Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

Life Cycle Assessment for healthier built environments

تقييم دورة الحياة من أجل بيئات مبنية أكثر صحة

Dr. Nada Hossameldin Mohamed Kamel
Art & Design Programs
Egypt - Japan University of Science and Technology
Egypt

Abstract:

Building construction and operation consume a significant amount of global energy and non-renewable material resources during all phases of a structure's life cycle, despite the fact that the construction industry is a vital one for humans. Additionally, it significantly adds to annual global greenhouse gas emissions, which is inconsistent with the sustainable development objectives of the 2030 environmental policy. Thus, Life Cycle Assessment (LCA) has been extensively used in the construction industry to make buildings more energy efficient and lower their carbon impact.

Keywords:

Life Cycle Assessment (LCA), Carbon Footprint, Climate Change, Environmental Product Declaration (EPD).

Research Problem:

Despite the rapid growth of the construction industry and the continuous and indispensable increase of the built environment, it contributes a significant amount to global warming and climate change, which requires studying and evaluating the emissions and environmental impact of each of its inputs and operations. The awareness and use of LCAs by architects and interior designers is still limited, which needs more awareness and encouragement.

Research objectives:

The research aims to shed light on the potential of life cycle assessment (LCA) processes in determining the environmental impact of materials and up to the entire building, and accordingly reducing the negative impact of the construction industry on humans and the environment. The research also aims to direct the interest of architects and interior designers to conduct a life cycle assessment (LCA) in the early stages of design.

Research Methodology:

The method used in the research is the descriptive analytical method.

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

ملخص:
على الرغم من كون صناعة البناء قطاعًا مهمًا جدًا للبشر، يستهلك تشييد المباني وتشغيلها كمية كبيرة من الطاقة العالمية والموارد المادية الغير متجددة خلال جميع مراحل دورة حياة المبنى. كما تساهم بقدر كبير من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمية السنوية، وهو ما لا يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة للرؤية الأساسية للاستراتيجية البيئية 2030 في تحقيق جودة أفضل للبيئة. وبالتالي، لجعل المباني أكثر كفاءة في استخدام الطاقة وتقليل البصمة الكربونية لها، تم تطبيق "تقييم دورة الحياة Life Cycle Assessment (LCA)" بشكل متزايد في قطاع البناء، من أجل تحديد الآثار البيئية لمبنى أو مادة أو منتج على مدار دورة حياته بالكامل.

الكلمات الافتتاحية:
تقييم دورة الحياة LCA، البصمة الكربونية، التغير المناخي، بيان المنتج البيئي EPD.

مشكلة البحث:
على الرغم من النمو السريع لصناعة البناء والتزايد المستمر واللا غنى عنه للبيئة المبنية، إلا أنها تساهم بقدر لا يستهان به في الاحتباس الحراري والتغير المناخي، مما يستلزم دراسة وتقييم الانبعاثات والتأثير البيئي لكل من مدخلاتها. ومازال وعي واستخدام المعماريين والمصممين الداخليين لعمليات تقييم دورة الحياةLCA محدود، وهو ما يحتاج إلى المزيد من الوعي والتشجيع على تبنيه.

أهداف البحث:
يهدف البحث إلى إلقاء الضوء على الإمكانات التي تملكها عمليات تقييم دورة الحياة LCA في تحديد الأثر البيئي للمواد والخامات ووصولا للمبنى بأكمله وبناء عليه الحد من التأثير السلبي لصناعة البناء على الإنسان والبيئة. كما يهدف البحث لتوجيه اهتمام المعماريين ومصممي العمارة الداخلية لإجراء تقييم دورة الحياة LCA في مراحل متقدمة من التصميم.

منهجية البحث :
المنهج المتبع بالبحث هو المنهج التحليلي الوصفي.

1. مقدمة Introduction:

التصميم المستدام هو عملية تصميم وبناء وتشغيل وصيانة مبنى أو حيز لتلبية احتياجات مستخدميه دون المساس باحتياجات الناس في المستقبل. يمكن تحقيق ذلك من خلال الاستخدام الحكيم للموارد، ومنع التلوث، والحد من النفايات وتقديم منافع اجتماعية عادلة. يفكر المعماريون والمصممون الداخليون باستمرار في عمليات التصميم والبناء الأكثر استدامة من أجل مكافحة تغير المناخ وتقليل تأثيرهم على البيئة (Ergo, n.d).

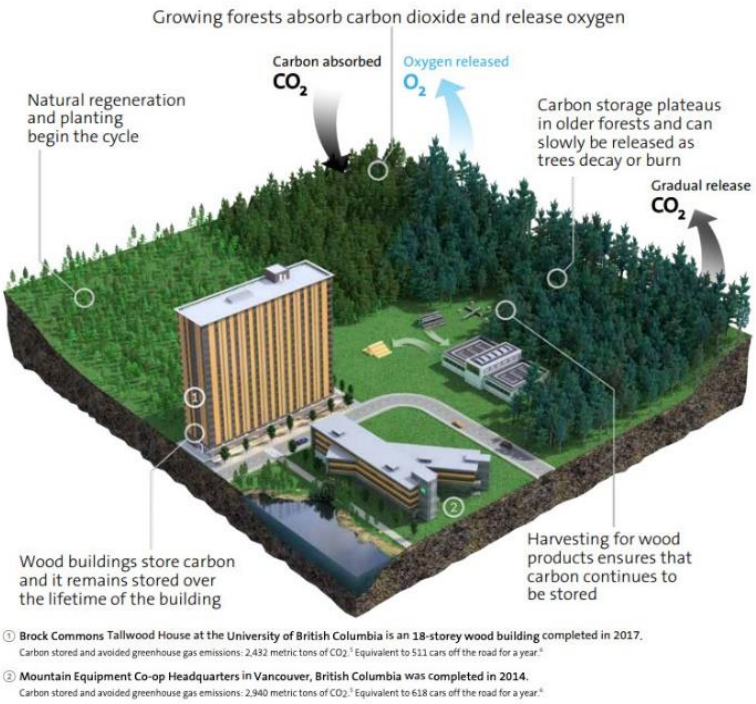
في السنوات الأخيرة، تصاعدت الجهود المبذولة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة من العديد من القطاعات الاقتصادية حيث تهدف أوروبا إلى أن تصبح محايدة مناخياً بحلول عام 2050 (The European Green Deal, 2019). ويحظى قطاع البناء باهتمام خاص من المفوضية الأوروبية (EC) في هذا التحدي نظرًا لحقيقة أنه يمثل 40٪ من الاستهلاك السنوي للطاقة و36٪ من الانبعاثات المقابلة. في عام 2010، أنشأت المفوضية الأوروبية مفهوم المباني الخالية من الطاقة تقريبًا (NZEB-Nearly Zero Energy Buildings) من أجل تشجيع صناعة البناء. منذ ذلك الحين، تم تطوير مجموعة واسعة من السياسات وتدابير الدعم، والذي بالتالي يخدم انتقال الطاقة النظيفة وإزالة الكربون في قطاع المباني. يتمثل أحد الجوانب الحاسمة لهذه التدابير في وضع استراتيجيات طويلة الأجل لتجديد الطاقة بكفاءة، تهدف إلى تحويل مخزون المبنى الحالي إلىNZEBs ، في حين أن أكثر من 85 ٪ من المباني المشيدة حاليًا ستظل قائمة في عام 2050، وما يقل عن 1 ٪ من الهياكل تتلقى تجديدات متعلقة بالطاقة سنويًا (European Commission, 2020). المبدأ الأساسي لمثل هذه التجديدات هو التفكير في دورة الحياة، والتي تتناول

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

دورة حياة الكربون الكاملة للمباني لتحقيق الحياد المناخي، وبالتالي النظر في تأثيرات المبنى التشغيلية والطاقة المتجسدة . (Antypa et al., 2022)

1.2. الاحتباس الحراري والتغير المناخي:

الكربون عنصر كيميائي له القدرة على الاندماج مع الآخرين لتشكيل الجزيئات. عندما تترابط ذرة الكربون مع اثنين من الأكسجين، فإنها تشكل ثاني أكسيد الكربون(CO_2) ، وهو غاز عديم اللون والرائحة، وهو في حد ذاته ليس سيئًا. ولا يمثل تهديدا إلا إذا انطلق بكميات كبيرة. ومن خلال عمليات التمثيل الضوئي وتنفس الحيوانات يتم الحفاظ على اتزان ثاني أكسيد الكربون في البيئة من حولنا. الكربون موجود أيضًا بشكل طبيعي في الغلاف الجوي. وإلى جانب وجوده في شكل ثاني أكسيد الكربون، فهو موجود أيضًا في صورة أول أكسيد الكربون والميثان (CH4) ومركبات الكربون الكلورية فلورية (CFC). هذه الغازات ضرورية لبقائنا لأنها تمتص بعض حرارة الشمس التي تشعها أسطح الأرض. هذا "تأثير الاحتباس الحراري" هو ما يحافظ على درجة حرارة مناسبة للحفاظ على الحياة على كوكب الأرض.



