الآثار المتوقعة

ارتفاع التعقيد الإداري: تتبع انبعاثات المنتجات النهائية يتطلب تتبع مدخلات الصلب والألمنيوم عبر سلاسل توريد معقدة.

تكاليف تجارية ضمنية: تشير التقديرات إلى أن تطبيق الآلية على منتجات السيارات قد يضيف ما يعادل رسوماً جمركية بنسبة 4.6% على الصادرات الصينية بحلول 2034.

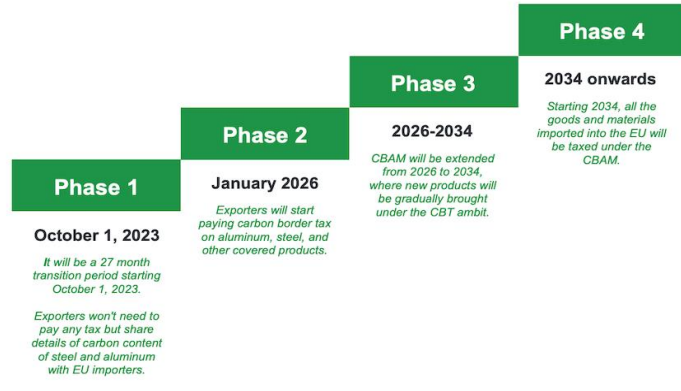
تأثير محدود على الناتج المحلي الإجمالي: تشير تقيييمات المفوضية الأوروبية إلى أن التأثير على الناتج المحلي الإجمالي للاتحاد الأوروبي والشركاء التجاريين سيكون ضئيلاً.



CBAM sectors	Greenhouse gases to be monitored under CBAM
Iron ore concentrates	CO2
Steel products	CO2
Iron and steel	CO2
Aluminum products	CO2 and perfluorocarbons
Cement	CO2
Hydrogen	CO2
Fertilizer	CO2 and nitrous oxide
Electrical energy	CO2

CBAM Roll-out Roadmap

(The carbon border tax will be implemented in four phases)



• أهداف CBAM

1. حماية تنافسية الصناعة الأوروبية خلال الانتقال إلى الاقتصاد منخفض الكربون.
 2. تشجيع الشركاء التجاريين على تبني سياسات مناخية طموحة.
 3. دعم نظام تداول الانبعاثات الأوروبي مع التخلص التدريجي من التخصيص المجاني.
- وبذلك تفرض آلية CBAM واقعاً تجارياً جديداً يحتم على الدول النامية والمصدرة التوافق السريع مع معايير الإفصاح الدقيق عن البصمة الكربونية لمنتجاتها.

16. البصمة الكربونية ودورها في تحقيق الحياد الكربوني 2050

• مفهوم الحياد الكربوني (Net Zero)

يعني تحقيق توازن بين كمية انبعاثات غازات الدفيئة المنطلقة وكمية الانبعاثات المزالة من الغلاف الجوي، بحيث يصبح صافي الانبعاثات صفراً.



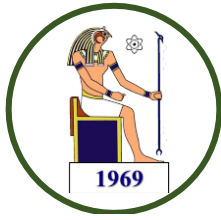
• مسار وكالة الطاقة الدولية (IEA) لتحقيق الحياد الكربوني 2050

وفقاً لتقرير توقعات الطاقة العالمية 2025 الصادر عن وكالة الطاقة الدولية (IEA):

1. بلغت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة عالمياً 38 جيجا طن عام 2024.
2. في سيناريو الحياد الكربوني (NZE)، يجب أن تنخفض الانبعاثات بنسبة 55% بحلول 2035 لتصل إلى حوالي 18 جيجا طن.
3. تعتمد خطة NZE على أربع ركائز أساسية: كهربة الطاقة النظيفة، كفاءة الطاقة، الوقود منخفض الانبعاثات، وخفض انبعاثات الميثان.
4. يتطلب السيناريو استثمارات طاقة تبلغ نحو 4.8 تريليون دولار سنوياً خلال العقد القادم.

• كيف تسهم إدارة البصمة الكربونية في تحقيق الحياد الكربوني؟

1. تحديد خط الأساس (Baseline): يوفر احتساب البصمة الكربونية نقطة انطلاق لقياس التقدم.
2. تحديد أولويات التخفيف: تساعد في توجيه الاستثمارات نحو الحلول الأكثر فعالية من حيث التكلفة، مثل استخدام منحنى التكلفة الحدية للتخفيف (MACC).
3. التحقق من فعالية الإجراءات: تمكن إعادة احتساب البصمة بانتظام من تقييم أثر التدخلات.
4. تعزيز الشفافية والمساءلة: تُعد البيانات الموثوقة أساساً لتقارير الاستدامة والالتزام بالمعايير الدولية.



