مجلة جامعة بني وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية
Bani Waleed University Journal of Humanities and Applied Sciences
تصدر عن– جامعة بني وليد – ليبيا
Website:https://jhas-bwu.com/index.php/bwjhas/index
ISSN 3005-3900 الصفحات (48- 62) المجلد الحادي عشر – العدد الخامس – 2026

The Use of Translucent Concrete in Contemporary Interior Design: A Study in Balancing Blasibility and Visual Aesthetics

Jamilah Almahdi Ahmed Alttabib*
Department of Interior Design, Faculty of Arts, University of Sabratha, Sabratha, Libya
jamila@sabu.edu.ly

توظيف الخرسانة الشفافة في التصاميم الداخلية المعاصرة
دراسة في تحقيق التوازن بين المتانة والجمال البصري

جميلة المهدي أحمد الطبيب*
قسم التصميم الداخلي ، كلية الفنون ، جامعة صبراتة ، صبراتة ، ليبيا

Received: 16-05-2026	Accepted: 24-06-2026	Published: 08-07-2026
Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الملخص:
العمارة و التصميم الداخلي المعاصر شهدت تحولا" جذريا" نحو تبني المواد الذكية و المستدامة التي لا تقتصر وظيفتها على تلبية الاحتياجات الإنشائية الفنية فحسب بل تمتد لتصنع تجارب بصرية و معمارية فريدة تخدم الفراغ و مستخدميه على حد سواء.
الخرسانة الشفافة تمثل مادة مبتكرة وواعدة في مجال التصميم الداخلي المعاصر إذ تجمع بين الخصائص الإنشائية القوية للخرسانة وبين القدرة الفريدة على نقل الضوء عبر الألياف الضوئية المدمجة فيها.
إن إدماج الخرسانة الشفافة في مشاريع التصميم الداخلي يمثل نقلة نوعية في مجال التصميم المعماري ويعزز من قدرة المصممين على ابتكار حلول تجمع بين الجمال والاستدامة و التكنولوجيا.
و تعد الخرسانة الشفافة (الخرسانة الناقلة للضوء) واحدة من أبرز الثورات الابتكارية في هذا المجال، حيث نجحت في كسر الصورة الاعتيادية المرتبطة بالخرسانة التقليدية بوصفها مادة معتمة، ثقيلة، و باردة لتتحول إلى عنصر ديناميكي نابض بالحياة يجمع بين القوة الكتلية والنفاذية الشاعرية للضوء.
هذا البحث يهدف إلى دراسة آليات توظيف هذه المادة الابتكارية في الفراغات الداخلية المعاصرة، وبحث كيفية الوصول إلى الموازنة الدقيقة بين متانتها الميكانيكية العالية و قيمتها الجمالية، مع استعراض تأثيرها البيئي و النفسي داخل الأبنية.
و قد تبين من خلال الدراسة النظرية أن هذه المادة تسهم في :
1) تحسين جودة الإضاءة الطبيعية داخل المبنى مما يرفع من راحة المستخدمين و يعزز الأداء الوظيفي.
2) خلق بيئة داخلية عصرية و متميزة بصريا" تعكس هوية المؤسسة و تدعم صورتها أمام العملاء و الزوار.
3) دعم مفاهيم التصميم المستدام عبر تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية للإضاءة.
4) تحقيق توازن بين الشفافية و الخصوصية داخل بيئة العمل.
5) تحقيق التوازن المثالي بين الكفاءة الإنشائية (المتانة) والقيمة الجمالية (النفاذية الضوئية).

الكلمات الدالة: الخرسانة الشفافة ، التصميم الداخلي ، الألياف البصرية ، المتانة الإنشائية ، العمارة المستدامة.

Abstract

Contemporary architecture and interior design have undergone a radical transformation towards adopting smart and sustainable materials. These materials not only meet technical construction needs but also create unique visual and architectural experiences that benefit both the space and its users.

