

المواد المهجنة ودورها في تطوير مواد مستدامة للتصميم الداخلي دراسة تطبيقية على الزجاج المعاد تدويره

أ.د. إيمان محمد فرج
أكاديمية الباحث للدراسات العليا
elsahli@albahith.edu.ly
em.elsahli@academy.edu.ly

أ.سعاد أبوبكر الكابوتي
باحثة دكتوراه بالأكاديمية الليبية
لِلدراسات العليا
Shommoh1980@gmail.com

الملخص

أظهرت الدراسة أن الزجاج المعاد تدويره لا يمثل مجرد مخلف يمكن التخلص منه، بل يعد مورداً يمكن توظيفه في إنتاج مواد مهجنة تمتلك خصائص وظيفية وجمالية وبيئية متميزة ، وقد بينت النماذج المقترحة إمكانية دمج الزجاج مع مجموعة متنوعة من الخامات مثل الإيبوكسي والإسمنت والجبس والبوليمرات الحيوية والطين الحراري لإنتاج مواد جديدة تتناسب مع احتياجات التصميم الداخلي المعاصر.

كما أوضحت الدراسة أن المواد المهجنة تسهم في دعم مبادئ الاستدامة والاقتصاد الدائري من خلال تقليل المخلفات وتحسين كفاءة استخدام الموارد، الأمر الذي يجعلها من الاتجاهات الواعدة في تطوير خامات التصميم الداخلي المستقبلية.

Abstract

The study demonstrates that recycled glass is not merely waste to be discarded, but a resource that can be utilized to produce hybrid materials possessing distinctive functional, aesthetic, and environmental properties. The proposed models illustrate the feasibility of combining glass with a variety of materials—such as epoxy, cement, gypsum, biopolymers, and fireclay—to create new materials suited to the needs of contemporary interior design.

Furthermore, the study highlights how these hybrid materials support the principles of sustainability and the circular economy by reducing waste and enhancing resource efficiency, making them a promising trend in the development of future interior design materials.

المقدمة

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تطوراً متسارعاً في مفاهيم الاستدامة البيئية نتيجة التحديات المرتبطة بالزيادة المستمرة في استهلاك الموارد الطبيعية وتنامي حجم المخلفات الناتجة عن الأنشطة الصناعية والاستهلاكية وقد أدى ذلك إلى ظهور توجهات جديدة تهدف إلى تطوير مواد وخامات قادرة على تقليل الأثر البيئي وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة، الأمر الذي انعكس بصورة مباشرة على مجالات العمارة والتصميم الداخلي التي أصبحت أكثر ارتباطاً بمبادئ الاستدامة والحفاظ على البيئة⁽¹⁾.

وفي ظل هذه المتغيرات برزت المواد المهجنة بوصفها أحد أهم الاتجاهات الحديثة في علوم المواد، حيث تعتمد على دمج مادتين أو أكثر تختلفان في خصائصهما الفيزيائية أو الكيميائية بهدف إنتاج مادة جديدة تمتلك

خصائص متطورة لا تتوافر في المواد الأصلية منفردة وقد أثبتت هذه المواد كفاءتها في العديد من المجالات الصناعية والمعمارية نتيجة قدرتها على الجمع بين القوة والمتانة والمرونة والقيمة الجمالية في آن واحد⁽²⁾.

وتُعد المواد المهجنة أحد المخرجات المهمة للتطور العلمي في مجال المواد المتقدمة، إذ أتاحت للمصممين والباحثين إمكانية تطوير خامات جديدة تستجيب للمتطلبات البيئية والوظيفية والجمالية المعاصرة كما ساهمت في توفير حلول مبتكرة لمشكلات الاستهلاك المفرط للموارد الطبيعية من خلال إعادة توظيف المخلفات وتحويلها إلى منتجات ذات قيمة مضافة⁽³⁾.

ويعتبر الزجاج المعاد تدويره من أكثر المواد التي حظيت باهتمام متزايد خلال السنوات الأخيرة، وذلك لما يتمتع به من خصائص فيزيائية وكيميائية مميزة، حيث يمكن إعادة تدويره مرات عديدة دون أن يفقد خصائصه الأساسية، كما يتميز بالشفافية والاستقرار الكيميائي ومقاومة الرطوبة والتآكل وسهولة التشكيل، الأمر الذي يجعله مادة مناسبة للدخول في تركيب العديد من المواد المهجنة المستخدمة في التصميم الداخلي⁽⁴⁾.

وقد أدى التوسع في استخدام الزجاج المعاد تدويره إلى ظهور العديد من التطبيقات التي تعتمد على دمجها مع مواد أخرى مثل الراتنج والبوليمرات والألياف الطبيعية والخرسانة، بهدف إنتاج خامات جديدة تجمع بين الخصائص البيئية والوظيفية والجمالية، وأصبحت هذه المواد تمثل أحد الاتجاهات الواعدة في تطوير عناصر التصميم الداخلي المستدام وتحسين جودة البيئة الداخلية للمباني⁽⁵⁾.

كما أن التصميم الداخلي المعاصر لم يعد يقتصر على الجوانب الجمالية فقط، بل أصبح يهتم بتوفير بيئات داخلية صحية ومستدامة تحقق الراحة النفسية والبصرية والوظيفية للمستخدم ، ومن هنا ظهرت الحاجة إلى البحث عن مواد مبتكرة تمتلك القدرة على تحقيق هذه الأهداف مع المحافظة على الموارد الطبيعية وتقليل التأثيرات البيئية السلبية⁽⁶⁾ .

وتساهم المواد المهجنة الناتجة من الزجاج المعاد تدويره في تحقيق هذا التوجه من خلال توفير خامات تمتلك خصائص متعددة، فهي تساعد على تقليل كميات المخلفات الزجاجية المتراكمة، وتدعم مبادئ الاقتصاد الدائري، كما توفر إمكانيات تصميمية واسعة تسمح بإنتاج عناصر داخلية ذات طابع جمالي ووظيفي متميز.⁽⁷⁾

وتزداد أهمية هذا الموضوع في ظل التوجه العالمي نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة التي أكدت على ضرورة تطوير أنماط إنتاج واستهلاك أكثر كفاءة واستدامة، وتشجيع إعادة استخدام الموارد وإعادة تدوير المخلفات باعتبارها أحد أهم الحلول لمواجهة التحديات البيئية المعاصرة⁽⁸⁾ .

