المباني السكنية المتكاملة مع الخلايا الضوئية
أهميتها وخصائصها ومتطلباتها.

د. منى عبد السلام الشامس
كلية الفنون والإعلام، جامعة طرابلس
د. نائلة المنير المحمودي
كلية التربية، جامعة طرابلس

ملخص البحث:

تؤكد كافة الظواهر والمؤشرات اليومية على أن منحنى استهلاك الطاقة بكافة أشكالها آخذ بالتزايد لدى غالبية دول العالم على الرغم من الإجراءات التي تتخذها العديد من الدول من أجل ضبط مستويات استهلاكها، إلا أن ارتفاع الطلب ومستويات الاستهلاك من الطاقة لدى كافة القطاعات الاقتصادية أو السكنية آخذ بالتزايد، كما أصبحت المباني المعاصرة لا تستغنى عن استخدام الطاقة لتشغيلها وتهيئتها لتلائم احتياجات قاطنيها، فهي أساسية لإنارة المباني وتشغيل الأجهزة الكهربائية والميكانيكية المختلفة اللازمة لخدمتها بدءاً من مراوح التهوية وانتهاء بالمصاعد في المباني العالية.

ومن أجل تحقيق الهدف المحدد من ترشيد استهلاك الطاقة في الأبنية، فإنه من المهم التدخل من خلال التصميم الواعي للمبنى والتعامل معه على إنه نظام طاقة متكامل يجب تحقيق ترشيد الطاقة في مختلف عناصره ابتداءً من الغلاف الخارجي مروراً بمكونات المبنى الداخلية وانتهاءً بالأجهزة الكهربائية، معتمداً في ذلك على وسائل الطاقة المتجددة وخاصة طاقة الشمس التي تزخر بها بلادنا بمعدلات كبيرة.

ويتيح التشكيل المعماري للمباني اليوم لأنواع كثيرة من تطبيقات الخلايا الكهروضوئية أن تكون جزء من تصميم المبنى بطرق مختلفة على الأسقف أو الجدران أو الفتحات بحيث تكون هذه الأنظمة جزء أساسي من التصميم شكلا ووظيفة بحيث يؤدي المبنى الغرض الذي أنشى من أجله موفراً الراحة لمستخدميه بالإضافة إلى النواحي الجمالية والاقتصادية والبيئية.

كلمات مفتاحية: الخلايا الكهروضوئية – التصميم المتكامل – المباني السكنية .

Abstract:

All daily phenomena and indicators confirm that the curve of energy consumption in all its forms is increasing in most countries of the world despite the measures taken by many countries to control their consumption levels, but the increase in demand and levels of energy consumption in all economic or residential sectors is increasing. Contemporary buildings have also become indispensable for the use of

energy to operate and prepare them to suit the needs of their residents. They are essential for lighting buildings and operating the various electrical and mechanical devices needed to serve them, starting with ventilation fans and ending with elevators in high buildings.

In order to achieve the specific goal of rationalizing energy consumption in buildings, it is important to intervene through the conscious design of the building and to deal with it as an integrated energy system. Energy rationalization must be achieved in its various elements, starting from the outer envelope, passing through the building's internal components, and ending with the electrical appliances. On the means of renewable energy, especially the energy of the sun, which our country abounds in at great rates.

The architectural configuration of buildings today allows for many types of photovoltaic applications to be part of the building design in different ways on the ceilings, walls or openings so that these systems are an essential part of the design in form and function so that the building performs the purpose for which it was built providing comfort to its users in addition to the aesthetic aspects economic and environmental .

المقدمة:

في ظل مشكلات الطاقة وتلوث الهواء والمسؤولية التي تقع على عاتق المصمم والعمارة من حيث احتفاظهم بالجانب الأكبر من أسباب تلك المشكلة، فأن السعي إلى توظيف نظم الطاقات المتجددة داخل المبنى أصبحت اليوم أساساً لا غنى عنه في أي عملية تصميمية خاصةً في القطاع السكني، حيث تبين بعض الدراسات إن تشغيل المباني السكنية فقط يمكن أن يكون مسؤولاً عن استهلاك 40% من مجموع الاستهلاك الكلي للطاقة[1]، كما بينت إحدى الدراسات التي تهتم بالتعرف على أنماط استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع المنزلي في ليبيا حسب احصائيات العام 2000م قد وصلت إلى 36% من اجمالي الطاقة المباعة وذلك على مستوى العينات السكنية التي تمت دراستها آخذة في الازدياد[2]، وللاقتصاد في الموارد يجب إدارة الاحمال بشكل جيد وترشيد استخدام الطاقة باتباع العديد من الطرق والأساليب الحديثة، ولعل ادخال الطاقات المتجددة للمساهمة في منظومة الامداد الطاقوي في ليبيا يعتبر من ضمن الحلول التي يمكن اعتمادها لمواجهة زيادة الطلب على الطاقة والمشاكل الأخرى التي تعاني منها الشبكة حالياً، وبخاصة ادخال تقنية ادماج المباني مع منظومات الطاقة الشمسية، فالسعي إلى توظيف هذه المنظومات والنظم البيئية السالبة داخل المبنى أصبح أساسا لا غنى عنه في العملية التصميمية حالياً، حيث أن التصميم الجيد للمباني السكنية وتكاملها مع نظم توليد الطاقة الشمسية يمكن أن يساعد في التغلب على جزء كبير من استهلاكها.

ومن هنا سوف نستعرض في هذا البحث أنظمة الطاقة المتجددة التي تستخدم في المبنى وتحديدا كيفية الاستفادة من الطافة الشمسية عن طريق استخدام الخلايا الكهروضوئية ضمن

تصميم المبنى بشكل يتكامل فيه هذا النظام مع الشكل العام للبناء، بالإضافة الى بعض المعالجات الحديثة التي توفر بيئة داخلية مريحة للمستخدمين وقليلة التأثير على النظام البيئي الطبيعي.

وتوفر التقنيات المعتمدة على الطاقة الشمسية كمية من الطاقة بقدر مساوٍ أو مقارب لحجم الطاقة المصروفة الآن من الوسائل التقليدية، ولذلك أصبحت رائجة الاستخدام، فهي تقوم بتحويل المباني من منشآت مستهلكة للطاقة الى مباني منتجة لها معتمدة في ذلك على الشمس باعتبارها مصدر اقتصادي ومتجدد للطاقة، وقد شاع استخدامها حتى في المناطق التي لا تتوفر فيها معدلات عالية من الاشعاع الشمسي أو المناطق التي تتميز بقصر ساعات سطوع الشمس.

إشكالية البحث:

يمكن للمصمم دمج عناصر لتوليد الطاقة في المباني السكنية لتقليل استهلاك المبنى للطاقة، وهذه العملية تحتاج لتصميم المبنى بطريقة مختلفة بحيث تسمح بتكامل المبنى مع معدات توليد الطاقة خاصة في قطاع المباني السكنية الأكثر استهلاكا للكهرباء، وبالتالي تكمن مشكلة البحث في دراسة تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني السكنية بهدف ترشيدها من خلال العمل على تكامل التصميم مع نظم الطاقة الشمسية المتوفرة في بلادنا بمعدلات مناسبة على المدى البعيد، حيث يمكن للخلايا الكهروضوئية تغطية الأسقف والواجهات والتناغم مع تشكيل المبنى مما يعمل على الحد من استهلاك الطاقة في المباني والوصول إلى تشكيل معماري مستدام.

فرضية البحث:

وفق ما تم عرضه في المشكلة تفترض الباحثة إن الاعتماد على توليد الطاقة من مصادر متجددة (هنا الخلايا الكهروضوئية الشمسية) في المباني السكنية ودمجها مع تصميم المبنى بشكل تكاملي يمكن أن يكون حلا ناجحا وغير معقد معمارياً أو ميكانيكاً يساهم على المدى البعيد في توفير الطاقة وترسيخ مبادئ الحفاظ والاستدامة.

أهداف البحث:

يهدف البحث الى النقاط التالية:

1. الوصول إلى معايير تساعد المصممين على تصميم المباني السكنية بطريقة تسمح لهم بتوظيف عناصر توليد الطاقة الشمسية، والاستفادة من هذه الطاقة في توفير احتياجات المبنى

2. الاستفادة من التكامل بين المبنى وبين وسائل توليد الطاقة الشمسية في تكوين الفكرة التصميمية والتشكيل المعماري للمبنى لإنتاج شكل حديث ومتجدد له مبرر منطقي ووظيفي.

منهجية البحث:

لإيجاد حلول للمشكلة المطروحة اعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي من خلال التدرج في تفسير مصطلحات البحث وصولا إلى الخيارات المتاحة لتكامل الخلايا الكهروضوئية مع تصميم المباني السكنية وفق المناخ المحلي نموذجاً اعتمدته الباحثة للوصول إلى نموذج محلي يمكن الاعتماد عليه في التطبيق، واعتمدت الباحثة في ذلك على العديد من المراجع والتقارير والدراسات السابقة.

وقد تم تقسيم البحث لمبحثين هما:

المبحث الأول: الإطار النظري متضمناً المفاهيم العامة لمصطلحات البحث الأساسية وتفسيرها.

المبحث الثاني: دراسة الخيارات المتاحة والمعايير العامة لتكامل المبنى مع الخلايا الكهروضوئية لغرض توظيفها في المباني السكنية لتوليد الطاقة الكهربائية بأقل تأثير سلبي على البيئة.