Transparent concrete represents an innovative and promising material in contemporary interior design. It combines the robust structural properties of concrete with the unique ability to transmit light through embedded optical fibers.

The integration of transparent concrete into interior design projects represents a qualitative leap in architectural design and enhances designers' ability to create solutions that combine beauty, sustainability, and technology.

Transparent concrete (light-transmitting concrete) is one of the most prominent innovative revolutions in this field. It has successfully broken the conventional image of traditional concrete as an opaque, heavy, and cold material, transforming it into a dynamic and vibrant element that combines massive strength with the poetic permeability of light. This research aims to study the mechanisms for employing this innovative material in contemporary interior spaces, exploring how to achieve a precise balance between its high mechanical durability and aesthetic value, while also examining its environmental and psychological impact within buildings.

The theoretical study revealed that this material contributes to:

1) Improving the quality of natural lighting within the building, thereby enhancing user comfort and functional performance.

2) Creating a modern and visually distinctive interior environment that reflects the organization's identity and reinforces its image to clients and visitors.

3) Supporting sustainable design principles by reducing electricity consumption for lighting.

4) Achieving a balance between transparency and privacy within the work environment.

5) Achieving an ideal balance between structural efficiency (durability) and aesthetic value (light transmittance).

Keywords: Transparent concrete, interior design, optical fibers, structural durability, sustainable architecture.

المقدمة :

شهد مجال التصميم الداخلي تحولاً كبيراً نحو التركيز على راحة المستخدم، لا سيما في بيئات العمل، بهدف تحسين الإنتاجية والتكيف مع المتطلبات المعاصرة. أصبح تصميم الفراغات يعتمد على معايير متقدمة تشمل الإضاءة الطبيعية، وجودة الهواء، والراحة البصرية. وفي هذا السياق، أتاحت الخرسانة الشفافة إدخال الضوء الطبيعي إلى أعماق الفراغات دون المساس بالخصوصية، مما يفتح آفاقاً جديدة لإبداع بيئات عمل عصرية تجمع بين الأداء الوظيفي العالي والجمال البصري.

تطورت مواد البناء تطوراً ملحوظاً في العقود الأخيرة جراء التقدم التكنولوجي المتسارع؛ إذ لم تعد تقتصر على أداء الوظيفة الإنشائية فحسب، بل أصبحت تسهم بشكل مباشر في تحقيق الجوانب الجمالية والبيئية في العمارة الحديثة. وتعد الخرسانة الشفافة من أبرز هذه المواد، حيث تمثل تطوراً نوعياً يجمع بين الصلابة والشفافية الضوئية.

ومن هذا المنطلق، تبرز أهمية هذه الدراسة التي تسعى إلى استكشاف إمكانية توظيف الخرسانة الشفافة في التصميم الداخلي، من خلال معرفة خصائصها وتطبيقاتها، وبيان أثرها في الجوانب الجمالية والوظيفية

والبيئية داخل الفراغات المعمارية. وتعد الخرسانة الشفافة من الابتكارات الحديثة التي تعتمد على دمج الألياف الضوئية داخل الكتلة الخرسانية، مما يسمح بمرور الضوء عبرها دون التأثير الكبير في خصائصها الميكانيكية، وهو ما يفتح آفاقاً جديدة في تصميم الفراغات الداخلية والخارجية على حد سواء.
كما تؤكد الاتجاهات الحديثة أهمية خلق بيئات عمل مرنة ومستدامة تعتمد على استخدام مواد وتقنيات تقلل من استهلاك الطاقة وتعزز جودة البيئة الداخلية، وهو ما يتماشى مع مفاهيم الاستدامة المعمارية المعاصرة. إن دمج التكنولوجيا البصرية الحديثة في خلطة الخرسانة يعد تحولاً فكرياً في فلسفة المواد؛ إذ لم يعد الأمان الهيكلي عائقاً أمام تدفق الضوء خلالها.