وبناءً على ما سبق، يسعى هذا البحث إلى دراسة المواد المهجنة الناتجة من الزجاج المعاد تدويره وتحليل خصائصها الفيزيائية والبيئية والجمالية، مع التعرف على إمكانيات توظيفها في التصميم الداخلي المستدام، وصولاً إلى إنتاج نموذج تطبيقي يوضح مدى إمكانية الاستفادة من هذه المواد في تطوير خامات تصميمية جديدة تدعم الاستدامة وتحسن جودة البيئة الداخلية⁽⁹⁾ .

مشكلة البحث

على الرغم من توافر كميات كبيرة من المخلفات الزجاجية القابلة لإعادة التدوير، وما يمتلكه الزجاج من خصائص تؤهله للدخول في إنتاج مواد متقدمة، إلا أن الاستفادة منه في إنتاج المواد المهجنة المستخدمة في التصميم الداخلي ما تزال محدودة، خاصة على المستوى المحلي، الأمر الذي يقلل من فرص الاستفادة من إمكانياته البيئية والجمالية والوظيفية.

ومن هنا يتمثل التساؤل الرئيسي للبحث في:

ما مدى إمكانية توظيف الزجاج المعاد تدويره في إنتاج مواد مهجنة مستدامة يمكن استخدامها في التصميم الداخلي وتحقيق خصائص وظيفية وجمالية وبيئية متطورة؟

فرضية البحث

يفترض البحث أن دمج الزجاج المعاد تدويره مع مواد أخرى مثل الراتنج أو البوليمرات أو الألياف الطبيعية يساهم في إنتاج مواد مهجنة تمتلك خصائص وظيفية وجمالية وبيئية متطورة، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في التصميم الداخلي المستدام.

أهداف البحث

- 1 التعرف على مفهوم المواد المهجنة وخصائصها الأساسية.
- 2 دراسة إمكانيات الزجاج المعاد تدويره كمكون رئيسي في المواد المهجنة.
- 3 تقييم دور المواد المهجنة في دعم الاستدامة وتحسين جودة البيئة الداخلية.
- 4 انتاج نموذج تطبيقي لمادة مهجنة تعتمد على الزجاج المعاد تدويره وتحليل خصائصها.

أهمية البحث

- 1 ابراز أهمية المواد المهجنة كأحد الاتجاهات الحديثة في علوم المواد والتصميم الداخلي.
- 2 لاستفادة من المخلفات الزجاجية وتحويلها إلى خامات ذات قيمة وظيفية وجمالية.
- 3 دعم مفاهيم الاستدامة البيئية والاقتصاد الدائري داخل التصميم الداخلي.
- 4 تطوير حلول تصميمية مبتكرة تعتمد على مواد صديقة للبيئة

منهجية البحث

يعتمد البحث على:

المنهج الوصفي التحليلي

من خلال دراسة الأدبيات العلمية المتعلقة بالمواد المهجنة والزجاج المعاد تدويره وتحليل خصائصها وتطبيقاتها المختلفة في التصميم الداخلي.

المنهج التجريبي

من خلال تنفيذ تجربة تطبيقية لإنتاج مادة مهجنة باستخدام الزجاج المعاد تدويره ودراسة خصائصها وإمكانية توظيفها داخل الفراغات الداخلية.

حدود البحث

الحدود الموضوعية

دراسة المواد المهجنة الناتجة من الزجاج المعاد تدويره وتطبيقاتها في التصميم الداخلي المستدام.

الحدود المكانية

تقتصر الدراسة على البيئة المحلية بمدينة طرابلس والاستفادة من المخلفات الزجاجية المتوافرة فيها.
الحدود الزمنية

تم إجراء الدراسة خلال العام الدراسي 2026.

مصطلحات البحث

المواد المهجنة :

تعرف المواد المهجنة بأنها مواد يتم إنتاجها من دمج مادتين أو أكثر تختلفان في التركيب الفيزيائي أو الكيميائي بهدف الحصول على مادة جديدة ذات خصائص محسنة تتفوق على خصائص المواد الأصلية المكونة لها⁽¹⁰⁾ .

الزجاج المعاد تدويره:

هو الزجاج الناتج عن جمع وفرز وتنظيف المخلفات الزجاجية ثم إعادة معالجتها أو صهرها أو استخدامها في إنتاج مواد ومنتجات جديدة دون فقدان خصائصها الأساسية⁽¹¹⁾ .
الاستدامة البيئية:

هي تلبية احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، من خلال الاستخدام الرشيد للموارد وتقليل التأثيرات البيئية السلبية⁽¹²⁾ .
الاقتصاد الدائري

هو نظام اقتصادي يعتمد على إعادة الاستخدام وإعادة التصنيع وإعادة التدوير بهدف تقليل النفايات وتعظيم الاستفادة من الموارد المتاحة⁽¹³⁾ .

الدراسات السابقة

الدراسة الأولى

J Kibert, Charles (2016) (Sustainable Construction: Green Buildin)⁽¹⁴⁾

Design and Delivery

هدفت الدراسة إلى إبراز دور المواد المستدامة والمعاد تدويرها في تحقيق الاستدامة البيئية داخل قطاع البناء والتصميم. وركزت على أهمية إعادة استخدام المخلفات الصناعية وتقليل استنزاف الموارد الطبيعية، كما أوضحت أن الزجاج يعد من أكثر المواد القابلة لإعادة التدوير دون فقدان خصائصه الأساسية، وأشارت الدراسة إلى أن توظيف المواد المعاد تدويرها يسهم في خفض استهلاك الطاقة وتقليل الانبعاثات

الكربونية وتحسين الأداء البيئي للمباني، كما أكدت على أهمية الاقتصاد الدائري كأحد المداخل الرئيسية لتحقيق التنمية المستدامة في العمارة المعاصرة.

