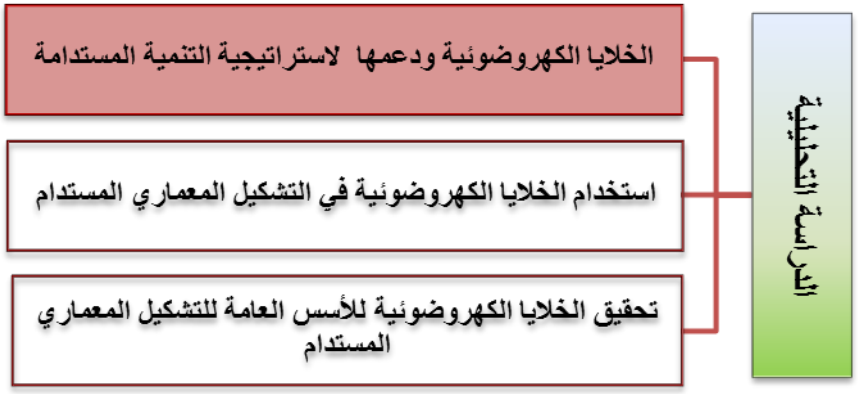
٢ – الدراسة التحليلية

٢-١ الفصل الرابع:

الخلايا الكهروضوئية ودعمها لإستراتيجية التنمية المستدامة



٤-١ المقدمة:

من الطبيعي أننا تعملنا جميعنا مع الخلايا الكهروضوئية وذلك من خلال استخدام الآلة الحاسبة المزودة بخلية كهروضوئية كمصدر للطاقة الكهربية تعمل بدون بطارية وتستمر في العمل دون توقف طالما توفرت كمية كافية من الضوء. كما أن هناك الواح كهروضوئية كبيرة تستخدم في تطبيقات متعددة ومنها على سبيل المثال في الأقمار الصناعية حيث تعتبر المصدر الرئيسي للطاقة الكهربية.

بعد دراسة أحوال الطاقات المتجددة علي مستوي العالم والوصول إلي نتيجة ضرورة استخدام الطاقات المتجددة في المباني وخاصة الطاقة الشمسية لما لها من أهمية كبيرة وفوائد عديدة لتحقيق هدف التنمية المستدامة، ودراسة التشكيل المعماري بأساليب الشمسية السالبة، كان علينا دراسة التشكيل الشمسي الموجب حيث يسعي إلي قيام المبني بأداء وظائفه بدون استهلاك خارجي للطاقة وذلك عن طريق توليد احتياجات المبني من الطاقة من مصادرها الطبيعية.

حيث تعتمد الفكرة علي استخدام تكنولوجيا تسمح بتحويل الطاقة من مصادرة الطبيعية مثل الشمس والرياح والمد والجزر للوصول إلي صورة أخري للطاقة يتم استخدامها في المباني، وتعتبر المباني التي تستخدم هذه الطريقة في تشكلها من المباني الموفرة للطاقة.[١] لذا يمكن تعريف التشكيل الشمسي الموجب بأنه استخدام الوسائل الميكانيكية لتحويل الطاقة الشمسية.[٢] وخير تطبيق تكنولوجي علي هذا استخدام الخلايا الكهروضوئية التي تحول الطاقة الشمسية إلي طاقة كهربائية. والتشكيل المعماري المستدام يمكننا الوصول إليه عن طريق استخدام هذه التقنيات ذات التأثير الايجابي علي المبني.

[١] شيماء السيد أمين صبور، **البناء بالعمارة الشمسية الموجبة وأساليب تكامل الخلايا الضوئية مع المباني**، رسالة ماجستير، كلية الهندسة - جامعة القاهرة، ٢٠١٠ م.

[٢] نهلة عبد الوهاب محمد مصطفي، **دراسة تأثير أنظمة الطاقة المتجددة علي تصميم الغلاف الخارجي للمبني**، رسالة ماجستير، كلية الهندسة – جامعة القاهرة، ٢٠٠٨ م.

٤-٢ خلفية نظرية عن الخلايا الكهروضوئية:

يعود اكتشاف الأثر الكهروضوئيه إلى عام ١٨٣٩م عندما اكتشف العالم الفرنسي إدموند بكيرل أن الضوء الواقع على قطب كهربي مُنْغَمِس في محلول موصل قد ينتج تيار كهربي، كما إدخال العالمان أدم وسميث مفهوم الناقلية الكهربائية الضوئية لأول مره عام ١٨٧٧م، وتم تركيب أول خليه شمسيه من مادة السيلينيوم من قبل العالم فريتز عام ١٨٨٣م حيث توقع لها أن تساهم في إنتاج الكهرباء مستقبلاً[١]، وفي عام ١٩٠٥م كان معروفا أن عدد الإلكترونات المنبعثة من العنصر تعتمد علي شدة الضوء في طول موجي معين وأن الحد الأقصى للطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة اختلف باختلاف طول موجة الضوء، ولأول مرة في عام ١٩١٤م أثبت وجود التأثير الفوتوفولتي، وفي عام ١٩٤١م اخترع الأمريكي "روسل أوهل" الخلية الشمسية المصنوعة من السليكون ولكن بكفاءة لا تتجوزا ١%.

وبعد عشر سنوات في عام ١٩٥٠م قام فريق من العلماء بتطوير الخلية حتى وصلت الكفاءة إلي ٦% واستخدمت آنذاك في التطبيقات الفضائية. ومع التحسن في تصميم الجهاز وعمليه التصنيع وفهم النظري أدي ذلك إلي إعطاء السليكون كفاءة ١٤% عام ١٩٥٨م ومن ذلك الحين دخلت العديد من الشركات الإلكترونية الكبرى المجال وبدا إنتاج الخلايا الشمسية، وأول إسهام رئيسي في ١٧ مارس ١٩٥٨م عندما أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية أول سفنها الفضائية وكانت تعمل بالخلايا الشمسية، وفي مايو من نفس العام أطلق الاتحاد السوفيتي سفينة فضاء اكبر وكانت تعمل بالخلايا الشمسية.

وفي عام ١٩٧٠م كان هناك ظهور ملحوظ للخلايا الشمسي واستخداماتها، حيث تعتبر الفترة الهامة للخلايا الكهروضوئيه في عقدي السبعينيات والثمانينات وخاصة بعد تطور علوم التركيب المهجرية الدقيقة لأشباه المواصلات وقد اعتبرت الخلايا الكهروضوئيه حينئذ بأنها إحدى الطرق العلمية الطموحة لتوليد الكهرباء في المصادر المتجددة للطاقة.

وقد ساعد ازدياد الطلب على استخدام مجمعات الخلايا الكهروضوئيه في بعض دول العالم وخاصة مع بداية التسعينات علي تحقيق تطور ملموس في الصناعة والسوق الكهروضوئية حيث انخفضت نسبيا تكلفة إنتاجها إلي عشرات الميجاوات.

[١] أسامة أحمد العاني، **الخلايا الكهروضوئية** ، مجلة العلوم والتقنية العدد ٣٤ ، (ربيع أخر ١٤١٦ه)، اغسطس ١٩٩٥م.

جدول٤-١ التطور التاريخي لانتاج الخلايا.[1]

العام	العالم	التطور للخلايا الكهروضوئيه
١٨١٧م	بريزيليو	تم اكتشاف المادة الأساسية السيليكونيه
١٨٣٩م	باكيريل	أن الضوء الواقع على قطب كهربي مُنْغَمِس في محلول مُوَصِّل قد ينتج تيارًا كهربيًّا.
١٨٧٣م	ويلينتوبي	اكتشف التوصيل الضوئي في السيلكون.
١٨٧٧م	أدم وسميث	تم الوصول إلي مفهوم الناقلة الكهربية الضوئية لأول مره
١٨٨٣م	فريتز	وتم تركيب أول خليه شمسيه من مادة السيلينيوم.
١٨٨٥م	فريتز	حاكي استجابة العين البشرية باستجابة مزدوجة لخلايا السيلكون ومرشحات الألوان.
١٨٨٧م	هرتز	اكتشف إن الضوء فوق البنفسجي حل محل اقل مزج جهد قادر علي إن يجعل الومضة تقفز بين إليكترونين معدنيين.
١٩٠٤م	هالواكس	لاحظ ترابط تراكيب أكسيد النحاس وإنها حساسة للضوء.
١٩٠٥م	فريق من العلماء	كان معروفا أن عدد الإلكترونات المنبعثة من العنصر تعتمد علي شدة الضوء في طول موجي معين وأن الحد الأقصى للطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة اختلف باختلاف طول موجة الضوء.
١٩١٤م		أثبت وجود التأثير الفوتوفولتي.
١٩١٦م	ميليكان	تفسير انبعاث الالكترونات.
١٩٤١م	روسل أوهل	الخلية الشمسية المصنوعة من السليكون ولإلكن بكفاءة لا تتجوزا ١%.
١٩٥٠م	فريق من العلماء	بتطوير الخلية حتى وصلت الكفاءة إلي ٦%.
١٩٥٨م		إلي إعطاء السليكون كفاءة ١٤%.
١٩٧٠م		كان هناك ظهور ملحوظ للخلايا الشمسي واستخداماتها.
١٩٧٣م		نظمت مؤسسه العلوم الوطنية ورشه عمل لتقيم قدره الخلايا الشمسية.
١٩٧٩م		عقد مؤتمر ال٢ في برلين .
١٩٨٥م		تم تصنيع أول خلية بكفاءة أكثر من ٢٠% .
ومنذ ذلك الحين استمر التطور في انتاج الخلايا علي مستوي العالم.		