شكل رقم (1): دورة حياة الكربون في البيئة.
المصدر: naturallywood.com

ولكن اليوم، ومع التصنيع المتسارع واستهلاك البشرية للوقود الأحفوري- والذي في الأصل هو نباتات وحيوانات ولدت وماتت، ودُفنت بقاياها بشكل طبيعي في الأرض منذ آلاف السنين تحت الأرض، ومع الضغط والحرارة تحولت إلى ما يسمى بالوقود الأحفوري- على نطاق واسع، أدى إلى إطلاق كميات كبيرة من الكربون في الغلاف الجوي كانت مخزنة سابقًا تحت الأرض أو في النباتات. يوجد حاليًا عدم توازن كبير بين ما يتم إطلاقه في الغلاف الجوي وما يتم امتصاصه مرة أخرى. والنتيجة الرئيسية لذلك هي تراكم الكربون، مما يتسبب في امتصاص المزيد من الحرارة في الغلاف الجوي، مما يساهم في زيادة درجة حرارة الأرض وما يترتب على ذلك من تغير مناخي يُخشى منه(Souza, 2021) . لذا يعتبر تأثير الاحتباس الحراري، وثاني أكسيد الكربون، والوقود الأحفوري، وعزل الكربون، هي مواضيع مناقشات العصر في مختلف المجالات.

الغازات الدفيئة الرئيسية المحددة في بروتوكول كيوتو، وهو اتفاق دولي يتعلق بالحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري؛ هي ثاني أكسيد الكربون (CO2)، الميثان (CH4) ، أكسيد النيتروز (N2O) ، الهيدروفلوروكربونات (HFCs) ، مركبات الكربون الفلورية (PFCs) ، سداسي فلوريد الكبريت (SF6). الغاز الأكثر شيوعًا الذي يتم إطلاقه في الغلاف الجوي من خلال الأنشطة البشرية هو ثاني أكسيد الكربون. نتيجة لذلك، يُستخدم مصطلح ثاني أكسيد الكربون أحيانًا عند التعبير عن تأثيرات جميع غازات الدفيئة، لكن هذا يسبب التباسًا. ولهذه الغاية، أنشأ العلماء وحدة "CO2e"

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

أي "مكافئ ثاني أكسيد الكربون" للتعبير عن تأثيرات غازات الدفيئة الأخرى. باختصار، "CO2e" هو وحدة شائعة تستخدم لتحديد غازات الدفيئة المختلفة في منطقة ما. يمكن التعبير عن كمية غازات الاحتباس الحراري في صورة CO2e عن طريق ضرب هذا الغاز بقيمة Global Warming Potential "GWP". على سبيل المثال، إذا انبعث 1 كجم من الميثان، فيمكن التعبير عن ذلك على أنه 25 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون (MERİÇ, H., 2020)

2.2. تأثير البيئة المبنية على الاحتباس الحراري:

استنادًا إلى التقرير الصادر عن الهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) حول العواقب المحتملة للاحترار العالمي والمزيد من مخاطر تغير المناخ، تم توجيه أقصى الجهود للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (GHG) التي تؤدي إلى الاحتباس الحراري. ووفقًا للمرصد الأوروبي لقطاع البناء، يمثل البناء أكثر من 36٪ من انبعاثات الكربون العالمية (Ilipinar et al,2020). ونظرًا لأن المعدلات الحالية للتوسع الحضري تتوقع نموًا هائلاً في العقود القادمة لاستيعاب النمو السكاني في المناطق الحضرية، فإن تقليل الانبعاثات من قطاع البناء أمر بالغ الأهمية للتصدي لتغير المناخ. كما تستهلك صناعة البناء حوالي 40٪ من استهلاك الطاقة العالمي. وهو عامل تسريع كبير لظاهرة الاحتباس الحراري. يتسبب تغير المناخ في مشاكل لا حصر لها لكل من البشر والبيئة بما في ذلك زيادة انتشار الأمراض، والظواهر الجوية المتطرفة، وندرة المياه، وتدهور تلوث الهواء، وأكثر من ذلك بكثير (Morley, 2021).

ولا يجب أن نغفل عن أن ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة في البيئة المبنية (Ilipinar et al, 2020)، لذلك، تكمن فرصة كبيرة لتقليل الانبعاثات في تحسين تشييد المباني، ويمكن تحقيق ذلك من خلال ضمان فعالية غلاف المبنى، والذي يُنظر إليه على أنه عامل مهم في تقليل استهلاك الطاقة التشغيلي للمباني فقط مؤخرًا نسبيًا، بعد ذلك تم التعامل معها سابقًا على أنها هياكل ثابتة (Webb. M., 2021). والأهم من ذلك، يجب دراسة هذا الاعتبار لتصميمات ومواد بناء في المراحل الأولى من المشاريع.

شكل رقم (2): يوضح دورة حياة المبنى.
المصدر: Image via UBC Embodied Carbon Pilot: Study of whole building life cycle assessment processes at the University of British Columbia

3.2. البصمة الكربونية:

كل منتج أو مادة لها "بصمة" كربونية، بعضها أكثر من غيرها. الخشب مثال جيد على ذلك: أثناء نمو الشجرة، يتم تخزين كميات كبيرة من الكربون في الشجرة، مما يؤدي إلى "رصيد الكربون". بعد القطع والتداول والنقل والتركيب، يتم إطلاق كمية من هذا الكربون في الغلاف الجوي، ولكنها قد تكون أقل مما استهلكته الشجرة خلال حياتها (Souza, 2021). تشير البصمة الكربونية للمبنى إلى مقدار انبعاثات الكربون التي ينتجها أثناء عملياته وأنشطته. العناصر التي تساهم في البصمة الكربونية للمبنى هي استخدام الطاقة وإمدادات واستخدام المياه وانبعاثات الغاز بسبب نقل المواد إلى موقع المبنى بالإضافة إلى الكربون المتجسد لتلك المواد المستخدمة في تشييد المبنى(Ergo, n.d) ، وعادة ما يتم قياسه بالكيلوجرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون (كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون).

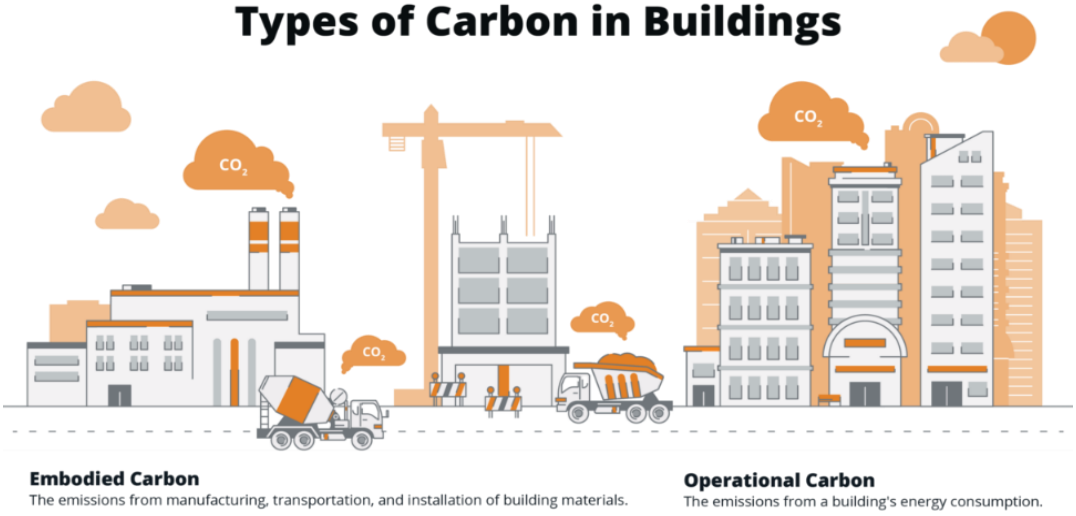
Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

1.3.2. الفرق بين الكربون المتجسد Embodied Carbon والكربون التشغيلي Operational Carbon:

الكربون المتجسد هو انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المرتبطة بالمواد وعمليات البناء طوال دورة الحياة الكاملة للمبنى أو البنية التحتية. أي إنه يشمل ثاني أكسيد الكربون الناتج أثناء تصنيع مواد البناء (استخراج المواد، ونقلها إلى الشركة المصنعة، والتصنيع)، ونقل هذه المواد إلى موقع العمل، وممارسات البناء المستخدمة. ببساطة، الكربون المتجسد هو البصمة الكربونية لمبنى أو مشروع بنية تحتية قبل أن يصبح قيد التشغيل. كما يشير إلى ثاني أكسيد الكربون الناتج عن صيانة المبنى وهدمه في النهاية، ونقل النفايات، وإعادة تدويرها. ومن المتوقع أن يتضاعف مخزون المباني في العالم بحلول عام 2060 - أي ما يعادل إضافة مدينة نيويورك بأكملها إلى الكوكب كل شهر على مدار الأربعين عامًا القادمة. مما يجعله محط تركيز العاملين في صناعة البناء (Yee, 2021).

