Mansoura University
Faculty of Engineering
Mansoura Engineering Journal

المباني صفرية الطاقة كمدخل لتنمية عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية

Zero Energy Buildings as an Approach for Sustainable Urban Development in the Egyptian Desert

Safa Abolsaad and Mohamed Almakawy

KEYWORDS:
Sustainable design
Zero energy building
ZEB
Renewable energy
Sustainable Urban Development

***Abstract* — The high people concentration of Egypt in area not exceeds by 6% from the area of Egypt has led to many, environmental, economic, and social problems. Therefore, establishment of sustainable urban development in Egyptian desert out of the crowded valley seems obligation or what we can call no choice. Due to the harsh nature of desert, these sustainable urban developments need big amount of energy to operate it. Egypt as one of the developing countries faces many crisis of energy production which eliminate establishment of these sustainable urban development. In the recent years, the concept of zero energy buildings has highly emerged as a new approach for sustainable buildings which depend on renewable energy resources, therefor the design of zero energy buildings ZEBs is proposed as an approach for sustainable urban development in Egyptian desert.**

ملخص البحث

يتركز أغلب سكان مصر في مساحة لا تتجاوز 6% من مساحة مصر مما أدى الى ظهور العديد من المشكلات العمرانية والبيئية والاقتصادية والاجتماعية، لذلك فإن إقامة تنمية عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية يعد أمرا حتميا أو ما يمكن أن نطلق عليه اللاخيار، ونظرا لطبيعة الصحراء القاسية فإن هذه التنمية العمرانية المستدامة تتطلب طاقة كبيرة لتشغيلها، ومصر كأحد الدول النامية تواجة العديد من الأزمات في مجال انتاج الطاقة الأمر الذي يقف عائقا أمام إقامة هذه التنمية العمرانية المستدامة. وفي السنوات الأخيرة ظهر منهج تصميم المباني صفرية الطاقة كطرح جديد للمباني المستدامة التي تنتج الطاقة اللازمة لها من مصادر متجددة، لذلك فإن المنهج التصميمي للمباني صفرية الطاقة يتم اقتراحة كمدخل لتنمية عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية.

الهدف من البحث

اقتراح منهج تصميمي لمباني صفرية الطاقة كمدخل لتنمية عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية.

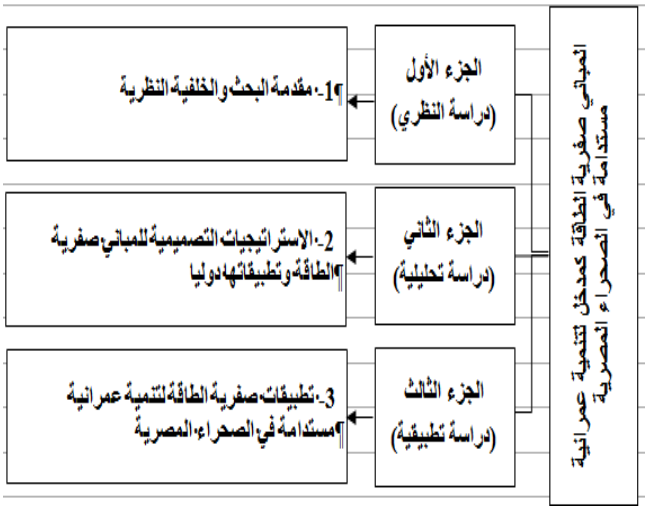
منهجية ومكونات البحث

لتحقيق الهدف من البحث فإن هذه الورقة البحثية تتواصل كما في شكل (1) في ثلاثة أجزاء: الأول يتناول مقدمة البحث والخلفية النظرية التي تشمل مفهوم العمارة المستدامة ومبادئها والمباني صفرية الطاقة كطرح جديد للعمارة المستدامة ثم معايير تحقيق صفرية الطاقة، والجزء الثاني من البحث فهو دراسة تحليلية تتناول الاستراتيجيات التصميمية للمباني صفرية الطاقة وتطبيقاتها دوليا، أما الجزء الثالث فيتناول تطبيقات صفرية الطاقة لتنمية عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية من خلال اقتراح منهج تصميمي لمباني سكنية صفرية الطاقة في الصحراء المصرية ثم النتائج وأهم التوصيات التي يمكن أن تساهم في تعزيز هذا المقترح.

Received: (20 March, 2017) - revised: (8 August, 2017) - accepted: (17 September, 2017)

Safa Mohamed Abolsaad, Author is a master student in Mansoura University, Egypt (e-mail: safamoh2012@yahoo.com).

Mohamed Abodelrahman Almakawy, Author is Associated Professor, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mansoura University Egypt,(e-mail: almakawy@yahoo.com).



شكل (1) : هيكل ومكونات البحث
المصدر : من إعداد الباحثين

I مقدمة البحث والخلفية النظرية

1-1: مقدمة البحث

يتركز 97% من سكان مصر في الوادي والدلتا في مساحة لا تتجاوز 6% من مساحة مصر، أدى هذا بدوره إلى ظهور العديد من المشكلات العمرانية والاقتصادية والبيئية والاجتماعية [2]، لذلك فإن إقامة مجتمعات عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية يعد أمرا حتميا أو يمكن أن نطلق عليه اللاخيار.

ونظرا للطبيعة القاسية للصحراء المصرية فإن هذه المجتمعات العمرانية المستدامة تتطلب طاقة هائلة لتشغيلها، ومصر كأحد دول العالم الثالث بما تواجهة من أزمات كبيرة في مجال انتاج الطاقة لا تستطيع توفير الطاقة اللازمة لإقامة هذه المجتمعات، فلقد تفاقمت أزمة الطاقة بمصر بحلول عام 2011 وأصبحت تتجدد بصورة سنوية خصوصا في الصيف[23]، حيث ارتفع إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة من حوالي 92 مليار ك.و.س عام 2006/2005 إلى حوالي 143 مليار ك.و.س عام 2014/2013 بزياده قدرها حوالي 51 مليار ك.و.س، ويتحمل قطاع المباني وحده 40% من إجمالي استهلاك الكهرباء في مصر، ويستهلك القطاع السكني 43% من إجمالي الكهرباء المستهلكة في قطاع المباني [3]، هذه الطاقة الهائلة المستهلكة في قطاع المباني بشكل عام والسكني بشكل خاص ترجع للتصميم غير المستدام لهذه المباني[30].

وفي السنوات الأخيرة طرحت العمارة المستدامة تصميم المباني صفرية الطاقة Zero Energy Buildings وذلك من خلال تقليص احتياجات هذه المباني من الطاقة عن طريق التصميم الكفء والأمثل ثم توفير باقي احتياجاتها من الطاقة من مصادر متجددة سواء كانت مثبتة في المبنى أو في محيطة لتوفير احتياجات المبنى من الطاقة الكهربائية وبذلك يصبح مبنى صفري الطاقة ZEB، لذلك فإن المنهج التصميمي للمباني صفرية الطاقة يتم اقتراحة كمدخل لتنمية عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية لما يتوفر فيها من نسبة مرتفعة من الإشعاع الشمسي لانتاج الطاقة المتجددة على مدار العام.

1-2:الخلفية النظرية

1-2-1:مفهوم العمارة المستدامة

تعددت مفاهيم العمارة المستدامة بين العلماء مثل بريندا(Brenda,1997) [13]، وبريستر (Brister,2007) [38]، ويانج (Yeang,2006) [21] وغيرهم، ولكن اجتمعت كل هذه المفاهيم على أن العمارة المستدامة كجزء من منظومة التنمية المستدامة هي عمارة متوافقة مع البيئة، فهي ناتجة عن بيئتها وذات مسؤولية تجاهها، أي تخدم موارد الأرض وجمالها الطبيعي، وتوفر احتياجات مستعمليها بالحفاظ على صحتهم وتشعرهم بالرضى مما يشبع احتياجاتهم الروحية ويزيد من انتاجيتهم، كل ذلك من خلال تطبيق الاستراتيجيات المؤكدة لاستدامة البيئة.

1-2-2:مبادئ العمارة المستدامة

ترتكز العمارة المستدامة على مجموعة من المبادئ التي تحقق أهدافها من إنشاء وتشغيل المباني الصحية التي تعتمد على كفاءة المصادر والتصميم البيئي، هذه الركائز حددها (Kibert,2002) و(Ali,2010) في الآتي: ترشيد استهلاك المصادر Reduce من الطاقة والمياه ومواد البناء وغيرها، اعادة استخدام المصادر Reuse، استخدام المصادر القابلة للتدويرRecycle، حماية البيئة Nature Protection، التخلص من السموم والملوثات Toxics Disposal، التكلفة الاقتصادية لدورة حياة المبنى Economic Life Cycle، ايجاد بيئة أفضل للمستخدمين Quality، هذه الركائز يجب أن تأخذ في الاعتبار من اجل تحقيق عمارة مستدامة[14،7].

1-2-3:المباني صفرية الطاقة كطرح جديد للعمارة المستدامة

ظهر مفهوم مباني الطاقة الصفرية في السنوات الأخيرة كطرح جديد للعمارة المستدامة، والمبنى صفري الطاقة بمفهومه العام هو مبنى سكني أو إداري يقلل احتياجاته من الطاقة لدرجة كبيرة بواسطة أنظمة الطاقة الكفوءة ويوازن ما تبقى من احتياجاته المنخفضة من الطاقة بواسطة تكنولوجيا الطاقة المتجددة[27].

