المجلّة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

عدد خاص
بالمؤتمر الليبي الدولي للعلوم التطبيقية
و الهندسية
27-28- سبتمبر 2022

LICASE
المؤتمر الليبي الدولي للعلوم التطبيقية و الهندسية

طرق وأدوات التصميم البيئي :نظرة عامة وقابلية التطبيق

محمد محمد بن حسين
المركز التقني العالي للإنتاج والتدريب
طرابلس، ليبيا
mmbenhusien@gmail.com

عبد الباسط محمد الامام
قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة
جامعة طرابلس، ليبيا
a_alemam@yahoo.co.uk

الملخص

أثر النمو السريع في الإنتاج الكمي والتطور التكنولوجي للمنتجات خلال العقود الأخيرة على البيئة بكافة جوانبها، حيث يحتاج تصنيعها وتوزيعها واستخدامها والتخلص منها إلى الكثير من الطاقة والموارد وينتج عنها الكثير من الآثار التي تؤثر على توازن النظم الطبيعية. فمشكلة تزايد الانبعاثات الكربونية والنفايات وزيادة استنزاف الموارد الطبيعة والاستهلاك المفرط للطاقة المصاحبة لنشاطات المنتج خلال كل مراحل حياة المنتج. كل هذه العوامل كانت حافزا وسببا وراء كتابة هذه الورقة والرغبة في نشرها، لتكون مدخلا مبسطا لمن لا يمتلك الدراية الكافية بمفهوم المنتج البيئي وأثره على البيئة، ولرفع الوعي بمفهوم التصميم البيئي "Eco-design" لدى المهندسين والمصممين والبُحاث والمهتمين بقضايا البيئة وكل من له علاقة بعمليات التصميم والتطوير. تقدم هذه الورقة منهجا وصفيا وتعريفيا ودراسة تمهيدية ومدخلا للتصميم البيئي متضمنه تعريف التصميم البيئي، مفهومه، خصائصه، أهميته، الأدوات والمنهجيات التي استخدمت لتحقيقه، بالإضافة إلى التحديات التي تواجه التصميم البيئي وذلك من خلال دراسة مستفيضة لبعض الكتب والدراسات الحديثة المهتمة بشؤون البيئة والتصميم البيئي التي نشرت خلال العقدين الآخيرين. كذلك شملت هذه الورقة دراسة تطبيقية على منتج من منتجات شركة هومر للأدوات المنزلية (مجفف الشعر) كحالة تؤكد أهمية التصميم البيئي من خلال نتائج حقيقية أنجزت عبر تطبيق أدوات ومنهجية اعتمدت عليها هذه الورقة لتحقيق تحسينات لمنتج تلبي المتطلبات البيئية وتحد من الأثار السلبية على البيئة.

الكلمات المفتاحية:– التصميم البيئي، الأثر البيئي، تقييم دورة حياة التصميم، التصميم بمساعدة الحاسب الآلي، نشر وظيفة الجودة

Abstract

The impact of rapid growth in quantitative production and technological development of products in recent decades on the environment in all its aspects, where their manufacture, distribution, use and disposal require a lot of energy and resources and result in many impacts on the balance of natural systems. The problem of increasing carbon emissions and waste and increasing natural resource depletion and excessive energy consumption associated with product activities during all stages of the product's life cycle. All theses, was the reason behind writing and the desire to publish this paper, to be a simplified entry point for those who do not have sufficient knowledge of the concept of environmental and to raise awareness of the concept of eco-design and its impact on environmental aspects from engineers, researchers and those interested in environmental issues and for who involved in design and development processes. The paper presents a descriptive and inductive curriculum, preliminary study and

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

input to eco-design, including: the definition of environmental design, its concepts, its characteristics, its importance, the tools and methodologies used to achieve it, as well as the challenges facing environmental design, through a study of some recent books and studies on environmental issues and environmental design which have been published over the last two decades. This paper also included an applied study on a Hommer household item (Hairdryer) product as a case that highlights the importance of eco-design through real results achieved through the application of tools and methodology that this paper relied on to improve a product that meets environmental requirements and reduces the negative impacts on the environment.

1. مشكلة البحث

أصبحت المتطلبات البيئية إحدى أهم مدخلات عمليه التصميم، حيث أن مشكلة البحث تتمثل بأن هناك نقصا واضحا في وعي المهندسين والباحثين بأهمية المنتج البيئي واعتبارات تحقيقه ومدى أثره على نواحي الحياة، مما يؤكد على ضرورة تحديث مفاهيم التصميم والتوجه نحو تصميم يلبي الاحتياجات البيئية ويقلل من الآثار السلبية على البيئة المصاحبة للتصميم خلال دورة حياته.

2. أهمية البحث

- تقديم دراسة تعرف التصميم البيئي وتوضح مفهومه وأدواته وتأثيره على البيئة.
- تأكيد أهمية التصميم البيئي عبر دمج المتطلبات البيئية خلال جميع مراحل التصميم.
- المساهمة في معالجة المشاكل البيئية الناتجة عن المنتج.

3. أهداف البحث

يهدف البحث إلى تحقيق الآتي:

- نشر الوعي لدى المهندسين والمصممين والبحاث بأهمية موضوع التصميم البيئي وأداوته وأثره.
- تزويد المكتبتين الليبية والعربية ببحث يسهم في تغطية النقص في الدراسات المتخصصة التي تتناول موضوع التصميم البيئي.

4. منهجية البحث

اعتمدت هذه الورقة على المنهج النظري التعريفي الاستقرائي، وذلك من خلال استقراء ما ورد فى الكتب والأبحاث والدراسات العلمية المنشورة حديثا ذات الصلة بموضوع التصميم البيئي والوصول إلى أهم النتائج التي تساهم في تحسين المنتجات بأن تكون صديقة للبيئة.

5. مقدمة

أصبحت تحديات المشاكل البيئية من أكبر التحديات التي تواجه المصممين والمصنعين خلال العقود الأخيرة، فالاستغلال المتزايد للموارد الطبيعية والاستهلاك المفرط للطاقة وتزايد الانبعاثات الكربونية وما صاحب كل ذلك من تدهور شامل طال كل نواحي الأرض. كل ذلك أصبح مواضيع حرجة ألزمت مصممي ومنتجي المنتجات على أخذ المتطلبات البيئية في الاعتبار وتقييم الأثر البيئي لمنتجاتهم خلال مراحل مبكرة من عملية التصميم والتي تشمل كل مراحل دورة حياة المنتج.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تشير الدراسات بأن 80% من الآثار السلبية على البيئة يمكن تحديدها خلال القرارات التي يتم اتخاذها أثناء عملية التصميم [1]. التصميم البيئي (Eco-design) يحقق انجازات حقيقية وجدية في الحد من الانبعاثات الكربونية المتزايدة والتقليل من استهلاك الطاقة والموارد الطبيعية [2].

اعتمدت هذه الورقة على المراجعة النظرية الشاملة لأدبيات الموضوع لعدة دراسات ومراجع ورسائل نشرت مؤخرا. قدمت هذه الدراسات عدة مصطلحات ومسميات تصف التصميم البيئي منها: تصميم صديق للبيئة، "Friendly design"، التصميم البيئي "Eco-design" او "Ecology design"، التصميم الأخضر"Green design"، التصميم المستدام "Sustainability design".

1.5. مفهوم التصميم البيئي

جاء في الدراسات التي اعتمدت عليها هذه الورقة عدة صيغ تعرف من خلالها التصميم البيئي. فمواصفة الأيزو (ISO/TR 14062) [3] ذكرت بأنه مجموعة من النشاطات أجريت خلال عمليات التصميم لتحقيق تحسينات تقلل من الأثر البيئي خلال كل مراحل حياة المنتج. بينما ذكر حسين [4] في دراسته بأنه تصميم تم إدراج المتطلبات البيئية المحددة مسبقا في تركيبته وخصائصه ووظائفه مع دراسة وتحليل أثره البيئي مبكرا خلال عمليات التصميم. ويضيف فارزنسكا وءاخرون [5] قائلاً، بأنه تصميم مستدام يحد من استهلاك الموارد الطبيعية ويقلل من استخدام الطاقة والانبعاثات الكربونية مع أداء قوي وفعال. فيكسل [6] علق بأنه تصميم يلبي معايير بيئية محددة أخذت في الاعتبار مسبقا. تعليق ديفندان وءاخرين [7] لم يختلف كثيرا، حيث ذكروا بأنه عملية دمج متطلبات بيئية محددة داخل التصميم ليتمكن من تحقيق مساهمات بيئية حقيقية. داهرية وفيرما [8] تقريبا لهما نفس الرأي حيت ذكرا في دراستهما بأنه تكامل المتطلبات البيئية خلال عملية تطوير المنتج لخلق منتجات بيئية. جونسون [9] أكد بأنه منتج تم أخذ حساب الاعتبارات البيئية خلال بدايات مبكرة من عملية التصميم، حيث القرار الصحيح والصائب والذي يحقق تصميم يلبي المتطلبات البيئية يكون خلال هذه المرحلة كما علق فركونلي وساكو [10]. بينما علق زافيروكوبلوس وارفوسي [11] بأنه تصميم روعى فيه الاعتبارات البيئية وأعطى الأولوية دون إهمال للجودة والأداء والتكلفة. كذلك هو تصميم استخدم فيه مواد تم استخدامها مسبقا مما يسمح بقفل دورة حياة المنتج وهذا يحد من استنزاف الموارد، كما هو موضح في الشكل (1) [12].

