الفصل الحادي و العشرون

انواع الطاقة الشمسية وتركيز الضوء بعدسات زجاجية

تاريخ الخلايا الشمسية

أن اصل مصطلح الضوئية photovoltaic من اليونانية (φῶς phōs) ويعني الضوء ومن اسم فولتا وهو فيزياتي إيطالي والفولت وحدة تابعة للقوة الدافعة للكهربائية وبذلك اصبح المصطلح photovoltaic باللغة الإنجليزية منذ عام ١٨٤٩ كما تم التعرف لأول مرة على تأثير الضوئية فى عام ١٨٣٩ من قبل الفيزياتي الفرنسي بيكريل ومع ذلك فقد تم بناء اول خلية ضوئية عام ١٨٨٣ من قبل شارلز فريتز الذى قام بتغليف السيلينيوم أشباه الموصلات بطبقة رقيقة جدا من الذهب لتشكيل التقاطعات وكانت كفاءة الجهاز حوالى ١ % فقط وفى عام ١٨٨٨ ميلادية بنى الروسي الفيزيائي الكسندرستوليتوف اول خلية كهروضوئية على أساس تأثير الكهروضوئي الخارجي الذى اكتشفه هاينريش هيرتز فى وقت سابق من عام ١٨٨٧ وقد وضح البرت أينشتاين التأثير الكهروضوئي فى عام ١٩٠٥ وقد حصل على جائزة نوبل فى الفيزياء عام ١٩٢١ ثم بعد ذلك اكتشف فلاديم فوشكوراف الوصلة الثنائية بي أن (p—n Junction) فى Cu_2O وكبريتيد للفضة سنة ١٩٤١ وقد حصل روسل أوهل على براءة اختراع لأشباه الموصلات فى تقاطع الخلايا الشمسية الحديثة فى عام ١٩٤٦ الذى تم اكتشافه فى الوقت الذى تمت فيه سلسلة من التطورات التي عنيت بالترانزستور ولعلنا نجد أن اول خلية ضوئية تم إنتاجها بصورة عملية من قبل مختبرات بيل فلقد تم تطوير الخلية الضوئية الحديثة فى عام ١٩٥٤ فى مختبرات بيل وقد وضعت لأول مرة خلية ذات كفاءة عالية للطاقة الشمسية من قبل شابين داريل كالفين فولر ساوثير وجيرالد بيرسون فى عام ١٩٥٤ باستخدام موزع تقاطع PN السيليكون ففي البداية وضعت الخلايا لغايات ألعاب الأطفال واستخدامات أخرى ثانوية حيث أن تكلفة الكهرباء التي تنتجها كانت

عالية جدا نسبيا وكانت تكلفة للخلية التي تنتج واحد وات من الطاقة الكهربائية في ضوء الشمس الساطع نحو ٢٥٠ دولار مقارنة إلى ٢ دولار إلى ٣ دولارات لإقامة مصنع للفحم وتم إنقاذ الخلايا الشمسية من الغموض من خلال اقتراح لإضافتها إلى القمر الصناعي فانغوارد الذى اطلق فى عام ١٩٥٨ ميلادية فى الخطة الأصلية فتم تزويد القمر الصناعي بالطاقة عن طريق البطارية فقط فتستمر لفترة قصيرة لذلك بإضافة الخلايا إلى خارج الجسم يمكن تمديد الوقت بدون تغييرات كبيرة في المركبات الفضائية أو نظام الطاقة فيها وكان هناك بعض الشكوك في البداية ولكن الممارسة العملية للخلايا ثبتت نجاحا كبيرا وكانت بذلك صممت الخلايا الشمسية للأقمار الصناعية الجديدة ولا سيما تلستار بيل نفسه وكان التحصن بطيئا على مدى العقدين التاليين وكان الاستخدام على نطاق واسع في مجال التطبيقات الفضائية حيث أن نسبة القوة للوزن اعلى من أي تكنولوجيا منافسة ومع ذلك كان هذا النجاح أيضا السبب وراء بطء التقدم فمستخدمي الفضاء كانوا على استعداد لدفع أي شيء للحصول على الخلايا بأفضل وجه ممكن فليس هناك ما يدعو للاستثمار فى حلول اقل تكلفة اذا كان هذا من شانه أن يقلل من الكفاءة بدلا من ذلك تم تحديد السعر من الخلايا إلى حد كبير فى صناعة أشباه الموصلات ومن ثم انتقالهم إلى الدوائر المتكاملة فى ١٩٦٠ ميلادية وادى ذلك إلى توافر اكبر بولز بأسعار اقل نسبيا وكما انخفضت أسعارها انخفضت أسعار الخلايا الناتجة كذلك وتم حصر هذا التأثير وحوالي عام ١٩٧١ ميلادية تشير التقديرات إلى أن أسعار الخلايا هى ١٠٠ دولار لكل واحد وات وفى أواخر ١٩٦٠ ميلادية وكان الليوت بيرمان يقوم بالتحقيق فى طريقة جديدة لإنتاج السيليكون (المادة الخام) فى عملية الشريط ومع ذلك وجد القليل من الاهتمام فى هذا المشروع وكان غير قادر على الحصول على التمويل اللازم لتطويره حين جاءت الفرصة قد قدم في وقت لاحق لفريق فى لكسون الذين

