دور النظم الفوتوفولتية في دعم التنمية المستدامة بمصر

م.عمرو ممدوح علي يوسف
معيد بقسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة – جامعة أسيوط
جمهورية مصر العربية
amr_mamdoh2003@yahoo.com

أ.د.محمد عبد السميع عيد
أستاذ بقسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة – جامعة أسيوط
جمهورية مصر العربية
maeid3000@yahoo.com

د.حازم عبد العظيم حماد
مدرس بقسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة – جامعة أسيوط
جمهورية مصر العربية
hazemhammad@hotmail.com

ملخص

باتت التوجهات المرتبطة بإيجاد بديل أوفق للإمداد بالطاقة علي قمة التوجهات البيئية والاقتصادية والسياسية لما يترتب علي استخدامها من تحقيق متطلبات الاستدامة. ومن أجل تحقيق الاكتفاء الذاتي في مجال الطاقة ظهرت عدة توجهات علي رأسها الاتجاه إلي مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية.ومع قصور طريقة إمداد المدن وخاصة المباني بالطاقة الكهربية في مصر أصبح من الضروري البحث عن تقنيات أو نظم أخري، والتي يعد من أبرزها النظم الفوتوفولتية التي تعددت وتطورت بشكل كبير واسع النطاق. وظهرت عدة رؤى للتعامل مع هذه التقنيات بشكل فعال، خاصة مع التطور التقني السريع في هذا المجال علي المستوي العالمي. ومع تعدد التقنيات وتعقيدها أصبح لها انعكاس واضح علي استدامة البيئة المبنية وغير المبنية. وانطلاقا من مفاهيم التنمية المستدامة تهدف الورقة البحثية إلي استكشاف أبعاد دور النظم الفوتوفولتية في دعم منظومة الاستدامة وتوضيح ملامح هذا الدور والتحقق من قابليتها للتطبيق علي المباني والمدن المصرية، مع تحديد المتطلبات التقنية والمعمارية التي لا يتسنى دون تواجدها نجاح هذا الدور.وبالتالي تبدأ الورقة البحثية بدوافع الدراسة وتأكيد الحاجة إلي هذه النظم كنظم إمداد ذاتي بالطاقة من خلال رصد قصور الأسلوب الحالي، يليه وصف التقنيات التي تم التوصل لها حتى الآن والمتاح منها محليا. ولتحقيق هدف البحث يتم استعراض مفهوم الاستدامة ونظم تقييمها وأهم ملامحها، ومن هذا المدخل النظري لملامح التقنية ومفاهيم الاستدامة يتم إسقاط النظم الفوتوفولتية على هذه المفاهيم وتوضيح دورها في دعم منظومة الاستدامة وأبعاد هذا الدور.وذلك بالإضافة إلي تحليل لبعض الخبرات التطبيقية العالمية والتجارب الفعلية المحلية.وتنتهي الورقة البحثية بمناقشة دور النظم الفوتوفولتية في دعم منظومة الاستدامة، مع تحديد تحديات تفعيل هذا الدور.

١. المقدمة:

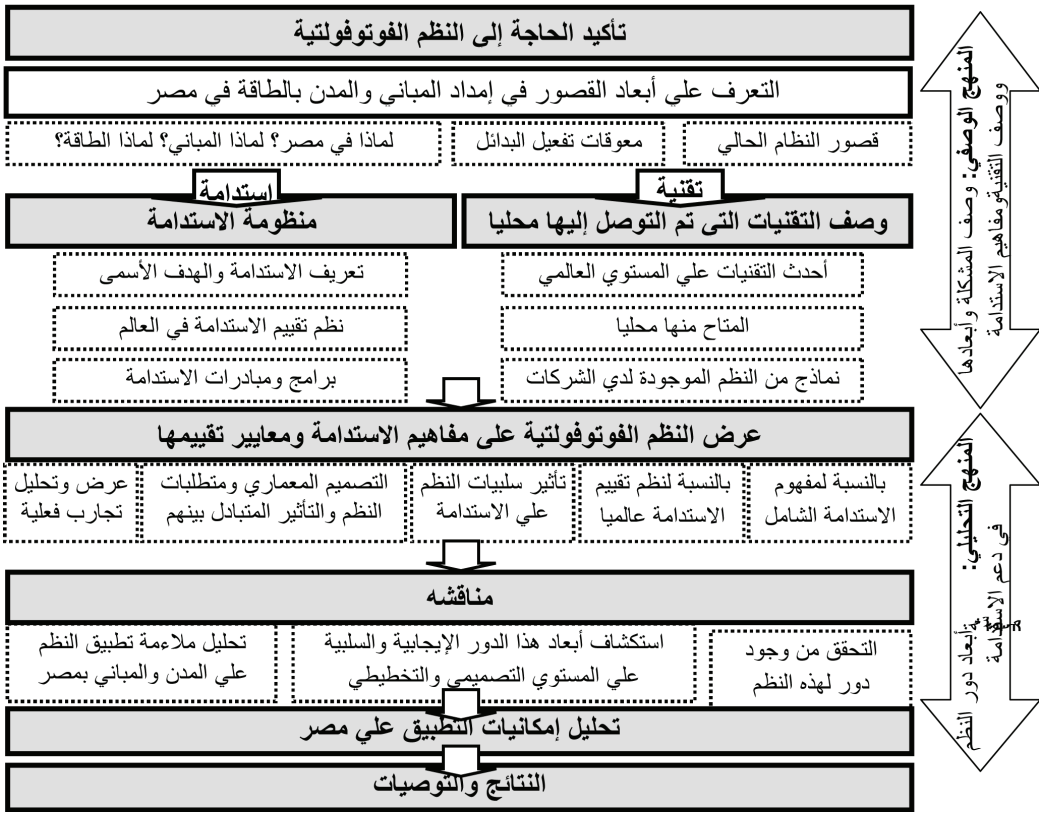
تعد إشكالية الإمداد بالطاقة في مصر أحد عوامل القصور لتنمية المناطق الصحراوية غير المأهولة والتي تربو عن ٩٠٪ من جملة مساحة مصر، بالإضافة إلي أن معظم الطاقة المستهلكة للإمداد بالطاقة الكهربية يتم توليدها من خلال الوقود الأحفوري، مما يستدعي إيجاد بديل للنظم التقليدية. وبالتالي ظهرت عده تقنيات تستغل الطاقة المتجددة من بينها تقنيات الطاقة الشمسية النشطة لما لمصر من مقومات مناخية تعضد استخدام هذه النظم. ويختص البحث في النظم الفوتوفولتية - كأحدي تقنيات الطاقة الشمسية النشطة - ومحاولة استكشاف دورها في دعم منظومة الاستدامة وأبعاد هذا الدور.

١,١. إشكالية الدراسة:

تتمثل إشكالية الدراسة في الحاجة إلي التعامل مع النظم الفوتوفولتية بمفهوم الاستدامة الشامل واستكشاف أبعاد دور هذه النظم في دعم منظومة الاستدامة، بالإضافة إلي التحقق من ملاءمة تطبيق هذه التقنية بمفهوم الاستدامة الشامل.

١,١. منهجية الدراسة:

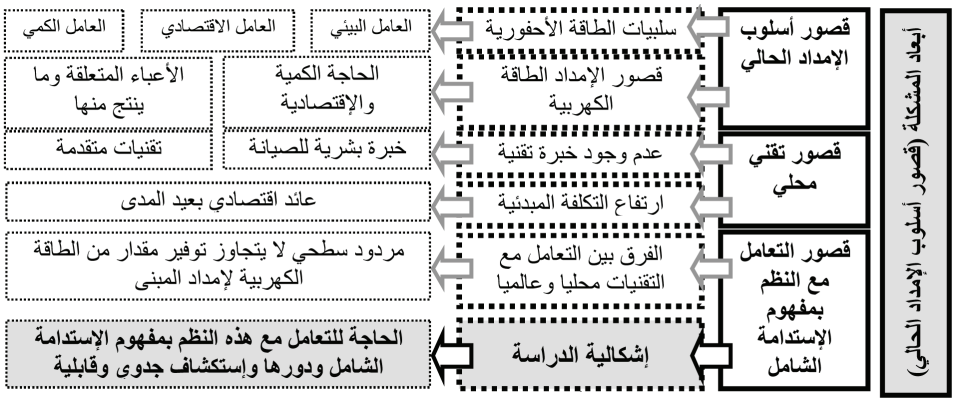
يتبع البحث المنهج الوصفي في التعرف علي المشكلة وتوضيح المردود الإستدامي للخلايا الفوتوفولتية، مع دراسة مدي إمكانية التطبيق بالإضافة إلي تحليل تجارب محلية مشابهة تعتمد علي المنهج التحليلي. ويحاول البحث مناقشة الدور الرئيسي لهذه النظم دعم منظومة الاستدامة وأبعاده الرئيسية، وذلك من خلال عناصر البحث والمنهجية المتبعة في الوصف والتحليل الموضحه في شكل (١).



شكل (١) المنهجية المتبعة في البحث

٢. الحاجة إلي النظم الفوتوفولتية[١]:

يتم الإمداد بالطاقة الكهربية في مصر بأسلوب حراري، وهذا الأسلوب يولد من الطاقة الكهربية تقريبا ٧٧٪ من مجموع الطاقة الكهربية الإجمالية المتولدة في مصر طبقا لإحصائيات عام ٢٠٠٦-٢٠٠٧م، أما المصادر المتجددة كلها لا تساهم إلا بحوالي ١١,٢٪ أغلبها من الطاقة المائية من خلال السد العالي وخزان أسوان،فضلا عن عدم إستطاعة الشركات المرتبطة بالشبكة علي تلبيه إحتياجات السكان، وبالتالي يتم إنشاء شركات غير مرتبطة بالشبكة أو شراء الطاقة الكهربية من القطاع الخاص وهو ما يبلغ نسبته ١١,٨٪ من مجموع الطاقة المتولدة في مصر عام ٢٠٠٦-٢٠٠٧م (الشركة القابضة لكهرباء مصر،٢٠٠٦-٢٠٠٧م). ويمكن تلخيص أبعاد إشكالية الإمداد بالطاقة في مصر في شكل (٢).



شكل (٢) أبعاد إشكالية الإمداد بالطاقة في مصر

١,٢. قصور الأسلوب الحالي للإمداد بالطاقة:

تتمثل أوجه القصور في وجود بعض السلبيات في شقي أسلوب الإمداد بالطاقة السابقين كما يلي:

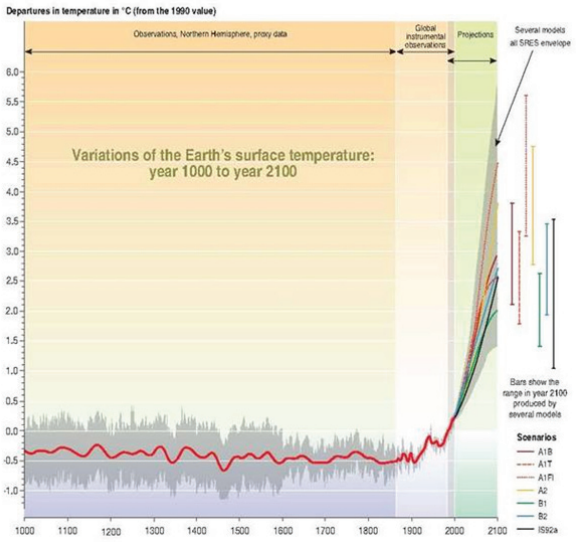
٢,٢,٢. سلبيات الطاقة الأحفورية:

يمكن توضيح هذه السلبيات من خلال تأثيرها علي ثلاث عوامل رئيسية كما يتضح في جدول (١):

جدول (١) العوامل الرئيسية المؤثرة علي الطاقة الأحفورية

العامل البيئي	العامل الاقتصادي	العامل الكمي
يتسبب إحتراق الوقود الأحفوري في زيادة إنبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون(CO_2) والذي زاد تركيزه في الجو مؤخرا مما يضاعف التلوث، بالإضافة إلي أنه يسهم بما يعادل ٣٩٪ في ظاهرة الاحتباس الحراري [١] والتي لها عدة آثار سلبية مثل زيادة درجة حرارة الكرة الأرضية بشكل ملحوظ بدأ من عام ١٩٠٠م كما يتضح من شكل (٢) (Amin Mobarak.2009)	شهدت الفترة الأخيرة تضارب في أسعار الوقود الأحفوري، شهد عام ٢٠٠٦م زيادة الطلب على النفط والغاز رغم استمرار الدول المنتجة للبترول في العمل على زيادة الطاقة الإنتاجية(إيهاب عز الدين نديم،٢٠٠٧م).	يبلغ الاحتياطي العالمي المؤكد من الوقود الأحفوري يبلغ حوالي ٧٤٠ مليار طن معادل بترول يمثل الفحم ثلثي هذا الرصيد. وهذا لا يغطي الطلب الحالي إلا لمدة قصيرة تقدر بحوالي٢١٠ سنة للفحم، و٦٠ سنة للغاز الطبيعي لحوالي ٤٠ سنة للبترول (إيهاب عز الدين نديم،٢٠٠٧م).