الشكل (1). دورة حياة المنتج البيئي

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

2.5. أهداف التصميم البيئي

- دمج المتطلبات والمعايير البيئية في التصميم خلال عملية التصميم من أجل تصميم صديق للبيئة.
- تقييم الأثر البيئي لدورة حياة المنتج خلال مرحلة التصميم من أجل التنبؤ بالأضرار البيئية مبكرا ومن تم تقليلها.

3.5. فوائد التصميم البيئي

كما ذكر سابقا ومن خلال الدراسات المهتمة بالتصميم البيئي، بأنه تصميم يتم فيه أخذ حساب المتطلبات البيئية أثناء عملية التصميم متضمنة كل مراحل حياته من خلال اتخاذ قرارات تقلل من هدر واستنزاف الموارد وتخفض من معدلات استهلاك الطاقة وتصل بقيم الانبعاثات الكربونية إلى قيم صفرية عبر كل مراحل حياة المنتج، كما هو موضح في جدول (1) [13].

جدول 1. القرارات التي يتم اتخاذها من أجل تصميم بيئي خلال دورة حياة المنتج

المرحلة	معايير المنتج البيئي
التصنيع متضمن عمليات الاستخراج	استخدام مصادر طاقة متجددة بأقل ضرر
	استخدام مواد غير سامة
	استخدام مواد مستعملة مسبقا
	استخدام مواد يمكن إعادة تصنيعها مرة أخرى
	استخدام عمليات صفرية الانبعاثات
	اختيار أقل المسافات بين أماكن الاستخراج والتصنيع والاستعمال
	أقل تغليف
مرحلة الإستخدام	استهلاك أقل للمصادر الطبيعية (طاقة، ماء)
	عمر أطول (ديمومة)
	قابلية وسهولة التطوير
	قابلية وسهولة الصيانة
	خفيف الوزن
مرحلة التخلص من المنتج	التخلص أو التقليل من عمليات الردم والحرق بإعادة استخدامه

4.5. تحديات التصميم البيئي

تواجه عملية التصميم الذي يلبي الاعتبارات البيئية عدة تحديات منها:

- **التوقيت**

كما ذكر سابقا بأن 80% من التأثيرات البيئية للتصميم خلال مراحل حياته يتم تحديدها من خلال القرارات التي يتم اتخاذها مبكرا أثناء عملية التصميم. لذا عند هذه المرحلة القرارات السليمة والمتمثلة في اختيار نوعية المواد والعمليات الصناعية وأنواع الطاقة والمواصلات وكذلك المسافات ستقلل لاحقا من التكلفة والوقت والجهد وستحد من الآثار السلبية على البيئة الناتجة من الأنشطة المرتبطة بالتصميم خلال جميع مراحل حياته [14].

- **التوازن**

الآثار البيئية واحدة من عدة اعتبارات مهمة يجب على المصمم أخذها في الاعتبار خلال عملية التطوير والتصميم، مع عدم إهمال الاعتبارات الأخرى كالأداء، الوظائف، التكلفة، وكذلك الناحية الشكلية والجمالية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

- **توفر المعرفة**

من التحديات التي تواجه المصمم لتحقيق تصميم بيئي، هو عدم الإلمام الكافي بالأدوات التي يجب استخدامها لتحديد المتطلبات البيئية التي يجب أخذها مبكرا عند عمليات التصميم والتطوير. بالإضافة إلى الطرق المتوفرة لتقييم المنتج والتنبؤ بالآثار الناتجة قبل مراحل الإنتاج والاستخدام، والآليات التي يجب استخدامها لتوفير حلول وبدائل تزيل مسببات المشاكل البيئية.

- **توفر البيانات والمعلومات**

تزويد المصمم بقدر كاف من المعلومات والبيانات المتعلقة بالمواد وعمليات الإنتاج وأنواع وسائل المواصلات وتأثير كل ذلك على البيئة، وفي الوقت المناسب يُمكن للمصمم اختيار القرار الصحيح الذي يقود إلى تصميم بأقل أثر على البيئة.

5.5. الأدوات المستخدمة لغرض التصميم البيئي

اقترحت العديد من الدراسات والمواصفات والأبحاث المهتمة بشؤون البيئة والتي نشرت مؤخرا عددا من الأدوات وقدمت عدة منهجيات وآليات مبتكرة من أجل تحقيق منتج صديق للبيئة. مواصفة الأيزو2002 (ISO/TR-14062) اقترحت 30 أداة يمكن استعمالها من أجل تقديم وتطوير منتجات أقل ضرر على البيئة [10] نذكر منها:

1.5.5. أداة نشر وظيفة الجودة (QFD)

من الأدوات المهمة والتي تستخدم خلال مرحلة تحديد احتياجات العميل ليتم تضمينها وإدراجها في المنتجات خلال عمليات التصميم والتطوير هي أداة نشر الجودة "Quality Functional Deployment" (QFD). تعتبر QFD أداة من أدوات الجودة الشاملة بل أشهرها وأكثرها استعمالا في تطوير المنتجات بناء على رغبات العميل. ففي فلسفة الجودة الشاملة (TQM) ، تدار عمليات التحسين المستمر من خلال تحديد ومعرفة رغبات العميل وتحقيقها [15]. وظيفة أداة نشر الجودة الأساسية هو تحديد رغبات العميل وترجمتها إلى خصائص هندسية ليتم إدراجها في خصائص المنتج. قدمها العالم الياباني يوجي أكو سنة 1966 واستخدمها في شركة التويوتا كأداة لتحقيق رغبات العميل. وأعطى استخدام الأداة نتائج هامة وذلك من خلال إنجاز تخفيضات مهمة في نفقات تصميم السيارات الجديدة قدرت بنسبة 61% [16]، لتنتشر بعدها في أوروبا وأمريكا مع بداية الثمانينات من القرن الماضي في كل مجالات الصناعة محققا نجاحات معتبرة.

- **تعريف أداة نشر الجودة**

قدمت الدراسات التي اعتمدت عليها هذه الورقة والمهتمة بتطوير المنتجات صيغا متنوعة تكاد تكون متقاربة لتعريف الأداة QFD، فأبسط تعريف جاء من مخترع هذه الأداة (يوجي أكو) حيث عرفها بأنها آلية تترجم رغبة العميل، أي ماذا يريد، ماذا يرغب وماذا يطمح، وترجمتها إلى خصائص هندسية [17]. قانقو وتروكو [18] وصفا QFD في ورقتهما بأنها أداة تستعمل من قبل المصممين والمطورين لالتقاط احتياجات العميل من خلال الاستماع إلى صوته وتحويله إلى خصائص فنية عبر مصفوفة بيت الجودة (HOQ) ، ليتم نشرهُ بعد ذلك في كل مراحل المنتج خلال مصفوفة العلاقات. حسين [4] علق في أطروحته العلمية بأنها آلية يستطيع العميل بواسطتها التأثير بشكل مباشر على المنتج وبأنها حلقة وصل بينه وبين المصمم تمكنه من إدراج رغباته خلال فترة التصميم. بينما علق هاوسر وءاخرون [19] بأنها منهجية علمية منظمة تركز على تطوير

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

المنتج عن طريق الإصغاء لصوت الزبون والمهندس والمنافسين لتقديم منتج يحقق ميزة تنافسية. تحديد احتياجات العميل تتم بعدة طرق، عن طريق المقابلات واللقاءات المباشرة وعبر إجراء الاستبيان الذي يشمل كل من له علاقة بالمنتج، من مستخدمي المصانع والقائمين بأعمال الصيانة.

- **توقيت استخدام أداة نشر الجودة**

إن نجاح تطبيق أي أسلوب يعتمد على التوقيت المناسب لاستخدامه، ولما كانت أداة نشر الجودة تعتمد على تحديد المعلومات حول أهم رغبات العميل المطلوب توفرها في المنتج، لذا كان من الضروري استخدام هذه الأداة خلال مراحل مبكرة من مرحلة التصميم [20].