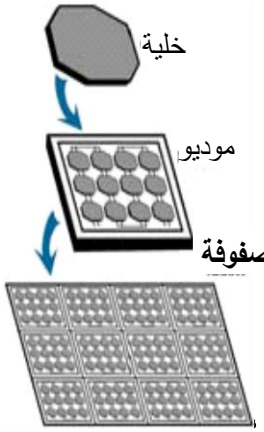
[1] حشمت أمين عامر، **عالم الطاقة الشمسية**، دار الفكر العربي، ١٩٩٠م.

٤-٢ ما هي الخلايا الكهروضوئية:

الكهروضوئية photovoltaic تتكون من كلمتين (photo) وهي كلمة من جذور يونانية بمعني الضوء، و(voltaic) الفولت وهي وحدة تستخدم لقياس الطاقة الكهربية. لذا فأن الكهروضوئية تعني الكهرباء المولدة من ضوء الشمس والتي تحولها الخلايا إلي تيار كهربي مستمر. وتقوم هذه الخلايا بإنتاج الكهرباء في المباني بطريقة نظيفة غير ملوثة للبيئة وغير مزعجة وبدون إشغال حيز داخل المبني.

٤-٢-٢ نظم الخلايا الكهروضوئية:

يتم استخدام الخلايا الكهروضوئية لتحويل الإشعاع الشمسي إلي كهرباء. **وتتكون هذه الخلايا من** : طبقة أو طبقتين من مادة شبة موصلة، عند سقوط الضوء علي الخلية ينتج مجال كهربي خلال هذه الطبقات مما يعمل علي تدفق الكهرباء.



شكل ٤-١ تجميع الخلايا مع بعضها لانتاج الكهرباء
المصدر: مصطفي الخياط ٢٠٠٦م .

وأكثر المواد شبة الموصلة والتي تستخدم في تصنيع الخلايا هي **السليكون** وهذا العنصر موجود في الرمال ولا يوجد قيود لاستخدام السليكون أو توفره كمادة خام، حيث يمثل السليكون ثاني أكثر المواد الخام توفر علي سطح الأرض.[١]

أن أهم جزء في منظومة الخلايا الكهروضوئية هي الخلية ولكن لا يمكن للخلية أن تنتج الطاقة بمفردها ولكن تُصف الخلايا الشمسية مع بعضها البعض في شكل موديولات "Modules" والتي تجمع بدورها في شكل مصفوفات أو وحدات "unit" "Arrays". ولضمان توجيه الخلايا بشكل دائم نحو ضوء الشمس طوال فترة النهار فإنها توضع علي أجهزة تتبع.[٢]

ولا تحتاج نظم الخلايا الكهروضوئية إلي ضوء الشمس المباشر لإنتاج الكهرباء، حيث يمكنها إنتاج الكهرباء في الجو الغائم حيث تعمل علي انعكاس أشعة الشمس الغير مباشرة، ولكن الطاقة المنتجة تكون اقل من الطاقة المنتجة في الأيام الصافية. ومع هذا فعند إسقاط الظلال بشكل مباشر علي خلية واحدة من المديول يقل إنتاج الكهرباء بشكل كبير.

إن الاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة الكهربية هو الحل الأمثل للحصول على طاقة مجانية وغير ضارة للبيئة. إن كمية الطاقة التي تصل إلى الأرض من الشمس في يوم مشرق تقدر

---

[1] EPIA, **Photovoltaic energy electricity from the sun**, European Photovoltaic Industry Association, 2010.Visit. www.epia.org

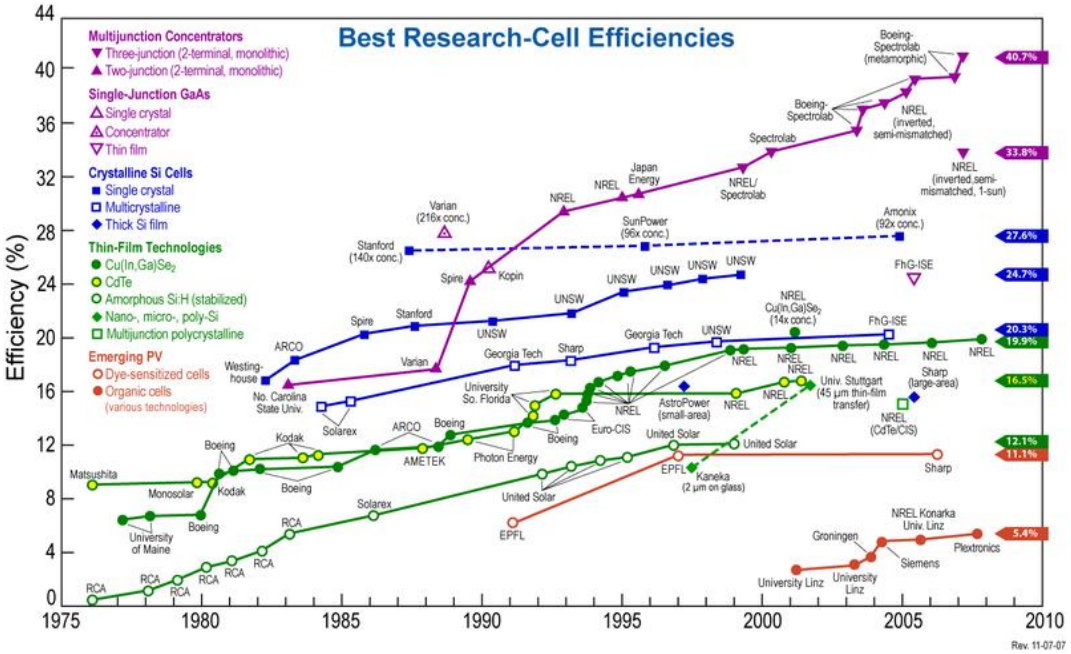
[٢] محمد مصطفي الخياط، **الطاقة (مصادرها– أنواعها– استخداماتها)**، القاهرة، يوليو ٢٠٠٦م. متاح علي: www.nu.edu.sa.doc

ب ١٠٠٠ وات لكل متر مربع وبالتالي لو تم تزويد أسطح منازلنا بمجموعة من الخلايا الكهروضوئية علي سبيل المثال يمكن أن نحصل على طاقة كهربية مجانية كافية لمتطلبات الحياة اليومية.

٤-٣ نظرة عامة علي الأنواع المتاحة من تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية وكفاءتها:

هناك عدة أنواع للخلايا الكهروضوئية تختلف بشكل أساسي في طريقة التصنيع والتقنية المستخدمة فيها ومدي تعقيدها والذي ينعكس علي مقدار كفاءتها شكل(٤-٢). تحدد كفاءة الخلية بمدي قدرتها علي تحويل ما يسقط عليها من ضوء إلي كهرباء والتي تتراوح ما بين ٦ إلي ١٥ % نتيجة لاختلاف طرق التصنيع والمواصفات الفيزيائية للخلية نفسها .ويوثر كفاءة الخلية في إنتاج الكهرباء بصلة مباشرة علي سعر الخلية.[١]

عامة تصنع الخلايا الكهروضوئية إما من السليكون البلوري أو من شرائح من سبائك لمعادن مثل الزينك. وتفضل المادة التي يصنع منها الخلايا علي أساس كفاءة أداء الخلايا في تحول أشعة الشمس إلي كهرباء.



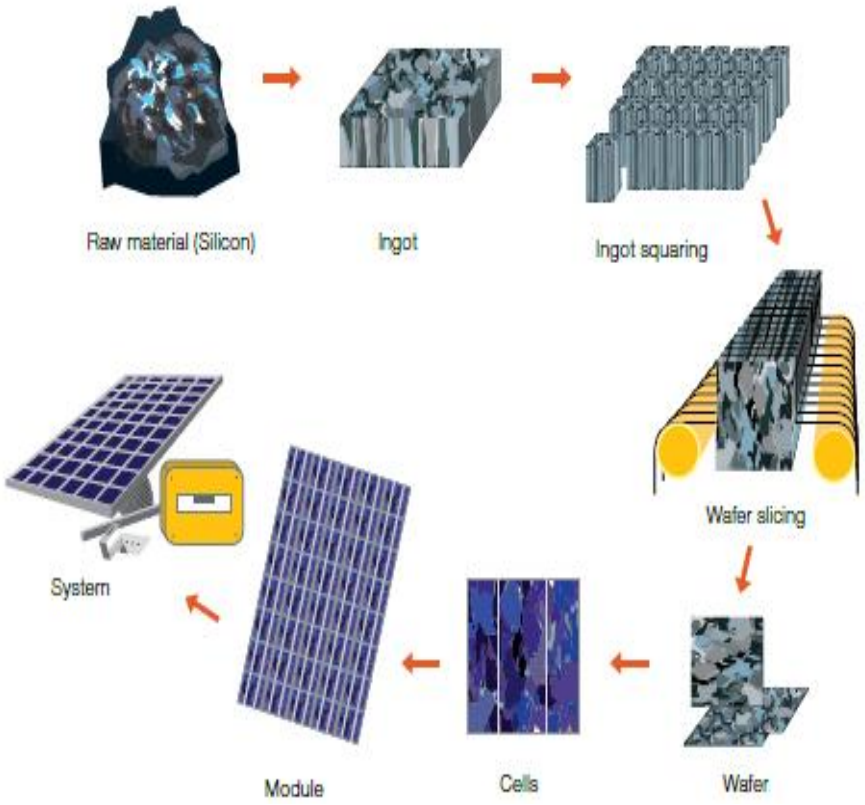
شكل ٤-٢ كفاءة الأنواع المختلفة من الخلايا الشمسية وتطورها منذ عام١٩٧٥ حتي ٢٠١٠م. المصدر:
http://apps1.eere.energy.gov/news/archive.cfm/pubDate

[١] أحمد سلامة محيس، **أنظمة صديقة للبيئة (استخدام الأنظمة الكهروضونية في المباني)**، مجلة عمران ، العدد الخامس، الجامعة الإسلامية بغزة – فلسطين، ٢٠٠٥م.