مشكلة البحث

يطرح هذا البحث إشكالية رئيسة تتلخص في السؤال الآتي :**كيف يمكن توظيف الخرسانة الشفافة داخل الفراغات المعاصرة لتحقيق معادلة متوازنة تجمع بين المتانة الإنشائية والجمال البصري؟** وذلك من خلال وضع المعايير التصميمية التي تحدد نسبة دمج الألياف البصرية داخل الخرسانة لتحديد كتلة خرسانية تسمح بنفاذ الضوء دون التأثير سلباً في متانتها الإنشائية.

أهمية البحث

تتركز أهمية البحث في النقاط الآتية:

- تسليط الضوء على مادة إنشائية مبتكرة قد تغير مفهوم التصميم الداخلي التقليدي.
- دعم التوجه نحو دمج التقنيات البصرية والضوئية الحديثة في الفراغات الداخلية.
- توفير قاعدة معرفية للباحثين والطلاب والممارسين في مجال التصميم الداخلي والعمارة.
- تقديم إطار وصفي تحليلي للمهندسين والمصممين الداخليين يوضح الحدود الآمنة لإنتاج هذا النوع من المواد واستخدامه.

أهداف البحث

يسعى البحث إلى تحقيق الأهداف الآتية:

1. دراسة الخصائص الجمالية والبصرية للخرسانة الشفافة.
2. دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة الشفافة.
3. عرض تطبيقات المادة واستخداماتها في الفراغات الداخلية (مثل: السلالم، والقواطع، والأثاث الإنشائي.(
4. وضع معايير تصميمية واضحة لتحقيق التوازن بين الكفاءة الإنشائية والجمال البصري.
5. تقديم توصيات عملية لتوظيف الخرسانة الشفافة في مشاريع التصميم الداخلي المستقبلية.

منهجية البحث

تعتمد هذه الدراسة على **المنهج الوصفي التحليلي،** والذي يعد من أكثر المناهج ملاءمة لدراسة الموضوعات المرتبطة بمواد البناء الحديثة وتطبيقاتها في التصميم الداخلي. يقوم هذا المنهج على وصف الظاهرة محل الدراسة وتحليلها اعتماداً على المعطيات النظرية والمصادر العلمية المتاحة والمبنية على تجارب ودراسات سابقة.
كما يعتمد البحث على البيانات الهندسية الموثقة عالمياً ومحلياً بهدف الوصول إلى فهم متكامل لدور الخرسانة الشفافة كعنصر تصميمي حديث يجمع بين المتانة الإنشائية والعنصر الجمالي للمساحات الداخلية، دون الاعتماد على تطبيق ميداني مباشر.

حدود الدراسة

الحدود الموضوعية :تركز الدراسة على توظيف الخرسانة الشفافة في التصميم الداخلي فقط دون التطرق إلى التفاصيل الإنشائية العميقة؛ إذ يقتصر البحث على دراسة العلاقة المتبادلة بين المتانة الإنشائية والأداء الجمالي والبصري.
الحدود الزمانية :يركز البحث على الاتجاهات التصميمية والأبحاث الهندسية الصادرة منذ اختراع هذا النوع من الخرسانة وحتى العقدين الأخيرين (منذ عام 1965 وحتى عام 2026).

الدراسات السابقة

تطرقت عدة دراسات أكاديمية إلى إمكانية استخدام الخرسانة الشفافة في العمارة والتصميم الداخلي، ومن أبرزها:

- دراسة هِي وآخرين (He et al., 2011) حول إنتاج الخرسانة الشفافة وأدائها، والتي عُرضت في أعمال المؤتمر الدولي السادس حول المواد الذكية وتكنولوجيا الهياكل. هدفت الدراسة إلى تطوير خرسانة شفافة باستخدام الألياف الضوئية البلاستيكية (POF) ودراسة أدائها، وأظهرت النتائج إمكانية نقل الضوء بكفاءة عبر الخرسانة مع المحافظة على خصائصها الميكانيكية.
- دراسة أهوجا ومسلم (Ahuja & Mosalam, 2017) التي ركزت على تقييم كفاءة الألواح الجدارية المصنوعة من الخرسانة الشفافة، وأثبتت النتائج قدرتها على خفض أحمال الإضاءة الصناعية بشكل ملحوظ في المباني التجارية.
- دراسة كوروغوندو وتشاندراسيكار (Kurugundu & Chandrasekhar, 2022) التي هدفت إلى تقييم تأثير استخدام أقطار مختلفة من الألياف البصرية في الخصائص الميكانيكية والبصرية للخرسانة الشفافة؛ حيث توصلت إلى أنه كلما زاد قطر الألياف زادت نفاذية الضوء وقلت متانة الخرسانة؛ لذا يعد اختيار القطر الصحيح للألياف جزءاً أساسياً من عملية التصميم الهندسي لضمان السلامة الإنشائية.
- دراسة تيواري وخانديلوال (Tiwari & Khandelwal, 2021) التي أُجريت كبحث عملي لمعرفة النسبة الحجمية المثالية للألياف البصرية في الخلطة الأسمنتية والتي تضمن نفاذ الضوء مع الحفاظ على متانة الخرسانة، وأثبتت النتائج أن زيادة حجم الألياف عن 5% تؤدي إلى تراجع مقاومة الضغط بسبب تكون الفراغات المجهرية.
- دراسة محمد وفهمي (2018) حول تطبيق الخرسانة الشفافة في العناصر المعمارية كالجدران والأسقف والبلاط، وأثبتت الدراسة إضفاء الخرسانة الشفافة قيمة جمالية وتأثيراً ضوئياً مميزاً في المساحات الداخلية.

مفهوم الخرسانة الشفافة وتطورها التاريخي

رغم أن الخرسانة الشفافة تبدو مادة مستقبلية حديثة، إلا أن جذور تكنولوجيا نفاذ الضوء عبر المواد الأسمنتية تعود تاريخياً إلى محاولات مبكرة؛ حيث أُسندت أول براءة اختراع لألواح جدارية شفافة تعتمد على مكونات نافذة للباحث جيمس هيل (James Hill) عام 1965. وتوالت الأبحاث حتى شهد عام 2001 القفزة الحقيقية لهذه التكنولوجيا حينما طرح المهندس المعماري آرون لوسونزي (Áron Losonczi) المفهوم التجاري الحديث للخرسانة الشفافة، ليتمكن في عام 2003 من إنتاج أول كتلة خرسانية نافذة للضوء أطلق عليها اسم "ليتراكون(LiTraCon) "، وذلك عبر دمج كميات من الألياف الزجاجية البصرية الدقيقة داخل خلطة خرسانية ناعمة. وقد شكل هذا الاكتشاف نقلة نوعية جمعت بين صلابة الخرسانة والشفافية الضوئية.

وفي عام 2010، طور كل من جويل أوسوريا وسيرجيو أومانيس (Osoria & Omanis, 2010) مادة خرسانية شفافة تتيح مرور 80% من الضوء وبوزن يقل بنسبة 30% عن الخرسانة العادية، من خلال مد الألياف بالتوازي بين السطحين الرئيسيين لكل كتلة خرسانية.

انتقل البحث بعد ذلك من التوجه الجمالي إلى تحقيق مزايا وظيفية وتوفير الطاقة؛ حيث أسهمت دراسات عام 2013 في تطوير المادة عبر دمج الألياف البصرية البلاستيكية المصنوعة من البولي أوليفين (POF) بنسب مختلفة، ودراسة الخواص الميكانيكية التي سجلت مقاومة ضغط بلغت 32.4 ميجاباسكال(MPa) ، وهي مقاومة تفي بالمتطلبات الإنشائية لبعض العناصر المعمارية.