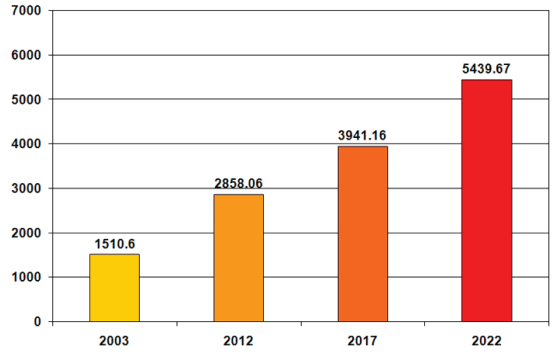
(١) تعتبر النظم الفوتوفولتية هي تلك النظم التي تنتج الطاقة الكهربية بشكل مباشر من خلال الخلايا التي تستطيع تحويل الإشعاع الشمسي الساقط علي سطحها إلي طاقة كهربية.



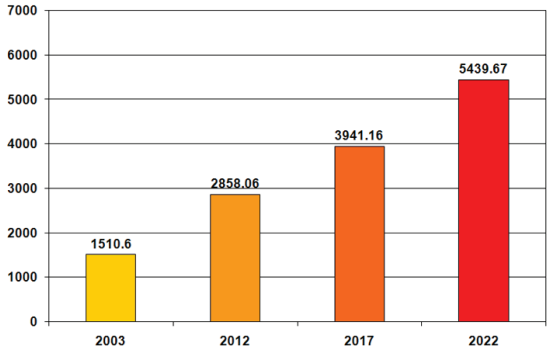
شكل(٣) تطور درجة حرارة الكرة الأرضية

٢,٢,٢. قصور الإمداد بالطاقة الكهربية:

يتمثل قصـور الإمداد بالطاقة الكهربية في مصـر في عاملين رئيسين هما: تكلفة مكونات النظام والطلب المستمر علي الطاقة الكهربية، حيث يتكون نظام الإمداد التقليدي من محطات توليد و شـبكة النقل وشبكة توزيع. وكلها تزيد تكلفتها باسـتمرار فضـلا عن تكلفة الصـيانة الدورية وإقامة هياكل حديدية تحمل الخطوط الهوائية كما يتضح من شـكل (٤)، ويتطور أيضـا الطلب علي الطاقة الكهربية باستمرار في مصر خاصة في قطاع المباني وبالأخص السكنية كما يتضح من شكل (٥) (مركز دراسات وبحوث جنوب الوادي،٢٠٠٤).



شكل (٤) توقعات تكلفة إجمالي مكونات نظم الإمداد بالطاقة الكهربية (بالمليون جنية) لمحافظة أسيوط (كمثال) حتي عام ٢٠٢٢م.



شكل (٥) توقعات تطور الطاقة الكهربية المستهلكة من الأحمال السكنية (بالمليون ك.و.س) لمحافظة أسيوط (كمثال) حتي عام ٢٠٢٢م.

٢,٣. قصور تقني محلي:

انتشـرت النظم الفوتوفولتية في الآونة الأخيرة بشـكل كبير علي مسـتوي العالم، ولكن تضـاؤل الخبرة المحلية في المجـال وعدم اتسـاع رقعـة التطبيق المحلي قد يمثـل عائق في حد ذاته. وهـذا ما يمكن ملاحظته عنـد مقارنه عدد الشـركات الأجنبيـة بالمحليـة، حيـث توجد في الولايـات المتحدة فقط ١٥ شـركة تصـنيع خلايا فوتوفولتية (نشـوي يوسف،٢٠٠٦م)، في حين يقتصر نشاط الشركات المحلية علي الاستيراد والتوزيع وتبلغ ٦ شركات فقط (هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة،٢٠٠٦-٢٠٠٧م). بالإضـافة إلي انتشـار عدد كبير جدا من النماذج التطبيقية والتقنيات بألمانيا

التـي تحتـل المرتبة الأولي في الـعـالـم في هـذا المجـال، وأسـبـانـيـا أيضـا التي تسـير بخـطـوات جـادة في المجـال (www.sana.sy)[٢]. وبالطبع فإن ما سبق يعكس الفجوة التقنية بين المستوي العالمي والمحلي.

٢,٢. قصور التعامل مع النظم بمفهومها الشامل:

يقتصـر التعامـل مع مثل هذه النظم محليـا علي أنها مجرد ألواح تترك علي الواجهة بغرضـ الإمداد بالطاقة أو تقليل العبء علي الشـبكة الكهرباء الرئيسـية، وهي الإشكالية التي يحاول البحث إلقاء الضوء عليها. فبدراسة بعض التجارب العالمية في المجال مثل مدينة مصدر بالإمارات[٣] ، نجد أن التعامل مع التقنية أخذ عمقا مختلفا حيث يعتمد تخطيط وتصميم المدينة ككل علي الإمداد بالطاقة الكهربية النظيفة.

وتمثل المدن والمباني الجديدة البيئة المبنية المناسبة للتطبيق بشكل عام لتناسبها مع ارتفاع التكلفة المبدئية لتطبيق أي تقنية خضراء بشكل عام (Candace Say.Antoni wood.2008).

٣. النظم الفوتوفولتية : خلفية نظرية :

يعود اكتشـاف الأثر الكهروضـوئي [٤] إلى عام ١٨٣٩ م، عندما قام العـالم (EDMOND BECQUEREL)[٥] بدراسة تأثير الضوء على بعض المعادن (www.albayan.ae). وتم الإعلان عن أول خلية شمسية مصنعة عام ١٩٤١م من قبل بعض العلماء الفرنسيين. وبعد العديد من تجارب التطوير ازداد معدل نمو الإنتاج العالمي للفوتوفولتيات حيث تراوح بين ٢٥٪ إلي٣٠٪ سنوياً حتى ٢٠٠٤ ثم تجاوز عام ٢٠٠٥ حوالي ٤٥٪ (هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة،٢٠٠٦-٢٠٠٧م)، رغـم عـدم تجـاوز كفـاءة تحويـل الخلية مـن الطاقـة الشمسـية إلي الطاقـة الكهربية حتـى الآن ٣٠٪.

١,٣. أنواع الخلايا الفوتوفولتية:

ويمكن تلخيص أنواع الخلايا الفوتوفولتية الأساسية المتاحة عالميا حتى الآن وطرق تجميعها في مصفوفات وطرق تركيبها و تطبيقاتها في شكل (٦).

تتعدد أنواع الخلايا حسـب مواد التصـنيع والتطبيق بالإضـافة إلي أن خبراء الفوتوفولتيات مستمرين في تطوير أنواع الخلايا لزيادة كفاءتها وإمكانية تطبيقها، ويشمل جدول (٢) أهم أنواع الخلايا الفوتوفولتية الأساسية المتاحة للتطبيق في العالم حتى الآن وأنواع الخلايا قيد التطوير. ويتوفر بمصر أول نوع فقط (الخلايا السليكونية) وهو عبارة عن ألواح مسطحة يتم تركيبها علي الواجهات والأسطح.

وهناك مجموعة كبيرة من الأنواع التي تم اسـتنتاجها من الأنواع الأساسـية السـابقة مثل الخلايا شـبه الشفافة والخلايـا الفوتوفولتية الكروية(عبارة عن كريات صـغيرة مولدة للطاقة) والخلايـا الهجينة (تهجين نوعين أو ثلاثة معا) والخلايا المدمجة في الزجاج والقرميد الشمسي (قرميد مولد للطاقة)، وهناك بعض التقنيات المضافة لبعض أنـواع مـن الخلايا بهدف رفـع كفاءة الخلية مثل الطلاءات المضـادة للانعكاس وعدسـات التركيز الشمسـي(تقنية

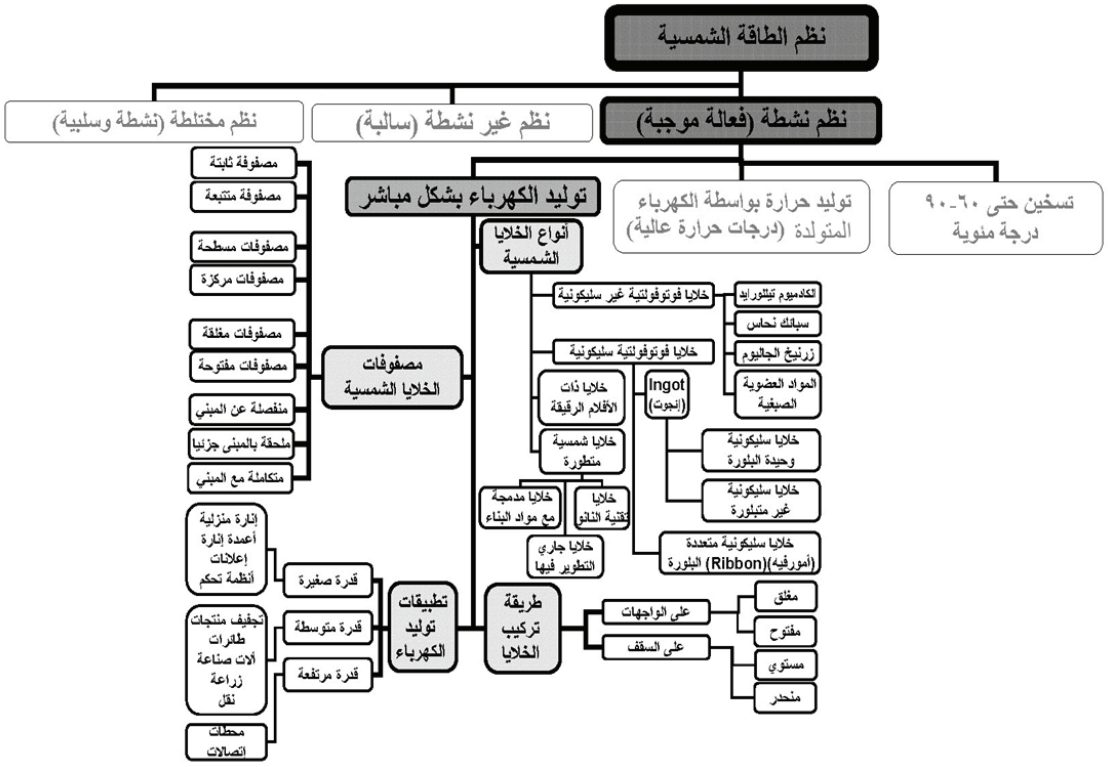
(٢) الموقع الإلكتروني للوكالة العربية السورية للأنباء

(٣) سيأتي توضيح تجربة مدينة مصدر أثناء التحليل في نهاية البحث

(٤) الأثر الكهروضوئي : إثارة الإلكترونات ونقلها بواسطة الضوء الساقط عليها وبالتالي توليد الكهرباء.

(٥) عالم فرنسي فيزيائي ومكتشف التأثير الكهروضوئي لبعض المعادن وهو الاساس الذي تقوم عليه فكرة الخلية الفوتوفولتية.

المركزات) وغيرها (Peter Gevorkian،2008).



شكل (٦):أنواع النظم الفوتوفولتية ومصفوفاتها وتطبيقاتها وطريقة تركيبها

جدول (٢) أنواع الخلايا المتوفرة عالميا ومواصفاتها الرئيسية

التصنيف الرئيسي الخلايا	أنواع الخلايا ومواصفاتها	
الخلايا السليكونية (Christian Schittich،2003)	خلايا سليكونية غير متبلورة (Amorphous Silicon Cell)	تتكون من شرائح طولية بينها الموصلات الكهربية وتبلغ كفاءتها من ٥ إلي ٩ ٪ وبالتالي تكلفتها منخفضة جدا.
	خلايا سليكونية وحيدة البلورة (Mono-crystalline Silicon Cell)	تتعدد ألوانها وأشهرها الأزرق ويغلب عليها اللون الواحد وتعطي أكبر نسبة كفاءة وتبلغ ١٨٪ وهي أعلي الأنواع تكلفة وأكثرها انتشارا.
	خلايا سليكونية متعددة البلورة (Poly-crystalline Silicon Cell)	المظهر الخارجي للخلية المفردة معروف بتداخل درجات الألوان فيه وتبلغ كفاءة الخلية حوالي ١٦٪ وهي ذات ذات تكلفة منخفضة نسبيا.
الخلايا غير السليكونية (زيارة ميدانية لهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠٠٨م)	خلايا الكادميوم تيللورايد (Cadmium Telluride)	تبلغ كفاءتها حوالي ٦ – ٨٪.
	خلايا سبائك نحاس-إنديوم ديسلينايد (Copper Indium Diselenide)	تبلغ كفاءتها ١١- ١٨٪.
	خلايا زرنيخ الجاليوم (Gallium Arsenide)	تستخدم في تطبيقات الفضاء نظراً لاحتماله الشديد للإشعاع الشمسي وتبلغ كفاءتها ٣٠٪ وبالتالي هي مرتفعة التكاليف نسبيا عن غيرها.

خلايا ذات الأفلام الرقيقة (Christian Schittich،2003)		الخلايا ذات الأفلام الرقيقة (Thin film Cell) عبارة عن طبقات لا تزيد عن (١-٦) ميكرومترات [٦] تتميز بأسطح متجانسة مهيكلة بقطوع فاصلة ضيقة وشفافة جدا .يتسبب صغر سمكها في مرونة مصفوفة الخلايا، وبالتالي يمكن تركيبها على مختلف الأسطح. وتتسم هذه الخلايا بالألوان الداكنة مثل الأسود أو البني المحمر بالإضافة إلي تناسب مصفوفتها للدمج في المباني التي تقع في الظل حيث أن كفاءتها تقل في الظل شيئا يسيرا. ويعتبر تصنيعها أقل تكلفه من نظيراتها لأنه يمكن تصنيعها عند درجات من ٢٠٠ إلى ٧٠٠°م[٧] ، وتبلغ كفاءتها حوالي ١٤٪ وزادت كفاءتها مع تطوير ما يسمى بالخلايا المكدسة [٨] حيث توضع طبقتين أو ثلاث فوق بعضها.
الخلايا المتطورة (لم تدخل في مرحلة التطبيق الفعلي بعد)	خلايا مواد عضوية الصبغة	هذا النوع من الخلايا الصبغية (Dye sensitized Organic Cells) يتم تصنيعها علي هيئة أوراق سميكة شفافة وتبلغ كفاءتها ١١- ١٨٪ (www.risoe.dtu.dk).
	خلايا النانو [٩]	هذا النوع من الخلايا لا يزال تحت البحث رغم أنه تم الإعلان عن أول خلية متاحة للاستخدام عام ٢٠٠٦م، وهي ذات طبيعة تقنية جديدة تتميز بقلة تكلفتها إمكانية دمجها في الواجهات الزجاجية لطبيعتها الشبة شفافة (www.dw-world.de).
	خلايا مدمجة مع مواد البناء	صنع أول مجمع مدمج بزجاج الأسطح عام ١٩٧٦م بغرض تلافي عدم وجود علاقة تقريبا بين النظم الملحقة علي السطح والحل المعماري، وذلك بإيجاد علاقة تكاملية بينها وبين مواد البناء. وهذا النوع يمثل حلا معماريا مستداما، بالإضافة إلي إمكانية التظليل للأفنية الداخلية المغطاة. وقد يعيب دمجها في الزجاج فاعلية الرؤية بشكل نسبي (Christian Schittich،2003).
	خلايا التركيز النقطي	هي عبارة عن عدسات متراكبة تكون موديول كامل. تهدف هذه الخلايا إلي تركيز أشعة الشمس علي نقطة لزيادة كفاءة الموديول [١٠] . ويعيبها أنها تعكس الأشعة العمودية فقط علي المولد وبالتالي يجب وجود هذا النوع داخل نظام متتبع للشمس (قناة الجزيرة الفضائية،٢٠٠٨).
	خلايا بلاستيكية	تجري بعض المحاولات لاستخدام البلاستيك في تصنيع هذا النوع، وتعتبر الخلايا البلاستيكية أقل تكلفة عن نظيراتها ولكنها أضعف(Peter Gevorkian،2008).
	أفكار جاري التطوير فيها	يحاول خبراء النظم الشمسية وعلماء الطاقة تطوير أنواع من النظم الفوتوفولتية، بهدف زيادة الكفاءة وتقليل المتطلبات والأعباء الناتجة مثل عمل دهان فوتوفولتي مولد للطاقة.

٢,٤. المتطلبات الرئيسية للنظام الفوتوفولتي النمطي

يفرض النظام الفوتوفولتي عدة متطلبات علي المبني المراد إمداده بهذه النظم، ويمكن تقسيمها إلي متطلبات تقنية ومتطلبات معمارية كما في شكل (٧)[١١].

٤. منظومة الاستدامة

وانطلاقا من الخلفية النظرية للنظم والخلايا الفوتوفولتية يمكن استكشاف علاقتها بمنظومة الاستدامة، حيث يتبنى العالم توجه واضح نحو البناء الأخضر. وللاستدامة عدة مفاهيم رئيسية مستخرجة من تعريفات الاستدامة والتي يعد من أشهرها "القدرة علي استيفاء احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة أجيال المستقبل علي استيفاء

(٦) - (الميكرومتر=٠,٠٠١ ملليمتر)

(٧) -نصف الدرجات المطلوبة لتصنيع خلية بلورية.

(٨)- الخلايا المكدسة: نوع من الخلايا ذات الطبقة الرقيقة ولكن صممت بثلاث طبقات كل طبقه تستجيب لمدى طيفي معين (إشعاع قصير، متوسط، أو طويل الموجة)وذلك لرفع الكفاءة المطلوبة.

(٩) - تمكن في يونيو ٢٠٠٦م د.أندرياس هينش في معهد فرايبورغ الألماني لنظم الطاقة الشمسية من تطوير منظومة فوتوفولتية جديدة يمكنها تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية من خلال مادة لونية عضوية ممزوجة بمنمنمات فائقة في الصغر تضاعف من كفاءة الخلية .

(١٠) - يتم تركيب مولد صغير للطاقة في بؤرة العدسات لرفع كفاءة تحويل الموديول التي تبلغ ١٠-١٥٪ ويحاول الخبراء زيادة هذه الكفاءة كي تصل إلي ٣٥٪

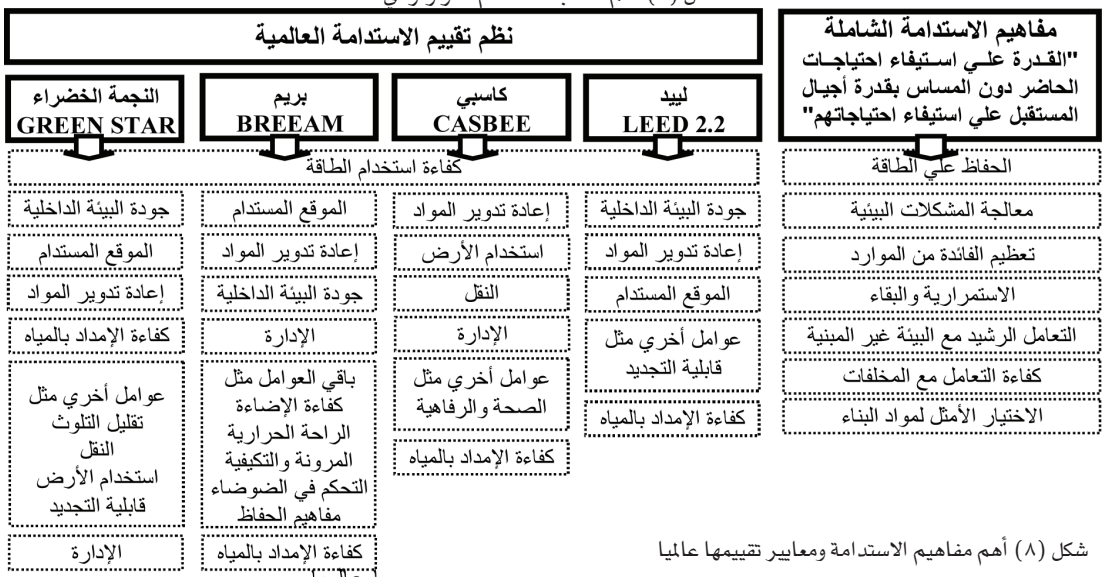
(١١)- الميل المثالي للوحدات = خط العرض للموقع قيد الدراسة +/- ١٠ درجات (وتوجه نحو الجنوب في نصف الكرة الشمالي (مصر) والعكس).

احتياجاتهم" (Adrian Pitts،2004) .

وظهرت عدة نظم لتقييم الاستدامة العالمية أهمها (LEED-CASBEE-BREEAM-GREEN STAR)[١٢] ولكل منها معايير تقييم مختلفة كما يتضح من شكل (٨)، ويتضح من شكل (٩) ترتيب الثقل النسبي لكل معيار وارتفاع الثقل النسبي لكفاءة الإمداد بالطاقة بين معايير التقييم (Candace Say،Antoni wood،2008) .

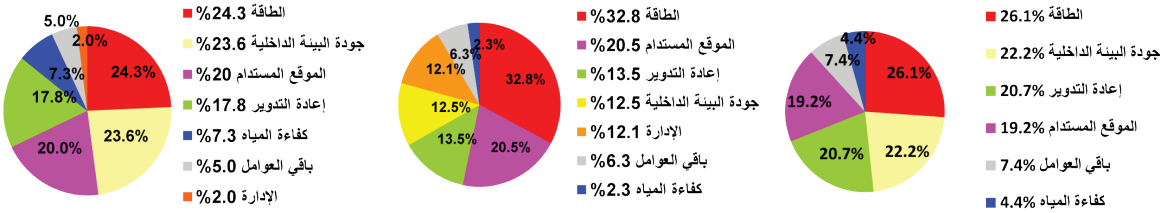


شكل (٧) أهم متطلبات النظام الفوتوفولتي



شكل (٨) أهم مفاهيم الاستدامة ومعايير تقييمها عالميا

(١٢) – تتبع بعض الدول نظام معين من النظم المذكورة مثل الولايات المتحدة والبرازيل وكندا والهند تتبع النظام (LEED) ولكن تم جمعهم –بصرف النظر عن البلدان التابعة لكل نظام – لاستكشاف دور هذه النظم في دعم منظومة الاستدامة الشاملة، حيث تؤثر المعايير المختلفة في بعضها البعض.



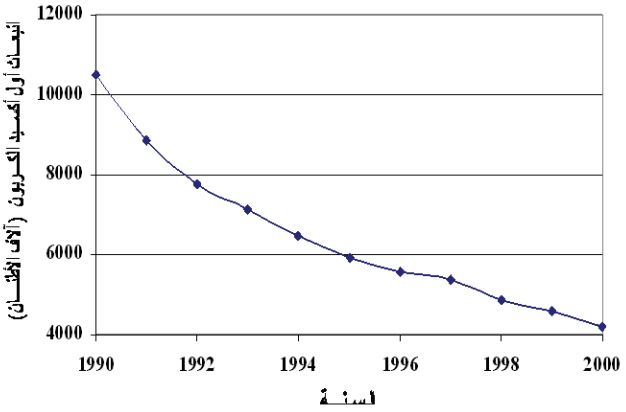
شكل (٩) يوضح أولوية الثقل النسبي لكفاءة استهلاك الطاقة كأحد معايير تقييم الاستدامة في النظم العالمية [١٤]

٥. دور النظم الفوتوفولتية في دعم منظومة الإستدامة

وبعد إلقاء الضوء علي أهم مفاهيم الاستدامة ومعايير تقييمها يتسنى لنا إسقاط الخلفية النظرية للنظم الفوتوفولتية علي هذه المفاهيم والمعايير، لاستكشاف أبعاد دورها في دعم منظومة الاستدامة كما يلي:

٥,٥.دور النظم الفوتوفولتية في دعم الحفاظ علي الطاقة وكفاءة استهلاكها واستمرارية الإمداد

تشير الدراسات العالمية إلي أن التطوير في كفاءة الخلايا الفوتوفولتية علي التحويل الكهربي مستمر مما يدعم منظومة الحفاظ علي الطاقة، رغم أنها محليا لم تتعدى كفاءتها ٢٠٪ للنظم الثابتة (شركة الطاقة الشمسية،٢٠٠٨). وتوفر – نظريا – مصفوفة فوتوفولتية ثابتة (كفاءتها١٥٪-١٨٪) مساحتها ١م٢ يوميا في مصر [١٥] حوالي ١٤٧ وات/ساعة [١٦] (شركة الطاقة الشمسية،٢٠٠٨). ويمكن لهذه النظم ضمان استمرارية الإمداد بالطاقة الكهربية لأعلي الأجهزة المنزلية استهلاكا للطاقة(المكيف الهوائي)، حيث أجريت دراسة علي نظم مثبتة (خلايا سليكونية وحيدة البلورة كفاءتها ١٥٪) علي واجهات ثلاث نماذج [١٧] في أثينا لتقييمها في تشغيل عدد المكيفات (بمعدل مكيف في الشقة بقدره ٣,٥ ك.و)، وأثبتت الدراسة كفاءة إمداد النظم وإمكانية تشغيل المكيفات(Eirini Tsianakaa.2006).



شكل(١٠) تطور انبعاث أول أكسيد الكربون بألمانيا

٥,٢. دور النظم الفوتوفولتية في معالجة المشكلات البيئية والتلوث

(١٣) ينقسم النظام (LEED) إلي تسع أنظمة، أما النظام المذكور فهو (LEED- NC for new constructions).

(١٤) – يستخدم نظام التقييم (CASBEE) أسلوبا معقدا في الحكم علي استدامة المشاريع ويختلف الثقل النسبي للمعايير حسب نوع المشروع.

(١٥)–حيث يتراوح مقدار الإشعاع الشمسي في مصر بين ٥,٨ – ٧,١ ك.و.س/م٢/يوم شمالا وجنوبا علي الترتيب.

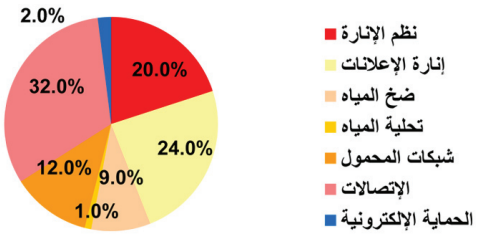
(١٦) –إذا أدرجت نفس المصفوفة داخل نظام متتبع يدور حول محور واحد يزيد خارج القدرة بمقدار ٢٠٪ عن النظام الثابت ، أما النظام المتتبع ثنائي المحور يزيد خارج القدرة بمقدار ٣٥٪ كما ذكرنا سابقا، والقيمة نفسها أقل من المتوسط العالمي للتوليد الفوتوفولتي (مصفوفة الثابتة مساحتها ١م٢ تولد ١٠٠ وات).

(١٧) – النموذج الأول:١٩٦م٢ يحتوي علي ١٢ مكيف – النموذج الثاني:٣٢٤م٢ يحتوي علي ١٨ مكيف – النموذج الأول:٤٨٤م٢ يحتوي علي ٢٤ مكيف.

بالطبع يتم استخدام هذه الأنواع من النظم لتخفيف العبء علي البيئة وتقليل التلوث. كما هو الحال في ألمانيا التي تعتبر الأولي في مجال الفوتوفولتيات، حيث تسعي للاعتماد علي الطاقة الشمسية في إنتاج الكهرباء بنسبة ٢٥٪ بحلول عام ٢٠٥٠م (www.uoh.edu.sa)، تحاول الحكومة الألمانية تقليل الإنبعاث الكربونية كما يتضح من شكل (١٠) باللجوء إلي الطاقة الكهربية الشمسية (عبد العزيز بنونة،٢٠٠٥)، حيث يتسبب توليد ١ ك.و. من الطاقة الكهربية التقليدية في احتراق حوالي ٥ رطل فحم وهو ما ينتج حوالي ٦,٧٥ رطل من ثاني أكسيد الكربون (Peter Gevorkian. 2008).

٥,٣. النظم الفوتوفولتية والتعامل الرشيد مع البيئة غير المبنية

يمكن استخدام هذه النظم علي نطاق أوسع من البيئة المبنية واستغلالها خارج البيئة المبنية، يظهر ذلك من التطبيقات المتنوعة عالميا مثل تطبيقات الفضاء وغيرها. أما بالنسبة للواقع المحلي فتطبيقاتها محدودة كما يتضح من شكل (١١) مع اختلاف الثقل النسبي لهذه التطبيقات (هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة،٢٠٠٦-٢٠٠٧م). وكمثال تستخدم هذه النظم في الإنارة بمصر كما يتضح من شكل (١٢).



شكل (١١) تطبيقات النظم الفوتوفولتية في مصر



شكل (١٢) تطبيقات النظم الفوتوفولتية في إنارة الطرق بمصر

٥,٤. النظم الفوتوفولتية وتعظيم الفائدة من الموارد

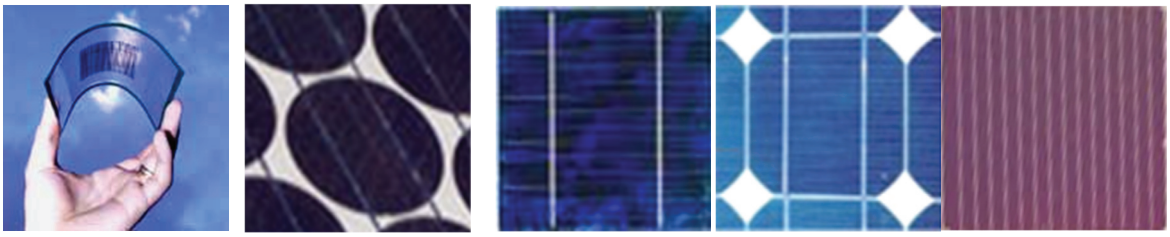
تعتمد الخلايا في تصنيعها علي السليكون الخام المستخرج أصلا من الرمل وهو مورد طبيعي متوفر كميا في مصر، حيث أن مساحة الصحراء في مصر تربو علي ٩٠٪. بالإضافة إلي الإشعاع الشمسي المرتفع نسبيا إذا ما قورنت بألمانيا التي يقل فيها الإشعاع الشمسي.

٥,٥. النظم الفوتوفولتية وقابلية التجديد وتكيفية المبني

تتميز الخلايا الفوتوفولتية عن باقي تقنيات الطاقة الشمسية بقابلية الفك والتركيب بسهوله وبالتالي تسهل عملية إعادة صياغة الغلاف الخارجي للمبني، حيث يمكن اختيار الشكل المناسب للمباني حسب كمية الطاقة المراد توليدها أو اللون الملائم للبيئة المحيطة كما يتضح من شكل (١٣، ١٤)، بالإضافة إلي إمكانية استبدالها بأحد النظم الذكية الحساسة للضوء التي يتغير لونها ذاتيا (www.globalmarket.com).

٦,٥. تأثير النظم الفوتوفولتية علي كفاءة النقل

يوجد اتجاه عالمي إلي التقليل من استخدام الوقود في وسائل النقل والمواصلات اعتمادا علي الطاقة الكهربية بشكل عام. وجرت عدة محاولات لعمل سيارات سباق تعمل بالخلايا الفوتوفولتية وبالفعل تم التوصل إلي سيارة



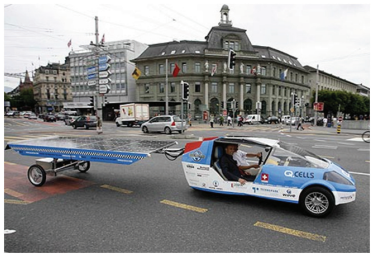
غير متبلورة Amorphous Silicon Cell | أحادي البلورة Mono-crystalline Silicon | متعدد البلورة Poly-crystalline Silicon

شكل (١٣) تنوع الخلايا في أنواعها وألوانها

أشكال أخرى | خلايا شفافة

شكل(١٤) تنوع الخلايا في أشكالها

لا تتسع إلا لشخص واحد فقط تسير بسرعة ١٠٠كم/الساعة (www.solarmotions.com)، وبعدها تمكن لويس بالمر [١٨] من التوصل إلي سيارة فعلية "السولار تاكسي" تستمد دفعها من الطاقة الشمسية من مصفوفة فوتوفولتية مقطور خلفها كما يتضح من شكل (١٥)، ويمكن أن تصل القدرة المتولدة من المصفوفة إلي ٨٠٠ وات لتصل سرعة السيارة إلى ٩٠ كم /الساعة (www.puregreencars.com). وتستمد السيارات الكهربية الطاقة إما بالشحن الدوري للمركبة كل يوم في المنزل أو من خلال محطات مخصصة – كبديل لمحطات البنزين – كما يظهر في شكل (١٦)، وإما عن طريق التوليد المستمر بالنظم الفوتوفولتية ذاتيا في المركبة كما يتضح من شكل (١٧).



شكل (١٥) السيارة الشمسية



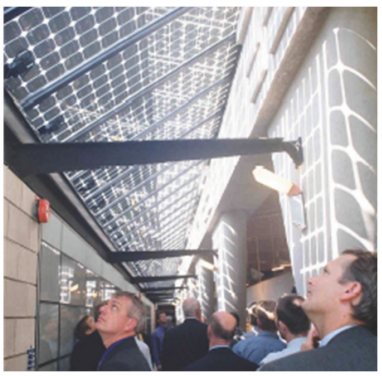
شكل (١٦) المحطات الفوتوفولتية



شكل (١٧) عبارة شمسية

٧,٥. تأثير النظم الفوتوفولتية علي الصحة والرفاهية

يؤثر استخدام الطاقة المتجددة بشكل إيجابي علي معدلات الصحة، لما له من أثر في تقليل الإنبعاثات الكربونية كما سبق أن أشرنا، كذلك الأمر بالنسبة لمعدلات الرفاهية فيمكن اعتبار زيادة استهلاك الطاقة أحد مؤشرات الرفاهية حيث يزداد استهلاك الطاقة في الدول المتقدمة علي عكس الدول النامية.



شكل(١٨) أحد ممرات مركز الترفيهي بالمملكة المتحدة

٨,٥. النظم الفوتوفولتية وكفاءة الإضاءة

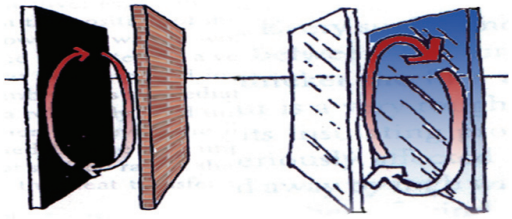
كما سبق أن ذكرنا فإن الألواح المصمتة تعوق قوة الإضاءة الطبيعية، ولكن بإجراء تعديل علي المصفوفة نفسها

(١٨) -أحد مصممي السيارات السويسريين بالتعاون مع ٤ جامعات سويسرية و١٠ شركات

بحيث يتم يرك مسافات بينية بين الخلايا ينقلب الأثر إلي أثر إيجابي، حيث تقلل الخلايا حدة السطوع الشمس خاصة في الأفنية الداخلية كما هو في أحد المراكز الترفيهية بالمملكة المتحدة (مركز Woking الترفيهي) في شكل (١٨) (Ali Sayigh،2007). ولهذه النظم مميزات أخري مثل التشكيل المعماري بجانب الزجاج الصافي.

٩,٥. النظم الفوتوفولتية والراحة الحرارية

تدعم مصفوفة الخلايا منظومة الراحة الحرارية حيث تمثل هذه المصفوفات قشرة خارجية تاركه مسافة فاصلة بينها وبين المبني في بعض النظم، حيث يتخلل هذه المسافة الهواء الذي يرفع مقاومة الحائط ويزيد التخلف الزمني لانتقال الحرارة إلي الفراغ الخارجي بسبب نشأة تيار هواء داخلي يعمل كعازل جيد، وهذه الفكرة مجرد تطوير لفكرة الحائط المزدوج التقليدية كما يتضح من شكل (١٩)، حيث يعتبر الهواء من أفضل المواد العازلة للحرارة (Edward Allin،2005).فضلا عن إمكانية استخدام المصفوفات ككواسر شمسية تظلل النوافذ أسفلها كما يتضح من شكل (٢٠)، ولكن يتحتم مراعاة المسافات البينية وزوايا الميل كي لا تظلل بعضها وبالتالي تقل كفاءتها في التحويل الكهربي. ورغم ما توفره هذه النظم من إمكانية عزل حراري فإن النظم نفسها لها عدة أثار حرارية سيتم مناقشتها في سلبيات النظام.



شكل (١٩) إستخدام الهواء كعازل بين المصفوفة الفوتوفولتية وسطح النافذة



شكل (٢٠) استخدام المصفوفات ككواسر شمسية

١٠,٥. النظم الفوتوفولتية وإعادة استخدام الأرض

نظرا لميل الوحدات نحو التوجيه الأمثل وبالتالي ترك مسافات لمنع الظل، فإن المساحة المربعة المطلوبة تكون أكبر، وبالتالي يمكن إستغلال هذه المساحة بجانب توليد الطاقة في المحطات الفلتائية في الزراعة وتربية الماشية في نفس المساحة، كما هو الحال في لسولار بارك سونين(Solarpark Sonnen)[١٩] مساحة المرفق تستخدم كمرعى للأغنام في نفس الوقت كما يتضح من شكل (٢١) (A. Goetzberger ،V.U. Hoffmann،2005)



شكل(٢١) مزرعة سولار بارك سونين

١١,٥. النظم الفوتوفولتية وإعادة تدوير المواد والتخلص من المخلفات

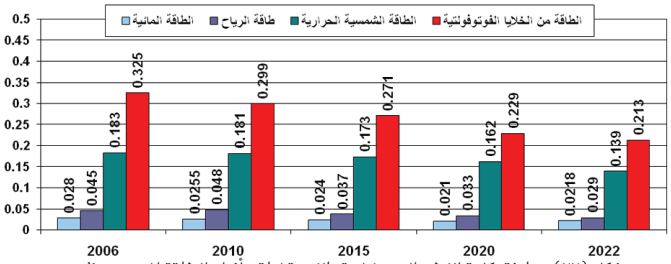
تتزايد بسرعة كمية الخلايا المدمرة أو المعطلة التي يجب التخلص منها أو تدويرها.وبفرض متوسط عمر

(١٩)-مزرعة شمسية بألمانيا تعمل منذ أغسطس ٢٠٠٢ بقدرة حوالي ١,٧ م.و. والوحدات الفوتوفولتية مقامة في الريف المفتوح

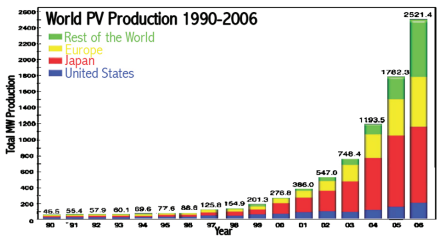
الوحـدات هو ٢٠ عاما، فإن الوحدات المصـنعة عام ١٩٩٥م والمقدر مسـاحتها بحـوالي ٨٤٨,٠ كم^{٢} ووزن ٨٤٨٠ طن ستأتي للتدوير في ٢٠١٥م. ولكن معظم التقنيات المستخدمة للتدوير لا تزال قيد البحث والتطوير، بالإضافة إلي زيادة احتياج الطاقة الضـروري لعملية التدوير والذي يبلغ ٨٠٪ تقريبا من الطاقة المطلوبة للتصـنيع العادي للوحدات (A. Goetzberger ،V.U. Hoffmann،2005).

١٢,٥. النظم الفوتوفولتية والبعد الاقتصادي

رغم كل ما تتميز به هذه النظم كما سـبق أن ذكرنا إلا أن التكلفة النسـبية لهذه النظم في مصـر مازالت مرتفعة – إذا مـا قورنـت بباقي نظم الطاقة المتجددة – كما يتضـح في شـكل (٢٢). وتنخفض التكلفة بإسـتمرار حيث تفيد الدراسـات تحقيـق تكلفة أقـل بكثير في ٢٠٢٢م. ويرجع ارتفاع سـعر الوحـدات التي تمثل ٦٠٪ مـن تكلفـة النظام بالكامـل، وارتفاع سـعر مادة السـليكون النقي نفسها – الذي يمثل نصف تكلفة الوحدة نفسها – رغم توفرها كمادة في مصـر (Energy Research Center ،2006)، بالإضـافة إلي القصـور التقنـي حيـث يتم بمصـر فقط اختبار الخلايـا في معمـل الخلايـا الفوتوفولتية وليس تصـنيعها بهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، أما الشـركات الخاصـة فتقـدم خدمات بيع المنتجات النهائية للمسـتهلك بعد اسـتيرادها من الـدول الأجنبية. وبالتالي فإن إشـكالية البعد الاقتصـادي ما زالت قائمة – علي الأقل بالنسـبة للأفراد – حيث ترتفع التكلفة المبدئية في مصـر[٢٠] (شركة الطاقة الشمسية،٢٠٠٨). أما في ألمانيا– كمثال لدوله صناعية متقدمة – تقل تكلفة الوحدات بكثير عن مصر بسبب تصنيعها النمطي للوحدات والخبرة التقنية، حيث زادت مبيعات التقنيات والنظم المختلفة مؤخرا بشكل واسع عالميا كما يتضح من شـكل (٢٣) (Ali Sayigh،2007). وتنظر الدول المتقدمة بشـكل عام لهذه النظم من مفهوم أكثر شمولا، حيث يزداد الثقل النسـبي لحل البعد البيئي والكمي للطاقة الأحفورية عن البعد الاقتصـادي لهذه النظم، بالإضـافة إلي تحقيـق بيئة مسـتدامة من خلال نظم الطاقة النظيفـة. ولا توجد أي تكاليف جارية إلا تكلفة الصـيانة الدورية التي يمكن إهمالها.



شكل (٢٢) مقارنة تكلفة النظم الفوتوفولتية بالنسبة لباقي أنواع الطاقة المتجددة في مصر (بالدولار/ك.و. متولدة)



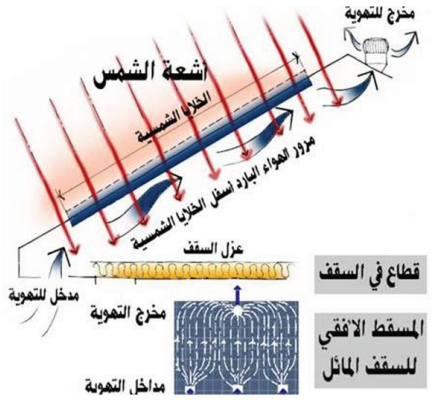
شكل (٢٣) كم إنتاج الخلايا الفوتوفولتية بالميجا وات في العالم (من عام ١٩٩٠ إلي ٢٠٠٦م)

٦. سلبيات الخلايا الفوتوفولتية المؤثرة علي الاستدامة

وعلي ما سبق فإن للخلايا الفوتوفولتية سلبيات تقلل إمكانياتها في تحقيق الاستدامة، يعد أهمها ما يلي:

- **ارتفاع التكلفة المبدئية وصغر كفاءة الخلايا وصعوبة تدويرها (وهي أهم السلبيات كما ذكرنا)**
- **الأثر الحراري للوحدات علي غلاف المباني** (A. Goetzberger ،V.U. Hoffmann،2005).

(٢٠)–تبلغ التكلفة المبدئية للنظام المتتبع المطلوب مثلا لإمداد شقة تستهلك ٨٠٠ ك.و.س/شهر أكثر من ٢٠,٠٠٠ جنية مصري بعمر افتراضي ٢٠ سنة للنظام ، وذلك بأسعار عام ٢٠٠٨م .



شكل(٢٤)حلول مقترحة لتهوية الخلايا (www.yourhome.gov.au.)

يؤدي دمج الخلايا في غلاف المبني أو استخدام الخلايا المدمجة داخل الزجاج كبديل للزجاج التقليدي إلي رفع درجة حرارة الغلاف، رغم أن تثبيت الوحدات أمام واجهة المبني بمسافة يقلل الانتقال الحراري. وترجع زيادة درجة حرارة الخلايا – والذي يؤثر علي أداء الخلايا نفسها – إلي عملية التحويل الكهربي وسريان التيار، بالإضافة إلي تغليف الوحدات بالزجاج وخاصة إذا ما تم استخدام عدسات مركزة للطاقة. وتشير بعض الدراسات إلي عدة حلول لتقليل هذا العبء الحراري أهمها ترك مسافة فاصله بين الوحدات وغلاف المبني أو عزل السقف والتهوية المستمرة الخلفية للوحدات كما يتضح من شكل (٢٤) أو عزلها عن المبني في الموقع العام.

- **عامل الإبهار:** ينتج عن انعكاس أشعة الشمس علي الزجاج المغلف الخلايا، ويمكن حله باستخدام الوحدات السطحية.

- **تأثرها بالعوامل الجوية المحيطة (نشوي يوسف،٢٠٠٦م):**

  - **الغيوم:** تقلل من كفاءتها في الإمداد بالطاقة الكهربية، ويعتمد النظام حينئذ علي بطارية النظام.

  - **الأمطار:** تؤدي إلي تلف بعض مكونات النظام المكشوفه، رغم وجود بعض الوحدات الفوتوفولتية تحتوي علي مصارف رفيعة لمياه المطر، وبالتالي تقلل من أثر تراكم الأتربة.

- **متانة الوحدة:** نظرا لضآلة سمك الوحدة وغلافها الزجاجي، رغم وجود أنواع تتحمل المشي عليها.

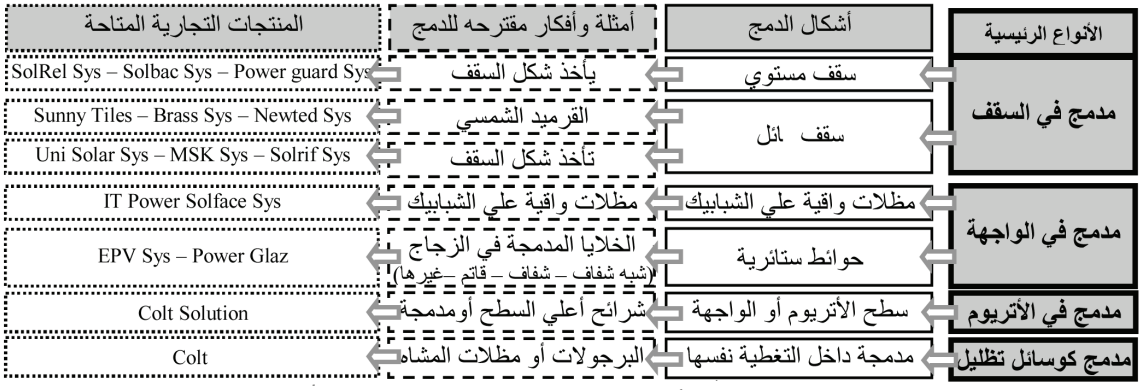
- **أوجه قصور في صناعة السليكون وتنقيته:** تتصاعد غازات ملوثه بسبب المعالجات الكيماوية للخلايا أثناء التصنيع، فضلا عن استخدام بعض مواد سامة لها أثار سلبية علي البيئة مثل الكادميوم.

٧. التصميم المعماري ومتطلبات النظام الفوتوفولتي والتأثير المتبادل بينهما

بالطبع فإنه عند إسقاط متطلبات النظام الفوتوفولتي علي تصميم المباني نجد تأثيرا متبادلا بينهم ناتج عن العلاقة التكاملية بين التقنية والتصميم المعماري. يمكن إفتراض توجهين لاستخدام هذه النظم، الأول أن يتم تصميم النظام ومتطلباته ليوافق التصميم المعماري المطلوب، وقد تدخل هذه النظم كمحدد يتم التصميم المعماري علي أساسه، وأما الثاني فهو المدخل الوظيفي. ويمكن تلخيصهما فيما يلي:

٧,١. تصميم النظام ومتطلباته ليوافق التصميم المعماري المطلوب (Essam Tarek،2004)

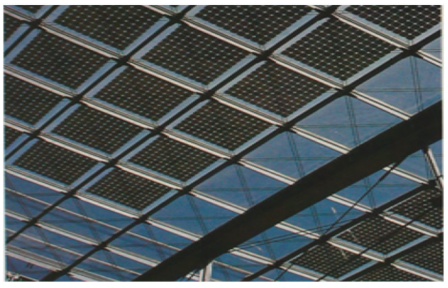
يؤدي هذا التوجه إلي فرض نظم توافق التصميم المعماري الحالي، وتسمي هذه الأنواع بالنظم المدمجة مع المباني (BIPV [٢١])، ويمكن أن يأخذ هذا الدمج عدة أشكال يمكن تلخيص أهمها قي شكل (٢٥).



شكل (٢٥) أنواع النظم المدمجة في المباني (BIPV)

تعتبر أهم المميزات هذه النظم إمكانياتها التشكيلية حيث تتنوع أشكالها وأنواعها بحيث تلائم أي مبني دون الشعور بوجود تقنية دخيلة تشكيليا، فضلا عن إمكانية تصنيعها من المصنع خصيصا لمبني معين حسب أبعاده ونسبه وشكل الدمج المطلوب. ورغم هذه المميزات فإن لهذه النظم المدمجة عيوب منها إعاقة إمكانية الرؤية خلالها – مما يمثل عائق تصميمي – وتسخين غلاف المبني نفسه كما ذكرنا.

وهناك أمثلة عديدة لمشروعات تم دمج الخلايا بأنواع الدمج المختلفة في غلافها الخارجي، فيظهر في شكل(٢٦) سقف محطة ليهيرثر ببرلين ونلاحظ تكون السقف بالكامل من الخلايا المدمجة في سقف الإتريوم الزجاجي(Christian Schittich،2003)، ويتضح في شكل(٢٧) استخدام القرميد الشمسي في سقف كنيسة القس جورج بمدينة برجوالد بألمانيا حيث تولد وحدة القرميد الواحدة حوالي ٥ وات ويظهر في شكل(٢٨) الوحدات المدمجة في سقف مائل بحيث تأخذ ميل السقف في أحد المنازل بمدينة فريبرج بألمانيا، ويتضح من شكل(٢٩) واجهة مبني المكتب الشمسي الدولي في دوكسفورد بالمملكة المتحدة والتي تم دمج الخلايا علي الواجهة المائلة للمبني (A. Goetzberger ،V.U. Hoffmann،2005).



شكل(٢٦) سقف إتريوم محطة ليهيرثر ببرلين – ألمانيا



شكل(٢٧) سقف كنيسة القس جورج بمدينة برجوالد بألمانيا

(٢١)- Building Integrated Photovoltaic cells (BIPV).



شكل(٢٨) أحد المساكن بمدينة فريبرج - ألمانيا



شكل(٢٩) مبني المكتب الشمسي الدولي بالمملكة المتحدة

وقد تدخل متطلبات النظام كمحدد في عملية التصميم المعماري للمشروع من البداية، حيث يأخذ التسلسل في عملية التصميم خطواته المعتادة، ولكن بعد عدة خطوات أهمها تقييم الموقع في ضوء متطلبات النظام، ثم دراسة جدوى تطبيقها، ثم تحليل الظلال الواقعة علي غلاف للمبني، وبعدها حساب الأحمال الكهربية المطلوبة، ثم اختيار النظام المناسب تقنيا ومعماريا، وفي النهاية عملية التصميم نفسها علي أساس ذلك، وبالتالي يكون المنتج النهائي بمثابة علاقة تكاملية بين التقنية والتصميم المعماري.

٧,٢. المدخل الوظيفي في تصميم نظام الإمداد

وهو إمداد المبني بعد إنشاءه بالطاقة من هذه النظم بشكل وظيفي مثل تثبيت الألواح في الموقع العام أو علي السطح المائل مباشرة أو مثبته علي المديول المعماري، دون المساس بعملية التصميم المعماري.

٨. عرض تأثيراستخدام النظم الفوتوفولتية علي الاستدامة من خلال تجارب تطبيقية فعلية

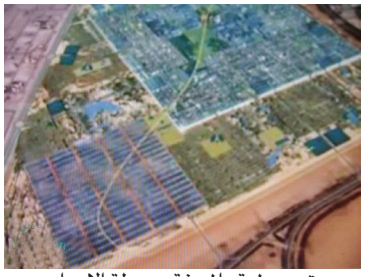
وعلي ما سبق يمكن توضيح أثر النظم الفوتوفولتية علي الاستدامة عند توسيع نطاق استخدامها من خلال عرض نموذج من التجارب العالمية وأخر من التجارب المحلية وتوضيح الفجوة بينهم.

النموذج الأول: مدينة مصدر- أول مدينة بيئية في العالم (دبي – دولة الإمارات المتحدة)

تعزم دولة الإمارات علي إنشاء أول مدينة بيئية في العالم (مصدر[٢٢]) التي تعتمد على الطاقة الشمسية في الإمداد بالطاقة الكهربية من خلال النظم الفوتوفولتية، ويعتمد الإمداد بالمياه علي محطة تحلية تدار بالطاقة الشمسية، فضلا عن شبكة النقل التي تعتمد علي الطاقة الكهربية النظيفة من خلال مترو حديث يتوقف كل ٢٠٠ متر. وتهدف المدينة إلي عدم إنتاج أي نفايات أو انبعاثات كربونية، وبالتالي تم اقتراح عدة تصورات للمدينة كما يتضح من شكل (٣٠) حيث سيتم تخطيطها بأسلوب موفر للطاقة ببناء محطة فوتوفولتية تمتد مصفوفاتها على مساحة ٦ كيلومترات مربعة لتمد المدينة بقوة ١٠٠ ميجا وات، ثم وضع البنية التحتية لشبكة الكهرباء، ثم بعدها يتم بناء المدينة نفسها (Mounir Ajam,2009).

ورغم التكلفة الكبيرة لهذا النوع من المشاريع فإن المردود البيئي والاقتصادي بعيد المدى بالنسبة للتكلفة المبدئية أكبر بكثير، لأن بناء مدينة جديدة تعمل بهذه التقنيات يعطي فرص نجاح أكبر وعائد أعلى من نظيراتها من المدن

(٢٢)- تقع المدينة بالقرب من مطار أبو ظبي الدولي. وقد صدر إعلان من شركة أبو ظبي لطاقة المستقبل «MASDAR» عن قرارها في إنشاء المدينة بمشاركة ألمانية عدد من الشركات والمراكز وأهمها مركز أبحاث الطيران والفضاء الألماني DLF. ومن المخطط أن يبلغ عدد سكان مدينة «مصدر» نحو ٥٠ ألف شخص وحوالي ١٥٠٠ شركة تعمل في مجال الطاقة النظيفة والمستدامة.



تصور لموقع المدينة ومحطة الإمداد الفوتوفولتية الشمسية



تصور لأحد الأحياء السكنية و شكل الخلايا الفوتوفولتية علي الأسطح



تصور لشبكة النقل والمواصلات التي تمدها شبكة الكهرباء النظيفة

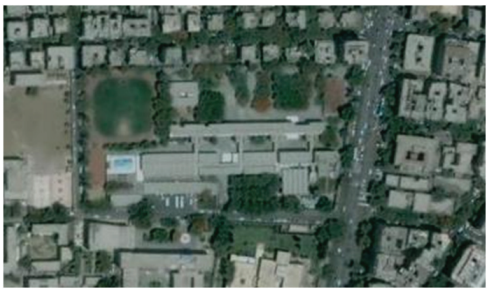
شكل (٣٠) تصورات لمدينة مصدر المستقبلية

المطلوب تطويرها. ويتضح مما سبق دور النظم الفوتوفولتية في دعم منظومة الاستدامة بالشكل الشامل في هذه التجربة، من خلال البعد البيئي المتمثل في عدم وجود إنبعاثات كربونية والاقتصادي في خفض تكلفة الطاقة علي المدى البعيد. وتتضح هذه الأبعاد علي المستوي التخطيطي في التعامل مع البنية التحتية، وكذا شبكة النقل والمواصلات دون الحاجة إلي استخدام السيارة التي تدور بالوقود مطلقا، بالإضافة إلي المستوي التصميمي من خلال تصميم البيئة غير المبنية، وتصميم الوحدات السكنية المرشد للطاقة.

النموذج الثاني: المدرسة الألمانية بالدقي (القاهرة – مصر)

تعد أبرز التجارب المحلية التي تحتوي علي هذه النظم في مصر وهي المدرسة الألمانية[٢٣] التي قامت شركتان المانيتان بإنتاج وتركيب الوحدات بها بدعم من الوكالة الالمانية للطاقة. وتم تركيب الوحدات في ثلاث مجموعات كما بالشكل (٣١)، الأولي (١٠ وحدات) تم تثبيتها أعلي مدخل المدرسة الجنوبي (كمظلة شمسية أفقية)، والثانية (١٢٥ وحدة) تأخذ إستطاله على سطح كتلة الإدارة بالمدرسة، أما الثالثة (١٠ وحدات) في نفس المكان لتعمل على ضخ المياه لحمام السباحة بالمدرسة (زيارة ميدانية من قبل الباحث).

وتقدم المدرسة الألمانية نموذجا لتوظيف النظم الفوتوفولتية في المباني بمصر، رغم عدم قابلية المثال للتعميم على نطاق واسع بسبب تهيئ التمويل الأجنبي من قبل السفارة الألمانية، بالإضافة إلي المساهمة الأجنبية التقنية، وتوفر مهندسين الصيانة لمتابعة هذه النظم. وتوجد بمصر عدة نماذج أخري مثل مركز التدريب المهني بحي المظلات ومركز المعادن بشبرا الخيمة وغيرها.



الموقع العام للمدرسة الألمانية بحي الدقي ومكان تركيب الألواح الفوتوفولتية (لا يظهر في الصورة الفضائية لأنه تم تركيبها مؤخرا)



المجموعة الأولي المثبتة علي الواجهة (علي يسار الشكل) والمجموعة الثانية والثالثة المثبتتان علي السطح (علي يمين الشكل)

شكل (٣١) مشروع تركيب النظم الفوتوفولتية في المدرسة الألمانية بالدقي

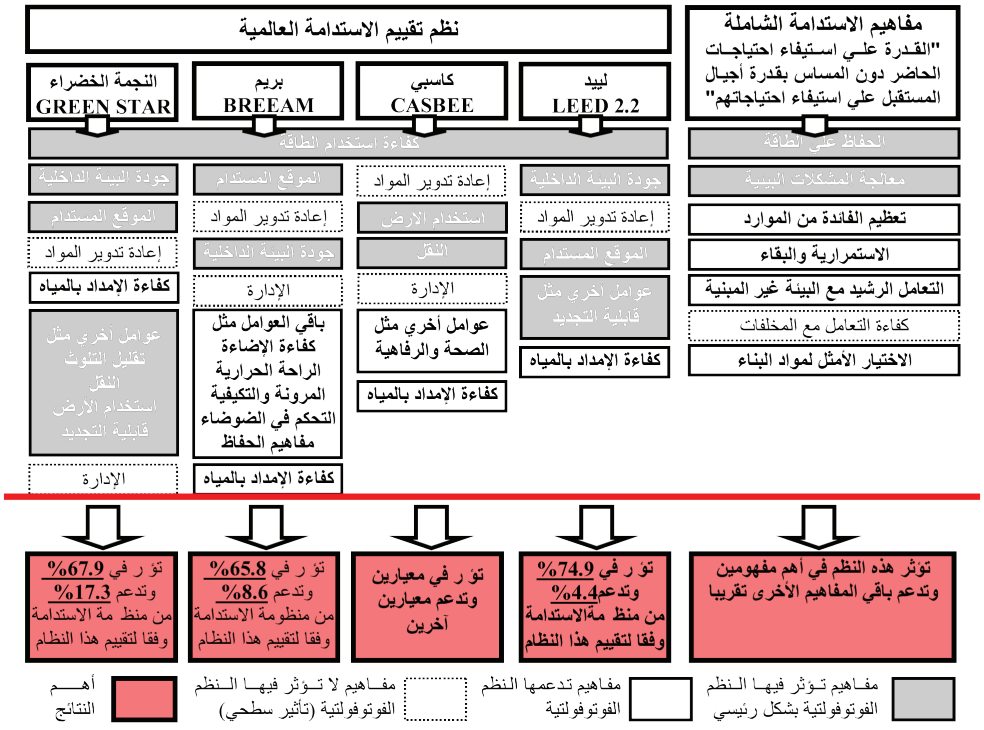
(٢٣)-المدرسة الألمانية هي احدي المدارس الأجنبية التابعة لإدارة السفارة الألمانية بالقاهرة وتقع بحي الدقي، ويعتبر المشروع أحد ١٤ مشروعا قد تم تنفيذ لاستغلال الطاقة الشمسية في ١٣ دولة مختلفة بهدف عرض تنوع وجودة التقنيات الشمسية الألمانية(www.elakhbar.org.eg).

٩. مناقشة : أبعاد دور النظم الفوتوفولتية في دعم منظومة الاستدامة

وبعد تحليل ما سبق من مفاهيم ومعايير تقييم الاستدامة في ضوء هذه النظم يمكن تأكيد وجود دور رئيسي للنظم الفوتوفولتية في هذا الدعم علي المستوي التصميمي والتخطيطي. ولهذه النظم تأثيرات مختلفة علي بعض المفاهيم والمعايير التي تم توضيحها كما يتضح من شكل (٣٢).

٩,١. مدى ملاءمة النظم الفوتوفولتية للتطبيق في مصر وتحديات التطبيق

نظرا لقصور الإمداد بالطاقة الكهربية في مصر الذي تم توضيحه في بداية البحث يتسنى لنا تتبع مدي ملاءمة وإمكانية التطبيق محليا، حيث توجد عدة مقومات وتحديات محلية يجب إلقاء الضوء عليها والتي من خلالها يمكن تفعيل التطبيق، حيث تتركز المدن المصرية مساحة حول وادي النيل لتوفر الموارد بالإضافة إلي شبكة النقل والكهرباء،فضلا عن كبر استهلاك المباني كقطاع للطاقة الكهربية في مصر وخصوصا المباني السكنية كما ذكرنا سابقا. وبعد استعراض أبعاد دور النظم الفوتوفولتية في دعم منظومة الاستدامة يتسنى لنا تحليل ملاءمة التطبيق في مصر في المستقبل القريب – حيث أشارت بعض الدراسات إلي دخول هذه النظم إطار التنفيذ الفعلي في مصر بحلول عام ٢٠٢٢م – وذلك علي المستوي التصميمي (المباني القائمة والجديدة) وعلي المستوي التخطيطي (المدن القائمة والجديدة)، حيث تشير الدراسات إلي إمكانية تطبيق النظم بالفعل علي المستويين ولكن مع وجود بعض المعوقات مثل التكلفة والقصور التقني. وسيتم التحليل من خلال عرض نقاط القوي والضعف واستكشاف الفرص والتحديات الخاصة بملاءمة وتطبيق هذه النظم محليا كما يتضح من جدول (٣).



شكل(٣٢) تأثير النظم الفوتوفولتية في مفاهيم الاستدامة ومعايير تقييمها

جدول (٣) تحليل ملاءمة تطبيق النظم الفوتوفولتية في مصر

	محاور التطبيق الممكنة للنظم الفوتوفولتية في مصر			
	على المستوى التصميمي: المباني		على المستوي التخطيطي: المدن	
	المباني القائمة	المباني الجديدة	المدن القائمة	المدن الجديدة
نقاط القوي	•تأثير النظم الفوتوفولتية علي الاستدامة من خلال المفاهيم التي تؤثر فيها النظم مثل (الحفاظ علي الطاقة – كفاءة الإمداد بالطاقة – جودة البيئة الداخلية – .... الخ) أو تدعمها النظم الفوتوفولتية مثل (كفاءة الإضاءة والراحة الحرارية والنقل و....الخ). •عدم ملاءمة نظام الإمداد الحالي بيئيا واقتصاديا وكميا ،فضلا عن تنافيه مع مفهوم الاستدامة، علي عكس هذه النظم.			
		•تنوع التقنيات في الكفاءة والشكل والنوع والمسطح يتناسب مع أغلب المباني ولا يمثل عائق تصميمي.		•يسمح كبر مقياس المدن بتلافي عدة عيوب للنظم نفسها بالإضافة إلي تعظيم الفائدة والمردود الناتج من كبر المقياس، مثل تقليل المردود الاقتصادي للنظم إعفاء الهيئة المسئولة عن إمداد المدينة بالكهرباء الأفراد من الصيانة الدورية، وتوفر الخبرة اللازمة، وتناسب المقياس مع عمر التقنية.
		•إمكانية التحكم في التوجيه قبل تنفيذ المبني وأخذ هذا العامل في الاعتبار. •يمكن اختيار النظام المناسب قبل التصميم بحيث يلاءم المبني المقترح. •عمر المبني الجديد يناسب عمر التقنيات والمردود الاقتصادي طويل المدى.		•يعد الإمداد بالطاقة أحد معوقات التنمية المكانية للمناطق النائية نظرا لارتفاع التكلفة الأولية للإمداد بينما توفر نظم الفوتوفولتية الإمداد الذاتي بالطاقة لأي مكان غير مأهول مثل المواقع الصحراوية، بحيث يتم توليد الطاقة الكهربية في أماكن استهلاكها دون الحاجة إلي نقل الطاقة مسافات كبيرة. •الانتشار الأفقي خارج الوادي الضيق في المدن الجديدة مناسب للتقنيات الشمسية بسبب إمكانية التعرض لمسطحات أفقية متعرضة للإشعاع الشمسي. •مواقع المدن الجديدة وخصوصا الصحراوية تعتبر مواقع نائية عن شبكة الكهرباء مما يعظم فائدة إنتاج الكهرباء بطريقة مباشرة في المدينة دون الحاجة للارتباط بشبكة الكهرباء. •تقليل تكلفة البنية التحتية الخاصة بشبكة الكهرباء من البداية.
نقاط الضعف	•سلبيات النظام نفسه السالفة الذكر مثل كفاءة بعض أنواع الخلايا غير الكافية وتأثرها بالعوامل المحيطة ودرجة الحرارة وعامل المتانة و.....الخ. •عدم التصنيع المحلي بالإضافة إلي عدم الانتشار محليا يعمل علي زيادة التكلفة المبدئية للنظم. •ضرورة المتابعة الدورية للمصفوفات حيث يجب تنظيف الخلايا باستمرار لإزالة الغبار والأوساخ عن السطح.			
		•لا يملك المستهلك عادة التكلفة المبدئية كلها وبالتالي يفضل تطبيق النظام علي المباني العامة أو التي يمكن تمويلها من قبل جهات استثمارية أو حكومية. •وقوع ظلال علي اللوح الفوتوفولتي يؤثر بشكل سلبي علي الإمداد بالكهرباء. •يفرض النظام عده متطلبات رئيسية في غلاف المبني مثل عدم إمكانية استغلال أسطح المنازل.		•زيادة التكلفة المبدئية بشكل كبير(مثل مدينة مصدر) .
	•قد لا تتوفر المتطلبات الرئيسية للتطبيق مثل ضرورة التوجية الجنوبي وتوفر المسطحات الكافية علي الغلاف الخارجي. •عدم كفاية مسطحات الأبراج العالية (التي تحتوي علي عدد كبير من الوحدات السكنية) من تركيب هذه النظم لعدم كفاية المساحات فوق أسطح المباني.		•بعض مباني المدن القائمة متدهورة ،فضلا عن وجود بعض المناطق التراثية التي يفضل الحفاظ عليها	

الفرص	•يرفع مناخ مصر مردود التقنيات الشمسية بشكل عام. •زيادة الطلب علي الطاقة الكهربية في مصر، مع ارتفاع أسعار مكونات النظام الحالي يشجع تطوير التقنيات البديلة.			
		•إمكانية التصميم الحر وفقا لمتطلبات النظم.		•يعتمد تخطيط المدن الجديدة علي نمط التخطيط النقطي مما يوفر أكبر استقبال للإشعاع الشمسي. •المردود الاقتصادي بعيد المدى للتقنيات الفوتوفولتية مناسب لعمر المدينة الجديدة. •إمكانية نمذجة الوحدات بالمدن الجديدة سواء العمارات السكنية أو نماذج الفيلات.
التحديات	•الارتفاع النسبي للتكلفة المبدئية في الوقت الراهن.			
			•يحتاج التطبيق علي مقياس المدينة تكلفة ابتدائية مرتفعة فضلا عن توفير خبرة محلية وتقنيات ذات كفاءة. •يحتاج التطبيق علي المدن بصفة عامة مساهمة من متخذي القرار بالإضافة إلي تمويل حكومي، مما يضعف إمكانية التفعيل في ظل غياب الوعي العام بهذه التقنيات محليا.	
	•توفر المصدر التقليدي للإمداد بالطاقة الكهربية يقلل من ضرورة اللجوء إلي هذه النظم. •وجود ظلال علي المبني من المباني المجاورة •عدم وجود الدراية والوعي الكافي لدي السكان عن هذا النوع من التقنيات. •تقييد البناء أو زراعة الأشجار أمام المصفوفات كي لا تلقي ظلال عليها.		•وجود بنية تحتية للإمداد بالطاقة الكهربية يقلل من ضرورة اللجوء إلي هذه النظم	

ومما سبق يتبين أن أفضل البيئات الملاءمة للتطبيق في مصر هي المدن الجديدة، المباني الجديدة علي الترتيب، لما لديها من مقومات تأهلها للاستفادة من التقنية بشكل فعلي كما تم في مدينة مصدر بالإمارات، وذلك بعد تخفيف الفجوة بين ارتفاع التكلفة المبدئية وانخفاض كفاءة الخلايا، وهو ما تحاول الدراسات والبحوث المستهدفة إيجاد حلول مناسبة له مما يشير إلي انتشار التطبيق في المستقبل المنظور(عام ٢٠٢٢م) كما سبق أن ذكرنا.