المبحث الأول: المصطلحات البحثية:

سيتم تعريف معظم المصطلحات البحثية بشكل مفصل في هذا المبحث تدريجيا من العام إلى الأكثر ارتباطا بمشكلة البحث وذلك وفق التدرج التالي:

- **تعريف الطاقة:**

تعرف الطاقة بأنها القدرة المخزونة والتي عند انطلاقها تصبح قادرة على القيام بعمل ما، وتظهر الطاقة في عدة أشكال حيث اعتمد الإنسان قديما على طاقة عضلاته الخاصة أولا ليعمل بها، ثم تطورت باكتشاف النار وبعد حين باكتشاف الالة البخارية لاستعمال البخار في إنتاج الطاقة وصولا إلى اكتشاف الكهرباء ومحرك الاحتراق الداخلي، ومنها إلى اكتشاف الطاقة النووية ولا يزال البحث مستمرا لاكتشاف بدائل أخرى وأنواع أخرى من الطاقة.

إن الطاقة التي يستخدمها الإنسان إحدى الضرورات الأساسية فقد ساعدت في التطوير وتحسين مستويات المعيشة في جميع أنحاء العالم وهي المحرك الرئيسي للنمو والتقدم، ومع التطور الإنساني تم اكتشاف العديد من مصادر الطاقة والتي مكنت البشرية من الاستفادة منها لتوفير الاحتياجات الإنسانية وزيادة رفاهية الشعوب[3].

إلّا إن التحدي الذي يواجه البشرية اليوم هو العمل على إيجاد بدائل للطاقة الغير متجددة (الفحم والبترول والغاز الطبيعي) والتي يحتاج كلا منها إلى ملايين السنين لكي يتشكل، بالإضافة إلى أسعارها العالية، وفي ظل الاستهلاك العالي لهذه الموارد يتوقع العلماء نفادها وبالتالي سيكون البحث عن بدائل لا تنبض وبأسعار أقل هو البديل لاستمرار الحياة على هذا الكوكب، هذا بالإضافة الى المشاكل البيئية التي تسببها الطاقات الغير متجددة سواء في التشغيل او

الاستخدام[4]، حيث يولد قطاع النقل فقط على مستوى العالم حوالي 60% من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الضارة [5] ومن هنا أصبح البحث في الطاقات المتجددة هو الحل.

- **الطاقة المتجددة:**

يمتاز هذا النوع من المصادر بخاصية الاستمرارية والتجدد مدى الحياة، ويمكن الاستفادة منه للتغلب على السلبيات الخطيرة التي تسببها المصادر الغير متجددة. وترجع أهمية الطاقة بعد قرب نضوب بعض مصادرها وارتفاع أسعار الطاقات القابلة للنفاذ إلى ثلاثة اضعاف سعرها في الفترة الأخيرة وتصارع الدول على امتلاكها، في كونها الأرخص على المدى البعيد في الاستخدام[6]، ولذلك بدأ العالم بالتوجه نحو مصادر الطاقة المتجددة التي لا تتضب مع الاستعمال المتكرر والتي لخصها تقرير لهيئة الطاقة المتجددة بوكالة الطاقة الدولية الصادر في سنة 2014 م الى ثلاث أجيال على مدى 100 عام كالتالي:

الجيل الاول: بدأ مع بداية القرن الـ 19 ويتمثل في طاقة احتراق الكتلة الحية والطاقة الحرارية الجوفية).

الجيل الثاني: ويشمل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وتطورات طاقة الكتلة الحية.

الجيل الثالث: ويشمل تكنولوجيا قيد التطوير في الطاقة الشمسية وطاقة الصخور الحرارية الأرضية وطاقة المحيطات[7].

- **الطاقة الشمسية:**

هي الطاقة التي بتم الحصول عليها بصورة مباشرة من ضوء الشمس، وهي مصدر لكل الطاقات المتواجدة على الأرض(عدا الطاقة النووية)، وتنتج الطاقة الشمسية نتيجة للتفاعلات النووية التي تحدث في مركز الشمس منتجة كميات هائلة من الحرارة والضوء والطاقة الحرارية التي تعرف بالأشعة تحت الحمراء، وهي أشعة غير مرئية يمكن أن نشعر بها، فكل جسم يمتص هذا الإشعاع يصبح أسخن من ذي قبل، كما توجد الأشعة الفوق بنفسجية المفيدة صحيا[8]، وترسل الشمس في كل 40 دقيقة كمية من الطاقة مساوية للطاقة التي يستهلكها جميع سكان الأرض خلال سنة كاملة[9].

وأشعة الشمس أشعة كهرومغناطيسية تختلف شدتها حسب فصول السنة فوق نصفي الكرة الأرضية وبعدها عن الأرض وميلها ووضعها فوق المواقع الجغرافية طوال النهار أو خلال السنة، وحسب كثافة السحب التي تحجبها، هذا والإشعاع الشمسي هو الحامل للطاقة الشمسية، ولا يصل الإشعاع الساقط على الغلاف الجوي كله إلى سطح الأرض، بل ينعكس منه حوالي 13% إلى الفضاء خارج الغلاف الجوي وجزء آخر (حوالي 30%) يمتص من مكونات الغلاف الجوي والغيوم، أمّا ما يصل إلى سطح الأرض فيصل على نوعين: إشعاع مباشر وإشعاع مشتت، ولا

يزيد عن حوالي 34% من الإشعاع الكلي الساقط على الغلاف الجوي، بمعنى آخر فإن الوقود الحفري بكافة أنواعه يكافئ أقل من مقدار طاقة الشمس التي تسقط على الأرض لمدة ثلاثين يوما[10].

وهناك عدة تطبيقات مختلفة للطاقة الشمسية كما في توليد الكهرباء والإضاءة وتسخين المياه، ومن المعلوم أنه هناك بيوت تصمم للاستفادة بالطاقة الشمسية في تدفئتها أو إنارتها والعديد من الاستخدامات الأخرى، ويؤدي التصميم المتكامل للمباني الملائمة لمناخ منطقتها إلى زيادة كفاءة الطاقة الشمسية من 30 – 50% في تلك المباني، وبالرغم من أنه تزيد بحوالي 6% عند الإنشاء، إلا إنها يمكن أن توفر خلال ثمان سنوات هذه التكلفة من اقتصاديات استهلاك الطاقة[11].

ويشار إلى إن قطاع الطاقة الشمسية الحرارية قد شهد عام 2008 نموا بنسبة 40% نظراً لارتفاع أسعار النفط. كما إنه من المنتظر أن يشهد نمواً بنسبة (15 إلى 20%) سنويا في الأعوام المقبلة، ومن الطرق الاساسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة صالحة يستطيع الإنسان استخدامها والتحكم فيها الطرق الثلاث التالية:

1. **الطاقة الشمسية الضوئية (Daylight Solar Energy):**

يتم استخدام ضوء الشمس في المبنى بدلا من استخدام الطاقة الكهربية في الإنارة، ويمكن استخدامها من خلال الفتحات والنوافذ، أو عن طريق تجميع ضوء الشمس في ألياف ضوئية يتم مرورها في أسقف المباني ويسير فيها ضوء النهار.

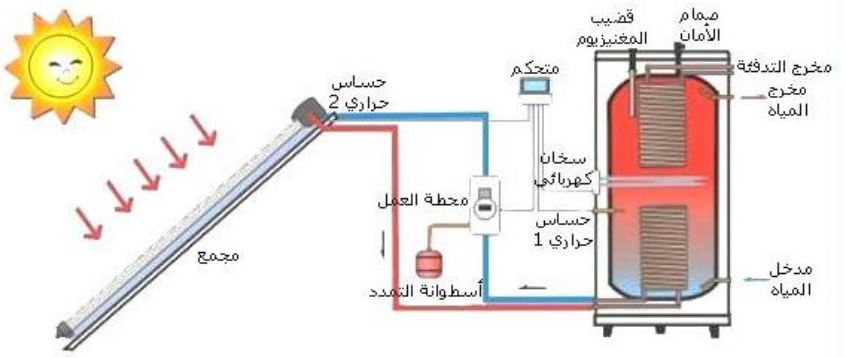
2. **الطاقة الشمسية الحرارية (Thermal Solar Energy):**

تعتمد فكرة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية على استخدام وسيلة لامتصاص الإشعاع عن طريق المجمعات الشمسية، شكل رقم (1)، وهناك العديد من أنواع المجمعات الشمسية التي تختلف في تركيبها وطريقة استخدامها ضمن تصميم المبنى بحيث تناسب التصميم وتصبح جزءً منه.

تصنع المجمعات الشمسية من مواد زجاجية أو بلاستيكية تسمح بنفاذ الإشعاع الشمسي حيث يمر 88% من هذا الإشعاع عبر زجاج المجمع الشمسي بينما ينعكس 12% منه، ويُصنع جسم المجمع من مادة معزولة مغطاة بطبقة من الألمنيوم مدهونة باللون الأسود، ويمتص هذا الدهان حوالي 95% من كمية الإشعاع المارة عبر الزجاج ثم يعيد إشعاعه، فيشع حوالي 85% بينما يتحول 15% من الإشعاع إلى حرارة[12].

لكن الإشعاع طويل الموجات يصطدم بالزجاج مرة أخرى ويعود وبالتالي ينحبس بين طبقة الزجاج و الألمنيوم المطلي باللون الأسود، وتحدث هذه الانعكاسات عدة مرات حتى ترتفع درجة الحرارة التي يمكن استخدامها بعد ذلك، حيث تقوم المجمعات الشمسية بتحويل الإشعاع الشمسي

إلى حرارة من خلال وسط معين في الغالب يكون الماء أو الهواء، ويتم استخدام الحرارة المجمعة إما لتسخين المياه أو بإدخالها إلى مولد بخاري لإنتاج الكهرباء.



شكل (1) رسم توضيحي لتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية[13].

3. الطاقة الشمسية الكهربية (Electricity Solar Energy):

وتمثل استخدام الطاقة الضوئية للشمس بتحويلها إلى طاقة كهربائية باستخدام الخلايا الكهروضوئية (PV) (Photovoltaic Cells) المصنعة من مواد (اشباه مواصلات كالسليكون)، وهو ما سوف يتم دراسته وتطبيقه خلال هذا البحث، ويستخدم هذا النوع الضوء النابع من الشمس حيث يسقط على هذه الخلايا ثم تقوم هذه الخلايا بتحويل الضوء إلى كهرباء[14]، وتساهم هذه العملية في تقليل استهلاك الوقود الحفري وخفض التلوث البيئي، وقد بدأت نظم الخلايا الكهروضوئية تنتشر تدريجيا في تطبيقات الإنارة والاتصالات وضخ المياه وغيرها، وباعتبار هذه الطريقة هي التي تم اختيارها من قبل الباحثة للتطبيق سيتم شرح طرق تكامل الخلايا الضوئية مع المبنى بالتفصيل في المبحث التالي من هذا البحث، ويشار إلى هذا التكامل بالمصطلح (IBPV) اختصاراً لـ (Building Integrated Photovoltaic).

- **مفهوم الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic) وتكلفتها العامة:**

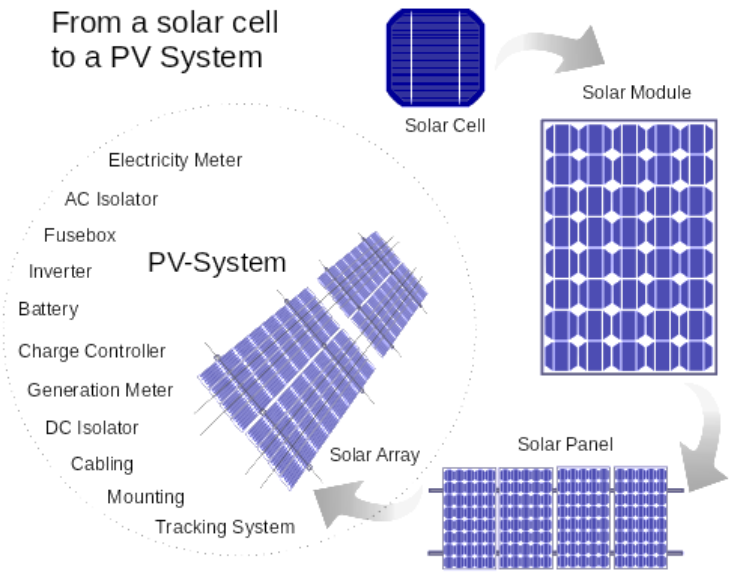
تتكون المنظومة الكهروضوئية (PV) من رقائق رفيعة من السيليكون النقي جداً ومواد أخرى، وهي الجزء الظاهر من المنظومة الشمسية وتتكون من تجميع عدد من الخلايا الشمسية، والملاحظ أنه عندما يسقط ضوء الشمس على الخلية تقوم بإنتاج كميات صغيرة من الكهرباء، ونظراً لأن الكميات المنتجة من الكهرباء من خلية واحدة ضئيلة[15]، لذلك يتم تجميع عدد كبير من الخلايا معا حتى يتسنى توليد كميات صالحة للاستعمال من الطاقة الكهربائية، وتحتوي الوحدة الشمسية النموذجية على 36 خلية على هيئة مستطيل أو مربع، وتكون محاطة بإطار من الألومنيوم أو بدون إطار حسب متطلبات التصميم ويختلف لونها حسب لون الصفيحة الخلفية التي تحملها.

والخلية هي المكون الأساسي للمنظومة الشمسية وهي أصغر جزء فيه تستجيب للإشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر محولة طاقة الإشعاع إلى طاقة كهربائية، أمّا كفاءة عمل الخلية فتعتمد على عاملين: العامل الأول: هو كفاءة التحويل داخل الخلية، والعامل والثاني: هو قابلية الخلية الشمسية على امتصاص الفوتونات.

وتكون الوحدات الشمسية إمّا معتمة لا تسمح بنفاذ الضوء من خلالها (opaque cells) أو تكون شفافة (Transparent) وتمتلك الوحدات الشمسية الشفافة وظيفتي توليد الكهرباء وامكانية النظر خلالها، وهي مناسبة للنوافذ وفتحات الإنارة العلوية، ومن الأمور التي يجب الانتباه لها عند تصميم المنظومة هي ضرورة اخفاء أسلاك التوصيل في المسافات الفاصلة بين الوحدات الشمسية أو إخفاء الأسلاك في الهيكل الساند أو اظهارها بطرق تصميمية مبتكرة[16].

ويتم تجميع الخلايا الكهروضوئية إما بالتوالي أو التوازي لتكون ما يسمى بالوحدة (Module) ويتم تجميع عدد من الوحدات لتكون ما يسمى بالألواح (Panels)، ويتم تجميع الألواح الشمسية لتكون ما يسمى بالمصفوفة (Array)، وتعتبر أكبر وحدة تصميمية معمارية للخلايا الكهروضوئية،

الشكل رقم (2).



شكل (2) نظام تجميع الخلايا الكهروضوئية [17].

والملاحظ أن أسعار الخلايا الكهروضوئية كانت مرتفعة بشكل كبير في بدايات ظهورها، ولكن بعد التطور التكنولوجي والتقني في طرق التصنيع والاستخدام انخفض سعر الخلية إلى النصف تقريبا، مما جعل الخلايا الضوئية تتنافس مع مواد التشطيب لاستخدامها في تشطيب الواجهات والأسقف[18].

- **مميزات الخلايا الكهروضوئية:**

يلخص المعماري (Sue Roaf) في كتابة (Eco House: A Design Guide) أهم مميزات الخلايا الكهروضوئية (PV) في التالي:

1. تعتبر مصدر لتوليد الطاقة الكهربائية بطريقة نظيفة ومجانية وخالية من أي ملوثات، ويتم انتاج الطاقة في موقع المبنى نفسه حيث لا يكون هناك حاجة لانتاج الطاقة في مكان بعيد عن المبنى.
2. مرونة الاستخدام في الأسقف والواجهات، كما أنها لا تتطلب أي انشاءات أساسية على الهيكل الإنشائي للمبنى لأنها لا تعتبر حملاً إنشائيا إضافيا، و تستخدم مباشرة دون الحاجة إلى خطوط نقل أو توزيع.
3. لا تحتوي على أجزاء ميكانيكية تتطلب عمليات صيانة معقدة، ولا يصدر عنها أي أصوات.
4. استخدامها بسيط لا يحتاج إلى معدات كهربائية كثيرة فلا تؤثر على الشكل الجمالي للمبنى.
5. يمكن تصميمها بأي حجم مطلوب، كما يمكن زيادة حجم نظام الخلية بإضافة وحدات كل فترة زمنية مع زيادة الاحتياج إلى الطاقة.
6. العمر الافتراضي لها كبير، حيث يمكن الاستفادة منها ما يقرب الـ 20 عاماً إذا توافرت الصيانة المناسبة لها[19].

- **أنواع الخلايا الكهروضوئية:**

يوجد حتى الآن نوعين من الخلايا الكهروضوئية من حيث تكنولوجيا الإنتاج هي:

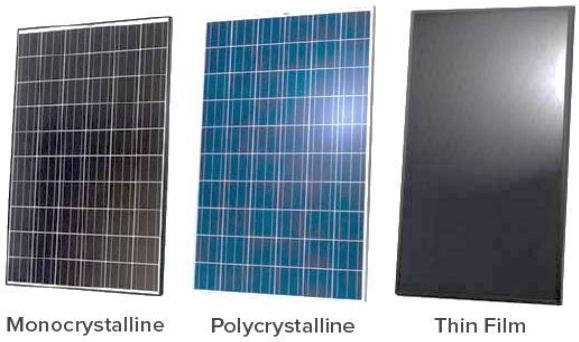
1. الخلايا الشمسية المتبلورة: وتصنف اعتماداً على درجة نقاوة السليكون إلى نوعين:

- أحادي التبلور (Mono-Crystalline).
- متعددة التبلور (Poly-Crystalline).

ويصنع النوعين بنفس الطريقة حيث يذاب السليكون ويصب في قوالب (Ingots) على هيئة شرائح رقيقة مكونة الخلية، ولها لونين إما الأسود أو الأزرق أو ما بينهما، و يكمن الفرق بين النوعين في نوع السليكون المستخدم، فالسليكون في النوع الثاني غير نقي بدرجة كبير، لذا يعتبر هذا النوع من الخلايا أقل تكلفة من النوع أحادي البلور والأكثر انتشاراً، ولكنه أقل كفاءة في كمية الكهرباء المنتجة بالمقارنة مع خلايا السليكون أحادي البلور[20].

2. الخلايا الرقيقة (Thin Film):

وهي عبارة عن طبقات رقيقة جداً من السليكون يتم ضغطها معاً، وتعتبر من الأنواع المفضلة لدى المصممين لمرونتها وخفة وزنها وإمكانية تشكيلها حسب الرغبة، ويمكن تثبيتها على السطوح الأفقية والمنحنية، ولا تحتاج الى هياكل للتثبيت[21].



شكل (3) أنواع الخلايا الشمسية الثلاث[22].

ويبين الجدول رقم (1) كفاءة هذه الأنواع في توليد الطاقة الكهربائية حسب نوعها، حيث يفترض بالمصمم اختيار النوع المناسب حسب المساحة المتاحة والكمية المطلوب توليدها من الطاقة، فالنوع الذي ينتج طاقة بكميات قليلة يحتاج إلى مساحات أكبر من الألواح وبالتالي مساحة اكبر في الموقع او البناء او إدماجه في التصميم بشكل يضمن الحصول على الكمية المطلوبة من الطاقة.

النوع	اللون	العمر (سنوات)	الكفاءة %
Mono-Crystalline Silicon	ازرق مسود	30 – 25	من 10 – 16
Poly-Crystalline Silicon	أزرق مسود	25 -20	من 8 – 12
Thin Film Silicon	احمر-اخضر-برتقالي-اسود-اصفر	20 – 15	من 4 – 8

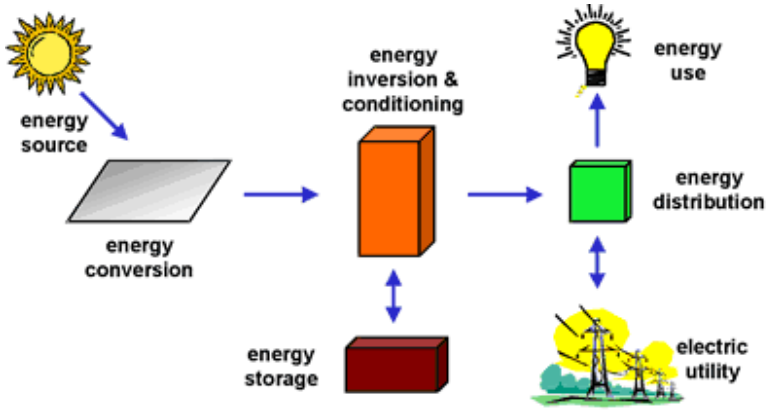
جدول (1) الكفاءة للأنواع المختلفة من الخلايا الكهروضوئية[23].

- **مكونات نظم الطاقة الشمسية وطريقة عملها في المبنى:**

بعد التعرف على تركيب الخلايا الكهروضوئية وصولا للألواح الشمسية المستخدمة في توليد الطاقة يتم التعرف في هذا الجزء على تركيب المنظومة الشمسية متكاملة وطريقة عملها، حيث تتكون من[24]:

1. الألواح الشمسية: سبق وأن تم شرح تكوينها وهي المسؤولة في النظام على تحويل الطاقة الضوئية للشمس إلى طاقة كهربائية، وتوجد بأشكال مختلفة.
2. إطار التثبيت: ويستخدم من اجل تثبيت الألواح الشمسية وأيضا من خلاله يتم تحديد زاوية الميل والاتجاه الخاص بها.
3. منظم الشحن: يعمل على تباث قدرة الألواح الشمسية في حالة انخفاض الشمس او ارتفاعها.
4. البطاريات: تعمل على تخزين الكهرباء خلال النهار واستخدامها بالليل وتتحمل التخزين والتفريغ لفترات طويلة تصل إلى عشرين عاما على عكس البطاريات الموجودة في السيارات.
5. محول التيار: يقوم بتحويل التيار المستمر إلى تيار متنوع يستخدم لتشغيل الأجهزة المنزلية.

وتعتمد منظومة عمل الخلايا الكهروضوئية (PV) على أساس كهربي، سواء أكانت أسلاك أو موصلات أو بطاريات تخزين كهرباء أو محولات، إلّا أن فكرة المنظومة ثابتة وتتمثل في وجود خلية كهروضوئية يسقط عليها ضوء الشمس فيتحول إلى تيار مباشر، إمّا أن يتم تخزين الطاقة الفائضة في بطاريات لحين استخدامها، أو يتم تحويلها إلى تيار متردد لاستخدامها مباشرة أو تحويلها إلى شبكة الكهرباء. ويوضح الشكل رقم (4) تركيب منظومة الخلايا الكهروضوئية وكيفية عملها.

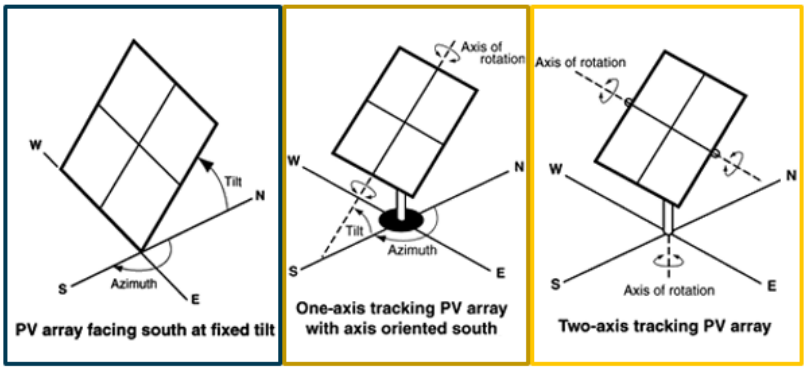


شكل (4) مكونات منظومة الخلايا الكهروضوئية وطريقة عملها [25].

- **أنواع الخلايا الكهروضوئية من حيث طريقة التركيب:**

هناك نوعان من الخلايا الكهروضوئية من حيث التركيب وهما:

1. **الخلايا الثابتة:** وهي الخلايا التي يحسب لها زاوية ميل متوسطة بين الشتاء والصيف بحيث تعطي أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية الممتصة وتكون ثابتة طوال العام، شكل رقم (5).
2. **الخلايا المتحركة:** وهي نوعان، إحداهما يتحرك على محور واحد والأخرى تتحرك على محورين، وهي أفضل من الثابتة حيث تتبع مسار الشمس طول اليوم منتجة كمية أكبر من الطاقة وغالبا ما تستخدم الخلايا التي تدور حول محور واحد(One Axis Tracking) في تغيير مساراتها في الفصول المختلفة، أمّا الخلايا ذات الدوران ثنائي المحور(Tow Six Tracking) فغالباً ما تكون مزودة بحساس(sensors) يقوم بمتابعة ضوء الشمس طول النهار حيث يتم تزويد الخلايا بجهاز يقوم بتحريكها تبعا لمسار الشمس.



شكل (5) أنواع الخلايا الكهروضوئية[26].

و أفضل أنواع الخلايا الكهروضوئية في انتاج الطاقة هي الخلايا المتحركة، كما أن الخلايا الضوئية التي تتحرك باستعمال حساس(sensors) أفضل من التي تتحرك يدوياً بزيادة في كفاءة الانتاج تصل الى 33% عن الثابتة، ويعبر عن الطاقة الكهربائية التي تتولد من خلال الخلية الشمسية بـ (الوات)، وتنتج عادة كل مساحة 1 متر مربع من الالواح الشمسية (1000) وات[27].

المبحث الثاني: الاعتبارات الواجب مراعاتها عند التصميم لتكامل المباني السكنية مع الخلايا الكهروضوئية:

لعل أهم ما يميز نظم الألواح الشمسية والذي يمكن أن يشد المصمم بالإضافة إلى وظيفتها شكلها الذي يعطي انطباعا بالهدوء والبساطة إضافة _أيضا_ إلى مواكبتها لروح العصر، كما أن امكانياتها أصبحت تتجاوز وظيفتها في توفير استهلاك الطاقة وذلك من خلال قدرة المصمم في جعلها متكاملة كعناصر معمارية لها تأثيرها في تصميم المبنى، فالقيمة الجمالية أو القبول الذي يحققه الشكل مهم جدا. كما أن اختيار المصمم لأسلوب تكامل المنظومات الشمسية مع المبنى يعتمد أيضا على مواصفات المنظومة الشمسية نفسها مستعينا بما تقدمه من امكانيات من خلال التنوع في الشكل والهيئة والحجم واللون وما تضيفه من تأثير على واجهة البناء أو شكل الكتلة.

شكل (6) تكامل الألواح الشمسية مع تصميم المبنى (IBPV)[28].

والجدير بالذكر هنا أن نظام الخلايا الضوئية لا يحتاج إلى متطلبات خاصة او معقدة ضمن التصميم، فهو لا يحتاج إلى فراغات خاصة مثلا أو نظام انشائي معقد لحملها او نظم كهربائية خاصة، بل كل ما تحتاجه بعض المتطلبات الخاصة بتصميم المبنى السكني وبعض الاعتبارات البيئية والمناخية التي سيتم التعرف عليها لاحقا.

ويمكن تلخيص مميزات استخدام الخلايا الكهروضوئية في المباني السكنية إلى:

- مميزات بيئية: انتاج طاقة نظيفة– الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري والتلوث.
- مميزات اقتصادية: الحد من استهلاك الطاقة من مصادر غير متجددة – لا تحتاج إلى نظم انشائية خاصة كما انها توفر في مواد الانشاء والاكساء التقليدية.
- مميزات اجتماعية: عدم حدوث ضوضاء من تشغيلها– تحقيق الراحة الحرارية والنفسية للمستخدمين.

أولاً: الاعتبارات الخاصة بتصميم المباني السكنية للتكامل مع الألواح الشمسية:

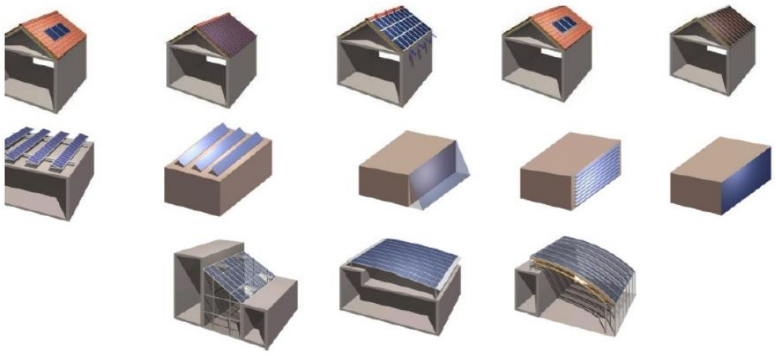
هي مجموعة من المتطلبات الخاصة بتصميم المبنى وأيضا تصميم موقع المبنى حيث يؤثر التصميم بشكل كير على أداء الالواح الشمسية، مع الاخذ في الاعتبار الجماليات المطلوبة في التصميم، وأن تتكامل النظم الهندسية (النظام الميكانيكي والكهربي) مع التصميم العام.

وحتى تتحقق افضل فائدة من تركيب المنظومة الشمسية يفضل ان تكون هذه السطوح غير مظللة، ولذلك لابد من مراعاة الظلال التي تلقيها المباني المرتفعة المحيطة التي تعمل على تقليل كفاءتها، فهنا تكون الطوابق العليا فقط هي الملائمة للخلايا، بعكس المباني التي تزيد المساحات الفاصلة بينها حيث يمكن استغلالها بالكامل لتركيب الخلايا الكهروضوئية.

ويمكن تحديد خمس أماكن رئيسية في كتلة المبنى نستطيع من خلالها التكامل مع المنظومة الشمسية[29]، والأماكن الرئيسية هي:

- الأسقف (Roofing) المستويات الأفقية في التصميم.
- الواجهات والحوائط (Facades) المستويات الرأسية.
- الفتحات العلوية والأفنية الداخلية (Sky Light and Atriums).
- وسائل التظليل الرأسية والافقية.
- مواد الانهاء او التشطيب النهائي.

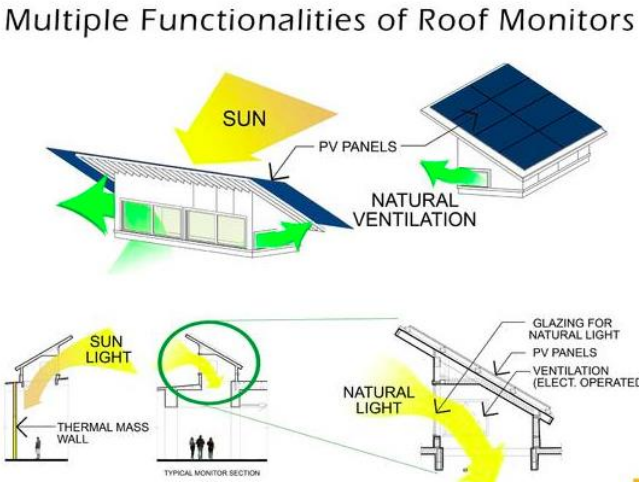
ويوضح الشكل رقم (7) الأماكن المختلفة في غلاف المبنى لتركيب الخلايا الكهروضوئية.



شكل (7) الأماكن المختلفة لتركيب الخلايا الكهروضوئية[30].

- **الأسقف (Roofing):**

تؤدي أنظمة الأسقف الكهروضوئية وظائف السقف العادية مثل عزل الماء وتصريف المطر والعزل الحراري والإضاءة شكل رقم (8)، ويتم استخدام الخلايا الكهروضوئية الموجودة على السطح لتشغيل دوائر مضخات نظام تسخين المياه الشمسي بالإضافة الى توليد الكهرباء، وتستعمل إما على شكل أسقف مستوية أو أسقف مائلة.



شكل (8) الوظائف المتعددة للأسقف[31].

1. الأسقف المستوية: يتم تركيب الخلايا الكهروضوئية على الأسقف المستوية بزاوية ما بين (0–15) درجة، وغالبا ما تترك فراغات لمرور المشاة حول منطقة الخلايا الضوئية فلا يستخدم السقف كله وذلك لسهولة عمل الصيانة وما شابه، إلا إن الأسقف الكهروضوئية المستوية تولد كهرباء أقل من الأسقف المائلة[32].

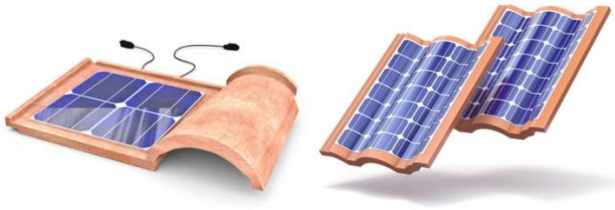
وفي الاسطح التي تحتوي على حدائق يجب أن يتم تركيب هذه المنظومات على هياكل مائلة ثابتة مقاومة للصدأ، على أن يصمم الهيكل بارتفاع 40 سم عن الأرض للسماح بنمو الأعشاب[33].

شكل (9) تركيب الألواح الشمسية على الأسقف المستوية المعشبة[34].

2. الأسقف المائلة: يتم تركيب الخلايا الكهروضوئية على الأسقف على زاوية تتراوح ما بين (15–75) درجة. ويناسب هذا النوع الاسطح الموجهة نحو الجنوب كونها الأفضل في استقبال الاشعاع الشمسي وتمتاز بإمكانية تثبيت الوحدات الشمسية مباشرة بدون استخدام هياكل مائلة وأيضا سهولة التنظيف[35]، الشكل رقم (10)، إلا أنها لا تقبل الارتفاع الكبير في المبنى، فهي تتناسب مع ثلاث أو أربع أدوار فقط.

شكل (10) تركيب الالواح الكهروضوئية على الاسقف المائلة [36].

كما يمكن أن تحل الخلايا الكهروضوئية محل بلاطات السقف (Roof tiles)[37] شكل رقم (11)، أو أن يتم تثبيتها على السقف في صورة رقائق تسقيف من الألواح والصفائح الرقيقة (slates shingle).

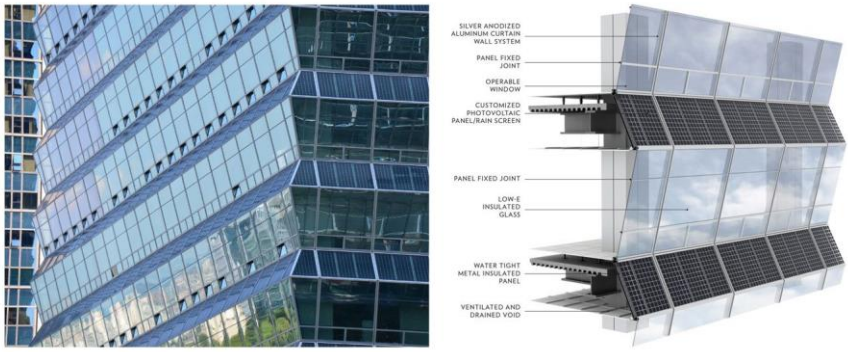


شكل (11) بلاطات سقفية كهروضوئية[38].

- **الحوائط والواجهات (Facades):**

تعتبر الواجهات من عناصر المبنى المهمة لاستخدامها في إنتاج الطاقة الكهربائية لمساحتها الكبيرة جدا بالمقارنة بالأسقف، ويتم تركيب الخلايا الضوئية عليها إذا تعذر تركيب الخلايا على الأسقف حيث تعتبر الواجهات ثاني عناصر المبنى استقبالاً للإشعاع الشمسي بعد الأسقف.

إن الواجهة الكهروضوئية المثالية غالبا ما تكون موجهة جنوبا، ولكن ألواح الواجهة الكهروضوئية الرأسية تنتج كمية من الطاقة الكهربائية أقل اذا ما قورنت بالألواح المنحدرة نحو الشمس، ويكون هذا الانخفاض أكبر في الصيف عندما تكون الشمس عالية في السماء، وللتغلب على هذه المشكلة يمكن تركيب الخلايا مائلة بزاوية الميل المثلى لها على الواجهات أو يمكن ان تكون الواجهة نفسها مصممة بحيث تكون مائلة بزاوية الميل المثلى[39].



شكل (12) تصميم الواجهة بشكل مائل[40].

وهناك طرق أخرى لتكامل النظم الشمسية مع الواجهات الخارجية للمبنى منها:

الواجهات الستائرية: تجمع الحوائط الستائرية الكهروضوئية بين المميزات التشكيلية الجمالية وما تضيفه اليها الخلايا الكهروضوئية من مميزات بيئية وظيفية، ويمكن تلخيص هذه المميزات في أنها[41]:

- أكثر مقاومة للعوامل الجوية وغير قابلة للصدأ ونفاذ المياه.

- بمكن أن تكون مغلقة أو مفتوحة حتى يمكن التحكم في الهواء الداخلي.
- سهولة التركيب بدون ان تضيف أي احمال على الهيكل الإنشائي.
- تمتاز بالجمال والاقتصادية عند التنفيذ والاستخدام.

شكل (13) الواجهات الستائرية المتكاملة مع الالواح الشمسية[42].

- **الواجهات العمودية ذات الإكساء الخارجي:** تغطي الألواح الشمسية واجهة المبنى بأكملها او جزء منها واحياناً تكون طبقة ثانية على طبقة أولى داخلية تحتوي على مواد عازلة ويراعى فيها استخدام مواد مانعة لتسرب المياه لمنع حدوث التكثف, وينبغي أن تكون هذه الطبقة محكمة السد والفراغات الهوائية فيها تكون مغلقة[43].

شكل (14) الواجهات العمودية ذات الاكساء الخارجي بالألواح الشمسية[44].

- **الواجهات الشفافة المتكاملة مع الخلايا الضوئية:** يمكن تركيب أنوع من الخلايا الكهروضوئية على الزجاج أو على الأجزاء النصف مصمتة بحيث تغطي النوافذ والفتحات الرأسية بالمبنى، كما يمكن استخدام الزجاج الكهروضوئي لتغطية الفتحات، ويتميز بأنه عالي الأداء عن الزجاج العادي حيث يمكنه توليد طاقة نظيفة بمتوسط من 45 الى 60 وات/م^2، وخفض الاكتساب الحراري في الفراغ ومنع الاشعة فوق البنفسجية من النفاذ بنسبة تصل الى 99.9%[45].

شكل (15) الخلايا الكهروضوئية في تكامل مع تصميم النوافذ[46].

- **الفتحات العلوية والأفنية الداخلية (Sky Light and Atriums):**

يناسب هذا النوع من التكامل بين أنظمة توليد الطاقة بالخلايا الكهروضوئية وأنظمة التزجيج العلوية للأفنية والبيوت الزجاجية متطلبات توليد الطاقة المنخفضة، ويتم توجيه الألواح الشمسية في اتجاه الجنوب لاستقبال أكبر كمية من الأشعة الشمسية وتفتح الجهة الشمالية لاستقبال الإضاءة الطبيعية، ولذلك يتم توجيه الأسقف المائلة ذات المساحة الأكبر باتجاه الجنوب والأصغر نحو الشمال، وفي حال كان السقف مستوي فيتم استخدام الألواح الشفافة أو نصف الشفافة للسماح بدخول الإضاءة النهارية ويظهر تأثير ذلك في التصميم الداخلي للفراغات المسقوفة بهذا النوع من الأسقف، لما له من امكانيات تشكيلية عالية وإتاحته للرؤيا من خلاله مع دخول ضوء وأشعة الشمس[47].