وبمعنى آخر فالمبنى صفري الطاقة هو الذي لا يستهلك الوقود الأحفوري، واستهلاكه السنوي من الكهرباء يساوي انتاجه السنوي منها وذلك من مصادر الطاقة المتجددة[28].

وترجع أهمية هذا النهج التصميمي لطرحه حلول لمشكلات توفير الطاقة وذلك عن طريق الحد من استخدام الوقود الأحفوري في تشغيل المباني واستبدالها بالطاقة المتجددة، وبالتالي حماية البيئة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري في توليد الكهرباء، ويهدف التصميم الصفري الطاقة للمباني إلى تحقيق بيئة مريحة للإستخدام البشري داخل المبنى ودون الإضرار بالبيئة الخارجية[32].

1-2-4:معايير تحقيق المباني لصفرية الطاقة

توجد أربعة معايير لتحقيق صفرية الطاقة هي تحقيق صفرية الطاقة باعتبار طاقة الموقع وطاقة المصدر وتكلفة الطاقة وانبعاثات الكربون[28]، وهذه المعايير الأربعة تتأثر بعوامل مهمه لا يمكن تجاهلها تتعلق بظروف وموقع المشروع، مثل الطاقة الأولية، الظروف البيئية، استعدادات الشبكة لاستقبال الكهرباء أوتحويل الكهرباء أو الجمع بين مصادر مختلفة للطاقة داخل الحدود الجغرافية، وهذه العوامل تختلف من بلد لآخر طبقا للسياسات والاستراتيجيات في هذه البلاد[19]، ويوضح الجدول رقم (1) هذه المعايير ويقارنها بالقدرة المحلية، حيث يظهر أن المبنى صفري الطاقة باعتبار طاقة الموقع هو المعيار الأقل تأثرا بالعوامل الخارجية حيث يعتمد بالأساس على مجموعة من الحلول التصميمة التي يفرضها المصمم لتحقيق مبنى صفري الطاقة، ولا يتطلب تشريعات أومعاملات محددة لتحقيق صفرية الطاقة في ظل تجاهل التشريعات المحلية لهدف صفرية الطاقة في تصميم المباني لذلك فإن المبنى صفري الطاقة من حيث لموقع هو الأنسب للتطبيق محليا في المرحلة الحالية.

جدول1
معايير تحقيق المباني لصفرية الطاقة

المعايير	نوع التوازن	العوامل المؤثرة	إمكانية التطبيق محليا
مبنى صفري الطاقة من حيث الموقع Net Zero Site Energy Building	- التوازن بين طاقة التشغيل وطاقة الإنتاج - في هذا المعيار قد يتصل المبنى بشبكة الكهرباء ويحقق التوازن سنويا	- لا يعتمد تحقيقه على عوامل خارجية ويمكن تحقيقه بسهولة بواسطة معطيات موقع المبنى	- التصميم الكفوء للطاقة في المباني يتحقق بتطبيق الكود المصري في تحسين استهلاك المباني للطاقة - نظم الطاقة المتجددة متاحة في السوق المصري - تبادل الطاقة مع شبكة الكهرباء متاح بموجب سياسة دعم انتاج الطاقة المتجددة
مبنى صفري الطاقة من حيث المصدر Net Zero Source Energy Building	- التوازن بين الطاقة المستوردة والطاقة المصدرة - يأخذ هذا النوع في الاعتبار قيم الطاقة من أنواع الوقود المختلفة	- يتأثر بمعامل نقل الطاقة من وإلى الموقع والمصدر - يتأثر بطريقة حساب إستهلاك الكهرباء طبقا لساعات ذروة للاستهلاك	- أزمة الوقود والغاز المحلية، لا تشجع على استخدام الوقود بأنواعه المختلفه - لا توجد سياسات أواستراتيجيات معتمدة في مصر تحدد معامل نقل الطاقة من وإلى الموقع والمصدر وكذلك طرق حساب الكهرباء في وقت ذروة الاستهلاك
مبنى صفري الطاقة من حيث التكلفة Net Zero Energy Costs Building	التوازن بين سعر بيع الطاقة المتجددة وسعر شراء الطاقة من مصادر الوقود المختلفة للتغشيل في الموقع	- في حالة التطبيق على أعداد كبيرة من المباني يستوجب فرض العديد من الإلتزامات على شركات الكهرباء والبنية التحتية	- طابع المباني في مصر لا يحتمل مساحة كبيرة من الخلايا الشمسية حيث يعتمد على التوسع الرأسي وليس الأفقي، مع الأخذ في الإعتبار التكلفة أيضا - الارتفاع المستمر لأسعار الوقود يجعل من الصعب ضمان تحقيق صفرية الطاقة في كل عام
مبنى صفري الطاقة من حيث الإنبعاثات Net Zero Energy Emissions Building	- التوازن بين معدل الانبعاثات الناتجة عن الطاقة المستوردة من مصادر الوقود المختلفة ومعدل انتاج المبنى من الطاقة المتجددة الخالية من الانبعاثات	- يعتمد على تحديد مصادر الطاقة في الشبكات الحرارية سواء كانت فحم أو مشتقات الغاز وتحديد معاملات الانبعاثات من الكربون لكل مصدر من هذه المصادر - أما في حالة تشغيل المبنى بالكهرباء المتجددة فقط دون الحاجه الى أنواع اخرى من الوقود مثل الغاز يكون المبنى صفري الانبعاثات فعليا	- معدلات الانبعاثات الناتجة عن إنتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري غير متاحة للمصممين

المصدر: من إعداد الباحثين بناء على المرجع رقم [28]

II الاستراتيجيات التصميمية للمباني صفرية الطاقة وتطبيقات دولية لمباني سكنية صفرية الطاقة

2-1:الاستراتيجيات التصميمية للمباني صفرية الطاقة

بقراءة المراجع التي تناولت تصميم المباني صفرية الطاقة فإنه يمكن تناول الاستراتيجيات التصميمية لهذه المباني كالتالي:

2-1-1:اعتبارات الراحة داخل المبنى صفري الطاقة

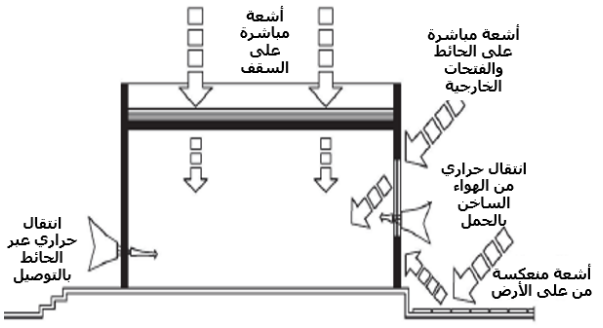
إن توفير بيئة مريحة داخل المبانى صفرية الطاقة هو جزء أساسي من هدف تصميم هذه المباني، هذه البيئة المريحة تشمل الراحة الحرارية والبصرية وجودة الهواء الداخلي [10]:

- الراحة الحرارية: يشير مصطلح الراحة الحرارية إلى عدم شعور الشخص بالحرارة الشديدة أو البروده الشديدة داخل بيئة معينة [31]، والمباني صفرية الطاقة يجب أن توفر لمستخدميها هذه الراحة الحرارية.
- الراحة البصرية: ينبغي تحقيقها في المباني صفرية الطاقة ويمكن تحقيق ذلك من خلال عدة عوامل مثل مساحة الفتحات وتوجيهها والتشطيبات الداخلية، واستخدام وحدات تظليل ثابتة أو متحركة طبقا لزاوية سقوط الشمس لتخفيف أثر الوهج الشمسي، كل هذه العوامل تعمل على خفض استهلاك المبنى من الطاقة اللازمة للإضاءة وتوفير الإضاءة الطبيعية [17].
- جودة الهواء الداخلي: إن وجود العديد من الملوثات مثل دخان التبغ والرادون والعفن والبكتيريا وأول أكسيد الكربون وغيرها داخل المبنى يرجع لعدة عوامل مثل مواد البناء أو الملوثات الناتجة عن مستخدمي المبنى أو أجهزة التبريد HVAC أوملوثات خارجية، ولتحسين جودة الهواء الداخلي تستخدم دهانات منخفضة المركبات العضوية Low-VOC paints للحوائط والأثاث، كذلك يستخدم HRV نظام استبدال الحرارة Heat Recovery System والذي يعمل على استبدال الهواء الملوث داخل المبنى بالهواء النقي من الخارج باستخدام المبادلات الحرارية Heat Exchanger ويستخدم هذا النظام على نطاق واسع في المباني صفرية الطاقة ويتطلب تكنولوجيا متقدمة لتنفيذه[8].

2-1-2:التصميم السلبي

يلعب التصميم السلبي دورا هاما في تصميم المباني صفرية الطاقة ZEBs، فهو يقلل انتقال درجات الحرارة العالية من خارج المبنى إلى داخله وبالتالي يقلل من كمية الطاقة المطلوبة لتبريد المبنى، ويشتمل التصميم السلبي للمباني صفرية الطاقة على الآتي[17]:

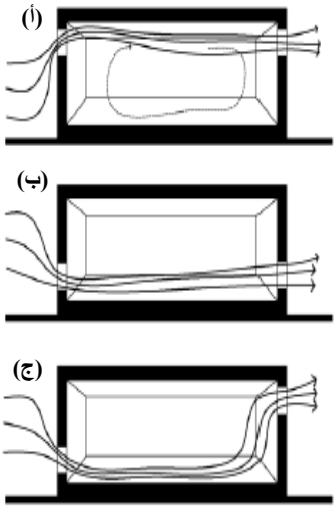
- توجيه المبنى: يحدد توجيه المبنى والتشكيل الخارجي له المساحة التي ستتعرض مباشرة للأشعة الشمسية، لذلك فإن التوجيه الجيد للمبنى يعمل على توفير الراحة الحرارية داخله وبالتالي يوفر من الطاقة المطلوبة للتبريد في المناخ الحار الجاف.
- الغلاف الخارجي لمبنى: يعتبر الغلاف الخارجي للمبنى من أكثر العوامل المؤثرة في توفير استهلاك الطاقة في المبنى وتوفير الراحة الحرارية داخله، وبإضافة العزل الحراري للغلاف الخارجي للمبنى فإن ذلك يعمل على حمايته من البيئة الخارجية كالرياح والشمس والأتربة وغيرها[16]، ويوضح شكل(2) الانتقال الحراري عبر الغلاف الخارجي للمبنى.



