https://doi.org/10.33261/jaaru.2024.31.1.006 *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences (2024)31(1):59–72*

Association of Arab Universities
Journal of Engineering Sciences
مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة
اعضاء اتحاد الجامعات العربية

إمكانات المنظومات الشمسية الملونة بتقنية زجاج كروماتيكس عالي الكفاءة في تعزيز الجوانب التشكيلية والجمالية لواجهات الابنية

اسيل مهدي علي[1] * ، فوزية أرحيم حسين[2]

[1] قسم هندسة العمارة، جامعة بغداد، aseel.taqi2004d@coeng.uobaghdad.edu.iq

[2] قسم هندسة العمارة، جامعة بغداد ، fawziaasadi@coeng.uobaghdad.edu.iq

*الباحث الممثل: اسيل مهدي علي ،الايميل: aseel.taqi2004d@coeng.uobaghdad.edu.iq

نشر في: 31 اذار 2024

الخلاصة – ظهر مفهوم التنمية المستدامة بسبب الارتباط الوثيق بين البيئة ومفهوم التنمية، ويتطلب هذا النهج الاهتمام بحماية البيئة. وأحد العناصر الرئيسة من وسائل حمايتها هي استخدام الطاقة المتجددة. وتعد الطاقة الشمسية أكبر وأهم مصدر للطاقة المتجددة، كما تُعَدُّ المنظومات الشمسية وسيلة لتوليد الكهرباء والحرارة مباشرة من طاقة الشمس عند إضافتها إلى الأبنية، مما يمكنها من تلبية كافة احتياجات الطاقة للمبنى. ومع ذلك، تنشأ مشكلة في انفصالها عن جماليات وعلاقات التشكيل المعماري، حيث تُعتَبرُ فقط أداة لتوليد الطاقة، دون أي قيمة تشكيلية. ولغرض التخلص من هذه المشكلة فقد ظهرت المنظومات الشمسية الملونة عموما والملونة بتقنية كروماتيكس على وجه الخصوص حيث تمتلك امكانات تشكيلية لا حصر لها. وعليه فقد برزت المشكلة البحثية في غياب المعرفة العلمية حول منظومات الطاقة الشمسية الملونة بتقنية زجاج كروماتيكس وإمكانياتها في تعزيز الجوانب التشكيلية والجمالية لواجهات الابنية. وعلى اساس ذلك تبلور هدف البحث توفير المعرفة الخاصة بمنظومات الطاقة الشمسية الملونة بتقنية زجاج كروماتيكس وإمكانياتها في تعزيز الجوانب التشكيلية والجمالية لواجهات الابنية. ويتم ذلك من خلال تطبيق المنظومات الشمسية الملونة بتقنية زجاج كروماتيكس وفقًا للمبادئ التشكيلية، وتوضيح إمكانية دمجها في الأبنية لتحقيق وسائل وعلاقات التشكيل المعماري المختلفة. حيث اصبحت بمثابة عنصر تشكيلي يتوافق ويتناغم مع باقي عناصر التصميم المعماري، إضافةً إلى دورها الأساسي في توليد الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة، وبتحقيق ذلك يكون التشكيل المعماري مستدامًا. تم استخدام المنهج التحليلي المقارن بعد التوصل الى مؤشرات الإطار النظري لغرض تطبيقها على عينات بحثية منتخبة لفهم مفهوم التشكيل المعماري وعلاقته باستراتيجيات التنمية المستدامة. ثم تم تحديد المفهوم البحثي المتعلق بالتشكيل المعماري المستدام. بعد ذلك، تم التركيز على التشكيل المعماري باستخدام المنظومات الشمسية الملونة. اما اهم الاستنتاجات التي توصل لها البحث فهي: ان معرفة إمكانات التشكيل لوحدات زجاج كروماتيكس الكهروضوئية يساعد المصمم في تحقيق الموازنة بين الطلب على الطاقة واحراز الجمالية في واجهة المبنى حيث تحافظ وحدات زجاج كروماتيكس الكهروضوئية على البيئة كونها مصنعة من مواد طبيعية غير ملوثة وتولد الطاقة بمعدلات كبيرة وتمتاز بالمتانة ومقاومة الظروف الجوية والديمومة مع قلة الصيانة فضلا عن ان التعدد اللوني لها يضفي ديناميكية وحيوية على واجهة المبنى مما يحقق المزاوجة بين الجمالية والاستدامة عبر التشكيل المعماري للخلايا الكهروضوئية الملونة بتقنية زجاج كروماتيكس في الواجهات.

الكلمات الرئيسة: تقنية كروماتيكس، المنظومات الشمسية الملونة، التشكيل المستدام، واجهات الأبنية

1. المقدمة

مع تزايد المشكلات التي تعاني منها البيئة بسبب استخدام الطاقات التقليدية، ازدادت الدعوات لاستخدام الطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية. ونظرًا للظروف التي يعاني منها العراق والطلب المتزايد على استهلاك الطاقة بشكل كبير، وبالنظر إلى امتلاك العراق نسب عالية من الإشعاع الشمسي طوال العام، سيركز البحث على دراسة مفهوم استخدام المنظومات الشمسية الملونة بتقنية زجاج كروماتيكس ودورها في تحقيق التشكيل المعماري المستدام للأبنية. فقد أصبح تحقيق ستراتيجية التنمية المستدامة في التصميم المعماري أمرًا ضروريًا يجب السعي إليه، مع مراعاة الحفاظ على حقوق الأجيال القادمة. لذا، يحاول البحث استخدام مبادئ التشكيل المعماري باستخدام المنظومات الملونة بتقنية زجاج كروماتيكس في جميع عناصر ومكونات التصميم المعماري. حيث يهدف البحث إلى وضع التصميم المعماري في سياق مستدام من خلال المنظومات الشمسية الملونة وبمعايير وعناصر معمارية، بغية تحقيق تصميم معماري مستدام.

2. المنظومات الشمسية التقليدية

تعد المنظومات الكهروضوئية وسائل رفيعة المستوى لإنتاج الطاقة الكهربائية مباشرة من الشمس، عند إضافتها الى المبنى حيث يمكن ان تغطي كافة إحتياجاته من الطاقة الكهربائية وتجهز هذه الخلايا المصنوعة من السيليكون الطاقة بدون أن تسبب إجهاداً للبيئة (بدون حدوث أي تلوث وإستنفاد للموارد) فهي أجهزة آمنة ونظيفة وكفوءة. وتكون غالبية الألواح الشمسية ذات لون أزرق غامق أو أسود. حيث تكون الخلايا الشمسية أحادية البلورية في الغالب سوداء أو رمادية أو زرقاء ، بينما تكون الخلايا الشمسية متعددة البلورات زرقاء دائمًا. يعكس اللون الأزرق أو الأسود أقل قدر ممكن من الضوء ، وهو أمر له الأولوية عند محاولة زيادة خرج الطاقة. فالألواح الشمسية السوداء والألواح الشمسية الزرقاء هي أفضل الألوان للأداء. [10] ولكون الالواح الشمسية أصبحت أكثر شيوعاً وإن المظهر الأسود للألواح الشمسية [التقليدية] ليس جذابًا لكثير من الناس لذا يترددون في استخدام الطاقة الشمسية على

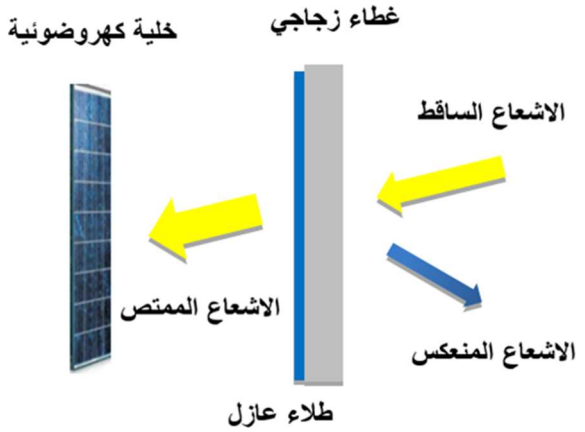
1726-4081© 2024The author(s). Published by Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences. This is an open access article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

الأسطح والواجهات إذ أن رتابة الشكل واللون للمنظومات التقليدية ونقاط اللحام لا تسهم في اضفاء جمالية على المبنى، فاللون الاسود والأزرق للمنظومات الشمسية التقليدية يمنح واجهات الابنية منظراً غير مقبول شكل (1) وبالتالي يعمل على إضعاف الناحية الجمالية لواجهات الابنية وذلك يحد من امكانيات المعماريين على استخدامها بسبب لونها الوحيد. كل ذلك أدى إلى إرتفاع الطلب للألوان الأخرى فكان الاتجاه إلى تلوين الخلايا الشمسية فيجعل من الممكن دمجها في التصميم المعماري للأبنية.[28] وحيث ان المنظومات الشمسية مجهزة بشرائط امتصاص انتقائي1 بصري ذات لون اسود تظهر عموما كفاءات تحويل طاقة جيدة. ومع ذلك فان اللون الاسود وكذلك نقاط اللحام الظاهرة للمنظومات الشمسية تقيّد عملية التكامل المعماري للمنظومات مع الأبنية. وقد بينت استطلاعات الرأي مؤخرا ان اكثر من 85% من المهندسين المعماريين يفضلون ألوان اخرى بدلا من اللون الاسود حتى وان كان الثمن كفاءة أقل وان المنظومات الشمسية المستخدمة كواجهات يمكن ان تستخدم كعنصر في تصميم الأبنية. ويمكن تغيير مظهر الواجهة بتغيير نوع و لون الغطاء الخارجي للمنظومة الشمسية فضلا عن امكاناتها التشكيلية [31]

شكل 1: استخدام الخلايا الشمسية السوداء او الزرقاء كواجهات للأبنية مما اكسبها مظهرا غير مقبول

