جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعه بابل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

الخلايا الشمسية وآلية تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية

بحث مقدم الى كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة بابل
وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في

قسم الفيزياء

اعداد الطالبة

مريم اسعد عبد الهادي عباس

باشراف

م.م غفران هادي سعود

٢٠٢٦ م ١٤٤٧هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

(سُبْحَانَكَ لا عِلْمَ لَنَا إِلا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أنت الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ)

صدق الله العلي العظيم

سورة البقرة

الأية ٣٢

حديث نبوي شريف

(إِنما الأعمال بالنيات وإِنما لكل أمرئ ما نوى)

صحيح البخاري

الإهـــداء

إلى الذي جمع الإنسانية على كلمة سواء ....

إلى الذي لم يفرق بين الناس بسبب الجنس أو اللغة أو القومية ....

إلى الذي أبدل الضلالة هدى والظلام نوراً .....

فكان هادياً ونوراً مبيناً .....

إلى الذي أرسل رحمة للعالمين .....

أليك يا رسول الله يا معلم الإنسانية الأول .....

اهدي هذا الجهد المتواضع .....

سائلاً القبول راجياً الشفاعة .....

الباحـــث

شكر وتقدير

بكل احترام وتقدير يسرنا ان نرفع اصدق واخلص كلمات الشكر والعرفان الى الاستاذة (م.م غفران هادي سعود) التي كانت عونا لنا بعد الله في انجاح مشروع التخرج هذا والحصول على شهادة البكالوريوس في كلية التربية للعلوم الصرفة سائلين الله عز وجل ان يحفظها ويسدد خطاها وان يتفضل عليها بالخير والرحمة.

الموضوع	الصفحة
الآية القرآنية	أ
الاهداء	ب
الشكر والتقدير	ت
المحتويات	ث
الفصل الاول: المقدمة	٣
الاشعاع الشمسي	٤
الدراسات السابقة	٧-٥
الفصل الثاني: الطيف الشمسي	٩
العوامل المؤثرة في توزيع الاشعاع الشمسي	١١-١٠
الألواح الشمسية	١١
الخلية الشمسية	١٣-١٢
اشكال الخلايا الشمسية	١٣
أنواع الخلايا الشمسية	١٥-١٤
الخلايا الشمسية العضوية	١٦-١٥
صناعة الخلايا الشمسية	١٨-١٦
مكونات الخلايا الشمسية	١٩-١٨
طريقة عمل الخلية الشمسية	٢٠-١٩
أجيال الخلايا الشمسية	٢١-٢٠
العوامل المؤثرة في كفاءة الخلية الشمسية	٢٧-٢٢
الفصل الثالث: تطبيقات الطاقة الشمسية	٣٠-٢٩
الخواص البصرية للسيلكون	٣١-٣٠
كفاءة تحويل الخلايا الشمسية	٣٢-٣١
تأثير العوامل المناخية على الخلية الشمسية الفوتوفولتية	٣٥-٣٣
حساب منظومة الخلايا الشمسية	٣٧-٣٥
النتائج والمقترحات	٣٩-٣٨
المصادر	٤٢-٤٠

الخلاصة:

تتمثل الطاقة الشمسية في ضوء الشمس المشع وحرارتها العالية التي يتم استغلالها الان باستخدام مجموعة من التقنيات المتطورة في أغراض التدفئة الشمسية والضوئيّة وتطبيقات الطاقة الحرارية والهندسة الشمسية وكذلك في محطات الطاقة المالحة المنصهرة وفي عمليات التمثيل الضوئي الاصطناعي ، ان الشمس مصدر مهم للطاقة المتجددة وتتميز تقنياتها على نطاق واسع بانها اما طاقة سلبية او نشطة اعتمادا على كيفية استخدام تلك الطاقة وتوزيعاتها او تحويلها الى طاقة أخرى وتشمل التقنيات الشمسية النشطة العديد من التطبيقات المعاصرة .

تسمى الخلايا الشمسية العضوية او الخلايا الشمسية البلاستيكية هي خلايا كهروضوئية نموذجية تصنع من الالكترونات العضوية وهي جزيئات عضوية صغيرة أو بوليمرات عضوية ناقلة تقوم بإنتاج الطاقة الكهربائية من الضوء بالأثر الكهروضوئي واغلب الخلايا الشمسية العضوية هي خلايا بوليمرية.

وللمود العضوية دور كبير في صنع الخلايا الشمسية التي تولد الكهرباء عن طريق خزن الطاقة الشمسية حيث توجد أنواع عدة من الخلايا الشمسية وتوجد الخلايا على فئات متعددة وقدرات مختلفة.

يناقش هذا البحث تطبيقات استخدام الخلايا الشمسية والتي تعتبر إضافة الى دورها الرئيسي في انتاج الطاقة الكهربائية ، وتطبيقه على المباني السكنية. يتم تحديد عدد من العوامل والاعتبارات بالقلق من تصميم الخلايا الضوئية

الفصل الأول

١.١ المقدمـــــــــــة Introduction :

تعد الشمس منذ القدم مصدرا مهما واساسيا للطاقة على سطح الأرض، وقد تطوراستخدام الطاقة الشمسية عبر العصور بتطور العلوم والتكنولوجيا، فبعد ان استخدمها الانسان للتدفئة والتجفيف، استغلها لتسخين الماء اعتمادا على مبدأ "التحويل الاشعاعي – الحراري" باستعمال اللاقط الشمسي، ثم تحولت وتطورت لانتاج الطاقة الكهربائية وذلك بالاعتماد على مبدأ "التحويل الاشعاعي – الالكتروني " باستعمال المولدات الشمسية الفولت ضوئية.

ان اهم الأجهزة التي صنعت لاستغلال الطاقة الشمسية هي الخلايا الشمسية التي تمتاز بسهولة تركيبها في أماكن استخدمها، وانها ذات طاقة متجددة ومستديمة ونظيفه وان تقنياتها معروفة وليست معقدة، ويمكن تطوريها واستخدامها لتطوير التقنيات الأخرى. وان استخدامها سوف يهيئ ويزيد من فرص عمل واسعة وان مستلزماتها الماديه والبيئية متوافرة بشكل كبير، وهي ربما تحتاج الى رأس مال كبير في البداية، ولكنها لا تحتاج الى المواد الأولية لتوافرها في الطبيعة، كما انها لا تحتاج الى صيانه مستمرة .

لكن على الرغم من هذه المميزات لا تزال كلفتها باهضة الثمن مقارنه بالطاقة الكهربائية التقليدية. لهذا ما الجهود العلمية والتقنية الكبيرة التي تبذل في جميع انحاء العالم، اذ تسعى العديد من المختبرات البحث المختصة في هذا المجال الى تحسين هذه المولدات(الخليه والوحدات الفولت ضوئية) من حيث التحول الطاقي من ناحيه، والى الحد من كلفتها من ناحيه اخرى.

والجدير بالذكر ان الخلايا الشمسية تطورت في بادئ الامر من اجل التطبيقات الفضائية، اذ كانت تزود كذلك الأقمار الصناعية بالطاقة الكهربائية بالاعتماد على التحويل الفولت ضوئية .

٢.١ الاشعاع الشمسي solar Radiation :

يعد الاشعاع الشمسي مصدر الطاقه الرئيسية في الغلاف الجوي، اذ يسهم بأكثر من (٩٩,٩٨٪) من الطاقة التي تم استغلالها على سطح الأرض و بالغلاف الجوي . أما بقيه المصادر من الطاقة المتمثله بطاقة باطن الأرض وطاقه المد والجزر والنجوم فأنها لا تسهم الا بقسط ضئيل جدا.

ان الطاقة الشمسية هي المسؤولة عن كل العمليات التي يتم حدوثها في الغلاف الجوي كالاضطرابات الجويه والرياح والسحب والامطار والبرق والرعد وغيرها، وانها السبب الرئيسي في حركة الغلاف الجوي المستمرة وحالات الطقس، وكما ان الاختلافات الرئيسية التي تحدث بين مكان واخرهي في توافر طاقة الشمس. والشمس هي كتله غازية ملتهبة تكبر عن الأرض بمئة مرة من ناحية القطر وان حجمها يعادل تقريباً حجم الأرض بمليون مرة وتقدر درجة الحرارة لسطح الشمس بنحو (٦٠٠٠) كلفن، وتبلغ حرارة المركز بقيمة اكثر من (٢٠) مليون كلفن .

ونظراً الى ان المدار الأرضي شبه دائري، فأن انحرافه المركزي لا يتعدى (٠,٠١٦٧٥)، لذا فإنه لا يلاحظ سوى تغير سهل المسافة بين الأرض والشمس بنسبة لا تفوق (١,٦٥%)، وتكون هذه المسافة في حدها الأدنى في أوائل شهر كانون الثاني وفي حدها الأقصى في أوائل شهر تموز.

ما وينتج من خلال اقتراب الكره الارضية وابتعادها عن الشمس تغير في القطر الزاوي من (٣١;٢٥) الى (٣٢;٣٠) مما يؤدي الى تغير يسير في شدة الإضاءة المرسلة من الشمس يقدر بنحو (٣,٣٪) أي ضعف النسبة المسجلة على المسافة. وتبلغ هذه النسبة أقصاها في الشتاء كما تتغير شدة الإضاءة بين " مدد الشمس الهادئة" ومدد ظهور" الكلف الشمسية الكبرى" بنسبة لا تتجاوز(٤٪) .

٣,١ الدراسات السابقة:

ان موضوع تحسين كفاءة الخلايا الشمسية أخذ حيزا كبيرا من الدراسة لك هو الشمس في السنة الطاقات الشمسية من غيرها فقد:

على زيادة الكفاءة للخلايا (٢٠٠٠). في S.A.Hammillعمل الشمسية، حيث قام بتقليل الانعكاس الضوئي من سطح الخلية الضوئية وكان تقليل الانعكاسية بنسبة(٨١٪) وزيادة امتصاص الضوء في الخلية، وتقليل الخسارة الضائعة في شبكة القطب العلوي المعدنية نتيجة استخدام تصاميم جديدة للشبكة مثل الهرمية وغير منتظمة.

بعمل خلية شمسية (٢٠٠٦) في Murad M.S. قامت سليكونية أحادية التبلور، حيث قامت بإضافة طيات للسطح حيث حققت زيادة في كفرات الخلية بعد إضافة الطيارات سطح من (٤١٪) الى (٥,٥٪) .

صنع R.shyu et al في (٢٠٠٦) منظومة عدسات تعمل عمل مركزات شمسية معتمدا على نسبة المظهر حيث استخدم نسبة مظهر عالية.

طور c. wuggiero في (٢٠٠٧) سطح الخلايا الشمسية السلكونية ذات شبه دائري أو قطع المكافئ مع عامل المظهر للسطح وتتبع مسار الضوء بصورة مائلة ومرة أخرى بصورة متوازية للأخاديد مستخدما برنامج zemax .

قام M.Geetha في (٢٠٠٨) بتحسين الخلايا الشمسية ودراسة نماذج من الأخاديد للخلايا الشمسية مع أكثر من قيمة لعامل المظهر لتحسين الكفاءة مستخدماً برنامج zemax .

قام A.Hamdani في (٢٠٠٨) بتصميم مركز حوضي وبنائه، وهو ذو نوع ثنائي المرايا وقام بدراسة تاثيره، على المعلمات لتقييم أداء خلية شمسية لمادة سيليكون في حالتين مرة وجود نظام تبريد ومرة بدون وجود نظام تبريد، حيث وجد أن كفاءة أداء الخليج السلك قد ازت من (١١,٩٤٪) الى (١٥,٤٦٪) عند عدم وجود نظام تبريد، أما عند وجود نظام تبريد ازدادت من (١٣,٣٪) الى (١٦,٤٠٪) . وكذلك دراسة تجميع بين أنواع مختلفة من

عدسات فرينل مع هذا المركز على أداء الخلايا الشمسية حيث حصل على أفضل كفاءة أداء لل خلية (٢٤٪) من دون وجود نظام تبريد وعلى أفضل كفاءة أداء (٢٦,٦٪) بوجود نظام تبريد.

قامت Y.Zaidan في (٢٠٠٩) بتصنيع خلية شمسية ذات تراكيب نانوية من الخلية الشمسية الاعتيادية، تم إنجاز طبقة من السيليكون المسامي من شرائح السيليكون

(P-n) في حامض الهايدرفلوريك بتوظيف عمليتي التنميش الكهروكيمائي والكهروكيميائي الضوئي ، وتم دراسة الخصائص الكهربائيةلل الخلية الشمسية السلكونية النانوية المحضرة. ان افضل الخصائص الكهربائية (اقل مقاومية واعلى تيار مار خلال الخلية) .

قام Jason H.Karp,Eric J.Tremblay and Joseph E.Ford في (٢٠١٠) بتطوير نموذج مركزات شمسية مع دليل موجة لتحسين كفاءة الخلية الشمسية عن طريق استخدام مصفوفة عدسات (محدبة-مستوية) [١].

صمم (A.Bader) في (٢٠١٣) مركزات شمسية تحتوي على مصفوفة عدسات رقيقة ودليل موجة لتحسين كفاءة الخلايا الشمسية .

اثبت H. Atwator في (٢٠١٤) بروفيسور الفيزياء التطبيقية وعلوم المواد في جامعة (هوارد هيوز)، بأن السيليكون يمكنه ان يمتص جزءا معينا فقط من الطيف الضوئي، والاطوال الموجية الباقية سوف تمر عبره مباشرة وكأنما هو مادة شفافة، كذلك وجد انه لو تم وضع وحدة ألواح شمسية بسيطة على أي سطح منزلي، فإن السيليكون سوف يمتص جزءا فقط من الطيف، اما باقي الطيف الضوئي فلا يتحول الى طاقة كهربائية، وانما سوف يؤدي الى تسخين سطح المنزل فقط .

درس S. Lindner في (٢٠١٥) خواص السيلكون النقية وغير النقية وفائدة تشويب السيليكون في الخلايا الشمسية [٢] .

---

[١] مريم ازهر علي .(٢٠١٦).
تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات أخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيمكس.رسالة ماجستير،كلية التربية للعلوم الصرفة -ابن الهيثم ، جامعة بغداد، ٢٠١٦.

[٢] إبراهيم عبد الرءوف . (٢٠١٣) ، الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة،دراسة تحليلية وتطبيقية على الطاقة الشمسية في مصر، مجلة البحوث القانونية والاقتصادية، العدد ٥٤ ، أكتوبر، ص ١١٦٠.

وفي دراسة كل من (Lanwar, et al .,٢٠١١) و (Owusu, et al., ٢٠١٦) عن علاقة الطاقة المتجددة بالتنمية المستدامة والبيئة قيل ان من مزايا الطاقة المتجددة أنها ترتبط في علاقة مباشرة بالتنمية المستدامة وذلك من خلال أنها تستطيع تلبية الاحتياجات المحلية من السلع والخدمات معتمدة عليها بدون أي انبعاثات أو ملوثات للبيئة المحيطة وكذلك دون احداث ظاهرة الاحتباس الحراري. ومن أهم المزايا نحو التحول إلى الطاقة المتجددة رفع المستوى المعيشي للمواطن وتحقيق التنمية المستدامة المناطق الصحراوية والجبلية مما يقلل نزوح المواطنين نحو حضر وخلق فرص عمل من خلال مشروعات الطاقة المتجددة الكبيرة وتوفير فرص في مجال التنمية الاجتماعية والاقتصادية والتخفيف من اثار تغير المناخ والحد من الأثار البيئية والصحية السلبية [٣].

الهدف من البحث:

ان البحث والتطوير في الخلايا الشمسية لا زال مستمرا،ويشمل أربعة محاور.

١.محاولة جعل تكنولوجيا تصنيع الخلايا الشمسية اقل كلفة وأكثر كفاءة.

٢.تطوير تكنولوجيا جديدة تعتمد على تصاميم معمارية وهندسية جديدة.

٣.تطوير وتصنيع مواد إلكترونية لها القابلية اكبر على امتصاص الطاقة الشمسية وتحرير شحنات بعدد اكبر.

٤.تطوير التصاميم الإلكترونية للمواد المتوفرة وتحسين ظروف تصنيعها.

يتبين لنا مما تقدم ان الطاقة الشمسية لها مميزات مهمة لا يمكن تجاهلها وإغفالها

١.أنها توفر طاقة متجددة ومستديمة ونظيفة.

٢.ان تقنياتها معروفة وليست معقدة ويمكن تطويرها واستخدامها لتطوير التقنيات الأخرى.وان استخدامها سوف يوفر فرص عمل واسعة.

٣.تتوفر مستلزماتها المادية والبيئيّة في العالم العربي بشكل كبير [٤].

---

[٣] الجهاز المركزي للتعبئة والإحصاء دراسة مستقبل الطاقة في مصر، مارس ٢٠١٤ م ص ٢٦.

[٤] الخياط محمد مصطفى، الطاقة (مصادرها -أنواعها -استخداماتها) القاهرة.٢٠٠٦.

الفصل الثاني

٢. ١ الطيف الشمسي Solar spectrum :

هو نطاق الكامل للإشعاع الكهرومغناطيسي الذي تنبثقه الشمس ،والذي يغطي مجموعة واسعة من الأطوال الموجية من اشعة كاما الى الموجات الراديوية. يقسم الى ثلاث مناطق رئيسية : الاشعة فوق البنفسجية ،والأشعة المرئية ،والأشعة تحت الحمراء . وهو يمثل مصدر الطاقة الأساسي لنظام الأرض [٥].

كما ان نقسم الطيف الشمسي الى ثلاثة أقسام هي:

١ . الموجات الحرارية : هي أشعة غير مرئية بالنسبة للطيف الكهرومغناطيسي وتنسب الى مجموعة الموجات ذات المدى الطويل وتعرف بالأشعة تحت الحمراء وتقدر نسبتها نحو (٤٩%) من مجموع الاشعاع الشمسي . وجزئها الأكبر لهذه الاشعة يسهم في رفع درجه حرارة الغلاف الجوي وسطح

الأرض وهي بذلك يكون لها اثر كبير في الدراسات المناخية، ويسهم بخار الماء في امتصاص قسم كبير منها عند أطول موجية معينة .

٢ . الضوء المرئي :وهي اشعه مرئية تقدر نسبتها حوالي بنحو (٤٣%) من مجموع الاشعاع الشمسي، ويكون من ضمنها الاشعة الحمراء والزرقاء والخضراء وتعتمد النباتات على هذه الاشعة في عملية التركيب الضوئي .

٣ . الاشعه فوق البنفسجية : وتضم نحو (٧٪) من مجموع اشعة الشمس وتكون هذه الاشعة ذات طول موجي قصير وتصبح مفيدة للإنسان اذا وصلت له بكميات قليلة، اذ تساعد الانسان على العلاج من بعض الامراض مثل الكساح ، وذلك لقد ردها على إنتاج فيتامين د وانه وصولها للأرض يكون نسبة قليلة جدا، وذلك لأنها تمتص من قبل غاز الأوزن الذي يكون ارتفاعه نحو الأرض ٣٥ كيلو متر.

أما بقية الاشعاع الشمسي يقدر بنحو (١٪) فيكون بشكل أشعة سينية وكاما وموجات راديوية [٦]

---

(٥) C.Kandilli and K.Ulgen,"solar Illumination and Estimating Daylight Availability of Global Solar Irradiance" ,Energy Sources, ٢٣) ٩, (٢٤-٣٣)٢٠٠٩).

(٦) R. Willson and A.Mordvinov,"Secular total solar irradiance trend during solar cycles ", Geophys. Res.Lett., ٣٠)٥,(٢١-٢٣)٢٠٠٣).

٢ . ٢ العوامل المؤثرة في توزيع الاشعاع الشمسي :
Factors Affecting the Distribution of Solar Radiation

العوامل التي تؤثر في توزيع الإشعاع الشمسي والتي تؤثر في توزيع الاشعاع الشمسي والتي يؤثر بشكل كبير في قوة الإشعاع الشمس من مدة لأخرى [١٢]. وهي تتمثل ب :

١ _ ***زاوية السقوط:*** يؤثر هذه الزاوية في مقدار الأشعة الشمسية الوصلة لسطح الكرة الأرضية، لأن الأشعة شمسية ذات السقوط العمودي أو شبه العمودي عند وصولها تكون قوية وإذا شد وتركيز عال جدا ولكونه هذه الأشعة مسافات التي تقطع أقصر من الأشعة ذات السقوط المائل، لذلك تكون أقل عظم الخسارة بفعل تاثير كل من الانكسار والانتشار و الامتصاص التي تحدث في الغلاف الخارجي، وكما أن حجزن الأشعة العمودية تكون متوزع على مساحة قليلة، بينما الأشعة ذات السقوط المائل لأنها متوزع على مساحة أوسع لذلك تصبح ضعيفة الأثر وأقل شدة من الأشعة الشمسية العمودية.

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

٢- **اختلاف فترة النهار :** يؤدي اختلاف فترة النهار دورا كبيرا في عدم استعادة كمية الشمس الواصل ويا سطح الكرة الأرضية عند دوائر العرض المختلفة. فإنه لا يختلف فترة النهار والليل للمناطق المداريه طوال السنة تقريبا، أنا ناطق الباردة والمعتزلة فإن النهار فيها يزيد طوله في الصيف ويصبح أقصى في الشتاء، وزاد الفرق بين النهار والليل زادت دوائر العرض بينهما.

٣- **شفافية الغلاف الغازي:** الغبار والسحب والبخار بخار الماء والرماد دورا كبيرا في عملية امتصاص وتشتت الأشعة في الجو، وعلى ذلك فإن مناطق التي يؤثر فيها الهواء الملوث بالأتربة والسحب لسة كميات قليلة من الإشعاع الشمسي مقارنة بين المناطق ذات الجو شفاف.

٤- **التضاريس:** دورا كبيرة في تباين كميات وإشعال شمسي الواصل المنطقة إلى منطقة أخرى باتجاه الجبلية وانحدارها يؤثر بشكل كبير في كميات وإشعاع الشمسية التي تصل إلى السفوح وخاصة في المناطق المعتدلة الباردة، حيث تصلها أشعة

الشمس بشكل مائل، اما المناطق المداريه يكون فيها هذا العامل محدوداً حيث يكون وصول أشعة الشمس إليها بشكل عمودي أو شبه عمودي طوال السنة.

٥- الالبيدو: وهو نسبة ما يعكس من قبل سطح الأرض إلى الفضاء بصورة مباشرة من الإشعاع الشمس الصافي الواصل اليه، وتختلف نسبة الالبيدو من مكان إلى مكان آخر سبعة لموقع المنطقة من دوالي العرض واختلاف طبيعة السطح من حيث الترتيب واللون وجود النبات ونوعها أو عدم وجودها وتغطية المنطقة وطول مدة بقائها [٧].

٢ . ٣ *الألواح الشمسية* *Solar panels :*

هي الجزء الظاهر من المنظومة الشمسية والذي يتم تثبيته على سطح المبنى وهو يقوم بتوليد الطاقة الكهربائية وتتكون الألواح الشمسية من المكونات التالية:

- الخلية الشمسية (Solar Call) / يتكون بتكرارها الوحدة الشمسية .
- الوحدة الشمسية (Solar Module)/ يتكون بتكراها الصف الشمسي.
- الصف الشمسي (Solar Array) / مجموعة الصفوف الشمسية يشكل الألواح الشمسية .

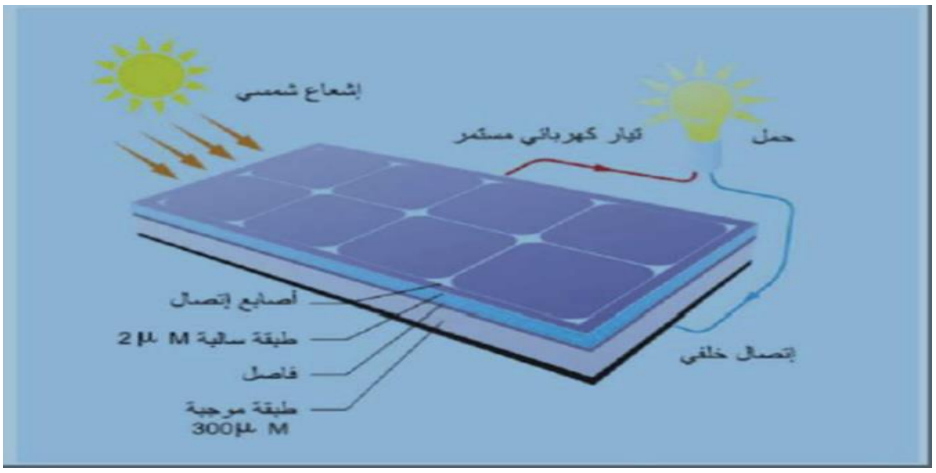
---

(٧) M.J.O Neill,A.J.McDaniel ,p.J.George,M.F.Piszczor,D.L Eswards,D.T.Hoppe,M.L.Eskenazi, M .M. ٢٩Botke,P.A.Jaster ,H.w.Brandhorst," Development of The Ultra-light stretched Lens Array " , IEEE Pvsc , ٢٠٠٢New Orleans, ( ).

٢.٤ الخلية الشمسية Solar cell :

هي المكون الرئيسي للمنظومة الشمسية وهي أصغر جزء فيه.تستجيب للإشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر محولة طاقة الاشعاع الى طاقة كهربائية.تستفيد الألواح الشمسية من ضوء الشمس الذي ينشط الالكترونات داخل الخلية لينتج التيار.تعتمد كفاءة عمل الخلية على عاملين: الأول هو كفاءة التحويل داخل الخلية

والثاني هو قابلية الخلية الشمسية على امتصاص الفوتونات.وتتكون الخلايا الكهروضوئية من شبه موصلات غالبا سيلكون يتم ضغطها في رقاقه معالجة بشكل خاص لتشكل حقلا كهربائيا موجباً على طرف وسالبا على الطرف الاخر ،عندما تصل الطاقة الضوئية الى الخلية تتحرر الالكترونات من الذرات في المادة نصف ناقلة، أي فوتونات ضوء الشمس تقوم بتحفيز الالكترونات الى حالة اعلى من الطاقة



الشكل (٢_١) إنتاج الخلايا الشمسية للطاقة الكهربائية

لتولد الكهرباء، ويتم تجميع الالكترونات على شكل تيار كهربائي اذ تم وصل نواقل كهربائية الى الطرفين السالب والموجب. والطاقة الكهربائية الناتجة عبارة عن كهرباء مستمرة Dc وتلك الطاقة المتولدة يتم تخزينها في بطاريات مختلفة السعة بحيث يمكن استخدامها أثناء فتره زوال الشمس .

وقد تم اكتشاف ظاهرة ال photovoltaic لأول مره عام ١٨٣٩ من قبل الفيزيائي الفرنسي الكسندر إدموند بيكريل عندما لاحظ انه في حالة تعرض قطب كهربائي الى الضوء بحيث يكون مغموس في محلول موصل فإنه ينتج تيارا كهربائيا.

وفي عام ١٩٤١ تمكن المخترع الأمريكي روسل اوهل من تقديم الخلية الشمسية في شكلها الحديث- ولكن بكفاءة قليلة – حيث أدى اكتشافه لوصلة PN المعروفة باسم junction P_N الى المساهمة في ابتكارات الترانزستور بعد حوالي ٣٠ عام من هذا التاريخ، ولكن كان الاستخدام العملي الأول لهذه الخلايا هو تشغيل الأقمار الصناعية والمركبات الفضائية.

٥.٢ *اشكال الخلايا الشمسية* Solar cell shapes :

تكون الخلايا الشمسية اما باشكال واضحه الحدود ضمن الوحدة الشمسية الواحدة، اذ من الممكن ان تكون بشكل مربع او مستطيل او دائري تفصل بينهما فواصل بمسافات تختلف حسب تصميم الوحدة الشمسية او من الممكن ان يكون مظهرها كقطعه واحدة تغطي الوحدة الشمسية بدون فواصل ، وتختلف أبعاد الخلية الشمسية وفقا لنوعها وطريقة صناعتها ، وتتراوح أبعاد الخلية الواحدة من في الاتجاهين او تكون بأبعاد ١٠x١٠cm كخلايا قياسية، واقل ما يمكن ان تنتجه الخلية الشمسية من طاقة تتراوح بين ١_٢ watt بسبب صغر حجم الخلية الشمسية،ولزياده الإنتاجية الكلية للطاقة يتم تجميعها في صفائح مغلفة مع بعضها لتكون الوحدة الشمسية Module . وتختلف الخلايا الشمسية بعضها عن بعض تبعا لنوع المادة والكفاءة والشكل واللون وطرق التصنيع.

٢ . ٦ أنواع الخلايا الشمسية Types of solar cells :

هناك عدة أنواع من الخلايا الشمسية ، يمكن تصنيفها كالاتي:

الخلايا الشمسية المتبلورة:هنا نوعين من السيليكون المتبلور بالاعتماد على**A**

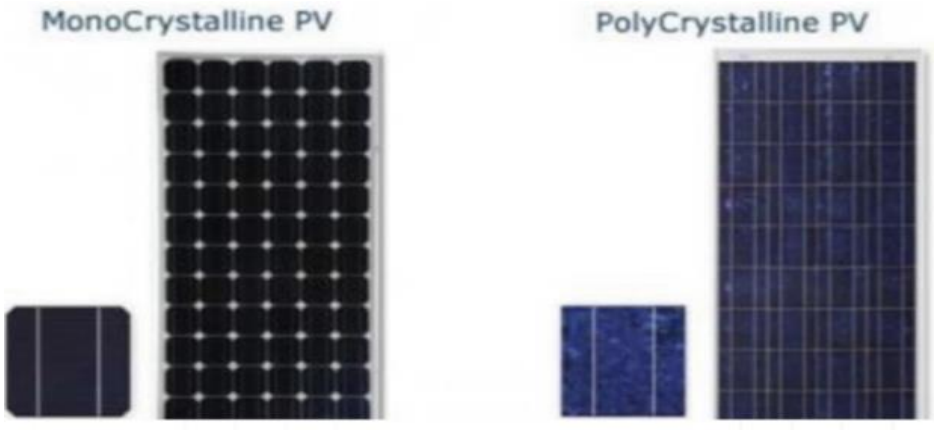
درجة النقاوة واتجاه التبلور وهما احادي التبلور ومتعدد التبلور الشكل الذي يغلب عليها هو الشكل المستطيل أو المربع.

احاديه التبلور: تكون بلورات السيليكون ذات اتجاه واحد، وبنقاوة اعلى وهي**B.**

أغلى ثمنا . يعتبر هذا النوع من أكثر البنيات البلورية انتظاماً. تكون بلون واحد وتتدرج من الازرق الى الأسود وبالامكان صنع الخلايا بألوان أخرى ولكن ستكون كلفتها أعلى حيث تقل كفاءة الخلية، الألوان الأخرى إذا ما تم استخدامها جزء من طاقة الإشعار الشمسي التي ستصلها وبالتالي سيحتاج المصمم إلى عدد اكثر من الخلايا الشمسية، اللون الذهبي أو اللون الأرجواني سيكون ذو مظهر مميز إذا ما تم استخدامه إلا أنه سيتسبب بخسارة الكفاءة تصل إلى٢٠٪ تتراوح كفاءة الخلية الشمسية احادية التبلور من ١٥٪_٢٠.

متعددة التبلور: تكون بلورة السيليكون باتجاهات مختلفة ولذلك تبدو قطع**C.**

متكسره غير منتظمه تعطي عدة تدرجات من اللون الواحد، عادة ما تكون بتدرجات مختلفة للون الأزرق الا انها كسابقتها من الممكن ان تتوفر بالون أخرى كالرصاصي ، ويكون لهذا النوع لمعان خفيف في المظهر الخارجي وتتراوح كفاءة الخلية الشمسية من ١٠٪_١٤.



الشكل (٢_٢) يوضح الخلايا التبلورومتعدد التبلور

خلايا متعددة الطبقات/ هي خلايا شمسية يتم تصنيعها من مادة السيليكون.تتوفر ***A.***

بلون بني مائل للأحمر او بلون احمر او باللون الرمادي،ويتراوح مجمل الكفاءة النهائي من ٧%_٩.

خلايا الكادميوم: يمتاز بامتصاصيه عاليه للضوء، ومن الممكن ان تمتص طبقة ***B.***

بسمك ميكرون ٩٠٪ من الضوء ، كما يمتاز بسهولة التصنيع، الا عدم استقرار أدائيّة الخلية الشمسية لحد لان يعد احد العوائق أمام استخدامه ، وتتراوح كفاءته من ٧_١٠٪ .

C. خلايا النحاس: امتصاصيته للضوء عالية، فطبقة بسمك ٠,٥ ميكرون تمتص ٩٠٪ من الضوء، إلا ان عملية تصنيعه تكون معقدة لذا تكون كلفته أعلى من باقي الأنوار، وهو غير متوفر لأغراض تجارية. تصل كفاءته الى ١٨٪.

خلايا الغاليوم: يسمى الخلية الشمسية ثلاثية الأبعاد بسبب قدراتها العالية على***D.***

الفوتونات وهي خلايا عالية الكفاءة، حيث تم التواصل إلى كفاءة مختبريه لهذا النوع بحدود ٣٥,٦٪ يستخدم هذا النوع لتطبيقات الفضاء.

٢.٧ الخلايا الشمسية العضوية: Organic solar cells

تعتبر الخلايا الشمسية العضوية الأكثر كفاءة في الجيل الثالث من الخلايا الشمسية المتوفرة حاليا. تقنيات الأخشيه الرقيقة الأخرى قد تنتج خلايا شمسية بكفاءة في حدود ٨٪ و الخلايا الشمسية التقليدية المعتمدة على السيليكون لها كفاءة في حدود ١٢الى ١٥٪ وهذا يجعل الخلايا الشمسية العضوية مرشحة لاستبدال التقنيات الأخرى المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية التي تثبت على اسطح المنازل، لما تمتلك من مزايا عديدة تجعلها الأفضل في هذا المجال.

كما أن فكرة عمل الخلية الشمسية العضوية تسعى بإمكان استخدامها هذه في ظروف الإضاءة الخفيفة مثل ان تكون السماء ملبدة بالغيوم او في داخل المنازل حيث يمكن ان تولد الطاقة الكهربائية من الإنارة المنزلية وليس بالضرورة من أشعة الشمس المباشرة.

كما أن الخلايا الشمسية الصبغية تزداد كفاءتها في حاجة ارتفاع درجة الحرارة في حين إن خلال الشمسية المعتمدة على اشباه المواصلات فان كفاءتها تقل بزيادة

درجة الحرارة. كما ان تصميم الخلايا الشمسية الصبغية يجعلها قادرة على تبديد الحرارة الداخلية بشكل أفضل مما يساهم أن تعمل درجات حرارة منخفضة [٨].

شكل (٢_٣) مجموعة من خلايا الشمسية بتقنية الصبغات العضوية

٢.٨ صناعة الخلايا الشمسية Solar cell manufacturing:

توجد في الطبيعة مواد كثيرة صناعة الخلايا الشمسية والتي تنجمع بنظام كهربائي وهندسي محدد لتكوين ما يعرف الخلية شمسية والتي بدورها تتجه الى واجهة معينه وتعرض لاشعة الشمس بزاوية معينة لينتج أكبر قدر من الكهرباء و تتكون الخلية الفوتوفولتية من طبقة رفيعة من مادة السيليكون هذه المادة هي إحدى مواد أشباه الموصلات من المعروف أن سيليكون جمادى نقية لا يوجد في الطبيعة على حالة منفرده، بجي صورة متحدة وهو من أكثر العناصر انتشار على سطح الأرض بعد الأكسجين وهو موجود في طبقات الخارجية للأرض ويوجد في الطبيعة في صورة أكسيد السليكا الرمل هو المادة الأولية الموجودة بكثرة وثمن بخس ،باستعمال ١كجم من المادة الخام لا تحصل إلا على٥٠ جرام من اللوحات الفوتوفولطية لقد تم تطور صناعة الخلايا الشمسية خلال عمليات متسلسلة من المعالجات الكيميائية والفيز والكهربائية على شكل متكاتف ذات الألية او عالي التقنية كما تم تطوير مواد مختلفة

[٨] ضحى ثامر عبيد،الخلايا الشمسية، بحث بكالوريوس ، قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة بابل ، العراق ، ٢٠٢٢.

من اشباه الموصلات تصنيع الخلايا الشمسية على هيئة عناصر كعنصر السيليكون او على هيئة مركبات كمركب الجاليوم زرنيخ ،وكربيد الكاديوم ،وفوسفيد الانديوم ،وكبريتيد النحاس وغيرها من المواد المستخدمة،فيما يلي مراحل تصنيعها.

١. يتم إعداد السيليكون المعدني باختزال خليط من الرمل والفحم في الفرن الكهرباء طبقا المعادلات الكيميائية الآتية

١. $Si + {}^{٢}Co\ SiO\ {}^{٢} + {}^{٢}C$
٢. $Si + {}^{٢}Co\ Sio\ {}^{٢} + {}^{٢}Sic$
٣. $ {}^{٣}Si + {}^{٢}Co\ Sio\ {}^{٢} + {}^{٢}Sic$

٢ . للحصول على السيليكون متعدد البلورة يتم اختزال المرحلة السابقة، بالهيدروجين في درجة حرارة ٢٥٠ درجة مئوية.

٣. يتم قطع السبيكة الى أقراص ثم اصقل الميكانيكي للقرص.

٤. ينظف الوجه الأمامي للقرص كيميائياً، ولا إزالة الشواب عن الوجهه الأمامية للقرص.

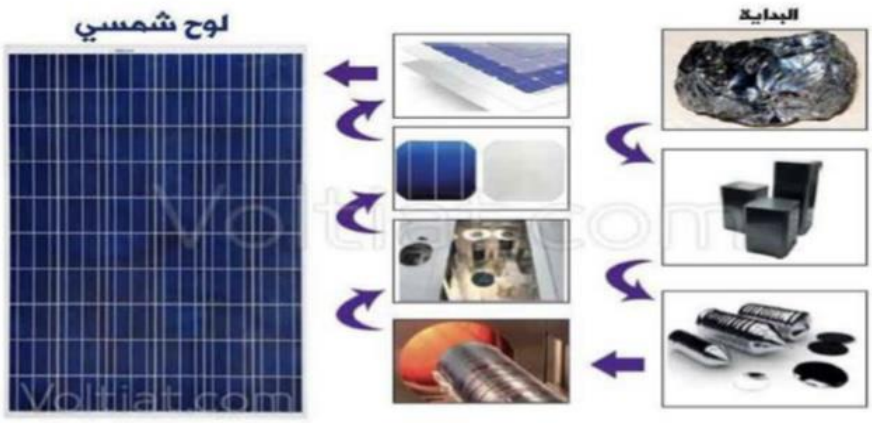
٥. عادي تعديل وضع الخلايا.

٦.ظف الوجه الخلفي للخلية.

٧. وضع ملامس على طرفي الخلية التوصيل الخلية بالدائرة الكهربائية.

٨. وضع طبقة ضد الانعكاس (مائعة) حيث ان تعرض اللوحات الشمسية لانعكاس الإضاءة يؤدي الى مفقودات تصل إلى ٤٥٪ لذا يتم وضع طبقة ضد الانعكاس فتنخفض المفقودات إلى١٠٪.

٩.لحام أسلاك التوصيل والتي فيها يتم التعامل مباشرة مع الخلية ويجب مراعاة الطريقة السليمة والدقيقة والغنية لحام الأسلاك لان اللحام الخاطئ يسبب تشوه مقاومة على الموصلات أو تلفها.



الشكل (١-٢) يوضح اليه تصنيع الخلية الشمسية

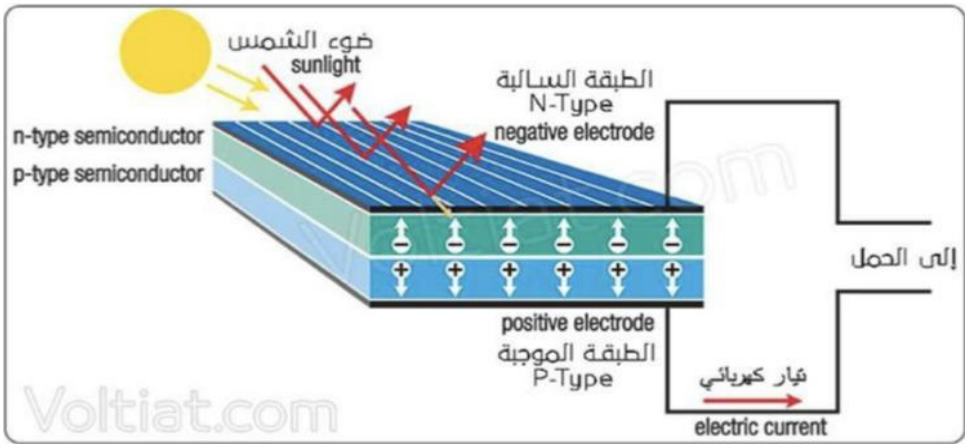
٢.٩ الخلايا الشمسية Compenets of solar cell :

ذره السيليكون البلوري تحتوي على ١٤ الكترون وتحتوي الخلية الشمسية ببساطة من مواد شبه موصلة والتي تتكون من مواد نقية مثل: السيليكون والجرمانيوم مع إضافة مواد غير نقية بنسبة معينة كالشوائب مثل : الزرنيخ الانتيمون الفسفور الغاليوم الانديوم والبورون حيث تصنع الخلية الشمسية من طبين لكي تعمل على توليد الطاقة الكهربائية وهما:

١.طبقة نوع (N-Type) : تحتوي على مواد شبه مواصلة مضافة إليها مواد شائبة بذرات خماسية التكافؤ كالزرنيخ او الانتيمون او الفسفور.

٢.طبقة نوع (p-Type): تحتوي على مواد شبه مواصلة بإضافة مواد شائبة عليها بذرات ثلاثية التكافؤ كالجاليوم والباريوم.

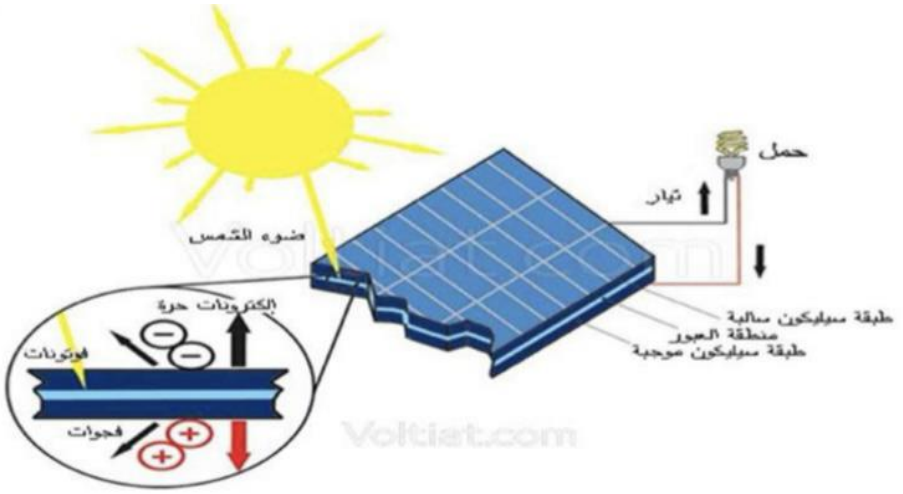
وتعمل كلا الطبقتين على (P-N type): على تدفق التيار الكهربائي داخل الخلية عند سقوط أشعة الشمس على سطحها تصنع الخلية الشمسية على شكل فرزات خشنه لزيادة مساحة سطح الخلية بالإضافة إلى وجود فولتيات وبعض المواقع الإلكترونية.



الشكل(١-١) مكونات الخلايا الشمسية

١٠.٢ طريقة عمل الخلية الشمسية How a solar cell works :

عند تعرض الخلية الإشعاع للإشعاع الشمسي فإن الألكترونات الحرة تمتلك طاقة الفوتونات المكونة للإشعاع الشمسي أي أن الطاقة المنبعثة من الشمس تصطدم بسطح الخلية في شكل فوتون (الفوتون عبارة عن طاقة في صورة ضوء واشعاع كهرومغناطيسي وليس لها شحنة ولا كتلة) وإذا كانت طاقة الفوتون كافية فإنها تعمل على تحفيز الألكترونات في الخلية الشمسية مما يولد الجهد الكافي لدفع هذه الإلكترونات في دوار الحمل أي ان عند سقوط ضوء الشمس على الخلية هذا الضوء من خلال سطح الخلية وممتص منه جزء بواسطة الطبقة الأولى للخلية وهي طبقة السيليكون والمحتويه على الفسفور(أي نوع N) اما غالبية الضوء الساقط على هذه الخليه فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك أي طبقة السيليكون المحتوية على البورون (أي نوعP)خلال هذه العملية تتكون الألكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل المتصل في أطراف الخلية بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية تزداد حركة الإلكترونات وبالتالي تتشكل تيار كهربائي مستمر (Dc) وعند توصيل حمل كهربائي بين طرفي الخلية الشمسية يتم الاستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من سقوط ضوء الشمس على الخلية.



الشكل (١-١) عمل الخلية الشمسية

٢ .١٢ أجيال الخلايا الشمسية Generations of solar cells :

١ .الجيل الأول:

يتم تصنيع الخلايا الفوتوفولتيه من مواد أشباه المواصلات التي تعد مادة السيليكون الأكثر شيوعا واستخداما نظرا توافر مصادرها في جميع أنحاء العالم كانت الخلايا كبيرة وغير مرنة وبتكلفة تصنيع عالية نتيجة ان رقائق السيليكون منخفضة الامتصاص والاستيعاب للأشعة الشمسية فقد أدى ذلك الى زيادة سمكها عن ١٢٥الى ٢٥٠ ميكرومتر وهي تمثل سمك كبير جدا مقارنة بالرقائق المصنعة من أشباه الموصلات الأخرى مثل زرنيخ الجاليوم والتي يكون سمكها حوالي واحد ميرو ولذا كانت تكلفة إنتاج الكهرباء من منتجات خلايا الجيل الأول مرتفعة جدا والتي وصلت إلى خمسة دولارات أمريكية لكل واط عموما ما زالت الخلايا الشمسية السلكونية هي الغالبة تجاريا حوالي ٨٠ لما تتصف به من الكفاءة العالية.

٢ .الجيل الثاني:

هلا شمسية من الأفلام الرقيقة والتي تعتمد في إنتاجها على عدة أساليب متقدمة منها طريقة ترسيب الأبخرة الكيميائية والتي تتلخص في تصنيع أغشى رقيقة للمواد أشباه الموصلات المترسبة على قواعد زجاجية أو بلاستيكية (هذه القواعد يتم عليها ترتيب الأغشية رقيقة السمك من اشباه الموصلات لتكوين وحدة الخلية الفوتوفولتية).

تمتاز هذه الخلايا بأنها ذات سمك رفيع لا يزيد عن واحد مايكرومتر أي أنه سمكها يقل سم رقائق مادة السيليكون المستخدمة في الجيل الأول من خلايا بنحو تتراوح١٠٠-١٠٠٠ مرة. نتيجة ذلك أصبحت خلايا خفيفة الوزن ومرنة مما يميزها للاستخدام كمصدر للطاقة بالأجهزه المحموله مثل الهواتف الحواسب المحموله ولكن ما زالت كفاءتها منخفضة وفي حدود١٠٪ سبب انخفاض الكفاءة يرجع إلى أن سمك خلايا الجيل الثاني رفيعه جدا وبالتالي لا تمتص نفس الكمية من طيف الأشعة الشمسية التي تقوم بامتصاصها الشرائح السميكة من السيليكون المنتجة بالجيل الأول ومن أمثلة خلايا الجيل الثاني السيليكون اللابلوري وسيلكون نانو بلوري و ثليريد الكاديوم .

٣ .الجيل الثالث:

وهو ما يعرف بجيل "تكنولوجيا النانو " ما زالت منتجات هذا الجيل مرحلة البحث والتقييم والتطوير على المستوى التجريبي والمعملي ويتوقع أن يكون لها مدى إبداع واسع وتعد الخلايا الشمسية الصبغية أحد أهم أنواع الجيل الثالث من خلايا الفوتوفولتية لانفرادها بعدة مزايا تقنية واقتصادية ومن الخلايا الأخرى: خلايا شمسية بوليميرية و خلايا نانو بلورية تكون خلايا سيليكون البلوري هي الأكثر شيوعا في الأسواق والتي تمثل نسبة٩٠٪ من فوائد استخدام السيليكون في خلايا الشمسية انه يمكن تقليل الكمية المستخدمة في انتاجها كالاتي [٩]

في عام ٢٠٠٤ كان :gr/w ١٣

في عام ٢٠٠٨ اصبح :gr/w ٦,٣

مخطط الوصول الى: gr/w ٥,٠

[٩] عبد الله قاسم محمد. الخلايا الشمسية. بحث بكالوريوس، كلية التربية للعلوم الصرفة، قسم الفيزياء، جامعة بابل، العراق، ٢٠٢٣.

١٣.٢ العوامل المؤثرة في كفاءة الخلية الشمسية:
Factors affecting solar cells efficiency

كما في المكائن الحرارية كذلك في الخلايا الشمسية هناك عوامل يؤثر في كفاءة انتاج الطاقة الكهربائية، ففي المكائن الحرارية تلعب درجة حرارة التبخير والتكثيف دوراً أساسيا في تحديد الكفاءة النظرية لتوليد الطاقة الكهربائية، إضافة بالطبع الى كفاءة الأجهزة الوسيطة المستعملة، أما في الخلايا الشمسية فالكفاءة ليست محكومه بالعوامل التي تحد من كفاءة المكائن الحرارية، إلا أن هناك اعتبارات أخرى تحد من كفاءة الخلايا الشمسية بحيث أنها لا تزيد عن٪٢٥.

أما العوامل المؤثرة على كفاءات الخلية الشمسية فهي:

١_ العلاقة بين طاقة فوتونات ضوء الشمس وطاقة ربط الالكترون بالذرة.

٢-تحول طاقة الفوتونات الممتصة إلى حرارة إن الفوتونات الذي طاقتها أكبر من طاقة ربط الإلكترون(طاقة التكافؤ) تصل على أعماق مختلفة داخل الخلية، ويؤدي هذا إلى أنه قسما من الألكترونات المحررة تتحرر منطقة بعيدة عن نقاط الاتصال ولا تستطيع الوصول إليها وبهذا تضيع طاقتها الحركية على درجة الحرارة، بالإضافة إلى فان ذلك الجزء من الطاقة الفوتون التي تزيد عن طاقة الرابط يكتسبها الإلكترون بشكل طاقة حركيه لكنه لا يلبث أن يفقدها بشكل حرارة ذلك أنها طاقة زائدة عن حاجته للتحرر، وفي خلايا السيليكون تبلغ الطاقة المفقودة بشكل حرارة ما يعادل ٪٤٣ من كمية الطاقة الممتصة او ٪٣٣ من مجمل طاقة الطيف الشمسي .

٣- تسرب جزء من تيار كهربائي هلال نقاط الاتصال. وتعتمد قيمة المتسرب على درجة حرارة الخلية، وبالتالي حرارة نقاط الاتصال في كل ما ارتفعت درجة الحرارة هذه ازدادت كمية التيار المتسرب ومن هنا تأتي أهمية تبريد الخلايا الشمسية فالكفاءة النظرية لخلايا السيليكون تصل إلى صفر حيث ترتفع حرارتها الى ٣٠٠ درجة مئوية.

٤- مصادر خسارة أخرى تتمثل بعكس الخلية بالجزء من الإشعاع الشمسي والخسارة الناتجة عن إعادة اتحاد بعض الإلكترونات بالفجوات.

١٤,٢ ابرز التطبيقات على الخلايا الشمسية Top Applications for solar cells :

هناك العديد والعديد من التطبيقات التي تدخل الطاقة الشمسية في تركيبها وذلك لما لها من مميزات عدة في استخدامها ومن ابرز تلك التطبيقات ما يلي:

أناره أعمدة الإنارة في الشوارع،أصبح الاعتماد على الخلايا الشمسية في أعمدة الإنارة في الشوارع امر بديلا عن توصيل الكوابل الكهربائية بين تلك الأعمدة.

الأجهزة المحمولة التي تعتمد على الطاقة الشمسية مثل الشواحن المحمولة والهواتف والساعات والكشافات المزودة بالخلايا الشمسية.

تصميمات الديكور هنالك العديد من التصميمات الديكورية التي تعتمد على دمج الخلايا الشمسية الضوئية مما تعمل على إضافة لمسة جمالية في المكان.

أجهزة رفع المياه من بطن الأرض، هنالك بعض المضخات التي تعمل بالطاقة الشمسية، وبذلك تعد تلك الأجهزة بديلا عن الأجهزة الأخرى التي تعثر على الكهربائي لهذه الآلية. وعادة ما يتم استخدام تلك الطريقة في البلاد النائية التي تفتقر الى الكهرباء والعديد من الخدمات والطاقات.

التدفئة المنزلية، حيث يتخذ غالبية الناس في أيام الشتاء من الشمس مصدراً جيدا الحصول على الدفئ اللازم.

تسخين المياه، وبهذه الألية من استخدام الشمس مصدرا لتسخين المياه، فإن هنالك العزيز من أنواع الطاقات التي قد تشكل مصدرا ملوثاً للبيئة تكون قد تم الاستغناء عنها، واستخدمت الطاقة الشمسية بدلا جيدا.

شحن البطاريات، تعتمد بعض من أنواع البطاريات على استخدام الخلايا الشمسية كمزوذ لها.

١٥,٢ فوائد تطبيقات الخلايا الشمسية Advantages of Applications of solar cells :

هنالك العديد من فوائد التطبيقات التي تعتمد على الخلايا الشمسية، لذلك هناك العديد والعديد من التطبيقات التي تظهر وتستخدم بكثرة، ومن أبرز تلك الفوائد:

انخفاض تكلفتها، ما يعمل على تقليص فواتير الكهرباء بشكل كبير.

نظافة البيئة، لذلك تتجه معظم الدول إلى أن تصبح الطاقة الشمسية هي المصدر الرئيسي للطاقة في المستقبل بلا منافس..

١٦,٢ تطبيقات الخلايا الشمسية في العامل الضوئي Solar cells Applications in the photovoltaic sector :

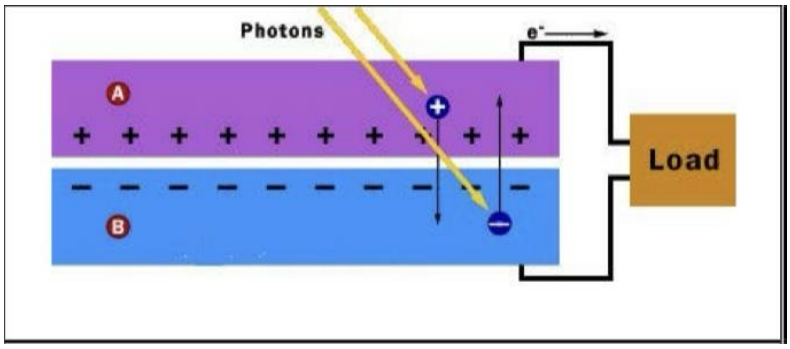
تركز الاهتمام على إدخال الفوتوضوئيات كمصدر للطاقة المتجددة في التطبيقات الأرضية بغية تطوير التقنية و وسائل الاستخدام في قطاع السكن والصحة والتعليم والصناعة والزراعة والنفط وغيرها في الاستخدامات الفوتوضوئيات الجذابة اقتصادياً وفي المناطق المعزولة والنائية حيث تنقص تكلفة شبكات الكهرباء العامة وتساعد في الإنماء الاقتصادي و التطوير الاجتماعي المحلي..

والمسطحات الفولتضوئية هي مصدر القدرة الكهربائية لهذه التطبيقات، حيث يتكون المسطح من عدة خلايا(متصلة معاً بصفائح سلكية معدنية) مغطاة بملف من البلاستيك الحراري مثل أسيتات فينل ايثيل او غيره واخر من التدلار لحمايتها من الاشعة فوق البنفسجية ومغلقه بصفيحة زجاجية من الامام وطبقة واقية تعمل كقاعده انشائية من الزجاج او من الألياف الزجاجية او الخزف الصيني عند الخلف مركب عليها صندوق وصلة كهربائية ومحاط بإطار معدني.

١٧,٢ الطاقة الشمسية الكهربائية Solar electrical energy :

وتسمى ايضاً بالطاقة الشمسية الفولتضوئية ويكون مبدأ عملها معتمدا على الظاهرة الكهروضوئية التي هي عملية تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية مباشرة باستخدام الخواص الإلكترونية لبعض المواد مثل السيليكون si، والمركبات مثل (تولوريد الكادميوم وارسيانيد الكاليوم) التي تصنف ضمن اشباه الموصلات . ان

تحويل ضوء الشمس الى طاقة كهربائية يتم من خلال تراكيب إلكترونية تسمى الخلايا الشمسية والشكل (١,٧) يبين تركيبا مبسطا للخلية الشمسية. [٨]



الشكل (٢,٦) مبسطا للخلية الشمسية

١٨,٢ البطاريات Batteries :

وهي الوحدة المسؤولة عن تخزين الطاقة وتفريغها عند الحاجة أي ان لها وظيفة مزدوجة ويمكن ان نشبهها بالبالونة التي تستطيع ادخال الهواء بداخلها لتعبئتها تحت ضغط خارجي او فتح فوهتها ليخرج الضغط الداخلي الى الخارج مرة أخرى.

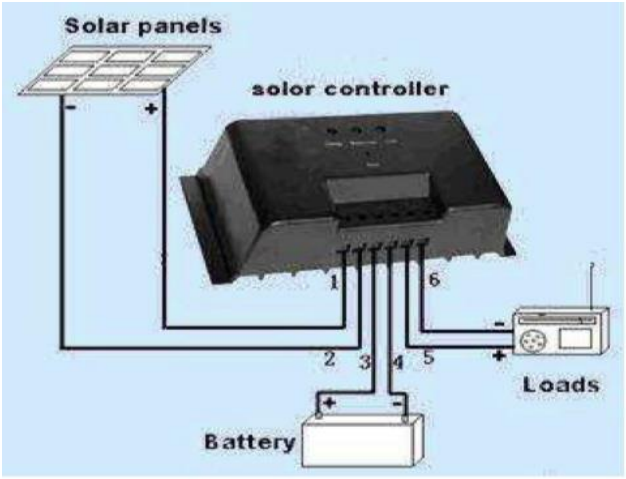
وتعتبر مكون لنظام الطاقة الشمسية، حيث تستخدم في تخزين الكهرباء المتولدة من الألواح الشمسية، ولا يعد وجودها ضروريا لعمل النظام، طالما ان ضوء الشمس موجود، بينما تكمن أهميتها في تخزين الكهرباء لاستخدامها عند غروب الشمس وحلول المساء . ويمكن توصيل اكثر من بطارية واحدة للنظام الشمسي الواحد وذلك لتخزين اكبر قدر من الطاقة الكهربائية، حيث يتم توصيلها باستخدام أسلاك مع بعضها.

١٩,٢ منظمات الشحن Charging regulators :

تعد وظيفة هذا الجهاز التحكم في شحن البطاريات، فيقوم بحماية البطاريات من الشحن الزائد عن طريق التحكم بكمية التيار المتدفق نحوها من الألواح الشمسية مما يطيل من عمرها ويحميها من التلف ويعد من اهم مكونات النظام الشمسي.

كما تقوم بتنظيم عملية شحن البطارية حيث ان عملية الشحن تختلف في اليتها عن مجرد توفير مصدر للطاقة المستمرة موصل بالبطارية، حيث تكون قيمة جهد الشحن

مساوي لقيمة البطارية وقيمة تيار الشحن تساوي تقريبا ١٥٪ من التيار الذي تسعه البطارية، واذا ازدات تلك النسبة بكثير فستحدث عملية شحن سريع للبطارية تؤدي الى اضعافها واستهلاكها بسرعة مع مرور الوقت واذا قات تلك النسبة بدرجة كبيرة فسيتم شحن البطارية في وقت طويل وبشكل بطيء جداً.



شكل يوضح منضمات الشحن للخلايا الشمسية

٢٠,٢ بعض مشاكل استخدام الطاقة الشمسية Some problems using solar with energy

ان اهم مشكلة تواجه الباحثين في مجالات استخدام الطاقة الشمسية هي وجود الغبار ومحاولة تنظيف أجهزة الطاقة الشمسية منه وقد برهنت البحوث الجارية حول هذا الموضوع ان اكثر من ٥٠٪ من فعاليه الطاقة الشمسية تفقد في حالة عدم تنظيف الجهاز المستقبل لاشعة الشمس لمدة شهر.ان افضل طريقة للتخلص من الغبار هي استخدام طرق التنظيف المستمر أي على فترات لا تتجاوز ثلاثة أيام لكل فترة وتختلف هذه الطرق من بلد الى آخر معتمدة على طبيعة الغبار وطبيعة الطقس في ذلك البلد.اما المشكلة الثانية فهي خزن الطاقة الشمسية و الاستفادة منها أثناء الليل او الأيام الغائمة او الأيام المغبرة و يعتمد خزن الطاقة الشمسية على طبيعة وكمية الطاقة الشمسية، ونوع الاستخدام وفترة الاستخدام بالإضافة إلى التكلفة والإجمالية لطريقة التخزين ويفضل عدم استعمال أجهزة للخزن لتقليل التكلفة والاستفادة بدلا من ذلك من الطاقة الشمسية مباشرة حين وجودها فقط ويعتبر موضوع تخزين الطاقة الشمسية من المواضيع التي تحتاج إلى بحث علمي اكثر واكتشافات جديدة.ويعتبر تخزين الحرارة بواسطة الماء والصخور افضل الطرق الموجودة في الوقت الحاضر.اما بالنسبة لتخزين الطاقة الكهربائية فما زالت الطريقة الشائعة هي استخدام

البطاريات السائلة (بطاريات الحامض والرصاص) وتوجد حاليا اكثر من عشر طرق لتخزين الطاقة الشمسية كصهر المعادن والتحويل الطوري للمادة وطرق المزج الثنائي وغيرها. والمشكلة الثالثة في استخدامات الطاقة الشمسية هي حدوث التآكل في المجمعات الشمسية بسبب الأملاح الموجودة في المياه المستخدمة في دورات التسخين و وتعتبر الدورات المغلقة واستخدام ماء خال من الأملاح فيها احسن الحلول للحد من مشكلة التآكل والصدأ في المجمعات الشمسية [١٠].

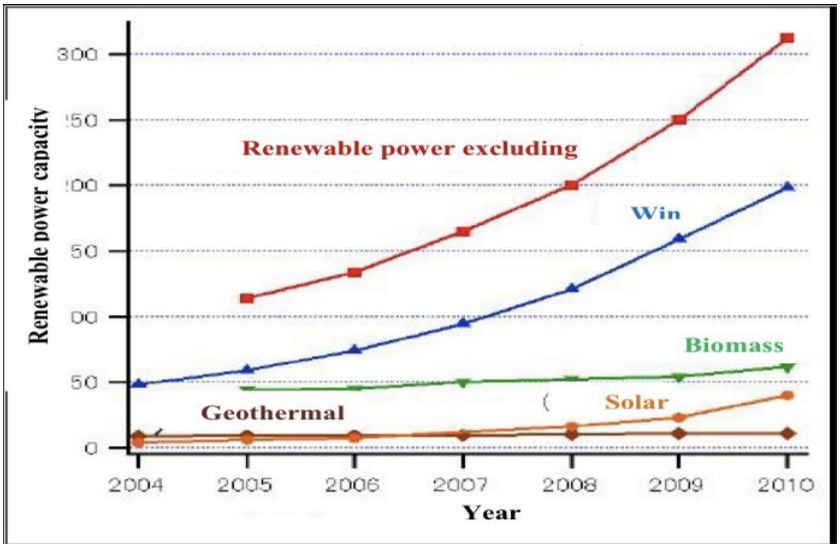
(١٠) كاظم محمد فؤاد،٢٠١٩.الخلايا الشمسية المحفزة بالصبغة رسالة بكالوريوس غير منشورة ،كلية العلوم ،قسم الكيمياء جامعة القادسية العراق.

الفصل الثالث

٣ .١ تطبيقات الطاقة الشمسية:

يتعرض عالمنا إلى أزمة اقتصادية مستمرة نتيجة لارتفاع أسعار الطاقة وزيادة الطلب عليهم وذلك لارتباطها بالوقود الأحفوري أو التقليدي(النفط والغاز والفهم) فضلا عن ذلك ما يتعرض له كوكب الأرض من تلوث بيني نتيجة لانبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون والغازات الأخرى التي أدت إلى انحباس حراري وارتفاع درجات حرارة الجو تتساقط الأمطار الحامضية و ذوبان الثلوج واغمار أراضي الصالحة للزراعة و انحباس الأمطار عن مناطق أخرى مما يؤدي الى التصحر في مقابل ذلك تتوفر الطاقات المتجددة والمستديمه في بقاع العالم كافة وهي ذات طاقة نظيفة غير ملوثة للجو و من اهم أنواع الطاقات المتجددة هي الطاقة الشمسية التي تعتمد عليها العالم اعتمادا كبيرا في السنوات الأخيرة ولها أهمية كبيرة واهتمام ومراعاة من قبل العلماء مستقبلا بسبب تطور التقنيات التي تستثمرها والطاقات المتجددة الأخرى مثل الرياح والطاقة الحيوية وطاقات المد والجزر والمياه الجوفية. والشكل(٣,١) يوضح نسب اعتماد العالم على الطاقات المتجددة:

١



الشكل (١,٣) يوضح تطور استخدام الطاقات المتجددة عالميا على مدار الأعوام السابقة.

ولكي يتم الحصول على استفادة ممكنة من الطاقة الشمسية فيجب الإشارة الى تصاميم الدور السكنية والتجارية وسطوح العمارات وكيفية الاهتمام بها وجعلها على نحو مستمد طاقته من اشعة الشمس وجعل تصميم الفضاء بشكل يمكنها من التهوية و

التبريد والتسخين و الإضاءة على نحو جيد. وتتم هذه الاستفادة الكبيرة من حركة الشمس واتجاه اشعتها واستغلالها اكثر ما يمكن منها وكذلك اختيار المواد المستخدمة في البناء مواد ذات معامل امتصاص حراري جيد [١١].

٢.٣ الخواص البصرية للسيليكون:

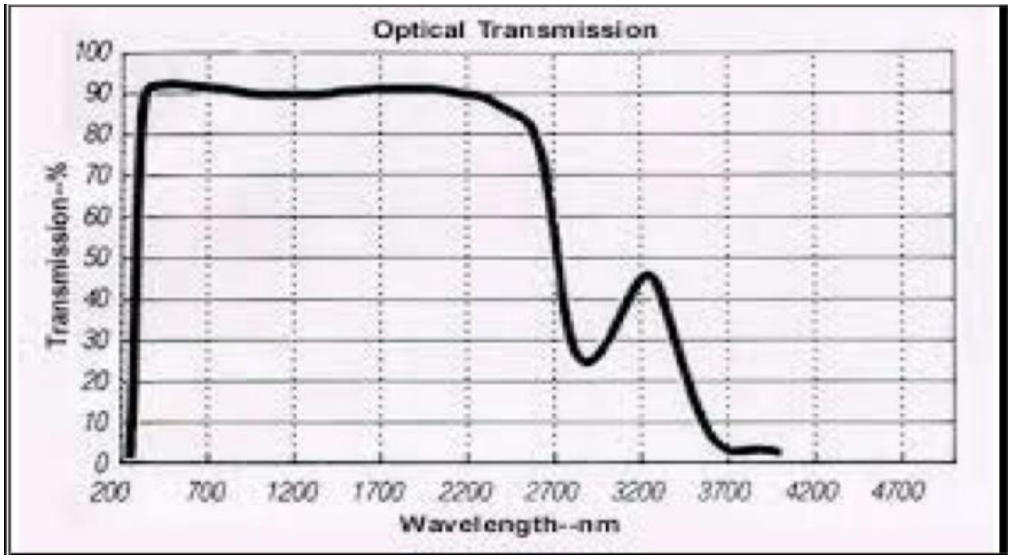
مصدر الإشعاع الطبيعي الأول ولكل أنواع الطاقة الكهرومغناطيسية وهذا الإشعاع الذي تتم الشمس بيكون على شكل موجات كهرومغناطيسية وهو من ثلاثة أجزاء وهي: الاشعه فوق البنفسجية يشكل نحو(٢٪) من اشعة الشمس ويكون الضوء المرئي نحو (٤٧٪) والأشعة تحت الحمراء نحو (٥١٪) ويكون امتصاص السيلكون للضوء المرئي افضل من امتصاصه للأشعة تحت الحمراء وذلك لان فجوه الطاقة السيلكون الضوئي(١,٧) الكترون فولت بينما للسيلكون البلوري (١,١) الكترون فولت ، حيث السيليكون البلوري افضل من اللابلوري في امتصاص الضوء المرئي بالكامل،ويسمح بمرور الاشعه تحت الحمراء الذي يجعل الخلايا الشمسية اكثر كفاءة في توليد التيار الكهربائي.

تقاس الخواص البصرية للسيلكون في درجة حرارة (٣٠٠k) في حين نفاذية السيليكون تكون لمديات تمتد من الضوء المرئي الى (IR) وهذا يتوافق مع المدى الواصل من ضوء الشمس الى الأرض والشكل (٢,٣) يبين نفوذ الاشعة خلال السيلكون حيث نجد النفاذية تصل الى نحو (٧٠٪) عند الضوء المرئي بينما تصل الى (٤٠٪) عند (IR) [١٢] .

---

(١١) R. pearson, "Energy storage via carbon-Neutral Fuel Made From Co ٢ . Water and Rainwable Energy proceeding of the IEEE "١٠٠)٢ : (٤٠-٦٠)٢٠١٢).

(١٢) Mmmmm silicon.



الشكل (٢-٣) نفوذ الأشعة من مادة السيليكون

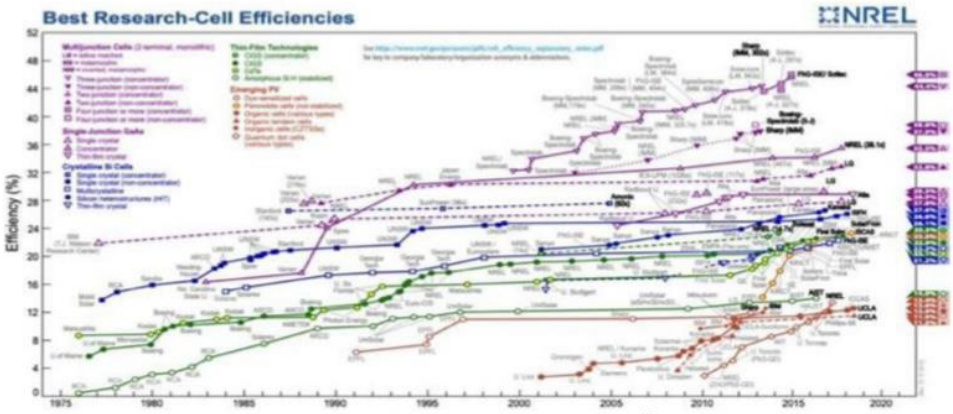
٣ .٣ كفاءة تحويل الخلايا الشمسية:

تعتبر كفاءة التحويل من اهم خصائص اللوحات الشمسية (اللوحات الكهروضوئية pv) وتقوم الشركات العالمية بصرف مليارات الدولارات سنوياً لتحسين كفاءة منتجاتها تعرف كفاءة تحويل الخلية بانها نسبة الطاقة الواصلة مع اشعة الشمس التي تستطيع الفعل الكهروضوئي تحويلها الى طاقة كهربائية ويتم حساب الكفاءة بتقسيم الطاقة الكهربائية الناتجة عن التحويل على طاقة الضوء المسلط على الخلية.

كفاءة تحويل الخلية = الطاقة الكهربائية الناتجة عن التحويل / طاقة الضوء المسلط على الخلية

تقنياً وببساطة كما شرحنا سابقا يقوم الفوتون الواصل الى طبقة الامتصاص بتحفيز حاملات الشحنة السالبة والموجبة اللوحات الشمسية ذات الكفاءة العاليه تتطلب طاقة اقل من الضوء لكي يتحرر إلكترون سالب وثقب موجب ويستطيع الالكترون العبرورعبر المنطقة العازلة الى الرقاقة السالبة وبالتالي اذا سلطنا نفس كمية الضوء على لوحتين كهرو ضوئيتين بكفاءتين مختلفتين واحدة بكفاءة ٢٠٪ والأخرى بكفاءة ١٥٪ فان المتر المربع من لوحة ال٢٠٪ يستطيع تحرير إلكترونات

اكثر وبالتالي توليد طاقة كهربائية أكبر من متر مربع من اللوحة الأخرى بكفاءة ١٥٪ ALM .



الشكل (٣-٣) صورة عن آخر تحديث من مخطط تطور كفاءات الخلايا الكهروضوئية

- يتم تفرقة الكفاءات حسب التكنولوجيا المستخدمة لتصنيع الخلايا الكهروضوئية ويتم التمييز حسب لون الخط المرسوم والشلة مصاحب له مثلا يتم تميز مجموعة التكنولوجيا المعتمدة على خلايا بلورات سيليكون باللون الأزرق أما الخلايا المتعددة الوصلات فيتم تمييزها باللون البنفسجي اما تكنولوجيا الفيلم الرقيق بيتم تميزها باللون الأخضروهلم جرا .
- يتم التعبير عن مرور الزمن من خلال المحور الأفقي من اليسار إلى اليمين.
- يتم التعبير عن مقدار الكفاءة من خلال المحور الشاقولي من الأسفل الى الأعلى.
- الكلمات المكتوبة من أسماء المخبر والشركات التي استطاع تحقيق هذه الكفاءات.
- الأرقام على يمين الشكل هي احدث الكفاءات لكل تكنولوجيا حتى تاريخ نشر تقرير .

على سبيل المثال إن أفضل كفاءة تحويل الخلايا بلورة السيليكون النوع (HIT) هي ٢٦,٦٪ وتم تحقيقها من قبل شركة (kaneka) هل تستطيعون إيجاد أفضل كفالة خلايا يمكن رقيق المصنع من تيلوريد الكادميوم (cdTe) ومن هي الشركة التي استطاعت تحقيق هذا الرقم؟

٤ .٣ تأثير العوامل المناخية على الخلية الشمسية الفوتوفولتية:

تمثل شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة حركة الرياح المؤثرات المناخيه الرئيسية على الخلية الشمسية تؤثر هذه العوامل المناخيه على مخرج الخلية الشمسية الفوتوفولتية (الجهد التيار- ونقطة القدرة القصوى) كما تؤثر هذه العوامل على الحرارة الداخلية للخلية الشمسية والتي بدورها تؤثر على مخرج الخلية الشمسية.

١ . تأثير شدة الاشعاع الشمسي على مخرج الخلية الشمسية الفوتوفولتية :

يعتمد مخرج الخلية الشمسية الفوتوفولتية المصنعة من السيليكون احادي البلورة متعددة البلو ت على شدة الإشعاع الشمسي الساقط والذي يقاس بالوات، وتزداد التيار المخرج الخلية الشمسية كلما زادت شدة الاشعاع الشمسي أما جبد الدائرة المفتوحة في الخلية الشمسية فإنه يرتفع إلى أقرب على قيمة له مع بداية ظهور الشمس أي عندما تكون شدة الإشعاع الشمسي أقل من ١٠٠وات / م حيث يرتفع جهد المخرج للدائرة المفتوحة من ٢٢٠ فولت الى ٥ فولت وتزيد هذه القيمة لوغاريتما الى قيمة تقارب فولت عندما تكون شدة الاشعاع الشمسي تتراوح بين ١٠٠ و ١٠٠٠ وات / م اما تيار دائرة القصر فإنه يرتفع خطياً مع شدة الاشعاع الشمسي وتعتمد فيه على مساحة الخلية الشمسية وتؤثر شدة الاشعاع الشمسي بشكل غير مباشر على جهد و تيار الخلية الشمسية كون ارتفاع شدة الاشعاع الشمسي يؤدي إلى ارتفاع الحرارة الكلية الشمسية ويبين الشكل ادناه تأثير شدة الاشعاع الشمسي على منحتي التشغيل لخلية شمسية عند ثبات درجة حرارة الخلية الشمسية.

٢. تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على جهد وتيار الخلية الشمسية الفوتوفولتية:

يؤدي ارتفاع درجة حرارة المحيط الخارجي إلى ارتفاع درجة حرارة الخلية الشمسية والذي بدوره يؤدي الى انخفاض جهد الدائرة المفتوحة وارتفاع تيار القصر للخلية الشمسية وينخفض جهد الدائرة المفتوحة بمعدل ٢,٣mv/c عند ثبات شدة الاشعاع الشمسي كما يزيد تيار دائرة القصر عن قيمته عند درجة حرارة ٢٥ درجة مئوية بنسبة ٠٥,٠٪ كلما ارتفعت درجة حرارة الخلية درجة مئوية واحدة ولصغر هذه النسبة يمكن إهمال تأثير درجة الحرارة في حساب علاقة شدة الاشعاع الشمسي وتيار دائرة القصر ولا سيما عند تغير حرارة لوحة الفوتوفولتية في المدى الطبيعي من (٩٠-٢٠) درجة مئوية ويوضح الشكل ادناه تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على منحنيات التشغيل (منحني العلاقة بين التيار والجهد ومنحني القدرة) ويلاحظ من هذه المنحنيات الاتي:

. فرق الجهد المتولد من الخلية الشمسية يظل ثابتا تقريبا عند كل مستويات الاشعاع الشمسي الساقط.

. التيار المتولد يتغير مباشرة تبعا لقيم الاشعاع الشمسي الساقط عند كل لحظة زمنية.

والشكل ادناه يتضح منه الملاحظات الآتية:

- يزيد الجهد طرديا وبسرعة حتى ٢٠٠وات/ متر مربع ثم يكون ثابت تقريبا.
- يزيد التيار (وبالتالي القدرة القصوى) تناسبيا مع زيادة الاشعاع الشمسي.

٣. تأثير الرياح على مخرج الخلية الشمسية:

لا تؤثر الرياح بصورة مباشرة على مخرج الخلية الشمسية ولكن تؤثر على حرارة السطح للخلية الشمسية وبالتالي على الحرارة الداخلية للخلية الشمسية ولأن حركة الرياح تؤثر على تيارات الحمل فإنها تساعد على رفع معامل انتقال الحرارة بالحمل والذي على انتقال الحرارة من سطح الخلية إلى المحيط الخارجي ويخفض من الحرارة الداخلية للخلية وبالتالي يحسن من كفاءتها وادائها.

٤. تأثير العوامل المختلفة على حرارة الخلية الشمسية الفوتوفولتية:

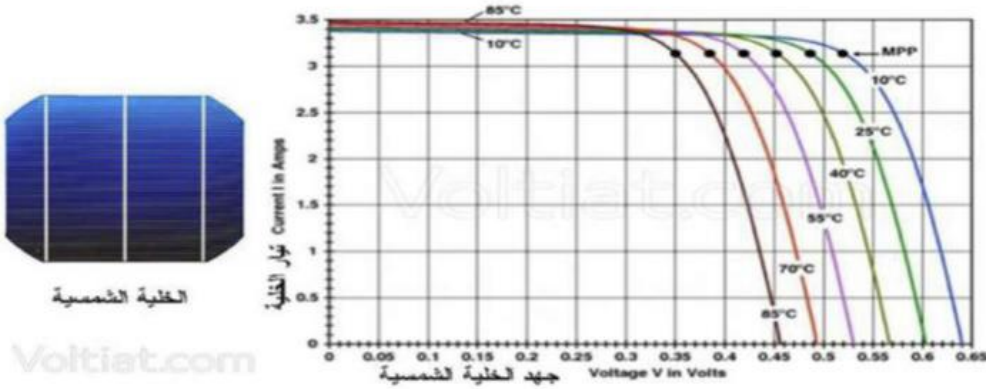
تؤثر العوامل المناخية المختلفة على حرارة الخلية الفوتوفولتية والتي بدورها تؤثر على القدرة القصوى لمخرج الخلية الفوتوفولتية ، هذه العوامل هي:

-ارتفاع حرارة الخلية نتيجة ارتفاع درجة حرارة المحيط الخارجي.

-ارتفاع درجة حرارة الخلية نتيجة زيادة شدة الاشعاع الشمسي.

- انخفاض حرارة الخلية بسبب زيادة تأثير انتقال الحرارة بتيارات الحمل الناشئة عن حركة الرياح.

- ارتفاع درجة حرارة الخلية نتيجة مرور التيار الكهربائي فيه.