كانوا يبحثون عن مشاريع ٣٠ عاما فى المستقبل وكان الفريق قد توصل إلى أن تكلفة الطاقة الكهربائية سيكون اكثر بكثير بحلول عام ٢٠٠٠ ميلادية ورأت أن هذه الزيادة فى الأسعار سيجعل للمصادر البديلة للطاقة اكثر جاذبية وكانت الطاقة الشمسية الأكثر إثارة للاهتمام وفى عام ١٩٦٩ ميلادية انضم بيرمان ليندن ونيو جيرسي إلى مختبر اكسون للطاقة الشمسية شركة أندوك وكان اول جهد كبير له هو حشد السوق المحتملة لنرى إمكانيات الاستخدام كمنتج جديد وانها سرعان ما وجدت انه اذا تم تخفيض سعر لكل وات من ١٠٠ watt / $ إلى حوالى ٢٠ watt / $ سيكون هناك طلب كبير مع العلم أن مفهومه للشريط قد يستغرق سنوات للتطوير بدا الفريق يبحث عن سبل للوصول إلى أي سعر ٢٠ $ باستخدام المواد الموجودة وكان اول تحسين هو ادراك أن الخلايا الموجودة معتمدة على مستوى عملية تصنيع أشباه الموصلات على الرغم من انه لم يكن مثاليا بدا هذا بتقطيعها إلى أقراص تسمى رقائق ثم تلميع الأقراص وبعد ذلك لاستخدام الخلية يتم طلائها بطبقة مضادة للانعكاس وأشار بيرمان إلى أن الرقائق الخام مضادة للانعكاس تماما وبجعل الأقطاب مباشرة على هذا السطح تم القضاء على اثنين من الخطوات الرئيسية فى معالجة الخلية وقام الفريق بتحسين الخلايا إلى صفوف والقضاء على المواد باهظة الثمن والأسلاك من ناحية استخدامها فى تطبيقات الفضاء وكان الحل باستخدام لوحة الدوائر في الطبقة السفلية والبلاستيك الاكريليك فى الطبقة العلوية والغراء سيليكون بينهما كان اكبر تحسن في تحقيق بيرمان بان سعر السيليكون الموجود جيد جدا للاستخدام فى الخلايا الشمسية أما العيوب البسيطة فهو أن الرقائق الفردية للإليكترونيات قد يكون لها تأثير بسيط فى تطبيق الطاقة الشمسية وبوضع كل من هذه التغييرات موضع التنفيذ بدأت الشركة فى شراء السيليكون من الشركات المصنعة الحالية وبتكلفة منخفضة جدا باستخدام اكبر للرقائق المتاحة وبالتالي تقليل

كمية من الأسلاك لمنطقة معينة وبحلول عام ١٩٧٣ فان شركة SPC كانت تنتج لوحات بسعر ١٠ دولارات للوات الواحد وبيعها بمبلغ ٢٠ دولار للوات الواحد وهو خمسة أضعاف نقصان في الأسعار فى غضون عامين توصلت شركة SPC إلى شركات صنع المحطات كسوق طبيعية لمنتجاتها ولكن وجدت هذا الوضع غريبا وكانت الشركة الأساسية فى مجال الطاقة هى أوتوماتيك باور وهى الشركة المصنعة للبطارية مدركين أن للخلايا الشمسية قد تؤثر فى أرباحها فقامت هذه الشركة بشراء النموذج الأول من إليكترونيات هوفمان ونشرت ذلك وبما انه لم يكن هناك أي مصلحة فى الطاقة فى أوتوماتيك باور وتحولت شركة SPC إلى إشارة تايدلند وهى شركة أخرى للبطاريات التي شكلتها سابقا أوتوماتيكية المديرين عرض تايدلند محطات التي تعمل بالطاقة الشمسية وبسبب الزيادة المتسارعة فى عدد حاملات للنفط البحرية ومرافق التحميل فقد انتج ذلك سوقا ضخمة بين شركات النفط وبتحصن فرص تايدلند بدات اوتوكاتيك باور بالبحث عن العروض الخاصة بهم من الألواح الشمسية وجدوا بيركس الشرعية الدولية لتوليد الطاقة الشمسية SPI فى ولاية كاليفورنيا الذى كان يبحث عن السوق تم شراء SPI من اكبر عملائها عملاق النفط اركو بتشكيل اركو للطاقة الشمسية مصنع للطاقة الشمسية اركو في كاماريللو وكانت كاليفورنيا اول مدرسة لبناء الألواح الشمسية وكان فى عملية مستمرة من شرائها من قبل اركو فى عام ١٩٧٧ ميلادية إلى ٢٠١١ ميلادية عندما تم إغلاقه بواسطة سولار وورلد هذه السوق وادى هذا بالإضافة إلى أزمة النفط عام ١٩٧٣ ميلادية إلى حالة مشكوكة وكانت شركات النفط فى تلك الفترة بسبب أرباحها الضخمة خلال الأزمة ولكنها كانت تدرك تماما أن النجاح فى المستقبل ستعتمد على شكل أخر من أشكال الطاقة وبمرور بعض السنوات وبدأت شركات النفط الكبرى بعدد من شركات الطاقة الشمسية وكانت لعدة عقود اكبر منتجي الطاقة الشمسية

اكسون واركو وشركة شل واموكو التي تم شراؤها في وقت لاحق من قبل شركة بريتيش بتروليوم وشركة موبيل وكان جميع الشعب للشمسية الكبرى خلال ١٩٧٠ و١٩٨٠ ميلادية شركات التكنولوجيا لديها أيضا بعض الاستثمارات بما في ذلك شركة جنرال الكتريك وموتورولا وأي بي أم وتايكو