3. المنظومات الشمسية الملونة

تعد أنظمة الطاقة الشمسية أنظمة مرئية للجميع ويجب أن يتكيف تصميمها مع بنية المبنى والبيئة المحيطة. من ناحية أخرى، لا ينبغي تغطية المنظر الخارجي للأبنية بنفس أنظمة الطاقة الشمسية التقليدية، [28]. لذلك فان اخر فكر تم التوصل اليه كوسيلة لمكافحة ظهور المربعات الداكنة في أسطح وواجهات المبنى.. هو استخدام التزجيج الملون للاغطية الزجاجية التي تغطي المنظومات الشمسية والتي تستخدم كواجهات للابنية بواسطة ترسيب غشاء رقيق متعدد الطبقات على السطح الزجاجي للمنظومة الشمسية ويمكن الحصول على لوح كبير من الالوان بواسطة سمك و/او عدد الطبقات. [6]. يشار الى ان الانعكاسية المثالية لنظام غشاء-زجاج يجب ان تكون حزمة ضيقة من الضوء المرئي بينما ينفذ الجزء الباقي من الضوء الشمسي باتجاه الجسم الاسود ليقلل من خسارة الطاقة، انظر الشكل (2) بهذه الطريقة جزء واحد من الطاقة الشمسية من الطيف المرئي يستثمر لجعل المنظومة الشمسية المستخدمة كواجهة للأبنية أكثر جمالا بامتلاكها لون معين غير اللون الأسود و الجزء الاخر من الطيف و الذي يمثل اغلب الطاقة سينفذ خلال الغطاء وسيمتص ويتحول الى طاقة كهربائية تغذي المبنى في الخلية الكهروضوئية .[33]



شكل 2: مبدأ تلوين المنظومات الشمسية [28]

ان الجمع بين عمليات البناء وصناعة الطاقة الشمسية يتطلب مشاركة العديد من التخصصات والذي يمثل تحديًا في مثل هذا المجال. ومع تطور الطلب على هذه التقنيات، تتقدم تكنولوجيا الطاقة الشمسية بوتيرة سريعة. فتصبح الخيارات التي تحقق الناحية الجمالية هي الأكثر إرضاءً.. وبالتالي، فإن جعل اللوحة الكهروضوئية ملونة بتكلفة منخفضة مع الحفاظ على كفاءة تحويل الطاقة العالية يعد من التقنيات المهمة والسريعة في هذا المجال. [30] وفي حالة انصب معظم التركيز على تحسين كفاءة الألواح الشمسية، هذا في الواقع سوف يأخذ خطوة إلى الوراء في المنظومات الملونة، فالانخفاض الطفيف في الكفاءة تبرره الناحية الجمالية. [12] يشار الى انه في الوقت الحاضر تم تطوير خطاً جديداً من الألواح الشمسية الملونة للواجهة المصممة لتلائم مواد البناء مثل الحجر والخشب المركب والألمنيوم وفقاً للهندسة والمتطلبات المحددة للمبنى. أي يمكن استخدام المنتج كبديل لمواد البناء التقليدية مثل الخشب أو الحجر. يمكن أن يطلق عليها "الألواح الشمسية الملونة" [8] كما في الشكل (3)

شكل 3: امكانات اللون والملمس للزجاج المغلف للمنظومات الشمسية الملونة [8].

ان التطور الذي حصل في مجال تلوين المنظومات الشمسية بمختلف الاشكال والتدرجات اللونية ادى الى زيادة امكانية استخدامها بشكل متكامل مع كافة اجزاء المباني كالواجهات والتفاصيل المختلفة لها بما في ذلك الشرفات والمحجرات وكاسرات الشمس فضلا عن استخدام تلك المنظومات بتشكيلات مختلفة مما عزز من امكانيات المعماريين في هذا المجال ومن ثم تعزيز جمالية المبنى.

[1] - وهو الجزء المسؤول على تحويل اشعة الشمس الى طاقة في المنظومات الشمسية

4. انعكاس الضوء وتأثيره في تلوين المنظومات

يُمتص الضوء (الطيف الكهرومغناطيسي) وينعكس بناءً على طوله الموجي، وهناك نطاق محدود من الضوء المرئي للعين البشرية. بعبارة أخرى، ما يمكننا رؤيته وما يحدث بالفعل قد يكونان شيئان مختلفان. باستخدام الألواح الشمسية الملونة، تعين على العلماء التفكير في نوع من طيف الضوء "المرئي" للألواح بنفس الطريقة التي تمتص بها أعيننا أو تعكس أطوال موجية مختلفة من الضوء. بشكل عام، كلما زادت شفافية الطبقات العليا لخلية الألواح الشمسية (مثل الزجاج الأمامي والغلاف) زاد الضوء الذي يمكن أن يمتصه السيليكون.[10] تفقد الألواح الشمسية التقليدية كفاءتها مع الألوان، (السبب الرئيسي لانخفاض الأداء مع تغيرات اللون هو أنه يتم إرسال عدد أقل من الفوتونات إلى الخلايا الكهروضوئية، بسبب طبقة طلاء الألوان الإضافية على الزجاج مما يقلل من إنتاج الطاقة الشامل) فلا يمكن تغيير الخلايا البلورية الزرقاء أو السوداء نفسها، ولكن يمكن أن تؤثر طريقتان على كمية الضوء التي تنتقل إلى الخلايا [28].

• تستخدم الطريقة الأولى بعض الأصباغ على الجزء الأمامي من الزجاج الكهروضوئي أو المغلف الملون. حيث يمكن تصنيعها عن طريق الطلاء بالغمس sol-gel، وعادةً ما تمتص هذه الألوان في الغالب وتعكس جزئيًا أجزاء معينة من طيف الضوء. [6]. كما في الشكل (4).

شكل 4: الألواح الزجاجية أثناء تقنية سول-جل، تم الحصول على درجات لونية مختلفة بتغيير سرعة السحب

• وتستخدم الطريقة الأخرى مرشحات التداخل عن طريق ترذيذ طبقات رقيقة عديدة من الاغشية الرقيقة على الوجه الداخلي لزجاج المنظومة. يمكن أن تكون هذه الطلاءات الرقيقة أكثر انتقائية حيث تنعكس أطوال موجات طيف الضوء المرئي، مما يسمح بامتصاص كل الضوء الساقط. أن هذه الطلاءات تعكس جزءًا صغيرًا من طيف الضوء للسماح للوحة بامتصاص كل الضوء المرئي الآخر.

تقبل كلتا الطريقتين حقيقة أن بعض الضوء يجب أن ينعكس نتيجة إضافة تلوين إلى اللوحة الشمسية.[10] ويمكن الحصول على لوحة كبيرة من الألوان بتفاوت السماكة و / أو عدد الطبقات. يمكن أن تقدم الطلاءات الضوئية ألوانًا جذابة للغاية. تنشأ هذه الألوان من تأثيرات التداخل التي تعزز الانعكاس أو النفاذية في أجزاء معينة من الطيف المرئي وتمنعه في أجزاء أخرى. على الرغم من أن الألوان تحدث مع الضوء النافذ والمنعكس على حد سواء، فقد وجد أن التأثيرات الأكثر تاثيرا توجد عادةً في الانعكاس. بنفس الطريقة التي يمكن بها تصميم الطلاءات للحصول على الخصائص الطيفية المرغوبة، يمكن أيضًا تصميمها لتقديم الألوان المرغوبة [23] وضمن السياق نفسه يشار الى ان هنالك طرق اخرى لتحقيق تلوين المنظومات الشمسية حيث سيكتفي البحث بتعدادها لان تفاصيلها هي خارج نطاق هذه الدراسة ومنها: [10]

• تعديل سماكة الطبقة المضادة للانعكاس Anti-Reflection (AR) أعلى أشباه الموصلات كما في الشكل (5).

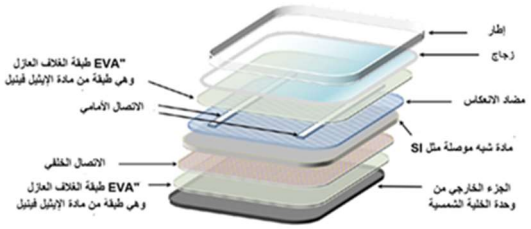
شكل 5: على اليسار خلية شمسية Si متعددة البلورات بلونها الأصلي، على اليمين) خلية شمسية Si متعددة البلورات بسماكة معدلة لطبقةAR

• تغيير المادة شبه الموصلة: تسهل هذه الخصائص دمج الخلايا الشمسية مع عناصر زجاجية مثل النوافذ والمناور والواجهات، ومن مزاياها: المرونة، خفة الوزن، الألوان، الشفافية / شبه الشفافية كما في الشكل (6).

شكل 6: تظهر الألوان الزاهية لخلايا Grätzel بوضوح في هذا الشكل

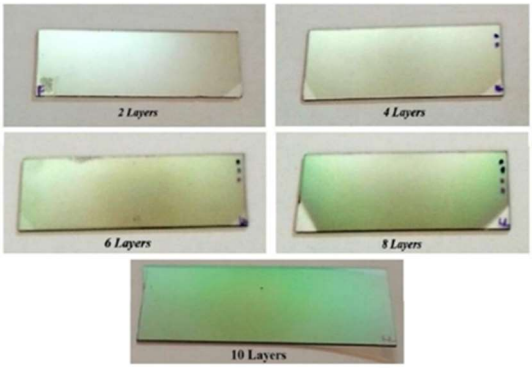
• تعديل غطاء الزجاج العلوي التركيز والسمك هما المعلمان الأساسيان اللذان لهما أهمية لتلوين زجاج الغطاء.

• تغيير الغلاف العازل بإدخال فيلم رقائقي ملون. يجب حماية المواد شبه الموصلة من البيئة من أجل الحفاظ على وظيفتها لفترة طويلة. تتم عملية واحدة لتأمين إحكام محكم بين الغطاء الزجاجي العلوي والغطاء الخلفي عبر عملية التصفيح. تستلزم عملية التصفيح وضع مادة بوليمر، فيلم رقائقي، بين مكون أشباه الموصلات وغطائه العلوي والسفلي الشكل (7).