أما الكربون التشغيلي، فهو الكربون الناتج من الطاقة المستهلكة بواسطة شاغلي المبنى (Yee, 2021). وبهدف تحقيق صافي صفر كربون حقًا بحلول عام 2030، يجب أن نركز، ليس فقط على تقليل الكربون التشغيلي، ولكن أيضًا على الكربون المتجسد. نحتاج إلى تحليل دورة الحياة الكاملة للمبنى من إنتاج المواد الخام (A1) حتى التفكيك والهدم(C1) (Sanchez, 2021).

ويمكن أن يساهم التصميم المدروس بعناية في تقليل الكربون المُكوَّن في التصميم المعماري، من خلال إنشاء مباني منخفضة الكربون، مع عدم المساومة على جودة التصميم الممتازة، من خلال تقليل كمية المواد المستخدمة في المبنى، استخدام المواد المستصلحة والمعاد تدويرها، أو استخدام مواد منخفضة في الكربون المتجسد أو تخزين الكربون (موجبة الكربون).



شكل رقم (3): الفرق ما بين الكربون المتجسد والكربون التشغيلي.
المصدر: (Yee, 2021)

تصميمات المساحات الداخلية والجدران الداخلية إلى البصمة الكربونية للمبنى في كل مرة يتم تجديدها - حيث يضيف كل تجديد داخلي إلى البصمة الكربونية للمبنى. ففي المباني التجارية، على سبيل المثال، عندما تنتهي عقود الإيجار، ينتقل المستأجرون الجدد ويقومون بتجهيز المساحة لتناسب احتياجاتهم أو إعادة تكوين المكاتب الحالية لاستيعاب التوسع والتغيير(Ergo, n.d) . وهو ما سيتناوله البحث لاحقا.

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

4.2. ما هو تقييم دورة الحياة Life Cycle Assessment (LCA):

تقييمات دورة الحياة هي تقييمات مفيدة لتحديد الآثار البيئية لمبنى أو مادة أو منتج على مدار دورة حياته بالكامل. الهدف هو تقليل البصمة الكربونية وتكاليف المواد طوال حياتها للمساعدة في اتخاذ قرارات بناء ذكية من أجل مستقبل أكثر استدامة. غالبًا ما تكون مرحلة الاستخدام هي الاعتبار الوحيد عند اتخاذ قرارات البناء. ولكن بالعكس، يجب تضمين جميع المراحل بما في ذلك استخراج المواد الخام، والتصنيع، والبناء، والاستخدام، ونهاية العمر الافتراضي (التخلص، وإعادة التدوير، وما إلى ذلك)، والنقل بين كل مرحلة للحصول على صورة حقيقية (Morley 2021). وعمليات تقييم دورة الحياة هي منهجية معيارية تستند إلى ISO 14040: 2006 و ISO 14044: 2006. (Institute for Environment and Sustainability).

ويعد الاحترار العالمي أحد أهم فئات التأثير في تقييم دورة الحياة، والذي يشير أيضًا إلى الرسوم البيئية طوال العمر الإنتاجي للمنتج، مثل خلق الضباب الدخاني، وتلوث المياه، وتوليد النفايات.(Souza, 2021)

1.4.2. المراحل المختلفة لدورة الحياة النموذجية على النحو المحدد في تقييم دورة الحياة هي:

1. مراحل الإنتاج والبناء.
2. مرحلة الاستخدام.
3. مرحلة نهاية العمر.
4. التأثيرات الخارجية خارج حدود النظام.

شكل رقم (4): شكل يوضح المسميات المختلفة لدورة حياة المبنى.
المصدر: (Life Cycle Assessment of

تتضمن مرحلة الإنتاج الطاقة والموارد المستخدمة لاستخراج المواد الخام، ونقل المواد إلى مرافق تصنيع المنتجات، وإنتاج منتجات البناء النهائية. **تتضمن مرحلة البناء** نقل المواد إلى موقع البناء بالإضافة إلى الطاقة المستخدمة لتشغيل معدات البناء، لتزويد مواد البناء الداعمة، والتخلص من أي نفايات متولدة أثناء عملية البناء. تتضمن **مرحلة الاستخدام** آثار إشغال المبنى على مدار حياته من الإضاءة والتدفئة واستخدام المياه وأي مواد مستخدمة للصيانة والإصلاح والاستبدال وغيره. تشتمل **مرحلة نهاية العمر الافتراضي** على هدم المبنى والتخلص منه بالإضافة إلى معالجة النفايات (إذا لم يتم إعادة توجيه المبنى أو تحسينه لمزيد من الإشغال أو الاستخدام). أخيرًا، تجمع **المرحلة الأخيرة** جميع التأثيرات المتنوعة لإعادة استخدام وإعادة تدوير و/ أو استعادة المواد أو الطاقة أو المياه من المشروع. تسمى هذه التأثيرات الخارجية لأنها تتجلى خارج نطاق حدود النظام (Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide, 2018).

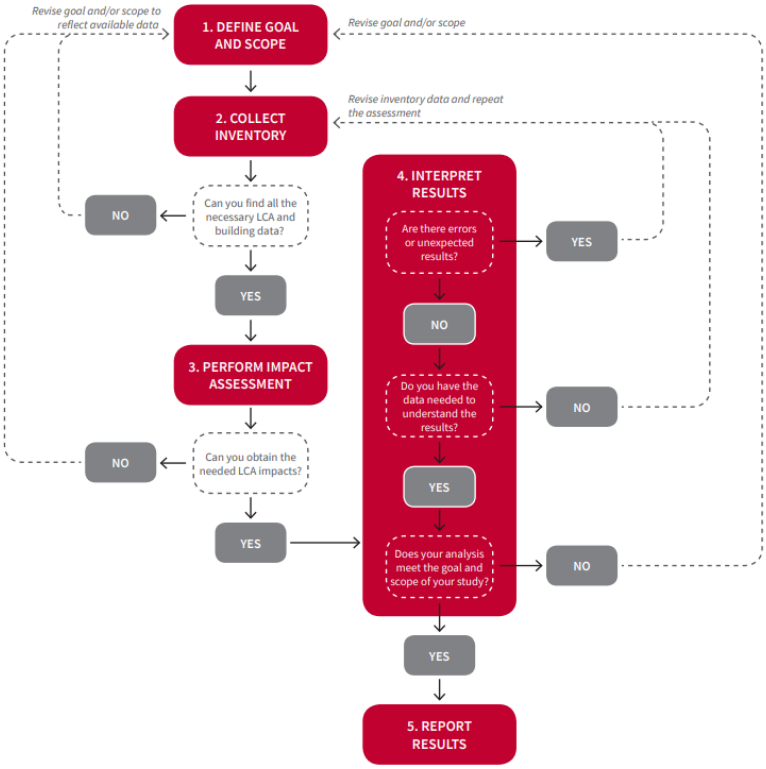
يمكن تطبيق LCA على أي نوع من المنتجات، بما في ذلك المباني ككل أو مكوناتها الفردية(Blichova et al., 2022) . عندما يتم النظر إلى مشروع البناء بالكامل بشكل شامل في تمرين LCA - على عكس LCA المطبق فقط على أجزاء من المبنى - يمكن الإشارة إليه على أنه تقييم دورة حياة المبنى بالكامل (WBLCA). يسمح لفرق المشروع وأصحاب المصلحة بفهم أفضل للتأثير البيئي الكامل للمبنى والمساهمات النسبية للتجمعات والمكونات الرئيسية. يتطلب تقييم الكربون المتجسد لمبنى بأكمله الوصول إلى بيانات انبعاثات الكربون لجميع المواد والعمليات المتضمنة في المبنى طوال دورة حياته(Souza, 2021) . وتحتوي تقييمات دورة الحياة على شقين: تحليل دورة الحياة (LCA)، الذي يأخذ في الاعتبار التأثيرات البيئية طوال عمر المادة، وتكلفة دورة الحياة (LCC)، التي تأخذ في الاعتبار تكاليف الشراء والتشغيل

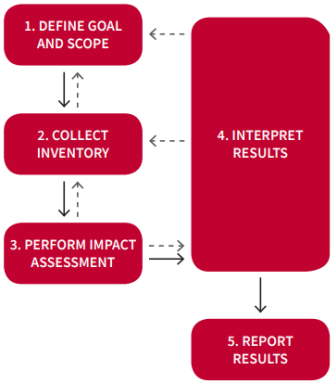
Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

على مدى عمر المادة(Morley 2021) . ويتم دعم تقييم دورة الحياة LCA في البناء وفقًا للمعايير الدولية بما في ذلك EN15804 (للمنتجات) وEN15978 (للمباني). تقرير المعايير يقابل مجموعة من "مؤشرات" تقييم دورة الحياة - أهمها اليوم هو احتمالية الاحترار العالمي والتي يتم قياسها من حيث الكيلوجرامات من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. (How to achieve environmental sustainability using life cycle assessment 2020)

لإجراء تقييم دورة حياة المبنى بالكامل WBLCA، عادةً ما يتم استخدام أداة خاصة بالمهمة، ويتم الحصول على معلومات التجميع (المواد والأبعاد والهندسة وما إلى ذلك) من ملف نمذجة معلومات البناء. أهداف التقييم هي عناصر المبنى الرئيسية، مثل الأساس (بما في ذلك حديد التسليح)، وبناء الأرضيات، والعوارض والأعمدة، وأغطية الأسقف، وبناء وتكسية الجدران الخارجية. من خلال إطلاق جميع المعلومات الواردة في البرنامج، من الممكن تحديد عناصر البناء التي لديها أكبر احتمالية للاحترار العالمي [كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م^2]، ونسب مساهمتها في إجمالي الانبعاثات، وفي أي مرحلة من دورة حياة المبنى الخاصة بهم سوف تؤثر على البيئة أكثر من غيرها. ولكن من الضروري أن يتم إدخال المعلومات باستمرار لتغذية الأداة بطريقة يمكن أن تولد نتائج موثوقة.

إذا كان من الممكن إجراء هذا التحليل أثناء مرحلة التصميم، فسيصبح من الأسهل كثيرًا اختيار خيارات التصميم التي تستغرق وقتًا للنظر في آثارها، وللموازنة بين ما هو ضروري للمشروع والأسباب الأقل ضررًا للبيئة. يساعد حساب





شكل رقم (5): (الأعلى) شكل يوضح مراحل عملية تقييم دورة الحياة.
شكل رقم (6): (اليمين) شكل يوضح أن مراحل عملية تقييم دورة الحياة هي عملية تكرارية، أي يمكن الرجوع لخطوات سابقة لمعالجة مدخل محدد والمضي قدما بالخطوات مرة أخرى. شير الخطوط المتقطعة إلى المسارات المحتملة للتكرار من خلال عملية LCA.
المصدر: (Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide, 2018)

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

التأثيرات البيئية لمنتج أو مشروع محتمل على تحديد فرص تقليل الانبعاثات وإمكانيات التحسين العام. وفي صناعة البناء، تزداد هذه الوظيفة أهمية بشكل متزايد.(Souza, 2021)

في الآونة الأخيرة، تم إجراء الكثير من الأبحاث باستخدام LCA كأداة لحساب الانبعاثات المحتملة من المباني صفرية الطاقة تقريبا NZEBs على مستوى عالمي، مما يوضح أهمية التفكير في منهجية دورة الحياة عند تقييم الطاقة الفعلية والأداء البيئي للمباني: لتعزيز إمكانات الحد من الكربون. كما ذكر (Belussi.et., 2019) أن المواد المبتكرة مثل مواد تغيير الطور(PCMs) ، Aerogels، وما إلى ذلك، يمكن استخدامها لتقليل الطلب على الطاقة، مع الأخذ في الاعتبار متطلبات حدود نظام البناء والقيود التي تؤثر على الأداء. على سبيل المثال، يمكن أن تستخدم أنواع مختلفة من الزجاج، بما في ذلك النوافذ والواجهات والأسطح التقليدية، مواد تغيير الطور (PCMs) لأنها يمكن أن تعزز سعة تخزين الحرارة؛ السماح للإشعاع المرئي باختراق البيئة الداخلية لضوء النهار، مع امتصاص الإشعاع الشمسي وتخزينه في طاقة حرارية(Antypa et al., 2022) .

2.4.2. تطبيق تقييم دورة الحياة:

لإجراء LCA، يجب أن يكون للممارس أولاً سيطرة كاملة على المواد والكميات المختلفة منها في المبنى. تعد قائمة المواد (BoM) ضرورية، وتساهم العديد من القرارات والافتراضات الملازمة لإنشائها في الاختلافات في نتائج تقييم دورة الحياة. قبل إجراء التحليل، يجب تحديد الغرض من التقييم ونطاقه. تمهد هذه القرارات الأولية الطريق لعملية ناجحة، مع تحديد المعلمات المحددة بوضوح، بما في ذلك هدف LCA والنطاق والوقت ومصدر البيانات (Souza, 2021) . وهناك حدود مختلفة يمكن وضعها على أي تقييم لدورة الحياة، والتي يمكن تحديدها بناءً على المعلومات أو الوقت أو الموارد المتاحة لمادة أو مبنى؛

من المهد إلى المهد Cradle to Cradle : التخلص من نهاية العمر الافتراضي دائري / يتضمن إعادة التدوير لتجنب إنتاج المزيد من النفايات.

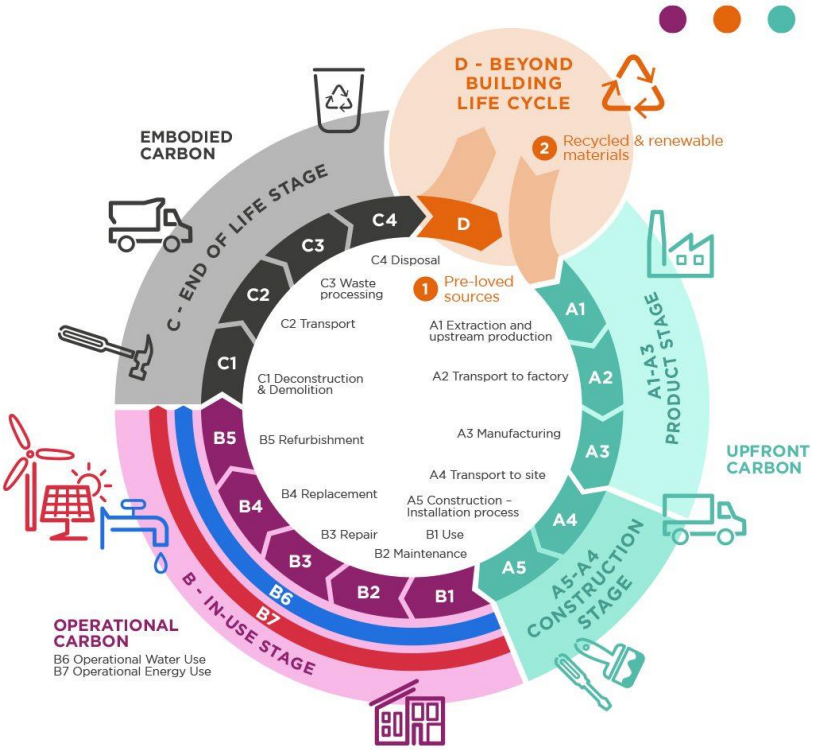
من المهد إلى اللحدCradle to Grave : الشركة المصنعة للمواد مسؤولة عن إدارة النفايات التي تنتجها.

من المهد إلى البوابة Cradle to Gate: من استخراج الموارد إلى بوابة المصنع (قبل التسليم للعميل).

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

بمجرد تحديد المراحل المراد تضمينها، فإن الخطوة التالية هي إنشاء مخطط تدفق عملية للمادة المعنية، يوضح ما يحدث خلال دورة حياة المادة والعمليات التي تقع داخل حدود النظام.

بعد توضيح الخطوات المطلوبة لإنتاج المادة المعنية، يمكن بعد ذلك قياس هذه المراحل في مخرجات الانبعاث والتكاليف المهمة من البيانات التي تم جمعها. يمكن بعد ذلك استخدام هذه الكميات من قبل فريق التصميم لاتخاذ قرارات مستنيرة بين المواد أو المنتجات المختلفة (Morley 2021).

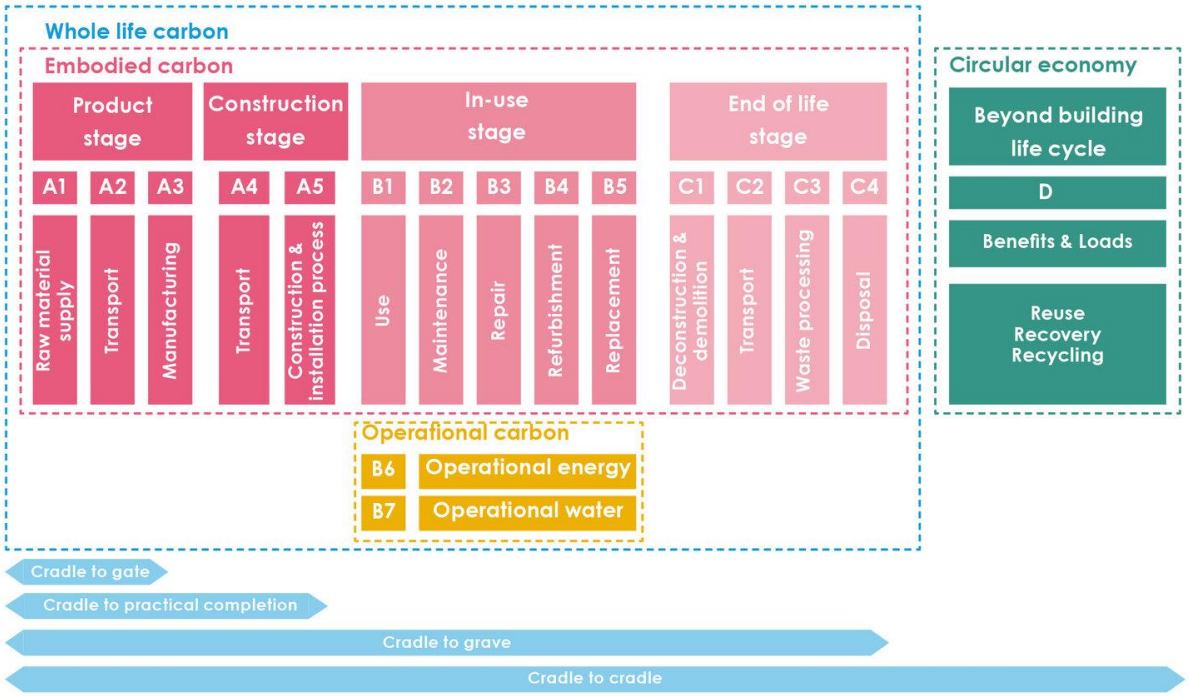


شكل رقم (7): المراحل المختلفة لدورة حياة المنتج أو المبنى، والبصمة الكربونية الناتجة عنها.

يمكن نشر النتيجة النهائية، بمجرد التحقق منها بشكل مستقل من قبل منظمة معترف بها مثل BRE Global، في بيان المنتج البيئي (EPD) والذي يتم إتاحته للجمهور من خلال منصات مثل Greenbooklive وEcoplatform. يمكن أن يكون إجراء مقارنات على مستوى المنتج أمرًا معقدًا. على سبيل المثال، قد يكون لـ 1 متر مربع من بلاط الأرضيات الخزفي تأثير تصنيع أعلى من 1 متر مربع من مشمع ولكن يمكن أن يكون له تأثير أقل بكثير خلال مرحلة "الاستخدام" بسبب متانته (مما يعني استبدال أقل على مدى دورة الحياة). ثم مرة أخرى، قد يؤدي استخدام المشمع إلى مزيد من النفايات ولكن يكون له تأثير نقل أكبر.

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

تعد معرفة تأثير منتج معين أمرًا مهمًا، ولكن فقط عندما يتم دمج نتائج المنتجات الفردية في مستوى المشروع LCA ، فنفهم حقًا الخيارات الأكثر استدامة لتصميم ومواصفات معينة. هناك العديد من أدوات مستوى المشروع التي يمكنها القيام بذلك والمعتمدة من جهة خارجية من BRE مثل One Click LCA و eTool. (How to achieve environmental sustainability using life cycle assessment 2020)



شكل رقم (8): عرض المعلومات المعيارية للمراحل المختلفة لتقييم المبنى.
المصدر: LETI Embodied Carbon Primer

2 .5. بيان المنتج البيئي (Environmental Product Declaration) EPD:

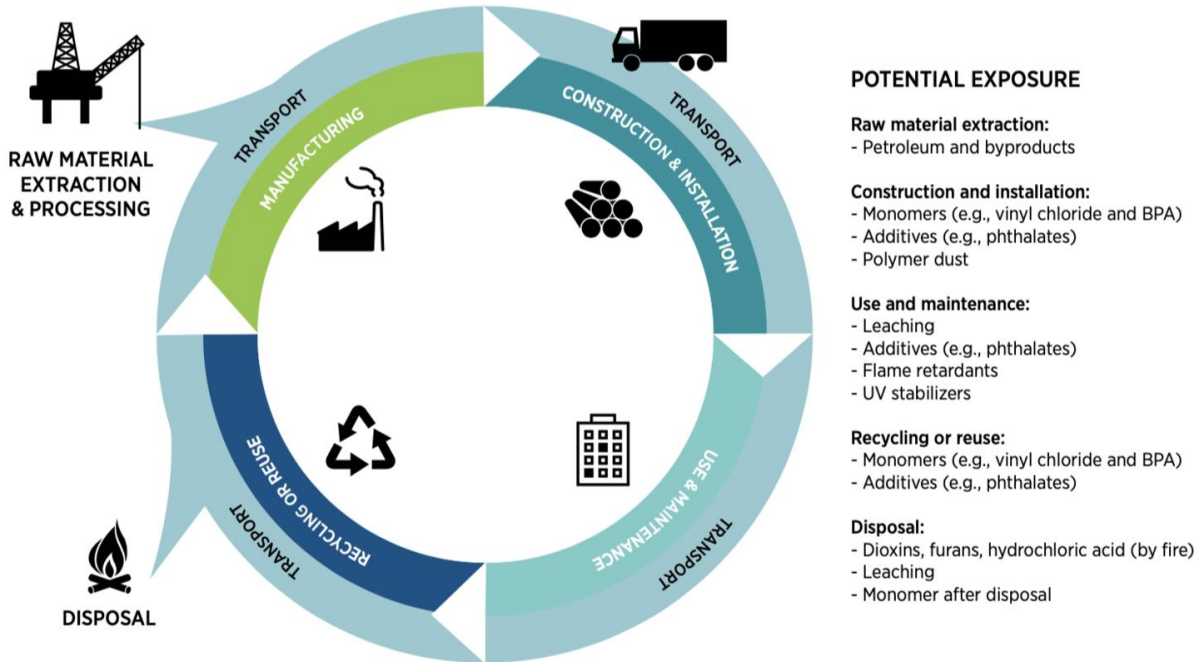
تدعم عملية تقييم دورة الحياة LCA تصميم بيان المنتج البيئي (EPD)، وهو المستند الذي يقدم تقارير تتمتع بالشفافية عن الأثر البيئي لمنتج أو مادة على مدى عمره الافتراضي، من منظور دورة الحياة، بيانات موضوعية وقابلة للمقارنة ومصدق عليها من جهة خارجية. تعد بيان المنتج البيئي EPD أداة مهمة يجب استخدامها لاتخاذ قرارات تصميم مستدامة (Thomas, 2022).

بينما تزودنا بيانات المنتج البيئي (EPD) بمعلومات التأثير البيئي، لا تزال هناك تعقيدات، حيث لا يمكن دائمًا الاعتماد على بيان المنتج البيئي (EPD) بشكل كامل عند محاولة مقارنة منتجين متشابهين ضمن نفس فئة المنتج، بسبب التناقضات في قواعد فئة المنتج، وتباين وحدة القياس، ومراحل دورة الحياة التي يتم تضمينها. أداة EC3 المتاحة الآن على نطاق واسع (buildtransparency.org) تجعل البيانات أكثر قابلية للمقارنة لأنها تعادل بيانات EPD، فهي أداة أكثر سهولة لاستخدامها بدلاً من تحليل البيانات الأولية من EPD.

وتعد بيانات المنتج البيئي EPD للأثاث والكراسي، على سبيل المثال، نادرة، على الرغم من كونها واحدة من أكثر فئات المنتجات كثافة في استخدام الكربون في المساحة الداخلية. من الصعب العثور على الكربون المتجسد للأثاث ومقارنته. ومع ذلك، من الممكن الوصول إلى رقم عن طريق تحليل المواد المعروفة المستخدمة في تصنيع الأثاث وحساب مساحتها

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

أو حجمها. تعمل العديد من شركات الأثاث الرائدة على إنشاء المزيد من EPD لمنتجاتها، ويجب على المهندسين المعماريين والمصممين الاستمرار في طلب EPD في المواصفات الخاصة للتأكد من أن فئة المنتج هذه مدرجة في محادثة الكربون المتجسد. ولكن بشكل عام، مازال هنالك حاجة لبيانات تأثير بيئي أكثر وضوحًا ويمكن مقارنتها بسهولة، ونحتاج إلى تغطية المزيد من المنتجات(LMN Architects, 2022) .



شكل رقم (9): مراحل دورة حياة مادة البناء، بدءا من استخراجها وتصنيعها وصولا لنهاية دورتها.
المصدر: Parson New School - Healthy Materials Lab

6.2. دور المهندسين المعماريين ومصممي العمارة الداخلية في عملية تقييم دورة الحياة:

بعد أن أصبح من المثبت أن قطاع البناء يساهم بنسبة 40 في المائة من انبعاثات الكربون في جميع أنحاء العالم، قاد المهندسين المعماريين على مر السنين العديد من الحركات لتقليل هذا التأثير، على سبيل المثال مبادرة " Architecture 2030 " والتي تضمنت إضافة التزامات لمكافحة تغير المناخ في مدونة أخلاقيات هيئتهم المهنية؛ المعهد الأمريكي للمهندسين المعماريين. ونظرًا لأن المباني أصبحت أكثر كفاءة في استخدام الطاقة في عملياتها، فقد بدأ المهندسون المعماريون أيضًا في إيلاء المزيد من الاهتمام للكربون المتجسد (أي الانبعاثات المرتبطة بتصنيع المنتجات ونقل المواد وبناء المباني) (Rajagopal, 2021) .

يجب على المهندسين المعماريين ومصممي العمارة الداخلية الأخذ في الاعتبار التأثير البيئي الكامل لتصاميمهم، ليس فقط في مرحلة التصميم حتى نهاية البناء، ولكن أيضًا طوال حياتها. فهم مسؤولون عن تأثيرها والتأكد من أنها تعمل بالطريقة التي كان من المفترض أن تعمل بها بالضبط. ويتم ذلك من خلال الخطوات التالية:

المرحلة 0: مناقشة دورة الكربون مدى حياة التصميم مع العميل، وشرح النقاط الرئيسية، وتحديد الأهداف. استعراض فرص التجديد والتعديل التحديثي للهيكل الحالي.

المرحلة 1: وضع ملخص للعميل يتضمن أهداف خفض الكربون المضمنة. ويفضل أن يتم الاستعانة بمستشار LCA.

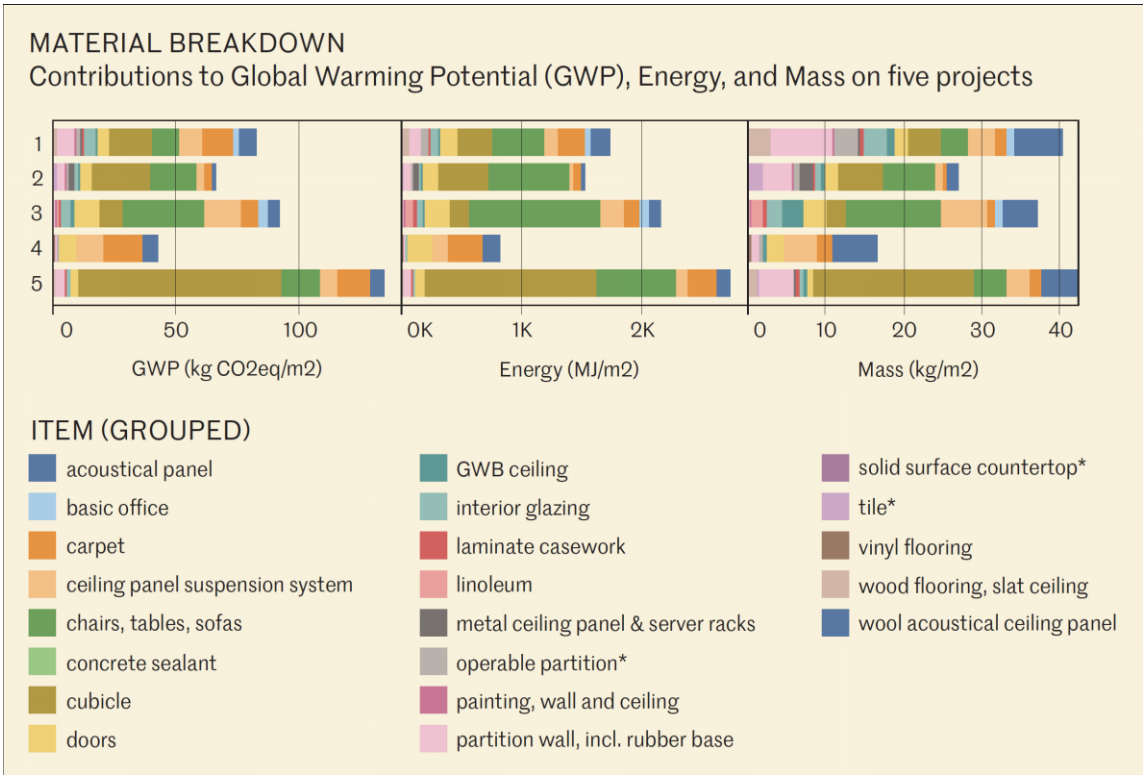
Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

المرحلة 2: يتم إجراء أول تقييم لدروة الحياة LCA للتصميم وتحليل خيارات خفض الكربون لعناصر البناء.
المرحلة 3: تضمين المتطلبات والأهداف في وثائق العطاء، وإجراء مناقشات مع المقاول الرئيسي المحتمل حول المتطلبات. يمكن إجراء تقييم لدروة الحياة LCA آخر لضبط التصميم.
المرحلة 4: إنهاء جميع المتطلبات والأهداف وتضمين كل شيء في وثائق العطاء. المناقشات النهائية مع المقاولين والمنفذين حول الأهداف والمتطلبات، وطلب خيارات للتحسين (إعلان المنتج البيئي (EPD) وإضافة أسئلة الكربون في نماذج مرتجعات العطاء). يتم إجراء تقييم لدروة الحياة LCA قبل إصدار معلومات العطاء.
المرحلة 5: تحليل أي تغييرات في البناء مقابل متطلبات تقليل الكربون.
المرحلة 6: إجراء LCA بعد الانتهاء.
المرحلة 7: إجراء LCA كل 5 سنوات، وتحليل أي أعمال صيانة أو استبدال.
ويجب ألا يغفل المصممون عن أن التصميم الحقيقي الخالي من الكربون يجب أن يأخذ في الاعتبار ليس فقط الكربون التشغيلي، ولكن أيضًا الكربون المتجسد خلال دورة الحياة الكاملة للمبنى.(Sanchez, 2021)

1.6.2. هل للتصميم الداخلي تأثير ملحوظ على البصمة الكربونية للمبنى؟

كما ذكرنا من قبل، تقييم دورة الحياة (LCA) هو إطار عمل تحليلي يبحث في التأثيرات خلال دورة الحياة الكاملة للمنتج، بما في ذلك؛ المواد الخام والاستخراج ومعالجة المواد والتصنيع والتوزيع والاستخدام ونهاية العمر الافتراضي وما بعده. ويوضح المثال التالي كيف يمكن أن يكون تقييم دورة الحياة (LCA) مفيد لمصممي الديكور الداخلي:
الأثاث منتج يستخدم في كل مجال من مجالات الحياة اليومية ويؤثر بشكل مباشر على جودة حياة الإنسان. في السنوات الأخيرة، مع ارتفاع مستوى المعيشة وزيادة عدد السكان، ازداد الطلب على الأثاث، وأصبح قطاعًا يتطلب المزيد من المعرفة ورأس المال المادي مقارنة بالسنوات السابقة. وبطبيعة الحال، بدأ أن يتم تقييم دورة الحياة (LCA) لتقييم الأثر البيئي لمنتجات الأثاث خلال دورة حياتها على نطاق عالمي كونها أحد المنتجات الصناعية (MERİÇ, H., 2020).
بالنسبة لكرسي بذراعين، يعلمنا LCA بتأثيرات المواد الخام المستخدمة في الكرسي بذراعين، ونقل هذه المواد إلى المصنع، وإنتاج الكرسي بذراعين خلال عملية التصنيع، ثم النقل إلى الموقع حيث سيكون المستخدمة، والتي قد تكون على سبيل المثال عن طريق القطار أو الطائرة أو السيارة. سيوفر أيضًا معلومات عن العنصر أثناء مرحلة الاستخدام، على سبيل المثال الآثار البيئية لصيانة وإصلاح الكرسي بذراعين، بما في ذلك أي استخدام للطاقة التشغيلية والمياه المستخدمة في تنظيف الكرسي. أخيرًا، يمكن أن يتضمن تقييم دورة الحياة نهاية العمر المقترح للمنتج، لذلك ما إذا كان مناسبًا لإعادة استخدامه كمنتج، أو إعادة استخدامه كمواد منفصلة، أو إعادة تدوير المواد، أو التخلص منه بطريقة أخرى مثل الحرق أو طمر النفايات (Thomas, 2022) .
عندما حلل WRNS Studio البصمة الكربونية المجسدة لمبنى Sonoma Academy's Janet Durgin Guild & Commons الحائز على تقييم LEED البلاتيني، جاء تأثير التشطيبات الداخلية بحوالي 7 بالمائة من الإجمالي. مما أعطى انطباع بأن للتصميم الداخلي تأثير ضئيل على دورة حياة المبني. ولكن هذا غير دقيق. حيث اتضح أن التصميم الداخلي كان يضر بشدة، ولكن من خلال عمليات التجديدات Renovations! وهو ما غفل عنه العديدون (Rajagopal, 2021).
وحيث أن عمليات التجديدات الداخلية تعتبر عملية ضرورية للغاية للمباني التجارية والسكنية على وجه الخصوص. بالإضافة إلى تحسين جودة الهواء أو الاستجابة للنتائج الجديدة المتعلقة بالصحة والعافية، هناك تغييرات ثقافية ومجتمعية واحتياجات تنظيمية متغيرة يمكن معالجتها واستيعابها من خلال تحديث المساحات(Ergo, n.d) . فالطريقة الأساسية لتقييم البصمة الكربونية للمباني هي من خلال تقييم دورة الحياة (LCA)، وهنا تكمن المشكلة - دورات حياة العمارة والديكورات الداخلية مختلفة تمامًا. كمثال على ذلك، مبنى تجاريًا. كل بضع سنوات، تنتهي عقود الإيجار، وتصبح

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846



شكل رقم (10): نماذج للتأثير البيئي لعدد من الخامات والمواد المستخدمة في التصميم الداخلي.
المصدر: Rajagopal, 2021

المساحات شاغرة، وينتقل المستأجرون الجدد ويجهزون المساحة لتناسب احتياجاتهم بشكل أفضل. يمكن أن تختلف تقديرات عدد المرات التي يحدث فيها هذا من 7 إلى 20 عامًا لكل مساحة، اعتمادًا على مجموعة من العوامل. تشتهر شركات التكنولوجيا بتجاوز مكاتبها بسرعة، وقد تصل عمليات التجديد بها إلى عدد خمس تجديدات في أربعة عقود. وعند قيامهم بجمع البيانات البيئية لجميع المواد التي استخدمت في مجموع تلك التجديدات، وإدخالها في أداة لحساب الكربون المتجسد، اكتشفوا أن الكربون التراكمي المتجسد في التجديدات الداخلية يتجاوز في الواقع انبعاثات كل من هيكل المبنى والغلاف. وتشير جميع الدلائل إلى استنتاج مفاده أنه على مدار عمر المبنى، يمكن أن يكون للتجديدات الداخلية أكبر بصمة كربونية مجسدة. ومن هنا تم التأكد من التأثير المهول للتصميم الداخلي على دورة حياة المبنى.

وبناء على ما سبق، وفي خطوات للحد من التأثير الكربوني للمنتجات والمواد، بدأ العديد من مصنعي المنتجات الداخلية في إحراز تقدمً كبير في بصمة الكربون الخاصة بمنتجاتهم، بينما أصدر العشرات من الآخرين بياناتهم من خلال بيانات المنتجات البيئية التي يمكن الوصول إليها من خلال قواعد البيانات ومقارنتها باستخدام أدوات مثل EC3. (Rajagopal, 2021)

وعلى المدى الطويل، سيتعين على المصممين الداخلين اعتماد تغييرات هيكلية للحد من تأثير التصميم الداخلي على بصمة المبنى. سيساعد التصميم المستدام على تقليل انبعاثات الكربون من خلال تقليل استهلاك الطاقة في المباني والمكاتب وتقديم حلول فعالة صديقة للبيئة للعملاء. تعد أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والإضاءة الموفرة للطاقة أو التي تستخدم مصادر الطاقة المتجددة أيضًا خيارات رائعة أصبحت أكثر فاعلية من حيث التكلفة. يمكن أن يؤدي اختيار التشطيبات التي يتم الحصول عليها محليًا والمكونة من محتوى عالي معاد تدويره إلى تقليل البصمة الكربونية للمبنى. يحتاج المصممون الداخليون إلى توخي الحذر بشأن المنتجات التي يحددونها. فقد أصبح لديهم المعرفة والقوة

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

لتحديد البدائل منخفضة الكربون. لديهم إمكانية الوصول إلى الشركات المصنعة للمنتجات الداخلية الذين بذلوا جهودًا كبيرة وإحراز تقدم فيما يتعلق ببصمة الكربون الخاصة بهم بينما يقدم الآخرون البيانات من خلال بيانات المنتجات البيئية. الألواح الصوتية وألواح السقف والسجاد والأرضيات هي بعض المجالات التي يمكن التركيز فيها على تقليل انبعاثات الكربون. يمكن لمصممي الديكور الداخلي أيضًا دمج إعادة استخدام واستصلاح الأثاث والعناصر الداخلية في المشاريع. يمكن لمصممي الديكور الداخلي المساعدة في تقليل الكربون المتجسد في التجديدات الداخلية من خلال التحدث إلى العملاء ومساعدتهم على رؤية أن مساحاتهم يمكن أن تؤثر على البيئة بطريقة إيجابية باستخدام المواد التي لها فائدة بيئية. يتحمل المصممون مسؤولية وفرصة لتصميم مباني منخفضة الكربون من خلال قرارات التصميم والابتكار. (Ergo, n.d) كل هذا مع عدم التضحية باعتبار الراحة البشرية في التصميم، حيث يجب اتخاذ القرار الأفضل، وأحيانًا لا يعني ذلك الانتقال مباشرة إلى أدنى مادة كربونية مجسدة يمكنك التفكير فيها "(Rajagopal, 2021) .

7.2. أدوات عملية تقييم دورة الحياة:

عمليات تقييمات دورة الحياة هي عمليات حسابية معقدة، والأدوات تجعلها أسهل بكثير. وتتنوع الأدوات والبرامج التي تستخدم لتطبيق عملية تقييم دورة الحياة، ومنها:

- **أداة Ecochain Mobius**

وهو واحد من أسهل أدوات LCA المتاحة للاستخدام. من خلال واجهته البديهية وإرشاداته الشاملة داخل الأداة، يتعلم المستخدمون قياس وتحسين البصمة البيئية لمنتجاتهم في فترة زمنية قصيرة. وتضمن الأداة الوصول إلى أكبر قواعد بيانات التأثير البيئي في العالم دون أي تكلفة إضافية. تتضمن قواعد البيانات استخدام EcoInvent، والبصمة البيئية (EF)، وقاعدة بيانات Milieudatabase الوطنية الهولندية (NMD). مجتمعة، فإنها تغطي الكثير من المعلومات البيئية التفصيلية حول معظم المواد أو المكونات.

- أداة GaBi

تم تصميم GaBi في منتصف التسعينيات. وهو أداة LCA راسخة وتستخدم في العديد من الصناعات، لا سيما في سوقها المحلية ألمانيا. تمامًا مثل SimaPro، يعد GaBi حلاً تقنيًا شاملاً مع العديد من الوظائف الإضافية المحتملة لتطوير المنتجات المستدامة. يتم استخدام GaBi كثيرًا من قبل خبراء LCA ومستشاري الاستدامة. يستخدم GaBi قاعدة بيانات LCI الخاصة به ويسمح بعمل LCAs بمعايير مختلفة. بالإضافة إلى إنشاء تقارير تقييم دورة الحياة، تدعم أداة GaBi تقدير تكاليف دورة الحياة.