- **تطور أداة نشر الجودة**

اتسع مفهوم العميل، ففي فلسفة الجودة الشاملة لم يعد عميل واحد (المستخدم) بل أصبح هناك عدة عملاء، كل من له علاقة مباشرة أو غير مباشرة بالمنتج خلال مراحل حياته يسمى عميلا، ومن الضروري الاستماع لصوته وتحديد متطلباته وإدراجها في المنتج خلال عمليات التصميم والتصنيع. وكما ذكرنا مسبقا بأنه يمكن أن ينعكس أداء المنتج خلال مراحل حياته على البيئة. لذا أصبحت البيئة خلال العقود الأخيرة في صدارة قائمة العملاء. عليه أصبح لزاما على المصممين والمطورين تحديد المتطلبات البيئية خلال مراحل مبكرة للوصول إلى منتج قادر على تلبية هذه المتطلبات. ولمواكبة هذا التغيير طور العديد من الباحثين والمهتمين بقضايا البيئة أداة نشر الجودة (QFD) عبر توسيعها لتشمل المتطلبات البيئية ولتكون أداة فعالة قادرة على تطوير منتجات تلائم احتياجات البيئة. جاء هذا التطوير في العديد من الدارسات بعدة مسميات فمثلا لي وبارك [3] عبرا عنها في ورقتهما بمصطلح أداة نشر الجودة البيئية (EQFD). ذكرها ساكو [21] باسم "أداة نشر الجودة لأجل البيئة" (QFDE). بينما استخدم فينودا وءاخرون [22] مصطلح "أداة نشر جودة الوعي البيئي" (ECQFD).

جاء هذا التوسع من أجل تلبية المتطلبات البيئية في الدراسة التي قدمها فارقنولي وكيمورا [23] باسم أداة نشر الجودة الخضراء (Green–QFD) أو(G–QFD). أبيل وءاخرون [24] تعامل مع هذا التطور لتلبية الاحتياجات البيئية بمصطلح أداة نشر الجودة خلال مراحل حياة المنتج (LC–QFD).

- **أهداف أداة نشر الجودة البيئية (EQFD)**

1. تقديم منتجات جديدة وتطوير وتحسين منتجات متواجدة لها القدرة على تلبية متطلبات البيئة.
2. التحديد الدقيق للمتطلبات البيئية والتعرف على أهمية كل منها.
3. ترجمة المتطلبات البيئية للمنتج إلى مواصفات فنية يمكن قياسها.
4. تحديد وبدقة العناصر البيئية التي يجب التركيز عليها.

- **خطوات تطبيق أداة نشر الجودة البيئية (EQFD)**

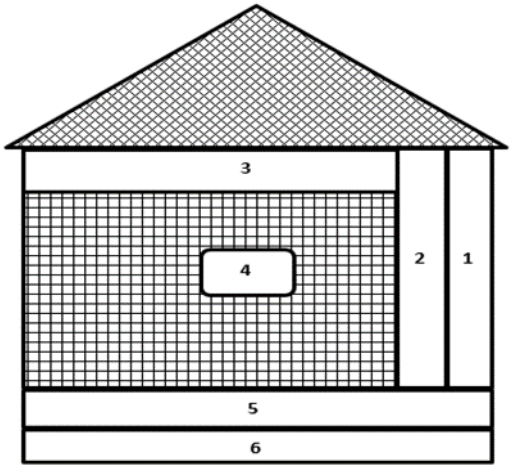
يمر تطبيق أداة نشر الجودة البيئية EQFD بعدة خطوات كالتالي [25،26]:

الخطوة الأولى: تحديد الاحتياجات البيئية وذلك من خلال المقابلات المباشرة والزيارات الميدانية وتوزيع استبيانات على العملاء، ومن تم ترتيب هذه الاحتياجات حسب أهميتها وفقا لوجهة نظر العميل.

الخطوة الثانية: ترجمة الاحتياجات والرغبات إلى مواصفات هندسية وخصائص فنية قابلة للقياس.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

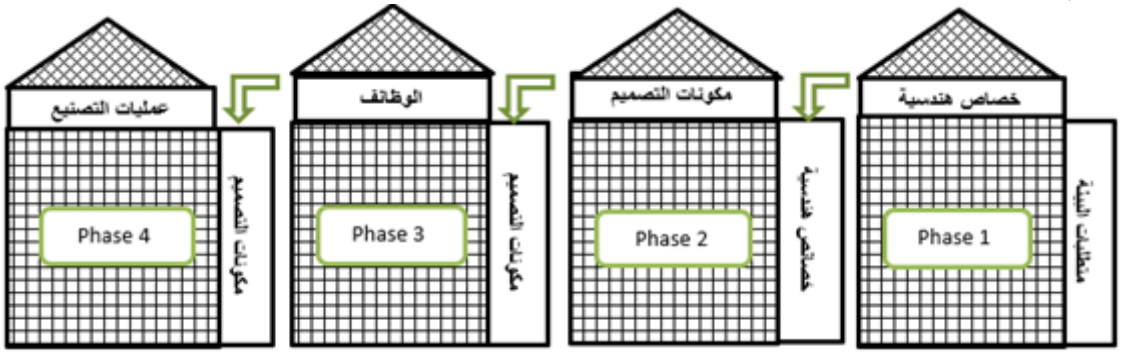
الخطوة الثالثة: بناء مصفوفة ببيت الجودة (HOQ) تحدد العلاقة بين متطلبات العميل والمواصفات الهندسية، بحيث يتم وصف العلاقة بقيم تحدد مدى قوة العلاقة، قوية، متوسطة أو ضعيفة. شكل (2) يوضح مكونات مصفوفة بيت الجودة.



شكل (2). هيكلية مصفوفة بيت الجودة (HOQ)

تتكون مصفوفة بيت الجودة من ستة أجزاء: جزء رقم (1) يتضمن متطلبات العميل. جزء رقم (2) يحتوي على وزن الأهمية بالنسبة للعميل. جزء رقم (3) يحتوي على الخصائص الهندسية المقابلة لمتطلبات العميل. جزء رقم (4) يوضح مصفوفة العلاقات والتي يتم فيها تحديد العلاقة بين الاحتياجات والخصائص، إما أن تكون العلاقة قوية، متوسطة أو ضعيفة. جزء رقم (5) يبين نتائج الوزن المطلق لكل خاصية وهو ناتج عن حاصل مجموع ضرب قيمة وزن الأهمية لكل متطلب في قوة العلاقة بين المتطلب مع الخصائص الفنية. جزء رقم (6) يمثل الوزن النسبي وهو نسبة التأثير لكل خاصية بالنسبة لمجموع الخصائص، وهنا تظهر أكثر الخصائص تأثيرا على البيئة والتي تحتاج إلى تحسين ودراسة أكثر.

الخطوة الرابعة: بناء مصفوفات العلاقات والتي تعتمد على الجزء/ الأجزاء المستهدفة للتطوير، وللحد من الضرر البيئي للمنتج. عناصر هذه المصفوفات عبارة عن متطلبات، خصائص هندسية، وظائف، أجزاء المنتج وعمليات تصنيع. كما هو موضح في شكل(3) [26].



شكل (3). مراحل عمليات نشر الجودة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

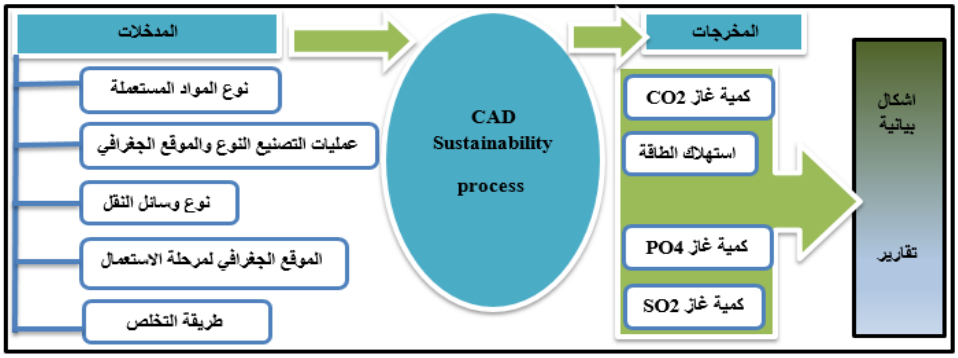
2.5.5. أداة تقييم دورة حياة المنتج (LCA)