الخلايا الشمسية

الخلية الشمسية أو الضوئية و الكهروضوئية وكان يطلق عليها في الأيام الأولى لصناعتها بطارية شمسية ولكن اصبح ذلك يحمل معنى مختلف تماما الأن فهي عبارة عن جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية مستغلا التأثير الضوئي الجهدي وتتكون من طبقة سيليكون يضاف لها بعض الشوائب لتعطيها بعض الخواص الكهربائية فالطبقة العليا المقابلة للشمس يضاف إليها عنصر الفسفور لتعطيه خاصية ضخ الكهيربات عند ارتطام الضوئيات بها وتسمى هذه الطبقة بالطبقة N بينما يضاف عنصر للبورون للطبقة السفلى ويعطيه خاصية امتصاص الكهيربات وتسمى هذه الطبقة P فعند ارتطام ضوئيات الشعاع الشمسي بالطبقة العلوية تمنح الكهيربات طاقة تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي وعند وجود موصل كهربائي بين الطبقتين تنتقل الكهيربات من الطبقة العليا إلى الطبقة السفلى وهكذا يتكون تيار وجهد كهربائيان وتعتبر الخلايا الشمسية مصدر هام لتزويد المركبات الفضائية والأقمار الصناعية بما تحتاجه من طاقة كهربائية وتعتبر من البدائل المساعدة لمصادر الطاقة التقليدية من البترول و الفحم والغاز ومشتقاته المحدودة في الطبيعة والقابلة للنضوب بسبب الاستنزاف الهائل لها فالخلايا الشمسية تحول طاقة الأشعة الشمسية مباشرة إلى كهرباء وتتميز بإنتاج كهرباء دون أن تؤدى لتلوث البيئة وعمرها الافتراضي يصل إلى ٣٠ سنة كما أن ارتفاع كلفة إنتاجها هو العائق الرئيسي لاستخدامها كما تستخدم التجمعات من الخلايا الشمسية (وحدات الطاقة الشمسية) لالتقاط الطاقة من ضوء الشمس لتحويله إلى كهرباء عندما يتم تجميع وحدات متعددة معا (حيث تكون أولوية التركيب بنظام تعقب قطبي محمول) يتم تركيب هذه الخلايا الضوئية كوحدة واحدة يتم توجيهها على سطح واحد وتسمى

بلوح الطاقة الشمسية solar panel أن الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الضوئية Solar power وتعتبر مثالا على استخدام الطاقة الشمسية solar energy كما أن الخلايا الكهروضوئية هى مجال التكنولوجيا والبحوث المتعلقة بالتطبيق العملي فى إنتاج الكهرباء من الضوء لكن وعلى الرغم من ذلك غالبا ما يستعمل على وجه التحديد بالإشارة إلى توليد الكهرباء من ضوء الشمس توصف الخلايا المستخدمة فى تلك العملية بالخلايا الضوئية وان لم يكن مصدر الضوء هو الشمس ومثال ذلك (ضوء المصباح والضوء الاصطناعي ... الخ) وتستخدم الخلايا الكهروضوئية للكشف عن ضوء أو غيره من الإشعاع الكهرومغناطيسي بالقرب من مجموعة ضوئية مرئية كالكشف عن الأشعة تحت الحمراء أو قياس شدة الضوء فالفولتية الضوئية Photovoltaics PV التي تعرف بالخلايا الشمسية أو الخلايا الفولت ضوئية photovoltaic cells فمن خلالها يتم تحويل أشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء عن طريق استخدام أشباه الموصلات مثل السليكون الذى يستخرج من الرمل النقي وبصفة عامة مواد هذه الخلايا إما أن تكون :

- مادة بلورية سميكة كالسيليكون البلوري Crystalline Silicon
- مادة لا بلورية رقيقة كمادة السيلكون اللابلورى Amorphous Silicon a-Si و Cadmium Telluride CdTe أو Copper Indium Diselenide $CuInSe^2$ أو CIS
- مواد مترسبة كطبقات فوق شرائح من شبه الموصلات تتكون من ارسنيد الجاليوم Gallium Arsenide GaAs

وتعتبر طاقاتها شكلا من الطاقة المتجددة والنظيفة لأنه لا يسفر عن تشغيلها نفايات ملوثة ولا ضوضاء ولا إشعاعات ولا حتى تحتاج لوقود لكن كلفتها الابتدائية مرتفعة مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى والخلايا الشمسية تولد كهرباء مستمرة ومباشرة كما هو في البطاريات المماثلة والجافة العادية وتعتمد شدة تيارها على وقت سطوع الشمس وشدة أشعة الشمس وكذلك على كفاءة الخلية الضوئية نفسها في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ويمكن لهذه الخلايا الشمسية إعطاء مئات الفولتات من التيار للكهربائي المستمر DCلو وصلت هذه الخلايا على التوالي كما يمكن تخزين الطاقة الناتجة في البطاريات الحامضية المصنوعة من الرصاص أو القاعدية المصنوعة من معدني النيكل والكادميوم ويمكن تحويل التيار المستمر DC إلي تيار متردد AC بواسطة العاكسات nvertorللاستعمال وإدارة الأجهزة للكهربائية المنزلية والصناعية العادية ومن مميزاتها أنها ليس بها أجزاء متحركة تتعرض للعطل لهذا تعمل فوق الأقمار الصناعية بكفاءة عالية ولاسيما وانها لا تحتاج لصيانة أو إصلاحات أو وقود حيث تعمل في صمت الا أن اتساخ الخلايا الضوئية نتيجة التلوث أو الغبار يؤدى إلى خفض في كفاءتها مما يستدعي تنظيفها على فترات ولعلنا نجد أن اكبر محطة توليد كهرباء تعمل حاليا بالخلايا الشمسية توجد في إسبانيا وقدرتها ٢٣ ميجا وات ومن المخطط أن يتم بناء لكبر محطة تعمل بالخلايا الشمسية في أستراليا بقدرة ١٥٤ ميجاوات والخلايا الشمسية تعمل في الأقمار الصناعية منذ عام ١٩٦٠ ميلادية كما تزود محطة الفضاء الدولية ISS بالتيار الكهربائي وهناك طريقة أخرى لتحويل الطاقة الشمسية إلى الطاقة الكهربائية وذلك عن طريق استغلال الحرارة المباشرة لأشعة الشمس أو ما يسمى بتقنية الكهرباء الحرارية الشمسية solar thermal electricity

.