- أداة OneClickLCA

هو التطبيق الوحيد في هذه القائمة المصمم خصيصًا لصناعة قطاع البناء. ونتيجة لذلك، لديه العديد من ميزات النمذجة وإعداد التقارير التي تتناسب بشكل جيد مع الشركات التي تصنع مواد البناء أو منتجات البناء. بالإضافة إلى ذلك، يمكنك تحليل التأثير البيئي لمشاريع البناء والمباني. هذا هو السبب في أن هذه الأداة تلبي جيدًا شهادات مثل LEED (الولايات المتحدة الأمريكية) وDGNB (ألمانيا) وBREEAM (المملكة المتحدة).

- أداة OpenLCA

هي أداة مفتوح المصدر ويمكن استخدامه بدون تكلفة. وهي مفيدة للمستخدمين الذين لديهم خلفية تقنية أكثر. تمكنهم ميزات البرنامج من ضبط مجموعات بيانات LCI، مما يعني أنه يمكن تعديل مجموعات البيانات البيئية لتتناسب مع عملية إنتاج المنتج والمدخلات. بجانب ذلك، فإنها تحتوي أيضًا على العديد من الميزات التحليلية لتقييم التأثير البيئي والأداء للمنتج. توفر OpenLCA الوصول إلى العديد من قواعد البيانات المختلفة، ونسبة كبيرة من قواعد البيانات هذه ليست مجانية.

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

- أداة SimaPro

تم إنشاء SimaPro منذ 30 عامًا وربما يكون أشهر برامج LCA المتاحة. وهو تطبيق تقني به العديد من الوظائف الإضافية الاختيارية التي تجعله شديد التنوع. بالإضافة إلى ذلك، فهي تمكن مستخدميها من تحليل حسابات تقييم دورة الحياة للمنتج وعمليات الإنتاج بعمق.(Hillege, 2022)

3.النتائج والتوصيات:

مما لا شك فيه أنه بناءا على الوضع الحالي للتغير المناخي والتغييرات البيئية الملحوظة التي نشهدها، أصبح لابد من جدية التعامل من مساهمة صناعة البناء في هذا الشأن. وأصبحت المسئولية الملقاة على العاملين في هذه الصناعة جنبا إلى جنب مع المعماريين ومصممي العمارة الداخلية أكبر من ذي قبل. يجب على المعماريين والمصممين دراسة الآثار البيئية لتصاميمهم على مدار دورة حياتها وليس فقط في مرحلة التصميم. وهو ما يضمنه لهم عمليات تقييم دورة الحياة LCA. مما يستلزم إلمام ودراسة المعماريين والمصممين بعمليات تقييم دورة الحياة، تفاصيلها، ومميزاتها وكيفية تطبيقها، من أجل بيئة أكثر استدامة وبيئات مبنية صحية.

Art and Architecture Journal
VOLUME 4, ISSUE 2, 2023, 23- 39
Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

المراجع :

1. Antypa, D., Petrakli, F., Gkika, A., Voigt, P., Kahnt, A., Böhm, R., Suchorzewski, J., Araújo, A., Sousa, S., & Koumoulos, E. P. (2022). Life cycle assessment of advanced building components towards nzebs. *Sustainability*, *14*(23), 16218. https://doi.org/10.3390/su142316218
2. Belussi, L.; Barozzi, B.; Bellazzi, A.; Danza, L.; Devitofrancesco, A.; Fanciulli, C.; Ghellere, M.; Guazzi, G.; Meroni, I.; Salamone, F.;et al. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. J. Build. Eng. 2019, 25, 100772.
3. Blichova, Z., Vilcekova, S., Kridlova Burdova, E., & Katunský, D. (2022). Civil Engineering Conference (CEC 2022). In *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 1252 (2022) 012006. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/1252/1/012006
4. Blichova, Z., Vilcekova, S., Kridlova Burdova, E., & Katunský, D. (2022). Civil Engineering Conference (CEC 2022). In *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 1252 (2022) 012006. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/1252/1/012006
5. European Commision. The European Green Deal, COM(2019) 640 Final; European Commision: Brussels, Belgium, 2019.
6. European Commission. A Renovation Wave for Europe—Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives SWD(2020) 550 FinalCOM(2020) 662 Final; European Commission: Brussels, Belgium, 2020.
7. Hillege, L. (2022, November 30). *Life Cycle Assessment Software Tools - Overview*. Ecochain. Retrieved January 13, 2023, from https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-software-overview-comparison/
8. *How to achieve environmental sustainability using life cycle assessment*. Mix Interiors. (2020, March 20). Retrieved December 16, 2022, from https://www.mixinteriors.com/person/how-to-achieve-environmental-sustainability/
9. Ilipınar, D., Yazıcıoğlu, G., Atasoy, G. (2020). An Assessment of Building Energy Performances by Building Envelope. *6th International Project and Construction Management Conference (e-IPCMC2020)* (pp.524-533). Istanbul Technical University, 12-14 November 2020, Istanbul, Turkey.
10. Institute for Environment and Sustainability—Joint Research Centre—European Commission. International Reference Life CycleData System (ILCD) Handbook—General guide for Life Cycle Assessment—Detailed guidance, EUR 24708, 1st ed.; European Commission:Luxembourg, 2010.
11. Interior Design Firm, E. (n.d.). *How interior designers can help fight climate change and reduce your carbon emissions*. ergoofficeplus. Retrieved December 17, 2022, from https://www.ergoofficeplus.com/how-interior-designers-can-help-fight-climate-change-and-reduce-your-carbon-emissions
12. Interior Design Firm, E. (n.d.). *How interior designers can help fight climate change and reduce your carbon emissions*. ergoofficeplus. Retrieved December 17, 2022, from

Print ISSN 2805-2838
Online ISSN 2805-2846

https://www.ergoofficeplus.com/how-interior-designers-can-help-fight-climate-change-and-reduce-your-carbon-emissions

13. ISO 14040:2006; Environmental Management—Life Cycle Assessment-Principles and Framework. International Organization forStandardization: Geneva, Switzerland, 2006
14. ISO 14044:2006; Environmental Management—Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines. International Organizationfor Standardization: Geneva, Switzerland, 2006.
15. LMN Architects. (2022, April 13). *Tenant improvements Embodied Carbon Study*. LMN Architects. Retrieved December 16, 2022, from https://lmnarchitects.com/lmn-research/tenant-improvements-embodied-carbon-study
16. MERİÇ, H. (2020). Introduction. In *ECOLOGY OF INTERIOR: Embodied Carbon of Housing* (pp. 1–2). essay, iksad publishing house. ISBN: 978-605-7811-72-1
17. Morley, M. (2021, November 25). *Healthy Materials Building Interiors Life Cycle Assessment*. WELLNESS REAL ESTATE & HOTEL CONSULTANTS. Retrieved December 16, 2022, from https://biofilico.com/news/healthy-materials-building-interiors-life-cycle
18. Rajagopal, A. (2021, August 27). *Why interior designers must fight climate change*. Metropolis. Retrieved December 16, 2022, from https://metropolismag.com/viewpoints/interior-designers-climate-carbon/
19. Sanchez, M. (2021, November 1). *We can't ignore embodied carbon in buildings any longer, here's why...* PDP London. Retrieved December 17, 2022, from https://pdplondon.com/think-blog/embodied-carbon
20. Souza, E. (2021, May 20). *Why should architects understand and care about carbon and life cycle assessment?* ArchDaily. Retrieved December 16, 2022, from https://www.archdaily.com/959800/how-embodied-carbon-and-life-cycle-analysis-can-support-decisions-in-an-architectural-project
21. The Carbon Leadership Forum. (2018). Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide. https://doi.org/http://hdl.handle.net/1773/41885
22. Thomas, R. (2022, August 2). *What is a LCA?* Grigoriou Interiors . Retrieved December 16, 2022, from https://grigoriou.co.uk/blog/what_is_a_lca/
23. Webb, M. (2021). Biomimetic building facades demonstrate potential to reduce energy consumption for different building typologies in different climate zones. *Clean Technologies and Environmental Policy* . https://doi.org/10.1007/s10098-021-02183-z
24. Yee, E. (2021, March 29). *What is embodied carbon?* CarbonCure Technologies Inc. Retrieved December 16, 2022, from https://www.carboncure.com/concrete-corner/what-is-embodied-carbon/