يعتبر المنتج خلال دورة حياته مصدرا لأغلب الآثار البيئية، فما يستهلكه من طاقة ومواد خام وما ينتج من انبعاثات خلال مراحل حياته بداية من عمليات استخراج المواد الخام إلى عمليات التصنيع ومرورا بعمليات النقل ومرحلة الاستخدام، ثم أخيراً مرحلة نهاية حياة المنتج التي فيها يتم دفنه أو حرقه أو إعادة استخدامه. هذه الآثار الناتجة خلال دورة حياة المنتج ليس من السهل إزالتها خلال المراحل اللاحقة لمرحلة التصميم. لذا كان من الضروري توفر بيانات ومعلومات بيئية متعلقة بالمواد والعمليات الصناعية المستخدمة، الموقع الجغرافي، بالإضافة إلى نوع وسيلة النقل ومدى تأثير كل ذلك على البيئة من خلال مؤشرات محددة، كمعدلات استهلاك الطاقة وكمية انبعاث الغازات في الجوء، تزود المصممين بمعلومات وتوفر عدة خيارات خلال فترة التصميم تمكنهم من اتخاذ القرار الصحيح من أجل تصميم بيئي. تتوفر حاليا عدة برامج الكترونية تزود المصممين بمعلومات بيئية تساعدهم على إنجاز تصميم ملائم للبيئة منها: برنامج "SimaPro"، برنامج "Open LCA"، برنامج "Umberto" برنامج "GaBi" [27]. أدوات تقييم الأثر البيئي خلال دورة حياة المنتج (LCA) ليست أدوات تقييم بالمعنى المفهوم للتقييم، ولكنها في الحقيقة أدوات تساعد في عمل مقارنة بين عدة خيارات وبدائل يتم توفيرها، تمكن المصمم من الوصول إلى الأفضل والأكثر أمنا والأقل ضررا على البيئة من أجل تصميم بيئي ملائم.

3.5.5 برامج التصميم بمساعدة الحاسب الآلي (CAD)

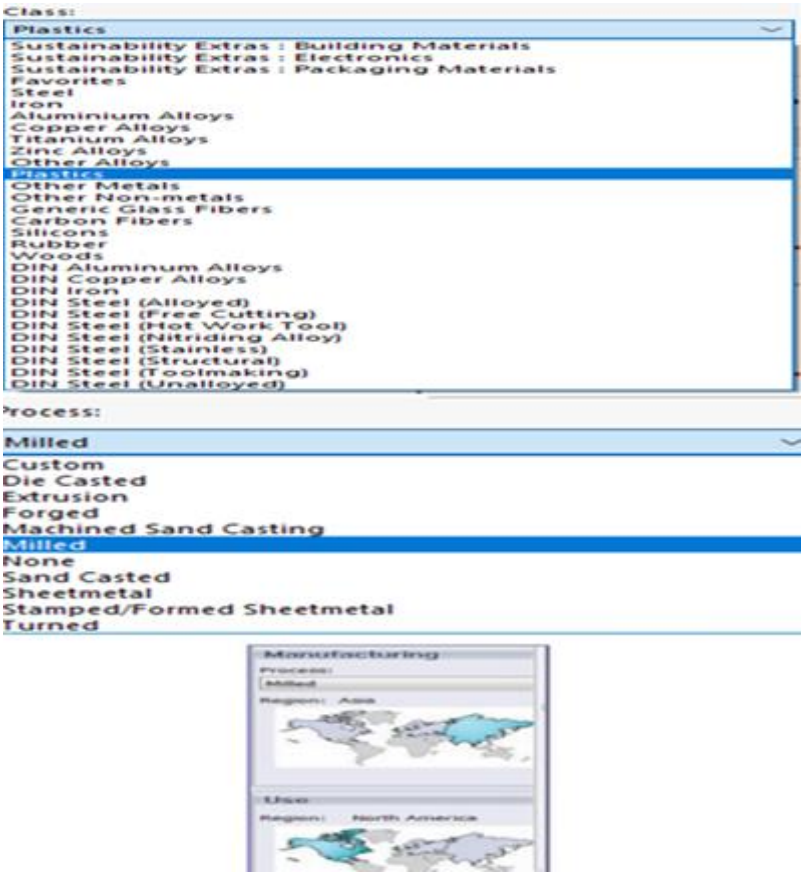
تغيرت بيئة التصميم في العقدين الأخيرين، فأصبح المصممون اليوم أكثر اعتمادا على برامج التصميم بالحاسب الآلي في إنجاز مهامهم، من إعداد الرسومات الأولية للتصاميم وتحويلها إلى أشكال ثلاثية الأبعاد. تتوفر اليوم عدة برامج تستخدم في التصميم في كل فروع الهندسة كبرنامج: AutoCAD، SolidWorks، XN، CATIA وغيرها. طورت الشركات المصنعة لبرامج التصميم مؤخرا برامجها بحيث أصبحت برامج تصميم وتقييم في آن واحد، وذلك بدمج برامج التقييم والتحليل الهندسية بمساعدة الحاسب الآلي (CAE) مع برامج (CAD) لتكون أداة واحدة تمكن المصمم من تصميم منتجاته وتقييمها وإجراء اختبارات مماثلة للظروف التي يؤدي فيها تصميم الوظيفة المصممة من أجلها بكل كفاءة واعتمادية. وكما ذكر سابقا من تأثير المنتج على البيئة خلال دورة حياته، دعمت الشركات المصممة لبرامج التصميم بالحاسب الآلي برامجها بخصائص تمكن المصمم من تقييم منتجه من وجهة النظر البيئية، وذلك بدمج برامج تقييم أثر المنتج بيئيا خلال كامل دورة حياته(LCA) مع برامج التصميم لتكون أدوات تصميم بيئية توفر منتجات مستدامة لها القدرة على عدم الإخلال بالنظام البيئي، وذلك من خلال المحافظة على الموارد البيئية وباستخدام مواد قابلة للتدوير يمكن إعادة استخدامها مرة أخرى لإنتاج منتجات أخرى مختلفة تماما. وأيضا باختيار بدائل قليلة الانبعاثات الكربونية. على سبيل المثال دعمت شركة داسو نسختها من برنامج "SolidWorks" 2010 ببرنامج تقييم دورة حياة المنتج "GaBi" [28]، ليكون برنامج تصميم مستدام يدعم التصميم البيئي، ويُمكن المصمم من تقييم منتجاته خلال مراحل مبكرة من عمليات التصميم قبل مراحل الإنتاج والاستخدام، مما يوفر وقتا وجهدا وتكلفة. يزود البرنامج المصممين ببدائل وخيارات توفر قدرا كبيرا من المعلومات والبيانات حول المواد وأنواعها وعمليات التصنيع وكذلك أنواع وسائل النقل والمواقع الجغرافية، ومن تم يتم تقييمها وتحليلها وعرض النتائج كقيم ورسومات بيانية تساعد المصمم لاتخاذ القرار الصحيح في وقت مبكر. شكل (4) [29] يبين مدخلات ومخرجات عملية تقييم الأثر البيئي لتصميم منتج.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



شكل (4). مدخلات ومخرجات عملية تقييم الأثر البيئي لتصميم منتج

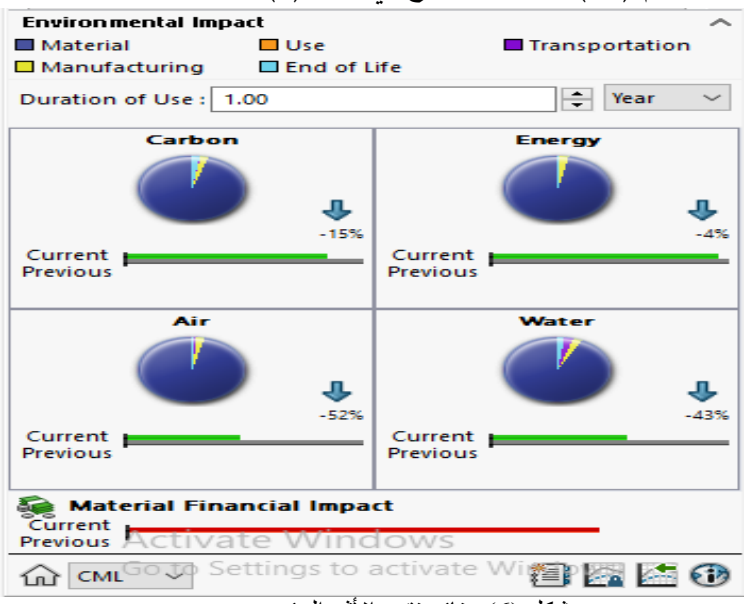
الخيارات التي يقدمها برنامج "GaBi" عبارة عن معلومات وبيانات مبوبة في قوائم يمكن عرضها بسهولة على واجهة جهاز الحاسب وأمام المصمم مما يسهل تحقيق التصميم البيئي. القوائم هي: قائمة المواد، والتي تحتوي على كل أنواع المواد، قائمة عمليات التصنيع، قائمة أنواع المواصلات المستخدمة، خريطة لتحديد أقصر المسافات بين مواقع التصنيع والاستعمال، وأخيرا قائمة خيارات سيناريو نهاية عمر المنتج وطريقة التخلص منه [30]، كما هو موضح في الشكل (5).