شكل(2):الانتقال الحراري عبر غلاف المبنى الخارجي
المصدر : المرجع رقم [1]

- **العزل الحراري:** يعمل العزل الحراري للغلاف الخارجي للمبنى بما في ذلك السقف والحوائط على تقليل الاحتياج للطاقة اللازمة للتبريد في المناخ الحار، وكذلك تقليل الفقد في الحرارة في المناخ البارد [15].
- فتحات التهوية: تلعب الفتحات دورا هاما في تحقيق الراحة البصرية وكذلك الراحة الحرارية في المبنى من خلال تقليل توصيل الحرارة من خارج المبنى لداخله، وتوفير الإضاءة الطبيعية، ويتوقف ذلك على نسبة الفتحات إلى الحوائط ونوعية الزجاج المستخدم، وبالتالي فإن الفتحات في المبنى

صفري الطاقة تؤثر على الطاقة المطلوبة للتبريد والإضاءة، ويوضح شكل (3) تأثير اختيار مكان الفتحات على تهوية الفراغات داخل المبنى.



أ-ارتفاع مستوى الفتحات لا ينتج عنه حركة هواء جيدة على مستوى جسم الانسان.

ب- انخفاض مستوى الفتحات ينتج عنه نمط جيد لحركة الهواء توفر التهوية.

ج- انخفاض مستوى أحد النوافذ وارتفاع الآخر ينتج عنه نمط منخفض لحركة الهواء.

شكل(3): تأثير موقع الفتحات على حركة الهواء داخل فراغات المبنى
المصدر : المرجع رقم [22]

وهناك عناصر أخرى للتصميم السلبي يمكن أن تتاح للمصمم وتكون متوافقة مع البيئة مثل الكاسرات الشمسية كما يوضح شكل رقم (22) والستائر ذاتية الحركة وغيرها.

2-1-3:الأنظمة الكفوءة في استهلاك الطاقة

يعتبر نظام التكييف وأنظمة الإضاءة هما المسؤلان الرئيسيان عن الإستهلاك الأكبر للطاقة في المباني حيث تبلغ نسبة استهلاكهم للطاقة على التوالي من 40-60% ومن 20-30% [20،24]، لذا يراعى عند التصميم أن تحدد مواصفات التكييف القياسية من حيث معدات مجاري الهواء والتوصيلات الكهربائية عزل المواسير والأداء الحراري له وكذلك نظم الإضاءة الصناعية ويكون ذلك في إطار الأكواد والمواصفات القياسية المحلية، كل ذلك يعمل على ترشيد استهلاك وتحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل المباني صفرية الطاقة.

2-1-4:إمداد المباني صفرية الطاقة بالطاقة المتجددة

يوجد العديد من تكنولوجيا توليد الطاقة المتجددة، ولكن التطبيقات الأكثر شيوعا في المباني صفرية الطاقة هي توليد الطاقة الكهربية باستخدام الطاقة الشمسية عن طريق وحدات الخلايا الحرارية والخلايا الكهروضوئية، وتوليد الطاقة بواسطة الرياح [29].

- *توليد الطاقة الكهربية عن طريق وحدات الخلايا الحرارية:*

وتستخدم هذه التطبيقات في حالة تحقيق معيار صفرية الطاقة من حيث الانبعاثات في حال إذا كان تشغيل المبنى بالكامل بالكهرباء ولا يستخدم فيه الغاز لأغراض الطبخ أو التدفئة، فيتم استيراد الكهرباء المتجددة اللازمة لتشغيل المبنى من خارج الموقع بالكامل، ويمكن الحصول على الطاقة الكهربية من وحدات الخلايا الحرارية عن طريق التطبيقات الآتية:

- نظام وحدات القطع الناقص Parabolic collectors :

يتم تركيز أشعة الشمس على أنبوب به زيت فترتفع درجة حرارته وعندما يمر الزيت على مبادل حراري به ماء فيسخن الماء ويتبخر ونتيجة هذا البخار تدور توربينات تولد الطاقة كهربائية، وكلما زادت ضخامة المحطة كلما زادت قدرتها الكهربية ويمكن تزويد المحطة بنظام تتبع الشمس لزيادة كفاءتها بنسبة 33%، ويوضح شكل (4) نظام وحدات القطع الناقص.

شكل (4): نظام وحدات القطع الناقص
المصدر : http://www.skyfuel.com

- نظام وحدات القطع المكافئ Parabolodial collectors:

يتم تركيز أشعة الشمس على مجمع Container به زيت فيغلي وينتقل إلى مبادل حراري به ماء فيسخن الماء وترفع درجة حرارته ويتبخر ونتيجة هذا البخار تدور توربينات تولد الطاقة الكهربائية، ويمكن زيادة عدد الوحدات العاكسة على شكل كروي لزيادة قدرة المحطة ويعمل نظام التتبع الشمسي على زيادة قدرة المحطة بنسبة 33%، ويوضح شكل (5) نظام وحدات القطع المكافئ.

شكل(5): نظام وحدات القطع المكافئ
المصدر: http://www.jc-solarhomes.com

- نظام وحدات المرايا العاكسة Flat plate collectors:

تعتمد المحطة في هذا النظام على المحطتين السابقتين، إلا أنه يمكن زيادة مسطحات المرايا العاكسة لزيادة قدرة المحطة، وهذه المرايا لها خاصية تتبع حركة الشمس منذ الشروق وحتى الغروب، وتتمتع هذه المحطة بقدرة كهربائية كبيرة ولذلك فإن هذه المحطات تكون إقليمية ومستقلة أو متصلة بشبكة التوزيع الرئيسية للمدينة ويوضح شكل(6) نظام وحدات المرايا العاكسة.

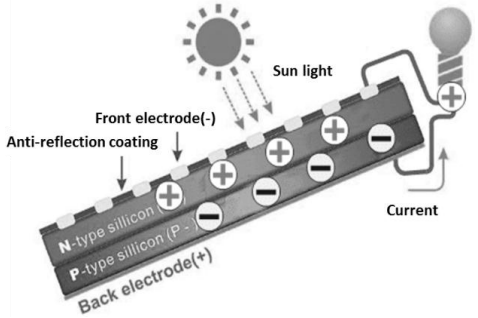
شكل(6) : نظام وحدات المرايا العاكسة
المصدر : http://www.solarproductcn.com

- *توليد الطاقة الكهربية من نظم الطاقة المتجددة المثبتة في المبنى:*

يستخدم هذا النوع من نظم الطاقة المتجددة عند تحقيق معيار صفرية الطاقة من حيث الموقع حيث ينتج المبنى كامل احتياجاته من الطاقة الكهربية، ومعيارصفرية الطاقة من حيث المصدر حيث يصدر المبنى الفائض من انتاجه للكهرباء المتجددة بمقدار استيراده من أنواع الوقود الأخرى المستخدمة في الطبخ أوالتدفئة، وفي معيار صفرية الطاقة من حيث التكلفة في حالة اذا كان سعر البيع من الطاقة المتجددة يغطي سعر شراء المبنى من أنواع الوقود الأخرى من غاز وغيره، وفي معيار صفرية الانبعاثات في حالة اذا كان المبنى لا يعمل بالكامل بالكهرباء ويحتاج إلى أنواع أخرى من الوقود للتدفئة والطبخ فيكون مبنى صفري الانبعاثات بانتاجه للكهرباء المتجددة بمقدار الانبعاثات الناتجة عن تصنيع ونقل أنواع الوقود الأخرى المستخدمة في تشغيل المبنى، وهذه التطبيقات هي:

- توليد الكهرباء عن طريق الخلايا الكهروضوئية:

في هذا النظام يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بصورة مباشرة من ضوء الشمس، فعندما يسقط ضوء الشمس على الخلية الكهروضوئية المكونة من رقائق رفيعة من السيليكون المنقى المضاف إليه كميات صغيرة من مواد أخرى (مثل زرنيجيد الجاليوم، وكبريتيد الكاديميوم) تبث الالكترونات التي تنتج كميات صغيرة من الكهرباء، وعند تجميع عدد كبير من الخلايا الكهروضوئية يمكن انتاج كميات كبيرة من الكهرباء الصالحة للاستعمال، ويوضح شكل(7) كيفية توليد الكهرباء في الخلية الكهروضوئية.



شكل (7): توليد الكهرباء في الخلية الكهروضوئية
المصدر: http://technoprojects2016.academia.wlu.edu

ويمكن وضع هذه الخلايا على أسطح المباني المعرضة لأشعة الشمس وبالتالي يمكن أن تنتج المباني ما تحتاجه من كهرباء باستخدام الطاقة المتجددة دون الإضرار بالبيئة، ويوضح شكل(8) مبانى سكنية صفرية الطاقة في مدينة فريبيرج بألمانيا تولد كامل احتياجاتها من الكهرباء باستخدام الخلايا الكهروضوئية.

