المدارس بالمدن العربية مدخلاً للتنمية المستدامة
(المدارس صفرية الطاقة نموذجًا)

م. أحمد مُحَمَّد عبد السميع

معيد بقسم العمارة كلية الهندسة جامعة أسيوط، أسيوط، مصر،

المدارس بالمدن العربية مدخلاً للتنمية المستدامة
(المدارس صفرية الطاقة نموذجًا)

أحمد مُحَمَّد عبد السميع
معيد بقسم العمارة كلية الهندسة جامعة أسيوط، أسيوط، مصر،
البريد الإلكتروني: ahmedeid2992@gmail.com

المخلص

تواجه البشرية في الوقت الحالي العديد من المشكلات البيئية الكبيرة والمتشعبة، إذ أدى نمط الحياة الاستهلاكي إلى وقوع أزمات بيئية خطيرة؛ وفي سبيل درء المخاطر النابعة عن هذه المشكلات؛ ظهر عديد من الأفكار والمفاهيم التى تحاول إيجاد صياغات للوعي البيئي من خلال الإدراك السليم لهذه المشكلات، ومحاولة وضع بعض الحلول الممكنة أو طرح بدائل لهذه الحلول.

وتمثل التنمية المستدامة ومفاهيمها الأساس في تحديد سبل التعامل الرشيد مع البيئة، وكذلك مبادئ العمارة المستدامة والعمارة الخضراء والمباني صفرية الطاقة وغيرها بوصفها أطرًا فكرية تؤدى للحد من المشكلات، خاصة مشكلة الطاقة.

يمكن اعتبار مدخل المدارس المستدامة والمدارس صفرية الطاقة مفهوماً جيداً وطريقة ناجحة لنقل قضايا البيئة من المناهج إلى التطبيق في الحياة اليومية، بالإضافة إلى تشجيع المشاركة في تحمل المسئولية البيئية من جانب الطلاب والمعلمين وأولياء الأمور وقطاعات المجتمع المحلي كافة.

يهدف البحث إلى إلقاء الضوء على فكرة المدرسة صفرية الطاقة، والأساليب والتقنيات المتبعة في تصميم هذه المدارس، وإمكانية تطبيق هذا المدخل المستدام في المدن العربية وبالأخص ذات الطبيعة الصحراوية لحساسيتها للأنشطة البيئية الإنسانية.

يتبع البحث المنهج التحليلي ومنهج دراسة الحالة من خلال تحليل الأفكار النظرية المرتبطة بمفهوم صفرية الطاقة، والمدارس صفرية الطاقة، وأهدافها، والدور الذي تقوم به لنشر وتحقيق مبادئ الاستدامة، مع تحليل نماذج تجريبية لهذه المدارس عالمياً للخروج بمجموعة من الأساليب المتبعة والتي يمكن تطبيقها للوصول إلى تصميم مدرسة صفرية الطاقة مع دراسة مدى إمكانية تطبيق هذه الفكرة بالمدينة العربية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة – ترشيد استهلاك الطاقة – التنمية المستدامة – المدارس – صفرية الطاقة – المدارس صفرية الطاقة.

١- المدخل التمهيدى: هدف البحث، منهجية الدراسة:

تشير الدراسات والتقارير البيئية إلى الأخطار المحدقة التى تواجه البيئة وانعكاساتها على البشرية، ومن هنا ظهرت الحاجة الملحة، إلى أفكار خلاقة للعمل على مواجهة هذه الأخطار، ولذلك تعالت الدعوات إلى خلق توجه مستدام فى كافة القطاعات؛ الاقتصادية، والاجتماعية، والصناعية، والعمرانية، وغيرها.

وتعدّ العمارة صفرية الطاقة أحد هذه التوجهات المستدامة، التى نأمل فى أن تكون واحدة من الحلول لهذه المشاكل البيئية، وحيث إن المدرسة هى أساس المجتمع؛ فقد أضحى التوجه إلى تبني فكرة المدرسة صفرية الطاقة بوصفها نواة للمجتمع المستدام، وأحد المداخل لتحقيق التنمية المستدامة.

١-١- هدف البحث:

تهدف الورقة البحثية إلى إلقاء الضوء على المدارس صفرية الطاقة، باعتبار العمارة صفرية الطاقة أحد الاتجاهات العالمية لمواجهة المشكلات البيئية، مع دراسة بعض التجارب العالمية لمدارس صفرية الطاقة؛ للوصول لدروس مستفادة من هذه التجارب.

١-٢- منهجية الدراسة:

يتبع البحث المنهج التحليلى ومنهج دراسة الحالة من خلال تحليل الأفكار النظرية المرتبطة بمفهوم صفرية الطاقة، والمدارس صفرية الطاقة، وأهدافها، مع شرح النماذج التجريبية لبعض من هذه المدارس، وتحليل الدور الذي يمكنها القيام به في إزكاء الوعي البيئي ومفاهيم التنمية المستدامة.

٢- أزمة الطاقة عربياً وعالمياً:

يعيش العالم منذ بضع سنوات أزمة طاقة بفعل الطلب المتزايد على مصادر الطاقة التقليدية المحدودة، وهذه الأزمة ناتجة عن الإدراك بأن تلك المصادر سوف تنفد فى المستقبل المنظور؛ مع أنه ليس هناك حتى هذه اللحظة بديل واضح لها، ولم يجد الإنسان بعد مصادر بديلة كافية تسد حاجاته وحاجات الأجيال المقبلة؛ لذلك فإن العالم يعمل على إيجاد حلول جادة لأزمة الطاقة، وهو يعمل فى عدة اتجاهات لتسخير الطاقة الشمسية، ويرصد مبالغ طائلة لمشاريع الأبحاث والتطوير فى هذا المجال.

وقد جاء ترشيد استهلاك الطاقة رد فعل للطلب المتزايد على الطاقة التقليدية والتكاليف الباهظة التى تدفع لقاء الطاقة المستهلكة، بالإضافة إلى كونها من أهم الوسائل التى تسهم فى مكافحة التلوث البيئى فى العالم، وأصبح موضوع ترشيد استهلاك الطاقة والمحافظة على سلامة البيئة من سمات المجتمع المتحضر الخالى من مسببات التلوث والمشاكل الناجمة عنه فى الماء والهواء والأرض، وهى تؤثر بصورة مباشرة على حياة الإنسان والحيوان والنبات على حد سواء، وقد حظي هذا الموضوع باهتمام واسع فى دول العالم كافة، سواء أكانت مستوردة أم مصدِّرة للطاقة أو مكتفية ذاتياً، وذلك لأنها تؤدى إلى الحد من الهدر والتبذير فى استعمالات الطاقة وتقليل الخسارة الاقتصادية فى استهلاكها وتحقيق كفاءة متزايدة فى استغلالها.

وخلال السنوات الأخيرة قامت عديد من دول العالم بإجراء الدراسات ووضع السياسات وسن القوانين واتخاذ الإجراءات العملية فى قطاعات متعددة؛ للحفاظ على الطاقة وترشيد استهلاكها، والإسهام فى حل مشاكل التلوث البيئى الناتجة عنها، وذلك حسب الظروف الموضوعية لكل مجتمع.

ويشكل استهلاك الطاقة فى المبانى نسبة لا بأس بها من مجموع الاستهلاك الكلي للطاقة، حيث اتجهت الأنظار إلى هذا القطاع الواسع. وأعدت الدراسات والخطط للوصول إلى الوسائل التى تساعد على ترشيد استهلاك الطاقة وإحلال الطاقات البديلة، وفى مقدمتها الطاقة الشمسية. وقد أشارت الدراسات إلى أن ترشيد الطاقة فى المبانى قد وصل إلى نسب لا بأس بها، حيث حقق استعمال

الطاقة الشمسية نسبًا متقدمة فى هذا المجال. وعند الجمع بين وسائل ترشيد الطاقة واستعمال الطاقة المتجددة فى المبانى يمكن الوصول إلى حالة الاكتفاء الذاتى والاستغناء عن مصادر الطاقة التقليدية فى أغلب أيام السنة.

إن تقليل استهلاك الطاقة وتوظيفها يعنى توفيراً فى الطاقة وتقليلًا فى التكلفة المدفوعة فيها، وقد استعملت طرق ووسائل عديدة يمكن بواسطتها ترشيد استهلاك الطاقة؛ خاصة عند اختيار الأجهزة والمعدات ذات الكفاءة العالية، من حيث استهلاك الطاقة عند تشغيلها دون التأثير على مستوى الخدمات المطلوب توفيرها فى المبنى.

٢-١- العلاقة بين قطاع المباني ومعدلات استهلاك الطاقة:

يعد قطاع المباني أكثر القطاعات استهلاكاً للتيار الكهربي، وتستخدم الكهرباء في المباني أساساً لتلطيف البيئة الداخلية، والإضاءة، ورفع جودة الحياة بشكل عام، ويعد قطاع الإسكان من أكثر القطاعات استهلاكاً للتيار الكهربي، يليه القطاع الصناعي، ثم المباني الحكومية ومن ضمنها المدارس، لذا بدأ التفكير في السبل المختلفة التي يمكن بواسطتها ترشيد استهلاك الطاقة في مختلف أنماط المباني، دون التأثير على مستوى الخدمات أو جودة الحياة فيها.