أنواع الخلايا الشمسية :

- **خلية شمسية أحادية البلورة :**

وهي عبارة عن خلايا قطعت من بلورة سيليكون مفردة وكفاءة هذا النوع من الخلايا من ١١ إلى ١٦ % مما يعني أن امتصاص الخلايا من الإشعاع القادم من الشمس الذي يبلغ قوته ١٠٠٠ وات لكل متر مربع وذلك في يوم مشمس بالقرب من خط الاستواء أي أن واحد متر مربع من هذه الخلايا يمتص الإشعاع الشمسي بهذه الكفاءة ينتج ما بين ١١٠ وات حتى ١٦٠ وات وهو ذو كفاءة عالية مقارنة بالأنواع الأخرى ولكنه مكلف اقتصاديا

- **خلايا شمسية متعددة البلورة :**

وهي عبارة عن رقائق من السيليكون كشطت من بلورات سيليكون أسطوانية ثم تعالج كيميائيا فى أفران لزيادة خواصها الكهربية وبعد ذلك تغطى أسطح الخلايا بمضاد الانعكاس لكي تمتص الخلايا أشعة الشمس بكفاءة عالية وكفاءة هذا النوع من ٩ إلى ١٣ % وهو اقل كفاءة من البلورة الأحادية ولكنه اقل تكلفة اقتصاديا

- **خلايا شمسية غير متبلورة :**

وفيها مادة السيليكون تترسب على هيئة طبقات رفيعة على أسطح من الزجاج أو البلاستيك لذلك فتصنيع هذه الخلايا يتم بتقنية سهلة ولكن كفاءتها اقل من ٣ إلي٦ % وأسعارها أيضا اقل وهي مناسبة لتطبيقات من ٤٠ وات فاقل كما أن كفاءتها وتكلفتها اقل من الأنواع المذكورة

أجهزة التحكم فى الشحن battery charge controllers

إن استمرار شحن البطارية بعد تمام شحنها يعرضها للتلف وأيضا سحب الشحن من البطارية عند قرب تفريغ البطارية يتلفها أيضا لذلك وجب وجود متحكم يعمل على فصل البطارية بمجرد أن يتم شحنها ووقف عملية سحب الفولت منها وهذه المتحكمات موديلات تتراوح بين :

- من ١ إلى ٨ أمبير بما يعادل ١٢ فولت إلى ٢٤ فولت حيث يستخدم فى أنظمة الإضاءة الصغيرة ونظم الخلايا المنزلية وأيضا يستهلك ثمن ملى أمبير
- يتحكم في بطارية جهدها ١٢ فولت إلى ٢٤ فولت وشدة التيار ١٠ أمبير يستخدم فى التطبيقات الخفيفة المتوسطة
- متحكم التطبيقات المتوسطة ٣٠ أمبير وهو مزود بشاشة يستخدم فى إضاءة الشوارع والاستخدامات التجارية وأيضا أنظمة الحماية
- متحكم ٩٦٠ أمبير يستخدم في مقويات موجات الميكروويف (أبراج تقوية شبكات المحمول)

البطاريات

البطاريات تتراوح من ١٢ فولت (٢٠أمبير/ ساعة) إلى ٢ فولت (١٦٨٥٠أمبير/ ساعة) ويتراوح عمر البطارية التي صممت عليه من ٨ إلى ١٥ إلى ١٨ إلى ٢٠ سنة ومثال على ذلك لمبات إضاءة مزودة بخلايا شمسية بدا من الكشاف اليدوي حتى اللمبة الفلوروسنت الخطية ولهذه اللمبات ميزات رائعة حيث أنها من الممكن أن تشحن من الكهرباء العادية بالإضافة لشحنها من الخلايا الشمسية فمن الممكن أن تشحن من بطارية السيارة كما أنها من الممكن أن تشحن منها الهاتف المحمول وأيضا هناك صدة إنارة تعمل بالخلايا الشمسية وبطاريات للإضاءة الليلية

تطبيقات هامة على استخدام خلايا الطاقة الشمسية

o كريستالات الخلايا الضوئية :

غالبا ما تكون الخلايا الشمسية مرتبطة كهربائيا وتصنف كوحدة نمطية غالبا ما يكون لوح من الزجاج على الجهة العليا باتجاه الشمس إلى الأعلى وعلى الجانب مما يسمح للضوء بالمرور مع حماية رقائق أشباه الموصلات من الاحتكاك والتأثر بسبب الرياح بحركها الحطام والمطر والبرد وأيضا غير ذلك الخلايا الشمسية مرتبطة عادة في سلسلة وحدات ولذا فان ربط الخلايا بشكل متواز يحقق اعلى إنتاجية الا أن المشاكل كبيرة جدا مع وجود الترتيب بالتوازي

o المواد

إن طريقة شوكلي – كويزار لتحديد اعلى قدر من الكفاءة النظرية للخلية الشمسية أشباه الموصلات مع فجوة بين ١ و ١.٥ eV لو الضوء القريب من الأشعة تحت الحمراء يكون لها اكبر إمكانية لتشكيل خلية فعالة يمكن تجاوز كفاءة الحد ويكون واضح هنا بواسطة الخلايا الشمسية متعددة التفرعات المواد المختلفة تبين قدرات مختلفة ولها تكاليف مختلفة يجب أن تحمل المواد للازمة للخلايا الشمسية خصائص مطابقة لطيف الضوء المتاح لكى تكون فعالة وقد صممت بعض الخلايا الشمسية لتعمل بكفاءة لتحويل موجات من ضوء الشمس التي تصل إلى سطح الأرض ومع ذلك يتم تحسين بعض الخلايا الشمسية لامتصاص الضوء وراء الغلاف الجوي للأرض أيضا ويمكن في كثير من الأحيان استخدام ضوء مواد لامتصاص الضوء فى تشكيلات مادية متعددة للاستفادة من الاختلاف فى امتصاص الضوء ولشحن أليات فصل مختلفة وان المواد المستخدمة فى الوقت الحاضر للخلايا الشمسية الضوئية تشمل السيليكون أحادية الكريستالات والسيليكون متعدد الكريستالات