شكل(8): استخدام الخلايا الكهروضوئية في المباني صفرية الطاقة
المصدر : المرجع رقم [11]

- طاقة الرياح:

تعد طاقة الرياح أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن دمجها في المبنى صفري الطاقة أو في محيطة ولكن انتاج الكهرباء من توربينات الرياح يختلف عنه في الخلايا الشمسية ويرجع ذلك للتقلبات المناخية وعشوائية اتجاه الرياح ولذلك فإن انتاج الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح ياخذ في الاعتبار بشكل كبير الاعتماد على التنبؤ والتحليل لنظام توربينات الرياح لتحقيق التوازن بين العرض والطلب في نظام الكهرباء[15]، ويوضح شكل (9) مبنى يولد الكهرباء باستخدام توربينات الرياح بولاية بورتلاند بالولايات المتحدة الأمريكية.

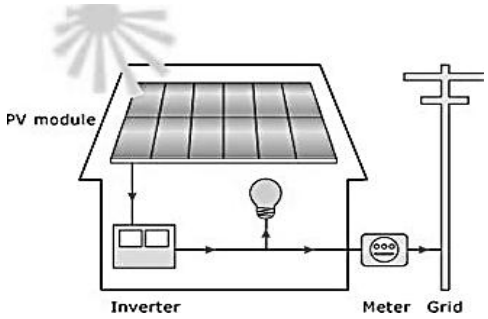
2-1-5 :تحقيق توازن الطاقة

إن تحقيق توازن الطاقة في المباني صفرية الطاقة هدفه تحديد ما ينتجه المبنى من طاقة وما يستهلكه منها وما يصدره المبنى من طاقة إلى شبكة الكهرباء وما يستورده منها، وعلى ذلك فإن تلك المباني تكون بين خيارين: خيار الاتصال بشبكة الكهرباء أو خيار الانفصال عنها كالآتي: [19]

- *مباني متصلة بشبكة الكهرباء:*

On-Grid ZEBs

مبنى الطاقة الصفرية المتصل بشبكة الكهرباء هو مبنى لديه إمكانية شراء الطاقة من شبكة الكهرباء وكذلك تغذية الشبكة بالكهرباء في حالة ما إذا كان انتاجه من الطاقة فائض عن احتياجاته، وهذا النوع من المباني لا يخزن الطاقة في الموقع، ويوضح شكل (10) نظام اتصال المبنى بشبكة الكهرباء.

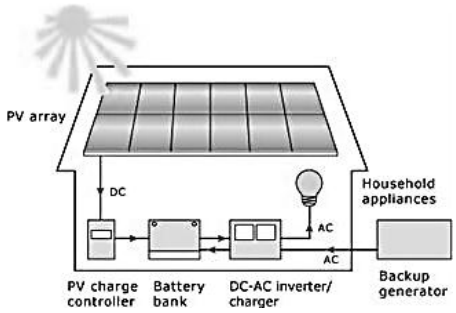


شكل (10): نظام اتصال المبنى بشبكة الكهرباء
المصدر : http://beamsolar.in/on-grid-vs-off-grid/

- *مباني مستقلة عن شبكة الكهرباء:*

Off-Grid ZEBs

هي مباني صفرية الطاقة مستقلة ذاتيا لا تتصل بشبكة الكهرباء، فهي قادرة على تزويد نفسها بالطاقة وتستخدم بطاريات لتخزين الفائض من الطاقة الكهربية والحرارية لاستخدامه في أوقات ذروة الاستهلاك صيفا وشتاء، وهذه المباني تلبي احتياجاتها من الطاقة بانتاجها من مصادر متجددة واقعة ضمن حدود المبنى، ويوضح شكل(11) نظام استقلال المبنى عن شبكة الكهرباء.



شكل (11): نظام استقلال المبنى عن شبكة الكهرباء
المصدر : http://beamsolar.in/on-grid-vs-off-grid/

2-2 تطبيقات دولية لمباني سكنية صفرية الطاقة

للتعرف على كيفية تطبيق الاستراتيجيات التصميمية للمباني صفرية الطاقة، سيتم عمل دراسة تحليلية لمباني سكنية دولية صفرية الطاقة، تقع ضمن المناخ الصحراوي الجاف ويمكن تناول هذه التطبيقات على النحو التالي:

2-2-1:منزل Yin Yang بكالفورنيا USA

يقع منزل Yin Yang في فينيس جنوب كالفورنيا حيث المناخ الحار الجاف وقد صمم المنزل المعماريان Brooks – Scarpa على مساحة 436.6 متر مربع، والمبنى ذو هيكل خرساني وقد تم الإنتهاء من تشييده عام 2011 بتكلفة1,700,000دولار أمريكي [36]، ويوضح جدول (2) الاستراتيجيات التصميمية للمنزل.

جدول 2
الاستراتيجيات التصميمية لمنزل YIN YANG بكالفورنيا USA

الاستراتيجيات	التوضيح
معيار صفرية الطاقة	صمم المنزل بحيث يحقق صفرية الطاقة من حيث الموقع Net Zero Site Energy Building، باستخدام النظم السلبية التي تقلل نسبة استهلاك الطاقة بنسبة 50% عن استهلاك المنازل الأخرى في المنطقة، وينتج المبنى 100% من احتياجاته للطاقة الكهربائية من أنظمة الطاقة المتجددة المدمجة في المنزل، ولا يحتاج المنزل إلى تكييف الهواء بسبب التهوية الساحلية الثابتة إلى حد ما طوال أيام الأسبوع من الجهة الشمالية الغربية والجنوبية الغربية ويحتاج إلى تدفئة خفيفة في الشتاء شكل(12): الواجهة الغربية للمنزل توضح السقف الكابولي للتظليل والمثبت عليه الخلايا الشمسية - المصدر : المرجع رقم [12]
اعتبارات الراحة داخل المبنى	جودة البيئة الداخلية: استخدم الحجر الطبيعي في البناء ودهانات منخفضة المركبات العضوية الراحة الحرارية: استخدام الأسطح الخضراء وصمم المنزل على سلسلة من الفناءات الخارجية الراحة البصرية: جميع فراغات المنزل يتوفر فيها الإضاءة الطبيعية والإضاءة الصناعية
المنهج السلبي	التوجيه: توجيه المنزل باتجاه الرياح السائدة غلاف المبنى:غلاف خارجي محكم الإغلاق، مكون من زجاج مزدوج قليل الانبعاثية معزول، واستخدم العزل في الحوائط ، وأرضيات خرسانية معزولة حراريا تشكيل كتل المبنى: التكوين التشكلي لكتل المبنى يحث على زيادة سرعة الرياح القادمة من الساحل التظليل الشمسي: سقف كابولي لتوفير الظل على فراغات النوم التهوية الطبيعية: استخدم مداخن للتهوية الشمسية في الحمامات ونوافذ ومناور وظيفية
التصميم الكفوء للطاقة	الأجهزة: استخدم أجهزة كفوءة في استهلاك الطاقة Energy Star Appliances الإضاءة الصناعية: استخدم إضاءة صناعية موفرة للطاقة واجهزة استشعار تعمل على فتح وغلق الإضاءة تلقائيا
أنظمة الطاقة المتجددة	الخلايا الكهروضوئية: استخدم الواح شمسية مثبتة على سطح المنزل ومدمجة في الكاسرات الشمسية وتبلغ كفاءتها 12ك وات وتنتج 100 %من احتياجات المنزل من الكهرباء السخان الشمسي: استخدمها في نظام التدفئة في الأرضيات Solar Hydronic Radiant Floor Heating، يعمل على نقل الحرارة الشمسية من النظام الشمسي إلى خزان حراري وتستخدم إما للتدفئة بواسطة أنابيب تدفئة للأرضيات أولتسخين المياه Solar water heaters
تحقيق التوازن	استخدم نظام الاتصال بشبكة الكهرباء On-grid System

المصدر : من إعداد الباحثين بناء على المراجع رقم[12،36]

2-2-2:منزل ***Little Greenie*** *في تاكاكا بنيوزيلندا*

يقع منزل Little Greenie في تاكاكا بنيوزيلندا حيث المناخ الحار الجاف، وقد صمم المنزل المعماري Lawrence McIntyreعلى مساحة 52.1 متر مربع، والمبنى ذو هيكل خشبي وبلاطة خرسانية.

وقد تم الإنتهاء من تشييده عام 2009 بتكلفة 249,629 دولار أمريكي بدون تكلفة وحدة الخلايا الشمسية[9]، ويوضح جدول (3) الاستراتيجيات التصميمية للمنزل.