ولأن أنظمة التزجيج العلوية للأفنية والبيوت الزجاجية تكون عادة ملونة على نحو خفيف لمنع الوهج، فالتزجيج المحتوي على خلايا كهروضوئية شفافة يكون مناسباً أيضا. ويوضح الشكل رقم (16) بعض أماكن تركيب الخلايا الكهروضوئية على أسقف الافنية والفتحات العلوية.

شكل (16) تركيب الخلايا الكهرو ضوئية على الفتحات السماوية في المباني[48].

- **الدمج بين الخلايا الكهروضوئية ووسائل الاضلال:**

وهو نوع من وسائل الاضلال يجمع ما بين سمات الكاسرات الشمسية وبعض سمات الزجاج بالإضافة الى سماتها الخاصة، ويمكن تعريف شبكة الاظلال الشمسي بشكل عام بانها سطح مثقب يغطي فتحة النافذة جزئيا بحيث يسمح بمرور نسبة من الاشعاع الشمسي ويمنع نسبة أخرى، وتتوقف نسبة الاشعاع عادة على نسبة الفتحات على هذا السطح, كما تتوقف على زاوية السقوط[49].

تتمثل وسائل الاظلال الشمسية عادة بنوعين: الثابتة أو المتحركة، وتثبت خارج الفتحات الرأسية في المبنى في اتجاهين أفقي لصد الاشعاع العالي في الواجهات الجنوبية، أو عمودي في الواجهات الشرقية والغربية لصد الاشعاع الأقل حدة بسبب انخفاض زاوية سقوط الشمس على هذه الواجهات، ومن الممكن هنا تثبيت الوحدات الشمسية عليها أو أن تحل محلها بحيث تقوم بمنع دخول أشعة الشمس المباشرة إلى الفراغات الداخلية وتوليد الطاقة الكهربائية في نفس الوقت.

شكل (17) وسائل الاضلال الكهروضوئية على الواجهة[50].

وتتميز وسائل الاضلال الكهروضوئية المتحركة بقدرتها على تتبع حركة الشمس في السماء للفائدة المزدوجة من حجب أشعة الشمس المباشرة وزيادة تعرض أكبر مساحة منها للشمس لزيادة توليد الكهرباء بواسطة الخلايا الكهروضوئية المتكاملة داخلها وعادة ما يتم التحكم فيها من خلال نظام التحكم الرئيسي في المبنى وأحيانا تكون ذاتية التحكم تتصل مباشرة بأجهزة الإحساس التي تتبع وضع الشمس وتضبط وضعها ذاتيا وتلقائيا تبعا لذلك[51].

- **الألواح الشمسية كبديل عن مواد الإكساء النهائية:**

لهذا النوع من الوحدات الشمسية صفات مواد الانهاء الاعتيادية من تحمل للظروف المناخية والعزل الصوتي ومقاومة المياه بالإضافة إلى توليد الطاقة، وتعتبر أحد الحقول المهمة للنظام التكاملي (BIPV) وهي عبارة عن قطع صغيرة الحجم (PV Shinges), تكون على نوعين إما وحدات شمسية صغيرة يتم تثبيتها مع مواد الانهاء الخارجية أو تكون مصنعة مع مادة الانهاء

التقليدية, وتمتاز بمظهرها الجمالي وخفة الوزن[52]، وتكون الخلفية للوحدات الشمسية هي سقف او حائط للفراغات الداخلية، ومن الممكن أن تكون من النوع نصف الشفاف (Transparent Cells) لتسمح بدخول الإضاءة الطبيعية للفضاء، أو أن تكون معتمة (Opaque Cells).

إن استخدام المنظومات الشمسية كوحدات للإنهاء سيكون بديل عن مواد بناء السطوح والحوائط وهذا يتماشى مع استراتيجيات خفض التكاليف للمباني الكفؤة الطاقة[53].

ثانياً: اعتبارات أخرى يجب الأخذ بها عند استخدام الخلايا الكهروضوئية في المباني السكنية:

عدا الاعتبارات الخاصة بتصميم المبنى التي سبق تفصيلها سابقاً هناك اعتبارات أخرى يجب أن يأخذها المصمم بعين الاعتبار عند تصميم المبنى لضمان الاستفادة من تركيب المنظومات الشمسية والحصول على الكميات الكافية من الطاقة ومراعات البيئة، ومن هذه الاعتبارات:

1. **اعتبارات المناخ المحلي:** يجب الأخذ بعين الاعتبار خطوط العرض وكمية الاشعاع الشمسي ومتوسط كميات السحب ومتوسط درجات الحرارة والرطوبة والأتربة التي بالجو وحمولة الرياح واتجاهها عند التصميم، حيث تتطلب الخلايا الكهروضوئية مواصفات خاصة بالعزل الجيد للمنظومة كما يحتاج التوصيل الكهربي أيضا إلى عزل جيد، و يجب أن يصمم العزل ليقاوم أي مياه حتى لاتصل إلى الطبقة الداخلية للخلية مع التوصيلات الكهربية، كما يجب الأخذ بنظر الاعتبار حمولات الرياح والجليد والزلازل، فكلما ارتفع المبنى كلما ارتفعت حمولة الرياح على المحيط، كما يجب تصميم نظم الأسقف التي تضم الخلايا الكهروضوئية بانحدار كافي لإسقاط المياه والجليد في الأماكن ذات المناخ البارد أو المناطق الممطرة.

أيضاً يزداد أداء الخلايا الكهروضوئية عند تعرضها لأشعة الشمس لأطول فترة ممكنة، لهذا يجب اختيار الاسطح المناسبة من المبنى التي تستقبل أكبر كمية من الاشعاع ولفترات أطول.

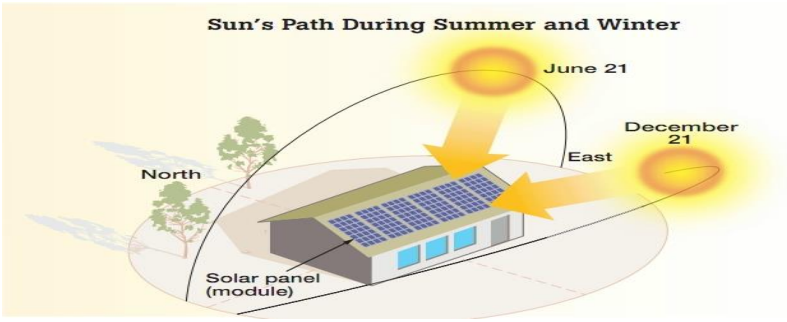
2. **اعتبارات إنشائية وميكانيكية وكهربية:** لابد من دراسة طرق استيعاب التوصيلات الكهربية في غلاف الخلايا الكهروضوئية، لإخفاء الأسلاك عن الرؤية أو اللمس، وتهوية محيط المبنى لأن تعرض الخلايا الكهروضوئية إلى ضوء الشمس المباشر يعمل على رفع درجة حرارة الخلايا بشكل ملحوظ، وبالتالي فلابد من وجود مساحات خلفية للتهوية.

3. **اعتبارات خاصة بالصيانة والتنظيف:** تحتاج الخلايا الكهروضوئية إلى القليل من الصيانة ,نظرا لأنها تحتوي على أجزاء متحركة, وهي مصنوعة بشكل أساسي من مادة السيلكون وهي مادة متوفرة على نطاق واسع, و نظرا لأن الخلايا مجمعة في وحدات فهي سريعة التركيب والتنظيف[54]، أمّا تكرار التنظيف فيعتمد على المناخ الذي يقع فيه المبنى ومعايير التنظيف النموذجية.

4. اعتبارات بيئية: إن تقييم الاستفادة من الخلايا الكهروضوئية على البيئة لا ينحصر على مدى تخفيضها للكهرباء التقليدية فقط بل هناك نتائج أخرى وتشمل اعتبارات إعادة الاستخدام وكذلك تخفيض مستويات التلوث الى حد كبير[55].

ثالثاً: الزاوية المثلى والموقع الأفضل لتركيب الخلايا الكهروضوئية على المبنى وفي الموقع العام:

يمكن تركيب الخلايا الضوئية في المبنى والاستفادة منها في أماكن متعددة كما سبق الذكر، غير إن الموقع الأفضل لتركيب الخلايا الضوئية هو الموقع الذي يتم الحصول فيه على أقصى إشعاع شمسي، فليس من الممكن أن يزرع خلايا كهروضوئية على مبنى واجهاته مظللة بفعل مباني مجاورة له، لذا نجد إن أفضل مكان في المبنى هو الأسقف ثم الواجهات على أن يكون اتجاه الخلايا الكهروضوئية نحو الجنوب بزاوية عمودية على الأشعة الشمسية الساقطة عليها للحصول على أفضل كمية إشعاع[56]، حيث يعتبر الاتجاه الجنوبي من أكثر الاتجاهات عرضة للإشعاع الشمسي لذلك يفضل وضع الخلايا الكهروضوئية في الحوائط الجنوبية والأسقف المائلة اتجاه الجنوب حيث تستقبل الواجهة الجنوبية اكبر اشعاع في فصل الصيف وبالتالي تكون كمية الطاقة المنتجة منها اكثر في البلدان الحارة لتناسب تشغيل احمال التبريد العالية التي نحتاجها، ويتحدد ميول السقف طبقا لاتجاه زوايا الشمس حتى يتمكن من الحصول على أقصى قدر من الإشعاع الشمسي، كما هو موضح في الشكل رقم (19)، أما ميول الالواح الشمسية فيتحدد عن طريقة زاوية الميل المثلى.