٤-٣-١ تكنولوجيا السليكون البلوري crystalline silicon

توجد الخلايا السليكونية بثلاث أنواع حيث تصنع خلايا السليكون البلوري شكل(٤-٣)، من إذابة مادة السليكون الخام والتي تأخذ اللون الرمادي عند درجة حرارة ١٤٠٠ درجة مئوية ثم يوضع في سبائك بشكل اسطواني بقطر حوالي ١٥ سم ثم يقطع بصورة شرائح رقيقة بسمك من ٠,٢ إلي ٠,٤ بالنسبة للسليكون أحادي البلورة، أو يوضع السيلكون المنصهر داخل قوالب مستطيلة وخلال عملية التبريد يتم التشكيل بأحجام ومقاسات مختلفة وكذلك التحكم في اللون في حالة السليكون متعدد البلورة.[1]

إما السليكون الغير متبلور يترسب السليكون في عملية مستمرة علي القاعدة حيث يتم دفعه. ثم تغليف الخلية عادة بمادة بوليمر شفاف عازله مع غطاء زجاجي ثم وضعها داخل الإطار المعدني. وتتراوح كفاءة خلايا السليكون ما بين ١٢٪ إلي ١٧٪ وتعتبر هذه التكنولوجيا الأكثر شيوعا في الوقت الحاضر حيث تمثل ٩٠٪.[2]



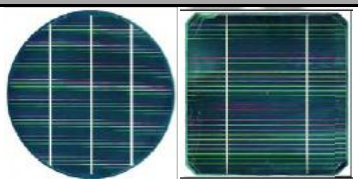
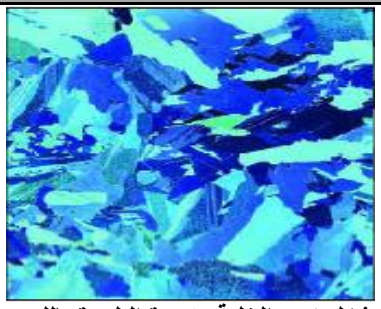
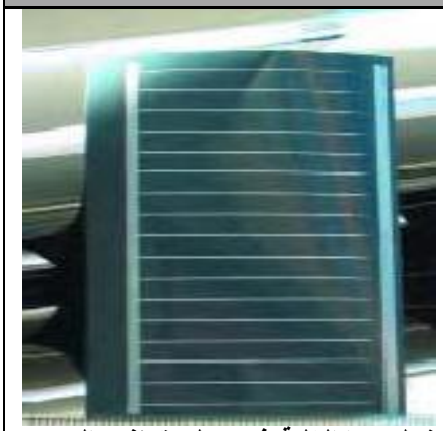
شكل ٤-٣ مراحل تصنيع الخلايا الكهروضوئية من المادة الخام (السليكون) وحتي وحدات انتاج الكهرباء. المصدر: www.epia.org

[1] National Energy Foundation, **Types of Photovoltaic (PV) Cell**, 2011.www.nef.org.uk/renewableenergy/pv

[2] EPIA, **Photovoltaic energy electricity from the sun** , European Photovoltaic Industry Association,2010.Visit www.epia.org

أنواع الخلايا السليكونية:[1]

جدول ٤-٢ أنواع الخلايا الكهروضوئية السليكونية المتاحة الان.

٤-٣-١-١ أحادي البلورة mono crystalline	
وصف الخلية	تأخذ هذه الخلية الشكل المربع أو الدائري وتكون بأبعاد ١٠-١٥ سم
لون الخلية	عادة تتوفر باللون الأسود والأزرق .
كفاءة الخلية	كفاءة توليد الكهرباء حوالي ١٤ ٪ : ١٨ ٪ .
 **شكل ٤-٤ الشكل المربع والدائري للخلية احادية البلورة. المصدر:** The German Energy Society 2008.	
٤-٣-١-٢ متعدد البلورة poly crystalline	
وصف الخلية	تأخذ أشكال مختلفة وجذابة وبأبعاد صغيرة .
لون الخلية	تتميز بتداخل درجات الألوان و في الغالب تأخذ اللون الأزرق .
كفاءة الخلية	كفاءة توليد الطاقة حوالي ١١ ٪ :١٥ ٪.
 **شكل ٤-٥ الخلية متعددة البلورة باللون الازرق. المصدر:** www.nef.org.uk .	
٤-٣-١-٣ غير متبلورة amorphous silicon	
وصف الخلية	تتوفر هذه الخلية بأشكال شفافة بنسبة شفافية حوالي ٥ ٪ : ٧٥ ٪ .
لون الخلية	تتوفر بدرجات الرمادي حسب نسبة الشفافية.
كفاءة الخلية	كفاءة توليد الطاقة حوالي ٤ ٪ :١٠٪ .
 **شكل ٤-٦ الخلية غير متبلورة. نفس المصدر**	

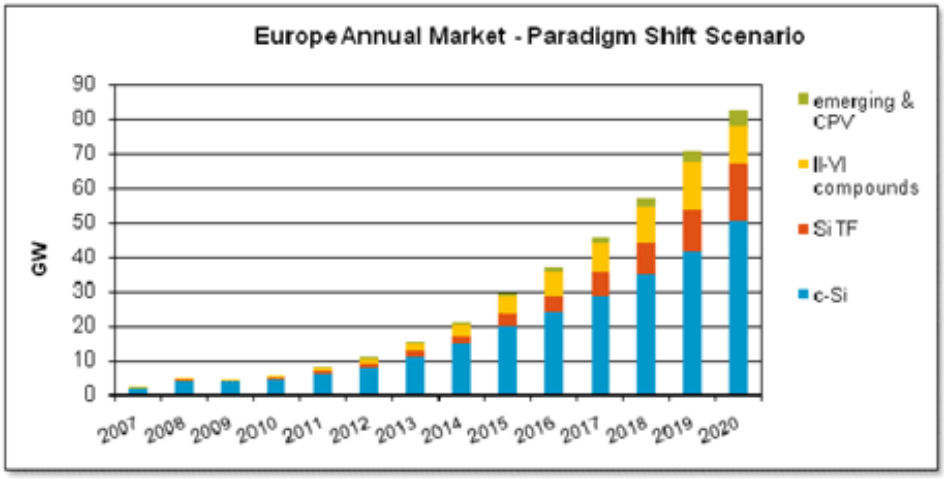
[1] The German Energy Society "**Planning &installing photovoltaic, guide for installers, Architects, and Engineers**" Second edition. (London: Earth scan, sterling, VA), 2008.

٤-٣-٢ تكنولوجيا الشرائح الرقيقة: thin film

تصنع وحدات الشرائح الرقيقة عن طريق إيداع طبقات رقيقة جدا بسمك من (١-٦) ميكرومترات من مواد ضوئية حساسة ذات تكلفة منخفضة ويتم تصنيع الوحدات في صورة مستمرة بدون وصلات مرئية، مثل الزجاج او الاستليس ستيل أو البلاستيك.[١] وتبلغ كفاءتها عادة ١٠-١٣٪ كفاءة، وبمادة تلوريد الكادميوم (CdTe) تصل إلي حوالي ٨ أو ٩٪.[٢] **تتميز هذه الخلايا:**

- أقل في التكلفة ، وأكثر استفادة لضوء الشمس.
- بصغر سمكها ومرونتها وبالتالي يمكن تركيبها علي مختلف الأسطح.
- أمكانية دمجها في المباني التي تقع في الظل حيث إن كفاءتها تقل شيئا يسيرا تحت الظلال.
- لا تتأثر كثيرا بارتفاع درجة الحرارة وبالتالي فلا تحتاج إلي نظم تبريد وتهوية معقدة.
- الوصول إلي تحقيق الشفافية والنفاذية والشكل المتجانس.
- وتتسم بالألوان الداكنة مثل الأسود والبني المحمر.

"وبحلول ٢٠٢٠ يتوقع تكنولوجيا الأفلام الرقيقة thin film لتمثل حوالي ثلث إجمالي السوق الكهروضوئية شكل(٤-٧)، وهذا يشكل تحديا ولكنها في الوقت نفسه يمثل فرصة كبيرة لصناعة الكهروضوئية كله والقطاعات ذات الصلة"، عادل حسين الجمال الأمين العام لEPIA.[٣]



Source: EPIA

شكل ٤-٧ تطور استخدام انواع تكنولوجيا خلايا الاقلام الرقيقة حتي ٢٠٢٠م. المصدر: www.epia.org.

[١] عمرو ممدوح علي يوسف، **دور النظم الفوتوفولتية في دعم التنمية المستدامة في مصر**، مؤتمر التقنية والاستدامة في العمران، جامعه الملك سعود، الرياض، ٢٠١٠م.

[2] National Energy Foundation, **Types of Photovoltaic Cell**, 2011. www.nef.org.uk/renewableenergy/pv.

[٣] المؤتمر الدولي للأفلام الرقيقة EPIA ، في ميونيخ ، ٢٠٠٩م . متاح علي موقع: www.thinfilmconference.org .

٤-٣-٣ أنواع أخري مستقبلية:

حيث مازال البحث لتطوير الخلايا الكهروضوئية مستمر للوصل بها إلي تلبية المتطلبات الوظيفية والجمالية وكذلك التكلفة المناسبة وتحت الظروف المناخية المناسبة ، والتي منها :

٤-٣-٣-١ الخلايا الكهرضوئية المركزة: Concentrated photovoltaic cells

شكل ٤-٨ الخلايا المركزة (المجمعه) للاشعة الشمسية. المصدر: www.epia.org

ابتكر سبكترولاب Spectrolab ما يسمى خلية شمسية مركزة solar concentrator شكل(٤-٨) تحول الطاقة الشمسية إلى كهرباء بكفاءة ٧,٤٠ % وهو يعتبر رقم قياسي عالمي ويبلغ ثمنه نحو ٣ دولار لكل وات وتبلغ كلفة الطاقة الكهربائية التي يقدما من ٨ إلى ١٠ سنت لكل كيلووات ساعي.[١] حيث تقوم الفكرة الرئيسية لهذا النوع من الخلايا علي أساس استخدام مواد كهروضوئية شبة موصلة بأقل قدر من التكاليف وأقصي قدر ممكن من تجميع أشعة الشمس وتركزيها علي الخلايا باستخدام عدسات تجميع متراكبة تكون موديول كامل. كفاءة توليد الكهرباء حوالي ٢٠ ٪ : ٣٠ ٪.[٢]

٤-٣-٣-٢ خلايا النانو: Nano Cells

تم الإعلان عن أول خلية متاحة للاستخدام عام ٢٠٠٦م وهي ذات طبيعية تقنية جديدة تتميز بقلة تكلفتها وإمكانية دمجها في الواجهات الزجاجية لطبيعتها الشبة شفافة. كفاءة توليد الطاقة حوالي ٣٠ ٪.[٣] المستقبل الواعد للخلايا الكهروضوئية هو تصنيعها بتكنولوجيا النانو، ومع التطور فقد تم تصنيع خلايا من البلاستيك بتكنولوجيا النانو بجامعه كاليفورنيا تصل كفاءتها إلي ١,٧٪.[٤]

شكل ٤-٩ استقبال خلايا النانو تكنولوجي للضوء وتحويله الي كهرباء. المصدر www.tahan.com

---

[1] EPIA, **Photovoltaic energy electricity from the sun** , European Photovoltaic Industry Association.، Visit www.epia.org.

[2] Lewis Fraas, **Concentrated Photovoltaic** (CPV) Path to Affordable Solar Electric Power, Southeast Solar Summit, Visit www.epia.org/index.phpf

[٣] عمرو ممدوح علي يوسف ، **دور النظم الفوتوفولتية في دعم التنمية المستدامة في مصر**، مؤتمر التقنية والاستدامة في العمران ، جامعه الملك سعود ، الرياض ، ٢٠١٠م.

[4] Mike Priaulx, Solar Cells and Nanotechnology, part of a larger pamphlet on nanotechnologies circa 2005, University of Wisconsin-Madison. Visit www.tahan.com/charlie/nanosociety/course201/y

٤-٣-٣-٣ الخلايا المرنة: Flexible cells

شكل ٤-١٠ الخلايا المرنة وامكانية لفها كرول. المصدر: www.sunhisolar.com

يتم تصنيعها بطريقة مشابهة لعملية إنتاج خلايا الأقلام الرقيقة حيث تكون المادة الفعالة هي رقيقة البلاستيك، عندها يمكن للخلايا إن تكون مرنة ويمكن لفها علي شكل رول شكل(٤-١٠).

هذا النوع من الخلايا يفتح المجال واسعا لمزيد من التطبيقات وخاصة في مجال التشكيل المعماري (الأسقف، الحوائط.....). كفاءة توليد الطاقة حوالي ١١ ٪:١٨٪.

وقد تمكن مجموعة من الباحثين من جامعة النمسا، وجامعة طوكيو من تصنيع خلية بسمك ١،٩ ميكرومتر سميكة بمرونة عالية جد يمكن لفها علي أصابع اليد.[1]

٤-٣-٣-٤ الخلايا المركبة: Solar cell compound

الخلايا الشمسية المركبة عبارة عن طبقات تتكون من اثنين أو أكثر من العناصر مثل الإنديوم والغاليوم. نظرا لكفاءتها العالية ، وتستخدم الخلايا الشمسية المركبة أساسا على الأقمار الفضائية منذ عام ٢٠٠٠م.

ولزيادة كفاءة الخلايا المركبة صممت من ثلاث طبقات وهي (الطبقة العليا والمتوسطة ، والطبقة السفلية). تقليديا، يتم استخدام (الجرمانيوم) في الطبقة السفلية نظرا لسهولة التصنيع ولكن أخر الأبحاث استخدمت في الطبقة السفلية InGaAs (الإنديوم زرنيخيد الغاليوم)، وهي مادة عالية الكفاءة مع الاستفادة الخفيفة. ولزيادة كفاءة التحويل والتي كانت ٣١.٥ ٪ إلى ٣٥.٨ ٪.[2]

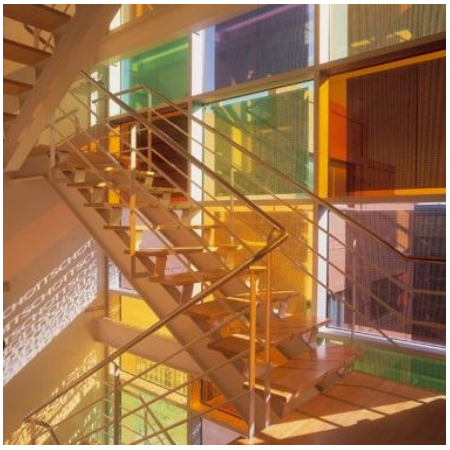
شكل ٤-١١ تطور طبقات الخلايا المركبة ذات الطبقات. المصدر www.itechnews.net .

[1] Researchers create incredibly thin solar, www.engadget.com/2012/04/04/thin-flexible-solar-cells

[2] (Sharp highest solar cell conversion efficiency) www.itechnews.net/2009/10/23/sharps

٤-٣-٣-٥ الخلايا الكهروضوئية الشفافة: Transparent cells

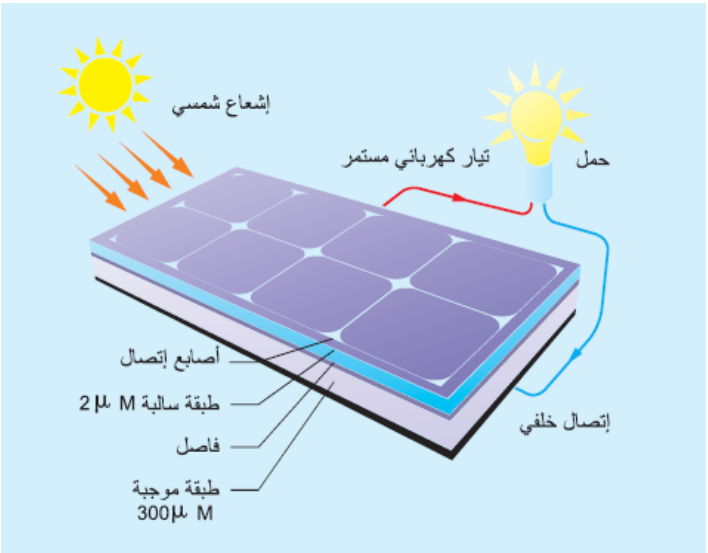
تعتبر عملية تصنيع الزجاج الكهروضوئي الشفاف عملية تصنيع مثيرة جدا للاهتمام وفريدة من نوعها. حيث يتم وضع طبقة رقيقة الكهروضوئية تحت أشعة ليزر يستخدم لإزالة أي مواد انتقائي لتمكين الخلايا من نقل الضوء في حين يمكنها توليد الكهرباء. وتتوفر أيضا كزجاج ملون مما يجعلها مثاليها لأي مكان في أي مبنى أو منزل. ولا يمكن النظر إلي قدرة الخلية علي توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية فقط، بل يمكنها أيضا أن تقلل من الحرارة المشعة عن دخول الحيز. وفقا للمواصفات، فهي كذلك أكثر كفاءة في تقليل اكتساب الحرارة والأشعة فوق البنفسجية من الزجاج العاكس للحرارة (منخفضة E). ويعتبر هذا مكسب كبير للحد من اكتساب الحرارة ويقلل في نهاية المطاف من أحمال تكييف الهواء وبالتالي يقلل من تكاليف الطاقة.[1]



شكل ٤-١٢ مبني اسبانيا.المصدر: Schott Iberica – www.pvdatabase.com

٤-٤ كيفية عمل الخلايا الكهروضوئية:

عندما يسقط الضوء علي الخلية فإنها تمتص بعض من طاقة جزيئات الضوء ، وبالتالي فان كلي جزيئ ضوئي تمتصه الخلية يودي إلي فقد إلكترون سالب مخلفا وراءه فراغا موجب ولتوليد التيار الكهربائي، يتم توصيل الطبقة العلوية السالبة بالطبقة السفلية الموجبة من الخلية وذلك من خلال دائرة كهربية خارجية تسمح بسريان الالكترونات السالبة باتجاه الطبقة الموجبة . وكمية الكهرباء المولدة من خلية واحدة إبعادها حوالي ١٠سم ×١٠سم (يبلغ ٠,٥ فولت و ١-٢ فولت)[2].



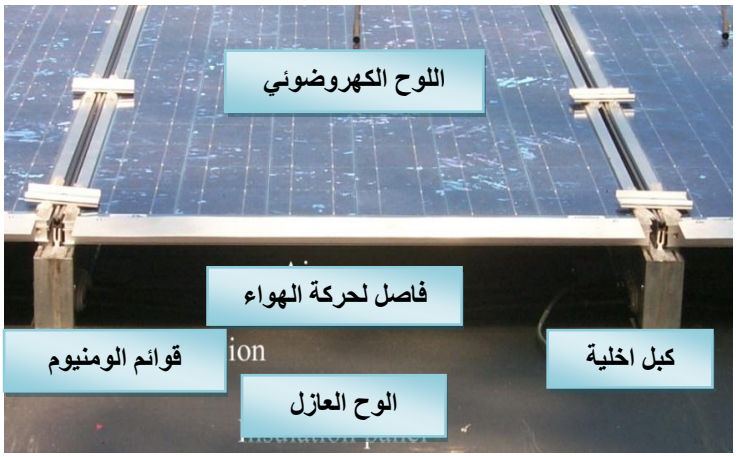
شكل ٤-١٣ كيفية انتاج الخلايا الكهروضوئية للكهرباء. المصدر: مجلة عمران ٢٠٠٦.

[1] (See-Through Photovoltaic Glass), www.neutralexistence.com/blog/see-through-photovoltaic-glass

[٢] احمد سلامة مجيس، **أنظمة صديقة للبيئة (استخدام الأنظمة الكهروضوئية في المباني)**، مجلة عمران ، العدد الخامس، الجامعة الإسلامية بغزة –فلسطين، ٢٠٠٥م.

لذلك يتم ربط عدة خلايا مع بعضها البعض وتجمع تحت طبقة عازلة (غالبا من الزجاج) لتكوين وحدة كهروضوئية والتي تعتبر الجزء الرئيسي في النظام الكهروضوئي.

ويمكن توصيل أي عدد من الوحدات بالأسلاك مع بعضها لتكوين لوحة كهروضوئية والحصول عل كمية اكبر من الطاقة.



شكل ٤-١٤ تركيب وعزل الخلايا الكهروضوئية.
المصدر: www.nef.org.uk **ترجمة الباحثة.**

ونلاحظ أن إذا كان الضوء الساقط علي الخلية اكبر من الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون فان الطاقة الزائدة تتحول الحرارة. إما إذا كانت طاقة الضوء غير كافية فان الإلكترون لا يتحرر ولا يتم توليد الكهرباء.

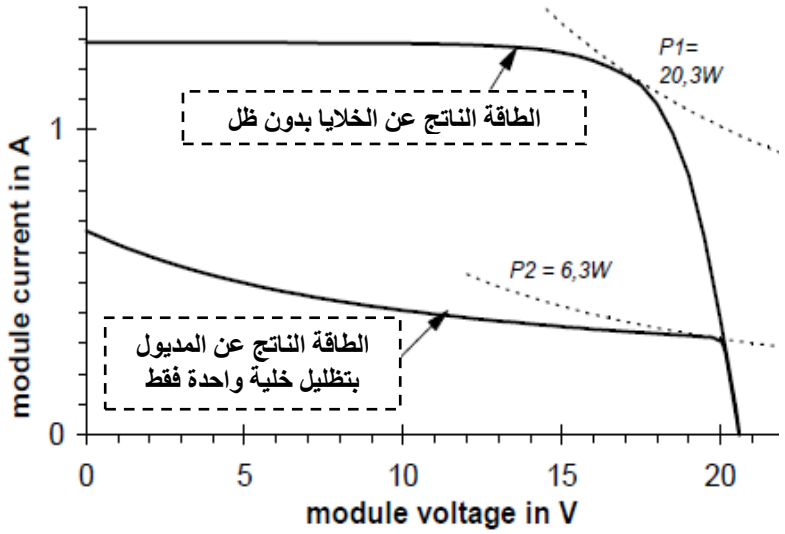
٤-٤-١ العوامل المؤثرة علي كفاءة الخلايا الكهروضوئية:

كفاءة الخلية تتأثر ببعض العوامل الواضحة والتي منها زوايا ميل الخلية بالنسبة للشمس، الاختلافات اليومية والسنوية في الطاقة الشمسية التي تسقط علي الخلية. وهناك عوامل أخري لابد وأن نعطي لها اهتمام مثل:

٤-٤-١-١ الظل:

توثر الظلال بشكل مباشر علي كمية الكهرباء المنتجة، كذلك الأتربة حيث يمكن إن تظلل أجزاء من الخلية مما يؤثر علي كمية الطاقة الشمسية الساقطة عليها. لذلك من الضروري التأكد من أن نظم الخلايا خالية من الظلال حيث يؤثر علي أنتاج الطاقة، ولكن التأثير يكون أقل بالنسبة للخلايا ذات الشرائح الرقيقة. فعند إسقاط الظل علي خلية واحدة داخل الوحدة الكهروضوئية شكل (٤-١٥)، نجد تأثير كبير علي كفاءة الوحدة الكهروضوئية كلها.[1]

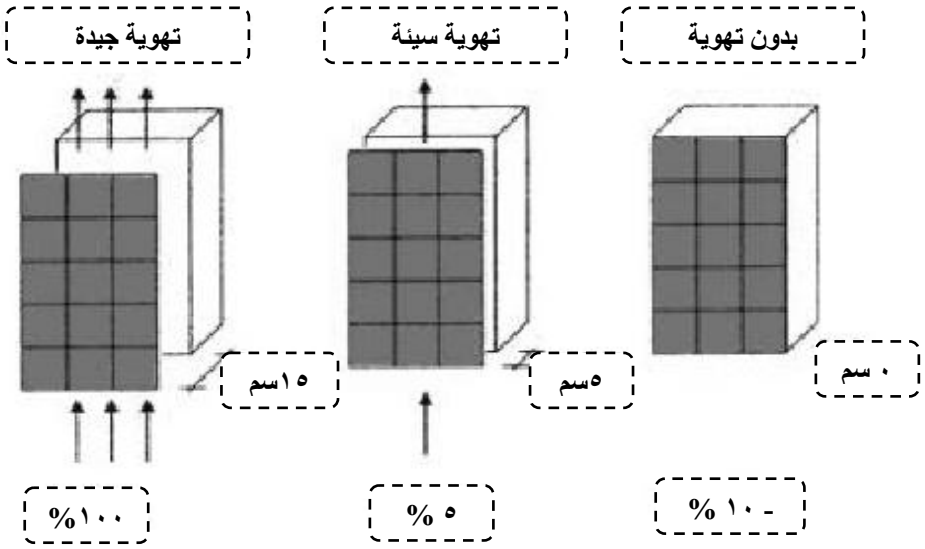
[2] VOLKER QUASCHNING AND ROLF HANITSCH, **SHADE CALCULATIONS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**, ISES Solar World Conference – Harare / Zimbabwe, 1995.



شكل ٤-١٥ يوضح منحني عمل الخلايا بدون ظلال، ومنحني اخري انتاج الطاقة عند تظليل خلية واحدة.المصدر: ISES Solar World Conference 1995 **ترجمة الباحثة.**

٤-٤-١-٢ نظم التبريد والتهوية:

تعتبر نظم التهوية بالنسبة للخلايا المصنوعة من السليكون البلوري مهمة جدا حيث تؤثر نظم التهوية والتبريد بشكل فعال علي الكفاءة الإنتاجية للطاقة شكل(٤-١٦) حيث تتعلق بزيادة درجة الحرارة. ولكن بالنسبة للخلايا الغير متبلورة والخلايا ذات الشرائح الرقيقة فان نظم التهوية لا تمثل أهمية حيث لا تتأثر كفاءة توليد الطاقة بزيادة درجة الحرارة بنسبة كبيرة[1].



شكل٤-١٦ تأثير التهوية وعزل الهواء علي كفاءة الخلايا.ISES Solar World Conference 2007 **ترجمة الباحثة.**

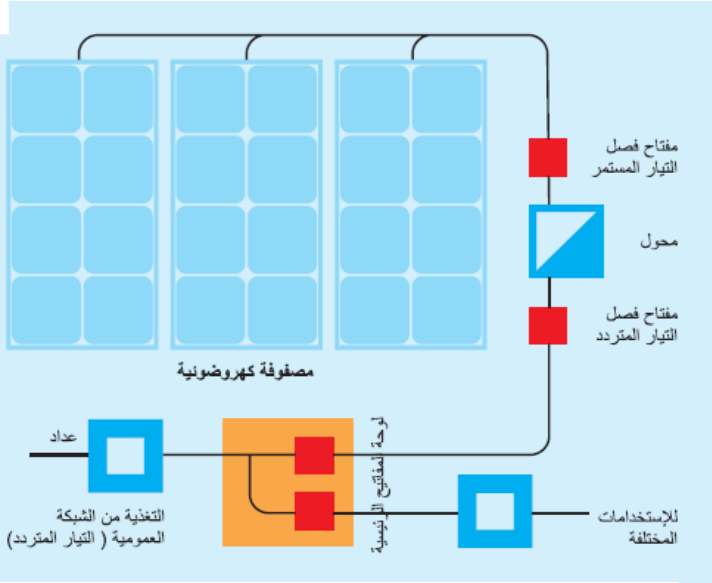
[1]Xuan Xiaodong, Zheng Xianyou, **FACADE DESIGN IN BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS**, Proceedings of ISES Solar World Congress, Solar Energy and Human Settlement, 2007.

٤-٤-٢ منظومة عمل الخلايا وانتاج الطاقة:

يتم استخدام النظم الكهروضوئية والاستفادة منها في الصور الآتية:

٤-٤-٢-١ نظم متصلة بشبكة الكهرباء العامة:

تنتج الوحدة الكهروضوئية كهرباء في المتوسط ما بين ٧٥ : ١٢٠ وات ، وهي أكثر انتشارا في المنازل والإعمال التجارية، حيث إن احتياجات منزل سكني يستهلك ما بين ١,٥ : ٢ كيلو وات إذن نحتاج ما بين ١٢ : ٢٤ وحدة كهروضوئية تغطي مساحة ما بين ١٢: ٤٠ م٢ حسب نوع الخلايا الكهروضوئية والتوجيه للشمس. تولد الخلايا الكهروضوئية في الغالب تيار مستمر بفرق جهد مقداره ١٢ فولت.[١]



شكل ٤-١٧ نظم الخلايا والاتصال بالشبكة العامة للكهرباء. المصدر: مجلة عمران ٢٠٠٦م.

٤-٤-٢-٢ نظم منفصلة:

يستخدم هذا النظام لتوليد الكهرباء في الأماكن البعيدة الغير متصلة بشبكة الكهرباء العامة. مثل محطات المراقبة إنذارات الخطر وأنظمة التحكم، استخدام الخلايا، والبيوت الريفية، إنارة صناديق الهواتف والشوارع. وتستخدم غالبا في هذه الأنظمة بطاريات لتخزين الكهرباء. ومن أشهر الاستخدام المنفصل للخلايا إنارة الشوارع، ويمكن استخدام هذا التطبيق في الأماكن الريفية والتي لا تتوفر بها شبكة، حيث تعتمد هذه الأنظمة علي تخزين الطاقة الناتجة من وحدات الخلايا في بطاريات أثناء النهار واستخدامها ليلا.[٢]

شكل ٤-١٨ استخدام الخلايا كنظم منفصلة لانارة الشوارع.المصدر:
www.ar.wikipedia.org

[١] احمد سلامة مجيس، **أنظمة صديقة للبيئة (استخدام الأنظمة الكهروضوئية في المباني)**، مجلة عمران ، العدد الخامس، الجامعة الإسلامية بغزة –فلسطين، ٢٠٠٥م.

[٢] نشوى يوسف عبد الحافظ، **العلاقة التكاملية بين المباني و الخلايا الفوتوفولتيه**، رسالة ماجستير، كلية الهندسة – جامعة القاهرة، ٢٠٠٦ م.

٤-٤-٢-٣ خلايا مدمجة مع مصادر أخري:

ومن خلال هذه النظم يمكن للخلايا الكهروضوئية أن تعمل مع مصادر أخري لإنتاج الطاقة المتجددة مثل تربينات الرياح و وضخ المياه.[١]

شكل٤-١٩ النظم المدمجة بين الخلايا الكهروضوئية وتربينات الرياح المصدر:. www.ruralelec.org

٤-٥ دور الخلايا في دعم منظومة الاستدامة:

انطلاقا من الخلفية النظرية للنظم والخلايا الكهروضوئية يمكن استكشاف علاقتها بمنظومة الاستدامة ودعمها لها وذلك من خلال تحقيق الخلايا لإستراتيجية التنمية المستدامة:

٤-٥-١ الخلايا الكهروضوئية والتنمية البيئية:

يتم استخدام الخلايا الكهروضوئية لتخفيف العبء علي البيئة وتقليل التلوث. حيث تسعي ألمانيا للاعتماد علي الطاقة الشمسية في إنتاج الكهرباء بنسبة ٢٥% بحلول ٢٠٥٠م.[٢] حيث تشير الدراسات العالمية إلي إن أبحاث تطوير كفاءة الخلايا الكهروضوئية علي التحويل الكهربي مستمر مما يدعم منظومة الحفاظ علي الطاقة.

٤-٥-١-١ الخلايا الكهروضوئية والحفاظ علي الطاقة وحماية النظام البيئي:

ويمكن لهذه الخلايا ضمان استمرارية الإمداد بالطاقة الكهربية لأكثر الأجهزة المنزلية استخدام للطاقة وهو المكيف الهوائي.[٣]

يتم استخدام الخلايا علي نطاق واسع في تشكيل المبني وكذلك يمكن استخدام الخلايا في المناطق المحيطة بالمبني ونظرا لميل الخلايا إلي التوجيه الأمثل وبالتالي ترك مسافات بينهم لمنع إسقاط الظل ،فيمكن استلال المساحة بين وحدات الخلايا كمناطق خضراء يمكن استخدامه للزراعة وكذلك كمزارع لرعي الأغنام كما هو الحال في مزرعة سولار بارك سونين في ألمانيا.[١]

شكل٤-٢٠ مزرعة سولار بارك سونين.
A.Goetzberger- V.U.Hoffmann.2005.

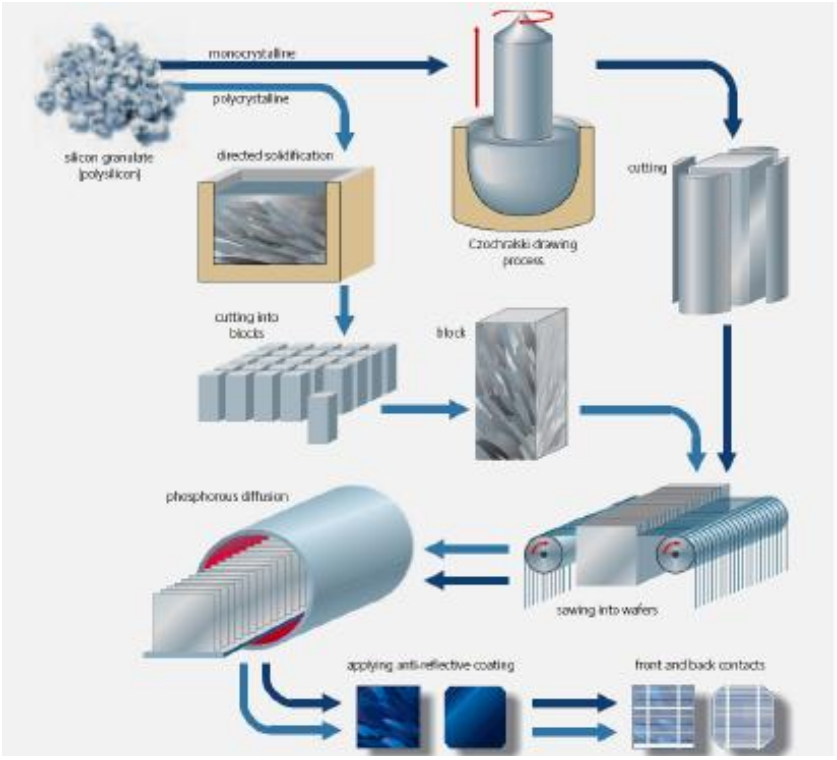
[١] متاح علي موقع: www.ruralelec.org، بتاريخ تصفح : فبراير/٢٠١١م.

[٢] متاح علي موقع www.uoh.edu.sa ، بتاريخ تصفح: يناير/٢٠١١م.

[٣] عمرو ممدوح علي يوسف ، **دور النظم الفوتوفولتية في دعم التنمية المستدامة في مصر**، مؤتمر التقنية والاستدامة في العمران ، جامعه الملك سعود، الرياض، ٢٠١٠م.

٤-٥-١-٢ الخلايا الكهروضوئية والحفاظ علي الموارد الطبيعية:

تعتمد الخلايا في تصنيعها علي السليكون الخام المستخرج من الرمال كما في الشكل التالي شكل(٤-٢١).[٢] كما تتميز الخلايا الكهروضوئية عن باقي تقنيات الطاقة الشمسية بقابلية الفك والتركيب بسهولة وبالتالي تسهل عملية إعادة صياغة الغلاف الخارجي للمبني، حيث يمكن اختيار الشكل المناسب للمباني حسب كمية الطاقة المراد توليدها وكذلك اللون الملائم للبيئة المحيطة، وهناك نظم ذكية حساسة للضوء يمكنها تغير لونها ذاتيا.[٣] كذلك إمكانية إعادة التدوير حيث إن المواد التي تستخدم في عملية تصنيع الخلايا هي (السليكون، الزجاج ...) وكلها مواد يمكن أعادة استخدامها من جديد، وليس هذا مفيد للبيئة فقط وإنما أيضا للحد من كمية الطاقة اللازمة لا نتاج هذه المواد.[٤]



شكل ٤-٢١ انتاج الخلايا الكهروضوئية من السايكون والحافظ علي الموارد الطبيعية.
المصدر:
The German Energy Society 2008..

---

[1] A.Goetzberger– V.U.Hoffmann, Photovoltaic Solar Generation, Springer– Verleg Berlin Heidelberg, Germany, 2005.

[2] Moamen M. ElSoudany, **Solar Energy Applications in Urban Development**, Master in Architecture, .Faculty of Engineering, Mansoura University, 2009

[٣] متاح علي موقع : www.globalmarket.com بتاريخ تصفح: مايو ٢٠٠٩م.

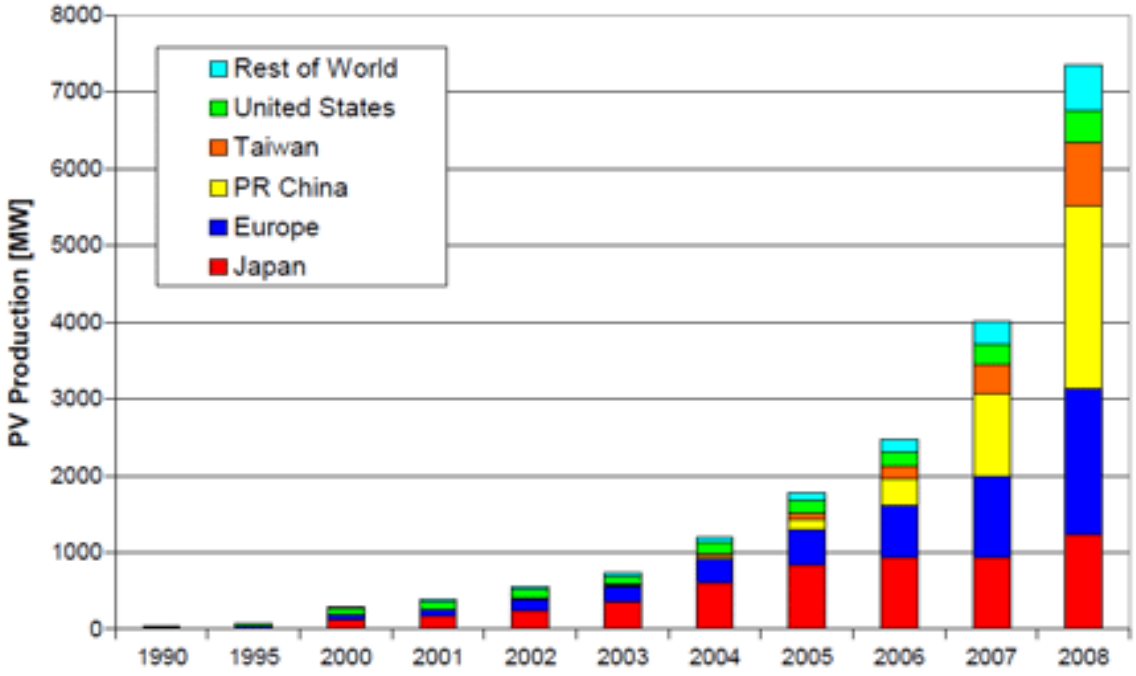
[٤] متاح علي موقع : www.pvcyle.org، تاريخ تصفح: سبتمبر ٢٠١١م.

٤-٥-٢ الخلايا الكهروضوئية والتنمية الاقتصادية:

يعتبر وقود الخلايا الكهروضوئية مجاني حيث تعتبر الشمس المصدر الوحيد الذي تحتاجه الخلايا الكهروضوئية، وسوفي تبقي الشمس تشرق حتى قيام الساعة.[١]

معا ذلك كانت التكلفة النسبية للخلايا من اكبر العوائق لعدم انتشارها ويرجع ارتفاع السعر إلي ارتفاع سعر مادة السليكون النقي نفسها، ولكن ألان ومع تقدم البحث العلمي أصبح سعر الخلايا مناسب إلي حد معقول. وفي ألمانيا علي سبيل المثال تقل تكلفة الوحدات بكثير بسبب تصنيعها النمطي للوحدات والخبرة التقنية.[٢]

وهناك زيادة بشكل كبير في إنتاج النظم الكهروضوئية عالميا، فنجد تضاعف الإنتاج من ٢٠٠٧ إلي ٢٠٠٨ ومازالت النسبة في اتجاه الصعود إلي ألان شكل(٤-٢٢).[٣]



شكل ٤-٢٢ التزايد المستمر لاستخدام الخلايا الكهروضوئية . المصدر www.sustinabilienergyworld.en

[1] EPIA, **Photovoltaic energy electricity from the sun** , European Photovoltaic Industry Association. Visit, www.epia.org

[٢] عمرو ممدوح علي يوسف، **دور النظم الفوتوفولتية في دعم التنمية المستدامة في مصر**، مؤتمر التقنية والاستدامة في العمران .جامعه الملك سعود ،الرياض، ٢٠١٠م.

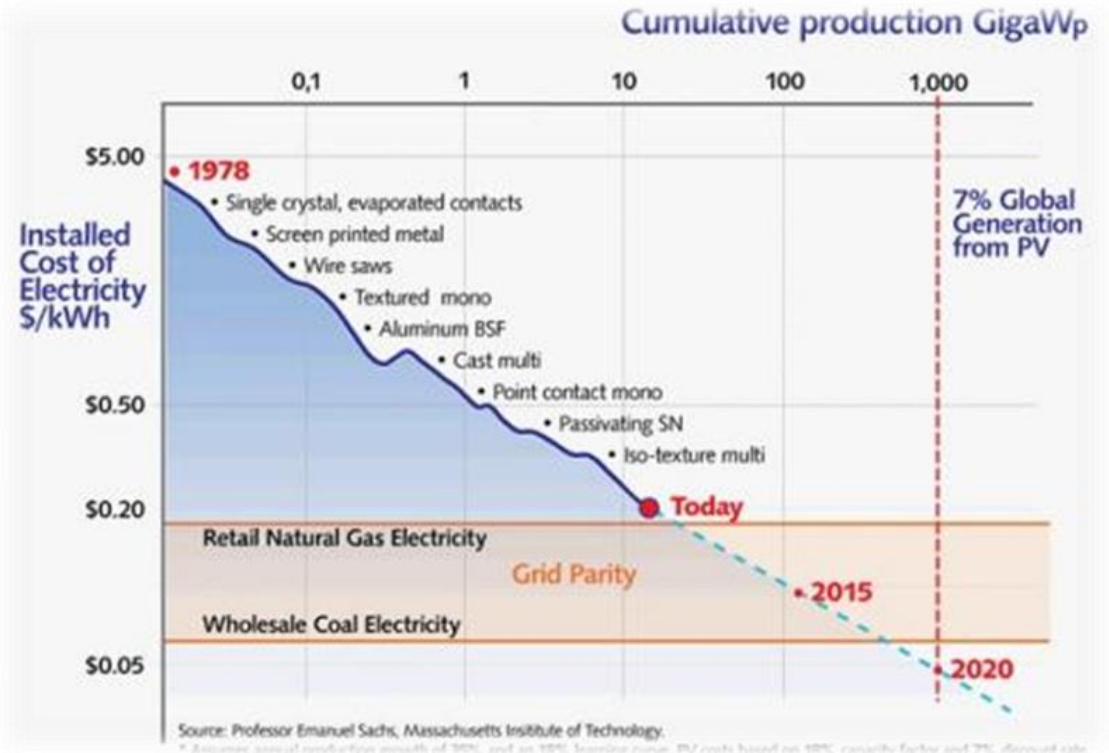
[٣] متاح عل موقع : www.sustinabilienergyworld.en بتاريخ تصفح: مارس ٢٠٠٩م.

٤-٥-٢-١ تكاليف إنتاج الخلايا الكهروضوئية:

تمر أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بنقطة تحول كبيرة في انتشارها و زيادة تداولها على مستوي دول العالم المتقدمة والنامية. وذلك بسبب تقارب تكاليف أنتاج الطاقة الكهربائية من هذه النظم، بتكاليف أنتاجها من المصادر التقليدية.

و نظرا لحالة من التطور التكنولوجيا وشروط التمويل المواتية من الواضح أن الكهروضوئية قد حصلت بالفعل على التكافؤ في أنتاج الطاقة واستمرار تكاليف التركيب والصيانة في الانحدار، وزيادة الخبرة في مجال صناعة. ويساعد في زيادة انتشار النظم الكهروضوئية أيضا ارتفاع أسعار الكهرباء المنتجة من المصادر التقليدية.

وسوف تصبح النظم الكهروضوئية على نحو متزايد من القيمة الاقتصادية طبقا للإحصائيات السابقة منذ ظهورها وحتى الآن شكل(٤-٢٣).[1]



شكل ٤-٢٣ انخفاض تكاليف انتاج الخلايا منذ عام ١٩٧٨ وحتي الان. المصدر:
http://thinkprogress.org/economy/issue

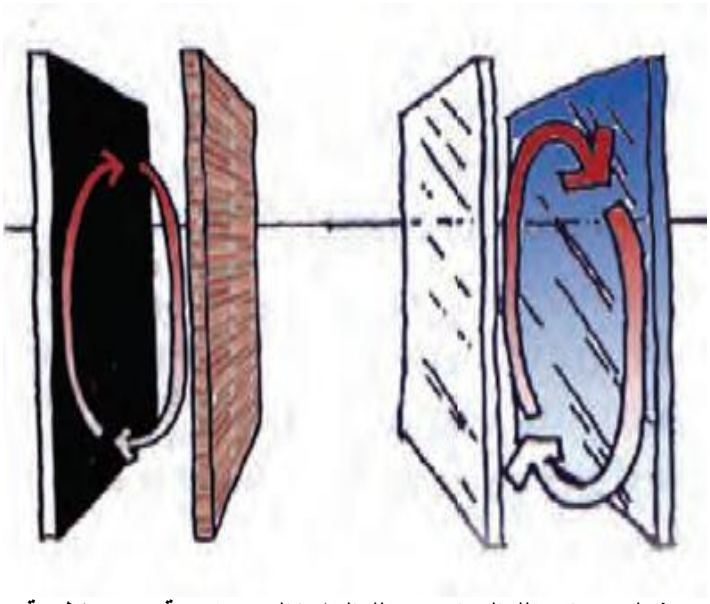
[3] That's the news release for a new journal article, " **A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity** " 2010.

٤-٥-٣ الخلايا الكهروضوئية والتنمية الاجتماعية:

بشكل عام و ايجابي يؤثر استخدام الطاقات المتجددة علي معدلات الصحة، حيث تقلل من الانبعاث الكربوني، حيث أن حرق الوقود الحفري ينتج غاز co2 والتسبب في الدخان وتلوث الهواء والماء والتسبب في حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري إلي غير ذلك من الكوارث البيئية.

علي غير ذلك الخلايا الكهروضوئية فهي تنتج الكهرباء بدون انبعاث أو تلوث حيث أنها لا تحتاج وقود إلا الشمس.[١]

كذلك تساعد علي حركة الهواء مما يعمل علي تحقيق الراحة النفسية لمستخدمين المبني عندما تستخدما في التشكيل وخاصة في الأفنية الداخلية حيث تقلل الخلايا حدة السطوع الشمسي . كما تدعم الخلايا منظومة الراحة الحرارية حيث تمثل قشرة خارجية تاركة مسافة فاصلة بينها وبين المبني حيث يتخلل هذه المسافة الهواء الذي يرفع من مقاومة القشر الخارجية وزيادة التخلف الزمني لانتقال الحرارة إلي الفراغ الداخلي شكل(٤-٢٤). كذلك يمكن استخدام الخلايا ككاسرات شمسية.[٢]



شكل ٤-٢٤ تخلل الهواء من خلل الخلايا الكهروضوئية ودعم منظومة الراحة الحرارية. المصدر: Edward Allin 2005

٤-٦ تطبيقات الخلايا الكهروضوئية في العمارة والعمران:[٣]

يتم استخدام الخلايا الكهروضوئية ألان بشكل واسع في مختلف التطبيقات. وتتنوع هذه التطبيقات حسب أنواع المستخدمين وحاجتهم للحصول على الطاقة. ويمكن تقسيم هذه التطبيقات في ثلاث نقاط رئيسية وهي:

---

[1] EPIA, **Photovoltaic Energy Electricity from the Sun** , European Photovoltaic Industry Association. Visit ، www.epia.org .