جدول 3
الاستراتيجيات التصميمية لمنزل Little Greenie في تاكاكا بنيوزيلندا

الاستراتيجيات	التوضيح
معيار صفرية الطاقة	صمم المنزل بحيث يحقق صفرية الطاقة من حيث الموقع Net Zero Site Energy Building، حيث ينتج المنزل 100% من احتياجاته من الطاقة اللازمة للتسخين والتدفئة والتشغيل طوال العام باستخدام الخلايا الشمسية، وتعتمد الفكرة التصميمية للمنزل على التصميم الكفوء للطاقة المنخفض في تكاليف الإنشاء مع سهولة التنفيذ، ويظهر ذلك في بساطة التصميم حيث يتكون المنزل من فراغ واحد رئيسي للمعيشة والنوم والمطبخ بالإضافة إلى دورة المياه والجراج شكل (13): الواجهة الشمالية للمنزل توضح الاضاءة الطبيعية والخلايا الشمسية على سطح المنزل -المصدر : المرجع رقم [39]
اعتبارات الراحة داخل المبنى	جودة البيئة الداخلية: استخدم مادة عازلة من خواصها امتصاص وطرد الرطوبة مما يحسن جودة البيئة الداخلية الراحة الحرارية: النوافذ والأبواب الخارجية من زجاج قليل الإنبعاثية مزدوج ومزود بغازالأرجون الراحة البصرية: الواجهة الشمالية للمنزل زجاجية توفر الإضاءة الطبيعية بالإضافة إلى الإضاءة الصناعية ليلا
المنهج السلبي	التوجيه: توجيه المنزل 15 درجة باتجاه الشمال غلاف المبنى: محكم الإغلاق لا يسمح بنفاذ الهواء الساخن، استخدم للعزل الحراري ثلاث طبقات من العزل عالي الكفاءة Wool Insulation التظليل الشمسي: صمم السقف بحيث يوفر التظليل على الواجهة الشمالية الزجاجية والتراس الخارجي التهوية الطبيعية: استخدم فتحات صغيرة فوق النوافذ لدفع الهواء الساخن الى الأعلى والتخلص منها بواسطة مداخن الرياح
التصميم الكفوء للطاقة	التدفئة: استخدم غلاية للخشب متصلة بخزان حراري Latento Cylinder لتوفير التدفئة وكذلك تسخين المياة الإضاءة الصناعية: استخدم LED Lighting منخفضة الإستهلاك للطاقة
أنظمة الطاقة المتجددة	الخلايا الكهروضوئية: استخدم 12 من ألواح الخلايا شمسية، ويحتاج المنزل للتشغيل 264 فولت تنتج جميعها من وحدة الخلايا الشمسية المستقلة في فناء المنزل السخان الشمسي: استخدم السخان الشمسي المثبت على سطح المنزل وهو عبارة عن أنابيب شمسية تنتج الطاقة الحرارية متصلة بخزان حراري Latento cylinder لتخزين الحرارة لتستخدم في تسخين المياه وتوفير التدفئة خلال أرضيات المنزل
تحقيق التوازن	استخدم نظام الاسقلال عن شبكة الكهرباء Off-Grid System

المصدر : من إعداد الباحثين بناء على المراجع رقم [9،39]

2-2-3 منزل Carbon Positive Prefab House في ميلبورن بأستراليا

يقع منزل Carbon Positive Prefab House في ميلبورن بأستراليا حيث المناخ الحار الجاف، وقد صمم المنزل المكتب المعماري Architecture Firm Archiblox على مساحة 75متر مربع.

والمبنى ذو هيكل خرساني سابق التجهيز وقد تم الإنتهاء من تشييده عام 2010 بتكلفة 260,000 دولار أمريكي [37]، ويوضح جدول (4) الاستراتيجيات التصميمية للمنزل.

جدول 4
الاستراتيجيات التصميمية لمنزل Zero carbon Positive Prefab-House في ميلبورن بأستراليا

الاستراتيجيات	التوضيح
معيار صفرية الطاقة	وهو منزل صفري من حيث الانبعاثات Net Zero Energy Emissions Building حيث ينتج المنزل طاقة متجددة أكثر من معدلات الانبعاثات الناتجة عن الطاقة التي يستهلكها من غاز للتدفئة والطبخ وأكثر من الطاقة التي استهلكها في أعمال التنفيذ والبناء، وصممت واجهة المنزل الشمالية الزجاجية بحيث تغطي فراغ واحد يسمى Sun Room هذا الفراغ يخلق جيب من الهواء الحار من شأنه أن يساعد على عزل الفراغات الداخلية للمنزل خلال أشهر الشتاء الباردة، وكذلك يحمي مساحات المعيشة الرئيسية من أشعة الشمس في أشهر الصيف والمنزل لا يعتمد على التبريد الميكانيكي والتدفئة الميكانيكية. شكل (14): الواجهة الشمالية للمنزل توضح الاضاءة والتهوية الطبيعية -المصدر : المرجع رقم [35]
اعتبارات الراحة داخل المبنى	جودة البيئة الداخلية: استخدم Vertical Green Wall الحوائط الخضراء بالفراغ الموازي للواجهة الشمالية داخل المنزل Sun Room، كذلك استخدم مواد بناء خالية من المواد السامة. الراحة الحرارية: استخدم السطح الأخضر واستخدم النباتات في تغطية الواجهة الجنوبية للمنزل. الراحة البصرية: الواجهة الشمالية زجاجية بالكامل والتصميم المفتوح للمنزل يوفر الإضاءة الطبيعية لكل الفراغات.
المنهج السلبي	التوجيه: توجيه المنزل باتجاه الشمال. غلاف المبنى: غلاف المنزل محكم الإغلاق، استخم لعزل السطح والأرضيات مادة Earth wool، واستخدم زجاج مزدوج في الفتحات، كذلك صمم فراغ عازل للحرارة Sun Room موازي للواجهة الشمالية. التهوية الطبيعية: استخدام أنابيب التبريد Cool Tubes التي تسحب الهواء عبر الأرض من الجانب الجنوبي للمنزل وتوزعه خلال الأرضيات
التصميم الكفوء للطاقة	الأجهزة : عالية الكفاءة موفرة في استهلاك الطاقة الإضاءة الصناعية: استخدم LED Lighting منخفضة الإستهلاك للطاقة
أنظمة الطاقة المتجددة	الخلايا الكهروضوئية: استخدم الألواح الشمسية، وكفاءة النظام الشمسي 5ك وات، مثبتة على سطح المنزل، وتنتج أكثر مما يحتاجه المنزل من الطاقة اللازمة للتشغيل. السخان الشمسي: استخدم السخان الشمسي لتسخين المياة وهو عبارة عن أنابيب شمسية مفرغة الهواء مثبتة على سطح المنزل ومتصلة بخزان حراري لتسخين المياة Solar Evacuated Tube Hot Water System
تحقيق التوازن	استخدم نظام الاتصال بشبكة الكهرباء On-Grid System

المصدر: من إعداد الباحثين بناء على المراجع رقم [35،37]

2-2-4:الدروس المستفادة من تحليل تطبيقات دولية لمباني سكنية صفرية الطاقة

ساعد تحليل مباني صفرية الطاقة على توضيح الاستراتيجيات التصميمية للمباني السكنية صفرية الطاقة، وطرح صورة أكثر تفصيلا للمعالجات التصميمة المستخدمة في المشروعات السكنية الثلاث الملائمة للمناخ الصحراوي، كذلك أوضح أهمية تحديد معيار صفرية الطاقة الملائم للمشروع قبل البدء في عملية التصميم لما يترتب عليه من تحديد البدائل التصميمية المختلفة مثل خيارات نظم الطاقة المتجددة واستراتيجيات التوازن الملائمة لظروف للمشروع.

III تطبيقات صفرية الطاقة كمدخل لتنمية عمرانية مستدامة في الصحراء المصرية

تمثل الأراضي الصحراوية المصرية سيناء والصحراء الشرقية والغربية، إلا أن الصحراء الغربية تمثل 68% من مساحة مصر وتتميز بوجود الثروات المعدنية المختلفة من حديد وأملاح البوتاسيوم والفوسفات والبترول والغاز الطبيعي، حيث تساهم الصحراء الغربية بحوالي نصف انتاج مصر الكلي من البترول الخام وبحوالي 22% من انتاج مصر من الغاز الطبيعي، كذلك يوجد بها العديد من المحميات الطبيعية، فضلا عن تمتعها بأعلى نسبة للاشعاع الشمسي حيث تتراوح نسبة الاشعاع الشمسي في الصحراء الغربية من 6.7 إلى 7.1 ك.وات.س/م^2/يوم مما يشجع على استخدام الطاقة الشمسية كمصادر للطاقة النظيفة [25،40].

ومن السمات الجغرافية المميزة للصحراء الغربية وجود هضبة مستوية تنحدر من الجنوب للشمال وهي تماثل انحدار وادي النيل من الجنوب الى الشمال وعلى هذا الاساس تم اختيار الصحراء الغربية غرب النيل- وليس شرقه- لانشاء شبكة طرق مقترحة واقامة مراكز عمرانية ومشروعات اقتصادية جديدة، وبالفعل نفذت بعض المجتمعات العمرانية الجديدة[5].

3-1:منهج تصميمي مقترح لمباني سكنية صفرية الطاقة في الصحراء المصرية

يشمل المنهج التصميمي للمباني السكنية صفرية الطاقة في الصحراء المصرية تحقيق الآتي:

3-1-1 معيار تحقيق المباني لصفرية الطاقة

المبنى صفري الطاقة من حيث الموقع هو المعيار الملائم للتطبيق محليا، يرجع ذلك لعدم وجود تشريعات محددة ومعلنة في مصر يمكن للمصمم أن يستعين بها عند تصميم مبنى صفري الطاقة في حالة تطبيق المعايير الأخرى، كما هو الحال في الدول المتقدمة.

والمبنى صفري الطاقة من حيث الموقع هو مبنى يعادل استهلاكه السنوي من الكهرباء بانتاجه الطاقة المتجددة في الموقع، ويمكن تنفيذه على مستوى الفرد أوالمالك ومن خلال ما يطرحة المصمم من معالجات تصميمة، ولا يحتاج تطبيقه إلى تشريعات او معاملات محددة كما في المعايير الأخرى كما هو موضح في جدول رقم (1).