شكل(5). قوائم الخيارات

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تتم عملية التقييم بعمل مقارنة بين البدائل من خلال مؤشرات بيئية محددة مقاسة خلال كل مراحل دورة حياة المنتج، كمعدلات استهلاك الطاقة مقاسة بالميجاجول (MJ)، وكمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة في الهواء مقاس بالكيلوجرام (Kg)، وكمية غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 المسببة لظاهرة الأمطار الحمضية مقاس بالكيلوجرام (Kg)، والفوسفات PO_4 الملوث لمياه الأنهار والبحار مقاس بالكيلوجرام (Kg)، كما هو موضح في شكل (6) [31].



شكل (6). نتائج تقييم الأثر البيئي

4.5.5 نظرية تريز (TRIZ)

تعتبر طريقة تريز من الطرق الحديثة التي تستخدم في حل المشكلات البيئية الناتجة خلال دورة حياة المنتج وإزالة التناقضات بين التأثير البيئي والغاية من تصميم المنتج/ العملية. جاء اسم تريز اختصارا للأحرف الأولى من الكلمات الروسية للعبارة (Teoria Resheipy Izobreatatelskikh Zadatch)، وتعني نظرية الحل الابتكاري للمشكلات. ابتكرها المهندس الروسي (هنري التشلر) خلال عمله في البحرية الروسية كموثق لبراءات الاختراع. لاحظ من خلال دراسة وتحليل أكثر من 400,000 براءة اختراع بأن كل الإبداعات اعتمدت على أربعين مبدأ أو طريقة [32]. جدول (2) يحتوي على مبادئ نظرية تريز [34،33].

العديد من الأبحاث والدراسات المهتمة بقضايا البيئة استخدمت أداة تريز في تقديم منهجيات من أجل تصميم صديق للبيئة، وذلك بإعطاء المتطلبات البيئية أولوية خلال عمليات التطوير. تعتبر أداة تريز من أدوات الجودة وتستخدم في توليد حلول إبداعية لعدة مشاكل ومنها المشاكل الناتجة من المنتج خلال مراحل حياته والمسببة ضررا على البيئة. وقد أثبتت العديد من الدراسات فاعلية استخدام نظرية تريز وأن لها القدرة على إزالة التناقضات الموجودة في التصاميم بين كل المتطلبات وإيجاد حلول متوازنة بين الخصائص ومكونات المنتج [21] .

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

جدول (2). مبادئ نظرية تريز

1- التجزئة والتقسيم	2- الإستخلاص والفصل	3- الإستفادة من الخاصية المكانية لأجزاء النظام	4- التماثل أو التوازن	5- الدمج في المكان/ الزمان
6- تعدد الأفعال	7- الإحتواء والتداخل المكاني	8- معادلة الوزن أو الفعل	9- إحداث فعل مضاد سابق	10- إحداث فعل مبكر زماني/ مكاني
11- أخذ الحيطة مبكراً	12- تساوي طاقة الوضع	13- عكس الفعل	14- التكوير والانحناء	15- ذاتية التغيير والضبط
16- الفعل الجزئي أو الزائد	17- التوجه إلى بعد جديد	18- التذبذب الميكانيكي	19- الفعل المتكرر	20- استمرارية الفعل المفيد
21- تسريع الفعل الضار	22- تغيير الضار إلى نافع	23- استعمال التغذية الراجعة	24- استعمال مؤثر وسيط	25- الصيانة الذاتية
26- استعمال نسخة مشابهة	27- منتج رخيص قصير العمر بدل المكلف المتين	28- استبدال النظام الميكانيكي	29- استعمال الأنظمة الهيدروليكية والهوائية	30- الحواجز المرنة أو الرقيقة
31- استعمال المواد المسامية	32- تغيير اللون أو الشفافية	33- تجانس المواد المستخدمة	34- التخلص من الأجزاء المستهلكة أو إعادة تجديدها	35- تغيير الحالة الفيزيائية أو الكيميائية للمادة
36- الاستفادة من تأثيرات تحولات حالة المادة	37- الإستفادة من خاصية التمدد الحراري	38- استعمال المؤكسدات القوية	39- استعمال بيئة خاملة أو بيئة مفرغة هوائياً	40- استعمال المواد المركبة

5.5.5 المقارنة المرجعية (Environmental benchmarking)

تعد المقارنة المرجعية "Benchmarking" أداة من أدوات الجودة الشاملة التي تستخدم لإجراء عمليات التحسين المستمر. استخدمت مؤخرا في عمليات التحسين من أجل البيئة. المقارنة المرجعية وسيلة فعالة يستخدمها المصممون لتحليل نقاط القوة والضعف لمنتجاتهم مقارنة مع منتجات أخرى منافسة. المقارنة المرجعية ليست بديلا للابتكار ولكنها أحد أهم مصادر الإبداع واستنساخ الأفكار الخلاقة واستخلاص تجارب المنافسين وتجنب تكرار الجهود والاستفادة مما تم إنجازه [35].

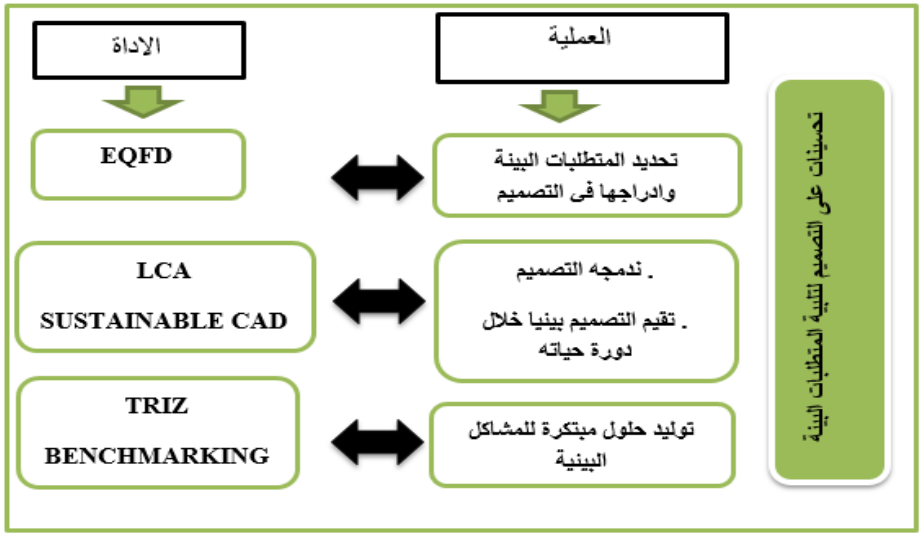
6.5 المنهجيات المستخدمة من أجل منتج بيئي

قدمت الدراسات التي اعتمدت عليها هذه الورقة عدة طرق ومنهجيات مبتكرة، وذلك من خلال دمج عدد من أدوات التصميم البيئي التي ذكرت للحصول على نتائج أفضل منها عند استخدام كل أداة على حدة. تحديد متطلبات البيئة يأتي دائما في الأولية وقبل البدء في عملية التصميم، ليتم إدراجها في المنتج. يعد تقييم الأثر البيئي للمنتج مسبقا وخلال عملية التصميم من الخطوات المهمة لتحقيق المنتج البيئي المطلوب. توليد حلول فعالة ومبتكرة تزيل مسببات الضرر وتحل التناقضات بين المتطلبات تعتبر أيضا خطوة هامة قبل مرحلة الإنتاج والاستخدام. فمثلا حسين [4] قدم في دراسته منهجية لتحسين منتج مستخدم، اعتمدت المنهجية على دمج أداة تحديد المتطلبات البيئية (EQFD) مع أداة التصميم بالحاسب الآلي المستدام (CAD) كأداة تصميم وتقييم بيئية، وقد حققت دراسته نتائج مهمة من خلال تطبيق المنهجية على منتج مستخدم (ثلاجة). أظهرت النتائج انخفاضا في معدل استهلاك الطاقة بمقدار 53305.00 ميجا جول وتقليل كمية الانبعاثات من غاز ثاني

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

أكسيد الكربون بقيمة 6443.60 كيلوجرام، ومن غاز ثاني أكسيد الكبريت بقيمة 26.87 كيلوجرام و 25.70 كيلوجرام من الفوسفات الملوث للمياه وذلك خلال تقييم دورة حياة المنتج بالكامل. دفندان وءاخرون [7] قدموا منهجية مبتكرة تدعم المنتج البيئي خلال مراحل مبكرة من التصميم من خلال فك المنتج لتحديد أكثر المكونات تأثيرا على البيئة عن طريق تقييم أثره مقارنة بمنتجات أخرى ليتم إعادة تصميمه، وقد حققت هذه الدراسة خفضا من الانبعاث لغاز ثاني أكسيد الكربون بمقدار 20%. الإمام ولي [15] قدما منهجية تعتمد على دمج أداة EQFD مع مصفوفة الوظائف FA لتحسين منتج مستخدم يحد من الأثر البيئي. بينما ساكو [21] قدم منهجية اعتمدت على دراسة مكونات المنتج وتحليلها، حيث اعتمدت على تحديد الاحتياجات البيئية وترجمتها إلى خصائص هندسية ومن تم ربطها مع مكونات التصميم لتحديد أكثر المكونات تأثيرا على البيئة باستخدام أداة EQFD. بعد ذلك استخدم نظرية ترز لإيجاد حلول مبتكرة لمسببات المشاكل البيئية الناتجة من المكونات التي حددت مسبقا.