٢-٢- أزمة الطاقة والعملية التعليمية:

يلعب الجانب التعليمي دوراً مهماً في مواجهة أزمة الطاقة، وقد شرعت عديد من الدول فى تبنى برامج لتنمية دور العملية التعليمية؛ للإسهام فى تطوير قطاع الطاقة، ويمكن تلخيص أهم هذه البرامج على النحو التالى:

- تعزيز الإبتكار في قطاع الطاقة:

من خلال زيادة الإنفاق على البحث والتطوير وتشجيع استخدام التكنولوجيا الحديثة لتطوير القطاع وذلك عن طريق:

- تطوير عملية توليد الطاقة الكهربائية، وتشجيع اللامركزية فيها مثل الشبكات متناهية الصِغَر، مع تطوير التكنولوجيات وأنظمة التشغيل الخاصة بها.
- التركيز على دراسة طرق توليد الطاقة وأساليبها المتجددة، ورفع كفاءتها الإنتاجية، بما يتلاءم مع الواقع المحلي.
- تحسن كفاءة توليد الطاقة الكهربائية، والحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، عن طريق استخدام تكنولوجيات متقدمة صديقة للبيئة.

- تأهيل الكفاءات التي يحتاجها قطاع الطاقة:

- العمل على توفر الكفاءات البشرية المطلوبة؛ لتحقيق مستهدفات تحسين كفاءة استخدام وإنتاج الكهرباء، وتلبية متطلبات الطاقة المتجددة. وترتبط هذه الكفاءات بمستويات التعليم قبل الجامعي والفني والجامعي.
- تطوير المناهج التعليمية بحيث تعمل على تعزيز ثقافة الاستخدام الرشيد لموارد الطاقة.

٣- صفرية الطاقة: مفاهيم وتعريفات:

تقدم مبادئ صفرية الطاقة مدخلاً مميزًا لتحقيق الاستدامة حيث تقلل من استخدام الموارد، وتعظم الاستفادة منها، وتقلل من مقدار التلوث الناتج؛ حيث تسعى صفرية الطاقة لإنتاج عمارة متوافقة مع البيئة، مع الحد من آثارها السلبية، وتحقيق أقصى كفاءة لاستهلاك الطاقة، بالإضافة إلى إمكانية الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة، وتخفيض تكاليف التشغيل والصيانة.

هناك عديد من المصطلحات الشائعة لوصف المباني التى تحقق التوازن بين الطاقة المستهلكة والطاقة المنتجة منها: المباني صفرية الطاقة، المباني الصفرية التامة، مباني الطاقة الصفرية التامة.

٣-١- مفهوم المباني صفرية الطاقة:

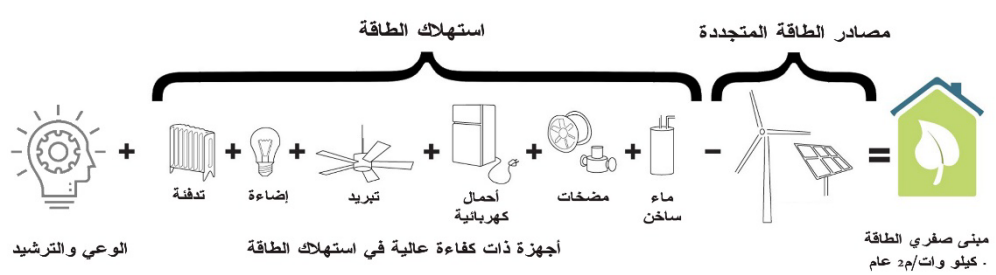
عند النظر لمفهوم المبنى صفري الطاقة نجد عديدًا من التعريفات لهذا المفهوم، والتي تختلف من بعض الدول لأخرى بناء على التوجهات والأهداف المختلفة –خاصة البيئية– ومن أهم هذه التعريفات:

- المبانى صفرية الطاقة هي: المباني التى تقدم لشبكة الإمداد بالطاقة نفس القدر الذى تستهلكه منها (مباني متعادلة)، كما أنها لا يصدر عنها أى انبعاثات من الكربون، وهي أيضا التي لا تستخدم الطاقة المتسببة فى انبعاثات الكربون على مدار العام (Balilan et al,2013).
- المبانى صفرية الطاقة هى: مباني لا تستخدم الوقود الأحفوري، و لكن تحصل على متطلباتها من الطاقة الشمسية وغيرها من مصادر الطاقة المتجددة، وهي مبانٍ مستدامة؛ لا ينتج عنها أي انبعاثات نتيجة لاستهلاكها للطاقة. (IEA, 2008).
- يعرف قسم الطاقة بالولايات المتحدة الأمريكية المبنى صفري الطاقة بأنه: مبنى عالي الكفاءة فيهِ مقدار الطاقة المستهلكة سنوياً أقل من أو تساوي الطاقة المتجددة المولدة بالموقع (DOE,2015).
- المبانى الصفرية مولدة الطاقة (plus energy buildings) هي: المبانى التى تقدم الطاقة الزائدة عن الحاجة خلال العام إلى الشبكة؛ أى أنها تنتج طاقة أكثر من استهلاكها (IEA, 2008).
- تعرف الجمعية الأمريكية للتبريد والتدفئة وتكييف الهواء المباني صفرية الطاقة على أنها: مبانٍ مصممة بحيث تحقق التوازن بين الاستهلاك المنخفض للطاقة والطاقة المتجددة المولدة بالموقع، بحيث توفّي متطلبات الطاقة على مدار العام (ASHRAE, 2018).
- طبقاً للمعمل الوطني للطاقة المتجددة فالمبنى صفري الطاقة هو: مبنى سكني أو تجاري، يحقق انخفاضاً كبيراً في احتياجات الطاقة، من خلال رفع الكفاءة وتحقيق التوازن بين استهلاك الطاقة والطاقة المولدة بالموقع (Hutton, 2011).
- المباني الصفرية المنفردة هي: المباني التى لا تتطلب الربط بشبكة الكهرباء، أو مرتبطة بها لحالات الطوارئ فقط، حيث تمد نفسها بالطاقة، كما أن لديها القدرة على تخزين الطاقة لفترة الليل أو أوقات الشتاء (IEA, 2008).

لا توجد طريقة محددة لتحديد كيفية الوصول أو إنشاء مبنى صفري الطاقة؛ فمن الممكن مثلاً أن يتم التعامل مع مبنى تقليدي، وتزويده بأنظمة شمسية حرارية، وخلايا فوتوفولتية، فإذا كانت هذه الأنظمة تمد المبنى –على مدار العام– بالطاقة اللازمة، أو أكثر، فهو مبنى صفري الطاقة، كما يلعب سلوك المستخدم دوراً مهماً في الوصول إلى صفرية الطاقة بالمبنى؛ حيث يتخذ الناس –لا الآلات– القرارات التي تؤثر على استخدام الطاقة؛ فنظرة ثاقبة على البعد الإنساني لاستخدام الطاقة هو المفتاح لفهم أفضل لاتجاهات الطاقة المستقبلية، وكيفية إدارتها، (Schipper and Meyers, 1993).

طبقاً لما سبق فمن المنطقى أن يكون تقليل الاستهلاك عن طريق: الترشيد، والاعتماد على معدات ذات كفاءة عالية للطاقة، واستخدام التقنيات السلبية (passive Techniques)(١٨) في الإضاءة، والتظليل، والتهوية، ومن ثم استخدام مصادر الطاقة المتجددة لإمداد المبنى بما ينقصه من طاقة، ويوضح الشكل رقم (١) كيفية معادلة الطاقة المستهلكة مع المولّدة بغية الوصول إلى صفرية الطاقة.

(١) التقنيات السلبية (passive Techniques): هي طرق وأساليب لتحقيق الراحة الحرارية، مع ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية بدون أو بأقل استخدام للأنظمة الميكانيكية (Subramanian and Divya, 2016).



الشكل رقم (١) تساوي الطاقة المستهلكة مع الطاقة المولدة للوصول لصفرية الطاقة. (المصدر: الباحث)

٣-٢- مميزات وعيوب المباني صفرية الطاقة:

أ- مميزات المباني صفرية الطاقة:

- تحمي الملاّك من أى أعباء مالية غير متوقعة؛ نتيجة أى زيادات مستقبلية في أسعار الطاقة.
- زيادة الراحة عن طريق انتظام درجات الحرارة الداخلية.
- تقليل الحاجة إلى التقشف في استخدام الطاقة، وتقلل من خطورة المشاكل الناجمة عن احتمالية انقطاع التيار من الشبكة.
- تقليل الكلفة الكلية نتيجة لرفع كفاءة الطاقة.
- ارتفاع قيمة المبنى السوقية –مقارنة بالمبانى التقليدية– كما أنها ترتفع بمجرد زيادة أسعار الطاقة.
- تتجه بعض الدول لسن تشريعات تفرض ضرائب وعقوبات على المبانى ذات الانبعاثات المرتفعة من الغازات الضارة.
- الإسهام الفاعل فى المجتمع ورفع الوعي البيئي.
- إمكانية ربطها بالشبكة لتسهم بالطاقة الزائدة عن الحاجة، وبالتالى تعود بالربح على أصحابها.

ب- عيوب المباني صفرية الطاقة:

- القليل من المصممين والمهندسين لديهم الخبرة الضرورية والمهارات اللازمة لتنفيذ المباني صفرية الطاقة.
- التكلفة المبدئية أعلى من المباني التقليدية، كما أنها تحتاج إلى جهد كبير لفهم المنظومة وكيفية تطبيقها والتعامل معها، كما أن ارتفاع كلفة منظومة توليد الطاقة المتجددة؛ يولد صعوبات في حالة الرغبة في الاستثمار وبيع المبنى قبل مرور فترة استرداد تكلفة منظومة التوليد.
- استخدام منظومات توليد الطاقة المتجددة المعتمدة على الطاقة الشمسية، يحتاج إلى أكبر مسطحات معرضة لأشعة الشمس، وأسطح غير معرضة للإظلال.
- الحاجة إلى استخدام أغلفة المباني المحسنة وأنظمة التبريد والتدفئة والإنارة ذات الكفاءة العالية، لأنه بدون هذه التجهيزات يصبح الوصول إلى صفرية الطاقة أمراً صعباً باستخدام مصادر الطاقة المتجددة؛ حيث تكون غير قادرة على سد الفجوة بين معدلات الاستهلاك المرتفعة والطاقة المولّدة.

٤- المدارس صفرية الطاقة:

اتجه المعماريون في الآونة الأخيرة إلى تقديم مدارس تحمل وعياً بيئياً، ومسئولية تجاه التغيرات المناخية وأزمات الطاقة العالمية، روعي فيها الدمج بين التصميم والمعالجات الخاصة بترشيد استهلاك الطاقة، مع إضافة تقنيات متنوعة؛ لتوليد أكبر قدر من الطاقة المتجددة، وربط ذلك كله بالمناهج والعملية التعليمية. وتعد المدارس صفرية الطاقة أحد التوجهات العالمية واسعة الانتشار التي تحقق أغراضاً بيئية وتعليمية في آن واحد.

٤-١- مفهوم المدارس صفرية الطاقة:

تعددت التعريفات للمدارس صفرية الطاقة، فجاءت على النحو التالي:

- المدارس الصفرية هي: المدارس المنشأة بمكونات واستراتيجيات متكاملة مع العملية التصميمية؛ لتحقيق كفاءة الطاقة عند أو تحت ٢٠ ألف وحدة حرارية بريطانية ([١٩])، مع إمكانية استخدام أجهزة وهندسة بالموقع؛ لتوليد الطاقة المتجددة لاحقاً (DOE's, 2013).
- المدارس صفرية الطاقة هي: مبانٍ مدرسية تحقق جميع متطلبات المباني صفرية الطاقة، مضافاً إليها الوظيفة التعليمية؛ بوصفها مركزً لتثقيف الطلاب وتعليمهم مبادئ الاستدامة والحفاظ على الطاقة (DOE's, 2013).
- تدعم المدارس صفرية الطاقة تحقيق مجموعة من الأهداف البيئية؛ من خلال دمج التصميم، والتعلم، والاستدامة، والرقابة البيئية، بطريقة أكثر شمولاً في مدرسة نموذجية عالية الأداء؛ من خلال تركيز المجتمع المدرسي بأكمله؛ الطلاب، والمعلمين، والمدرسين، وأولياء الأمور؛ للوصول لهدف قابل للقياس، يمكن تحقيقه والحفاظ عليه وهو: أداء صفري الطاقة (ASHRAE, 2018).

إن ترشيد الاستهلاك لهو مطلب أساس فى تصميم المدارس صفرية الطاقة، كما أن نجاح المدرسة فى أن تكون صفرية الطاقة؛ يتأثر بموقع المدرسة، ومدى إمكانية تطبيق مصادر الطاقة المتجددة وتوفيرها.

٤-٢- مباني المدارس كنماذج إرشادية لمفهوم صفرية الطاقة:

وهنا يظهر السؤال: لماذا يمكن اعتبار تطبيق مفهوم صفرية الطاقة على مباني المدارس بمثابة نموذج إرشادي؟

تعدّ المدارس من أنماط المباني الواعدة لتكون مباني صفرية الطاقة وذلك للأسباب التالية:

- انخفاض الطلب نسبيًا على الطاقة بالمدارس، مقارنة بأنماط أخرى من المباني مثل المباني السكنية وذلك للأسباب الآتية:
  - تعمل المدارس لجزء من العام (حوالي ٩ أشهر) ولساعات محددة من اليوم، في الأغلب أثناء النهار، مع استخدام أقل خلال فترات ارتفاع درجات الحرارة في أشهر الصيف.
  - مستويات الإشغال تقريباً ثابتة، ويمكن التنبؤ بها بسهولة.
  - أحمال التوصيل منخفضة ومحددة مقارنة مع المباني التي تستخدم عديدًا من الأجهزة وبصورة غير منتظمة.
- تتوفر بها الإمكانات التي تسمح باستخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل: المساحات المطلوبة لتوربينات الرياح، والأسطح اللازمة للخلايا الشمسية، المساحات المطلوبة للأنظمة الحرارية الأرضية أسفل الملاعب والساحات، خاصة أن معظم أوقات الإشغال تكون أثناء النهار مع توافر أشعة الشمس.

١٩ الوحدة الحرارية البريطانية (BTU): هى وحدة لقياس الطاقة في النظام الإنجليزي للوحدات، حيث ١٠٠٠ وات =٣٤١٢ وحدة حرارية بريطانية. (Krunebusch, 2017).

- تساعد على خلق بيئة أفضل للتعلم من الناحية الصحية ولراحة المستخدم؛ مما يقلل نسب الغياب، وكذلك يوفر بيئة تفاعلية لدعم المناهج الدراسية والتعليم المستدام.
- المهمة المجتمعية؛ حيث يمكن اعتبار المدارس بمثابة مراكز لنشر مفاهيم الاستدامة على مستوى الأسرة والمجتمع، حيث تخدم معظم المدارس بوصفها مراكز مجتمعية، وتقام فيها الأنشطة المختلفة بحيث تصبح المدرسة نواة لمجتمع مستدام.

٤-٣- أهداف المدارس صفرية الطاقة ومميزاتها:

- التكلفة المادية: فهى فعالة من حيث التكلفة؛ سواء أكانت للتشغيل أم للصيانة، كذلك فإنها تقلل من استهلاك الطاقة مما يوفر من الناحية المادية.
- كفاءة العملية التعليمية: حيث توفر بيئة مستدامة صحية ومنتجة، مع أكبر كمٍّ ممكن من الإضاءة الطبيعية، مما يحقق جودة البيئة الداخلية والتهوية.
- أدوات تحليل الطاقة تعمل على الوصول لأفضل أداء للطاقة وتقلل التكاليف، وذلك من خلال اتباع منهجية لتقليل تكلفة دورة الحياة؛ لضمان أن المنشأة تعمل وفقًا لخطط التصميم وأهدافه.
- التكامل بين ترشيد الطاقة واستراتيجيات الطاقة المتجددة، وذلك من خلال أنظمة الإضاءة والأنظمة الميكانيكية ذات الكفاءة العالية، مع تخطيط الموقع بشكل متوافق مع المتطلبات بالبيئة، وكفاءة استخدام المياه،، بالإضافة إلى استخدام خامات صديقة للبيئة.

إتاحة فرص للطلاب للملاحظة والتعلم في إطار أداء الطاقة بالمبنى:

- وجود مناهج خاصة قائمة على دراسة الطاقة والاستدامة.
- إعداد جيل من حراس البيئة وحماتها في المستقبل.
- تعريف الطلاب بالمهن المرتبطة بالعلوم البيئية والتطبيقية والطاقة.

٥-تجربة مدارس (K-12) بالولايات المتحدة:

بالولايات المتحدة الأمريكية التوجه الأكبر عالمياً فيما يخص مفهوم المدارس صفرية الطاقة، حيث تم (K-12)تمثل مدارس وضع مجموعة من الأهداف فيما يخص تحسين كفاءة الطاقة، وتقليل كلفتها، ورفع أداء الطلاب، وانتظامهم الدراسي، وزيادة الفرص التعليمية، وذلك على النحو التالي:

٥-١- أهداف ومميزات مدارس (K-12):

- تقليل الانبعاثات والغازات الضارة وغيرها من التأثيرات البيئية: حيث إن تحسين كفاءة الطاقة يساعد على تقليل انبعاثات الغازات الضارة الناتجة من استخدام الوقود الأحفورى، فاستخدام الوقود الأحفورى لتوليد الكهرباء بالولايات المتحدة مسئول عن ٤٠٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، و ٦٧٪ من ثانى أكسيد الكبريت، و ٢٣٪ من أكسيد النيتروجين، مما يؤدى إلى حدوث الضباب، والدخان، والأمطار الحامضية وغيرها (U.S.EPA, 2011).
- تقليل تكلفة الطاقة: حيث تنفق المدارس بالولايات المتحدة الأمريكية ٧٥ دولارًا لكل طالب تكلفة للغاز، و ١٣٠ دولارًا لكل طالب تكلفة للكهرباء سنوياً، ولكن عن طريق مدارس (K-12) فإنها استطاعت تقليل كلفة الطاقة بمقدار ٣٠٪ (U.S.EPA, 2011).
- رفع أداء الطلاب: مع استخدام الإضاءة الطبيعية يرتفع تركيز الطلاب وأدائهم؛ فطبقاً لمعهد كاليفورنيا لكفاءة الطاقة فإن الطلبة المعرضين لإضاءة طبيعية فى الفصول يكون معدل أدائهم أعلى من الطلاب فى حالة استخدام الإضاءة

الصناعية HMG, 1999).)، كما ترفع جودة التهوية الداخلية من صحة المستخدم، وقدرته على التركيز والمتابعة، وقد أشارت إحدى الدراسات إلى أن جودة التهوية الداخلية تحسّن من صحة المستخدم وحالته النفسية بمقدار ٤٠٪ (Carnegie, 2005).

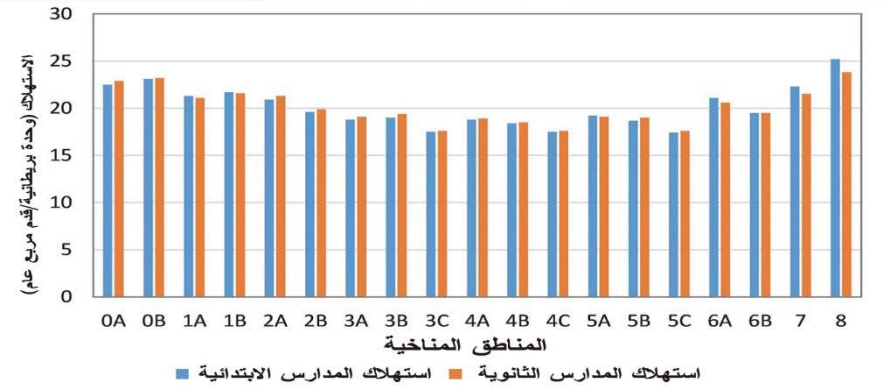
- رفع نسب الحضور: يعمل تعزيز البيئة الداخلية بالمدارس على رفع معدلات الحضور بمقدار ١٥٪ (Washington 2005).
- زيادة الفرص التعليمية: المباني المدرسية مرتفعة الكفاءة تعطي الطلاب فرصًا لتعلم مبادئ إدارة الطاقة الذكية، ولقد استخدمت مدارس (K-12) ا تقنيات رفع كفاءة الطاقة؛ لرفع وعي الطلاب بقضايا الطاقة والبيئة.

٥-٢- الدليل التصميمي لمدارس (K-12):

قامت مؤسسة ASHREA(٢٠) بإعداد الدليل المتقدم لتصميم الطاقة لمباني مدارس K-12 (Advanced Energy Design Guide For K-12 School Building). ويتكون الدليل من ثلاثة أجزاء طبقاً لمقدار الترشيد المستهدف تحقيقه: ترشيد بنسبة ٣٠٪، وترشيد بنسبة ٥٠٪، وأخيراً الوصول إلى صفرية الطاقة.

ويهدف الجزء الخاص بتحقيق صفرية الطاقة من الدليل إلى تمكين الملاك والمهندسين والاستشاريين والمعماريين المصممين لمدارس (K-12) من الوصول إلى مستويات عالية وفعالة من كفاءة استهلاك الطاقة وترشيدها، ويركز الدليل على سياسات التصميم واستراتيجياته والنصائح العملية؛ من نمذجة أداء الطاقة، وإدارة الأحمال الكهربائية، والإضاءة؛ لتقليل الاستهلاك بالمدارس إلى الحد الذي يمكن أن تغطيه مصادر الطاقة المتجددة وذلك عن طريق:

- الفهم الكامل لمشروع مدارس (K-12) صفرية الطاقة من بداية مرحلة التصميم حتى ما بعد الإشغال.
- استخدام المنهجية المحددة بالدليل بوصفها وسيلة ناجحة لتصميم مدارس (K-12) ذات الكفاءة من ناحية الطاقة والتكلفة، في كافة الظروف المناخية بالولايات المتحدة الأمريكية.
- وضع أهداف محددة لقياسات الطاقة بهذه المدارس طبقاً لكل منطقة مناخية، حيث تم تقسيم الولايات المتحدة إلى ١٩ منطقة مناخية، كما يوضح الشكل رقم (٢).



الشكل رقم (٢). قياسات الطاقة المستهدفة بالمدارس قبل إضافة المصادر المتجددة طبقاً لكل منطقة مناخية. (المصدر: (ASHRAE, 2018

(20) ASHREA هو اختصار American Sociately for Heating Refrigrationa and Airconditioning Engineers هي مؤسسة أنشئت عام ١٨٩٤م، وهي جمعية بحثية مرجعية للمهندسين بالولايات المتحدة. تركز على كفاءة الطاقة، وجودة البيئة الداخلية، والاستدامة.

- تقديم دليل تقني للمعالجات التصميمية للمبنى ومكوناته ويشمل المعالجات الخاصة بكل من: الغلاف والفتحات، نظام الإضاءة والإضاءة الطبيعية، معالجات الموقع العام، التدفئة والتكييف (HVAC)، تشغيل المبنى وأنظمة التحكم، تدفئة وتوصيل المياه، أنظمة توليد الطاقة المتجددة.
- محاكاة أداء المبنى وكيفية دمج عملية المحاكاة مع العملية التصميمية.

٦- تجارب عالمية لمدارس صفرية الطاقة:

يحلل الجزء التالي مجموعة من التجارب العالمية لمدارس صفرية الطاقة، وقد راعت الدراسة مجموعة من الأسس لاختيار هذه التجارب، وهى كالتالى:

- جزء من المدارس مصمم من الأساس على أن تكون مدارس صفرية الطاقة، والجزء الآخر هى مدارس قائمة تم تطويرها لتصبح مدارس صفرية الطاقة.
- حصول تصميم المبنى على جوائز عالمية فى مجالات استخدام الطاقة والاستدامة.
- أن تكون مباني المدارس موجودة في ظروف مناخية متنوعة قدر الإمكان.
- أن تكون المدارس المختارة منفذة فعلياً على أرض الواقع وليست مجرد أفكار نظرية أو مشاريع تحت الدراسة أو الإنشاء.

وبمراعاة تلك الأسس تم اختيار عدد مشروعين لمبانى مدارس صفرية الطاقة وهى:

١- مدرسة ديسكفري (Discovery) وتقع بولاية فيرجينيا بالولايات المتحدة الأمريكية.

٢- مدرسة ليدي بيرد جونسون (Lady Bird Gohnson) وتقع بولاية تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية.

٦-١- مدرسة ديسكفري الابتدائية، الشكل رقم (٣):

الجدول رقم (١). معلومات عن لدرسة ديسكفري (الباحث).

الموقع	إنتهاء التنفيذ	المسطح	عدد الطلاب
ولاية فيرجينيا	أغسطس ٢٠١٦	٩٨ ألف قدم مربع	٦٥٠ تلميذًا
المصمم	VMDO Architects		
شهادات وجوائز	LEED Gold 2018 – ASHRAE Tec. Award 2018		
تتكون المدرسة من . أختير موقع هذه المدرسة فى محيط مدرسة متوسطة قائمة؛ لتوفير المساحة، وبحيث يتم دمج المدرستين معاً في المستقبل طابقين، وتتراوح فيها مدة الإشغال من الساعة السابعة صباحاً وحتى السادسة مساءً.			
هدف المشروع	أنشئت المدرسة ضمن خطة لتغطية النمو المتسارع في أعداد الطلاب بمدينة إيرلنجتون، على أن تضمن المدرسة التكامل بين العملية التعليمية والتصميم المستدام؛ لذا تم تصميم المدرسة على أن تكون صفرية الطاقة بمعنى أن يكون معدل الطاقة المولدة في الموقع من خلال مصادر الطاقة المتجددة مساوي لمعدلات الطاقة المستهلكة.		

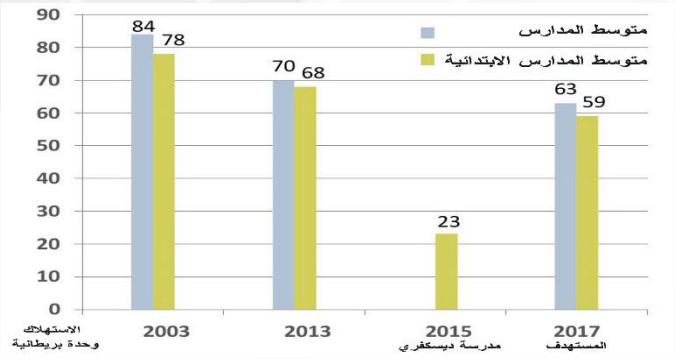
الشكل رقم (٣) مبنى مدرسة ديسكفري بمقاطعة إيرلنجتون بولاية فيرجينيا بالولايات المتحدة الأمريكية.

(المصدر: U.S DOE, 2017)

٦-١-١- الأساليب والتقنيات المستخدمة للوصول لمدرسة صفرية الطاقة:

تستهلك مدارس مقاطعة إيرلنجتون المماثلة لمدرسة ديسكفري بما يوازي ١٠٠ ألف دولار سنوياً تكلفة للطاقة (Arlington Public Schools, VA, 2017)، وهو ماهدفت المدرسة لتعويضه عن طريق الاستراتيجيات المستدامة لترشيد الطاقة، مع توليدها داخل الموقع باستخدام الخلايا الفوتوفولتية، مما يحول هذه المبالغ المالية لفائدة العملية التعليمية.

وضعت المقاطعة خطة لخفض معدلات استهلاك الطاقة بمدارسها بدءاً من عام ٢٠٠٣م؛ بهدف الوصول بمعدلات الاستهلاك بالمدارس الابتدائية عام ٢٠١٧م إلى ٥٩ كيلو وات/م٢، الشكل رقم (٤)، وعلى الرغم من هذا المعدل المنخفض نتيجة لتقنيات التصميم السلبي بالمدرسة، فإن إدارة المدرسة صممت على استكمال الطريق، وإضافة شبكة الخلايا الفوتوفولتية. ومع هذه المعدلات المنخفضة، واستخدام الخلايا الفوتوفولتية، أصبح الوصول إلى صفرية الطاقة ممكناً وفي حدود الميزانية المحددة.



الشكل رقم (٤) متوسط معدلات استهلاك الطاقة بمدارس المقاطعة مقارنةً مع مدرسة ديسكفري.

(المصدر:VMDO Architects, 2017)

وطبقاً للشركة المصممة فإنه من المتوقع أن تستغرق المدرسة حوالي ١٣ سنة لتعويض تكلفة شبكة الخلايا الفوتوفولتية، ويقدر مقدار الوفر بسبب التصميم الكفء وشبكة الخلايا الفوتوفولتية بحوالي ١٠٠ ألف دولار- من تكلفة الطاقة - سنوياً (U.S DOE, 2017)، أي أن التكلفة الأولية مرتفعة ولكن يتم تعويضها على المدى البعيد.

جدول (٢). المعالجات المختلفة والمطبقة بمدرسة ديسكفري للوصول لصفرية الطاقة (الباحث).

النوع	المعالجة	التفاصيل	
التقنيات السلبية	التصميم	صممت كتل المدرسة بشكل شريطي متدرج، من الجنوب إلى الشمال؛ حتى يمنع تكون الظلال على الأسطح ويسمح بالتعرض لأكبر قدر ممكن من ضوء الشمس، كما أن الإمتداد الأفقي لكتل المبنى يخلق مساحات كبيرة للأسطح تسمح بوضع العدد المطلوب من الخلايا الفوتوفولتية، شكل (٥).	 شكل (٥). تصميم كتلة المبنى بشكل متدرج. (المصدر: Arlington Public Schools, VA, 2017)
	الغلاف الخارجي	الغلاف الخارجي للمبنى من حوائط ونوافذ وأبواب مصمم بشكل محكم؛ لمنع تسرب الهواء داخل المبنى حتى يحافظ على الحرارة الداخلية للمبنى معزولة عن المحيط الخارجي. الحوائط الخارجية المعرضة لأشعة الشمس الغير مرغوبة مبنية من الخرسانة والفوم العازل، وهي تتميز بالقدرة على امتصاص حرارة الشمس خلال النهار ثم تشعها ببطئ خلال الليل؛ بذلك يمكن الحفاظ على الحرارة الداخلية ثابتة تقريباً. استخدام المسطحات الزجاجية الواسعة والتي تسمح بإدخال أكبر قدر ممكن من الإضاءة الطبيعية، شكل (٦).	 شكل (٦). المسطحات الزجاجية الواسعة لإدخال أكبر قدر ممكن من الإضاءة. (المصدر: U.S DOE, 2017)
	الواجهات	تتميز واجهات المدرسة جهة الشارع بالألوان الدافئة لتعكس توجيهها الجنوبي، شكل (٧). استخدمت الفتحات الصغيرة بالواجهات الجنوبية مع تظليلها بالكاسرات المتحركة لمنع الإبهار وأشعة الشمس المباشرة. أما الواجهات الشمالية فاستخدم فيها الألوان الفاتحة كالأخضر والأزرق انعكاسًا لألوان النباتات والطحالب التي تنمو في المنطقة، شكل (٨).	 شكل (٧). استخدام الألوان الحارة والتظليل بالواجهات الجنوبية (المصدر: Arlington Public Schools, VA, 2017) شكل (٨). استخدام الألوان الباردة كالازرق بالواجهات الشمالية (المصدر: Arlington Public Schools, VA, 2017)

تابع جدول (٢). المعالجات المختلفة بمدرسة ديسكفري للوصول لصفرية الطاقة

النوع	المعالجة	التفاصيل	
تابع التقنيات السلبية	الإضاءة	توفر النوافذ وفتحات الأسقف للإضاءة في جميع الفراغات بالمدرسة، وتصل نسبة النوافذ إلى حوالى ٣٣% من المساحة الكلية للحوائط، شكل (٩). نسبة ١٠٠% من مصابيح الإضاءة الصناعية المستخدمة الأقل استهلاكاً للطاقة.(LED)بالمدرسة من نوعية استخدمت منظومة من الأنابيب الشمسية (Solar Tube)، والتي تقوم بتجميع ضوء الشمس عن طريق مجموعة من الانعكاسات الداخلية بالأنابيب، وتعطي مقدار ثابت من الإضاءة على مدار اليوم.	 **شكل (٩). تغيير مناسيب الأسطح وعمل فتحات لإدخال الإضاءة الطبيعية. (المصدر: VMDO Architects, 2017)**
	حساسات وتجهيزات ترشيد الطاقة	استخدام الحساسات على مستوى المدرسة لقياس مجموعة من العوامل مثل: درجة الحرارة، وجودة الهواء، كما أنها تشعر بوجود المستخدمين داخل الفراغ، وتقوم بإغلاق الإضاءة والتكييف في حالة عدم الإشغال؛ وذلك للوصول للحد الأدنى من الطاقة المستهلكة. استخدام لوحات مراقبة لتتبع أداء الطاقة بالمدرسة آنياً، مع إمكانية متابعتها من كافة الشاشات الموجودة بالمدرسة، شكل (١٠).	 **شكل (١٠). لوحات مراقبة وتتبع أداء الطاقة (المصدر: U.S (DOE, 2017**
التقنيات الإيجابية	السخانات الشمسية	استخدمت السخانات الشمسية لتسخين المياه اللازمة لتلبية احتياجات المدرسة بالمطبخ والحمامات.	–
	طاقة الرياح	لم تستخدم بالمدرسة.	–
	الخلايا الفوتوفولتية	يتم توليد الطاقة المتجددة داخل الموقع عن طريق استخدام شبكة من الخلايا الفوتوفولتية، حيث تم إضافة ١٧٠٦ خلية فوتوفولتية على الأسطح، شكل (١١). يبلغ مقدار الطاقة المولدة باستخدام شبكة الخلايا الفوتوفولتية حوالي ٤٩٦ كيلو وات ساعة. (U.S DOE, 2017).	 **شكل (١١). شبكة الخلايا الفوتوفولتية فوق أسطح المدرسة** **(المصدر: A4 LE Exhibition, 2016)**
	سلوك المستخدم والجانب التعليمي	إجراء الطلاب للتجارب باستخدام الخلايا الفوتوفولتية وتسجيل النتائج والبيانات لتحليلها وعمل رسومات بيانية باستخدام اللوحات الالكترونية داخل المعمل الشمسي، شكل (١٢). وضعت المظلة الشمسية عند مدخل المدرسة، شكل (١٣)، وهى عبارة عن مظلة بها فتحة بأبعاد تصميم معين، تستخدم لتتبع حركة الشمس في الأوقات والمواسم المختلفة، حيث يتم دراسة انعكاس ذلك على كميات الطاقة المولدة باستخدام الخلايا الفوتوفولتية.	 **شكل (١٢) إجراء الطلاب للتجارب وتحليل البيانات بالمعمل الشمسي. (المصدر: A4 LE Exhibition, 2016)**

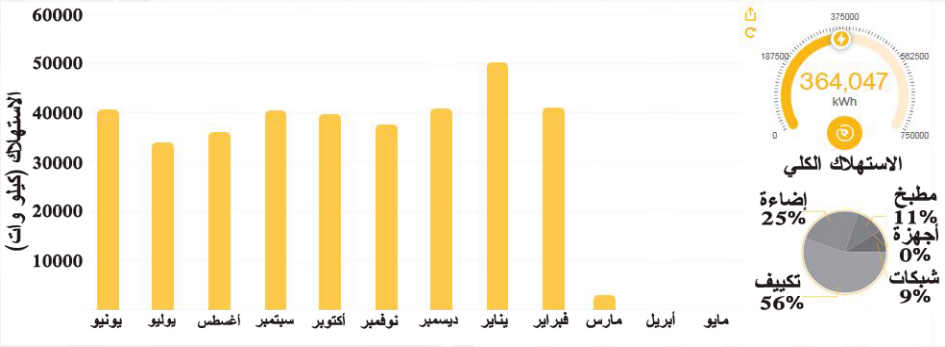
		حرص المصمم على خلق بيئة تعليمية مثالية، تتوافق مع احتياجات الطالب والمعلم، مع التركيز على العلاقة الإيجابية بين التعليم والتصميم عالي الأداء، ومشاركة الطلاب؛ حيث تم الفصل بين الفصول المختلفة بحوائط ستائرية، سهلة الحركة؛ لتسهيل التواصل والتفاعل بين الطلاب، واستفاد المصمم من طبوغرافية الموقع؛ لإنشاء مناطق تعليمية منفصلة متميزه ومتنوعة، ومساحات خارجية للعب للمراحل الدراسية المختلفة.	**شكل (١٣) المظلة الشمسية عند مدخل المدرسة ومتابعة حركة الشمس. (المصدر: U.S DOE, 2017)**

توزيع المعالجات المعمارية ووسائل توليد وتتبع أداء مصادر الطاقة المتجددة، على مستوى المدرسة شكل (١٤).

الشكل رقم (١٤) الاستراتيجيات المستدامة لتحقيق صفرية الطاقة وتوزيعها على كافة أنحاء مبنى مدرسة ديسكفري.
(المصدر: Arlington Public Schools, VA, 2017)

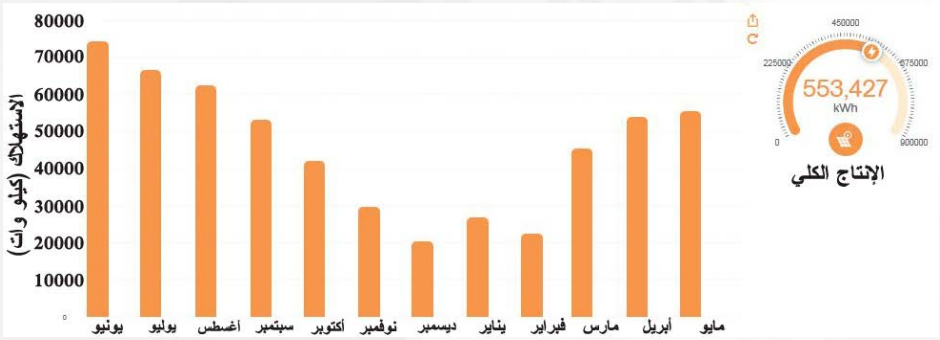
٦-١-٢- تحليل أداء الطاقة بالمدرسة:

توفر المدرسة من خلال برنامج وموقع على الإنترنت إحصائيات ومعدلات آنية؛ ويومية، وأسبوعية، وشهرية، وعلى مدار العام الدراسي لمعدلات الاستهلاك الكلية للطاقة، ومعدلات الاستهلاك لكل مصدر من مصادر الاستهلاك الرئيسة، وكذلك معدلات إنتاج الطاقة. ووصل معدل استهلاك الطاقة بالمدرسة عام ٢٠١٧-٢٠١٨م إلى ٣٦٤,٠٤٧ ك وس وكان لأنظمة التكييف النصيب الأكبر من الاستهلاك بنسبة ٦٦%، تليها الإضاءة بنسبة ٢٥%، ثم تجهيزات المطبخ المدرسي بنسبة ١١%، وأخيراً التجهيزات التقنية بنسبة ٩%، شكل (١٥).



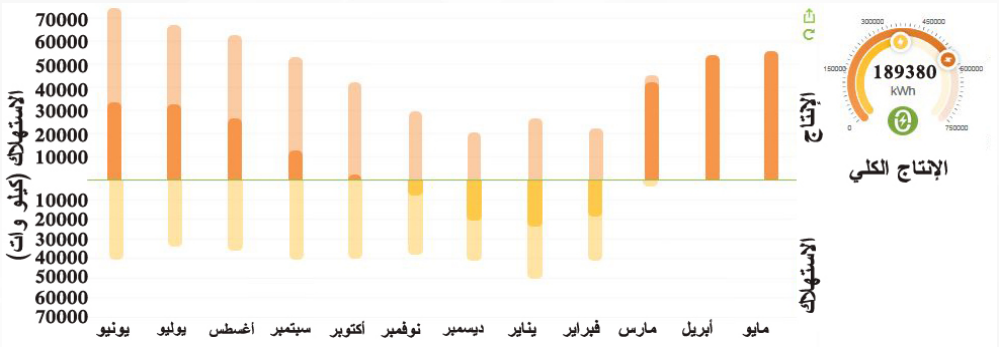
الشكل رقم (١٥) معدلات استهلاك الطاقة بالمدرسة ٢٠١٧-٢٠١٨ م. (المصدر: http://158.59.255.83)

أما بالنسبة لمعدلات إنتاج الطاقة بالعام نفسه فقد وصلت إلى ٥٥٣,٤٢٧ ك و س. ويلاحظ أن أكبر معدلات لتوليد الطاقة تكون بأشهر الصيف (مايو-يونيو- يوليو- أغسطس) وأقل المعدلات خلال أشهر (ديسمبر- يناير- فبراير)، شكل (١٦).



الشكل رقم (١٦) معدلات توليد الطاقة بالمدرسة ٢٠١٧-٢٠١٨ م. (المصدر: http://158.59.255.83)

بمقارنة معدلات استهلاك الطاقة على مدار العام بمعدلات إنتاج الطاقة خلال الفترة نفسها؛ نلاحظ زيادة الطاقة المنتجة عن المستهلكة بمقدار ١٨٩٣٨٠ ك و س، شكل (١٧).



الشكل رقم (١٧) المقارنة بين معدلات الاستهلاك والإنتاج ٢٠١٧-٢٠١٨م. (المصدر: http://158.59.255.83)

٦-٢- مدرسة ليدي بيرد جونسون (Lady Bird Gohnson)، شكل (١٨):

الجدول رقم (٣) معلومات عن مدرسة ليدي بيرد جونسون (الباحث).

الموقع	سنة التنفيذ	المسطح	عدد الطلاب
ولاية تكساس	٢٠١١م	ألف قدم مربع ١٥٢	٩٠٠ تلميذا
شهادات وجوائز	LEED Gold Certification 2012		
المصمم	Corgan Associates		
تتكون المدرسة من طابقين، وتشتمل على الفراغات التعليمية المختلفة؛ مثل الفصول، والمعامل، والمكتبة، وقاعات المحاضرات، والفراغات الملحقة، مثل: الجيمانيزيوم، والكافيتيريا، وهذه الفراغات قابلة للاستخدام الخارجي بعد الساعات الدراسية.			
هدف المشروع	هدف مشروع هو: بناء مدرسة جديدة؛ لتخفيف الضغط على المدارس السبعة الموجودة بالولاية، وقد وجد المصمم الفرصة لتطوير بيئة مستدامة، لتكون أول مدرسة صفرية الطاقة بولاية تكساس ذات المناخ الحار الرطب. الهدف الرئيس للمصمم هو: خلق بيئة صحية مستدامة، تعد الطلاب للمسئولية البيئية والمجتمعية، في بيئة تعليمية مرنة.		

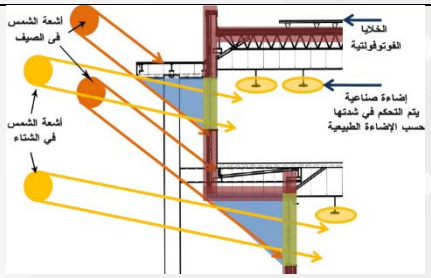
الشكل رقم (١٨) مبنى مدرسة ليدي بيرد جونسون بتكساس الولايات المتحدة الأمريكية. (المصدر:CEFPI, 2012)

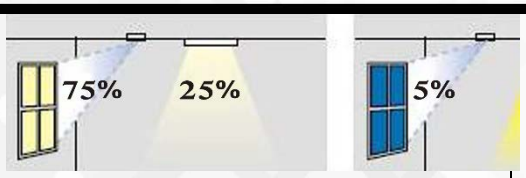
٦-٢-١- الأساليب المستخدمة بمدرسة ليدي بيرد جونسون للوصول لمدرسة صفرية الطاقة:

استخدم المصمم برنامج (Visual DOE v4.1)[٢١] لعمل محاكاة للطاقة خلال مرحلة التصميم، حيث قام بتقييم ودراسة كل من: الغلاف الخارجي، والطاقة، والتجهيزات الميكانيكية والكهربائية، ونظام تسخين المياه.

[٢١] برنامج (Visual DOE v4.1): هو برنامج لمحاكاة الطاقة بالمبنى يغطي كافة جوانب الطاقة من الغلاف الخارجي، الإضاءة، التكييف، التجهيزات المختلفة.(Hong et al, 2003).

جدول (٤) المعالجات المختلفة بمدرسة ليدى بيرد جونسون للوصول لصفرية الطاقة

النوع	المعالجة	التفاصيل
التقنيات السلبية	التصميم	صممت المدرسة بشكل متضام؛ بهدف عزل الفراغات الداخلية عن العوامل الخارجية. وضعت الفصول والمكتبة على الواجهات الشمالية، شكل (١٩).
		 شكل (١٩) النمط المتضام للمبنى.(المصدر: Scrivener, 2012)
	الغلاف الخارجي	استخدمت مواد عازلة بالأسطح والحوائط يبلغ معامل العزل لها ٣، كما استخدم اللون الأبيض؛ لزيادة R)الحراري (الانعكاس، وتقليل امتصاص الحرارة خلال السطح.
		–
	الإضاءة	حرص المصمم على توفير الإضاءة الطبيعية لجميع الفراغات بالمدرسة، فقام بعمل دراسات ونمذجة؛ لتحديد أفضل وضع للفتحات والتظليل لإدخال الإضاءة المناسبة على مدار اليوم الدراسي، شكل (٢٠). تم عمل بروزات فى الواجهات للاستفادة منها فى التظليل، مع استخدام الأسلحة الأفقية على طول الواجهات الجنوبية. تعمل الأرفف العاكسة عند النوافذ على عكس أشعة الشمس وتوزيعها داخل الفراغ بصورة غير مباشرة. استخدم المصمم فتحات الأسقف (Tooth Saw) بالممر الرئيس الأوسط، شكل (٢١)، وكذلك استخدم النوافذ الواسعة بالفصول الدراسية وغيرها من الفراغات. وضعت المكتبة فى ركن المبنى، بواجهات زجاجية على كلا الجانبين، وبارتفاع طابقين؛ لإدخال أكبر قدر ممكن من الإضاءة الطبيعية، شكل (٢٢). أما بالنسبة للإضاءة الصناعية فتم الاعتماد على مصابيح (LED) لاستهلاك أقل قدر ممكن من الطاقة، كما زودت الفصول بمستشعرات للضوء؛ بحيث تعمل الإضاءة الصناعية بالتكامل مع الإضاءة الطبيعية وبحيث تظل مستويات الإضاءة ثابتة طوال الوقت شكل (٢٣).
		 شكل (٢٠) تظليل الواجهات والاستفادة من الإضاءة الطبيعية. (المصدر: Scrivener, 2012) شكل (٢١) معالجات الأسقف لإدخال الإضاءة. (المصدر: CEFPI, 2012) شكل (٢٢) مسطحات زجاجية واسعة بعرض الواجهة بفراغ المكتبة. (المصدر: CEFPI, 2012)

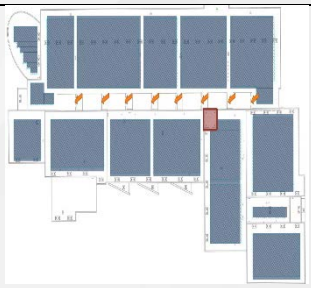
		 شكل (٢٣) استخدام الحساسات لإحداث تكامل بين الإضاءة الطبيعية والصناعية. (المصدر: Scrivener, 2012)

تابع جدول (٤) المعالجات المختلفة بمدرسة ليدى بيرد جونسون للوصول لصفرية الطاقة

النوع	المعالجة	التفاصيل	
تابع التقنيات السلبية	حساسات وتجهيزات ترشيد الطاقة	للمبنى نظام فريد لمتابعة والتحكم في معدلات استهلاك الطاقة بالفراغات المختلفة، وكذلك معدلات الطاقة المولدة من الخلايا الشمسية ومزرعة الرياح والطاقة الحيوية المستمدة من باطن الأرض ومعدلات استهلاك المياه وقد تم توزيع أنظمة المتابعة والتحكم على مستوى المدرسة، شكل (٢٤). يتم التحكم في شدة الإضاءة الصناعية عن طريق حساسات للضوء موزعة بالفراغات المختلفة.	 شكل (٢٤) يوضح توزيع أنظمة التحكم ومراقبة الطاقة على مستوى المدرسة. (المصدر: Corgan Associates, 2012)
	التوجيه	وجهت كل الفصول بالإضافة إلى المكتبة توجيهاً شمالياً.	
التقنيات الإيجابية	الطاقة الحرارية الأرضية	استفاد المصمم من تقنيات الطاقة الحرارية الكامنة بالأرض (Geothermal Energy)، وذلك للتدفئة وتكييف الهواء، وتسهم هذه التقنية بشكل كبير في توفير الطاقة حيث تعمل على تقليل استهلاك للطاقة اللازمة للتكييف بنسبة ٣٠% مقارنة بالأنظمة الأخرى (CEFPI, 2012). يتكون النظام من ٤٦٨ وعاء ، قطر كل منها ٦ بوصة، ويمتد لعمق ٢٥٠ قدم في باطن الأرض، أسفل الملعب وأماكن انتظار السيارات، شكل (٢٥)، حيث تكون درجة الحرارة الأرض، عند هذا العمق، ثابتة تقريباً عند (٢٢:٢٤) درجة مئوية؛ ليستفيد من هذه الحرارة الثابتة، والتي تنتقل إلى المياه الموجودة بالأوعية، لتمر عبر دائرة مغلقة من الأنابيب التي تصل إلى الفراغات المختلفة؛ فتساهم في ضبط درجة حرارة الفراغات، شكل (٢٦). وطبقاً للشاشات التفاعلية للمدرسة فقد أسهمت المنظومة بما يوازي ٧٣ ألف كيلو وات ساعة خلال الفترة من أبريل وحتى أكتوبر ٢٠١٧م (https://lucidconnects.com).	 شكل (٢٥) موقع الأنابيب الخاصة بمنظومة الطاقة الحرارية الأرضية. (المصدر: Scrivener, 2012) شكل (٢٦) حساسات وأجهزة القياس الخاصة بمنظومة الطاقة الحرارية الأرضية. (المصدر: CEFPI, 2012)

	السخانات الشمسية	لم تستخدم بالمدرسة.	–
	طاقة الرياح	تم عمل مزرعة صغيرة لتوربينات الرياح، شكل (٢٧)، تتكون من ١٢ توربين، وهي تنتج حوالى ١% من استهلاك المدرسة من الطاقة (حوالي ٦٠٠٠ كيلو وات ساعة)، وعلى الرغم من ضعف إنتاج المزرعة مقارنة بإجمالى الطاقة المنتجة؛ فإنها تستخدم للأغراض التعليمية، كما أنها تعد رمزًا للمدرسة، خاصة أن طاقة الرياح تعد من مصادر الطاقة المهمة بولاية تكساس. توربينات الرياح المستخدمة من نوع (Skystream 3.7)، بسعة توليد ٢.٤ كيلو وات، عند سرعة رياح ٢٩ mph (Scrivener, 2012).	 شكل (٢٧) توربينات الرياح بالفناء الخارجى للمدرسة. (المصدر: CEFPI, 2012)

تابع جدول (٤) المعالجات المختلفة بمدرسة ليدى بيرد جونسون للوصول لصفرية الطاقة

النوع	المعالجة	التفاصيل	
تابع التقنيات الإيجابية	الخلايا الفوتوفولتية	استخدمت الخلايا الشمسية على الأسطح لتوليد الطاقة؛ حيث تعمل ٣٠٠٠ خلية شمسية على توليد أكثر من ٨٠٠ ألف كيلو وات ساعة سنوياً (CEFPI, 2012)، وقد استخدمت خلايا على شكل أنابيب اسطوانية الشكل؛ بحيث تتمكن من الاستفادة من أشعة الشمس المباشرة والمنعكسة من السطح؛ وذلك لتحقيق أعلى كفاءة ممكنة، شكل (٢٨). تعد منظومة الطاقة الشمسية بمثابة المصدر الرئيس للطاقة بالمدرسة؛ حيث تسهم بمعظم الطاقة الكهربائية المستخدمة بها.	 شكل (٢٨) توزيع الخلايا الفوتوفولتية على سطح المدرسة، والخلية الإسطوانية المستخدمة. (المصدر: Corgan Associates, 2012)
	سلوك المستخدم والجانب التعليمي	لنشر مفهوم الاستدامة على مستوى أوسع؛ تم تصميم معمل تعليمي مرن بالقرب من المدخل الأمامي، للاستخدام من قبل طلاب المدارس الأخرى؛ لدراسة والتعرف على مايتعلق بالخلايا الشمسية، مزرعة الرياح، اساليب الحفاظ على المياه، نظام الاستفادة من الطاقة الحرارية الكامنة بالأرض. توجد شاشات تفاعلية عند المدخل الرئيسي وعلى طول الممر الرئيسي، شكل (٢٩)، تعطي قراءات لمعدلات إنتاج واستهلاك الطاقة، وذلك للأغراض التعليمية كمثال: ما مقدار الطاقة المستهلكة في كل فصل من الفصول، أو ما مقدار الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية في يوم غائم؟ ومثلا يمكن عرض المسقط الخاص بالمدرسة، وتحديد الفراغات التي تستخدم قدر أكبر من الطاقة، ولماذا؟ يظهر من خلال الشاشات التفاعلية أن معدلات استهلاك الطاقة الإجمالية خلال العام ٢٠١٧م وصلت ٨٥٣ ألف كيلو وات ساعة، وهو أقل من معدلات الطاقة المولدة والتي تصل إلى ٨٨٥ ألف كيلو وات ساعة، شكل (٣٠).	 شكل (٢٩) الشاشات الرقمية والتفاعلية وموقعها على مستوى المدرسة (المصدر: Corgan Associates, 2012) شكل (٣٠) معدلات استهلاك الطاقة الإجمالية خلال العام ٢٠١٧م (المصدر:

			(http://buildingdashboard.com/clients/irvingsd/lbjms

وحيث أن الهدف الرئيسي للمصمم هو خلق بيئة صحية مستدامة تعد الطلاب للمسئولية البيئية والمجتمعية في بيئة تعليمية مرنة؛ فقد تم أتباع مجموعة أخري من الاستراتيجيات مثل:

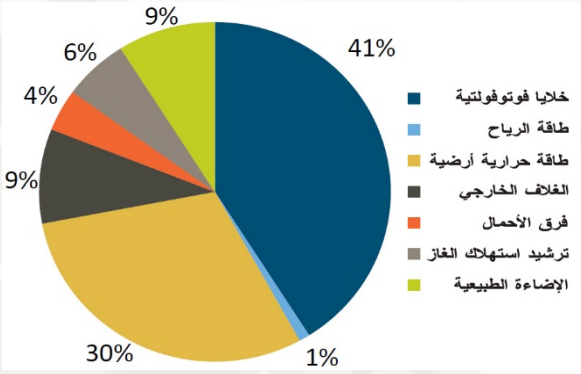
يتم جمع مياه الأمطار على الأسطح، ثم تجمع في خزانات، وتستخدم بالحمامات لأغراض غسيل الأيدي والملابس وغيرها، كما تستخدم لري المسطحات الخضراء، وتساهم هذه المنظومة في تقليل استهلاك المياه بنسبة ٤١% تقريباً (CEFPI, 2012)، كما تم وضع نظام لفصل القمامة، ثم ترسل ليتم تدويرها وإعادة استخدامها مرة أخرى، شكل (٣١).

الشكل رقم (٣٢) منظومة جمع المخلفات لإعادة الاستخدام. (المصدر: Corgan Associates, 2012)

وقد استخدمت خامات عديدة ومواد معاد تدويرها مثل السجاد والزجاج، كما تم الاعتماد على طابعة مركزية متصلة بالانترنت بدلاً من وجود طابعة بكل فصل لترشيد استخدام ورق الطباعة.

٦-٢-٢- تحليل أداء الطاقة بالمدرسة:

تعد الخلايا الفوتوفولتية أكثر العوامل إسهامًا في منظومة الطاقة بالمدرسة بنسبة ٤١%، ويليها الطاقة الحرارية الأرضية حيث تساهم بنسبة ٣٠ %، شكل (٣٣).



الشكل رقم (٣٣) نسب مساهمة المعالجات المختلفة فى الوصول لصفرية الطاقة.

(المصدر: Corgan Associates, 2012)

٧- أهم الاستراتيجيات المتبعة للوصول إلى مدارس صفرية الطاقة:

من خلال التحليل السابق يمكن استخلاص مجموعة من تقنيات التصميم المتبعة للوصول لصفرية الطاقة بالمدارس، ويمكن تقسيم هذه التقنيات إلى نوعين:

أ- (تقنيات التصميم السلبية): وهى تقنيات التصميم التي تلبي المعايير اللازمة لتوفير الطاقة وتقليل تكلفة الاستخدام مع تحقيق مرجع)، ويقوم التصميم السلبي على التعامل الأمثل مع المناخ المحلي، وهو لايستخدم أي طاقة (راحة المستخدم في الوقت نفسه خارجية ولا يحتاج إلى كثير من المعدات الخاصة، ولكنه يستفيد من الظواهر الطبيعية بالبيئة المحيطة، وتشمل المعالجات المرتبطة بـ:

- نمط التصميم واستخدام الأفنية.
- تحسين الغلاف الخارجي.
- معالجات الواجهات.
- استغلال الإضاءة الطبيعية.
- توجيه المبنى والفراغات الداخلية.
- حساسات وتجهيزات ترشيد الطاقة.