3-1-2:تحقيق اعتبارات الراحة الحرارية داخل المبنى صفري الطاقة

الراحة الحرارية الموصى بها في الكود المصري للمناخ الصحراوي الحار الجاف تتراوح ما بين 21.8-30س°، ولتحقيق الراحة الحرارية في المباني صفرية الطاقة يوصى بتطبيق مواصفات الكود المصري في تصميم الفتحات والعزل الحراري للحوائط والاسقف كما ورد في كود تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني ومواصفات بنود أعمال العزل الحراري، ومن ثم تقييم مدى تحقيق هذه المواصفات والقياسات للراحة الحرارية داخل المبنى باستخدام برامج المحاكاة التي تساعد في اتخاذ القرار التصميمي، فهي تزود المصممين بالمعرفة اللازمة

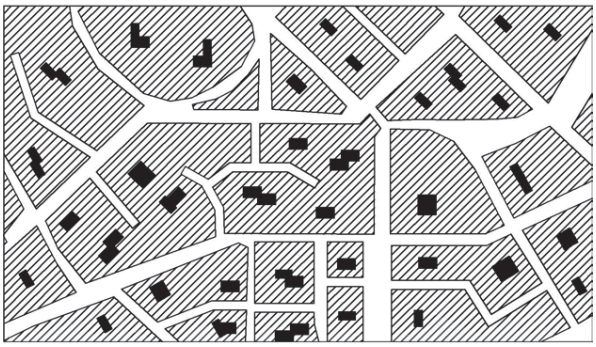
لتحديد المشكلة التصميمية وتحقق التكامل بين كفاءة استخدام الطاقة والأداء المطلوب للمبنى، ومن أشهر هذه البرامج برنامج Energy Plus وبرنامج TRANSYS [33].

3-1-3التصميم السلبي

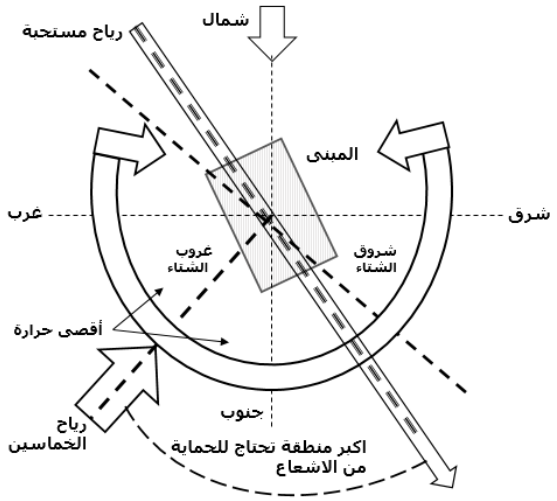
تشمل المعالجات السلبية التي تلائم المناخ الصحراوي والسياق المحلي للمباني ما يلي:

أ- فيما يخص التخطيط العمراني

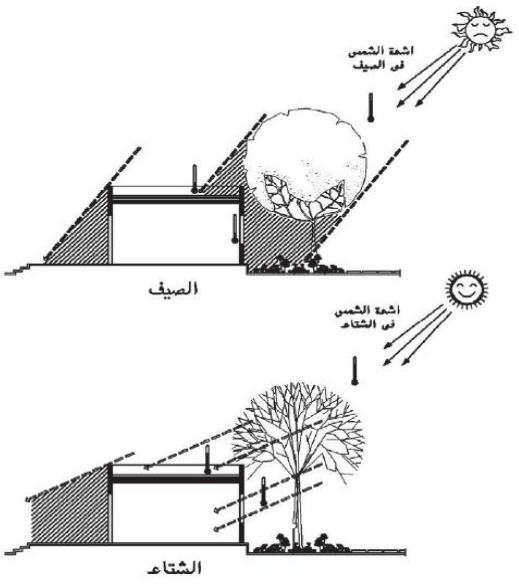
- استخدام التصميم التخطيط المتضام للمباني لزيادة كمية الظلال التي تلطف من درجة الحرارة داخل المواقع السكنية، كما في شكل(15).
- التوجيه الصحيح للمباني داخل الموقع بالنسبة للاتجاهات الأصلية للحصول على رياح مفضلة وللتقليل من التعرض لحرارة الشمس، كما في شكل (16).
- استخدام أسلوب الشوارع المتعرجة للتقليل من تعرضها لأشعة الشمس كما في شكل (15).
- استخدام عناصر التشجير والمسطحات المائية للبيئة الخارجية للمواقع السكنية لتلطيف درجة حرارة الجو، كما يوضح شكل (17،18).



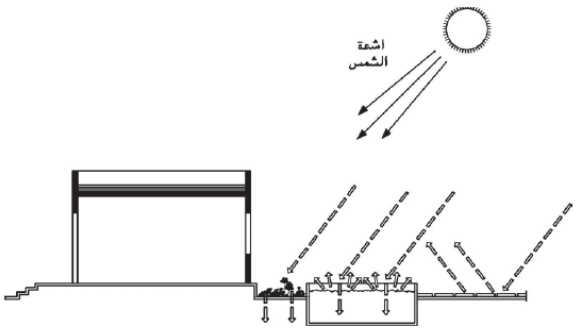
شكل(15): استخدام التخطيط المتضام والشوارع المتعرجة لتقليل التعرض لاشعة الشمس
المصدر : المرجع رقم [1]



شكل(16): توجيه المبنى الأمثل في الصحراء المصرية
المصدر : المرجع رقم [4]



شكل(17):تأثير التشجير على المبنى صيفا وشتاء
المصدر : المرجع رقم [1]



شكل(18): نوافير المياه تساعد على انكسار وتشتيت أشعة الشمس
المصدر : المرجع رقم [1]

ب- فيما يخص أسلوب و مواد البناء

يمكن اتباع الطرق التقليدية في الإنشاء كالحوائط الحاملة مثلا وذلك لتوفير مواد البناء التي تساعد على هذا النوع من الإنشاء، والتي تعمل كذلك على انتقال الحرارة من خارج المبنى لداخله ومن المواد المتوفرة في الصحراء المصرية الجرانيت والبازلت والحجر الجيري وغيرها، ويوضح جدول (5) مواد البناء واستعمالاتها الممكنة في منطقة الدراسة.

جدول 5
مواد البناء واستعمالاتها الممكنة

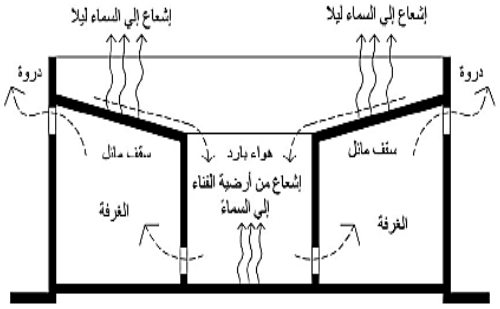
مواد البناء	الاستعمالات الممكنة
الجرانيت	تكسية الواجهات والأعمدة والأرضيات وفي الديكور
البازلت	في الارضيات وجدران المباني ومواد العزل
الطفلة	صناعة الزجاج والعوازل الكهربائية وصناعة الأسمنت
الحجر الجيري	صناعة الأسمنت صناعة الصوف الصخري كعازل للحرارة
الحجر الرملي	مواد للبناء والتشطيبات الخارجية والداخلية
الرمل	طوب للبناء وصناعة الخرسانة

المصدر: من إعداد الباحثين

ت- فيما يخص المبنى نفسه

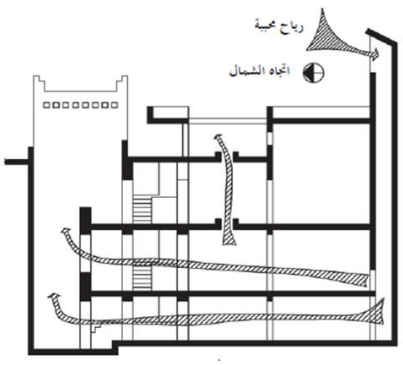
- استخدام الأفنية الداخلية التي تحتوي على العناصر الخضراء ونوافير المياه، كما هو موضح في شكل (19).

- الفتحات: استخدام نظام المشربيات للتهوية والتظليل كما في شكل (20)، أما في حالة الفتحات الزجاجية استخدام الزجاج المزدوج قليل الانبعاثية كما في توصيات الكود المصري لتحسين كفاءة المباني في استهلاك الطاقة.
- استخدام ملاقف الهواء لجلب المزيد من الهواء البارد لداخل المبنى، كما في شكل(21).
- استخدام المعالجات المعمارية مثل بروز خط القطاع الخارجي، واستخدام الكاسرات الشمسية لزيادة كمية الإظلال، كما في شكل(22).
- عزل الغلاف الخارجي للمبنى والذي يشمل الحوائط الخارجية والسقف وذلك طبقا لمواصفات الكود المصري.