السيليكون غير المتبلور تلوريد الكادميوم ونحاس الانديوم من نوع السيلينيد أو الكبريتيد ويتم تصنيع العديد من الخلايا الشمسية المتوافرة حاليا من مراكم تقطع إلى رقائق بسماكة بين ١٨٠ إلى ٢٤٠ ميكرومتر سميكة والتي تتم معالجتها مثل أشباه الموصلات الأخرى وتصنع مواد أخرى من طبقات رقيقة كالأفلام والأصباغ للعضوية والبوليمرات العضوية التي تترسب على مواد دعم وهناك مجموعة ثالثة تصنع من البلورات دقيقة جدا حاملة للطاقة (بلورات إليكترونية دقيقة) فالسيليكون لا تزال المادة الوحيدة التي تتمتع بمستوى جيد من الأبحاث فى كل من أشكال المراكم والرقائق الدقيقة جدا

- **السيليكون البلوري**

السيليكون أحادية الكريستالات والسيليكون متعدد الكريستالات والسيليكون البلوري فنجد أن المواد المتوفرة والأكثر انتشارا للخلايا الشمسية هى السيليكون البلوري والتي يشار لها بإختصار c-Si المعروف أيضا باسم فئة السيليكون الشمسية يتم فصل سبائك السيليكون إلى فئات متعددة وفقا لمدى تبلورها وحجمها فى السبيكة الناتجة أو الشريط أو الرقاقة يصنع السيليكون الأحادي c-Si فى كثير من الأحيان باستخدام عملية تشوخرالسكى حيث تميل خلايا رقائق الكريستال الأحادية أن تكون باهظة الثمن

الطاقة الشمسية الفضائية Space based solar power (SBSP)

هى تحويل الطاقة الشمسية المكتسبة فى الفضاء إلى أي نوع أخر من الطاقة الكهربائية أساسا بوضع أقمار صناعية ضخمة فى مدارات فى الفضاء تكون عبارة عن أجسام عملاقة قابلة للتمدد وتكون مكونة من الواح وهوائيات قادرة على تجميع أشعة الشمس لتحويلها إلى طاقة كهربائية بحيث تقوم بتلك المهمة بالتحديد ومن ثم يمكن تحويل حزمة الأشعة لدى تلقيها فى محطات الاستقبال الموجودة على سطح الأرض إلى تيار كهربائي أو وقود اصطناعي يتدفقان بشكل متواصل إلى شبكات خطوط الكهرباء بغض النظر عن الفصل السنوي صيف أم شتاء أو الطقس أو المكان وذلك على النقيض من التيار الكهربائي المولد فى المحطات الأرضية المستخدمة للطاقة الشمسية فتكمل العملية بإقامة أقمار صناعية لجمع الطاقة الشمسية من المدارات جيوسينكرونوس geosynchronousعلى بعد ٢٢ الف ميل فى الفضاء وتبعث تلك الأقمار الصناعية ميغاوات من الطاقة الشمسية بترددات كهرومغناطيسية إلى أجهزة استقبال حيث يتم تحويلها إلى كهرباء وتنقل عبر قضبان الطاقة وتتمركز الأقمار الصناعية فى تلك المدارات البعيدة ونظرا لعدم انعكاس ظل الأرض عليها مما يعنى فيضا لا ينضب ومتواصلا على مدار الساعة من الطاقة الكهربائية المتجددة

كتلة الهواء وعلاقتها بالطاقة الشمسية

كتلة الهواء هنا تصف التطبيق العملي في الصناعات المتعلقة بالطاقة الشمسية حيث يقوم معامل كتلة الهواء بتحديد طول المسار البصرى المباشر الذى يخترق الغلاف الجوي للأرض ويتم التعبير عن المسار كنسبة متصلة بطول المسار العمودي نحو الأعلى أي في الذروة ويمكن استخدام معامل كتلة الهواء للمساعدة في تحديد خصائص الطيف الشمسي بعد أن يمر الإشعاع الشمسي من خلال الغلاف الجوي ويتم استخدام معامل كتلة الهواء عادة لوصف أداء الخلايا الشمسية في ظل ظروف موحدة وغالبا ما يشار اليها باستخدام صيغة AM تعديل السعة متبوعة برقم يكاد يكون AM1.5 عالميا عندما يتم وصف لوحات توليد الطاقة الأرضية وان درجة الحرارة الفعالة أو درجة حرارة الجسم الأسود للشمس ٥٧٧٧ كيلفن هى درجة الحرارة التي يجب أن يحتويه الجسم الأسود من نفس الحجم لإنتاج الكمية ذاتها لمجموع الطاقة المنبعثة