آليات تحقيق الحياد الكربوني في القطاعات الرئيسية

وفقاً لتقرير مكتب العلوم الحكومي البريطاني (2025) فإن التقنيات الرئيسية تشمل:

القطاع	الحلول الرئيسية
الصلب	الاختزال المباشر بالهيدروجين، الأفران الكهربائية، إعادة التدوير
الأسمنت	الوقود البديل، احتجاز الكربون وتخزينه (CCUS)، المواد المخلوطة
الكيماويات	الكهربة، الهيدروجين منخفض الكربون، المواد الأولية المتجددة
النقل	الكهربة الكاملة، الوقود المستدام، الهيدروجين
المباني	المضخات الحرارية، كفاءة الطاقة، مواد البناء منخفضة الكربون

17. التحديات والحلول في مسار الحياد الكربوني

• التحديات الرئيسية

يمكن توضيح أهم هذه التحديات وكيفية التغلب عليها في الجدول التالي:

التحدي	الوصف
صعوبة توحيد المعايير	وجود معايير متعددة (GHG Protocol, ISO) يحد من قابلية المقارنة، لكن جهود التوحيد جارية.
تعقيد قياس النطاق 3	تتبع الانبعاثات غير المباشرة في سلاسل التوريد يشكل تحدياً كبيراً، خاصة بعد توسع CBAM.
تكلفة التحول	تتطلب استثمارات ضخمة في التكنولوجيا النظيفة والبنية التحتية المتطورة.
توفر البيانات	لا تزال البيانات المتعلقة بالانبعاثات المنتجين في الدول النامية غير مكتملة أو غير موثوقة.
تسرب الكربون	نقل الأنشطة كثيفة الانبعاثات إلى مناطق ذات سياسات مناخية أقل صرامة.
الحاجة لاحتجاز الكربون	تجاوز عتبة الاحترار يتطلب تقنيات احتجاز الكربون من الغلاف الجوي على نطاق واسع.



أهم الحلول المقترحة

1. توحيد المعايير: جهود التنسيق بين GHG Protocol و ISO لضمان الاتساق.
 2. المرونة في تطبيق CBAM: فترات انتقالية واستخدام القيم الافتراضية لتخفيف الأعباء على الشركات، خاصة الصغيرة والمتوسطة.
 3. الاستثمار في الابتكار: تطوير تقنيات مثل احتجاز الكربون وتخزينه (CCUS)، والهيدروجين الأخضر، والكهربة المباشرة.
 4. الاقتصاد الدائري للكربون: إعادة تدوير الكربون واستخدام الكتلة الحيوية المستدامة لتقليل الاعتماد على المصادر الأحفورية بنسبة كبيرة.
 5. التعاون الدولي: نقل التكنولوجيا وبناء القدرات في الدول النامية لدعم مسارات التحول العادل.
- وبذلك فمواجهة هذه التحديات تتطلب شراكة حقيقية بين القطاعين الحكومي والخاص لضمان انتقال سلس ومستدام دون الإضرار بالتنافسية الاقتصادية.

18. الخاتمة والتوصيات

مما سبق يتضح لنا أن البصمة الكربونية تعد اليوم أداة محورية في السياسات البيئية والاقتصادية على المستويات كافة (فرد، مؤسسة، دولة). وقد تطورت من مجرد مؤشر بيئي إلى معيار تنافسي يحدد وصول المنتجات إلى الأسواق العالمية خاصة مع دخول آلية CBAM حيز التنفيذ.

1. للحكومات وواضعي السياسات:

- تطوير أنظمة وطنية لاحتساب البصمة الكربونية متوافقة مع المعايير الدولية.
- توفير قواعد بيانات محلية لمعاملات الانبعاث لتعزيز دقة الحسابات.
- دعم الشركات الصغيرة والمتوسطة في رحلة التحول الأخضر عبر برامج بناء القدرات الموجهة.



2. للشركات والمؤسسات:

- البدء فوراً في بناء أنظمة قياس وإدارة البصمة الكربونية (النطاقات الثلاثة).
- التركيز على تحسين كفاءة الطاقة والتحول إلى مصادر الطاقة المتجددة.
- تطوير منتجات منخفضة الكربون لتعزيز الميزة التنافسية في الأسواق الخارجية.
- الاستعداد لمتطلبات CBAM عبر تشفير وتتبع الانبعاثات بدقة في سلاسل التوريد.