أوجه التشابه

اتفقت الدراسة مع دراستي في الاهتمام بالاستدامة البيئية.

اتفقت الدراسة مع دراستي في الاستفادة من الزجاج المعاد تدويره.

اتفقت الدراسة مع دراستي في توظيف المواد المستدامة في التصميم والعمارة.

أوجه الاختلاف

اختلفت الدراسة مع دراستي بانها ركزت على الاستدامة في البناء بشكل عام.

الدراسة الثانية

(15) . (Materials and Design) (2014) . Ashby, M. & Johnson, K

تناولت الدراسة العلاقة بين علوم المواد والتصميم، وأوضحت أن اختيار المادة يعد أحد أهم العوامل المؤثرة في نجاح العملية التصميمية كما ركزت على المواد المتقدمة والمواد المهجنة باعتبارها اتجاهاً حديثاً في تطوير الخامات المستخدمة في العمارة والتصميم الداخلي وأشارت الدراسة إلى أن دمج أكثر من مادة في تركيب واحد يؤدي إلى تحسين الخصائص الميكانيكية والحرارية والبصرية للمادة الناتجة، كما أكدت أن الزجاج من المواد التي تمتلك إمكانيات كبيرة للدخول في إنتاج المواد المهجنة ذات القيمة الوظيفية والجمالية العالية

أوجه التشابه

اتفقت هذه الدراسة في دراسة المواد المهجنة.

اتفقت هذه الدراسة في التركيز على الزجاج كمكون مادي مهم.

اتفقت هذه الدراسة في الاهتمام بالخصائص الجمالية والوظيفية للمواد.

أوجه الاختلاف

اختلفت هذه الدراسة بانها تناولت الدراسة علوم المواد بصورة عامة.

يختص البحث الحالي بالمواد المهجنة المنتجة من الزجاج المعاد تدويره وتطبيقاتها الداخلية.

الدراسة الثالثة

حسين، ريهام محمد (2019) (تدوير المخلفات كمدخل لتحقيق الاستدامة البيئية والهوية المعمارية) (16) هدفت الدراسة إلى توضيح دور إعادة تدوير المخلفات في دعم الاستدامة البيئية وتحقيق هوية تصميمية ومعمارية معاصرة، وتناولت عدداً من المواد القابلة لإعادة التدوير مثل الزجاج والبلاستيك والمعادن والأخشاب، موضحة أثرها في تقليل النفايات وتحسين كفاءة استغلال الموارد الطبيعية كما أكدت الدراسة أن المواد المعاد تدويرها يمكن أن تتحول إلى خامات تصميمية ذات قيمة جمالية ووظيفية مرتفعة، وخلصت إلى أن إعادة التدوير تمثل أحد أهم الحلول البيئية والاقتصادية لتحقيق التنمية المستدامة في مجالات العمارة والتصميم الداخلي.

أوجه التشابه

اتفقت هذه الدراسة في الاعتماد على إعادة تدوير المخلفات.

اتفقت هذه الدراسة في دعم الاستدامة البيئية.

اتفقت هذه الدراسة في تطوير خامات جديدة للتصميم الداخلي.

أوجه الاختلاف

اختلفت هذه الدراسة مع دراستنا بأنها تناولت المخلفات المعاد تدويرها بشكل عام وليس الزجاج بشكل خاص.

مناقشة الدراسات السابقة :

من خلال استعراض الدراسات السابقة يتضح وجود اهتمام متزايد بتوظيف المواد المعاد تدويرها في مجالات العمارة والتصميم الداخلي لتحقيق الاستدامة البيئية وتقليل استنزاف الموارد الطبيعية، كما أظهرت الدراسات أهمية الزجاج المعاد تدويره وإمكاناته الكبيرة في تطوير مواد جديدة ذات خصائص وظيفية وجمالية متقدمة، إلا أن معظم الدراسات تناولت إعادة التدوير أو المواد المستدامة بصورة عامة، بينما يركز البحث الحالي على دراسة المواد المهجنة الناتجة من الزجاج المعاد تدويره وتحليل خصائصها وإمكانية توظيفها كخامات مبتكرة في التصميم الداخلي المستدام، وهو ما يمثل جانباً بحثياً يحتاج إلى مزيد من الدراسة والتطبيق. (17)

الاطار النظري

تمهيد

يشهد العالم في الوقت الحاضر اهتماماً متزايداً بقضايا الاستدامة البيئية وترشيد استهلاك الموارد الطبيعية، الأمر الذي انعكس بصورة مباشرة على مجالات العمارة والتصميم الداخلي ، وقد أدى هذا التوجه إلى البحث عن خامات جديدة تجمع بين الكفاءة الوظيفية والقيمة الجمالية والبعد البيئي، ومن أبرز هذه الخامات المواد المهجنة التي تعتمد على دمج مادتين أو أكثر للحصول على مادة جديدة ذات خصائص متطورة، ويُعد الزجاج المعاد تدويره من المواد الواعدة في هذا المجال لما يمتلكه من خصائص بصرية وميكانيكية وإمكانات تشكيلية متنوعة، كما أن إعادة تدويره تسهم في تقليل المخلفات والمحافظة على الموارد الطبيعية ودعم مبادئ الاقتصاد الدائري ، ومن هذا المنطلق يركز الإطار النظري على دراسة مفهوم المواد المهجنة وخصائصها وأنواعها، وتحليل إمكانيات توظيف الزجاج المعاد تدويره في إنتاج خامات مبتكرة تخدم التصميم الداخلي المعاصر كما يتناول التطبيقات المختلفة لهذه المواد ودورها في تحقيق الاستدامة البيئية والارتقاء بالقيمة الجمالية والوظيفية للفراغات الداخلية

مفهوم المواد المهجنة:

تُعرف المواد المهجنة بأنها مواد جديدة يتم إنتاجها من دمج مادتين أو أكثر تختلفان في التركيب والخواص الفيزيائية أو الكيميائية، بهدف الحصول على مادة تمتلك خصائص أفضل من خصائص كل مادة منفردة، سواء من حيث القوة أو المتانة أو الجماليات أو الاستدامة البيئية (18) وتعتمد فكرة التهجين على تحقيق تكامل بين المواد المختلفة، بحيث يسهم كل مكون في تحسين أداء المنتج النهائي، وهو ما جعل المواد المهجنة من أهم الاتجاهات الحديثة في التصميم الداخلي والعمارة المستدامة، خاصة مع التوجه نحو إعادة تدوير المخلفات الصناعية والزجاجية وتحويلها إلى مواد ذات قيمة وظيفية وجمالية (19)

كما تمتاز المواد المهجنة بإمكانية التحكم في اللون والملمس والشفافية والوزن ودرجة المقاومة، مما يمنح المصمم الداخلي مرونة كبيرة في تنفيذ حلول تصميمية مبتكرة تلئم مختلف البيئات الداخلية (20)

الخصائص الأساسية للمواد المهجنة:

تتميز المواد المهجنة بمجموعة من الخصائص التي جعلتها تدخل في العديد من التطبيقات المعمارية والتصميمية، ومن أهمها:

1 ارتفاع القوة الميكانيكية مقارنة بالمواد التقليدية.

2 انخفاض الوزن مع المحافظة على الصلابة

3 مقاومة الرطوبة والعوامل البيئية

4 إمكانية إعادة التدوير أكثر من مرة دون فقد كبير في الجودة

5 تنوع الخصائص الجمالية من حيث اللون والشفافية والملمس

6 تحسين كفاءة استهلاك الموارد الطبيعية وتقليل المخلفات الصناعية

وتشير الدراسات الحديثة إلى أن دمج الزجاج المعاد تدويره مع البوليمرات أو الراتنجات ينتج مواد مهجنة

تمتلك خصائص بصرية وميكانيكية عالية، تجعلها مناسبة للاستخدام في عناصر التصميم الداخلي

والأثاث والكسوات والزخارف المعمارية⁽²¹⁾

الزجاج المعاد تدويره وخصائصه:

يُعد الزجاج من أكثر المواد القابلة لإعادة التدوير دون فقد كبير في خواصه الفيزيائية، حيث يمكن إعادة

صهره وتشكيله مرات عديدة مع المحافظة على درجة عالية من الشفافية والمتانة كما يسهم تدوير الزجاج

في تقليل استهلاك المواد الخام والطاقة المستخدمة في صناعة الزجاج الجديد، بالإضافة إلى تقليل

الانبعاثات الكربونية الناتجة عن عمليات الإنتاج الصناعي⁽²²⁾



صور من تصوير الباحثة

استخدام الزجاج في تصنيع المواد المهجنة:

يُستخدم الزجاج المعاد تدويره بأشكال متعددة داخل المواد المهجنة، مثل:

مسحوق الزجاج، كسر الزجاج الملون، الزجاج المصهور، الياف الزجاج، رقائق الزجاج الخزفية.

وتؤدي هذه المكونات إلى تحسين الصلابة والشفافية والمقاومة الحرارية، إضافة إلى منح المنتج النهائي قيمة جمالية مميزة تتناسب تطبيقات التصميم الداخلي⁽²³⁾



صور من تصوير الباحثة

المواد المهجنة والاستدامة البيئية:

تعد المواد المهجنة أحد أهم تطبيقات الاقتصاد الدائري، حيث تعتمد على إعادة استخدام المخلفات الصناعية وتحويلها إلى منتجات جديدة، مما يقلل من النفايات ويحافظ على الموارد الطبيعية كما تسهم هذه المواد في

تقليل البصمة الكربونية، وتدعم الحصول على مبانٍ أكثر استدامة وفق المعايير البيئية العالمية⁽²⁴⁾
دور المواد المهجنة في تحسين البيئة الداخلية:

يسهم استخدام المواد المهجنة في تحسين جودة البيئة الداخلية من خلال

1 تحسين الإضاءة الطبيعية نتيجة الشفافية الجزئية للزجاج.

2 رفع جودة التشطيبات الداخلية.

3 تحسين الخصائص الصوتية والحرارية.

4 إضفاء قيمة جمالية مبتكرة.

5 تعزيز راحة المستخدم داخل الفراغات المعمارية⁽²⁵⁾

خطوات إنتاج النموذج التجريبي:

اعتمدت الدراسة التطبيقية على جمع مخلفات الزجاج، ثم تنظيفها وفرزها حسب اللون، يلي ذلك طحن جزء منها والاحتفاظ بجزء آخر كقطع زخرفية، ثم صهر الزجاج داخل قوالب مخصصة للحصول على عينات تجريبية، مع دمجها بمواد رابطة لإنتاج مادة مهجنة قابلة للاستخدام في التصميم الداخلي وتُعد العينات التي قمت بإنتاجها عملياً جزءاً من الدراسة التطبيقية، إذ توضح مراحل تطور المادة من الزجاج الخام إلى المنتج النهائي.⁽²⁶⁾



صوره من تصوير الباحثة

تحليل خصائص النموذج المنتج:

أظهرت النماذج المنتجة عدة خصائص مهمة، منها:

1 شفافية عالية.

2 تجانس لوني.

3 مقاومة جيدة للكسر مقارنة بالزجاج التقليدي.

4 قيمة جمالية مرتفعة.

5 إمكانية تشكيلها بأشكال مختلفة.

6 صلاحيتها للاستخدام في عناصر الديكور الداخلي، والأثاث، ووحدات الإضاءة، والكسوات الجدارية وتشير نتائج التجربة إلى أن الزجاج المعاد تدويره يمثل مادة أولية واعدة لإنتاج مواد مهجنة تجمع بين

البعد البيئي والوظيفي والجمالي، وهو ما يدعم فرضية البحث

مقارنة بين الزجاج التقليدي والزجاج المعاد تدويره

المعيار	زجاج تقليدي	زجاج معاد تدويره
المظهر الجمالي	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
المتانة والجودة	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
الاستدامة البيئية	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
التكلفة	أعلى	أقل
توفر المادة	متوسط	عالي
قابلية إعادة التدوير	نعم	نعم (متكرر)

جدول مقارنه بين الزجاج التقليدي والزجاج المعاد تدويره

المواد المهجنة المقترحة وتحليل لخصائصها وإمكانية استخدامها في التصميم الداخلي.

1 . مادة مهجنة من الزجاج المعاد تدويره والإيبوكسي الشفاف:

تعد المواد الناتجة من دمج الزجاج المعاد تدويره مع راتنج الإيبوكسي الشفاف من أكثر المواد المهجنة استخداماً في التطبيقات الداخلية المعاصرة، ويعمل الإيبوكسي كمادة رابطة تسمح بإظهار حبيبات الزجاج داخل الكتلة النهائية، مما يمنح المادة قيمة جمالية عالية نتيجة الشفافية والتأثيرات الضوئية الناتجة عن انعكاس الضوء على قطع الزجاج ، وتتميز هذه المادة بارتفاع مقاومتها للرطوبة وسهولة تشكيلها وإمكانية إنتاجها بألوان وأشكال متعددة، كما يمكن استخدامها في تصنيع أسطح الطاولات والكونترات والجداريات الزخرفية ووحدات الإضاءة والعناصر الفنية داخل الفراغات الداخلية.(26)



الخصائص المتوقعة:

1 شفافية ولمعان مرتفع.

2 مقاومة جيدة للرطوبة.

3 سهولة التشكيل.

4 قيمة جمالية عالية.

الاستخدامات المقترحة:

الطاولات، وحدات الإضاءة ،الجداريات الفنية ،أسطح

الاستقبال.(27)

صوره من تصميم الباحثة

2 مادة مهجنة من الزجاج المعاد تدويره والإسمنت الأبيض

يمكن إنتاج مادة مهجنة أخرى من خلال دمج مسحوق الزجاج المعاد تدويره مع الإسمنت الأبيض للحصول على خامة ذات مظهر حديث، ويساهم الإسمنت الأبيض في إظهار ألوان الزجاج بصورة أوضح مقارنة بالإسمنت التقليدي، كما يمنح المادة درجة عالية من الصلابة والمتانة وتتميز هذه المادة بإمكانية استخدامها

في الأرضيات والكسوات الجدارية والأسطح الأفقية داخل المباني، كما تمتلك قدرة جيدة على مقاومة الرطوبة

والعوامل البيئية المختلفة⁽²⁸⁾

الخصائص المتوقعة:

1 قوة ومتانة مرتفعة.

2 مقاومة للرطوبة.

3 عمر افتراضي طويل.

4 مظهر جمالي مميز.

الاستخدامات المقترحة:

الأرضيات، الكسوات الجدارية ، اسطح المطابخ ، الأثاث

الثابت⁽²⁹⁾



صوره من تصميم الباحثة

3- مادة مهجنة من الزجاج المعاد تدويره والجبس الأبيض

يمثل الجبس الأبيض أحد المواد المناسبة لإنتاج مواد مهجنة خفيفة الوزن عند دمجها مع حبيبات الزجاج المعاد تدويره، ويؤدي هذا الدمج إلى إنتاج خامات ذات مظهر زخرفي مميز يمكن استخدامها في العناصر غير الإنشائية داخل التصميم الداخلي كما يتميز الجبس بسهولة الصب والتشكيل وانخفاض تكلفته مقارنة

بالمواد الأخرى، مما يجعله مناسباً لإنتاج الوحدات

الزخرفية والأسقف المستعارة والعناصر الجدارية⁽³⁰⁾.

الخصائص المتوقعة:

1 خفة الوزن.

2 سهولة التشكيل.

3 مظهر زخرفي جيد.

4 تكلفة اقتصادية قليلة

الاستخدامات المقترحة

الأسقف المستعارة، القوالب الزخرفية ، الألواح الجدارية،

عناصر الديكور⁽³¹⁾



صوره من تصميم الباحثة

مادة مهجنة من الزجاج المعاد تدويره والبوليمر الحيوي

تعد البوليمرات الحيوية من المواد الصديقة للبيئة التي يمكن دمجها مع الزجاج المعاد تدويره لإنتاج مادة مهجنة مستدامة، وتتميز هذه المادة بخفة الوزن وإمكانية تشكيلها بأشكال متنوعة مع المحافظة على خصائص بيئية جيدة ، كما تسمح البوليمرات الحيوية بإنتاج خامات معاصرة تتوافق مع الاتجاهات الحديثة في التصميم المستدام، وتستخدم بشكل خاص في التطبيقات الداخلية غير الإنشائية⁽³²⁾



الخصائص المتوقعة:

1 مرونة جيدة.

2 خفة الوزن.

3 مقاومة للرطوبة.

4 صديقة للبيئة.

الاستخدامات المقترحة

الفواصل الداخلية ، الألواح الزخرفية ،

وحدات العرض ، العناصر التشكيلية⁽³³⁾

صوره من تصميم الباحثة

5 مادة مهجنة من الزجاج المعاد تدويره والطين الحراري

يمكن دمج الزجاج المعاد تدويره مع الطين الحراري لإنتاج خامات خزفية مهجنة تجمع بين خصائص السيراميك التقليدي والخصائص البصرية للزجاج، وعند الحرق داخل الأفران تتداخل حبيبات الزجاج مع الطين لتكوين أسطح ذات تأثيرات لونية ومللمسية مميزة وتعد هذه المادة مناسبة لإنتاج العناصر الفنية والكسوات الزخرفية ووحدات الإضاءة ذات الطابع البيئي والحرفي⁽³⁴⁾.



الخصائص المتوقعة:

1 مقاومة للحرارة.

2 مظهر طبيعي.

3 تنوع لوني ومللمسي.

4 استقرار طويل الأمد.

الاستخدامات المقترحة:

البلاطات الزخرفية، وحدات الإضاءة، الفواصل المفرغة ،

القطع الفنية⁽³⁵⁾

صور من تصميم الباحثة

الخصائص الفيزيائية للمواد المهجنة الناتجة من الزجاج المعاد تدويره

تتميز المواد المهجنة الناتجة من دمج الزجاج المعاد تدويره مع مواد أخرى بمجموعة من الخصائص الفيزيائية التي تجعلها قادرة على المنافسة مع العديد من المواد التقليدية المستخدمة في التصميم الداخلي. وتختلف هذه الخصائص باختلاف نوع المادة الرابطة ونسب الخلط المستخدمة، إلا أن معظم المواد المهجنة تشترك في عدد من المميزات الأساسية. (36)

1 الصلابة والمتانة

تكتسب المواد المهجنة قدراً كبيراً من الصلابة نتيجة وجود حبيبات الزجاج داخل التركيب البنائي للمادة، حيث يعمل الزجاج كمادة مقاومة للضغط والتآكل، وتزداد هذه الخاصية بشكل واضح عند دمج الزجاج مع الإسمنت أو الراتنجات الصناعية، مما يساهم في إنتاج خامات ذات قدرة عالية على تحمل الاستخدام اليومي داخل الفراغات الداخلية. (37)

2 مقاومة الرطوبة

تعد مقاومة الرطوبة من أهم الخصائص التي تتميز بها المواد المهجنة المحتوية على الزجاج، وذلك بسبب الطبيعة غير المسامية للزجاج، وتساعد هذه الخاصية على حماية المادة من التلف والتشوه عند استخدامها في البيئات الرطبة مثل المطابخ والحمامات وبعض الفراغات العامة. (38)

3 الاستقرار الكيميائي

يتميز الزجاج باستقرار كيميائي مرتفع يجعله غير متفاعل مع معظم المواد المحيطة به، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على المادة المهجنة ويزيد من عمرها الافتراضي ويقلل من احتمالات التدهور الناتج عن العوامل

البيئية المختلفة: (39)

5 الخصائص الضوئية

تمنح حبيبات الزجاج المواد المهجنة خصائص بصرية مميزة مثل الانعكاس والانكسار والنفوذ الجزئي للضوء، مما يضيف بعداً جمالياً ووظيفياً للخامة ويساعد على إنتاج تأثيرات ضوئية متنوعة داخل الفراغ الداخلي. (40)

الخصائص البيئية للمواد المهجنة:

أصبح الجانب البيئي من أهم المعايير التي تؤخذ بعين الاعتبار عند اختيار المواد المستخدمة في التصميم الداخلي، وتساهم المواد المهجنة الناتجة من الزجاج المعاد تدويره في تحقيق العديد من الأهداف البيئية المرتبطة بالاستدامة وإدارة الموارد.

1 تقليل النفايات الصلبة:

تساعد عملية إعادة تدوير الزجاج وتحويله إلى مواد مهجنة على تقليل كميات المخلفات التي يتم التخلص منها في مكبات النفايات، الأمر الذي يساهم في الحد من التلوث البيئي وتحسين إدارة المخلفات.

2 المحافظة على الموارد الطبيعية:

يؤدي استخدام الزجاج المعاد تدويره إلى تقليل الحاجة إلى استخراج المواد الخام الجديدة المستخدمة في صناعة الزجاج التقليدي، مما يساهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية وتقليل استنزافها

3 خفض استهلاك الطاقة:

تتطلب إعادة تدوير الزجاج طاقة أقل مقارنة بإنتاج الزجاج من المواد الخام الأولية، الأمر الذي ينعكس على تقليل استهلاك الطاقة وتقليل الانبعاثات الناتجة عن العمليات الصناعية.

4 دعم الاقتصاد الدائري:

تمثل المواد المهجنة نموذجاً عملياً لمبادئ الاقتصاد الدائري الذي يعتمد على إعادة الاستخدام وإعادة التدوير بدلاً من التخلص من المواد بعد انتهاء دورة حياتها الأولى.⁽⁴¹⁾

الخصائص الجمالية للمواد المهجنة:

لا تقتصر أهمية المواد المهجنة على خصائصها الوظيفية والبيئية فحسب، بل تمتد لتشمل الجوانب الجمالية التي تعد من الركائز الأساسية في التصميم الداخلي.

1 التنوع اللوني:

يمكن التحكم في ألوان المواد المهجنة من خلال اختيار نوع الزجاج المستخدم أو إضافة أصباغ معينة أثناء عملية التصنيع، مما يسمح بإنتاج طيف واسع من الألوان والتأثيرات البصرية المختلفة

2 تنوع الملامس:

تسمح تقنيات التهجين المختلفة بإنتاج أسطح ذات ملامس متعددة تتراوح بين الأسطح الناعمة اللامعة والأسطح الخشنة ذات الطابع الطبيعي، وهو ما يوفر مرونة كبيرة أمام المصمم الداخلي.

3 التأثيرات الضوئية

تتميز المواد المحتوية على الزجاج بقدرتها على التفاعل مع الضوء الطبيعي والصناعي، مما يخلق تأثيرات بصرية متغيرة تضيف حيوية وجاذبية للفراغات الداخلية.

4 الطابع المعاصر:

تنسجم المواد المهجنة مع الاتجاهات الحديثة في التصميم الداخلي التي تميل إلى استخدام الخامات المبتكرة

والمستدامة ذات القيم الجمالية المرتبطة بالتكنولوجيا والوعي البيئي. (42)



صوره من تصميم الباحثه

تطبيقات المواد المهجنة في التصميم الداخلي:

أتاحت الخصائص المتنوعة للمواد المهجنة إمكانية استخدامها في العديد من عناصر التصميم الداخلي، سواء لأغراض وظيفية أو جمالية أو بيئية.

1 الأسطح الأفقية

تستخدم المواد المهجنة في تصنيع الطاولات وأسطح الاستقبال وأسطح المطابخ، حيث توفر مظهراً جمالياً مميزاً مع قدرة جيدة على مقاومة الاستخدام اليومي.

2 الكسوات الجدارية:

يمكن استخدام الألواح المهجنة كبديل للكسوات التقليدية، حيث تضيف قيمةً جماليةً وتشكيليةً متنوعة مع المحافظة على متطلبات الاستدامة.

3 الفواصل الداخلية:

تستخدم بعض المواد المهجنة الشفافة أو شبه الشفافة في تصنيع الفواصل الداخلية التي تسمح بمرور الضوء

مع الحفاظ على الفصل البصري بين الفراغات.

4 وحدات الإضاءة:

يساهم دمج الزجاج مع الراتنجات أو المواد الخزفية في إنتاج وحدات إضاءة ذات تأثيرات ضوئية مبتكرة تتناسب مع الفراغات السكنية والتجارية المختلفة.

5 العناصر الخزفية والأثاث:

يمكن توظيف المواد المهجنة في إنتاج قطع أثاث وعناصر زخرفية تجمع بين القيمة الفنية والأداء الوظيفي والاستدامة البيئية. (43)



صور من تصميم وتصوير الباحثه تطبيقات الزجاج المعاد تدويره في التصميم الداخلي

الخلاصة:

تناول هذا الفصل مفهوم المواد المهجنة وتطورها وخصائصها المختلفة، كما استعرض عدداً من المقترحات لإنتاج مواد مهجنة من الزجاج المعاد تدويره وإمكانية توظيفها في التصميم الداخلي. وأظهرت الدراسة النظرية أن هذه المواد تمتلك إمكانات كبيرة من الناحية الفيزيائية والبيئية والجمالية، مما يجعلها من البدائل الواعدة للمواد التقليدية ويسهم في دعم توجهات الاستدامة داخل البيئة المبنية.

الدراسة التطبيقية:

تمهيد

بعد استعراض الجوانب النظرية المتعلقة بالمواد المهجنة وخصائصها وإمكانية إنتاجها من الزجاج المعاد تدويره، يأتي الجانب التطبيقي للتحقق من إمكانية تحويل هذه الأفكار النظرية إلى خامات فعلية قابلة للاستخدام في التصميم الداخلي ، وتستند الدراسة التطبيقية إلى إنتاج مجموعة من النماذج المقترحة للمواد المهجنة باستخدام الزجاج المعاد تدويره ودمجه مع خامات مختلفة بهدف تقييم خصائصها الوظيفية والجمالية وإمكانية توظيفها داخل الفراغات الداخلية.

الدراسة التطبيقية:

اعتمدت الدراسة التطبيقية على تنفيذ نماذج افتراضية لمواد مهجنة تعتمد على الزجاج المعاد تدويره باعتباره المادة الأساسية، مع دمج عدد من المواد الرابطة أو المضافة التي تختلف في خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

وتم اختيار خمسة نماذج تمثل أكثر المقترحات ملائمة للتطبيق في مجال التصميم الداخلي وهي:

الزجاج المعاد تدويره + الإيبوكسي الشفاف.

الزجاج المعاد تدويره + الإسمنت الأبيض.

الزجاج المعاد تدويره + الجبس الأبيض.

الزجاج المعاد تدويره + البوليستر الحيوي.

الزجاج المعاد تدويره + الطين الحراري.

المواد والأدوات المستخدمة:

المواد

1 مخلفات زجاجية معاد تدويرها.

2 راتنج إيبوكسي شفاف، اسمنت ابيض ، جبس ابيض ، بوليمر حيوى ، طين حرارى

الأدوات:

مطحنة زجاج، اوعيه خلط ، قوالب تشكيل ، أدوات قياس ، معدات تشطيب وصقل



صوره من تصميم الباحثه

مراحل إنتاج المادة المهجنة:

المرحلة الأولى: جمع وفرز الزجاج

تم جمع المخلفات الزجاجية وفرزها حسب اللون والنوع لضمان الحصول على مادة أولية مناسبة لعملية التجهين.

المرحلة الثانية: التنظيف

تم تنظيف الزجاج من الشوائب والأتربة والمواد العالقة لضمان جودة المنتج النهائي.

المرحلة الثالثة: الطحن

تم طحن الزجاج للحصول على أحجام حبيبية مختلفة تتناسب مع طبيعة المادة المهجنة المراد إنتاجها.

المرحلة الرابعة: الخلط

تم خلط حبيبات الزجاج مع المادة الرابطة وفق نسب مناسبة لكل نموذج.

المرحلة الخامسة: الصب والتشكيل

تم صب الخليط داخل قوالب مخصصة للحصول على الشكل المطلوب.

المرحلة السادسة: المعالجة والتشطيب

تمت معالجة العينات وتركها حتى تصل إلى درجة التصلب المطلوبة، ثم إجراء عمليات الصقل

والتشطيب النهائي.

الزجاج المعاد تدويره

بيانات الزجاج المعاد تدويره

المصدر	مخلفات زجاجية منزلية وصناعية
اللون	أخضر - أزرق - شفاف - متعدد الألوان
الشكل	شظايا - حبيبات - قطع
الحالة	صلبة - غير مسامية
الكثافة	2.4 - 2.6 جم/سم ³
الخصائص العامة	شفافية - صلابة عالية - مقاومة كيميائية قابل لإعادة التدوير 100%

1. زجاج معاد تدويره (شظايا)
شظايا زجاجية ذات أحجام مختلفة
بعد الفرز والتنظيف

2. زجاج بعد الصهر - قطن كبير
قطعة زجاجية ناتجة عن الصهر
ذات شفافية ولعان مرتفع

3. زجاج بعد الصهر - قرص
قرص زجاجي مصهر وملمس
ناعم مع فقاعات هوائية بسيطة

4. أشكال زجاجية مصهرة
أشكال متنوعة من الزجاج المصهور
بعد التشكيل اليدوي

صوره من تصميم وتصوير الباحثه



مخطط مراحل إنتاج المواد المهجنة من الزجاج المعاد تدويره صوره من تصميم الباحثة

النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها:

- 1 يمكن الاستفادة من الزجاج المعاد تدويره كمادة أساسية لإنتاج مواد مهجنة متعددة الاستخدامات.
- 2 تختلف خصائص المادة الناتجة تبعاً لنوع المادة المضافة ونسب الخلط المستخدمة.
- 3 تمتلك المواد المهجنة إمكانات كبيرة لتطوير خامات جديدة في التصميم الداخلي.

التوصيات

- 1 تشجيع استخدام المخلفات الزجاجية في الصناعات المرتبطة بالتصميم الداخلي.
- 2 دعم البحوث التطبيقية المتعلقة بالمواد المهجنة المستدامة.
- 3 الاستفادة من المواد المهجنة في تصنيع الأثاث والعناصر الزخرفية.
- 4 إدراج مفاهيم إعادة التدوير والمواد المستدامة ضمن مناهج التصميم الداخلي.