شكل (7) يوضح أكثر الأدوات استعمالا في الدراسات التي اعتمدت عليها هذه الورقة، حيث تم استعمال كل أداة على حدة أو بدمج أداتين أو ثلاثة أدوات وذلك حسب المنهجية التي قدمتها كل دراسة.



شكل (7) الأدوات الأكثر استعمالا ووظائفها

6. دراسة حالة

المنتج الذي تم اختياره لاستخدامه في هذه الدراسة هو مجفف الشعر (Hair dryer)، أحد منتجات شركة هومر للأدوات المنزلية. سبب اختيار هذا المنتج هو أنه منتج مستهلك للطاقة الكهربائية، كذلك يعتبر من المنتجات شائعة الاستعمال عالميا. فأي تحسين يجرى عليه ينعكس بشكل إيجابي على البيئة، بالإضافة إلى سهولة فهم تركيب مكوناته وآلية استخدامه.

1.6 تطبيق أداة نشر الجودة البيئية

أولا: تحديد الاحتياجات البيئية

r_1: أقل استهلاك للطاقة، r_2: أقل انبعاثات كربونية، r_3: استخدام مواد قابلة لإعادة الاستخدام، r_4: متعدد السرعات، r_5: التحكم في درجة الحرارة،r_6 : خفيف الوزن.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

ثانيا: ترجمة الاحتياجات إلى خصائص هندسية

m_1 : كمية الطاقة المستهلكة بالجول، m_2: كمية غاز ثاني أكسيد الكربون بالكيلوجرام، m_3 :نوع المواد المستخدمة، m_4: الوزن بالكيلوجرام.

ثالثا: تحديد أهم مكونات المنتج

c_1: المحرك الكهربي،c_2: المسخن، c_3: جسم المنتج، c_4 :المروحة.

رابعا: إنشاء المرحلة الأولى من أداة نشر الجودة (مصفوفة العلاقة بين الاحتياجات والخصائص)

الاحتياجات	وزن الأهمية	الخصائص			
		m_1	m_2	m_3	m_4
r_1	5	9	9	9	3
r_2	5	9	9	9	3
r_3	4	1	3	9	1
r_4	3	1	1	0	0
r_5	3	9	9	0	0
r_6	2	3	3	9	9
الوزن الترجيحي		130	138	144	52
الوزن النسبي		28.02	29.74	31.03	11.21
المرتبة		3	2	1	4

شكل (8) مصفوفة العلاقة بين الاحتياجات والخصائص

شكل (8) يبين نتائج مصفوفة العلاقة بين الاحتياجات والخصائص، حيث جاءت للأهمية وقوة الارتباط m_3 (نوع المادة المستخدمة) بالمرتبة الأولى، تليها m_2 كمية (الغازات المنبعثة)، ثم m_1 (كمية الطاقة المستهلكة).

خامسا: إنشاء المرحلة الثانية من أداة نشر الجودة (مصفوفة العلاقة بين الخصائص ومكونات المنتج)

الخصائص	الوزن النسبي للخصائص	المكونات			
		c_1	c_2	c_3	c_4
m_1	28.02	3	9	9	1
m_2	29.74	3	9	9	1
m_3	31.03	3	3	9	1
m_4	11.21	1	1	9	1
الوزن الترجيحي للمكون		277.58	624.14	900	100
الوزن النسبي للمكون		14.60	32.82	47.33	5.26
المرتبة		3	2	1	4

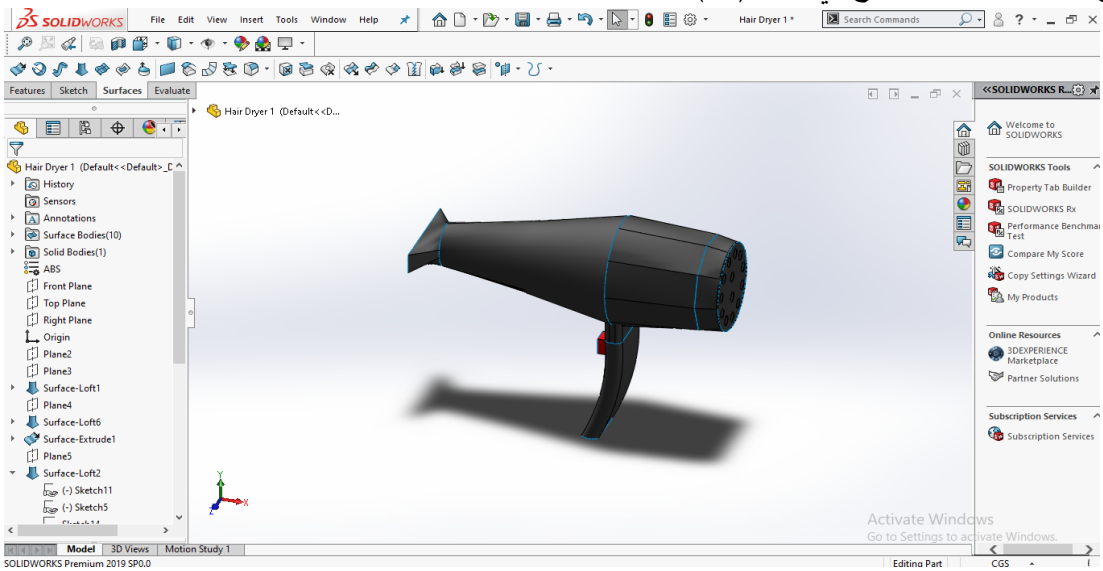
شكل (9) مصفوفة العلاقة بين الخصائص ومكونات المنتج

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

شكل (9) يوضح نتائج مصفوفة العلاقة بين الخصائص ومكونات المنتج، حيث جآء للأهمية وقوة الارتباط المكون c_3 (جسم المنتج) في المرتبة الأولى، وهذا يشير إلى أن هذا المكون يحتاج إلى تحليل وتقييم وإيجاد حلول مبتكرة تحد من أثره على البيئة.

2.6 استخدام برنامج CAD المدعوم بأداة تقييم الأثر البيئي LCA

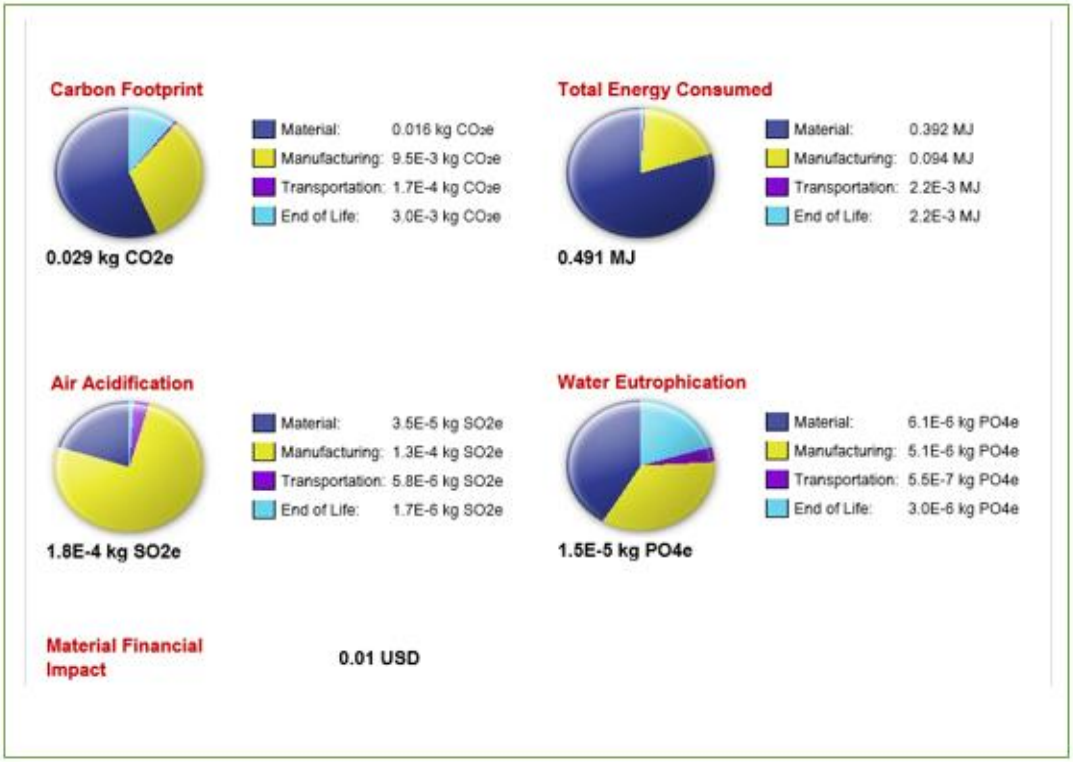
لتقييم أجزاء المنتج الأكثر تأثيرا على البيئة، تم نمدجة المنتج (مجفف الشعر) باستخدام برنامج SolidWorks المدعوم ببرنامج GaBi، كما هو موضح في شكل (10).