شكل 7: مكونات مختلفة لجهاز الخلايا الشمسية من السيليكون

يمكن تحقيق الجماليات المرئية للمبنى باستخدام الألوان الجديدة المتاحة في الألواح الشمسية. حيث يمكن أن تسهل الألواح الشمسية الملونة المزيد من اعتماد الطاقة الشمسية وهي فعالة مثل وحدات السليكون وتحقق التوافق التام بين الكفاءة الكهربائية والتصميم [14]. والشكل (8) يبين صور لعينات تظهر الانعكاس اللوني الاخضر من (2-10) طبقات من الاغشية الرقيقة مصنعة محليا للتصميم Air/SiO2/Mgf2/Glass



شكل 8: عينات تظهر الانعكاس اللوني الاخضر من (2-10) طبقات من الاغشية الرقيقة مصنعة محليا للتصميمAir/SiO2/Mgf2/Glass

يشار الى ان هذه لا تزال تتطور، وتسهم في تعزيز الناحية الجمالية للأبنية الشكل (9) [23]. ونظرا لانه هنالك عده طرق لتلوين الاغلفة التي تغطي المنظومات الشمسية، كما أشرنا سابقا منها الصبغية، sol jel، تقنية الترذيذ الكيميائي وتقنية كروماتيكس، سيتقصى البحث تقنية الزجاج الشمسي الملون (كروماتيكس) موضوع البحث

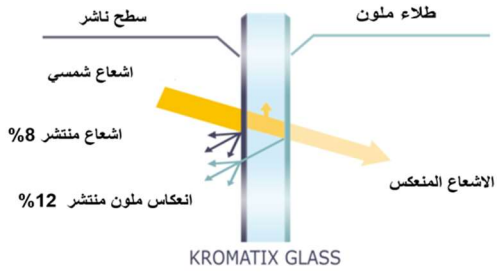
شكل 9: واجهات ملونة باستخدام المنظومات الشمسية الملونة

5. تقنية الزجاج الشمسي الملون تقنيّة كروماتكس Kromatix

تعد تقنية الزجاج الشمسي (كروماتيكس) من التقنيات الحديثة والملونة في مجال الطاقة والعمارة والذي نتج عن الجمع بين التكنولوجيا الكهروضوئية والمعرفة الفنية بالزجاج المعالج الملون الذي ينجح في الحفاظ على التوافق التام بين الكفاءة الكهربائية والتصميم. فتقنية كروماتكس هي زجاج ينطوي على الترسيب الذري لمعالجات سطحية بتقنية النانو عالية الكفاءة وصديقة للبيئة حيث يحول الزجاج الشمسي الى لون والتي تم تحسينها لتطبيقات الطاقة الشمسية (الكهروضوئية والحرارية). ويكون تلوين الزجاج باستخدام (تقنية البلازما) فيحول الترسيب الذري الزجاج الشمسي إلى زجاج ملون، مما يجعله متينًا ومقاومًا للأشعة فوق البنفسجية.[13] وتعد تقنية كروماتكس ابتكارًا ثوريًا في مجال الزجاج الشمسي والوحدات الكهروضوئية يتضمن استخدام الزجاج الملون والخلايا الكهروضوئية التي يمكن تخصيصها لتتناسب مع أي مخطط ألوان أو تصميم، بتكامل أكبر مع العمارة والمناظر الطبيعية المحيطة. مما يجعلها خيارًا مثاليًا للمهندسين المعماريين والمصممين. يشار الى انه تستخدم التقنية طلاء خاص يسمح بامتصاص أطوال موجية مختلفة من الضوء، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة الطاقة والأداء. ويتم الحصول على زجاج Kromatix من خلال الجمع بين معالجتين مختلفتين للسطح :

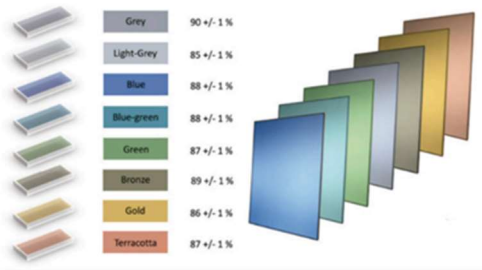
- يتم ترسيب طلاء متعدد الطبقات على السطح الزجاجي الداخلي عن طريق عمليات البلازما ذات الضغط المنخفض. تتميز المواد المكونة لها بشكل حصري بنفاذية عالية للطاقة الشمسية، وامتصاص ضئيل (صفري) ومتانة عالية مع زيادة ثبات اللون الزاوي إلى أقصى حد. لا يتم استخدام أصباغ أو طلاءات (دهان) أو طباعة الشاشة حتى لا يتلاشى اللون مع مرور الوقت أو بسبب التعرض لأشعة الشمس، وبالتالي تجنب الخسائر الكبيرة في الكفاءة (إن استخدام الطلاءات متعددة الطبقات يجعل الخلايا الشمسية أقل اعتمادًا على زاوية حدوث أشعة الشمس)[30]

- نتج عن معالجة سطح الزجاج الخارجي انعكاس منتشر. هذا يمنع تأثيرات الوهج ويعزز تأثير اخفاء الأجزاء التقنية للأجهزة الشمسية، مما يعزز الجماليات. شكل (10)

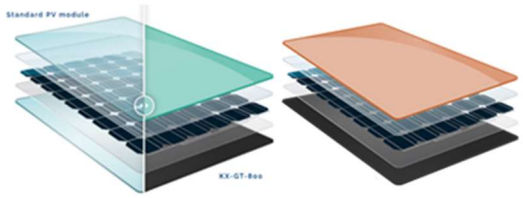


شكل 10: آلية عمل لوح زجاج كروماتيكس

يتوفر Kromatix بعدة ألوان، منها الرمادي وتدرجاته والأزرق والأخضر والبرتقالي والبرونزي والنحاسي والذهبي. وزجاج كروماتكس هو الطبقة الزجاجية الأمامية للوحة الشمسية ويمكن تطبيقه على مجموعة كبيرة ومتنوعة من المنتجات والتقنيات التي تعمل بالطاقة الشمسية. شكل (11) و(12)



شكل 11: الامكانات اللونية والكفاءة للتدرجات اللونية لزجاج كروماتيكس

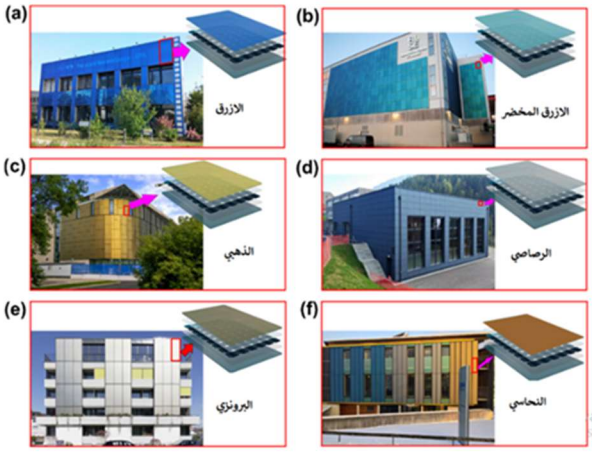


شكل 12: لوح زجاج كروماتيكس في تكوين اللوح الشمسي

والشكل (13) يوضح بعض المباني التي استخدم فيها الزجاج الملون باستخدام تقنية كورماتيكس عالي الكفاءة. حيث تم تغليف واجهات واسطح هذه الأبنية بالمنظومات الشمسية المغلفة بزجاج كروماتيكس بشكل كامل لزيادة انتاج الطاقة.

الشكل 13: أبنية في سويسرا تم استخدام تقنية زجاج كروماتيكس في تغليف منظوماتها الشمسية

يشار الى ان تقنية زجاج كروماتيكس من التقنيات الحديثة والمتطورة في مجال العمارة والتصميم المعماري، وتستخدم بشكل واسع في المشاريع الحديثة التي تعتمد على التصميم الابتكاري والمستدام. حيث توفر هذه التقنية فرصًا كبيرة تجمع بين مرونة التصميم المعماري الكاملة وجماليات الواجهات مع الأداء الأمثل للواجهات من ناحية الطاقة. ولبناء تطبيقات الطاقة الشمسية المتكاملة ليستخدم في كل من النماذج الكهروضوئية - التي تستخدم الخلايا لتحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء ويحافظ على أكثر من 90٪ من الكفاءة . والشكل (14) يبين الامكانات اللونية لهذا النوع من الزجاج والمستخدمة في بعض المباني [22]



شكل 14: الامكانات اللونية لعدد من الابنية المعاد تغليفها بزجاج كروماتيكس في لوزان/ سويسرا [19]

6. مزايا تقنية كروماتيكس

تقدم تقنية كروماتيكس تأثيرات بصرية متعددة الألوان، وتوفر مرونة وسهولة في التحكم، وتتكامل مع التقنيات الأخرى. تعتبر اختيارًا شائعًا لإضافة جمال وإثارة لمختلف الأحداث والعروض المرئية تمتلك تقنية كروماتيس عدة خصائص ومزايا أهمها [16]:

- زجاج غير لامع، بدون انعكاس وبدون تأثير يسبب الوهج واللمعان، بمعنى أنه يمكن استخدامه في أي مكان أو اي توجيه.
- لا يستخدم أي طلاء أو صبغة، وبالتالي لا يتلاشى أو يفقد اللون مع مرور الوقت.
- ينتج طاقة بكفاءة عالية.
- لا توجد مكونات كهربائية ظاهرة مثل الخلايا الكهروضوئية كتموجات صفيحة الامتصاص .
- ألوان متعددة ومتجانسة تسهم في تعزيز الناحية الجمالية.
- تلبي الواجهة كافة المتطلبات الحرارية والمتطلبات الصوتية.
- يمكن استبدال الألواح بسهولة (مثل أي ألواح زجاجية عادية) في حالة حدوث أي ضرر لأي سبب أثناء التثبيت أو بعد التسليم.
- يمكن لكل لوح شمسي ملون بتكنولوجيا كروماتيكس توليد أكثر من 130 واط من الطاقة الكهربائية لكل متر مربع على أسطح المباني أو ما يزيد على 100 واط لكل متر مربع على الواجهات .
- يتميز زجاج كروماتيكس بأنها شديدة التحمل ومقاومة للعوامل الجوية، مما يضمن أداء ووظائف طويلة الأمد.

يرى البحث بان المنظومات الشمسية الملونة بكافة انواعها تمثل تطورًا مثيرًا في مجال الطاقة المتجددة عموما وفي مجال العمارة على وجه الخصوص، حيث تجمع بين الكفاءة الطاقية للخلايا الشمسية والجمالية والتصميم الملون. فمن خلال استعمالها كجزء من النوافذ أو الواجهات او ككاسرات، يمكن تقليل حرارة الشمس والأشعة فوق البنفسجية المارة، مما يقلل من استخدام التكييف ويوفر الطاقة كما توفر المنظومات الشمسية الملونة فرصة للمزيد من التنوع الجمالي في التصاميم المعمارية والتطبيقات الشمسية

7. مبدأ اللون في زجاج كروماتيكس Colour Principle

يتم إنتاج ألوان الطبيعة في كل مكان من حولنا من خلال جوانب مختلفة من تفاعل الضوء مع المادة والأكثر شيوعًا هو تفاعل الضوء مع الأصباغ الملونة والأصباغ التي تمتص وتعكس أطوال موجات ضوئية معينة. ومع ذلك، يكون للون في بعض الأحيان أصل مادي بحت ناشئ عن حيود الضوء أو تداخله. من الحقائق المعروفة أن العديد من الفراشات تحصل على لونها بفضل ظاهرة التداخل. وعند تطبيق هذه التقنية على الزجاج الشمسي لابد من إيجاد حل وسط جيد، فكلما زاد الانعكاس، قلت التغذية والأداء النشط للجهاز الشمسي الذي تم تثبيت الغطاء الزجاجي الملون عليه. هذا هو السبب في أن اللون يتغير مع تغير الزاوية. وفيما يتعلق بالمتعة الجمالية مقابل الكفاءة الكهروضوئية، لن تتمتع الوحدات الكهروضوئية الشفافة بكفاءة جيدة أبدا حيث أن حوالي ٪ 50 من الإشعاع الشمسي يأتي في نطاق الطول الموجي المرئي. كل نسبة من الشفافية هي خسارة مباشرة للكفاءة. نفس الشيء بالنسبة إلى PV الملونة حيث تمتص أو تعكس أو تشتت الضوء في الطيف المرئي. عادة مايكون فقد الطاقة الكهروضوئية هو الأقل بالنسبة للألوان الممتصة / المنعكسة في أطوال موجات مرئية أقصر.

8. التشكيل المعماري:

يعرف التشكيل المعماري بأنه الهيئة الحسية الخارجية للمواد، وهو عملية يشرع فيها المصمم مستخدماً المفردات البصرية التشكيلية كعناصر أساسية وضمن السياق نفسه عرفها آخرون بأنها فن تنظيم العلاقات بين عناصر المبنى الشكلية لتحقيق أهداف المنفعة العامة (جمالية - ووظيفية - اقتصادية - الخ..)، وتستعمل الشكل والنسيج والمادة والحجم والضوء واللون كأجزاء داخلة في التنظيم .[12] ويرتبط التشكيل المعماري كذلك بمجموعة من الأسس والمبادئ التي تحكم العلاقة بين عناصر الشكل والتي يؤدي استخدامها للحصول علي تشكيل متميز ومنتج معماري جيد منها (النسبة - المقياس - الاتزان - الطابع- الهوية)، كما يمكن استخدام بعض مفردات التشكيل التي تضيف للمبنى شكل ومعنى ومنها (التماثل - السيطرة - الوحدة - التفرد - التكرار والاستمرارية - الإيقاع - التجانس والتناغم - التنوع - التكامل - التوافق - التباين) وكلها أدوات ووسائل قد تمكن المعماري من إقامة علاقات جمالية وانتفاعية لعناصر الشكل يتم إدراكها من خلال حاسة البصر في المقام الأول وتمتاز بكونها وحدة متماسكة غير مفككة موحدة ومنسجمة،[33] وقد أثرت التكنولوجيا الحديثة على العناصر التشكيلية بشكل قوي، ووفرت قدرا كبير من المرونة والحرية في التشكيل المعماري .

8.1 وسائل التشكيل المعماري

يذكر ان المدخل لدراسة أي تشكيل معماري يكون من خلال دراسة الخصائص البصرية لعناصر هذا التشكيل ويمكن إجمالها بالآتي :

- الشكل (السطح) (Shape) الحجم (Form) أو (الكتلة والفضاء) (Space) ويتكون من النقطة والخط
- القيمة الضوئية (Value) وهي درجة الإضاءة (الظل والضوء)

- اللون (Color) اللون هو نتيجة للضوء الذي ينعكس من جسم إلى العين
- الملمس(Texture)
- الشفافية والمسامية (Transparency and porosity) (يقصد بالشفافية خاصية مرور الضوء من خلال الأسطح بنسب متفاوتة أي الرؤية من خلال هذه الأسطح)، أما (المسامية فهي تمثل نسبة مساحة الفتحات الموجودة في حوائط المبنى مقارنة بالمساحة الكلية لحوائط المبنى المصمتة) .[33]. [28].

وتعد هذه الخصائص هي الادوات والعناصر التي يستخدمها المعماري المبدع في علاقة حاكمة للخروج بالتشكيل او التكوين المعماري وتتداخل هذه الوسائل او الخصائص فيما بينها لتعمل مجتمعة ضمن التشكيل المعماري الكلي ولا تعمل كأجزاء مستقلة ضمن العمل الكلي. شكل (15)[12]

شكل 15: الخصائص البصرية لعناصر التشكيل المعماري الباحثة

بالاستناد الى[30] .[6].

8.2 *التشكيل المعماري المستدام:*

يمكن تعريف التشكيل المعماري المستدام بأنه التشكيل مع البيئة حيث يكون صديقاً لها يستهلك من مصادرها بالقدر الذي يحقق بيئة داخلية صحية لمستخدمي المبنى ويوفر لهم الراحة بدون الإخلال بحق الأجيال المستقبلية في تلبية احتياجاتهم من مصادر الطبيعة.. ويرتبط التشكيل المعماري بعملية الحفاظ على الموارد الطبيعية من خلال استخدام مواد بناء صديقة للبيئة يمكن إعادة استخدامها أكثر من مرة. ويتم تحقيقه عن طريق تطبيق مبادئ التصميم البيئي واستخدام التكنولوجيا الحديثة والمواد المستدامة. على سبيل المثال، يتم تصميم المباني المستدامة لتكون موجهة نحو الشمس واستخدام الضوء الطبيعي بكفاءة، مما يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية. كما يتم استخدام العزل الحراري والتهوية الجيدة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في التدفئة والتبريد. تعتمد المواد المستدامة على استخدام الموارد المتجددة وتقليل استخدام المواد الضارة للبيئة.[31]

8.3 *التشكيل باستخدام المنظومات الشمسية الملونة:*

تعد أكثر الطرق أمانا للحصول على الطاقة الكهربائية والحرارية من خلال المنظومات الشمسية وبدون حدوث تلوث أو إصدار انبعاث وبالتالي الحفاظ على البيئة.. وإذا استخدمت المنظومات الشمسية الملونة فيتم الحصول على تشكيلات معمارية لا حصر لها باستخدام هذه التقنية الحديثة. يشار الى انه يمكن ان تدمج المنظومات في التشكيل منذ بداية تصميم المبنى أو إضافتها بتشكيل جمالي للأبنية القائمة لما تتميز به من مرونة. فضلاً عن توفر العديد من الأنواع المختلفة والتي تفتح الباب واسعا امام المعماريين لحرية الإبداع في التشكيل مع المبنى. اذ يمكن الآن تصميم الواجهات لتشمل الوحدات الكهروضوئية بجميع الألوان الممكنة ومجموعة متنوعة من الأشكال ..[11] وضمن السياق نفسه يمكن لهذه المنظومات تغطية الواجهات والتناغم مع تشكيل المبنى، مما يعمل على الحد من استهلاك الطاقة في الأبنية والوصول إلى تشكيل معماري مستدام. كما إن هذه النظم تحقق إستراتيجية الاستدامة من استدامة بيئية مع المبنى بطرق جمالية مختلفة. فالتشكيل بالمنظومات الملونة في المباني أصبح أمرا حتميا الان في الكثير من البلدان، حيث يجري تشريع قوانين بناء تجعل استخدام الطاقات المتجددة أمرا حتميا في الأبنية العامة والسكنية في هذه الدول مما فتح الباب على مصراعيه لاستخدامها في الأبنية لما توفره من تشكيلات وأنواع مختلفة تعطي للمعماري مرونة أكثر عند استخدامها، وما زالت النظم الشمسية الملونة في تطوير مستمر مما يفتح المجال واسع لإيجاد تشكيلات أفضل وتكامل أكثر عند إدماجها مع المبنى. [29]لذلك يجب ان يكون التشكيل بالمنظومات الملونة وإدماجها مع المبنى راجع إلى قواعد التشكيل المعماري ووسائله وعلاقاته حتى يتم استخدامها كعنصر تشكيلي مدعم معماريا وليس كجهاز حديث يتم الاستفادة منه بإضافته الى المبنى.

يشار الى ان من مميزات المنظومات الشمسية الملونة في الأبنية خصوصاً في الجدران أنها تخفض من تكلفة إنشاء المبنى ذلك أنها تحقق من خلال وجودها غرضين أساسيين:

الأول: توفر في استخدام مواد البناء التقليدية التي تحل محلها كالطابوق أو الزجاج كونها تعد كمواد انهاء تغلف الواجهة الخارجية للمبنى .

الثاني: تولد كهرباء او حرارة تستخدم لتشغيل الأجهزة الكهربائية في المبنى او تسخين المياه، ومن مميزاتها أيضا أنها لا تحتاج إلى هياكل إضافية خارجية لتثبيتها، وإنما تركب مباشرة علي هيكل المبني الموجود، كما أنها تحقق وظيفة جمالية للمبنى.. كذلك فأنها قادرة على تحقيق العديد من المميزات البيئية والاقتصادية والاجتماعية فضلا عن الجمالية.[26]

يرى البحث ان التشكيل المعماري المستدام باستخدام المنظومات الشمسية الملونة يُعَدّ مبادرة مبتكرة وواعدة في مجال البناء المستدام. يمكن تطبيقها في مختلف أنواع المباني وتحقيق التوازن بين الجمالية المعمارية والأداء البيئي، مما يسهم في تحقيق بيئة أكثر استدامة وجمالًا. فتكامل المنظومات الشمسية مع المباني يُعدّ مجالًا مهمًا في تطوير البنية التحتية المستدامة والاستدامة البيئية. ويهدف هذا التكامل إلى استغلال الطاقة الشمسية بأقصى قدر ممكن وتحويلها إلى طاقة كهربائية أو حرارية لتلبية الاحتياجات الطاقوية للمبنى فضلا عن الحصول على تشكيلات جمالية مختلفة باستخدام هذه التقنية. وهذا التشكيل المعماري باستخدام المنظومات الشمسية لا يمكن ان يتم الا من خلال تكامل تلك المنظومات مع الابنية. وعليه سيتقصى البحث تكامل المنظومات مع الواجهات.