ب- (تقنيات التصميم الإيجابية): وهى التقنيات التي تعمل على الإفادة من الطاقة الشمسية أو الطاقة الحرارية الأرضية أو طاقة مرجع)، وهي تستخدم الطاقة والمعدات مثل الخلايا الفوتوفولتية وتوربينات الرياح؛ للمساعدة في التقاط وتهيئة (الرياح بطريقة فعّالة الطاقة من المصادر المتجددة، وتشمل استغلال:

- الطاقة الحرارية الأرضية.
- السخانات الشمسية.
- طاقة الرياح.
- الخلايا الفوتوفولتية.

ويعمل النوع الأول على تقليل استهلاك الطاقة بالمبنى إلى الدرجة التي يمكن عندها أن يكون النوع الثاني قادراً على تعويض هذا الاستهلاك.

٨- إمكانية تطبيق فكرة المدارس صفرية الطاقة بالمدينة العربية:

تتمتع المنطقة العربية بعديد من الجوانب الداعمة لنجاح تطبيق هذه الفكرة وتشمل:

- الجانب الفكري والعقائدي: تعد أفكار ومفاهيم الترشيد من المفاهيم المتأصلة في الفكر الإسلامي، فقد نهت الشريعة الإسلامية عن الإسراف والتبذير في استخدام الموارد، فالإنسان مستخلف فيها وأمين عليها من الضياع والنفاد؛ لضمان حق الأجيال القادمة من الضياع، وعلى ذلك لابد من تربية والنشء وتدريبهم على هذه المفاهيم، ولا يوجد مكان أفضل من المدرسة لنشر هذه القيم وتعميمها؛ ليكون هذا الجيل نواة لمجتمع مستدام.
- الخصائص البيئية: تتميز المنطقة بظروف بيئية ومناخية داعمة، حيث تقع معظم مناطق الوطن العربي داخل نطاق الحزام الشمسي وهي المناطق الأكثر مناسبة لتطبيقات الطاقة الشمسية، وكذلك تتمتع مناطق عديدة بسرعات رياح متفاوتة؛ مما يساعد على نجاح تطبيق عددٍ من الاستراتيجيات الإيجابية لتوليد الطاقة.
- مناسبة التقنيات والاستراتيجيات السلبية للظروف البيئية بالمدن العربية التي تتسم بالارتفاع في درجات الحرارة.
- وفرة الإمكانات المطلوبة سواء أكانت بشرية أم مادية مثل الأراضي الواسعة التي تناسب تقنيات توليد الطاقة.

الخلاصة: النتائج والتوصيات.

- تواجه العالم أزمة كبيرة في مجال الطاقة؛ خصوصاً مع اعتماد قطاع الطاقة بشكل أساس على مصادر الوقود الأحفوري بما لها من تأثيرات شديدة الخطورة على البيئة.
- تمثل الاستدامة مفهوماً فكرياً راسخاً، يسعى العالم أجمع إلى تبنى مفاهيمه، بوصفه أحد الركائز التى تحافظ على البيئة، وتقلل من السلبيات الضارة للأنشطة البشرية عليها، وأحد توجهات حل مشكلة الطاقة.
- تمثل مفاهيم العمارة صفرية الطاقة أحد منابع الفكر المرتبط بقضايا الاستدامة، التى ينبغى أن يتبناها المعماريون فى مبانيهم؛ باعتبارها الأقل من ناحية الإضرار بالبيئة.
- يمكن تعريف المبني صفري الطاقة على أنه: مبنى عالي الكفاءة فيهِ مقدار الطاقة المستهلكة سنوياً أقل من أو تساوي الطاقة المتجددة المولدة بالموقع (DOE,2015).
- إن تبني الاستدامة لا يمكن أن يتم دون الوفاء بالمتطلبات الأخلاقية، مما يوجب تجذير أخلاقيات الاستدامة وتعميق الوعي المجتمعى حيالها.
- تواجه معظم الدول عجزاً شديداً في أعداد المدارس، وارتفاعاً في كثافات الطلاب داخل الفصول؛ تظهر معها الحاجة إلى بناء مدارس جديدة لاستيعاب الطلاب وتخفيض الكثافات.
- تأتى فكرة المدارس صفرية الطاقة كتوجه قوى وداعم لمفاهيم الاستدامة؛ من خلال خلق أجيال واعية بمختلف القضايا البيئية، مدركة لتأثيرها على العالم، بحيث تستطيع هذه الأجيال أن تحمل لواء الفكر المرتبط بالحفاظ على البيئة، وحمايتها من التدهور، ويأتى ذلك من خلال نماذج تطبيقية واقعية تحمل هذه الرؤى والمفاهيم.
- يمكن تعريف المدارس صفرية الطاقة على أنها: مبانٍ مدرسية تحقق جميع متطلبات المباني صفرية الطاقة، مضافاً إليها الوظيفة التعليمية؛ بوصفها مركزًا لتثقيف لطلاب وتعليمهم مبادئ الاستدامة والحفاظ على الطاقة (DOE's, 2013).

- تقييم تجارب المدارس صفرية الطاقة المحلية والعالمية لتلافى السلبيات وتعظيم الإيجابيات حتى تكون النماذج الجديدة بصورة أكثر فاعلية.
- على الدول العربية تبنى فكرة المدارس صفرية الطاقة، وبحد أدنى مدرسة بكل مدينة، بحيث تعد نموذجاً تجريبياً، ومختبراً علمياً، للطلاب لفهم طبيعة المدارس، وأسلوب التعليم بها، والأسس الفكرية التى بنيت عليها، ومنها تبدأ الفكرة بالتوسع والانتشار.
- وضع كود للمدارس صفرية الطاقة؛ يتيح للمعماريين المعايير التى يمكن أن يلتزموا بها فى حال الرغبة فى إنشاء مدارس صفرية الطاقة.
- بتطبيق مفهوم المدارس صفرية الطاقة بالمدن العربية يمكن أن يتحول التوجه المرتبط بذلك إلى مدخل للتنمية المستدامة وأحد عوامل إيجاد أجيال وكوادر مرتبطة بمفاهيمها وتستطيع أن تؤثر فكرياً على سلوكيات المجتمع.

المراجع:

- **الجهاز المركزى للتعبئة العامة والإحصاء**. "مصر فى أرقام"، إصدار مارس. (٢٠١٦).
- **الرملي، عبير**. "الطاقة الشمسية وإنجازات مصرية في مجال الطاقة الشمسية". (٢٠١١).
- **الهيئة العامة للأبنية التعليمية**. "معايير واشتراطات صلاحية الموقع والمباني المدرسية (مدارس التعليم الأساسي والثانوي العام بالمدن القائمة)"، الإدارة العامة للبحوث والدراسات. جمهورية مصر العربية. (٢٠١١).
- **بدوى، أيمان**. "تأهيل مباني المدارس في للاعتماد الأخضر". رسالة دكتوراه، كلية الهندسة، قسم الهندسة المعمارية، جامعة الفيوم. (٢٠١٥).
- **جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك**. "مؤشرات استهلاك الطاقة الكهربائية في الأنشطة الاقتصادية"– التقرير السنوي ٢٠١٤– ٢٠١٥. الإدارة العامة لمركز المعلومات والتوثيق. (٢٠١٥).
- **رؤية مصر ٢٠٣٠م**. "استراتيجية التنمية المستدامة". (٢٠١٦).
- **مرسي، رشا محمود جابر**. "مفاهيم الحفاظ على الطاقة وانعكاساتها على التصميم المعماري". رسالة ماجيستير، كلية الهندسة، قسم الهندسة المعمارية، جامعة أسيوط. (٢٠٠١).
- **وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة**. "التقرير السنوي لهيئة تنمية واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة". (٢٠١٥).
- **يوسف، عمرو ممدوح على**. "دراسة إمكانية تطبيق النظم الفوتوفولتية لإمداد المباني بالطاقة في المدن الجديدة بمصر"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة أسيوط. (٢٠١٠).

- A4 LE Exhibition. **"Exhibition of School Planning + Architecture. Discovery Elementary School". (2016).**
- Arlington Public Schools**, "VA. Discovery Elementary School". (2017).**
- ASHRAE**. "ACHIEVING ZERO ENERGY. Advanced Energy Design Guide for K−12 School Buildings". (2018).**
- Balilan, L. Dastouri, M. Fayyaz, F. Gane, M. Gafari, E**. "Benefits and goals of designing of zero energy schools". *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. Vol., 4. P 3414-3417. (2013).**
- DOE**. "A Common Definition for Zero Energy Buildings". U.S.Department of Energy. Washington, D.C. https://energy.gov/eere/buildings/downloads/common-definition-zero-energy-buildings.(2015).**
- Hu, Zhengfei. **"Thermal Power Plants". InTech, Croatia. (2015).**
- Hutton, P, C. **"Zero Energy Schools – Beyond Platinum". Educational Facility Planner/ Volume 45: Issue 3. P42. (2011).**

- Internatsional Energy Agancy IEA**. "RENEWABLES INFORMATION: overview". (2018).**
- Rasazi, Nzabanita, & Hela. **"The Arab republic of Egypt -power sector in brief". (2010).**
- Saleem, A. A. **"Experimental and simulation study of the thermal comfort conditions within recent designed governmental primary schools in Egypt". Master of Science, Egypt-Japan University of Science and Technology. (2015).**
- Schipper and Meyers. **"Energy Efficiency and Human Activity ".Cambridge: Cambridge University Press. (1993).**
- Subramanian, C, V. Divya, M. **"Solar Passive Architecture Cooling Techniques". *International Research Journal of Engineering and Technology*. Volume:3. P: 1388. (2016).**
- U.S DOE. **"Zero Energy Is an A+ for Education: Discovery Elementary". BUILDING TECHNOLOGIES OFFICE. (2017).**
- VMDO Architects**. "ARLINGTON PUBLIC SCHOOLS, DISCOVERY ELEMENTARY". (2017).**