شكل (10) مجفف الشعر باستخدام برنامج SolidWorks

يتطلب تقييم المنتج تحديد نوع المواد المستخدمة في صناعته، طريقة التصنيع، الموقع الجغرافي بالإضافة إلى نوعية المواصلات المستخدمة والمسافة المقطوعة، كذلك طريقة التخلص من المنتج خلال مرحلة نهاية عمره. من خلال الموقع الإلكتروني للشركة المصنعة وبزيارة الشركة الموردة للمنتج، تبين أن المادة المستخدمة في صناعة الجسم الخارجي هي مادة البلاستيك نوع ABS التي تم انتاجها بطريقة الحقن المباشر (Injection). وكانت نتائج التقييم كما هو مبين في شكل (11)، حيث كانت كمية انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون 0.029 كيلوجرام، معدل استهلاك الطاقة 0.491 ميجا جول، كمية غاز SO2 المسبب لتلوث الهواء 1.8 E−4 كيلوجرام، وكمية PO4 المسبب لتلوث المياه 1.5 E−5 كيلوجرام.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

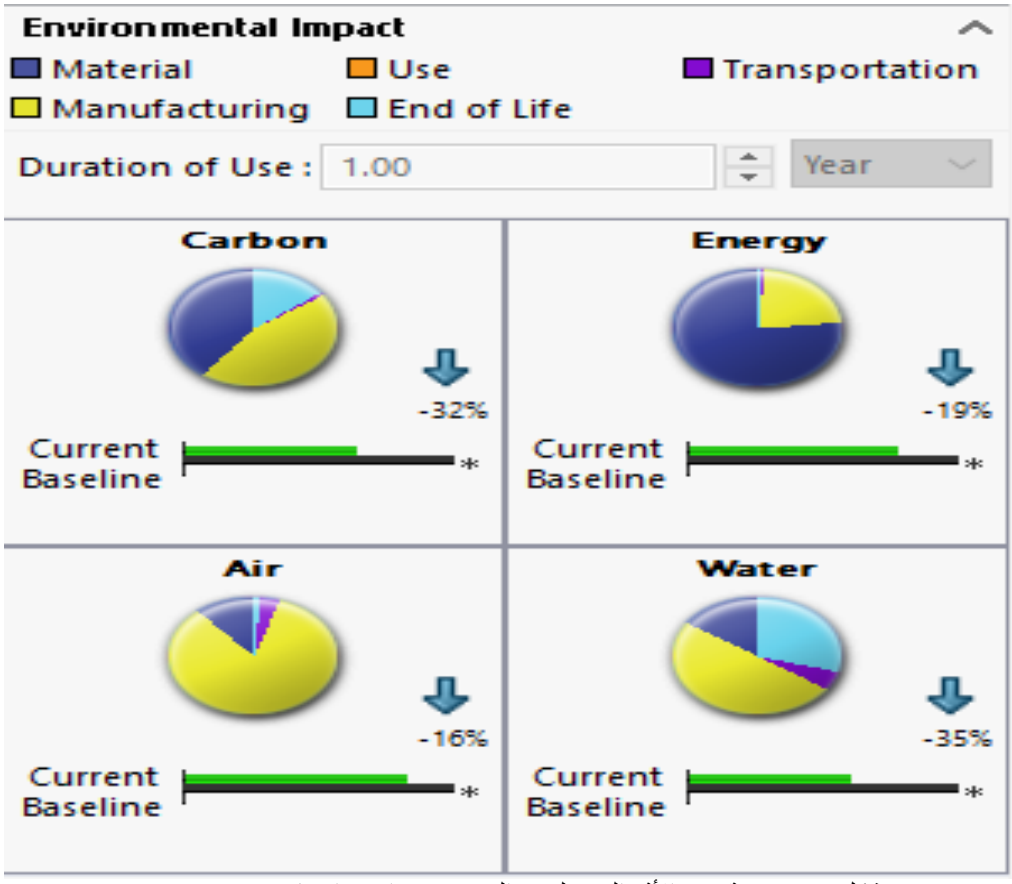


شكل (11) نتائج تقيم الأثر البيئي للمنتج

3.6 استخدام نظرية تريز وأداة المقارنة المرجعية لتوليد حلول مبتكرة

بناء على نتائج المرحلة الأولى لأداة نشر الجودة فإن نوع المادة المستخدمة (m_3) كانت أقوى خصائص المنتج علاقة بالمتطلبات البيئية، حيث جآءت بالمرتبة الأولى. وبناء على نتائج المرحلة الثانية لأداة نشر الجودة، كان مكون الجسم الخارجي للمجفف (c_3) أكثر مكونات المنتج تأثيراً على البيئة. من خلال دراسة مبادئ طريقة تريز كما هو مبين في جدول (2)، وتطبيق المناسب منها، تم اختيار المبدأ 35 (تغيير الحالة الفيزيائية أو الكيميائية للمادة) للتطبيق. ومن استخدام أداة المقارنة المرجعية يمكن إيجاد حلول مبتكرة لتحسين المكونات الأكثر تأثيرا على البيئة، من خلال معاينة منتجات أخرى مشابهة للمنتج المحدد متوفرة، وجد أن عدة شركات تستخدم مادة البلاستك نوع البولي إثيلين عالي الكثافة (HDPE) في صناعة الجسم الخارجي للمجفف باستخدام عملية الحقن المباشر. باستخدام برنامج SolidWorks تم مقارنة المادتين ABS و HDPE بيئيا. كانت النتائج كما هو موضح في شكل (12). حيث تبين أنه عند استخدام المكون من مادة HDPE أعطى ضررا أقل على البيئة من المكون المستخدم مادة ABS. حيث سجلت كل المؤشرات البيئية انخفاضا معتبرا، فقد انخفض مؤشر كمية انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون CO2 بمعدل 32%، وانخفض معدل استهلاك الطاقة بمعدل 19%، أما مؤشر غاز SO2 المسبب لتلوث الهواء قد انخفض بمعدل 16%، ومؤشر PO4 المسبب لتلوث المياه انخفض بمعدل35%.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



شكل (12) نتيجة تقييم الأثر البيئي لجسم المجفف عند استخدام مادة HDPE

7. مناقشة النتائج

من خلال الدراسة البحثية السابقة حول التصميم والتقييم البيئي التي تطرق إليها هذا البحث وكذلك النتائج التي تم التوصل إليها جراء تطبيق أدوات التصميم البيئي على منتج مستعمل، تبين أهمية التصميم البيئي وقدرته في الحد من الآثار البيئية الناتجة من المنتج خلال كامل دورة حياته. كذلك أمكن التعرف على أدوات التصميم البيئي وظائفها وكيفية استخدامها ودمجها مبكرا في عملية التصميم للحصول على منتج يلبي المتطلبات البيئية. فمن خلال تنفيذ أكثر أدوات التصميم البيئي شيوعا على منتج تم اختياره (مجفف الشعر) أمكن تحديد أكثر النقاط تأثيرا على البيئة، ليتم دراستها وتحليلها وتقييمها، ومن تم إيجاد حلول مبتكرة تحد من هذا الأثر. عبر أداة نشر الجودة البيئية (EQFD) تمكن تحديد أكثر الخصائص ارتباطا بالبيئة وهي نوعية المواد، كذلك تم تحديد أكثر مكونات المنتج أثرا على البيئة وهو جسم المنتج، ليتم تقييمه بيئيا بعد نمذجة المنتج باستخدام SolidWorks المدعوم ببرنامج تقييم الأثر البيئي (LCA). باستخدام أدوات توليد حلول بيئية مبتكرة (Benchmarking& TRIZ)، تم التوصل إلى مادة أكثر أمانا وأقل ضررا على البيئة، وهي مادة البولي إيثلين عالي الكثافة (HDPE) والتي حققت نتائج هامة لعدة مؤشرات بيئية: كمعدل استهلاك الطاقة وكمية الغازات المنبعثة كغاز CO_2 وغاز SO_2 وغاز PO_4. بالإضافة إلى الوزن والتكلفة والأثر المالي، وذلك مقارنة بالمادة الأصلية (ABS) كما هو موضح في جدول (3).