ونظراً لأن الطرق التقليدية كانت معقدة وتستغرق وقتاً طويلاً في التصنيع، كشفت شركة بي واي دي(BYD Co., Ltd., 2015)عام 2015 عن عملية إنتاج الخرسانة الراتنجية الشفافة(RTMC) ، والتي تعتمد على حفر الخرسانة وهي في حالة شبه متصلبة، ثم صب الراتنج في الثقوب وتشكيله دفعة واحدة، مما اختصر وقت الإنتاج.

واستمراراً للبحوث الهندسية المنشورة حديثاً لتحديد التوازن الأمثل بين نفاذية الضوء والمقاومة الميكانيكية، أجرى كل من باتيل وآخرون (Patil et al., 2026) اختبارات على كتل خرسانية تحتوي على نسب مختلفة من ألياف(POF) ، وأظهرت النتائج أن نسبة ألياف بصرية تتراوح بين 4% و6% تحقق التوازن الأمثل المطلق بين مقاومة الضغط الميكانيكية ونفاذية الضوء.

المعايير التصميمية للخرسانة الشفافة

مكونات الخرسانة الشفافة:(POF)

تتكون الخرسانة الشفافة من العناصر الآتية:

خلطة خرسانية أسمنتية دقيقة :تتكون من أسمنت بورتلاندي وركام ناعم جداً لتقليل حجم الفراغات البينية.

ألياف ضوئية :ألياف بلاستيكية (POF) أو زجاجية مرتبة على شكل طبقات متوازية أو شبكية داخل القالب.

إضافات كيميائية :تُستخدم لتحسين قابلية التشغيل وزيادة التماسك بين الخرسانة والألياف.

التركيب الدقيق للمواد:

نوع الأسمنت :أسمنت بورتلاندي عالي الجودة.

نوع الركام :رمل ناعم جداً بحجم حبيبي أقل من (1 مم) للحصول على سطح ناعم وزيادة التماسك.

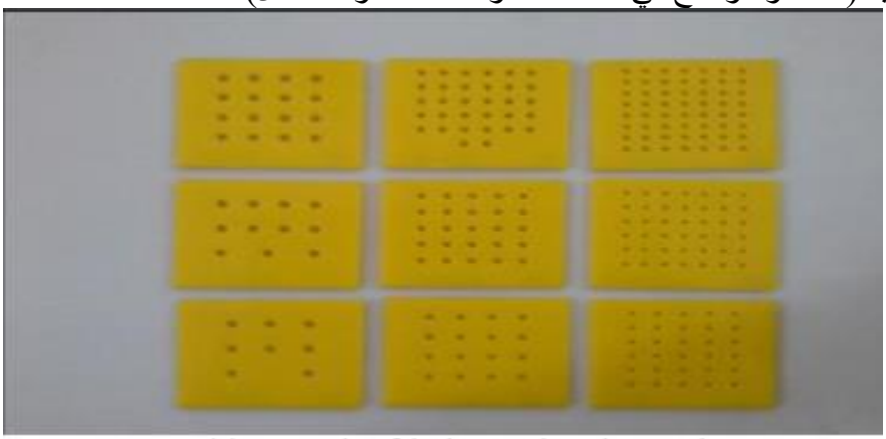
نوع الألياف الضوئية :ألياف بلاستيكية (POF) أو زجاجية مقاومة للحرارة والرطوبة بقطر يتراوح بين (2 - 4 مم).

نسبة الألياف الضوئية :تُشكل الألياف نسبة تتراوح بين 3% إلى 5% من الحجم الكلي للخرسانة، وهي نسبة كافية لتحقيق الشفافية المطلوبة دون التأثير سلباً في المتانة.

الإضافات الكيميائية :تشمل غبار السيليكا(Silica Fume) ، والرماد المتطاير(Fly Ash) ، ومؤجلات التصلب.