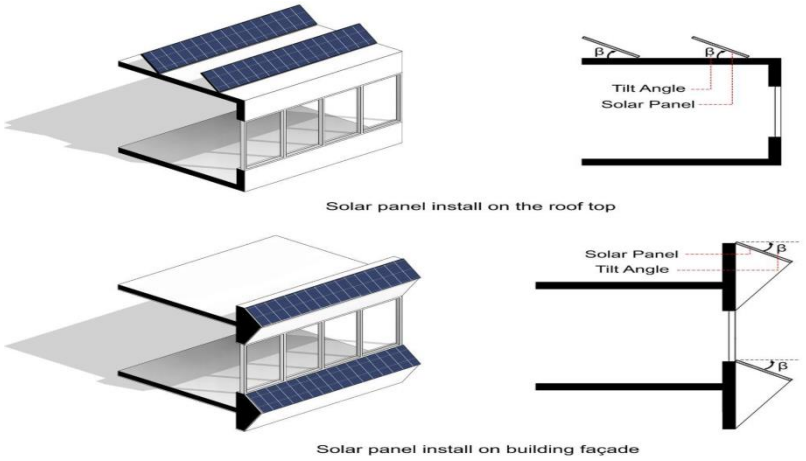


شكل (18) وضع الخلايا الكهروضوئية على السقف في اتجاه الجنوب للمبنى[57].

- **زاوية الميل المثلى لتركيب الخلايا:**

تعتبر من أهم المحدّدات التي تؤثر بشكل مباشر على كفاءة أداء الخلايا في توليد الطاقة المنتجة، وتختلف زاوية الميل المثلى حسب الواجهة المختارة وكذلك فصول السنة المختلفة، وبالنسبة لأفضل أماكن تحقق زوايا الميل المثلى نجد الواجهات الجنوبية والاسقف[58].

ونظراً الى ان موقع الشمس بالنسبة للأرض يتغير على مدار اليوم كما يتغير بالنسبة لخطوط العرض ودوائر الطول، وكذلك مع تغير الفصول، لذلك نجد الوضع الثابت للخلايا لا يمكن ان يوفر دائما اكبر قدر من الطاقة، وكذلك فإن تغير الميل لمتابعة حركة الشمس مكلف لدرجة ما، لذلك تقترح الباحثة في حالة بقاء الخلايا ثابتة لابد من زيادة مساحتها لضمان الحصول على القدر المرجو من الطاقة.



شكل (19) تركيب الالواح الكهروضوئية وفق زاوية الميل المثلى[59].

وعند تحديد زاوية الميل يجب الرجوع لخطوط العرض حيث ترتبط زوايا الميل المثلى بخط العرض بمقدار من (10 الى 15) درجة (زائد او ناقص) وفق التالي:

الفترة المناخية	الاعتداليين	الصيف	الشتاء
زاوية الميل المثلي	مساوية لخط العرض	خط العرض ناقص (0–15) درجة	خط العرض زائد (0–15) درجة

جدول (2) زوايا الميل بالنسبة لفصول السنة المختلفة[60].

خامساً: مستويات اضافة النظم الشمسية للتكامل مع عناصر تصميم المبنى:

وفق ما تم تقديمه في هذا المبحث يمكن ان نتبين عدد من المستويات الهامة لاستخدام نظم الالواح الشمسية ضمن تصميم المبنى تتدرج كالتالي:

1. مستويات مخفية: وذلك عن طريق توظيف الالواح الشمسية في المبنى بشكل غير مرئي للاستفادة من وظيفتها التقنية فقط في توليد الطاقة، رغبة من المصمم في عدم تأثير الشكل العام لهذه الألواح على التصميم، وخاصة في المباني ذات الطابع التاريخي او الكلاسيكي.
2. إضافة على مستوى التصميم: تتم إضافة المنظومات الشمسية للمباني المشيدة مسبقاً أو المباني قيد الإنشاء عندما يكون هناك حاجة ماسة لتحسين مستويات الراحة داخل فراغات معينة مع الحاجة لزيادة تزويد المبنى بالطاقة, فهنا يمكن أن تضاف المنظومات الشمسية كأدوات للتظليل لتقليل تأثير الأشعة الشمسية المباشرة في المبنى مثلا، أو أن تتم إضافتها بدل من الزجاج كعناصر تتسم بالشفافية ولها القابلية على تزويد المبنى بالطاقة في الوقت نفسه وهكذا.

3. إضافة على مستوى التعبير المعماري: وذلك عند توظيف الوحدات الشمسية كعنصر يمكن أن يعطي المبنى الطابع المعاصر دون أن تؤثر على المظهر العام للكتلة في التصميم, ويستخدم هذا المستوى في المباني المشيدة مسبقاَ والتي فقدت طابع التجدد مع مرور الوقت، أو توظيفها معمارياً لتكون الجزء المهيمن على المظهر العام لشكل البناء[61].

4. إضافة على مستوى الفكرة التصميمية: ويتم ذلك عندما تكون فكرة التكامل مع المنظومات الشمسية تمثل جوهر الفكرة التصميمية للمشروع لتحقيق كل ما تم ذكره في المستويات السابقة بالإضافة إلى تطبيق المفاهيم التصميمة للمعالجات البيئية[62].

- **مناقشة النتائج:**

1. إن دراسة مفهوم الطاقة المتجددة وأنواعها والتأكيد على التقنيات الموفرة للطاقة في المباني السكنية عامل مهم ومساعد للوصول الى الراحة الحرارية للمستخدمين والتوفير في الطاقة على المدى البعيد وحل للكثير من المشاكل الاقتصادية للبلاد.

2. الوصول الى بيئة سكنية جيدة تحترم البيئة وتوفر في الطاقة يبدأ من دراسة الموقع واسلوب تجميع الأبنية والتخطيط البيئي للمقسمات السكنية وتنتقل إلى دراسة تأثير شكل المبنى وتوجيهه على كفاءة استخدام الأنظمة الشمسية أو غيرها.

3. لزيادة كفاءة المباني السكنية وتحقيق أكبر استفادة من استخدام الالواح الشمسية لتوليد الطاقة يجب الأخذ في الاعتبار المواصفات التالية في تصميم المبنى والموقع:

- التوسع الأفقي في تصميم المجمعات السكنية أفضل من التوسع الرأسي وذلك لزيادة مسطح الأسقف المعرض للإشعاع الشمسي.
- في تصميم المناطق السكنية يراعى أن يكون عرض الشارع ضعف ارتفاع المبنى لتفادي إظلال الحوائط أو الواجهات طوال النهار.
- توحيد ارتفاعات المباني لضمان تعرض الواجهات والأسقف للإشعاع الشمسي معظم ساعات النهار.
- الأسقف هي المكان الأفضل لتركيب الخلايا الضوئية لاستقبالها أكبر قدر من الإشعاع الشمسي على مدار العام، يليها الواجهة الجنوبية ثم الواجهة الغربية والشرقية.

نتائج البحث:

يمكن تلخيص جل النتائج التي توصل إليها البحث في التالي:

1. تعد الطاقة الشمسية كأحد مصادر الطاقة المتجددة من العوامل الاقتصادي الهامة لعمليات التنمية لذا يجب البدء جديا بالاستخدام التدريجي لها كبديل عن المصادر التقليدية الحالية للطاقة.

2. عملية التصميم التكاملي للمبنى مع الطاقة يجب ان تبدأ عند تصميمه, اذ أنه من الهام جداً أن نأخذ بعين الاعتبار العناصر التقنية المضافة لغلاف المبنى أثناء العملية التصميمة وليس بعد انتهائها.

3. يمكن تحقيق التكامل بين المنظومات الشمسية وتصميم المبنى من خلال عدة مستويات شكلية ويستطيع المصمم الدمج بين أكثر من مستوى في آن واحد لإعطاء طابع مميز للمبنى او الحفاظ على نفس الطابع كما هو الأمر في المباني التاريخية.

4. الاستفادة من التجهيزات الموفرة للطاقة داخل المباني السكنية واستخدام تطبيقات الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء في المنازل هي عملية اقتصادية على المدى البعيد سواء على المواطن أو الحكومة.

5. لا يجب الحكم على الطاقة الشمسية بانها مكلفة حالياً لأن ذلك يتوقف على عوامل عديدة فالتهديد بخطر النضوب للمصادر الحالية للطاقة يجعل هناك حتمية لتطوير تقنيات الطاقة الشمسية واستخدامها بشكل موسع قريباً.

- التوصيات:

1. دعم وتنشيط حركة البحث في مجالات الطاقة الشمسية في بلادنا.

2. التشجيع على القيام بمشاريع رائدة على مستوى البلاد لإنتاج الطاقة من مصادر متجددة في مقدمتها طاقة الشمس, وتدريب الكوادر الفنية في هذا المجال للاستفادة من جميع تطبيقات الطاقة الشمسية.

3. تنشيط التبادل العلمي بين البلدان الرائدة في مجال الطاقة المتجددة وبلادنا عن طريق عقد الندوات والمؤتمرات واللقاءات الدورية.

4. العمل على تطبيق سبل ترشيد الحفاظ على الطاقة ودراسة افضل طرقها, بالإضافة ألى دعم أي مشروع فردي للمواطنين الذين يستخدمون الطاقة الشمسية في منازلهم.

5. الاهتمام بترسيخ الوعي البيئي وإدراك أهمية توفير الطاقة ومفهوم الاستدامة لدى المواطن يلعب دور مهم في قبول الناس لفكرة التخفيض في استهلاك الطاقة واستخدام وسائل الطاقة المتجددة.

- المراجع:

[1] .(صبور) شيماء السيد أمين ، البناء بالعمارة الشمسية الموجبة وأساليب تكامل الخلايا الضوئية مع المباني، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، جامعة القاهرة، 2010، ص71.

[2] . (أبوقرين) فتحي واخرون، دراسة ميدانية لتصنيف الاستهلاك الكهربائي بالقطاع المنزلي، مجلة الطاقة والحياة، العدد 17، ربيع 2013.

[3] . United Nations, Economic Commission For Europe (Geneva), Energy Efficient Design, A Guide To Energy Efficiency And Solar Applications In Building Design, ESE Energy Series No.9, New York, USA, 1991, p.5.

[4] . (الخياط) محمد مصطفى، الطاقة (مصادرها– انواعها– استخداماتها)، وزارة الكهرباء والطاقة مصر، تقرير2006.

[5] . المرجع السابق.

[6] . دليل العمارة والطاقة، جهاز تخطيط الطاقة، مصر، يوليو 1998، ص12.

[7] . (محمود) ماجد كرم الدين، الطاقة البديلة، هيئة الطاقة الجديدة – وكالة الطاقة الدولية، تقرير 2014.

[8] . (الحسيني) عبدالكريم، فوائد الطاقة الشمسية، الجزء الثامن، 2005،من (www.democratic-green.com).

[9] . (مصطفى) نهلة عبدالوهاب محمد، دراسة تأثير أنظمة الطاقة المتجددة على تصميم الغلاف الخارجي للمبنى، قسم الهندسة المعمارية، جامعة القاهرة، 2008، ص10.

[10] . المرجع السابق، ص19، عن: م(عبد الجواد) حمد مخيمر أبو زيد، المباني السكنية ذاتية الإمداد بالطاقة : التصميم باستخدام الطاقات المتجددة كمدخل للتصميم البيئي، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة عين شمس،2004).

[11] . (مصطفى) نهلة عبدالوهاب، دراسة تأثير أنظمة الطاقة المتجددة على تصميم الغلاف الخارجي للمبنى، قسم الهندسة المعمارية، جامعة القاهرة، 2008، ص23.

[12] . المرجع السابق، ص100.

[13]. https://netskin4.blogspot.com/2019/07/TS5IN.html

[14] . (الحمادي) نبيل غالب عبدالكريم، الاتجاهات الحديثة لتصميم البيئي نموذج للتصميم البيئي وترشيد الطاقة في المباني، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، جامعة القاهرة،2007،ص 115.

[15] . (فجال) أحمد عاطف الدسوقي ، العلاقة التكاملية بين مصادر الطاقة الطبيعية والتوافق البيئي في المنتجعات السياحية، الدار المصرية اللبنانية، الطبعة السادسة، 2006، ص89 .

[16] . Andrea Compagno , " Intelligent Glass Facades", Birkhauser Boston, (2002). [11]Task7.org ,"Integrated solar photovoltaics for buildings ".
http://www.task7.org/Public/lausa nne/part3proda.pdf

[17] https://ar.wikipedia.org.

[18] . National Renewable Energy Laboratory, Photovoltaic Power Systems in the Built Environment, NREL., USA, January 2003, http://www.ostigov/dublincore/ecd/servlets/purl/15003041-Ep4Hxh/native/15003041.pdf

[19] . (Raof) Sue, Eco House: A Design Guide, Architecture Press, Oxford, 2001, p.198.

[20] . (الجادري) احسان علي و(سليم) يونس محمد، أثر استخدام تقنية المنظومات الشمسية كمواد انهاء خارجية في النتاج المعماري، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، العدد11، 2010. متوفر على الرابط:
. https://www.iasj.net/iasj/download/912b27b06f9d84a7

[21] . Maria Cristina Munari Probst , Christian Roccker ,(2007) ,Towards an improved architectural quality of building integrated / solar thermal systems.

[22]. https://www.solarmarket.com.au/residential-solar/different-types-of-panels/

[23]. (Raof) Sue, Eco House: A Design Guide, Ibid, P206.

[24] . (كمال) آيات خلف، التطور التكنولوجي للمباني السكنية ودورها في توفير الطاقة، مجلة العمارة والفنون، العدد15، ص 123.

[25]. http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_Electricity/basics/how_pv_system_works.htm

[26]. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=30912

[27] . (مصطفى) نهلة عبدالوهاب محمد، دراسة تأثير أنظمة الطاقة المتجددة على تصميم الغلاف الخارجي للمبنى، مرجع سابق الذكر، ص87.

[28] . https://www.solarnova.de/en/en_bipv.html

[29] . (صبور) شيماء السيد آمين، البناء بالعمارة الشمسية الموجبة وأساليب تكامل الخلايا الضوئية مع المباني، مرجع سابق الذكر، ص 166.

[30] . https://firstgreenconsulting.wordpress.com/2013/07/10/bipv-module-mounting-techniques/

[31] . https://roofingmagazine.com/rooftop-alterations-like-skylights-roof-monitors-can-drive-building-value-performance/

[32] . (صبور) شيماء السيد آمين، البناء بالعمارة الشمسية الموجبة واساليب تكامل الخلايا الضوئية مع المبنى، مرجع سابق الذكر، ص 73.

[33] . (الجادري) احسان علي، (سليم) يونس محمد، أثر استخدام تقنية المنظومات الشمسية كمواد انهاء خارجية في النتاج المعماري، مرجع سابق الذكر.

[34].https://sika.scene7.com/is/image/sika/glo-solar-green-roof-SSM1-Dortmund:3-2?wid=3523&hei=2348&fit=crop%2C1

[35] . (عبد الهادي) مروة عاطف، نحو تشكيل معماري مستدام باستخدام الخلايا الكهروضوئية، رسالة ماجستير، كلية الهندسة/ جامعة المنصورة، 2012، ص 113.

[36] https://emagazine.com/wp-content/uploads/2021/01/solar1.jpeg

[37]. (Roaf)Sue, Eco House: A Design Guide, Ibid, P210.

[38].https://images.adsttc.com/media/images/5e01/2310/3312/fd44/b400/017c/newsletter/shutterstock_530955643444.jpg?1577132802

[39] . (حنفي) نيرفانا أسامة، أسس ومعايير تصميم المباني الذكية، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، جامعة القاهرة، 2009، ص123.

[40]. https://urbannext.net/wp-content/uploads/2016/08/FKI-Tower_exterior-wall-diagram.jpg

[41] . (الوزير) منى عوض، تأثير تقنيات البناء الحديثة للحوائط الستائرية على ترشيد الطاقة بالمباني في مصر، رسالة ماجستير، كلية الهندسة/ جامعة المنصورة، 2003م.

[42] . https://img1.onyxsolar.com/images/img/proyectos/Balenciaga/curtain-wall-balenciaga-miami-onyx-solar-1.jpg

[43] . (سمائي) وجيه محمد نصرت، تأهيل السكن المقترح في منطقة تنظيمية حديثة لمتطلبات البيئة والطاقة المتجددة، كلية الهندسة/جامعة حلب، 2005، ص 58.

[44]. https://igsmag.com/wp-content/uploads/2020/03/linus_1-1170x690.jpg

[45] . (عبد الهادي) مروة عاطف، نحو تشكيل معماري مستدام باستخدام الخلايا الكهروضوئية، م، ص 103.

[46] . https://flexlab.lbl.gov/building-integrated-photovoltaics

[47].(القصراوي) سماح مصطفى، دور التكنولوجيا المتقدمة في تشكيل العمارة المعاصرة، كلية الدراسات العليا، 2005، عمان، ص 32.

[48]. https://windowtinting.ajbangunan.com/ .

[49] . (مصري) منار و(ابراهيم) شعيب، دور الطاقة الشمسية كتقنية فائقة في استدامة المباني، مجلة جامعة حماة، العدد الثامن، 2018، ص 178.

[50].

http://pvtrin.eu/assets/media/PDF/Publications/Other%20Publications/41.BIPV_FOR%20ARCHITECTS.pdf

[51] .(حنفي) نيرفانا أسامة، أسس ومعايير تصميم المباني الذكية، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، مرجع سابق الذكر ص125.

[52] . (الجادري) احسان علي، (سليم) يونس محمد، أثر استخدام تقنية المنظومات الشمسية كمواد انهاء خارجية في النتاج المعماري، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، مرجع سابق الذكر.

[53] . Ken, Ichi Kimura, Solar Architecture for the Happiness of Mankind SOLAR ENERGY, 2000.Vol 67.

[54] . (مصري) منار و(ابراهيم) شعيب ، دور الطاقة الشمسية كتقنية فائقة في استدامة المباني، مرجع سابق الذكر، ص 176.

[55] . (حسين) فوزية ارحيم، تكنولوجيا الطاقة الشمسية وأثره في التشكيل المعماري للمباني، قسم الهندسة المعمارية/جامعة بغداد، ص 10. متوفر على الرابط:

https://www.researchgate.net/profile/Fawzia-Alasadi/publication/342503665_tknwlwjya_altaqt_alshmsyt_wathrha_ly_altkwyn_alshkly_llmbany/links/5ef7a168458515505078a994/tknwlwjya-altaqt-alshmsyt-wathrha-ly-altkwyn-alshkly-llmbany.pdf

[56] . (صبور) شيماء السيد أمين، البناء بالعمارة الشمسية الموجبة وأساليب تكامل الخلايا الضوئية مع المباني، مرجع سابق الذكر، ص71.

[57]. https://medium.com/@solarify/which-direction-must-solar-panels-face-and-what-angle-should-they-be-tilted-at-7242c671e4b9

[58] . (عبد الهادي) مروة عاطف، نحو تشكيل معماري مستدام باستخدام الخلايا الكهروضوئية، ص99.

[59]. https://www.mdpi.com/energies/energies-14-02441/article_deploy/html/images/energies-14-02441-g007.png

[60] . (عبد الهادي) مروة عاطف، نحو تشكيل معماري مستدام باستخدام الخلايا الكهروضوئية، مرجع سابق الذكر، ص 100.

[61] . (سمائي) وجيه محمد نصرت، تأهيل السكن المقترح في منطقة تنظيمية حديثة لمتطلبات البيئة والطاقة المتجددة، مرجع سابق الذكر، ص 60.

[62] . المرجع السابق، ص 61.