3. للباحثين والأكاديميين:

- تطوير منهجيات محسنة لقياس انبعاثات النطاق الثالث (Scope 3).
- دراسة أثر سياسات تسعير الكربون على أنماط التجارة الدولية وهياكل التصدير.
- البحث في تقنيات احتجاز وتخزين الكربون منخفضة التكلفة وعالية الكفاءة.

19. قائمة بأهم المراجع والمصادر

• المراجع العلمية والمعايير

- GHG Protocol (2004). A Corporate Accounting and Reporting Standard - Revised Edition. Available at: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf> [Accessed: 20 August 2026].
- GHG Protocol (2011). Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Available at: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf [Accessed: 20 August 2026].
- GHG Protocol (2022). GHG Protocol Land Sector and Removals Guidance. Available at: <https://ghgprotocol.org/land-sector-and-removals-guidance>.
- ISO 14067:2018. Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization.



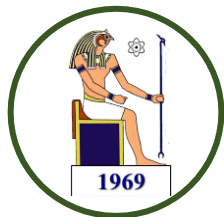
- BSI (2011). The Guide to PAS 2050:2011. How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. British Standards Institution.
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

• تقارير المنظمات الدولية

- IEA (2025). World Energy Outlook 2025. International Energy Agency, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025> [Accessed: 20 August 2026].
- European Commission (2025). Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the application of the Regulation on the Carbon Border Adjustment Mechanism (COM(2025) 783 final). Brussels. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM%3A2025%3A783%3AFIN> [Accessed: 20 August 2026].
- IISD (2026). EU Carbon Border Adjustment Mechanism Is Set to Get Bigger: Implications for trade and industrial value chains. International Institute for Sustainable Development. Available at: <https://www.iisd.org/articles/explainer/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-bigger-trade-implications> [Accessed: 20 August 2026].
- Energy Transitions Commission & Systemiq (2025). Carbon in an Electrified Future: Technologies, trade-offs and pathways. London. Available at: <https://www.energy-transitions.org/publications/carbon-in-an-electrified-future/> [Accessed: 20 August 2026].
- EESC (2026). Carbon Border Adjustment Mechanism renewal: Protecting Europe's clean industrial future. European Economic and Social Committee. Available at: <https://www.eesc.europa.eu/en/news-media/articles/carbon-border-adjustment-mechanism-renewal-protecting-europes-clean-industrial-future> [Accessed: 20 August 2026].
- UK Government Office for Science (2025). Net Zero Technology Outlook. Available at: http://casisd.cas.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2025/kjqykb2510/202511/t20251111_8009861.html [Accessed: 20 August 2026].
- UNCTAD (2021). A European Union Carbon Border Adjustment Mechanism: Implications for developing countries. United Nations Conference on Trade and Development.

• أوراق علمية ودراسات حالة

- Cucurachi, S. et al. (2019). “Life Cycle Assessment of Food Systems”, One Earth, Vol. 1/3,



pp. 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.014>.

- Hauschild, M., Rosenbaum, R. and Olsen, S. (eds.) (2018). Life Cycle Assessment. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>.

المواقع الإلكترونية وقواعد البيانات

- Greenhouse Gas Protocol. Official Website. Available at: <https://ghgprotocol.org/> [Accessed: 20 August 2026].
- Ecoinvent Database. Available at: <https://ecoinvent.org/> [Accessed: 20 August 2026].
- Science Based Targets Initiative (SBTi). Available at: <https://sciencebasedtargets.org/> [Accessed: 20 August 2026].
- OECD (2025). Measuring Carbon Footprints of Agri-Food Products. Available at: https://www.oecd.org/en/publications/measuring-carbon-footprints-of-agri-food-products_8eb75706-en/full-report/reporting-standards-and-guidelines-for-carbon-footprint-measurement_4c2ff81d.html [Accessed: 20 August 2026].
- <https://greenfue.com/tag/%d8%af-%d9%81%d9%88%d8%b2%d9%8a-%d9%8a%d9%88%d9%86%d8%b3/>
- <https://greenfue.com/tag/%d8%af-%d9%81%d9%88%d8%b2%d9%8a-%d9%8a%d9%88%d9%86%d8%b3/>

A side event of open dialogues of climate change in the climate summit events (COP29).