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

جدول (3) نتائج تقييم الأثر البيئئ للمكون باستخدام مادتي ABS وHDPE

مؤشرات الأثر البيئي	ABS	HDPE	القيمة المخفضة	النسبة المئوية المخفضة
الوزن (kg)	4.46	4.17	0.29	6.50 %
تكلفة وحدة المادة (USD/kg)	2.9	2.2	0.7	24.14%
كمية CO2 (kg)	0.029	0.019	0.01	34.48%
الطاقة المستهلكة(MJ)	0.491	0.396	0.095	19.35%
غاز SO2 (kg)	1.80E-04	1.50E-04	0.00003	16.67%
غاز PO4 (kg)	1.50E-05	9.60E-06	0.0000054	36.00%
التأثير المالي للمادة (USD)	0.01	0.01	0	0.00 %

8. الخلاصة

هدفت هذه الدراسة للتعرف على التصميم البيئي وأهميته في المحافظة على البيئة، كذلك الأدوات والمنهجيات التي استخدمت لتحقيق هذه الغاية وذلك من خلال دراسة ما ورد فى الكتب والأبحاث والدراسات العلمية ذات الصلة بموضوع التصميم البيئي. فمن خلال هذه الدراسة، تأكد أهمية التصميم البيئي في الحد من استنزاف الموارد الطبيعية والاستهلاك المفرط للطاقة والتقليل من الانبعاثات الكربونية. ومن خلال تطبيق نتائج الدراسة على حالة مستخدمة تبين إمكانية تحديد المتطلبات البيئية ليتم بعد ذلك تضمينها في التصميم. كذلك إمكانية التنبؤ بمستقبل الأثر البيئي للتصميم خلال كل مراحل حياته عن طريق تحليل وتقييم الأثر البيئي المتوقع خلال كل مرحلة من مراحل حياة المنتج مما يسمح بتفادي العديد من المشاكل البيئية التي تنتج من المنتج خلال دورة حياته، مع إمكانية إيجاد حلول مبتكرة تحد من الأثر البيئي للتصميم من خلال تطبيق أدوات ومنهجيات أثبتت الدراسة قدرتها على تحقيق منتج يلبي المتطلبات البيئية.

References

[1]. O. Mohamed, Environmental Scenario as Approach for Achieving Sustainability in Product Design, DOI: 10.12816/mjaf.2019.11523.1072.
[2]. F. Paulson, E. Sundin, Challenges and Trends within Eco-Design, International Conference On Eco-Design, Tokyo, December 2-4, 2015.
[3]. K. Lee, P. Park, Eco Design Best Practice of ISO/TR 1406, Ministry of Commerce, Industry and Energy Republic of Korea, February, 2005.
[4]. M. Husein, Integration of Eco-Design Tools into CAD System for Impact Assessment, University of Tripoli, Faculty of Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering, 2021.
[5]. V. Varzinskas, Z. Markeviciute, Ieva Kazulyte, V.Grigolaite, V.Daugelaite, Eco-design Methods and Tools: An Overview and Applicability to Packaging.Environmental Research, Engineering and Management Vol. 76 / No. 4 / 2020 pp. 32–45.
[6]. J, Fiksel, Design for Environment a Guide to Sustainable Product Development",2nd, McGraw-Hill, New York, 2009.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

[7]. S. Devanathan, D. Ramanujan, W. Bernstein, F. Zhao, K. Ramani, Integration of Sustainability into Early Design through the Function Impact Matrix, Journal of Mechanical Design, Vol. 132 / 081004-1, August, 2010.
[8]. P. Dehariya, D. Verma , An Application of Green Quality Function Deployment to Designing an Air Conditioner , Journal of Engineering Research And Applications, Vol. 5, Issue 7, (Part - 2), pp.147- 152, July- 2015.
[9]. G. Johansson" Success Factors for Integration of Eco Design in Product Development Environmental Management and Health", Vol.13 No. 1, pp. 98-107, 2002.
[10]. M. Fargnoli, F. Kimura, Sustainable Design of Modern Industrial Products", 13 th, CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 2006.
[11]. B. Zafeirakopoulos, K. Aravossisb, Evaluation of Improvement Strategies in Eco - Design with the Use of Cost Benefit Analysis", 17th European Roundtable on ustainable Consumption and production, 2014.
[12]. Usbek & Rica, Designing the Products To Meet Environmental Challenges is Possible and Needed, Fep- 2017.
[13]. R. Hubner, Ecodesign: Reach, Limits and Challenges 20 Years of Ecodesign - Time for a Critical Reflection, Forum Ware International 1, 2012 .
[14]. J. O'Hare, E. Cope & S. Warde Five Steps To Eco-design Improving, The Environmental Performance of Products Through Design , Granta Design Limited, 2015 www.grantadesign.com
[15]. A. Alemam, S. Li, Integration of Quality Function Deployment and Functional Analysis for Eco-Design, Avestia Publishing, International Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics, (2014), Volume 2, Issue 1 ,
[16]. K. Lee J, R. Larry , Operation Management: Strategy and Analysis, 6th ed., Prentice-Hall, Inc., USA, 2002 .
[17]. M. Samer, F.Yakop, Management Accounting Techniques in Product Development and Achievement Customer Requirements by Adopting The Technique of Quality Function Deployment Applied Research in Baghdad Company for Soft Drinks, VOL.15,ISS.51, YEAR.2020
[18]. E. Cagno, P. Trucco, Integrated Green and Quality Function Deployment, Int. J. Product Life Cycle Management, Vol. 2, No. 1, 2007
[19]. .J. Hauser, A. Griffin, R. Klein, G. Katz, S. Gaskin, Quality Function Deployment (QFD), Wiley International Encyclopedia of Marketing, 2010
[20]. S. Singh, M. Kumar, Product Development through QFD Analysis Using Analytical Network Process, International Journal of Advanced Engineering Research and Applications, vol.1, no.3, 2015.
[21]. T. Sakao, A QFD-Centered Design Methodology for Environmentally Conscious. Product Design, International Journal of Production Research, Vol. 45, 2007.
[22]. S. Vinodh , V. Kamala, K. Jayakrishna, integration of ECQFD, TRIZ, and AHP for Innovative and Sustainable Product Development National Institute of Technology, Tiruchirappalli 620 015, Tamil Nadu, India.
[23]. M. Fargnoli, F. Kimura, Sustainable Design of Modern Industrial Products, 13 th . CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 2006

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

[24]. E. Abele, R.Anderl, H.Birkho, Environmentally-Friendly Product Development Methods and Tools, Springer, 2005
[25]. A. Rahmawan1, M. Kholis "Implementation of Quality Function Deployment (QFD) in Agro-Industrial Technology Curriculum", Agro industrial Technology Journal 01 (01) 10-21, 2017.
[26]. N. Erdil, O. Arani, Quality Function Deployment: More Than a Design Tool, International Journal of Quality and Service Sciences, November 2018.
[27]. M. Ashby, Materials and the Environment Eco-Informed Material Choice, 2009.
[28]. A. Paudel, J. Fraser, Teaching Sustainability in an Engineering Graphics Class with Solid Modeling Tool, ASEE Annual Conference & Exposition, Paper ID #7532, 2013.
[29]. A. Morbidoni , C. Favi and M. Germani, CAD-Integrated LCA Tool: Comparison with Dedicated LCA Software and Guidelines for the Improvement Design Tool and Method Group, 18th International Conference on Life Cycle Engineering, Braunschweig, 2011.
[30]. S. Torcatoru, D. Savescu "Analyzing the sustainability of an automotive component Using SolidWorks CAD Software ", IOP Conf. Series: Materials Science568, 2019
[31]. H. Dalmau." Eco-Design Integration into New Product Development Processes: Comparison between LCA Software and CAD-Integrated Tools", Purdu Polytechnic Masters Theses, paper 94, 2015.
[32]. J. Chen, C. Liu, An Eco-Innovative Design Method by Green QFD and Triz Tools, International Conference on Engineering Design , Stockholm, August 19-21, 2003
[33]. R. Naveiroa, V. Oliveirab, QFD and TRIZ Integration in Product Development: A Model for Systematic Optimization of Engineering Requirements, ISSN 1980-5411, Production, 28, e20170093, DOI: 10.1590/0103-6513.20170093, 2018
[34]. I. Ekmekcia, E. Nebati, TRIZ Methodology and Applications, Procedia Computer Science 158 303–31.,2019.
[35]. A. Nour, The Impact of Benchmarking in Achieving Continuous Process and Products Quality Improvement Applied Study in the Jordanian Pharmaceutical Sector, Article in Jordan Journal of Business Administration · July 2014.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية