تحقيق التكامل بين التكسيات الخشبية والعمارة لتعزيز البيئة الداخلية للمباني

Achieving Integration between Wooden Claddings and Architecture to Enhance the Interior Environment of Buildings

محمد جمال جارحي سعداوي
مدرس بقسم التصميم الصناعى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط
mohamedelgarhy@du.edu.eg ،melgarhy320@gmail.com

شريف عبد المنعم رمضان سكر
مدرس بقسم الزخرفة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط
eng_shrefsokar@du.edu.eg ،des.sherifsokar@gmail.com

إبراهيم محمد طه الخطيب
مدرس بقسم الزجاج، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط.،Ibmimt82@Gmail.com

ملخص البحث: Abstract

لا يزال دمج التكسيات الخشبية بشكل فعال في التصميم المعماري الحديث يمثل تحدياً، على الرغم من الأهمية التاريخية والثقافية للأخشاب في ممارسات البناء التقليدية، ويبحث هذا البحث في الأساليب والاستراتيجيات لتحقيق التكامل الناجح لعناصر ألواح التكسيات الخشبية داخل المباني المعاصرة لتعزيز جودة البيئة الداخلية للمباني.

تبدأ الدراسة باستعراض أهمية التكسيات الخشبية في العمارة، وتطور تقنيات تصنيع ألواح التكسيات الخشبية، الطبيعية منها والصناعية، وأدوارها الوظيفية والجمالية في العمارة التقليدية عبر سياقات ثقافية مختلفة. ثم تحدد متطلبات الأداء لدمج الكسوة الخشبية في التصميم المعماري الحديث، والخصائص الحرارية والصوتية، ومبادئ التصميم المستدام.

من خلال الدراسة المتعمقة لأنواع التكسات الخشبية الطبيعية والمصنعة، يستخلص البحث الدروس المستفادة، ويتضمن ذلك الاختيار المناسب لأنواع الأخشاب وأنظمة التكسيات، ودمج العناصر الخشبية ضمن التكوين المعماري العام، وتحسين المعايير البيئية الداخلية مثل الراحة الحرارية، وجودة الهواء، وضوء النهار.

توفر نتائج هذه الدراسة إطاراً شاملاً للمصممين لتحقيق تكامل التكسيات الخشبية مع الهندسة المعمارية المعاصرة بنجاح، وبالتالي تعزيز جودة البيئة الداخلية والاستدامة الشاملة للمباني، ويقدم البحث رؤى قيمة وإرشادات تصميمية يمكن أن تفيد الخطاب الأكاديمي والممارسة المهنية في هذا المجال.

كلمات دالة: Keywords

التكسيات الخشبية Wooden Cladding، العمارة Architecture، التصنيع الرقمي Digital Manufacturing، الاستدامة البيئية Environmental Sustainability، التكسيات البلاستيكية Plastic Cladding، البيئة الداخلية للمباني Interior Environment of Buildings

Paper received April 17, 2024, Accepted June 19, 2024, Published on line September 1, 2024

المقدمة: Introduction

المباني السكنية والتجارية هي المكان الذي نقضي فيه معظم أوقاتنا اليومية. لذلك، فإن تحسين كفاءة البيئة الداخلية لهذه المباني أصبح أمراً بالغ الأهمية لتعزيز الراحة والصحة والإنتاجية للمستخدمين (Al-Obaidi et al., 2017)

وواحد من أهم العناصر المعمارية التي يمكن أن تسهم في تحقيق ذلك هو استخدام التكسيات الخشبية في تصميم واجهات وأسقف المباني والحوائط الداخلية .

حيث تتميز التكسيات الخشبية بخصائص فريدة كالعزل الحراري والصوتي والشكل الجمالي المميز، مما يجعلها حلاً فعالاً لتحسين الراحة البيئية للمستخدمين (Jelle, 2011; Ramage et al., 2017). ومع ذلك، لا يزال هناك نقص في الفهم المتكامل لكيفية تصميم وتكامل هذه التكسيات بشكل فعال ضمن العملية التصميمية للمباني.(Wasilewski and Dobek, 2017) ، كما سيتم تحديد المعايير والاستراتيجيات التصميمية اللازمة لتعظيم أداء هذه التكسيات في تحسين الراحة الحرارية والبصرية وترشيد استهلاك الطاقة.(Davoudi et al., 2018; Zhai et al., 2019)

وتُعتبر التكسيات الخشبية من الخامات الشائعة والمُستخدمة على نطاق واسع في صناعة الأثاث والديكورات الداخلية، ويتميز الخشب بخصائص فريدة مثل الجمال الطبيعي، القوة، والقابلية للتشكيل، مما جعله خياراً شائعاً للعديد من التطبيقات المعمارية والتصميمية (Smith & Johnson, 2021)، وفي السنوات الأخيرة، هناك اهتمام متزايد باستكشاف التكسيات الخشبية المبتكرة لتحسين الأداء الوظيفي والجمالي للمساحات الداخلية. (Green & Forrest, 2019)

وتشمل التكسيات الخشبية تطبيقات متنوعة مثل الأرضيات الخشبية، الأسقف المعلقة، والجدران المكسوة بألواح الخشب، وتُعد هذه التكسيات خياراً شائعاً بسبب قدرتها على تحسين العزل الحراري والصوتي، إضافةً إلى إضفاء طابع دافئ وطبيعي على المساحات الداخلية (Wilson & Taylor, 2020)، بالإضافة إلى ذلك، فإن التكسيات الخشبية ذات صلة وثيقة بالاستدامة البيئية حيث يمكن إعادة استخدام وإعادة تدوير الخشب بعد انتهاء عمره الافتراضي .

ويعود استخدام التكسيات الخشبية إلى آلاف السنين، حيث أُستخدمت في بناء المنازل والهياكل الخشبية منذ القدم، ومع تطور التقنيات والتكنولوجيا، تطورت أنواع التكسيات الخشبية وطرق تصنيعها وتركيبها لتواكب متطلبات العصر الحديث، فأصبحت أكثر تنوعاً في الأشكال والألوان، وأكثر مقاومةً للعوامل الجوية والحريق .

مشكلة البحث: Statement of the Problem

دور المصمم في تحسين كفاءة البيئة الداخلية للمباني أصبح أمراً بالغ الأهمية لتعزيز الراحة والصحة والإنتاجية للمستخدمين من خلال تطوير إطار متكامل يربط بين تصميم التكسيات الخشبية والتصميم المعماري لتحقيق أقصى استفادة من مزاياها في رفع كفاءة البيئة الداخلية للمباني ؛ فمن خلال ذلك تكون إشكالية البحث تنحصر في القصور الحادث في توظيف المصممين للتكسيات الخشبية في التصميمات المعمارية ومدى إلمام المصمم بخصائص التكسيات الفيزيائية والميكانيكية التي يحتاجها داخل عملية تصميم المبني، وذلك بسبب ندرة البحوث الإستكشافية التي تقوم بتعريف المصمم بما هو جديد في طرق تصنيع وتثبيت التكسيات الخشبية والإفتقار

إلى ابتكار طرق مستحدثة لتدخل إضافات إبداعية جديدة لتوظيف التكسيات بالشكل الذي يوفر الراحة والجاذبية والإستدامة للمباني .

هدف البحث Research Objectives:

في ظل الظروف البيئية المتغيرة داخل وخارج المباني، يهدف هذا البحث إلى تطوير إطار متكامل يربط بين تصميم التكسيات الخشبية والتصميم المعماري لتحقيق أقصى استفادة من مزاياها في رفع كفاءة البيئة الداخلية للمباني. وسيتم استكشاف الخصائص الوظيفية والبيئية للتكسيات الخشبية، وأنواعها وطرق تصنيعها وتركيبها، وكيفية دمجها بشكل متكامل في العناصر المعمارية كالواجهات والأسقف والحوائط الداخلية للمباني .

أهمية البحث Research Significance:

تظهر أهمية البحث في دراسة الخصائص والمزايا التقنية للتكسيات الخشبية وكيفية دمجها بشكل فعال في التصميم المعماري لتعزيز الراحة الحرارية والبصرية وترشيد استهلاك الطاقة. كما يتناول تحديد المعايير والمنهجيات اللازمة لتحقيق التكامل الناجح بين هذين المجالين المتكاملين، استكشاف الحلول التقنية والتصميمية والتنظيمية والاقتصادية لتعزيز استخدام التكسيات الخشبية في العمارة، واستكشاف التطورات الحديثة في مجال التكسيات الخشبية، بما في ذلك المواد والتقنيات المستخدمة في التصنيع والمواد المستخدمة في اللصق وطرق التثبيت، والتحديات المرتبطة باستخدامها، كما يقدم تحليلاً متعمقاً للاتجاهات المستقبلية والفرص الناشئة في هذا المجال.

منهج البحث: Research Methodology

اعتمد البحث على **المنهج الإستقرائي**: لدراسة المشكلة وتحقيق فرض البحث من خلال الجانب النظري للبحث والذي يلقي الضوء على السمات الجمالية والوظيفية للتكسيات الخشبية في العمارة من خلال وحداته وألوانه وطرق تركيبها، لتكون مصدراً للإستفادة من تلك الجماليات والوظائف في عمل تصميمات معمارية منفذة بأساليب مختلفة .

وأيضا **المنهج التطبيقي**: وذلك من خلال الجانب العملي للبحث والذي يشمل تصميم لبعض التكسيات الخشبية وتصميم تركيبها بطرق مختلفة .

فرض البحث: Research Hypothesis

في ضوء الدور الهام للتكسيات الخشبية داخل مراحل عملية التصميم المعماري والقيود الموجودة داخل عملية إختيار الخامة المناسبة لأجزاء التكسيات طبقاً لما هو متاح وله خصائص محددة، والتطور السريع لطرق التصنيع والتثبيت، يمكن للمصمم تعظيم أوجة الإستفادة من الإضافات الإبداعية لخامات التكسيات وطرق تثبيتها داخل عمليات التصميم المعماري ، وأيضاً جعل المصمم قادراً على تحدى المفاهيم الجامدة القديمة في تصميم وتطوير البيئة الداخلية للمباني من خلال توفير بدائل الخامات والإبداع في طرق تثبيت التكسيات.

الإطار النظري: Theoretical Framework

1- أهمية التكسيات الخشبية في المجال المعماري .

تُعد التكسيات الخشبية أحد العناصر المعمارية المهمة التي تؤثر بشكل كبير على جودة التصميم وكفاءة المبنى. فهي تُسهم في تحقيق جوانب متعددة من الأداء المعماري والوظيفي والجمالي:

1-1- الأداء الوظيفي :

توفير العزل الحراري والصوتي لتحسين الراحة الحرارية والبيئة الداخلية للمبنى (Almusaed, 2021)، والمساهمة في ترشيد استهلاك الطاقة عبر تقليل الحمل الحراري على المبنى (Almusaed & Almssad, 2018)، وتحسين نوعية الهواء الداخلي من خلال القدرة على نفاذية البخار المائي (Almusaed et al., 2019).

1-2- الأداء الجمالي :

المساهمة في التعبير المعماري والشعور بالدفء والطبيعة عبر إمكانية تشكيلها بأشكال متنوعة(Almusaed et al., 2018) ، وتوفير قيم جمالية وحسية عبر ملمس الخشب ومظهره الطبيعي (Suh et al., 2021)، وتحقيق انسجام بصري بين المبنى والبيئة المحيطة خاصة في المناطق الريفية والطبيعية (Almusaed et al., 2019).

1-3- الأداء البيئي:

تعتبر الأخشاب من المواد الطبيعية والقابلة للتدوير، مما يجعلها أكثر استدامة بيئيًا(Almusaed & Almssad, 2015) ، وتساهم في خفض البصمة الكربونية للمباني من خلال تخزين الكربون في هيكلها (Almusaed, 2021) ، فهذه الأبعاد المتعددة لأهمية التكسيات الخشبية تجعلها عنصراً معمارياً مهماً في تحقيق المباني المستدامة والفعالة وظيفياً وجمالياً، لذا فهي تحظى باهتمام متزايد في التصميم المعماري المعاصر.

2- الحاجة إلى التكامل بين التكسيات الخشبية والتصميم المعماري.

يُعد التكامل بين التكسيات الخشبية والتصميم المعماري أمرًا بالغ الأهمية لتحقيق أداء معماري متكامل وشامل. هناك عدة أسباب تؤكد على هذه الحاجة للتكامل:

2-1- الأداء الوظيفي المتكامل :

تتطلب الاستفادة المثلى من خصائص التكسيات الخشبية في توفير العزل الحراري والصوتي والتحكم في الرطوبة دمجها في مراحل التصميم المبكرة (Almusaed & Almssad, 2018) ، ويسهم التكامل في تحقيق الراحة الحرارية والبصرية للمستخدمين عبر التحكم في الظروف البيئية الداخلية.(Almusaed et al., 2019)

2-2- التعبير المعماري المتناغم:

تتطلب استخدام التكسيات الخشبية بشكل متناغم مع التصميم المعماري دراسة متأنية للعناصر الجمالية والتشكيلية (Almusaed et al., 2018)، ويساهم التكامل في إضفاء طابع خاص ودافئ على المبنى وربطه بشكل أفضل بالبيئة المحيطة.(Suh et al., 2021)

2-3- الاستدامة المتكاملة:

تتطلب الاستفادة من المزايا البيئية للتكسيات الخشبية دمجها في استراتيجيات التصميم المستدام للمباني (Almusaed & Almssad, 2015) ، ويساعد التكامل في تقليل البصمة الكربونية للمبنى عبر تخزين الكربون في عناصره الخشبية (Almusaed, 2021) ، وفي ضوء هذه الاعتبارات، يتضح أن التكامل بين التكسيات الخشبية والتصميم المعماري أمر ضروري لتحقيق مباني ذات أداء متكامل وشامل من الناحية الوظيفية والجمالية والبيئية. ويتطلب ذلك إدماج هذه العناصر منذ المراحل المبكرة للتصميم.

3- الخصائص الفيزيائية والمميزات الوظيفية للتكسيات الخشبية:

يُعرف الخشب بأنّه: النسيج الأساسي والموصل لمغذيات الأشجار والنباتات، وواحد من أكثر المواد الطبيعية وفرة ووجوداً، يتم إنتاجه من قبل العديد من الأنواع النباتية، ويتوفر الخشب بألوان وأشكال مختلفة، ويعد عازلاً للحرارة والكهرباء .

3-1- الخصائص الفيزيائية للأخشاب المستخدمة في تكسيات المباني:

تتميز الأخشاب المستخدمة في تكسيات المباني بمجموعة من الخصائص الفيزيائية المهمة التي تؤثر على أدائها وكفاءتها في تحسين البيئة الداخلية للمبنى، وفيما يلي عرض للخصائص الفيزيائية الرئيسية للأخشاب المستخدمة في تكسيات الحوائط :

أ- الخصائص الحرارية :

- **التوصيلية الحرارية (K-value) :** تُعد التوصيلية الحرارية للخشب منخفضة مقارنةً ببعض المواد الأخرى، حيث تتراوح بين 0.12-0.18 W/m·K. هذه القيم المنخفضة تؤدي إلى خصائص عزل حراري جيدة، والثقل النوعي من

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

أهم الخصائص الفيزيائية للأخشاب التي تحدد قدرتها على العزل الحراري والصوتي (Almusaed, 2021) فالأخشاب ذات الكثافة المنخفضة كالصنوبر والزان تتمتع بقدرة عزل أفضل من الأخشاب الكثيفة كالبلوط والجوز (Suh et al., 2021).

- **معامل انتقال الحرارة (U-value) :** يتراوح معامل انتقال الحرارة للخشب بين 2-3.5 W/m²·K ، وهو أفضل من المواد ذات التوصيلية الحرارية العالية كالمعادن، ومحتوى الرطوبة في الأخشاب له تأثير كبير على خصائصها الفيزيائية والميكانيكية، بما في ذلك الكثافة والمقاومة والتوصيلية الحرارية (Almusaed & Almssad, 2015) وتختلف هذه الخصائص بشكل ملحوظ بين الأخشاب الجافة والأخشاب ذات محتوى رطوبة مرتفع.
- **الكتلة الحرارية:** تتميز الأخشاب بكتلة حرارية جيدة، مما يساعد في تنظيم درجات الحرارة الداخلية والحفاظ على الراحة الحرارية (Almusaed, 2021) .

ب- الخصائص الصوتية:

- **العزل الصوتي :** تتميز الأخشاب بقدرة جيدة على امتصاص الصوت وتقليل انتقاله من خلال الحوائط، ومعامل العزل الصوتي للأخشاب يتراوح بين 30-40 ديسيبل. (Almusaed, 2021)
- **معامل امتصاص الصوت:** تختلف قيم معامل امتصاص الصوت للأخشاب باختلاف كثافتها وسمكها، وتكون الأخشاب ذات الكثافة والسمك الأعلى أكثر فاعلية في امتصاص الصوت، مقارنةً بمواد البناء التقليدية مثل الخرسانة والطوب (Almusaed & Almssad, 2018)، ومعامل امتصاص الصوت للأخشاب يتراوح عادةً بين 0.10 و 0.30، مما يساعد في تحسين الجودة الصوتية داخل المباني.(Almusaed et al., 2019)

جـ- الخصائص الميكانيكية:

- **الكثافة :** تتراوح كثافة الأخشاب المستخدمة في التكسيات بين 500-800 كجم/م³، مما يجعلها خفيفة الوزن مقارنةً ببعض المواد الأخرى(Almusaed et al., 2019) .
- **المسامية والقدرة على النفاذية :** تتميز الأخشاب بوجود مسام داخلية تمنحها قدرة على نفاذية الهواء والبخار المائي، مما يؤثر على أدائها في العزل وراحة المستخدمين. (Almusaed et al., 2019)
- **الاستقرار البعدي :** قابلية الأخشاب للتمدد والانكماش بسبب التغيرات في محتوى الرطوبة يعرف بإسم الاستقرار البعدي، وهو من الخصائص المهمة التي تؤثر على ثبات وسلامة التكسيات الخشبية عبر الزمن . (Almusaed & Almssad, 2018)
- **المقاومة والصلابة:** تتميز الأخشاب بمقاومة جيدة للحمولات والإجهادات، مما يؤهلها لاستخدامها في تطبيقات البناء.
- **المرونة:** تتمتع الأخشاب بنسبة مرونة جيدة تتراوح بين 10000-15000 ميجا باسكال (Almusaed & Almssad, 2018).

هذه الخصائص الفيزيائية للأخشاب تجعلها مواد مناسبة وفعالة لاستخدامها في تكسيات الحوائط، حيث تساهم في تحسين الأداء الحراري والصوتي للمباني وتعزيز الاستدامة البيئية، وتؤثر بشكل مباشر على أداء هذه التكسيات في تحقيق الراحة الحرارية والبصرية للمستخدمين، وعلى كفاءتها في ترشيد استهلاك الطاقة (Almusaed, 2021).لذا يجب مراعاتها بعناية عند اختيار وتصميم هذه التكسيات.

2-3- المميزات الوظيفية: البيئية والجمالية للتكسيات الخشبية

إن استخدام الأخشاب في تكسيات المباني يوفر مزايا بيئية وجمالية متعددة تعزز من تجربة المستخدمين وتحسن من استدامة المباني.

أ- الاستدامة البيئية:

إن الأخشاب هي مواد قابلة للتجديد وإعادة التدوير، واستخدام الأخشاب في التكسيات يقلل من البصمة البيئية للمباني (Almusaed, 2021)، ومعالجة الأخشاب بطرق صديقة للبيئة تزيد من قابليتها للاستدامة (Almusaed et al., 2019) ، وتتميز الأخشاب بخفة الوزن مقارنة بمواد البناء الأخرى، ولها قدرة عالية على التحمل والصلابة، وتتميز بخصائص عزل حراري واستقرار بنيوي جيد.(Suh et al., 2021)

ب- الراحة الحرارية والبصرية:

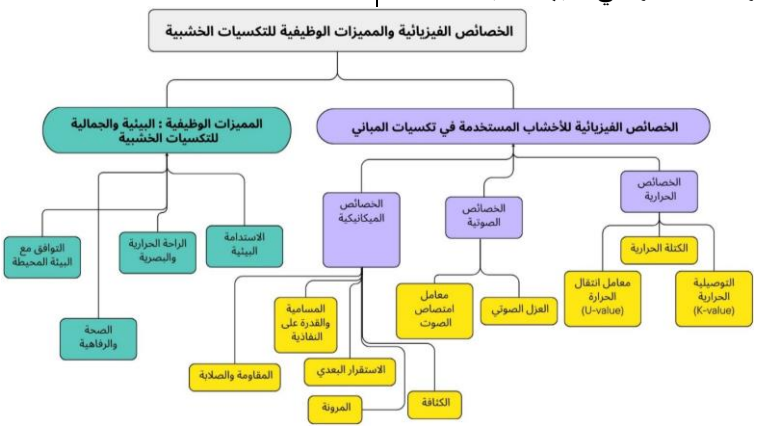
والأخشاب تتميز بخصائص عزل حراري تساعد على تحسين الراحة الحرارية (Suh et al., 2021) ، وألوان وملمس الأخشاب تخلق جواً طبيعياً ومريحاً بصرياً، وهذه الخصائص تحسن من تجربة المستخدمين في المباني.(Almusaed, 2021)

جـ- التوافق مع البيئة المحيطة:

تكسيات الأخشاب تتناغم بشكل طبيعي مع البيئة المحيطة، وهذا التوافق يضفي جمالاً وتناغماً بصرياً في التصميم المعماري (Almusaed et al., 2019)، ويزيد من شعور المستخدمين بالراحة والانسجام مع المكان، ومعالجتها بطرق صديقة للبيئة تزيد من قابليتها للاستعمال المستدام .(Almusaed et al., 2019)

د- الصحة والرفاهية:

الأخشاب تتميز بخصائص بيولوجية إيجابية تعزز الصحة والرفاهية، والتعرض للأخشاب قد يحسن من الحالة النفسية والعقلية للمستخدمين.(Almusaed & Almssad, 2015) ، وهذه المزايا تجعل تكسيات الأخشاب خياراً جذاباً في التصميمات المعمارية الصحية، وتوفر الأخشاب تنوعاً في الألوان والأنماط والملمس، وهذا التنوع يسمح بتحقيق تصميمات فريدة وجذابة، وتعطي إحساسًا طبيعيًا ودافئًا في المساحات المعمارية.(Suh et al., 2021) ، وفيما يلي توضيح للخصائص الفيزيائية والمميزات الوظيفية للتكسيات الخشبية في مخطط وهو شكل رقم (1).



شكل (1) يوضح الخصائص الفيزيائية والمميزات الوظيفية للتكسيات الخشبية.(الباحث)

4- التكنولوجيا والابتكار في تصنيع التكسيات الخشبية المصنعة:

تشهد صناعة التكسيات الخشبية المصنعة تطورات تقنية وابتكارات مستمرة، مما يؤدي إلى ظهور منتجات جديدة وتحسين الخصائص الوظيفية والبيئية لهذه المواد، وجاءت التطورات التقنية في إنتاج الواح الخشب المضغوط، حيث تم استخدام تقنيات الضغط والحرارة المتقدمة لتحسين الكثافة والمقاومة الميكانيكية، ودمج مواد معززة كالألياف الطبيعية لرفع كفاءة الخصائص البيئية، وتطوير عمليات الإنتاج لتقليل الانبعاثات والنفايات (عبد الله وآخرون، 2021)، واستخدام تقنيات الصقل والتشكيل الحراري لإنتاج ألواح ذات أشكال متعددة وألواح ذات كثافة وسمك مناسبين، ودمج مواد عازلة للصوت والحرارة لتحسين الأداء البيئي، والمقاومة للحريق والرطوبة (الحسن وآخرون، 2022) .

4-1- تطبيقات تكسيات الخشب المصنع في العمارة:

يتميز الخشب المصنع بكونه مادة تجمع بين مميزات الخشب الطبيعي ومميزات البوليمرات، فهي تعيد إنتاج الخشب الطبيعي بشكل مناسب للبيئة ومريح وسهل الصيانة بعد فترة الاستخدام، وتساعد على تقليل النفايات والتشجيع على الاستدامة، وهناك العديد من مميزات الخشب المعالج التي تجعلها خياراً ممتازاً كخيار بديل للخشب الطبيعي.

وهناك العديد من أنواع التكسيات الخشبية المصنعة المتاحة حالياً للمصممين، كخامة الخشب المعالج أو ما يعرف بـ (wood-plastic composite) WPC بكونه مادة مركبة تشمل الخشب الطبيعي ومواد كيميائية، فهي مادة عالية التحمل، مقاومة للعوامل الجوية، ويمكن استخدامها في البيئات الرطبة، ويتكون الخشب المعالج من البوليمرات الحرارية المنتجة من مواد كيميائية مختلفة ويتم دمجها بخشب الفينيل . https://taxiat(wpc)

4-1-1- مميزات التكسيات المصنعة (WPC):
https://taxiat(wpc)

- **مقاومة العوامل الجوية:** يتميز الخشب البلاستيكي بمقاومته العالية للعوامل الجوية، فهو لا يتأثر بتغيرات الرطوبة والأمطار والثلوج وأشعة الشمس القوية، وفيما يلي مخطط يوضح مميزات التكسيات المصنعة في نقاط كما هو موضح بالشكل رقم (2).
- **سهولة الصيانة:** يتطلب الخشب البلاستيكي القليل من الصيانة ويمكن تنظيفه بسهولة وبساطة .
- **المتانة:** يعتبر الخشب البلاستيكي مادة قوية ويمكنه الاحتفاظ بمظهره الجيد وسلامته لفترة أطول بسبب مقاومته للعوامل البيئية.
- **المحافظة علي البيئة:** يعد الخشب البلاستيكي خياراً صديقاً للبيئة لأنه مصنوع من مكونات تتحلل ببطء، ويساعد على حماية البيئة وتقليل النفايات.

شكل (2) مميزات التكسيات المصنعة (الباحث)

4-1-2- بعض الاستخدامات للتكسيات المصنعة في العمارة الداخلية:

التكسيات المصنعة قد أصبحت خياراً شائعاً في العمارة المعاصرة بفضل خصائصها المتنوعة والمتطورة، وتُستخدم التكسيات الخشبية المصنعة على نطاق واسع في تشطيب واجهات المباني، حيث توفر مظهراً جمالياً وتشطيباً فائق الجودة، وتُستخدم في العديد من التطبيقات الداخلية مثل الأسقف والحوائط والأرضيات، وهناك تطبيقات خاصة للتكسيات المصنعة في مباني ذات احتياجات محددة، مثل المباني الصناعية والمؤقتة (Kronenburg, 2013). فعلى سبيل المثال، ألواح الخشب المقاومة للتآكل والاهتراء تستخدم في المصانع والمستودعات، بينما تُستخدم التكسيات سهلة التركيب والفك في المباني المؤقتة كالمعارض والمؤتمرات . (Addington, & Schodek, 2005)، وتلعب هذه التكسيات دوراً مهماً في تصميم وتشطيب المباني، وفيما يلي بعض التطبيقات .

أ- تكسيات جدارية Wall covering **:**

الألواح الخشبية المستخدمة في تكسيات الحوائط، المصنعة من الأخشاب أوالبلاستيك، هي خيارات متطورة لتكسيات الحوائط الداخلية، وتدمج بين خصائص الخشب والمواد الأخرى لتوفير حلول تكسية متعددة الاستخدامات، (Almusaed, 2021)

التكسيات الخشبية للحوائط الداخلية: تُعتبر التكسيات الخشبية من أكثر الخيارات شعبية والتقليدية للحوائط الداخلية، وتتميز بجمالها الطبيعي وقدرتها على إضفاء دفء وأناقة على المساحات الداخلية (Smith, 2021)، وهناك العديد من أنواع الخشب المستخدمة في هذه التكسيات مثل الخشب الطبيعي والأخشاب المعالجة والأخشاب الصناعية، والخشب المضغوط والخشب الحُبيبي وألواح الفايبر (Jones, 2020)، وتتميز بثبات البنية والمتانة وطول الأمد وقوة التحمل مقارنة بالخشب الطبيعي، وتتميز بخصائص عزل حراري وصوتي جيدة، وتتميز بمقاومة العوامل البيئية وسهولة الصيانة، ويتم تركيب هذه التكسيات بطرق مختلفة كالتثبيت بالمسامير أو اللصق على الحائط، وتتطلب عناية وصيانة دورية للحفاظ على منظرها الجذاب (Wilson, 2019)، وتكسيات الخشب المصنع للحوائط الداخلية تقدم مجموعة واسعة من الخيارات المتطورة، والتي تجمع بين الجمال التقليدي للخشب والخصائص التقنية المتقدمة.

التكسيات البلاستيكية للحوائط الداخلية: تُعد التكسيات البلاستيكية من الخيارات الأكثر شعبية والمعاصرة للحوائط الداخلية، وتتميز بتنوع تصميماتها وألوانها وسهولة التركيب والصيانة (Lee, 2022)، وهناك العديد من أنواع البلاستيك المستخدمة كالبولي فينيل كلورايد (PVC) والبولي بروبيلين (PP) والبولي إيثيلين(PE) (Chen, 2021)، ويتم تركيب هذه التكسيات عادةً على الحائط بطرق مختلفة كالتعشيق أو اللصق .

ب- تكسيات أرضيات Floor coverings :

الدور الوظيفي: توفر التكسيات الأرضية الداخلية سطحاً مستوياً وصلباً لاستخدام المساحات الداخلية بشكل فعال، وتساعد على الحفاظ على نظافة وسلامة المساحات الداخلية من خلال سهولة التنظيف والصيانة ، وتساهم في عزل الأصوات والاهتزازات داخل المبنى لتحقيق الراحة للمستخدمين(Almusaed, 2021) ، وتساهم في تسهيل مسارات الكهرباء والتدفئة الداخلية، وبعد تركيب التكسيات في الأرضيات يسهل فكها والتعديل في مسارات الكهرباء والتدفئة .

الدور الجمالي والتصميمي: توفر التكسيات الأرضية الداخلية مجموعة متنوعة من الأنماط والألوان لتعزيز الجانب الجمالي للتصميم الداخلي، تساعد في إحداث انسجام بصري بين عناصر التصميم الداخلي المختلفة (Suh et al., 2021) ، وتسمح بتحقيق

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

تصميمات داخلية مبتكرة وفريدة من خلال الاختيارات المتنوعة للتكسيات .

الدور البيئي والصحي: بعض التكسيات الأرضية الداخلية المصنعة من مواد صديقة للبيئة تساهم في الاستدامة البيئية، وتؤثر خصائص التكسيات على الراحة الحرارية والبصرية للمستخدمين داخل المساحات، وقد تساعد التكسيات ذات الخصائص المناسبة في تحسين جودة الهواء الداخلي.(Almusaed, 2021)

الدور الاقتصادي: توفر التكسيات الأرضية الداخلية حلول ذات تكلفة معقولة مقارنة ببعض الخيارات الأخرى، وتساهم في خفض تكاليف الصيانة والتشغيل على المدى الطويل، ويمكن استخدام التكسيات المصنعة كحلول جاهزة لتسريع عملية البناء والتشطيب) (Almusaed & Almssad, 2015)

إن للتكسيات الأرضية الداخلية دوراً متعدد الجوانب يشمل الوظيفة والجمال والبيئة والاقتصاد، مما يجعلها عنصراً حيوياً في تصميم وتنفيذ المساحات الداخلية.

ج- كاسرات الشمس والقواطع Partition & Sun breakers:

تحسين درجة الحرارة: ألواح التكسيات يمكن أن تحجب الأشعة الشمسية الحارقة وتقلل من الحمل الحراري داخل المباني، وهذا يساعد في تحسين الراحة الحرارية للمستخدمين وتقليل الحاجة إلى تكييف الهواء(Li et al., 2006)

توفير الطاقة: استخدام ألواح التكسيات كواقيات للشمس يمكن أن يقلل من الاستهلاك الطاقة اللازمة للتبريد بنسبة تصل إلى 20٪، وهذا التوفير في الطاقة يمكن أن يؤدي إلى انخفاض في فواتير الكهرباء وانبعاثات الغازات الدفيئة (Palmero-Marrero et al., 2010)،

تحسين التصميم المعماري : ألواح التكسيات يمكن أن تضيف قيمة جمالية وتصميمية للمبنى، كما أنها تتيح المرونة في التصميم والتشكيل لتناسب مختلف أنماط المباني، وهي مصنوعة من مواد عالية الجودة ويمكن أن تدوم لفترات طويلة، وهذا يجعلها حلاً مستداماً على المدى الطويل مقارنةً بالحلول الأخرى كالستائر أو الألواح المنزلقة (Shen,& Tzempelikos, 2013)

د- الأسقف والمظلات Shades & Roof :

ألواح التكسيات المستخدمة في أسقف المباني والمظلات تساعد في تقليل الحمل الحراري على المباني والمساحات الخارجية وتساعد في التحكم في الإضاءة الطبيعية لأنه يمكن تصميم ألواح التكسيات بشكل مناسب لتوفير إضاءة طبيعية مريحة ومتوازنة، وهذا يساعد في الحصول على إضاءة داخلية كافية مع تقليل الوهج والسطوع الزائد. (Li et al., 2006)، وفيما يلي شكل رقم (3) يوضح بعض تطبيقات التكسيات الخشبية الطبيعية والمصنعة في التصميم المعماري.

شكل (3) بعض تطبيقات التكسيات الخشبية الطبيعية والمصنعة في التصميم المعماري(الباحث)

5- استخدام التكسيات الخشبية في تصميم الواجهات المعمارية:

التكسيات الخشبية في الواجهات المعمارية تعتبر ذات أهمية لأنها تعطي شكل جمالي رائع بالإضافة إلى سهولة التركيب وتوافر الخامة سواء كانت أخشاب طبيعية أو ألواح مصنعة، وتستخدم التكسيات لإخفاء بعض العيوب المعمارية كالميول في الحوائط إضافة إلى عزل الحرارة والرطوبة داخل المبنى كما انها تعطي حرية للمصمم حيث يستطيع التشكيل حسب التصميم على الألواح الخشبية المصنعة، وفي ما يلي سنتحدث عن التكسيات الخشبية في

الواجهات وأنواع الأخشاب المستخدمة وطرق التركيب المختلفة، وفيما يلي شكل (4) يوضح توظيف التكسيات الخشبية وقطاعات توضح تركيبها في الواجهات المعمارية.

شكل (4) توظيف التكسيات الخشبية وقطاعات توضح تركيبها في الواجهات المعمارية https://www.hmengservices(finishing)

محددات اختيار التكسية:

يتم تحديد نوع وخامة التكسيات في الواجهات المعمارية علي أساس العديد من النقاط، ومنها النشاط داخل المبنى، ونوع النظام الانشائي للمبنى، والحمل المنقول من الخارج للداخل، وحجم وخواص الخامة المستخدمة، والطراز المعماري للمبنى، ونوع الفتحات في الواجهات. https://duffieldtimber (cladding)

أنواع الأخشاب المستخدمة في التكسيات الخشبية:

منها الأخشاب الطبيعية وتتميز بجمال شكل التجزيعات الطبيعية والمتانة لبعض أنواع الخشب، وتحمل درجات الحرارة العالية، ولا يتشكل أو يحدث له تقوس مع الوقت، وسهل التلوين و الدهان، وسهولة التشكيل بالبخار في بعض الانواع، ولها أيضا بعض العيوب ومنها سهولة التعرض لبعض مشكلات الرطوبة، وسهوله الكسر في بعض الأنواع.

https://duffieldtimber (cladding)

ومنها الأخشاب الصناعية ومن مميزاتها المحافظة على الموارد الطبيعية، سهولة التركيب، وخفة الوزن، وسهولة التنظيف، وبعض الأنواع تأتي معالجة ومقاومة للرطوبة والخدش وقليل التمدد والانكماش، ولها بعض العيون أن بعض الأنواع باهظة الثمن، وبعض الأنواع تحتاج عماله مدربة وهذه العمالة ليست متوفرة بالشكل الكافي، وفيما يلي الشكل رقم (5) يوضح أنواع الأخشاب الطبيعية والصناعية المستخدمة في التكسيات .

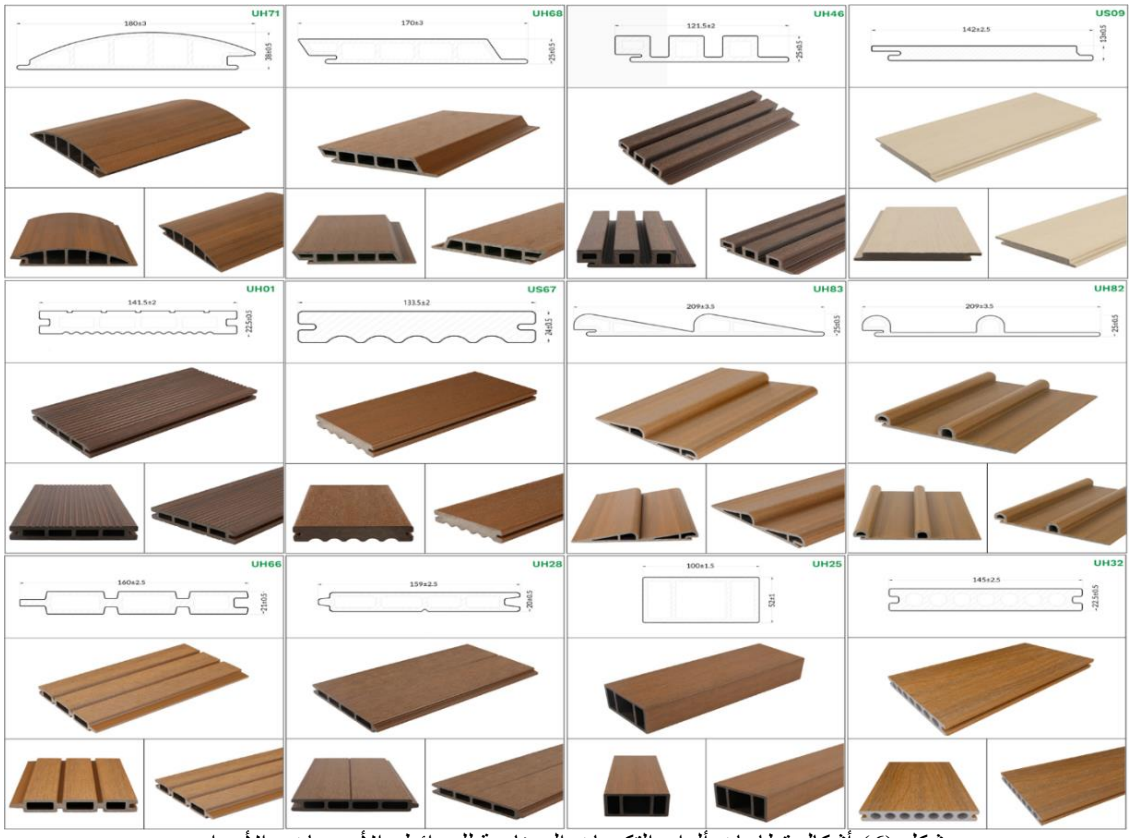
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

شكل (5) أنواع الأخشاب الطبيعية والصناعية المستخدمة في التكسيات (الباحث)

6- استخدام التصنيع الرقمي والتقنيات الحديثة في إنتاج التكسيات الخشبية:

في الآونة الأخيرة، شهد إنتاج التكسيات الخشبية تطورات هامة بفضل التقنيات الرقمية والتصنيع الحديث، وهذه التطورات سمحت بإنتاج تكسيات أكثر تعقيداً وتميزاً من الناحية التصميمية والوظيفية، ومنها تقنيات النمذجة والتصميم ثلاثي الأبعاد، باستخدام برامج CAD لتصميم وتطوير نماذج رقمية معقدة للتكسيات الخشبية (Celani & Vaz, 2012)، وإمكانية إنشاء تصميمات وأشكال ديناميكية وفريدة باستخدام أدوات البرمجة ثلاثية الأبعاد، واستخدام ماكينات CNC للحفر والنحت الدقيق على ألواح الخشب، تسمح هذه التقنية بإنتاج تفاصيل معقدة وأنماط هندسية متطورة (Dunn, 2012)، وإمكانية طباعة نماذج ثلاثية الأبعاد للتكسيات الخشبية باستخدام الخشب أو المواد المركبة، وأهم ما يميز التقنيات الرقمية، إنتاج تكسيات خشبية فريدة وديناميكية الشكل لتحقيق أهداف تصميمية وجمالية متميزة، وتخصيص التكسيات وتكييفها مع متطلبات المشروع المعماري، تقليل الفاقد في المواد وتحسين الكفاءة الإنتاجية، وتسهيل عمليات التركيب والصيانة للتكسيات الخشبية (Carpo, 2011)

وفيما يلي شكل رقم (6) يوضح أشكال قطاعات ألواح التكسيات الصناعية للحوائط والأرضيات والأسوار .



شكل (6) أشكال قطاعات ألواح التكسيات الصناعية للحوائط والأرضيات والأسوار.

يتم التحكم الرقمي بالتصنيع في إنتاج ألواح التكسيات الخشبية باستخدام ماكينات التحكم الرقمي (CNC) لنحت وقطع ألواح الخشب بطريقة دقيقة وعالية الجودة، وهذه التقنية تسمح بزيادة الإنتاجية وتقليل الفاقد في المواد.(Gibson et al., 2015) ، وعن طريق البرمجة يتم تحليل البيانات المتعلقة بعمليات الإنتاج والطلب على المنتجات لتحسين التخطيط الإنتاجي وإدارة المخزون (McAfee & Brynjolfsson, 2012). ويتم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين عمليات التصنيع وتحليل جودة المنتجات.

وإن استخدام ماكينات CNC في إنتاج ألواح التكسيات الخشبية زاد من الدقة الهندسية للمنتجات بنسبة 15-20% مقارنة بالطرق التقليدية.(Alam et al., 2021) ، وقلل من وقت الإنتاج بنسبة 30% وزيادة الجودة الكلية للمنتج بنسبة 25 % (Shehab & Abdalla, 2018)، وأيضا الحفر بالليزر على ألواح التكسيات الخشبية زاد من القيمة الجمالية للمنتج بنسبة 35% مقارنة بالطرق التقليدية.(Abdelghany et al., 2020) ، وهذه التقنية تتميز بدقة عالية في التنفيذ وتخفيض التكاليف بنسبة 20% مقارنة بالطرق الأخرى.(Farrokhzad et al., 2019)

7- الجانب العملي للبحث :

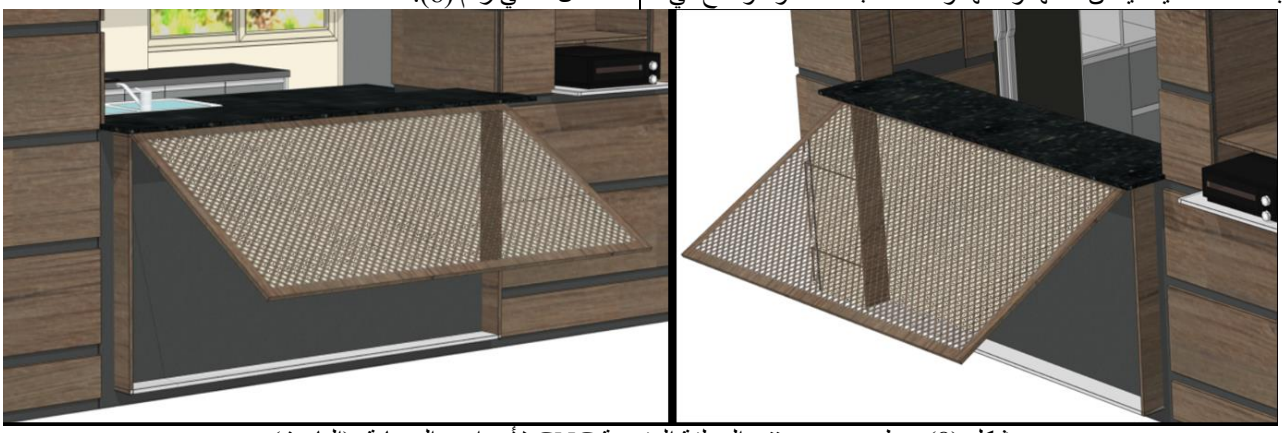
في هذا المحور تم دراسة تقنيات تصميم وتركيب ألواح التكسيات الخشبية وتوظيفها في التشطيبات الداخلية، وطرق الفك لأعمال الصيانة الواردة في المستقبل، وإمكانية دمج التكسيات الخشبية في تصميمات ديكورية ، مع مراعاة أطوال الألواح الخشبية المتاحة في السوق المحلي، وفيما يلي صور للتصميم قبل التنفيذ وصور للتصميم بعد التنفيذ علي أرض الواقع، وفيما يلي الشكل رقم (7) يوضح مرحلة التصميم ومنتصف مرحلة التنفيذ لتكسيات حائط في التشطيب الداخلي لفيلا سكنية .

شكل (7) توضح مرحلة التصميم ومنتصف مرحلة التنفيذ لتكسيات حائط في التشطيب الداخلي لفيلا سكنية. (الباحث)

في التصميم السابق تم توظيف ألواح التكسيات الخشبية في التشطيبات الداخلية لفيلا سكنية، وتوظيف تقنيات ال (CNC) في الحفر علي المسطحات الخشبية لتظهر الإضاءة من خلفها، مع مراعاة الصيانات المستقبلية فتم تركيب الجزء المفرغ CNC

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

بمفصلات حيث يمكن فتحها وغلقها وقت الحاجة كما هو موضح في الشكل التالي رقم (8).

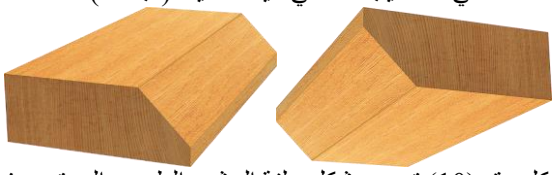


شكل (8) منظور يوضح فتح الضلفة المفرغة CNC لأغراض الصيانة. (الباحث)

وفيما يلي بعض الصور لمرحلة التصميم ومنتصف مرحلة التنفيذ، ويوضح الشكل التالي رقم (9) مرحلة التصميم ومنتصف مرحلة التنفيذ لتكسيات حائط في التشطيب الداخلي لفيلا سكنية.

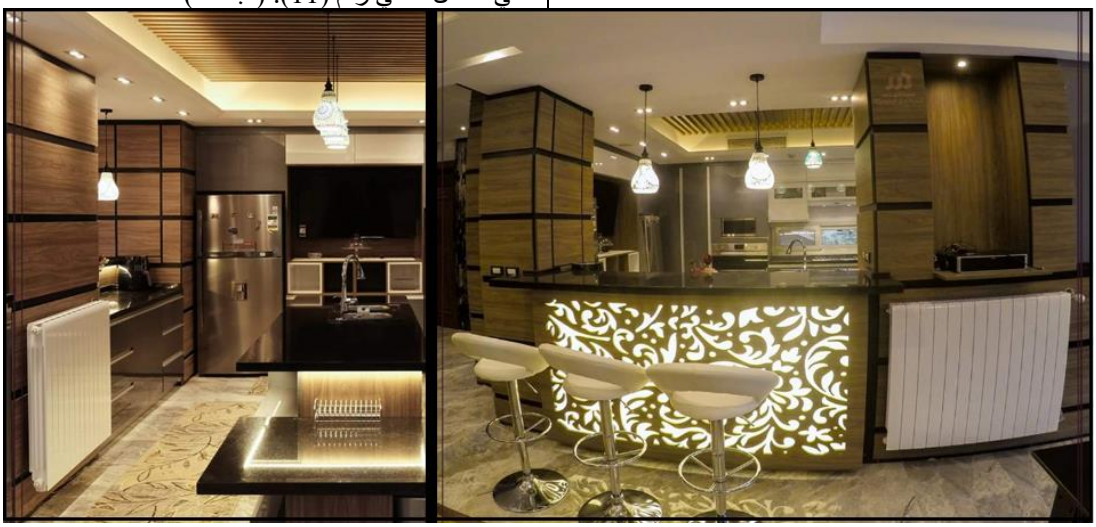
شكل (9) توضح مرحلة التصميم ومنتصف مرحلة التنفيذ لتكسيات حائط في التشطيب الداخلي لفيلا سكنية. (الباحث)

وقام الباحث بتصميم وتنفيذ عملية تثبيت الألواح الخشبية المصنعة على الحائط بطريقة شطف الخشب في الشاسيه الخلفي بزاوية 45 درجة، حتي لا تظهر أي مسامير تثبيت في واجهة الألواح الخشبية المستخدمة في التكسيات، وطريقة التثبيت تتم بتثبيت قطعة خشب في ظهر لوح التكسيات مشطوفة بزاوية 45 درجة، وقطعة خشب مثيلتها مثبتة في الحائط ولكن بشكل عكسي، حتي يتم تثبيت التكسيات بصورة سلسة ويمكن فكها فيما بعد لأعمال الصيانة، كما هو موضح في الشكل التالي رقم (10) .(الباحث)



شكل رقم (10) توضح شكل علفة الخشب الطبيعي المستخدم في تثبيت ألواح التكسيات

وفيما يلي صور لموقع التشطيب بعد التنفيذ والوصول بألواح التكسيات الخشبية إلى شكل جمالي في تشطيب فيلا سكنية والتوصل إلى نتيجة جيدة في الدمج بين التكسيات والعمارة، كما هو موضح في الشكل التالي رقم (11). (الباحث)



شكل (11) توضح مرحلة التنفيذ لتوظيف التكسيات في العمارة الداخلية. (الباحث)

نتائج البحث: Results

- استخدام التكسيات الخشبية بشكل متكامل مع تصمم العمارة يمكن أن يقلل من استهلاك الطاقة وتحسين جودة الهواء والعزل الحراري ويعزز الصحة العامة للسكان داخل المباني.
- التكامل بين التكسيات الخشبية والعمارة يعزز من متانة البنية ويطيل عمر البنايات، مما يساهم في الاستدامة والتوفير في تكاليف الصيانة .
- التكسيات الخشبية تضيف قيمة جمالية وبيئية للمباني، حيث توفر إحساساً بالدفء والطبيعة .
- هناك تطورات تقنية في تصنيع التكسيات الخشبية وإمكانية تطبيقها في تشكيلات هندسية معقدة، مما يوسع نطاق تطبيقاتها المعمارية.
- استخدام التكسيات الخشبية يعزز الهوية المحلية والاستجابة للسياق الثقافي والبيئي للمشاريع المعمارية وخلق بيئة حضرية متكاملة ومتجددة.
- استخدام التكسيات الخشبية يعمل علي تعزيز الربط بين الطبيعة والبنية المعمارية
- تبني مبادئ التصميم الحضاري واستخدام الخامات المستدامة يحقق التوازن بين الحداثة والتقليد في العمارة .

التوصيات: Recommendation

- الاستفادة من الخصائص الفيزيائية والجمالية للخشب في تصميم واجهات المباني وعناصره الداخلية.
- الاستثمار في البحث والتطوير لإيجاد حلول ابتكارية لتكامل التكسيات الخشبية مع الهياكل المعمارية المختلفة.
- تضمين المواصفات والمعايير الفنية لاستخدام التكسيات الخشبية في الأكواد والمدونات المعمارية.
- تعزيز التعاون بين المعماريين وخبراء التكسيات الخشبية لتطوير حلول متكاملة ذات أداء عال.
- تشجيع الاستخدام المستدام للخشب في العمارة من خلال سياسات وحوافز حكومية.
- تطوير برامج تدريبية وتثقيفية لنشر الوعي بإمكانات التكسيات الخشبية في العمارة المعاصرة.

المراجع: References

1- الحسن، ح.، وآخرون. (2022). الأداء الحراري والصوتي لألواح الخشب الرقائقي المبتكرة. مؤتمر الهندسة البيئية، ص 12، 23-31.

2- عبد الله، وآخرون. (2021). تطوير تقنيات إنتاج ألواح الخشب المضغوط. مجلة الهندسة والبناء (3)، ص 18، 45-58.

3- Abdelghany, O., Hegazy, A., & Youssef, A. (2020). Laser engraving of wooden furniture: Techniques, applications, and future trends. Journal of Laser Applications, 32(2), 022032.

4- Addington, M., & Schodek, D. (2005). Smart materials and new technologies: For the architecture and design professions. Routledge.

5- Alam, M. N., Asad, A. B. M. A., Begum, S., & Hadj-Hamou, K. (2021). Optimization of CNC machining parameters for wooden furniture parts. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 115(5), 1525-1536.

6- Almusaed, A. (2021). Biophilic and Bioclimatic Architecture: Analytical Therapy for the Next Generation of Passive Sustainable Architecture. Springer Nature.

7- Almusaed, A., & Almssad, A. (2015). Biophilic and sustainable design in architecture. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 193, 283-294.

8- Almusaed, A., & Almssad, A. (2018). Perspectives on sustainable building materials and architecture. In Sustainable Construction and Building Materials. IntechOpen.

9- Almusaed, A., Farhan, A. R., & Almusaed, A. H. (2019). Biophilic exterior facade design strategies in the temperate climate region. Sustainability, 11(13), 3634.

10- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M. A., Rahman, A. M. A., & Hussein, H. (2017). Biomimetic building skins: An adaptive approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 1472-1491.

11- Carpo, M. (2011). The alphabet and the algorithm. MIT press.

12- Celani, G., & Vaz, C. E. V. (2012). CAD scripting and visual programming languages for implementing computational design concepts: A comparison from a pedagogical point of view. International Journal of Architectural Computing, 10(1), 121-137.

13- Chen, L. (2021). The Pros and Cons of Plastic Wall Panels. Houzz.

14- Davoudi, S., Zangeneh, A., Sanaieian, H., & Tenpierik, M. (2018). Assessing energy performance and visual comfort of wood-based shading systems in office buildings. Sustainability, 10(9), 3136.

15- Dunn, N. (2012). Digital fabrication in architecture. Laurence King Publishing.

16- Farrokhzad, P., Zadeh, M. H., Sarvestani, H. K., & Mohammadi, V. (2019). Experimental and numerical study of laser engraving of wood. Optics & Laser Technology, 117, 41-50.

17- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. Springer.

18- Green, A., & Forrest, M. (2019). Innovative Wooden Cladding Solutions for Enhanced Performance. Environmental Design Journal, 10(1), 25-35.

19- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities. Energy and Buildings, 43(10), 2549-2563.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Wooden Cladding for Interior Design. Journal of Sustainable Architecture, 15(2), 45-58.
31- Suh, J., Holzer, D., Huang, H., Raslan, R., & Augenbroe, G. (2021). Designing with wood: Exploring the influence of visual and tactile perception on building occupants' thermal comfort. Building and Environment, 188, 107477.
32- Tzempelikos, A. (2008). The impact of venetian blind geometry and tilt angle on view, direct light transmission and interior illuminance. Solar Energy, 82(12), 1172-1191.
33- Wasilewski, R., & Dobek, T. (2017). The influence of wooden facade cladding on the energy performance of a building. Journal of Ecological Engineering, 18(1).
34- Wilson, B., & Taylor, L. (2020). Thermal and Acoustic Performance of Wooden Cladding Systems. Building and Environment, 85, 120-130.
35- Wilson, S. (2019). A Guide to Installing and Maintaining Wood Wall Panels. This Old House.
36- Zhai, Z. J., Johnson, M. H., & Krarti, M. (2019). Performance analysis of variable-air-volume systems in office buildings. Energy and Buildings, 187, 113-123.
37- https://duffieldtimber.com/the-workbench/cladding/timber-cladding-guide-best-species-profiles-options Accesed on 22/5/2024
38- https://taxiat.com.sa/portfolio/wpc/ Accesed on 21/5/2024
39- https://www.hmengservices.com/2022/12/finishing-Cladding-works.html Accesed on 22/5/2024
20- Jones, K. (2020). Exploring the Different Types of Wood for Interior Wall Paneling. Architectural Digest.
21- Kronenburg, R. (2013). Flexible: Architecture that responds to change. Laurence King Publishing.
22- Lee, M. (2022). Plastic Wall Panels: The Modern Alternative to Traditional Finishes. Interior Design Review.
23- Li, D. H., Lam, T. N., & Wong, S. L. (2006). Daylighting and energy implications due to shading effects of adjacent buildings. Applied Energy, 84(12), 1199-1209.
24- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big data: the management revolution. Harvard business review, 90(10), 60-68.
25- Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. C. (2010). Effect of louver shading devices on building energy requirements. Applied Energy, 87(6), 2040-2049.
26- Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., ... & Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68, 333-359.
27- Shehab, E., & Abdalla, H. (2018). A design to cost system for offset machining. Procedia CIRP, 69, 118-123.
28- Shen, H., & Tzempelikos, A. (2013). Daylighting and energy analysis of private offices with automated interior roller shades. Solar Energy, 86(2), 681-704.
29- Smith, J. (2021). The Beauty of Wood: Choosing the Right Wood Paneling for Your Home. Home & Design Magazine.
30- Smith, J., & Johnson, K. (2021). Trends in