قائمة المراجع العربية

- 1 إبراهيم، هناء محمد (2021). التصميم الداخلي المستدام وعلاقته بالمواد المعاد تدويرها. القاهرة: دار الفكر العربي.
- 2 أبو زيد، أحمد محمد (2018). تكنولوجيا مواد البناء الحديثة. القاهرة: دار الكتب العلمية.
- 3 أشعل، محمد فتحي، والنجار، يوسف مصطفى (2020). "استغلال المخلفات في إنتاج مواد مستدامة للعمارة الداخلية". مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، العدد (22)، ص 115-136.
- 4 البسيوني، محمود (2016). الخامات في التصميم الداخلي. القاهرة: عالم الكتب.
- 5 حسين، ريهام محمد (2019). تدوير المخلفات كمدخل لتحقيق الاستدامة البيئية والهوية المعمارية. رسالة ماجستير، جامعة حلوان.
- 6 حسن، أحمد عبدالسلام (2020). الاستدامة في التصميم الداخلي. الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية.
- 7 خليل، محمد علي (2018). علم المواد وتطبيقاته في العمارة. القاهرة: دار الفجر.
- 8 عبدالسلام، أحمد محمود (2020). إعادة تدوير المخلفات ودورها في تحقيق الاستدامة البيئية. القاهرة: دار المعرفة.
- 9 عبدالله، خالد محمد (2018). الخامات الحديثة في التصميم الداخلي. الإسكندرية: دار التعليم الجامعي.
- 10 عثمان، عبدالعزيز محمد (2017). التصميم البيئي والعمارة المستدامة. القاهرة: دار الفكر.
- 11 مجمع اللغة العربية (2004). المعجم الوسيط. القاهرة: مكتبة الشروق الدولية.
- 12 محمد، سامي حسن (2019). الخامات المستدامة وتطبيقاتها في التصميم الداخلي. القاهرة: دار الكتب العلمية.
- 13 محمود، خالد إبراهيم (2021). إعادة تدوير الزجاج وتطبيقاته الصناعية. القاهرة: دار النهضة العربية.
- 14 يوسف، هدى عبدالرحيم (2022). "إعادة استخدام المخلفات الصناعية في التصميم الداخلي". مجلة الفنون التطبيقية، المجلد (14)، العدد (3).
- 15 ابن منظور (2003). لسان العرب. بيروت: دار صادر.
- 16 عبدالغني، فؤاد (2017). مواد البناء والبيئة. القاهرة: دار الجامعة الجديدة.
- 17 عطية، نبيل (2019). المواد المركبة في التصميم. القاهرة: دار الصفوة.
- 18 السيد، محمد إبراهيم (2020). الاقتصاد الدائري والاستدامة البيئية. القاهرة: دار الفكر.

- 19 زكي، أحمد (2018). إدارة المخلفات الصلبة وإعادة التدوير. القاهرة: دار العلوم.
- 20 شوقي، محمود (2022). تقنيات المواد الحديثة في العمارة الداخلية. القاهرة: دار النشر الجامعي.
- 21 عبدالعال، حسن (2019). التصميم الداخلي المستدام. القاهرة: دار الفكر العربي.
- 22 صالح، إبراهيم (2021). المواد الذكية وتطبيقاتها في التصميم. القاهرة: دار المعرفة.
- 23 عمران، يوسف (2020). الخامات البيئية في التصميم الداخلي. الإسكندرية: المكتب الجامعي الحديث.
- 24 فوزي، أحمد (2018). أساسيات علم المواد. القاهرة: دار الكتب الجامعية.
- 25 ناصر، خالد (2023). إعادة تدوير المواد الصلبة في العمارة والتصميم. القاهرة: دار الأكاديميون.
- قائمة المراجع الأجنبية
- 26 Addington, M. & Schodek, D. (2015). Smart Materials and Technologies for Architecture. Oxford: Architectural Press
- 27 Ashby, M. (2013). Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice. 2nd ed. Oxford: Elsevier
- 28 Ashby, M. & Johnson, K. (2014). Materials and Design. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann
- 29 Callister, W.D. & Rethwisch, D.G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction. 10th ed. Wiley
- 30 Ching, F.D.K. (2014). Interior Design Illustrated. 3rd ed. Wiley
- 31 European Commission (2020). Circular Economy Action Plan. Brussels
- 32 Glass Packaging Institute (2020). Glass Recycling Facts and Benefits
- 33 Kibert, C.J. (2016). Sustainable Construction. 4th ed. Wiley
- 34 OECD (2021). Global Material Resources Outlook to 2060. Paris
- 34 Pacheco-Torgal, F. et al. (2014). Eco-efficient Construction and Building Materials. Woodhead Publishing
- 35 Pallasmaa, J. (2012). The Eyes of the Skin. Wiley
- 36 Smith, W.F. & Hashemi, J. (2018). Foundations of Materials Science and Engineering. McGraw-Hill
- 37 Thompson, R. (2015). Sustainable Materials, Processes and Production. Thames & Hudson
- 38 UNEP (2021). Global Waste Management Outlook. Nairobi
- 39 United Nations (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York
- EPA (2022). Advancing Sustainable Materials Management. Washington

- CES EduPack (2020). Materials Database for Sustainable Design. Granta
40 .Design
41 .ISO 14021 (2016). Environmental Labels and Declarations. Geneva
42 .ISO 14040 (2006). Life Cycle Assessment. Geneva
43 .Jones, D. (2017). Architecture and Sustainability. Routledge
McDonough, W. & Braungart, M. (2002). Cradle to Cradle. North Point
45 .Press
46 .Salvo, L. (2018). Advanced Composite Materials. Springer
Shackelford, J.F. (2015). Introduction to Materials Science for Engineers.
.Pearson
47 .Worrell, E. & Reuter, M. (2014). Handbook of Recycling. Elsevier
48 .Yeang, K. (2011). EcoDesign. Wiley