9. تكامل المنظومات الشمسية الملونة مع المبنى

تشير عبارة المنظومات الشمسية المتكاملة مع المبنى إلى أنها تبنى وتقام مضافة إلى المبنى القائم او الجديد، وذلك يحدث بالتعاون ما بين العديد من التخصصات المختلفة كالمهندس المعماري والمهندس المدني ومصممي المنظومات الشمسية. وهنا نجد أن هناك العديد من الفوائد والمميزات لهذه النظم والتي تعمل بكفاءة عالية وغير محدودة. اذ تمثل الطاقة الكهروضوئية والحرارية والعمارة تحديًا لجيل جديد من المباني والمنشآت التي تلبي عددًا من الأساليب الفنية التي تمثل حلولًا جمالية، فقد أصبح تكامل المباني معها واضحًا لأن هذه المنظومات واستخدامها يعزز الناحية التعبيرية للمباني الحديثة والقائمة على حد سواء؛ بإمكانية دمجها في واجهات الأبنية.[9]

ان النظم الشمسية المتكاملة مع المباني تقلل من استخدام الوقود والانبعاثات المضرة بطبقة الأوزون. ويمكن ان نستبدل المواد التقليدية للبناء بالمنظومات الشمسية، مثل الزجاج وغيره، وفي النهاية نجد ان نموذج الـ(تكامل المنظومات الشمسية مع المبنى) ينهض بالمبنى من حيث القيمة الاقتصادية والجمالية.

يشار الى ان وحدات الخلايا الكهروضوئية من الممكن ان تكون زاهية الالوان كما انها تأسر الانظار لدي رؤيتها من خلال التقنيات والامكانات التشكيلية العديدة التي يمكن الحصول عليها. فاستخدامها يؤدي الي تشييد أبنية بأشكال وتكوينات جميلة، فمرونة هذه الوحدات من الممكن ان تكون زاخراً لخيال مهندسي العمارة ومن ثم ينتج عن ذلك أبنية أكثر جمالا وفي الوقت ذاته صديقة للبيئة. [28]

وضمن السياق نفسه، يتوافق هذا التكامل مع احتياجات الطاقة وظروف الموقع وموقع الوحدات الشمسية على الواجهة والتفاصيل المعمارية ، فإن إمكانات أنظمة الطاقة الشمسية تتجاوز وظيفة تحويل الأبنية من الأبنية التقليدية إلى الأبنية الموفرة للطاقة من خلال قدرة المصمم على جعلها متكاملة كعناصر معمارية لها تأثير على تصميم المبنى، فالقيمة الجمالية أو القبول الذي يحتاج إلى تحقيق الشكل مهم جدًا، وبما ان الألواح الشمسية المتكاملة مع واجهات المبنى أكثر مرئية من أنواع التكامل الأخرى، فيمكن استخدام

مساحات كبيرة من هذه الواجهات للاستثمار في توليد الطاقة عندما تكون في الاتجاه الصحيح، وتتعرض الواجهات أحيانًا للتظليل لفترات أطول من تعرض الأسطح الأخرى.. [17]

يرى البحث ان تقييم استخدام المنظومات الشمسية يعتمد على مقدار المساحة السطحية المتاحة على الاتجاهات المختلفة للواجهات، بمعنى، يتم استخدام هذه التقنيات لإجراء تغييرات على الصورة المعمارية للمبنى ولكن دون التأثير على الوجود المرئي للكتل الرئيسية للتصميم. كما انه يمكن استخدام هذا المستوى من التكامل في المباني الجاهزة التي فقدت طابع التجديد، ومن خلال إضافة وحدات شمسية، سيكون من الممكن إظهارها في طبيعة معاصرة مرة أخرى، وعادةً ما يتم استخدامها في مناطق كبيرة لزيادة القيمة المادية والجمالية للمبنى. وعليه سيتقصى البحث الجوانب الاساسية لتكامل المنظومات الشمسية مع الأبنية

9.1 مواقع وأساليب تكامل المنظومات الشمسية مع المبنى:

يتناول هذا الجزء العلاقة الرابطة بين الالواح الشمسية كنظام تقني مع واجهة المبنى باعتبارها مواد إنهاء خارجية تتكامل معه، حيث أن التصميم التكاملي للمبنى يبدأ عند التفكير في تصميم المبنى ككل- المبنى كنظام متكامل- إذ من الضروري عدم التعامل مع تصميم العناصر المختلفة ومنها مواد الانهاء الخارجية بصورة منفصلة عن بعض، وتحوي الأبنية على أنظمة متعددة ومتنوعة ترتبط مع بعضها في علاقات تختلف في مستويات تداخلها وقابليتها في الانسجام والتوافق إستناداً إلى نوع النظام وموقعه ضمن المبنى. وتتأثر العلاقة التكاملية بين المنظومات الشمسية والشكل المعماري بكل مما يأتي: [21].

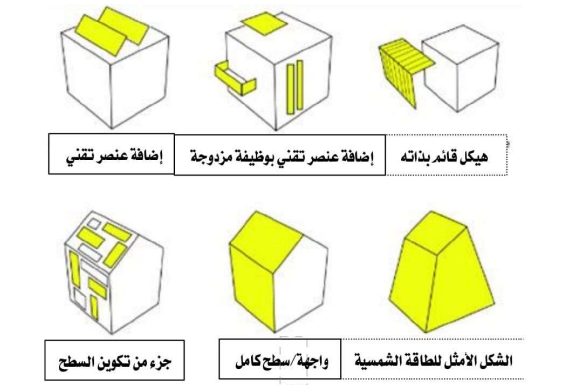
- مواقع المنظومات الشمسية على المبنى.
- المستويات الشكلية للتكامل بين المنظومات الشمسية والنتاج المعماري.
- التعدد الوظيفي للمنظومات الشمسية كمواد انهاء خارجية في الشكل المعماري.
- شكل وحجم المنظومات الشمسية.
- انواع المفاصل الرابطة.
- اللون الممتص.

ان التكوين المعماري لتطبيقات المنظومات الشمسية يتصف بالنجاح من خلال دمجها في الشكل المعماري وفي جميع أجزاء المبنى من خلال تركيبها على الغلاف الخارجي بطرق مختلفة وكجزء أساسي من الواجهة وكمواد انهاء خارجية ومظلات للمطر وكاسرات شمسية. ويعتمد موقع ومساحة أنظمة الطاقة الشمسية المستخدمة في الأبنية على شكل واتجاه واجهة المبنى ويفضل ألا يكون مظللاً. يشار الى ان الجدران الخارجية للأبنية تعد من أكثر العناصر المرنة المعرضة للإشعاع الشمسي، كما أنها عامل جذب في الواجهات في استخدام المنظومات الملونة. وتجمع الجدران ذات المنظومات الشمسية بين السمات الفنية والجمالية والبيئية للواجهات. فهي تتميز بالجمال الذي يعبر فيه المصمم عن التطور التقني للهندسة المعمارية، وقد تم استخدام الأغلفة الكهروضوئية لتظليل الفتحات الكبيرة لواجهات الأبنية المعاصرة وهي متوفرة بأشكال معمارية مختلفة، مما يضيف ميزات جمالية إلى الواجهات [25].

وفي السياق نفسه يعتمد اختيار المصمم بشكل أساسي للوحدات الشمسية على مواصفات النظام الشمسي، وأدواته فيه هي إمكانات التكنولوجيا من خلال تنوع الشكل والهيكل والحجم واللون والتأثير البصري على واجهة المبنى، وهي مهمة للمهندسين المعماريين بما في ذلك تأثيره في قبول الشكل النهائي للتصميم. وتؤثر فكرة التكامل مع أنظمة الطاقة الشمسية على أفكار التصميم الشاملة للمصمم وكذلك تطبيق المفاهيم البيئية والوظيفية. وبشكل عام يوجد خمسة مواقع رئيسة في غلاف المبنى يمكن دمج أنظمة الطاقة الشمسية معها وهي .[15] :

- الاسطح المائلة
- الأسطح المنحنية
- الاسطح الافقية
- واجهات المباني
- التفاصيل المعمارية

يتضح مما سبق أن مواقع وانماط تكامل المنظومات الشمسية على غلاف المبنى يوضحها شكل 16



شكل 16: أنماط تكامل المنظومات الشمسية مع الغلاف الخارجي للمبنى

وعلى اساسها يتوصل البحث الى جدول مؤشرات الإطار النظري وسيتم تطبيقها على عينات منتخبة وهو كالاتي:

جدول 1: يبين مؤشرات الإطار النظري

المتغيرات الاساسية	المتغيرات الثانوية	المشروع	قيم التحقق
وسائل التشكيل	تحقيق التشكيل		
	تحقيق القيمة الضوئية		
	تحقيق الملمس		
	تحقيق اللون		
علاقات التشكيل	التكرار والايقاع		
	التماثل		
مواقع وانماط تكامل المنظومات الشمسية في الواجهات	واجهات (مائلة، منحنية)		
	التفاصيل المعمارية		
اساليب التكامل في الواجهات	دمج المنظومات الشمسية في الواجهات ككل		
	استخدام المنظومات الشمسية كعناصر تغليف		
	المنظومات الشمسية كمادة تزجيج		
	المنظومات الشمسية كعناصر		

	تظليل فعالة في الابنية		

10. الجانب العملي

تم في الفقرات السابقة من البحث استخلاص مؤشرات الإطار النظري (مؤشرات التشكيل والتكامل) والتي تتضمن (وسائل التشكيل وعلاقات التشكيل وانماط ومستويات التكامل) ومفرداتها التفصيلية. سيتجه البحث الى تقصيها تفصيليا عبر انتخاب عدد من الابنية التي استخدمت المنظومات الشمسية الملونة في واجهاتها.

11. اسس اختيار العينات البحثية

تم اختيار عينات البحث الخاصة بالجانب العملي للدراسة لمشاريع منفذة في أماكن مختلفة في العالم، نظرًا لعدم تطبيق هذه التقنية في العراق حتى الآن. تم اختيار تلك العينات بشكل متعمد كونها حققت المؤشرات الخاصة بالإطار النظري فضلا عن قدرات التشكيل المتاحة للأنظمة الشمسية الملونة وتكاملها مع المباني. كما يهدف هذا الاختيار إلى توضيح أن هذه الأنظمة لديها قدرات تشكيلية غير محدودة وغير موجودة في المنظومات التقليدية وبالتالي امكانياتها في تعزيز الجانب الجمالي للمباني، فهي ليست مجرد نظم لتوفير الطاقة في الأبنية حسب، بل هي أغلفة تساهم في تعزيز الناحية الجمالية والتعبيرية للأبنية المتكاملة معها

وعليه فان اهم الأسس والأسباب التي تم اعتمادها في اختيار العينات البحثية كانت:

- تهدف العينات المنتخبة الى طرح حالات مختلفة من التكامل والتشكيل المستدام مع الابنية وتعطي امكانات متنوعة لهذه التقنية تكاملها بيئيا وجماليا ووظيفيا مع الابنية.

- تمثل العينات مشاريع حديثة وتعكس توجهات فكرية معمارية متنوعة مع تحقيق الاهداف المرجوة وهي توظيف التقنيات الشمسية الملونة من خلال تعزيز الجانب الجمالي فضلا عن توليد الطاقة الكهربائية والحرارية.

- تمثل العينات ابنية متنوعة في وظائفها تتراوح ما بين الوظائف التعليمية والتجارية والإدارية.. الخ وكل واحدة منها حققت نمطا تشكيليا معينا مع الواجهات.

- الزمان: جميع العينات المنتخبة هي حديثة في انشائها كون هذه التقنيات واعدة وعليه فقد تراوحت فترات الانشاء ما بين 2009- 2023 وقت اجراء هذه الدراسة.

- المكان: جميع الابنية منفذة خارج العراق كون هذه التقنية لم تدخل العراق بعد وعليه فان العينات المنتخبة هي منفذة ببلدان اجنبية ومشروع واحد منفذ في دولة الامارات العربية المتحدة. اما العينات المنتخبة فهي:
- شركة نيو سولار للطاقة
- هيئة كهرباء ومياه دبي - مركز البحوث والتطوير بدبي
- قاعة مدينة فرايبورغ في المانيا

12. المشروع الأول: شركة نيو سولار للطاقة

Neo Solar Power Corporation (NSP)

- الموقع: DONG DISTRICT, TAIWAN INSTITUTIONAL BUILDINGS
- المصمم: J. J. Pan & Partners
- الانجاز: 2009
- وصف عام للمشروع:

تم تخطيط الطابق الأرضي في هذا المبنى الموجه نحو الشمال بقاعة استقبال ذات أسقف عالية وقاعة للمحاضرات، بالإضافة إلى مطعم للموظفين محاط بجدران زجاجية بانورامية تطل على حزام الخضرة المركزي. الطوابق من 2 إلى 7 مخصصة لأماكن البحث، والطابق الثامن مخصص لمكاتب الإدارة التنفيذية. تم بناء المصنع المؤلف من 5 طوابق في الجهة الجنوبية وتم تخطيط الطابق السفلي والمرآب لتلبية احتياجات وقوف السيارات وللمرحلة الثانية من التوسعة في المستقبل شكل 17

شكل 17: واجهة المبنى

- **التشكيل المعماري لواجهة المبنى**

تم تصميم الجدران الخارجية على شكل موجة مستمرة من لوحات الزجاج في مفهوم "البدء - الطي - الختام" حيث تُعبّر الزوايا المتناقضة للجدران الخارجية عن أفكار التموج والنقل وتجعل الواجهة تبدو كأنها أكورديون ممدود. تم تقسيم واجهات الزجاج والألمنيوم إلى وحدات نصفية من 8 وحدات بشكل متعرج، وتم الانتهاء منها باستخدام أكثر من 350 نمطًا لقطع الزجاج. يتفاوت محيط كل طابق مع الجدران السطحية المتقدمة والمتراجعة، اما العارضة الفولاذية المنحنية مع لوحة الأرضية تعمل كنهاية ثابتة لجدران الستائر. ولتقديم مظهر واضح وخفيف وشفاف للمبنى لتحفيز الخضرة في الداخل (حدائق داخلية) تم استكمال الجدران الخارجية الزجاجية الكبيرة للمبنى المكتبي بستائر عمودية متحركة تكمل النوافذ، للحماية من الضوء القادم من الشمال. ومما يسمح للسكان بالتحكم في اتجاه وكمية الإضاءة الطبيعية. شكل 18.

- **أنماط وأساليب المنظومات الشمسية في واجهة المبنىNSP**

هي شركة رائدة في تصنيع الخلايا الشمسية في تايوان ، وهي متخصصة في البحث والتطوير وتصنيع الخلايا الشمسية عالية الكفاءة. تعد واجهتها القابلة للطي المغطاة بألواح زجاجية، تمثيلًا مثاليًا لمهمتها المتمثلة في توفير الطاقة الشمسية كمصدر طاقة تنافسي للبشرية تستوحي الواجهة من تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية باستخدام الالواح الشمسية فرادة في التصميم فتم دمج المنظومات الشمسية الملونة في الواجهات ككل كعناصر تغليف وكمادة تزجيج.[7]

شكل 18: منظور المبنى

جدول 2 : تحليل مشروع نيو سولار

المتغيرات الاساسية	المتغيرات الثانوية	مشروع شركة نيو سولار للطاقة 2009	قيم التحقق
وسائل التشكيل	تحقيق التشكيل	وحدات الزجاج الكهروضوئية (كروماتيكس) الملونة منسجمة مع شكل الواجهة المتكسر عن طريق طي الجدران بعدة زوايا	●
	تحقيق القيمة الضوئية	اختلاف الزوايا نتج عنه الظل والظلال	●
	تحقيق الملمس	تحقق من خلال الزوايا المتناقضة للجدران وتفاوت محيط كل طابق مع الجدران السطحية المتقدمة والمتراجعة	●
	تحقيق اللون	تحقق اللون بظلال مختلفة نتيجة الزوايا المتناقضة للجدران	●
علاقات التشكيل	التكرار والايقاع	تكرار بإيقاع معين من خلال تفاوت محيط كل طابق مع الجدران السطحية المدمجة بالخلايا الكهروضوئية الملونة المتقدمة والمتراجعة	●
	التماثل	تطابق متناوب في الابعاد واللون والشكل	●
مواقع وانماط تكامل المنظومات الشمسية في الواجهات	واجهات (مائلة، منحنية)	تطبيق وحدات الزجاج الكهروضوئية (كروماتيكس) منسجم مع جدران الواجهة المائلة بالاتجاه الافقي والعمودي	●
	التفاصيل المعمارية	-	
اساليب التكامل في الواجهات	دمج المنظومات الشمسية في الواجهات ككل	تغطية الواجهة بالكامل بوحدات الزجاج الكهروضوئية الملونة (كروماتيكس)	●
	استخدام المنظومات الشمسية كعناصر تغليف	-	-
	المنظومات الشمسية كمادة تزجيج	-	-
	المنظومات الشمسية كعناصر تظليل فعالة في الابنية	-	-

13. المشروع الثاني: هيئة كهرباء ومياه دبي ـ مركز البحوث والتطوير بدبي

DEWA Research and Development (R&D) Centre and Laboratory

- الموقع: مجمّع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة، دبي، الإمارات العربية المتحدة
- المصمم: Stantec International
- الانجاز: 2014
- وصف عام للمشروع:

يعد مركز البحوث والتطوير التابع لهيئة كهرباء ومياه دبي في مجمّع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية، مركز الأبحاث الوحيد في دولة الإمارات الذي يركز على الطاقة المتجددة وتقنيات الشبكات الذكية وكفاءة الطاقة. وحصل المركز على التصنيف البلاتيني الخاص بالمباني الخضراء- الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (LEED) عام 2019. يهدف هذا المركز إلى دعم رؤية هيئة كهرباء ومياه دبي لتعزيز الاستدامة في إمدادات الطاقة وتنويع مصادر الطاقة وخلق بيئة أعمال تشجع على الابتكار شكل 18

شكل 19: واجهة المبنى

- **التشكيل المعماري لواجهة المبنى :**

تستخدم الواجهات الأربعة للمبنى زجاج السيليكون غير المتبلور Onyx Solar بدرجة شفافية XXL و6 ألوان مختلفة (درجات اللون البرتقالي والأصفر والأخضر)، مما يخلق واجهة متعددة الألوان توفر تأثيرًا فريدًا للمبنى. البروزات الكهروضوئية مصنوعة من ثلاث طبقات من الزجاج شبه شفافة، مما يسمح بمرور 30٪ من الضوء المرئي من خلال البروز.

يوفر الزجاج الكهروضوئي طاقة اسمية تبلغ 28 واط لكل متر مربع وتم تثبيته في الواجهة في نظام بدون إطار. يتكون كل بروز من عدة زجاجات ضوئية ذات أبعاد عرض ثابتة 800 ملم وطول متغير، بحيث يتكيف كل بروز مع تصميم الواجهة.

تم دمج ستائر المدخل على الواجهات الشمالية والغربية أيضًا زجاج Onyx Solar شبه الشفاف للحفاظ على الاستمرارية البصرية في غلاف المبنى الكامل. نظرًا للأحجام الزجاجية المتعددة غير المنتظمة المكونة للستائر، فإن الزجاج غير نشط ولكنه يحافظ على نفس المظهر الجمالي للوحدات النشطة. [23]

- **أنماط وأساليب المنظومات الشمسية في واجهة المبنى**

الألواح الكهروضوئية مدمجة في جدران المبنى. وتوجد ألواح شمسية كهروضوئية على سطح المبنى وعلى سطح مواقف السيارات، ويسهم المبنى في تقليل استهلاك الطاقة بأكثر من 25%،

جدول 3: تحليل مشروع هيئة كهرباء ومياه دبي

المتغيرات الاساسية	المتغيرات الثانوية	مشروع هيئة كهرباء ومياه دبي 2014	قيم التحقق
وسائل التشكيل	تحقيق التشكيل	تتكيف البروزات الزجاجية الكهروضوئية (كروماتيكس)الملونة مع تصميم الواجهة بعرض ثابت واطوال متغيرة	●
	تحقيق القيمة الضوئية	-	
	تحقيق الملمس	تثبيت البروزات الكهروضوئية في نظام بدون إطار ومفاصل متعددة حقق الملمس للواجهة	●
	تحقيق اللون	استخدام الزجاج الكهروضوئي بدرجات ألوان البرتقالي والاصفر والاخضر اعطى تأثير فريد للمبنى	●
علاقات التشكيل	التكرار والايقاع	تكرار منتظم بعرض ثابت وأطوال مختلفة مع التنوع اللوني الذي حقق الايقاع	●
	التماثل	غير متطابق	-
مواقع وانماط تكامل المنظومات الشمسية في الواجهات	واجهات (مائلة، منحنية)	ستائر المدخل	-
	التفاصيل المعمارية	-	-
اساليب التكامل في الواجهات	دمج المنظومات الشمسية في الواجهات ككل	وحدات الزجاج الكهروضوئية (كروماتيكس) مدمجة مع ستائر المبنى	●
	استخدام المنظومات الشمسية كعناصر تغليف	وحدات الزجاج الكهروضوئية (كروماتيكس) بشكل جدار ستائري	●
	المنظومات الشمسية كمادة تزجيج	استخدام وحدات الزجاج الكهروضوئية (كروماتيكس)كمادة تزجيج	●
	المنظومات الشمسية كعناصر تظليل فعالة في الابنية	-	-

14. المشروع الثالث: دار بلدية مدينة فرايبورغ

TOWN & CITY HALL

- الموقع: FREIBURG, GERMANY
- المصمم : ingenhoven architects
- الانجاز: 2017
- وصف عام للمشروع:

قاعة المدينة الجديدة في مدينة فرايبورغ هي مبنى عام ذو كفاءة عالية في استخدام الطاقة يولد فائضًا من الطاقة - إذ يولد مزيدًا من الطاقة مما يستهلك. المبنى الجديد الذي يمثل المرحلة الأولى من بناء دار البلدية الجديدة في فرايبورغ، بمركزه الإداري والحضانة النهارية، وقد حصل على جوائز وطنية واعتراف دولي. وقد فاز بجائزة بالتازار نويمان لعام 2018، شكل 20

شكل 20: واجهة المبنى مع الألواح الكهروضوئية المتكاملة وظلال الشمس

- **التشكيل المعماري لواجهة المبنى**

المظهر البصري للمبنى مذهل - تتميز الواجهات بعناصر خشب الاراك "larch"المحلي المصدر. تم بناء واجهة دار البلدية باستخدام وحدات متدرجة ومتداخلة عمودياً مع خلايا الطاقة الشمسية وعزل حراري عالي الجودة. وتم استخدام عناصر الواجهة المزججة بارتفاع طابق لتحسين استقبال الضوء النهاري .

- **أنماط وأساليب المنظومات الشمسية في واجهة المبنى**

تعتبر مصباحًا للاستدامة، بواجهة تغطيها خلايا طاقة شمسية متداخلة عموديًا حيث تم دمج المنظومات الشمسية في الواجهات باستخدام المنظومات الشمسية كعناصر تظليل على طول الواجهة شكل 21

شكل 21: منظر لنظام الكهروضوئية المركب على الواجهة

تميز التصميم المنحني المميز بغلاف مبنى شديد العزل مع ألواح كهروضوئية متكاملة، ومجموعة PV واسعة من الألواح الكهروضوئية والألواح الهجينة على السطح .تم دمج 880 وحدة كهروضوئية بذروة إجمالية تبلغ حوالي 220 كيلوواط (ألواح زجاجية مخصصة من (Sunpower في واجهة المبنى. الوحدات القائمة عمودياً (طولها 3.5 متر × عرضها 0.6 متر) تزن ما يقرب من 100 كيلوجرام وتمتلك إخراجًا يبلغ 253 واط لكل وحدة. المسافة التي تبلغ 7 ملم بين خلايا الطاقة الشمسية تخلق درجة عالية من الشفافية إلى العنصر الخشبي الواقع خلفها. من أجل تعظيم كمية الطاقة المتوقعة بمقدار 91.6 ميجاواط ساعة في السنة، تم تجهيز كل وحدة بمحسّن طاقة (باور أوبتيمايزر).

جدول 4 : تحليل مشروع دار بلدية مدينة فرايبورغ

المتغيرات الاساسية	المتغيرات الثانوية	مشروع دار بلدية مدينة فرايبورغ2017	قيم التحقق
وسائل التشكيل	تحقيق التشكيل	وحدات الزجاج الكهروضوئية (كروماتيكس) الملونة منسجمة مع شكل الواجهة المنحني	●
	تحقيق القيمة الضوئية	تناغمها مع الشكل المنحني نتج عنه الظل والظلال	●
	تحقيق الملمس	تدرج الوحدات المتداخلة عموديا إضافة الى وجود مادة الخشب أدى الى تحقيق الملمس	●
	تحقيق اللون	تحقق اللون بظلال مختلفة نتيجة الشكل المنحني للواجهة	●
علاقات التشكيل	التكرار والايقاع	تدرج الوحدات المتداخلة عموديا إضافة الى وجود مادة الخشب أدى الى تحقيق الملمس	●
	التماثل	تحقق اللون بظلال مختلفة نتيجة الشكل المنحني للواجهة	●
مواقع وانماط تكامل المنظومات الشمسية في الواجهات	واجهات (مائلة، منحنية)	تطبيق وحدات الزجاج الكهروضوئية (كروماتيكس)منسجم مع جدران الواجهة المنحني بالاتجاه العمودي	●
	التفاصيل المعمارية	-	-
اساليب التكامل في الواجهات	دمج المنظومات الشمسية في الواجهات ككل	-	-
	استخدام المنظومات الشمسية كعناصر تغليف	-	-
	المنظومات الشمسية كمادة تزجيج	عناصر الواجهة المزججة بارتفاع طابق	●
	المنظومات الشمسية كعناصر تظليل فعالة في الابنية	تغطية عناصر التظليل الفعالة في المبنى	●

15. نتائج تحليل الحالات المنتخبة للدراسة

تحليل الحالات الدراسية الثلاث وباستخدام المنهج الوصفي التحليلي حسب الجدول الآتي:

جدول 5: تطبيق مؤشرات الإطار النظري على العينات المنتخبة

المتغيرات الأساسية	المتغيرات الثانوية	مشروع شركة نيو سولار للطاقة 2009	مشروع هيئة كهرباء ومياه دبي 2014	مشروع دار بلدية مدينة فرايبورغ 2017
		قيم التحقق	قيم التحقق	قيم التحقق
وسائل التشكيل	تحقيق التشكيل	●	●	●
	تحقيق القيمة الضوئية	●	-	●
	تحقيق الملمس	●	●	●
	تحقيق اللون	●	●	●
علاقات التشكيل	التكرار والايقاع	●	●	●
	التماثل	●	-	●
مواقع وانماط تكامل المنظومات الشمسية في الواجهات	واجهات (مائلة، منحنية)	●	-	●
	التفاصيل المعمارية	-	-	-
اساليب التكامل في الواجهات	دمج المنظومات الشمسية في الواجهات ككل	●	●	-
	استخدام المنظومات الشمسية كعناصر تغليف	-	●	-
	المنظومات الشمسية كمادة تزجيج	-	●	●
	المنظومات الشمسية كعناصر تظليل فعالة في الابنية	-	-	●

16. مناقشة وتحليل نتائج المشاريع المنتخبة:

يمكن ملاحظة ان المنظومات الشمسية الملونة تعد وسيلة لتحسين الجانب التشكيلي والجمالي لواجهات الابنية وأن التصميم الجمالي لواجهة المبنى بشكل عام يمكن أن يؤثر بشكل إيجابي على البيئة المحيطة. وقد لاحظ البحث اهمية دور جوانب التشكيل (مثل الألوان، والأشكال، والتفاصيل، التناسب، التكرار.. الخ) في تعزيز الجمال والتشكيل المعماري للواجهة فضلا عن دور المنظومات الشمسية الملونة في تحسين جمالية المبنى. وكالاتي:

- لاحظ البحث ومن خلال جدول الجانب العملي وضمن المستوى التشكيلي والجمالي ان المنظومات الشمسية الملونة ساهمت في تحقيق الشكل النحتي كما في مبنى مركز البحوث والتطوير في دبي فان تشكيل المنظومات الملونة بشكل هرم مفرغ ساهم في الشكل النحتي للمبنى وفي مبنى نيو سولار فان تشكيل المنظومات الملونة المنكسر حقق نحتية عالية للمبنى منحته تفرد شكلي
- في مبنى مركز دبي تحقق التكرار والتدرج للمنظومات الملونة وبالوان متعددة كما تحقق التكرار في مبنى دار بلدية فراينبورغ من خلال تكرار عناصر التظليل (المنظومات الملونة) وضمن النسق نفسه.

- تحقيق الظل والضوء من خلال اختلاف زوايا تثبيت المنظومات الملونة على الواجهة كما في مبنى نيو سولار كما تحقق من خلال تكرار عناصر التظليل بايقاع ثابت كما في مبنى بلدية فرايبورغ.

- كما تحقق الإيقاع في تكرار المنظومات بشكل متناوب وبارز وغائر في هذه الأبنية جميعا من خلال تكرار المنظومات ضمن واجهاتها

- تحقيق الشفافية من خلال إمكانية نفاذية الضوء الى الفضاء الداخلي كما في مبنى مركز دبي ومبنى نيو سولار والعناصر الزجاجية العمودية بين المظومات الشمسية.

- تحقيق الملمس البصري من خلال نظام وحدات بدون اطار ومفاصل (فراغات) للمنظومات الملونة كما في مركز دبي او اختلاف زوايا تثبيت المنظومات الملونة على الواجهة كما في مبنى نيو سولار او تثبيت المنظومات الكهروضوئية بشكل متراكب ومتداخل حقق الملمس الخشن للواجهة كما في مبنى بلدية فرايبورغ حيث ان تركيب المنظومات بشكل عمودي بزاوية معينة اعطى الملمس الخشن للمبنى.

17. الاستنتاجات

- قدرة هذه المنظومات علي تحقيق وسائل التشكيل المعماري (الشكل والفضاء- اللون الضوء- الملمس)، وكذلك تحقيق علاقات التشكيل المعماري (التكرار - التماثل - الإيقاع- وحدة القياس) بإضافة إلي وظيفتها الأساسية في إنتاج الطاقة، على العكس من المنظومات التقليدية والتي كان هدفها الوحيد هو توفير الطاقة للمبنى.

- المزاوجة بين الجمالية والاستدامة عبر التشكيل المعماري للخلايا الكهروضوئية الملونة وزجاج كروماتيكس في الواجهات

- معرفة إمكانات التشكيل لوحدات زجاج كروماتيكس الكهروضوئية يساعد المصمم في تحقيق الموازنة بين الطلب على الطاقة واحراز الجمالية في واجهة المبنى

- يضيف التعدد اللوني لوحدات زجاج كروماتيكس الكهروضوئية ديناميكية وحيوية على واجهة المبنى

- **التكامل الجمالي** :تسمح المنظومات الشمسية الملونة بزجاج كروماتيكس بدمج الخلايا الشمسية مع واجهات الأبنية بشكل جميل ومتناغم. يمكن تخصيص ألوان الزجاج والتصميمات بحيث تتناسب مع العمارة المحيطة وتضيف لمسة جمالية للمبنى.