[2]Edward Allin, How building Work – The National Order of Architectural, Oxford University Press, UK, 2005.

[٣]متاح علي موقع:www.prometheus.org/photos ، بتاريخ تصفح: فبراير/ ٢٠٠٩م.

٤-٦-١ استخدام الخلايا الكهروضوئية في التخطيط العمراني:

مع التزاحم الحالي علي المدن القائمة والمشكلات الناتجة عن التزاحم والتلوث علينا التوجه إلي إنشاء مدن جديدة تحقق للتنمية المستدامة كمدينة مصدر علي سبيل المثال وتعتبر الخلايا الكهروضوئية دافعا قوي للمدن الجديدة وينبغي مراعاة اختيار مواقع محطات الخلايا الكهروضوئية وعلاقتها بالمناطق المجاورة. وتعتبر المدن الجديد و القرى في مصر من انسب البيئات الملائمة لتنشيط الخلايا الكهروضوئية بها حيث تعاني هذه المناطق من عدم وصول الشبكات المحلية للكهرباء إليها. ويمكن تلخيص إمكانية تطبيق الخلايا في في العمران إلي: [١]

- استخدام الخلايا الكهروضوئية في مد المشاريع الكبيرة بالطاقة اللازمة شكل(٤-٢٥)، شكل(٤-٢٦).
- المساهمة في استدامة الحضارة العالمية عن طريق توفير طاقة نظيفة وفيرة في كل مكان تشرق فيه الشمس (٤-٢٧).
- استغلال المناطق الفضاء بعمل مزارع الخلايا الكهروضوئية شكل(٤-٢٨).

شكل ٤-٢٥ محطات امدادات الطاقة باستخدام الطاقة الشمسية بمدينة مصدر. www.masdar.ae

شكل ٤-٢٦ محطات توليد الطاقة الكهروضوئية أوستن، تكساس.المصدر: www.prometheus.org/photos

شكل ٤-٢٧ محطة مركزية كهروضوئية متصلة بالشبكة. المصدر السابق.

شكل ٤-٢٨ حديقة بافاريا كاليفورنيا. المصدر السابق.

[١] متاح علي موقع:www.prometheus.org/photos ، بتاريخ تصفح: فبراير/ ٢٠٠٩م.

٤-٦-٢ استخدام الشبكة الكهروضوئية في المناطق التي لا تصل الشبكة إليها:

من أكثر التطبيقات انتشار استخدام الخلايا الكهروضوئية لإنتاج الطاقة الكهربائية للمناطق النائية التي لاتصل إليها الشبكة المحلية للكهرباء. حيث يعد الإمداد بالطاقة أحد معوقات التنمية لتلك المناطق، وباستخدام الخلايا الكهروضوئية نقلل من تكلفة البنية التحتية الخاصة بشبكة الكهرباء[١]. وذلك لتسير جميع مناحي الحياة مثل:

- استخدام الخلايا في المنازل الريفية بتوفير الإضاءة في ساعات الظلام شكل(٤-٢٩).
- ضخ المياه بواسطة مضخات كهربائية تعمل بالألواح الكهروضوئية شكل(٤-٣٠).
- تشغيل أجهزة الاتصالات السلكية واللاسلكية البعيدة أرخص وأكثر ثقة شكل(٤-٣١).
- مرونة الألواح الكهروضوئية في توليد الكهرباء إثناء الرحلات شكل(٤-٣٢).

شكل ٤-٢٩ استخدام الخلايا الكهروضوئية في المنازل الريفية بالهند المصدر: www.prometheus.org/photos .

شكل ٤-٣٠ ضخ المياة بالخلايا الكهروضوئية. المصدر السابق..

شكل ٤-٣١ تشغيل المحظات اللاسلكية. المصدر السابق.

شكل ٤-٣٢ خيمة تعمل بالخلايا الكهروضوئية. المصدر السابق

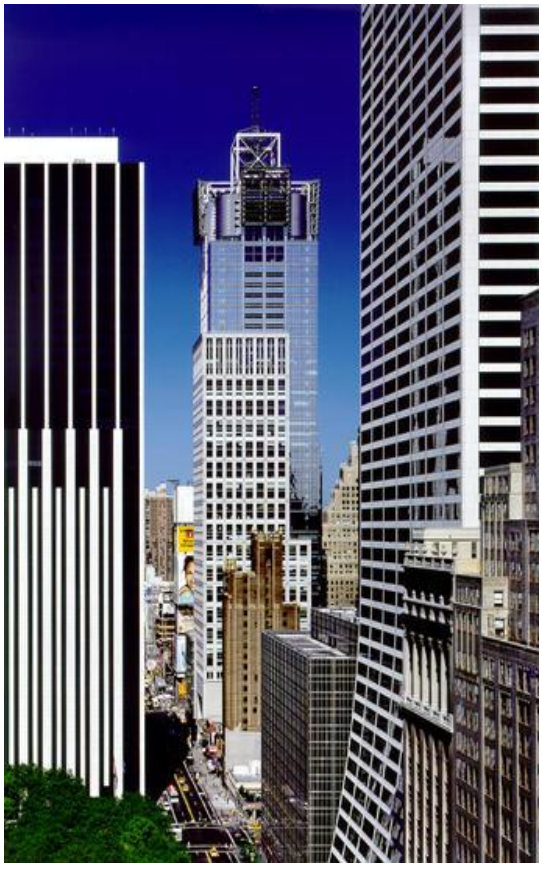
[١] عمرو ممدوح علي يوسف، **دور النظم الفوتوفولتية في دعم التنمية المستدامة في مصر**، مؤتمر التقنية والاستدامة في العمران، جامعه الملك سعود، الرياض، ٢٠١٠م.

٤-٦-٣ استخدام الخلايا الكهروضوئية في تشكيل المباني والتكامل معها:

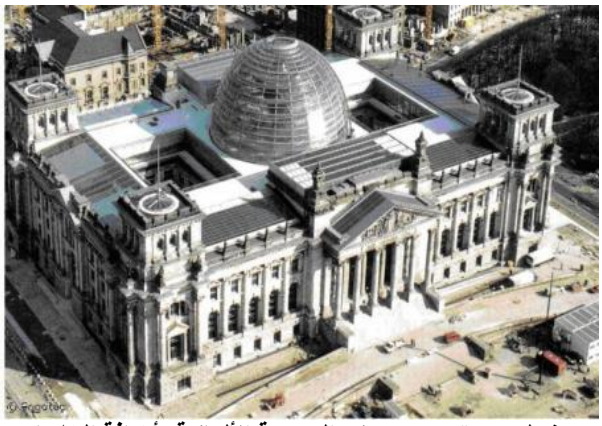
إذا تمكنا من استبدال الطاقة التقليدية لإنتاج الطاقة الكهربائية بالطاقة الشمسية في قطاع المباني كما وضحنا سابقا فيمكننا بذلك توفير قدر هائل من الطاقة واستخدامه في مجال الصناعة والزراعة لدفع عجلة التنمية المستدامة إلي الأمام. حيث يمكن للخلايا الكهروضوئية المساهمة بنسبة ١٠٠% من الطاقة الكهربائية التي يحتاج إليها المبني.[١]

وذلك من خلال:

- قدرة الخلايا علي توفير الطاقة التي يحتاج إليها المبني بشكل نظيف شكل(٤-٣٣).
- مرونة تشكيل الخلايا الكهروضوئية عند إضافتها للمباني القديمة شكل(٤-٣٤).
- استخدام الخلايا في تشكيل المبني والقدرة علي تغطية مساحات كبيرة شكل(٤-٣٥).[٢]



شكل ٤-٣٣ مبني كوندي ناست، مانهاتن، مثال للكفاءة في الطاقة وتكامل الألواح الكهروضوئية مع المبني. المصدر: www.pvdatabase.com



شكل ٤-٣٤ تجديد مبنى الحكومة الألمانية بأضافة الخلايا الكهروضوئية. المصدر السابق.

شكل ٤-٣٥ قدرة الخلايا لتشغيل نظام متكامل للسقف مباني احد الشركات. المصدر السابق.

[١] سوميه طه أبو الفضل، **استخدام الطاقة الشمسية في العمارة وتخطيط المدن**، المؤتمر المعماري الدولي الخامس- العمران والبيئة، كلية الهندسة- جامعة أسيوط، أبريل ٢٠٠٣م.

[٢] متاح علي موقع: www.prometheus.org/photos ، بتاريخ تصفح: فبراير/ ٢٠٠٩م.

ملخص الفصل الرابع:

بعد اكتمال الدراسة النظرية التابعة للمنهج الاستقرائي وتبدأ الدراسة التحليلية فبعد التدرج في استخدام الطاقات المتجددة لتحقيق التنمية المستدامة في قطاع المباني، ثم استدامة التشكيل المعماري من خلال استخدام الطاقة الشمسية وتحقيق إستراتيجية التنمية المستدامة. يأتي هذا الفصل بالتعريف أولا بالخلايا الكهروضوئية ونبذة نظرية عنها. والتعرض لكيفية عملها وأنواعها المتاحة وكفاءة كلا منها حتي الآن وكذلك الانواع المستقبلية، ومنظومة عملها لإنتاج الطاقة الكهربائية.

وبعرض دورها في دعم إستراتيجية التنمية المستدامة تصبح الخلايا صالحه لاستخدامها في التشكيل المعماري المستدام.