١٠. نتائج الدراسة:

ويمكن تلخيص نتائج الدراسة في النقاط التالية:

• للنظم الفوتوفولتية دور واضح في دعم منظومة الاستدامة في مصر يظهر أبعاده في التأثير في بعض مفاهيم ومعايير تقييم الاستدامة، في دعم مفاهيم ومعايير أخري – حيث يؤثر استخدامها في أكثر من ٦٠٪ من معايير تقييم الاستدامة في أهم نظم تقييمها – بالإضافة إلي ملاءمتها وقابليتها للتطبيق بهذا المفهوم الشامل.

• هناك قصور في الإمداد بالطاقة الكهربية في مصر مما يؤدي إلي تخليق حاجة ماسة إلي مثل هذه التقنيات البديلة التي تقلل من تأثير أوجه قصور نظام الإمداد الحالي.

•تتنوع النظم الفوتوفولتية المتاحة للتطبيق في النوع والشكل والكفاءة عالميا،أما محليا فتنتشر الخلايا السليكونية فقط ومازالت الكفاءة الحالية لها ضعيفة نسبيا، حيث لا تتعدي كفاءة التحويل الكهربي لها ٢٠٪ للمصفوفات الثابتة وتزيد للمصفوفات المتتبعة بمقدار (٢٠٪-٣٥٪ حسب نوع التتبع).

- توصل بعض العلماء إلي نظم حالية مدمجة مع الغلاف الخارجي فلا تمثل هذه النظم قيود تصميمية، ورغم ذلك فإن لها عدة سلبيات مثل عامل المتانة و....الخ.
- التكلفة المبدئية مازالت مرتفعة نسبيا في الفترة الحالية خاصة علي الأفراد في المشاريع الصغرى، وتنخفض التكلفة المبدئية مع زيادة الطلب علي الطاقة الكهربية في مصر وزيادة إنتاج النظم البديلة.
- لا توجد نقاط قوي وفرص واضحة لتطبيق النظام البديل تخص المباني القائمة والمدن القائمة عن دونها، مما يشير إلي عدم جدوى تطبيقها في هذين المحورين، علي عكس المباني والمدن الجديدة.
- تعتبر المدن الجديدة البيئة العمرانية المناسبة في المقام الأول لتفعيل استخدام هذه النظم علي نطاق واسع لما لها من مقومات تدعم دور هذه النظم، حيث يزداد المردود البيئي والاقتصادي لهذه النظم في المدن بشكل عام، وذلك لكبر مقياس المدينة، والمدن الجديدة بشكل خاص لموقعها في الصحراء.
- يتمثل للمباني الجديدة أولوية في التطبيق عن مثيلاتها لتوفر بعض مقومات.
- تعتبر أفضل التقنيات المحلية الملاءمة للاستخدام في الوقت الحالي هي النظم المتتبعة لحركة الشمس رغم ارتفاع تكلفتها الابتدائية.
- تدخل هذه التقنيات في إطار الاستخدام في مصر في المستقبل القريب بسبب ارتفاع التكلفة وغياب الخبرة التقنية، والتي يحاول علماء الطاقة بشكل عام بشكل عام اقتراح حلول لتحسين وتطوير التقنية.

١١. توصيات البحث:

يمكن تلخيص توصيات البحث في النقاط التالية:

- يتحتم تفعيل دور هذه النظم علي مستوي شامل بالمفهوم الأوسع في الاستدامة.
- يعتبر دور متخذي القرار أحد الأدوار الأولي لتفعيل هذه النظم من خلال نشر ثقافة الاستدامة وتقنيات الطاقة المتجددة مع التشجيع علي استخدامها.
- ضرورة التوسع التقني عالميا ومحليا للاستفادة من النظم المدمجة والخلايا المتطورة و.....الخ.
- يجب زيادة كفاءه الخلايا بالإضافة إلي تقليل سلبياتها حتى يتسنى لنا استخدامها بلا قيود.
- يوصي البحث بتفعيل دور المدن الجديدة علي المستوي التخطيطي ومبانيها الجديدة علي المستوي التصميمي في دعم الاستدامة، لما لها من مقومات تلائم دور النظم الفوتوفولتية في الاستدامة.
- محاولة مضاهاة تجربة مصدر في المدن المصرية الجديدة لما لها من مردود بيئي مستدام مع دراسة أهم العوائق التي تحول دون التطبيق- والتي يأتي في مقدمتها المردود الاقتصادي- وتعظيم الفائدة البيئية، وتقليص الفجوة التقنية والمعمارية بين النظم المستخدمة في هذه التجربة ومثيلاتها في التجارب المحلية المتفرقة.

الخلاصة:

أوضحت الدراسة الدور الذي تلعبه النظم الفوتوفولتية في دعم منظومة الاستدامة وأهمية اللجوء لهذه النظم

كحل لقصور الإمداد المحلي بالطاقة، ويمكن القول بأن هذه النظم ملاءمة للتطبيق محليا، وقابلة للتطبيق، ولها دور رئيسي في دعم منظومة الاستدامة في مصر، فضلا عن إمكانية تفعيل هذا الدور في أنسب محاور التطبيق وهي المدن الجديدة أو المناطق النائية بشكل رئيسي، والمباني الجديدة بشكل ثانوي ، مع وجود عدة سلبيات وتحديات أكثرها تأثيرا التكلفة الابتدائية المرتفعة وضعف كفاءة التقنيات المتاحة محليا والانتشار الواسع للبنية التحتية لشبكة الطاقة الكهربية التقليدية.

المراجع:

- أبو الفضل، سومية (٢٠٠٣م) «إستخدام الطاقة الشمسية في العمارة وتخطيط المدن»، المؤتمر المعماري الدولي الخامس العمران والبيئة، قسم العمارة، كلية الهندسة، جامعة أسيوط ، مصر.
- الشركة القابضة لكهرباء مصر (٢٠٠٦-٢٠٠٧م) "التقرير السنوي"، وزارة الكهرباء والطاقة، مصر.
- بنونة، عبد العزيز – الزجلي، إدريس – بنشريفة، رشيد (٢٠٠٥م) "الطاقة والتنمية والحفاظ علي البيئة رؤيا عامة" ، المركز الوطني للبحث العلمي والتقني – وحدة بحث تكنولوجيات واقتصاديات الطاقات المتجددة.
- شركة الطاقة الشمسية وتكنولوجيا البيئة (٢٠٠٨)، "تقرير عروض ومنتجات الشركة" ، القاهرة، مصر.
- عبد الحافظ، نشوي يوسف (٢٠٠٦م) "العلاقة التكاملية بين المباني والخلايا الفوتوفولتية" ، رسالة ماجستير، قسم العمارة، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مصر.
- قناة الجزيرة الفضائية (٢٠٠٨م) " أخر ما توصلنا إليه في مجال الطاقة الشمسية" ، فيلم وثائقي.
- مركز دراسات وبحوث تنمية جنوب الوادي (٢٠٠٤م) "الخطة الشاملة للخدمات والموارد الطبيعية لمحافظة أسيوط – في إطار إستراتيجية التنمية الشاملة حتي عام ٢٠٢٢م"، المجلد الثاني، جامعة أسيوط، أسيوط، مصر.
- نديم، إيهاب عز الدين (٢٠٠٧م) "الطاقة والتنمية في الوطن العربي" ، كلية التجارة – جامعة عين شمس، القاهرة، مصر.
- هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة (٢٠٠٦-٢٠٠٧م) "التقرير السنوي"، وزارة الكهرباء والطاقة، القاهرة، مصر.
- Abd–Elaal, Tarek Esaam (2004)."The Architectural Integration of The Photovoltaic Systems in Buildings". M.Sc.. Cairo University. Cairo ،Egypt.
- A. Goetzberger - V.U. Hoffmann (2005). „Photovoltaic Solar Energy Gener - tion“. Springer-Verlag Berlin Heidelberg . Germany.
- Ajam. Mounir (2009)"Report on Projects & Project Management in the UAE". PM World Today. Dubai. UAE.
- Allin. Edward (2005)"How buildings work – The national order of Archite - tural" ،Oxford University Press. UK.
- Eirini Tsianaka (2006)"Evaluating the Effectiveness of Photovoltaic Cells for Air Conditioning in Athens. Greece" . - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva. Switzerland.

- Energy Research Center (ERC)(2006)"Renewable Energy Sector in Egypt - Volume (II)", Faculty of Engineering - Cairo University, Cairo ,Egypt.
- Gevorkian, peter (2008)"Solar power in building design", the McGraw-Hill Companies , USA.
- Mobarak , Amin (2009)." Energy and Environment",Science and Humanities Bridging Culture, Amman, Jordan.
- Pitts, Adrian (2004) "Planning and Design Strategies for Sustainability and Profit", Jordon Hill , Oxford ,UK.
- Say, Candce – Antoni Wood (2008) Sustainable rating systems around the world, CTBUH journal, Council of tall buildings and urban habitat.
- Sayigh ,Ali(2007)" Building Integrated Photovoltaic – BIPV" ,World Rene - able Energy Congress, Brighton, UK.
- Schittich, Christian (2003) "In Detail Solar Architecture - Strategies Visions Concepts", Birkhauser, Basel, Boston ,Berlin ,Germany.
- The German Energy Society (2008),»Planning and Installing Photovoltaic Systems«, Earthscan , London, UK.
- www.albayan.ae (March,2009)
- www.dw-world.de (February,2009)
- www.elakhbar.org.eg (july,2009)
- www.globalmarket.com (january,2009)
- www.puregreencars.com (March,2009)
- www.risoe.dtu.dk (February,2009)
- www.sana. Sy (March,2009)
- www.solarmotions.com (February,2009)
- www.uoh.edu.sa (February,2009)
- www.yourhome.gov.au (july,2009)

The role of photovoltaic systems in fostering sustainable development in Egypt

Eng. Amr mamdoh Ali Youssef
Demonstrator,
Arch. Eng. Dept.
Faculty of Engineering, Assiut University, A.R.E
amr_mamdoh2003@yahoo.com

Prof. Dr. Mohammed Abdel-Samei Eid
Professor,
Architectural Eng. Dept.
Faculty of Engineering, Assiut University, A.R.E
maeid3000@yahoo.com

Dr. Hazem Abdel-Azeem Hammad
Lecturer,
Arch. Eng. Dept.
Faculty of Engineering, Assiut University, A.R.E
hazemhammad@hotmail.com

Abstract

The trends of finding better alternatives for energy supplying; have become on top of the environmental, economic, and political trends, because using them leads eventually to achieving sustainability requirements. To achieve self-sufficiency in the energy field, many trends have emerged. Above all these trends comes the renewable energy sources such as the solar energy. Due to the defect in the way cities, especially buildings, are supplied with electrical energy in Egypt; it became mandatory to look for other techniques or systems. Of these, the photovoltaic systems are eminent due to their wide range of diversity and development. Many visions appeared to deal with these techniques effectively, especially with the rapid technological development in this field globally. With the multiplicity and complexity of these techniques, they had a clear reflection on the sustainability of the built and non-built environment.

From the sustainable development concepts , this paper aims to explore the dimensions of the role of photovoltaic systems in fostering sustainability, demonstrate the features of this role, and verifying their applicability in Egyptian buildings and cities. In addition to determining the technological and architectural requirements, without which this role would never work. Hence, the paper began with the study motives, and emphasizing the need for these systems- as energy self-supplying systems- through observing the deficiency of the current approach. Next, comes a description of the techniques reached so far, and the ones available locally. To achieve the aim of the research, sustainability concepts, its evaluation systems, and its prominent features were reviewed. From this theoretical approach of technology features and sustainability concepts; the photovoltaic systems were referred to those concepts, their role in fostering sustainability-and the dimensions of that role- was illustrated. Besides, there was an analysis of some global applied practices, and the actual local trials. The paper was ended with a discussion of the role of photovoltaic systems in fostering sustainability, and locating the challenges of activating this role.