- **تنوع الألوان :**يمكن تصميم زجاج كروماتيكس بمجموعة متنوعة من الألوان والأشكال والتأثيرات البصرية. هذا يمنح المهندسين المعماريين والمصممين المزيد من الخيارات لتحقيق التأثيرات المرغوبة في تصميم الواجهات.

- **التكامل في التصميم العام** :يمكن دمج المنظومات الشمسية بشكل سلس في تصميم الواجهة بحيث تبدو كجزء من البنية نفسها، وبالتالي لا تعوق من الجمالية العامة للمبنى.

- **التوازن بين الوظيفة والجمال:** يمكن للمنظومات الشمسية الملونة أن تلعب دورًا مزدوجًا بتوليد الكهرباء النظيفة وتحسين الجمالية المعمارية، مما يعكس توجهًا نحو التوازن بين الوظيفة والجمال في تصميم المباني

- **إضاءة مبنى مبتكرة :**يمكن استخدام الزجاج الكروماتيكس لإضفاء تأثيرات ضوئية مبتكرة على الواجهات خلال النهار والليل. يمكن توجيه الضوء من خلال الزجاج لإنشاء تأثيرات بصرية جميلة.

المصادر

[1] أ.م.د/ إيمان فايز ماهر باسيل ي،م/ إيمان أنورأمين رضا،أ.م.د/هابي حسني مصطفي. (2022). اثر مواد وتقنيات البناء الحديثة علي التشكيل المعمار ي. *Haby Hosny Mostafa /Engineering Research Journa* (صفحة 25). حلوان: كلية الفنون الجميلة جامعة حلوان. ص 7

[2] إسماعيل شوقى. (2012). عناصر التصميم. تم الاسترداد من بيانات: /https://www.baianat.com

[3] حمد سعد عبدالرحمن دبور. (2021). حرية التشكيل المعماري وقيود قانون المباني. *Journal of Al-Azhar University 2021 .Engineering Sector 16*، صفحة 13. مصر: قسم هندسة العمارة ، كلية الهندسة، جامعة الأزهر، القاهرة، مصر.

[4] عبدالرحمن عثمان سيد احمد تميم. (مارس, 2017). الأبراج المستدامة والتشكيل المعماري المستدام المتكامل (أساليب التشكيل وتكامله)دراسة حالة (برج الهيئة القومية للإتصالات) . السودان: جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا كلية الدراسات العليا. ص 14-15

[5] محمد يحيي رمضان الخطيب. (5 September, 2015). دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة والتشكيل المعماري للمباني السكنية في قطاع غزة. ص 67,65

[6] Al-Assadi, Z. I. (2015). Design and Fabrication of Optical Multilayer Anti-Reflection Coating for Colored Glazed Thermal Solar Collectors. The University of Mustansiriyah. P27-28

[7] Archdaily. (2011, January 25). Neo Solar Power Corporation / J. J. Pan & Partners. Retrieved from archdaily: https://www.archdaily.com/105668/neo-solar-power-corporation-j-j-pan-partners

[8] BELLINI, E. (2020, JANUARY 30). The panel in red. Retrieved from pv-magazine: https://www.pv-magazine.com/

[9] Bläsi B, K. T. (2017). THE Morpho butterfly inspired coloured BIPV modules. 33rd European PV Solar Energy Conference and Exhibition P25-29 .

[10] Blo.g. (2021, November 2). WHAT IMPACT DO COLORED SOLAR PANELS HAVE ON PERFORMANCE? Renogy. Retrieved from https://www.renogy.com

[11] Clemens, K. (2022, Augest 31). Beyond Basic Black: Adding Color to Solar Panels. Retrieved from EEPOWER: https://eepower.com/news/beyond-basic-black-adding-color-to-solar-panels#/

[12] Energy, A. (2018, Apr 16). Colors Of Solar Panels – What Are the Differences. Retrieved from Alba Energy Solar Power: https://albaenergy.com

[13] GGBa. (2021, February 1). Colored solar façades pioneer Kromatix establishes production plant in Switzerland. GGBa Invest Western Switzerland.

[14] ISSOL. (2018). COLOURFUL PHOTOVOLTAICS. Retrieved from ISSOL architecture Bipv: http://www.issol.eu

[15] Judson Crawford. (2021). "Building an Off-Grid Solar System: Mobile Off-the-Grid Solar Power for RVs, Van Life, and Boats (Kindle Edition ed.). P. 89

[16] Kreft, N. (2015). Evaluation Flatroofproject with Kromatix-Grey, Innovative Colored Solar Solution for Façades. Internal report.

[17] Maysaa Moffeq Alobaidi, N. M. (2019). The Impact of employed Solar Systems in Architectural Projects Facades. Second International Conference on Engineering and Innovative Technology (SU-ICEIT-2019). Erbil: Mosul University Department of Architectural Engineering. P.2

[18] MC Munari Probst, C. R. (2012). SOLAR ENERGY SYSTEMS IN ARCHITECTURE integration criteria and guidelines. Nternational Energy Agency - Solar Heating and Cooling Programme. T.41.A.2: IEA SHC Task 41 Solar energy and Architecture.

[19] Mohammad Khairul Basher & et al. (2023). "Aesthetically Appealing Building Integrated Photovoltaic Systems for Net-Zero Energy Buildings. Current Status, Challenges, and Future Developments—A Review.(863) ."

[20] Munari Probst MC. S. R. (2010). Bringing colours to solar collectors: a contribution to an increased building integrability. Switzerland: CH-1015 Lausanne, Switzerland.

[21] Neill, G. S. (2021). Grid-connected Solar Electric Systems: The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation. Routledge; 1st edition.

[22] Nicolas Jolissaint, R. H.-C. (2017). "Integration of Renewable Energy in the Built Environment (Electricity, Heating and Cooling)". CISBAT International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency. CISBAT 2017 International Conference. P.178

[23] Onyx. (2015). DEWA - R&D CENTRE IN DUBAI PHOTOVOLTAIC FAÇADE SYSTEM. Retrieved from Onyx Solar Group LLC: https://onyxsolar.com/

[24] Parisa Sehati, I. M. (2019, 8). Aesthetically pleasing PV modules for the Built Environment. Sweden: RISE Research Institutes of Sweden AB.

[25] Parkin, R. E. (2016, January 6). Building-Integrated Solar Energy Systems. (C. P. edition, Ed.) P.330

[26] Pereira, A. D. (2018). Performance of colorful BIPV systems integrated in a building envelope: Case study of an office building in Spain. Energy and Buildings, 174(92), pp. 174, 92-101.

[27] Probst, M. C., & Roecker, C. (2013). Designing solar thermal systems for architectural integration. International acency.

[28] Spaen, B. (2019, May 22). Colored Solar Panels Bring New Light to Renewable Energy. Green Matters.

[29] Suman, M. &. (2018). Colored solar panels for architectural applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews .

[30] Transformation eines Kohlesilos zum Solarkraftwerk mit farbigen PV, 19. StatusSeminar Gregor Steinke– «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt» (ETH-Zürich Modulen und Second-Life Speicher September 9 / 8, 2016).

[31] VR, A. (2022, 2 28). Solar Panel Colors – Everything You Should Know Before Installing Solar Panels. Retrieved from Republic of Solar: https://thesolarlabs.com

[32] Williams, D. E. (2007, May 1). Sustainable Design: Ecology, Architecture, and Planning. Wiley, 1st edition.

[33] Zhenpeng Li, T. M. (2020, December 19). Transparent and Colored Solar Photovoltaics for Building Integration. Retrieved from SolarRRL: https://onlinelibrary.wiley.com

The potentials of colored solar systems using high-efficiency Kromatic glass technology in promotion the formating and aesthetic aspects of building facades.

Aseel Mahdi Ali [1, *] **and** ***Fawzia Irhayyeim Hussein*** [2]

[1] *Department of Architecture, University of Baghdad, Iraq,* aseel.taqi2004d@coeng.uobaghdad.edu.iq

[2] *Department of Architecture, University of Baghdad, Iraq,* fawziaasadi@coeng.uobaghdad.edu.iq

**Corresponding author :Aseel Mahdi Ali,* aseel.taqi2004d@coeng.uobaghdad.edu.iq

Published online: 31 March 2024

Abstract— The concept of sustainable development emerged due to the close link between the environment and the concept of development, necessitating a focus on environmental protection. One of the key elements of environmental protection is the use of renewable energy. Solar energy is considered the largest and most important source of renewable energy. Solar systems are a means to directly generate electricity and heat from solar energy when integrated into buildings, allowing them to meet all the energy needs of the structure. However, a problem arises in their detachment from the aesthetics and architectural composition, where they are viewed merely as a tool for energy generation without any artistic value.To address this issue, colored solar systems, particularly those employing chromatic glass technology, have been introduced, possessing limitless architectural potential. Consequently, the research problem is the absence of scientific knowledge about solar energy systems colored with Kromatic glass and their capabilities to enhance the plastic and aesthetic aspects of building facades. On the basis of this, the research goal was crystallized to provide knowledge of solar energy systems colored with Kromatic glass and their capabilities in enhancing the plastic and aesthetic aspects of building facades. This is achieved by applying these systems according to architectural principles and demonstrating their integration potential within buildings to achieve various architectural forms and relationships. They have become integral design elements that harmonize with other architectural components, serving as a sustainable energy generation method. Using a comparative analytical methodology, indicators derived from the theoretical framework were applied to selected research samples to comprehend the architectural design concept and its relationship with sustainable development strategies. Subsequently, the research concept related to sustainable architectural design was defined. Following this, focus was placed on architectural design using colored solar systems. The key conclusions drawn from the research include :Understanding the potential of shaping photovoltaic chromatic glass units helps the designer achieve a balance between energy demand and aesthetics in building facades. Photovoltaic chromatic glass units contribute to environmental conservation as they are manufactured from natural, non-polluting materials and generate energy at high rates. They are also known for their durability and resistance to weather conditions, requiring minimal maintenance. Moreover, their range of colors adds dynamism and vitality to the building facade, thus achieving a harmonious blend of aesthetics and sustainability through the architectural integration of colorful photovoltaic chromatic glass cells in facades

Keywords: Kromatic glass technology, colored solar systems, sustainable design, building facades