طيف الإشعاع الشمسي فوق الغلاف الجوي وعلى السطح

يتطابق الإشعاع الشمسي تقريبا مع درجة حرارة مشعاع الجسم الأسود عند حوالى ٥٨٠٠ كيلفن بينما تمر أشعة الشمس عبر الغلاف الجوي تضعف أشعة الشمس بسبب التشتت والامتصاص كلما زادت كمية الغلاف الجوي التي تعبرها أصبحت اكثر ضعفا بينما تمير أشعة الشمس عبر الغلاف الجوي حيث تتفاعل المواد الكيميائية مع أشعة الشمس وتمتص موجات معينة ولعل افضل مثال معروف هو انتزاع الأشعة فوق البنفسجية من خلال طبقة الأوزون فى الغلاف العلوى للجو مما يقلل بشكل كبير كمية الأشعة ذات الطول الموجي القصير التي تصل إلى سطح الأرض وفى هذه العملية يعتبر بخار الماء العنصر الأكثر نشاطا والذى يؤدى إلى مجموعة واسعة من نطاقات الامتصاص لعديد من الأطوال الموجية عندما يضاف اليه النيتروجين الجزيئي والأكسجين وثاني أكسيد الكربون فى هذه العملية وبطول الوقت الذى يصل فيه الطيف إلى سطح الأرض يكون الطيف محدودا بقوة بين الأشعة تحت الحمراء البعيدة والأشعة فوق البنفسجية القريبة كما يلعب تشتت الغلاف الجوي دورا فى إزالة للترددات العالية من أشعة الشمس المباشرة وتشتيتها فى السماء لهذا السبب تظهر السماء باللون الأزرق وتظهر الشمس باللون الأصفر بحيث يصل عدد اكبر من الأشعة الزرقاء ذات التردد العالي إلى المراقب عبر المسارات المتناثرة غير المباشرة وتتبع الأشعة الأقل زرقة المسار المباشر مما يعطي الشمس اللون الأصفر الباهت كلما كانت المسافة التي تقطعها أشعة الشمس لكبر فى الغلاف الجوي زاد هذا التأثير لهذا السبب تبدو الشمس برتقالية أو حمراء اللون عند الفجر وغروب الشمس عندما تمير أشعة الشمس فى مسار طويل غير مباشر عبر الغلاف الجوي تدريجيا يتم إزالة المزيد من النطاقات الزرقاء

والخضراء من الأشعة المباشرة مما يعطي أشعة الشمس المظهر البرتقالي أو الأحمر وتبدو السماء وردية لان النطاقات الزرقاء والخضراء تتشتت على هذه المسارات الطويلة التي تخففهم بشدة قبل أن يصلوا اللي المراقب مما يؤدى إلى سماء ذات خصائص وردية عند الفجر والغروب مقابل طول مسار L الذي يعبر الغلاف الجوي لإشعاعات شمسية ساقطة على الزاوية Z بالنسبة إلى العامودي على سطح الأرض يكون معامل كتلة الهواء هو :

$$AM = \frac{L}{L_0} = \frac{1}{\cos Z}$$

- AM : معامل كتلة الهواء
- L : طول المسار الذى يعبر الغلاف الجوي
- L_0 : طول ذروة المسار
- cos Z : جيب التمام للزاوية Z
- Z : زاوية الذروة بالدرجات

وفيما يلي بعض المعايير الهامة التي يجب مراعاتها عند حساب معامل كتلة الهواء

- **المعيار A1**

حيث L_0 هو طول ذروة المسار اى العلمودى على سطح الارض عند مستوى سطح البحر و Z هى زاوية الذروة بالدرجات وبالتالي يعتمد عدد الكتل الهوائية على المسار الذى ترتفع فيه الشمس إلى السماء وبالتالي يختلف مع أوقات اليوم ومع مواسم العام ومع زاوية نظر المراقب

الدقة عند الاقتراب من الأفق

يمكن تعديل التأثيرات الجوية على عملية البث الضوئي وكأنما يتركز الغلاف الجوي تقريبا فى الجزء السفلى عند اقل من ٩ كيلومتر لم يؤخذ انحناء الأرض بعين الاعتبار فى التقريب الموجود أعلاه ويكون هذا التقريب دقيق بشكل معقول لقيم Z حتى تصل إلى حوالي ٧٥ درجة وقد تم اقتراح عدد من التحسينات لتعديل سمك المسار نحو الأفق بشكل أدق مثل الذي اقترحه كاستن ويونغ عام ١٩٨٩ ميلادية

$$AM = \frac{1}{\cos(z)+0.50572x(96.07995-z)^{-1.6364}}$$

- **المعيار A2**

تم تقديم قائمة أكثر شمولا من الحالة السابقة لمختلف تعديلات الغلاف الجوي ومجموعات البيانات التجريبية عند مستوى سطح البحر تكون كتلة الهواء نحو الأفق حوالي ٣٨ عندما تكون $Z = 90°$ وان تعديل الغلاف الجوي كقنيفة كروية بسيطة يجب أن توفر تقريب معقول

- **المعيار A3**

حيث نصف قطر الأرض rE =٦٣٧١ كيلومتر تقريبا

والارتفاع الفعال للغلاف للجوي yatm = ٩ كيلومتر تقريبا

والنسبة بينهم r = re/yatm = ٧٠٨ تقريبا وتتم مقارنة هذه التعديلات فى الجدول كالتالي :

تقدير معامل كتلة الهواء عند مستوي سطح البحر

Z	Flat earth	Kasten & young	Spherical shell
degree	A1	A2	A3
0°	1.0	1.0	1.0
60°	2.0	2.0	2.0
70°	2.9	2.9	2.9
75°	3.9	3.8	3.8
80°	5.8	5.6	5.6
85°	11.5	10.3	10.6
88°	28.7	19.4	20.3
90°	∞	37.9	37.6

تقديرات لمعامل كتلة الهواء عند مستوى سطح البحر

- **مجال AM0**

يشار إلى الطيف خارج للغلاف الجوي والذي يقترب من الجسم الأسود ٥٨٠٠ كيلومتر باسم AM0 وتعنى عدم وجود اغلفه جوية يتم تمييز بشكل عام الخلايا الشمسية المستخدمة لتطبيقات الطاقة الفضائية مثل تلك الموجودة على أقمار الاتصالات باستخدام AM0

- **مجال AM1**

يشار إلى الطيف بعد عبوره الغلاف الجوي إلى مستوى سطح البحر مع وجود الشمس فوقه مباشرة بحكم التعريف باسم AM1 وهذا يعنى غلاف جوى واحد AM1 (ض = 0°) إلى AM1.1(ض = 25°) هو مجال جيد لتقدير أداء الخلايا الشمسية فى المناطق الاستوائية والمدارية

- **مجال AM1.5**

لا تعمل الألواح الشمسية عادة تحت سمك غلاف جوى واحد مباشرة اذا كانت الشمس فى زاوية لسطح الأرض فان للسمك الفعال سيكون اكبر حيث تقع العديد من المراكز السكانية الرئيسية فى العالم وبالتالي منشآت الطاقة الشمسية وصناعتها فى جميع أنحاء أوروبا والصين واليابان والولايات المتحدة الأمريكية وأماكن أخرى بما فى ذلك الهند الشمالية وأفريقيا الجنوبية وأستراليا فى مناطق معتدلة لذا فان رقم AM الذى يمثل الطيف فى منتصف النطاقات هو الأكثر شيوعا AM1.5 ويقابل سماكة الغلاف الجوي 1.5 زاوية الذروة للشمس والتي يكون مقدراها Z = 48.2° فى حين أن رقم AM فى الصيف عند منتصف النطاقات

خلال الأجزاء الوسطى من اليوم هو اقل من 1.5 وبالتالي تتحقق أرقام اعلى فى الصباح والمساء وخلال أوقات أخرى من السنة لذلك فان AM1.5 مفيدة فى تمثيل المتوسط السنوي الشامل لأنصاف النطاقات وقد تم اختيار القيمة 1.5 المحددة فى للمبعينات بهدف توحيد المعايير استنادا إلى تحليل بيانات الإشعاعات الشمسية فى الحدود المشتركة للولايات المتحدة ومنذ ذلك الحين فان صناعة الطاقة الشمسية تستخدم AM1.5 لجميع اختبارات المعيار أو لتصنيف خلايا أو وحدات الطاقة الشمسية الأرضية وتتضمن تلك المستخدمة في أنظمة التركيز فان احدث معايير AM1.5 المتعلقة بالتطبيقات الضوئية هى-ASTM G 173و IEC 60904 وكلها مستمدة من عمليات المحاكاة التي تم الحصول عليها باستخدام رمز SMARTS

- **معايير من AM2 إلى AM3**

من AM2(Z=60°) إلى AM3(Z=70°) هو مجال مفيد لتقدير متوسط الأداء الكلى للخلايا الشمسية المثبتة على مناطق مرتفعة مثل الارتفاعات الموجودة فى شمال أوروبا وبالمثل فان المجال من AM2 إلى AM3 مفيد لتقدير أداء فصل الشتاء فى المناطق المعتدلة على سبيل المثال معامل كتلة الهواء أكبر من ٢ فى كل ساعات النهار فى فصل الشتاء عند نطاقات مسلوية أو اقل من 37°

- معامل AM38

يعتبر AM38 بشكل عام كتلة هوائية بالاتجاه الأفقي (ض = 90°) عند مستوى سطح البحر وان تعديل الغلاف الجوي كقذيفة كروية بسيطة يجب أن توفر تقريب معقول ومع ذلك من الناحية العملية هناك درجة عالية من التباين فى كثافة الطاقة الشمسية الملتقطة عند زوايا قريبة من الأفق كما هو موضح فى القسم التالي كثافة الطاقة الشمسية على ارتفاعات اعلى فالكتلة الهوائية النسبية ليست سوى اقتران لزاوية ذروة للشمس وبالتالي لا تتغير مع الارتفاع المحلى على العكس فان الكتلة الهوائية للمطلقة التي تعادل الكتلة الهوائية النسبية مضروبة فى الضغط الجوي المحلى ومقسومة على الضغط المعياري (مستوى سطح البحر) تتناقص مع الارتفاع فوق مستوى سطح البحر فمن الممكن للألواح الشمسية المثبتة على ارتفاعات عالية على سبيل المثال فى منطقة التيبلانو فاستخدام أرقام AM مطلقة اقل لأجل النطاق المطابق عند مستوى سطح البحر فأرقام AM اقل من ١ نحو خط الاستواء وفي المقابل تكون الأرقام أقل من المذكور لنطاقات الأخرى ومع ذلك فان هذه الطريقة تقريبية ولا ينصح باستخدامها فمن الأفضل محاكاة الطيف الفعلي على أساس الكتلة الهوائية النسبية على سبيل المثال AM1.5 والظروف الجوية الفعلية لارتفاع معين للموقع الذى تتم مراقبته

كثافة الطاقة الشمسية

يقل كثافة الطاقة الشمسية عند الجمع مع زيادة معامل كتلة الهواء ولكن بسبب تدخل العوامل الجوية المعقدة والمتغيرة ولا تتكون هذه العلاقة بطريقة بسيطة أو خطية على سبيل المثال يتم إزالة تقريبا كل الإشعاعات العالية فى الغلاف العلوى للجو بين AM0 و AM1 وبذلك فان AM2 ليس بضعف سوء AM1 وإضافة إلى ذلك هناك تباين كبير فى العديد من العوامل التي تساهم فى إضعاف الغلاف الجوي مثل بخار الماء والهباء الجوي والدخان الكيميائي الضوئي وتأثير ظاهرة القلاب درجة الحرارة اعتمادا على مستوى التلوث فى الهواء يمكن أن يتغير الأضعاف الكلى بنسبة تصل إلى ± ٧٠ % نحو الأفق مما يؤثر على الأداء بشكل كبير وبخاصة نحو الأفق حيث يتم تضخيم الأثار المترتبة على الطبقات السفلى من الغلاف الجوي إلى أضعاف كثيرة ويمكن إعطاء مثال على نموذج تقريبي لكثافة الطاقة الشمسية مقابل كتلة الهواء من خلال :