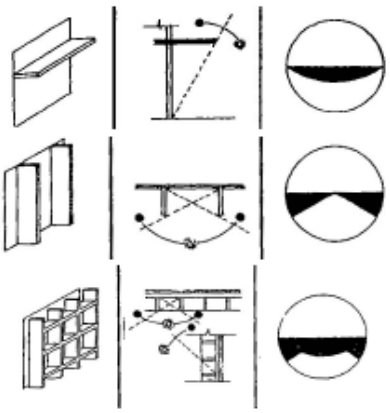


شكل(19): معالجة الأفنية في المناطق الحارة الصحراوية
المصدر : المرجع رقم [6]
]

شكل(20): واجهة منزل تستخدم فيها المشربيات
المصدر :المرجع رقم [1]



شكل (21): ملاقف الرياح ودورها في تهوية المباني
المصدر : المرجع رقم [1]



شكل (22): أنواع الكاسرات الشمسية
المصدر : المرجع رقم [6]

3-1-4 الأنظمة الكفوءة في استخدام الطاقة

الإضاءة والأجهزة الكهربائية اللازمة لتشغيل المباني السكنية يتم اختيارها من قبل المستخدمين ومعدلات التشغيل تعتمد على سلوك المستخدمين، ولكن يمكن إعطاء توصيات بشأنها بناء على ارشادات جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك المتمثله في اختيار الأجهزة الكهربائية التي تحمل بطاقة كفاءة الطاقة ، واستخدام نظم إضاءة LED الموفرة للطاقة، ويوضح شكل (23) بطاقة الطاقة وكفاءة مصابيح الإضاءة المتخلفة.

شكل (23): بطاقة درجات كفاءة الطاقة للأجهزة وكفاءة أنواع الإضاءة المختلفة
المصدر : http://egyptera.org/ar/tarsheed.aspx

3-1-5 انتاج الطاقة المتجددة

يوجد العديد من تكنولوجيا توليد الطاقة المتجددة في المباني صفرية الطاقة، وفي هذه الورقة البحثية يتم اقتراح توليد الكهرباء في المباني صفرية الطاقة في الصحراء المصرية عن طريق الخلايا الكهروضوئية، حيث يتم تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية بصورة مباشرة من ضوء الشمس، فعندما يسقط ضوء الشمس على الخلية الكهروضوئية تبث الالكترونات التي تنتج كميات صغيرة من الكهرباء، وعند تجميع عدد كبير من الخلايا الكهروضوئية يمكن انتاج كميات كبيرة من الكهرباء الصالحة للاستعمال كما في شكل (7).

والخلايا الشمسية من نوع Polly crystalline تعد من أفضل انواع الخلايا الشمسية التي تناسب المناخ الحار الجاف في مصر اعتمادا على دراسة أجرت اختبارا فعليا لكفاءة أنواع الخلايا الشمسية المختلفة في مصر، وأن هذه الخلايا الشمسية توضع أعلى أسطح المنازل باتجاه الجنوب وبزاوية ميل 30° على الأفقي[18].

3-1-6 تحقيق التوازن

لتفادي العجز في انتاج نظم الطاقة المتجددة في المبنى صفري الطاقة وللاستفادة من فائض الانتاج لهذه الأنظمة في بعض الأوقات من السنة يمكن تطبيق استراتيجيات تحقيق التوازن محليا وهما:

•*نظام الاتصال بشبكة الكهرباء*

يطبق في المجتمعات الجديدة التي توجد بها محطات لتوليد الكهرباء الحرارية حيث يصدر المبنى الصفري الطاقة الفائض من انتاجه من الطاقة المتجددة للشبكة بنفس مقدار ما يستورده منها من الكهرباء غير المتجددة في وقت ذروة الاستهلاك خلال العام الواحد، وفي مصر في إطار جهود الحكومة التي تهدف إلى التشجيع على إنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة أقر جهاز تنظيم مرفق الكهرباء سياسة صافي تبادل الطاقة أي تبادل واستخدام الطاقة المنتجة من مشروعات الطاقة الشمسية مع شبكة التوزيع للكهرباء وذلك من خلال قيام المستهلك بتركيب عداد لقياس صافي الطاقة المنتجة على أن تتم المحاسبة شهريا [26].

•*نظام الاستقلال عن شبكة الكهرباء*

يطبق هذا النظام في المناطق الصحراوية النائية التي تكون فيها تكلفة الاتصال بشبكة الكهرباء أكبر من تكلفة استخدام الخزانات الحرارية والكهربائية بالمبنى صفري الطاقة، وفي هذه الحالة يغطي المبنى الصفري الطاقة كامل احتياجاته من الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة المدمجة به، بما فيها احتياجاته من الطاقة في وقت ذروة الاستهلاك، ولتحقيق ذلك يخزن الفائض من الإنتاج في بطاريات تخزين للطاقة الكهربائية إلى حين استخدامها، ويجب أن يصمم نظام الخلايا الشمسية طبقا لاحتياجات المنزل من الكهرباء في وقت الذروة[34].

3-2:النتائج والتوصيات

3-2-1:النتائج

بعد الانتهاء من الدراسة النظرية والتحليلية والتطبيقية فقد خلص البحث إلى النتائج التالية:

- إن مستقبل التنمية العمرانية في مصر يحتم ضرورة الخروج من الوادي الضيق إلى رحاب المساحات الشاسعة من الأراضي الصحراوية، ورسم خريطة جديدة للعمران في مصر، وهذا يتطلب خصوصية فكرية وتطبيقية لتنمية الصحراء المصرية.
- تتمتع المساحات الشاسعة في الصحراء المصرية بخصائص بيئية متفردة تمثل قيمة ايجابية تتفق وفكر الاستدامة البيئية، ولعل أبرز هذه الخصائص إمكانية الحصول على الطاقة اللازمة للتنمية العمرانية من مصادر جديدة ومتجددة.
- يمثل فكر الاستدامة البيئية أولوية ذات طابع اقتصادي للدول النامية ومنها مصر والتي تعاني من أزمات الطاقة المستمرة وذلك لاعتمادها بشكل أساسي على انتاج الطاقة من المصادر التقليدية.
- تعد المباني صفرية الطاقة مدخلا هاما لتحقيق تنمية عمرانية مستدامة في مصر، فهي تعالج مشكلة استهلاك المباني للطاقة، وتوفر بيئة مريحة للمستخدمين داخل المبنى، وتحافظ على الموارد الطبيعية من الوقود الأحفوري باستخدامها مصادر الطاقة المتجددة.
- تشمل الاستراتيجيات التصميمية للمباني صفرية الطاقة اعتبارات الراحة داخل المبنى والتصميم السلبي وتحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل المبنى، وانتاج الكهرباء من مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة وتحقيق التوازن.
- معيار تحقيق صفرية الطاقة الذي يلائم الظروف الحالية في مصر هو أن يعادل انتاج المبنى الصفري الطاقة استهلاكة السنوي من الكهرباء بانتاجه من الطاقة المتجددة في الموقع ، فالمبنى في هذه الحالة يكون أقل تأثرا بالمعوقات التشريعية والإدارية حيث يمكن تحقيقه على مستوى الفرد أو المالك، ولا يحتاج تطبيقه إلى تشريعات محددة كما في المعايير الأخرى.
- نتيجة لاختلاف معدلات انتاج الطاقة المتجددة واستهلاك المبنى للطاقة على مدار العام فإنه يمكن تحقيق التوازن بين انتاج المبنى واستهلاكه من الكهرباء طوال العام بوجود أحد الخيارين وهما الاتصال بشبكة الكهرباء أوخيار الاستقلال عنها، ويهدف اتصال المبنى بشبكة الكهرباء إلى تصدير المبنى الفائض من انتاجه من الكهرباء المتجددة إلى شبكة الكهرباء واستيراد ما يعادله من كهرباء من الشبكة في حالة النقص في انتاج المبنى للطاقة المتجددة في بعض الأوقات من العام مثل فصل الشتاء أو في شهور ذروة الاستهلاك صيفا، ويطرح هذا النظام فرصة للمستهلك أن يضيف دخل مادي ببيع الفائض من الاستهلاك إلى شبكة الكهرباء كما هو مسموح به في سياسات وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، أما في حالة استقلال المبنى عن شبكة الكهرباء فإن المبنى يحتاج الى خزانات حرارية وكهربائية لتخزين الطاقة المتجددة واستخدامها في أوقات ذروة الاستهلاك، ويمكن تطبيق هذا النظام في حالة المباني في المناطق الصحراوية النائية.
- يوجد العديد من تكنولوجيا توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة في المباني صفرية الطاقة، وتشمل هذه التكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية والسخانات الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية والوقود الحيوي، ولكن أغلب التطبيقات شيوعا في هذا المجال هي تطبيقات الطاقة الشمسية.

3-2-2:التوصيات

التوصيات التي يمكن أن تساهم في تحقيق تنمية عمرانية مستدامة في الأراضي الصحراوية المصرية من خلال المباني صفرية الطاقة ويمكن تناولها كالتالي:

أ-على المستوى القومي:

•ضرورة الاهتمام بموضوع التنمية العمرانية المستدامة في الأراضي الصحراوية المصرية في وسائل الإعلام المختلفة من خلال الترويج والتشجيع والحث عليه، وأن يدرج هذا الموضوع في كافة المناهج التعليمية، وأن تعقد المؤتمرات والندوات التي توضح وتشجع على حتمية الخروج من الوادي الضيق إلى رحاب التنمية العمرانية المستدامة في الأراضي الصحراوية المصرية على اعتبار أن ذلك يمثل مستقبل مصر الواعد.

•ضرورة وضع استراتيجية على المستوى القومي لإعداد المخططات والتصميميات المرتبطة بالعمارة والعمران في المجتمعات الصحراوية في مصر لتحقيق تنمية عمرانية مستدامة.

•تشجيع المشروعات العمرانية والمعمارية التي تراعي أسس الاستدامة البيئية في التصميم وذلك من خلال خفض الرسوم والضرائب على هذه المشروعات.

•ضرورة أن يراعي الأثر البيئي للمشروعات العمرانية والمعمارية، وأن يكون ذلك عامل حاسم في استخراج التراخيص اللازمة لتنفيذ هذه المشروعات.

•ضرورة أن يكون للبحث العلمي دورا بارزا في مجال تقنيات العمارة والعمران المستدام والذي يراعي انتاج الطاقة من مصادر جديدة ومتجددة.

•دعم الصناعات المتعلقة بالطاقة الجديدة والمتجددة وتطبيقاتها في مجال العمارة والعمران مع التطوير المستمر والابتكار في هذا المجال.

•دعم وتشجيع صناعات البناء القائمة على موارد محلية تلبي متطلبات الاستدامة البيئية للمشروعات العمرانية والمعمارية في االأراضي الصحراوية المصرية.

•ضرورة تحديد مدة زمنية للتحول نحو صفرية الطاقة لتصميم المشروعات المعمارية والعمرانية كما هو الحال في الدول المتقدمة.

ب-على مستوى المصممين:

•ضرورة أن يكون المصمم على وعي ودراية بمفاهيم التنمية العمرانية المستدامة لأن هذا يساعده على استخدام ادواته التصميمية بكفاءة عالية طبقا لظروف وخصائص المواقع المختلفة.

•ضرورة أن يحقق المصمم صفرية الطاقة في تصميم المشروعات المعمارية والعمرانية في الأراضي الصحراوية المصرية وأن يكون على دراية كاملة بالكود المصري فيما يخص ذلك.

•أن تكون تصميمات المشروعات صفرية الطاقة معتمدة على مواد البناء ومستلزمات انتاج الطاقة المحلية.

ت-على مستوى أقسام العمارة والتخطيط:

•توفير الكتب والمراجع التي تتناول التنمية العمرانية المستدامة بما في ذلك العمارة الخضراء والمباني صفرية الطاقة.

•عقد المؤتمرات والندوات العلمية حول التنمية العمرانية المستدامة على أن تشمل موضوعاتها العمارة الخضراء والمباني صفرية الطاقة .

•ضرورة أن يتعلم الطلاب أساليب التصميم والتخطيط المستدام بما في ذلك صفرية الطاقة وأن تكون مشروعاتهم الدراسية معتمدة على هذه الأساليب في التصميم.

المراجع العربية

[1] العيسوي. محمد، تأثير تصميم الغلاف الخارجي للمبنى على الاكتساب الحراري والراحة الحرارية للمستعملين، رسالة ماجستير: جامعة القاهرة، 2003.

[2] اللحام. نسرين، "نحو خلق مناطق تميز ومدن جديدية مستدامة في مصر: رؤية جديدية لتخطيط المدن،" مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، القاهرة، مصر، 2011.

[3] جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك. التقرير السنوي لمؤشرات استهلاك الطاقة الكهربائية في الأنشطة الإقتصادية (2014/2013).

[4] عادل. كمال، التصميمي البيئي للعمران في التجمعات الصحراوية، رسالة دكتوراة: جامعة الأزهر، 1990.

[5] عبد العال،أحمد، ممر التعمير في الصحراء الغربية ماله وما عليه، [متاح]: http://www.fayoum.edu.eg/arts/Geography/pdf/18.pdf [تاريخ الوصول 25 أبريل 2017].

[6] علي. أحمد، استخدام المحاكاة لتقييم وتحسين الأداء الحراري للمباني السكنية، رسالة ماجستير: جامعة أسيوط، 2011.

[7] علي. سيد، نحو منظومة متكاملة لتطوير استخدام مواد البناء كمدخل لتحقيق العمارة المستدامة في مصر، رسالة ماجستير: جامعة حلوان، 2010.

المراجع الإنجليزية

[8] Athienitis and W. O'Brien, Modeling,Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings, Berlin, Germany, Wilhelm Ernst & Sohn, 2015.

[9] ĀKINA, LITTLE GREENIE –GET THE FACTS, 3 FEBRUARY 2016.[ONLINE]. AVAILABLE:HTTP://AKINA.ORG.NZ/WP-CONTENT/UPLOADS/2013/06/LITTLE-GREENIE-GET-THE-FACTS-FULL-REPORT-WEB.PDF

[10] A.Lenoir, F. Thellier and F. Garde, "Towards Net Zero Energy Buildings in Hot Climate, Part 2: Experimental Feedback," ASHRAE Transactions, 2011.

[11] A.Scognamiglio, E. Musall and H. N. Røstvik, "Photovoltaics and (nearly) net zero energy buildings: architectural considerations," in ZEMCH 2012 International Conference, ZEMCH Network, Australia, 2012.

[12] AIA,YEAN YANG HOUSE,15 MAY 2016 [ONLINE].AVAILABLE: HTTP://WWW.AIATOPTEN.ORG/PRINTPDF/29

[13] B.VALE, J. D. ROBERT VALE AND R. DOIG, GREEN ARCHITECTURE: DESIGN FOR A SUSTAINABLE FUTURE, NEW YORK, USA, THAMES AND HUDSON, 1997.

[14] C.J. Kibert, Sustainable Construction Green Building Design and delivery, John Wiley & Sons, 2008.

[15] D.H. Li, L. Yang and J. C. Lam, "Zero energy buildings and sustainable development implications - A review," Energy, vol. 54, pp. 1-10, 2013.

[16] E.Rodriguez-Ubinas and a. et., "Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses," Energy and Buildings, vol. 83, pp. 10-22, 2014.

[17] F.Garde, A. Lenoir, A. Scognamiglio, D. Aelanei, D. Waldren, H. N. Rostvik, J. Ayoub, L. Aelanei, M. Donn, M. Tardif and S. Cory, "How to design a Net Zero Energy Building? Solution sets and case studies: Experience and feedback of the IEA TASK40/ANNEX52.," 2013. [Online]. Available: http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/events/High-Performance-Buildings-June-2013/Papers/session4/41_pap_garde_hpb_2013_final.pdf. [Accessed 9 June 2015].

[18] H. Fayek, Comparative Study for Performance of different kinds of PV cells at different working and environmental conditions, 2012.In Arabic.

[19] I.Sartori, A. Napolitanob and K. Voss, "Net zero energy buildings: A consistent definition framework," Energy and Buildings, vol. 48, p. 220–232, 2012.

[20] J.Lam, R. Chan, C. Tsang and D. Li, "Electricity use characteristics of purpose-built office buildings in subtropical climates," Energy Conversion and Management, vol. 45, no. 6, pp. 829-844, 2004.

[21] k.Yeang, Ecodesign: A Manual for Ecological Design, Great Britain: Wiley Academy, 2006.

[22] M. Ahmad, Natural Ventilation Techniques as a Base for, cairo: Mater thesis,Ain Shams University, 2012. In Arabic.

[23] M. Sharaf, "Middle East Economic Association," 2016. [Online]. Available: http://meea.sites.luc.edu/volume18/pdfs/24-Energy%20consumption%20and%20economic%20growth%20in%20Egypt.pdf [Accessed 12 Mars 2017].In Arabic.

[24] M. Ardehali and T. Smith, "Evaluation of variable volume and temperature HVAC system for commercial and residential buildings," Energy Conversion and Management, vol. 37, no. 9, pp. 1469-1479, 1996.

[25] M. El-Sudany, Developing the Egyptian Desert by Photovoltaic Technology, Master Thesis: Mansoura University, 2009.In Arabic

[26] MOEE, "Annual Report 2012/2013," Ministry Of Electricity & Renewable Energy, Egypt, 2013.In Arabic.

[27] P. Heiselberg and A. Joanna Marszal, "Zero Energy Building (ZEB) definitions – A literature review," A technical report of subtask A, Denmark, 2011.

[28] P. Torcellini, S. Pless and M. Deru, "Zero Energy Buildings:A Critical Look at the Definition," National Renewable Energy Laboratory(NREL), USA, 2006.

[29] P. Torcellini and S. Pless, "Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options," National Renewable Energy Laboratory(NREL), USA, 2010.

[30] S. Attia, A. Evrard and E. Gratia, "Development of benchmark models for the Egyptian residential buildings sector," Applied Energy, vol. 94, p. 270–284, 2012.

[31] S. Attia and S. Carlucci, "Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate," Energy and Building, vol. 102, no. 0378-7788, pp. 117-128, 2015.

[32] S. Deng, R. Wang and Y. Dai, "How to evaluate performance of net zero energy building–A literature research," Energy, pp. 1-16, 2014.

[33] T. Maile, M. Fischer and V. Bazjana, "Building energy performance simulation tools-a life-cycle and interoperable perspective," Center for Integrated Facility Engineering, USA, 2007.

[34] Z. Baeza, A Zero Energy House for UAE,Master Thesis, 2013.

المواقع الالكترونية

[35] "ArchiBlox Designs World's First Prefabricated Carbon Positive House," [Online]. Available: http://www.archdaily.com/602666/archiblox-designs-world-s-first-prefabricated-carbon-positive-house [Accessed 5 March 2016].

[36] "Building Database," [Online]. Available: https://buildingdata.energy.gov/project/yin-yang-house [Accessed 1 May 2016].

[37] "Case Study: The Carbon Positive House," [Online]. Available: http://www.thefifthestate.com.au/case-studies/case-study-the-carbon-positive-house/78732 [Accessed 4 May 2016]

[38] "EzineArticles," 16 April 2015[Online].Available: http://ezinearticles.com/?Sustainable-Green-Architecture&id=715327 [Accessed 16 April 2015].

[39] "Little Greenie Design & Build," 22 March 2016.[Online].Available: http://goldenbayhideaway.co.nz/design_build.[Accessed 22 March 2016].

[40] "MAROCENV," [Online]. Available: http://marocenv.com/1541.html [Accessed 2 May 2017].In Arabic