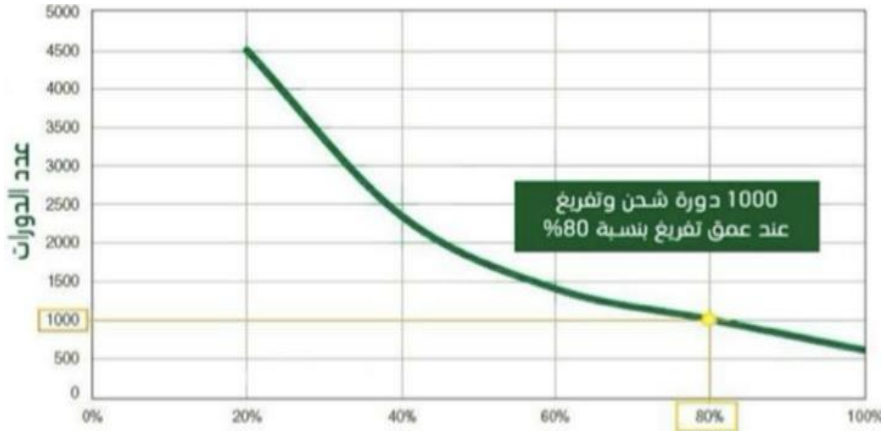
الشكل (٤-٣) تأثير الحرارة والإشعاع على الخلايا الشمسية

٣ .٥ حساب منظومة الخلايا الشمسية: *calculatin of the solar cell system*

قد تحتاج إلى حساب منظومة الخلايا الشمسية حتى تتمكن من معرفة المنظومة الشمسية المناسبة لحاجتك وهو ما سنتطرق اليه هذه الفقرة يتطلب منك الأمر القيام بالخطوات التالية:

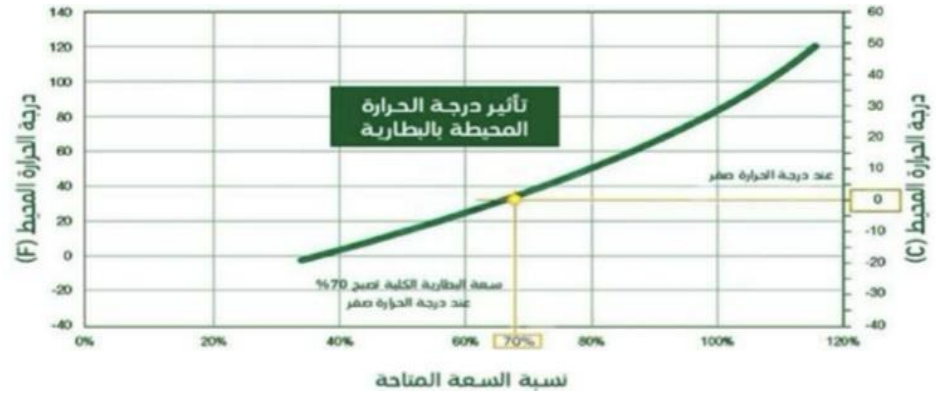
١ . احسب الاستهلاك الكهربائي لأجهزتك الكهربائية: تعرف إلى حجم الاستهلاك لكل جهاز من بطاقة الجهاز أو بحساب قدرة الجهاز وفق المعادلة التالية: الفولت التيار-من اجل الدقة ايضاً حدد عدد ساعات تشغيل كل جهاز خلال يوم الواحد ولا تنسى تحديد قدرة التيار الإقلاع في أجهزة مثل: برادات بعد ذلك احسب الاستهلاك اليومي للجهاز:قدرة الجهاز *عدد ساعات التشغيل ولا تنس ان تضيف نسبة بين ٢٥٪ و ٣٠٪ لتعويض فقد الطاقة في المنظومة الشمسية وأخيرا تحسب التيار الكلي بتقسيم اجمالي الطاقة المستهلكة لليوم على فولتيه النظام.

٢. حدد عدد البطاريات التي تحتاج اليها:بدايةً تحتاج الى جمع هذه المعلومات:جهد البطارية السعة الامبيريه للبطاريهمعد التفريغ للبطارية و تصحيح درجة حرارة (كالتالوج البطارية) تجنب التفريغ المفرط للبطارية لانه يقلل من عمرها.



الشكل (٣-٤) حساب منظومة الخلايا الشمسية

ولا تنس ان تحدد الحرارة المحيطة بالبطارية فسعه البطارية تتناقص مع انخفاض درجة الحرارة بعد ذلك لحساب عدد البطاريات التي تحتاجها قس:قسم السعة الكلية للبطارية على سعة البطارية .



الشكل (٤-٥) تأثير درجة الحرارة على منظومة الخلايا الشمسية

٣. حدد عدد الألواح الشمسية اللازمة: انت تحتاج ان تحدد عدد ساعات الاشعاع اليومي في مكان تواجدك ودوما اختر القيمة المتدنية لو كان معدل الاشعاع يتراوح بين ٥ الى ٦ ساعات يوميا اختر القيمة ٥ بعد ذلك عليك تحديد الاستطاعة المناسبة للوح الشمسي : القدرة الإجمالية للأجهزة الكهربائية بعد تعويض الفقد على معدل الاشعاع الشمسي فيكون عدد الالواح المطلوبة هي الاستطاعة الكلية للألواح على قدرة اللوح الواحد.

٤. احسب قدرة الانفرتر المناسبة : اختر منظم شحن بناء على قيمة تيار القصر للوح الشمسي وعدد الالواح مع إضافة ٢٥٪ نسبة امان [١٣].

(١٣) الخلايا الشمسية، د. محمد لطفي، دار أسامة لطباعة والنشر، دمشق ، ٢٠٠٧

الاستنتاجات

١. تقوم الخلايا الشمسية بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية مستفيدة من الخصائص الالكترونية لنوع معين من المواد تعرف بأشباه الموصلات (semiconductors) .

٢. لقد اقتصر استخدامها في الماضي على تجهيز المناطق النائية بكميات صغيرة من القدرة. أما الآن فيظهر استخدام أكثر وأوسع لتطبيقات هذه الخلايا إذا استمر انخفاض أسعارها بالشكل الحالي وان تجهيز القدرة للاحتياجات المنزلية على شكل مساحات مربوطة بشبكة تجهيز القدرة تبدو عملية من الناحية الاقتصادية، خاصة مع التقنيات الجديدة التي تعد الآن في مرحلة البحث والتطوير وان تقنية الأغشية الرقيقة التي تستخدم فيها مواد شبه موصلة هي التقنية المرشحة لإنتاج خلايا شمسية يتوقع لن تنخفض من تكلفتها.

٣. يعتمد عمل الخلايا الشمسية على الظاهرة الفوتوفولتانية (photovoltaic effect).

لقد نشر عن هذه الظاهرة أول مرة عام ١٨٣٩ العالم بيكورل (١) (Becquerel) الذي لاحظ ان الفولتية بين الأقطاب المغمورة في محلول الكتروليتي يعتمد على الضوء الساقط وفي عام ١٨٧٦ لوحظت هذه الظاهرة في جميع النبائط التي تشتمل على مادة السلينيوم Se وتبع ذلك ابتكار الخلايا الضوئية (photo cells) المصنوعة من هذه المادة ومن مادة اوكسيد النحاسوز، وعلى الرغم من إن أول ما نشر عن الخلية السليكونية كان سنة ١٩٤١ فلم يعرف عن الخلية السليكونية بشكلها الحالي الا في عام ١٩٥٤ واعتبرت هذه النبيطة (device) في حينها من أعظم الابتكارات خلال تلك الفترة لأنها كانت أول تركيب فوتوفولتاني ضوئي يقوم بتحويل الضوء الساقط إلى طاقة كهربائية وبكفاءة مقبولة. وتم استخدام هذه الخلايا للأغراض الفضائية وفي عام ١٩٥٨ تم استخدام هذه الخلايا للأغراض القضائية ومع بداية الستينات أصبح استخدام الخلايا السليكونية للأغراض القضائية أمرا مألوفاً وبقي هذا من أهم استخدامات هذه الخلايا لعقد من الزمن.

٤. شهدت بداية السبعينات فترة تطوير الخلية السليكونية مع تزايد واضح في كفاءة تحويل الطاقة وفي الوقت ذاته تقريبا كانت هناك زيادة اهتمام في استخدام هذه النبائط في التطبيقات الأرضية. وفي نهاية السبعينيات فاق حجم الخلايا المنتجة للاستخدامات الأرضية تلك المنتجة للاستخدامات الفضائية، ورافق هذه الزيادة بالإنتاج انخفاض كبير في أسعار الخلايا الشمسية.

٥. لقد شهدت بداية الثمانينيات إنتاج تجريبي لتقنيات حديثة أنذاك تهدف إلى خفض تكاليف الخلايا الشمسية للعقود القادمة. وان هذا الانخفاض في الأسعار يشجع التوسع المستمر في التطبيقات التجارية في استغلال الطاقة الشمسية.

٦. وكذلك ظهرت حديثا تقنية استخدام الأغشية الرقيقة لإنتاج الخلايا الشمسية بكلفة رخيصة مع رفع القدرة الخارجة لوحدة المساحة بالنسبة لهذه الخلايا. ولقد تم توفير الخلايا الشمسية من السليكون العشوائي تجاريا منذ عام ١٩٨٠ والتي يكاد يصل أدائها داخل المختبر أداء خلايا مصنوعة من نوعية جيدة من السليكون البلوري والدراسات مستمرة الآن لغرض الحصول على هذا الأداء خارج المختبر في المحطات الفضائية .

٧. تطبيقات على استخدام الخلايا الشمسية في هذا الكون توجد العديد من المظاهر والظواهر التي كانت هي السبب فيما نحن نعيشه من وجود اختراعات وتكنولوجيا في الحياة والمجتمع الذي يوجد حولنا الآن بالرغم من أن تلك الصناعات والاختراعات التي هي أصبحت سمة من سمات العصر الحالي غير موجودة في السابق.

الفصل الرابع

المصادر

١.مريم ازهر علي .(٢٠١٦).

تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات أخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيمكس.رسالة ماجستير،كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم ، جامعة بغداد، ٢٠١٦.

٢. إبراهيم عبد الرءوف . (٢٠١٣) ، الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة،دراسة تحليلية وتطبيقية على الطاقة الشمسية في مصر، مجلة البحوث القانونية والاقتصادية، العدد ٥٤ ، أكتوبر، ص ١١٦٠.

٣. الجهاز المركزي للتعبئة والإحصاء،دراسة مستقبل الطاقة في مصر،مارس ٢٠١٤ م ص ٢٦.

٤. الخياط محمد مصطفى، الطاقة (مصادرها -أنواعها -استخداماتها) القاهرة.٢٠٠٦.

٥.C.Kandilli and K.Ulgen,"solar Illumination and Estimating Daylight Availability of Global Solar Irradiance" ,Energy Sources,٢٣ (٩), ٢٤-٣٣(٢٠٠٩).

٦. R. Willson and A.Mordvinov,"Secular total solar irradiance trend during solar cycles ", Geophys. Res.Lett.,٣٠(٥),٢١-٢٣(٢٠٠٣).

٧.M.J.O Neill,A.J.McDaniel ,p.J.George,M.F.Piszczor,D.L Eswards,D.T.Hoppe,M.L.Eskenazi, M .M. Botke,P.A.Jaster ,H.w.Brandhorst," Development of The Ultra-light stretched Lens Array " ,٢٩ IEEE Pvsc , New Orleans, (٢٠٠٢).

[٨] . ضحى ثامر عبيد،الخلايا الشمسية، بحث بكالوريوس ، قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة بابل ، العراق ، ٢٠٢٢ .

[٩] عبد الله قاسم محمد.

الخلايا الشمسية.بحث بكالوريوس،كلية التربية للعلوم الصرفة،قسم الفيزياء، جامعة بابل، العراق، ٢٠٢٣ .

[١٠] كاظم محمد فؤاد،٢٠١٩ .الخلايا الشمسية المحفزة بالصبغة رسالة بكالوريوس غير منشورة ،كلية العلوم ،قسم الكيمياء،جامعة القادسية،العراق .

[١١] R. pearson, "Energy storage via carbon-Neutral Fuel Made From Co٢ . Water and Rainwable Energy " proceeding of the IEEE ١٠٠ (٢) : ٤٠-٦٠ (٢٠١٢).

[١٢] Mmmmm silicon.

[١٣] الخلايا الشمسية، د. محمد لطفي، دار أسامة لطباعة والنشر، دمشق ، ٢٠٠٧ .