$$I = 1.1 \times I_0 \times 0.7^{AM^{0.678}}$$

حيث تم اشتقاق كل من كثافة الطاقة الشمسية الخارجية إلى الغلاف الجوي للأرض $I_0 = 1.353\ kW/m^2$ وعامل 1.1 بالافتراض أن العنصر المنتشر يمثل ١٠ % من العنصر المباشر وتتناسب هذه الصيغة بشكل جيد مع المجال المتوسط للتباين المتوقع القائم على التلوث وهذا يوضح أن القوة الكبيرة تكون متوفرة فقط عند بضع درجات فوق الأفق عند ارتفاعات اعلى هناك نموذج تقريبي لزيادة الكثافة مع الارتفاع ويكون دقيق لبضعة كيلومترات فوق مستوى سطح البحر

$$I = 1.1 \times I_0 \times [(\frac{1-h}{7.1}) \times 0.7^{AM^{0.678}} + \frac{h}{7.1}]$$

حيث h هو ارتفاع جامع الطاقة الشمسية فوق مستوى سطح البحر بالكيلومترات و AM هي كتلة الهواء من A.2 كما لو تم تثبيت الجامع عند مستوى سطح البحر وهناك خيار أخر بالنظر إلى المتغيرات العملية الهامة المعنية يمكن تطبيق النموذج الكروي المتجانس لتقدير AM وذلك باستخدام :

$$I = \sqrt{(r+c)^2 \times z + (2r+1+c) \times (1-c)} - (r+c) \times cos\, z$$

حيث المرتفعات الطبيعية للغلاف الجوي وللجامع على التوالي ≈ 708

$r = \frac{re}{yatm}$ كما فى الأعلى $c = \frac{h}{yatm}$ ومن ثم يمكن استخدام الجدول أعلاه أو أي من المعادلات السابقة للتلوث المتوسط أو الهواء النظيف على التوالي لتقدير الكثافة من AM بالطريقة العادية وان هذه التقريبات فى المعادلة الثانية والثالثة وهى مناسبة للاستخدام فقط عند ارتفاعات على بعد بضعة كيلومترات فوق مستوى سطح البحر مما يعنى انهم يقللون مستويات الأداء إلى AM0 عند حوالى فقط ٦ و ٩ كيلومتر على التوالي وعلى النقيض من ذلك فان الكثير من الأضعاف لمكونات الطاقة العالية يحدث فى طبقة الأوزون عند ارتفاعات اعلى حوالى ٣٠ كيلومتر ومن ثم فان هذه التقريبات هى مناسبة فقط لتقدير أداء الجوامع الأرضية

كفاءة الخلايا الشمسية

خلايا السليكون الشمسية ليست حساسة جدا لفقدانها أجزاء من الطيف فى الغلاف الجوي يتقارب الطيف الناتج على سطح الأرض بشكل اكثر فى فرق الطاقة لمادة السيليكون لذلك فان خلايا السيليكون الشمسية هى اكثر فعالية فى AM1 من AM0 هذه للنتيجة والتي تبدو غير بديهية تنشأ ببساطة لان خلايا السيليكون لا يمكنها الاستفادة كثيرا من الطاقة الإشعاعية العالية والذى يقوم الغلاف الجوي بتصفيتها وعلى الرغم من أن الكفاءة اقل فى AM0 فان مجموع إنتاج الطاقة (الطاقة الخارجة) للخلية الشمسية التقليدية لا تزال اعلى عند مستوى AM0على العكس من ذلك لا يتغير شكل الطيف بشكل كبير مع زيادات أخرى فى سمك الغلاف الجوي وبالتالي فان كفاءة للخلية لا تتغير كثيرا لأرقام AM الأكبر من الواحد

تطوير خلايا الطاقة الشمسية وتركيز الضوء بعدسات زجاجية

فمن خلال الكلمات السابقة اتضح لنا أن هناك تفاوتات وتراجح كميات الطاقة الناتجة على مدار مستويات AM ولهذا فانه اذا امكننا وضع عدسات زجاجية اعلى خلايا السيليكون بارتفاعات متحركة فانه يمكننا الحصول على نفس كمية وقوة الأشعة الضوئية الساقطة على تلك الخلايا الشمسية بمعنى العدسة رقم واحد تسمح بمرور ١٠ خطوط طيفية من أشعة الشمس الضوئية وتكون موضوعة على بعد ١٠ سنتيمتر من سطح الخلية الشمسية والعدسة رقم ٢ تسمح بمرور مائة من الخطوط الطيفية لأشعة الشمس الضوئية وتكون موضوعة على بعد ١٠٠ سنتيمتر بحيث يسمح بمرور نفس قوة الخطوط الطيفية لأشعة الشمس الطيفية وبهذا نحصل على نفس كمية الطاقة طوال الوقت ومع ذلك أيضا تعمل العدسات المتحركة على إبقاء الخلايا الشمسية نظيفة من الأتربة والغبار الجوي مما يعطيها كفاءة عالية وصلاحية اكبر أيضا تمنع العدسات ماء الأمطار من الوصول للخلايا مما يجعلها جافة طوال الوقت ويمكنها أيضا توفير فى نفقات الصيانة وقطع الغيار اذا تمكنا من صنع تلك العدسات بأعلى جودة واقل تكلفة وبالتالي نكون حققنا ولو جزء صغير من الهدف الذى نرجوه الحصول على طاقة بدون تكلفة أو أضرار