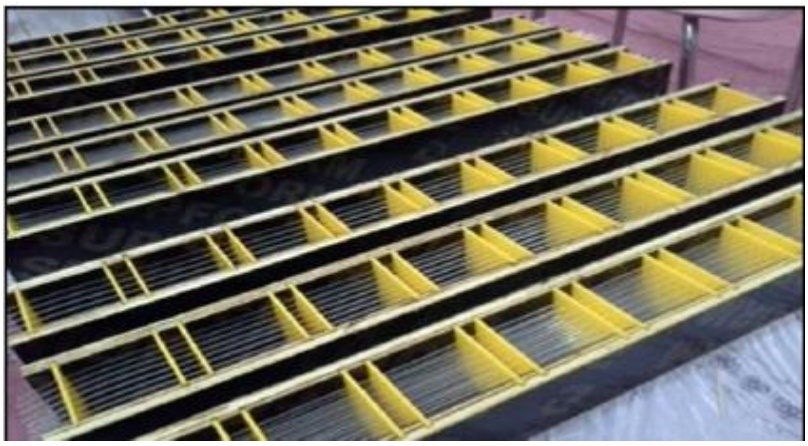
صنع قالب الخرسانة الشفافة وتجهيزه:

تبدأ عملية التصنيع بتجهيز الصفائح البلاستيكية؛ حيث تُمرر ألياف البولي أوليفين (POF) عبر ثقوب منتظمة في لوحين بلاستيكيين مثبتين على فتحات قالب خشبي أو فولاذي لضمان استقامة الألياف وتوازيها أثناء صب الخلطة الخرسانية (كما هو موضح في الشكل 1، والشكل 2، والشكل 3).



الصورة رقم (1) تبين الصفائح البلاستيكية

الصورة رقم (2) توضح تمرير الألياف البلاستيكية خلال الثقوب



الصورة رقم (3) تبين القوالب الخشبية بعد تثبيت الألياف الخشبية

مزيج الخرسانة يكون ناعم جدا" يتفاعل حتى مع كمية قليلة من الماء مما يجعلها لا تحتاج إلى الدمك وتعطي مقاومة أكبر لذا تبدو العجينة رطبة كالطين مما يساعد في تغلغل المزيج بين الألياف البصرية.
ثم تترك القوالب في مكانها لمدة أربعة أيام حتى تتصلب بعد ذلك يجب تلميع السطح .
ومن ثم تفك القوالب وتتم معالجتها وإجراء اختبار الضغط عليها كما هو موضح في الشكل (4)،(5).

الصورة رقم (4) تبين معالجة العينات بعد فك القوالب

الصورة رقم (5) تبين القوالب بعد اختبار الضغط

تتمة العمليات الإنشائية والخصائص العامة للخرسانة الشفافة

وبعد الوصول إلى الخصائص والمواصفات المرجوة، يُصنّع المنتج النهائي على شكل كتل أو ألواح مسبقة الصب لتُستعمل مباشرة في العناصر الإنشائية والمعمارية المختلفة.

الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والجمالية للخرسانة الشفافة

تُعرَّف الخرسانة الشفافة بأنها مادة مركبة حديثة تتكون من خرسانة دقيقة الحبيبات (Micro-concrete) وخيوط مستمرة من الألياف الضوئية المرتبة بنسق هندسي دقيق.

الخصائص الميكانيكية:

تتأثر مقاومة الضغط للخرسانة الشفافة بنسبة وحجم الألياف الضوئية المُدمجة فيها؛ إذ تشير الأبحاث الحديثة إلى أن إضافة الألياف بنسبة لا تتعدى 5% من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية لا يضعف مقاومة الخرسانة فحسب، بل قد يسهم في بعض الأحيان في تحسين مقاومة الشد والانحناء نتيجة عمل الألياف كمادة تسليح دقيقة.(Kurugundu & Chandrasekhar, 2022) (Micro-reinforcement)

مقاومة الضغط :(Compressive Strength) سجلت الأبحاث مقاومة تتراوح بين 38 إلى 44 ميجاباسكال (MPa) في الخرسانة التي يتراوح فيها حجم الألياف الضوئية من 2% إلى 4% من حجم الكتلة وبقطر ألياف يبلغ (1 مم)، بينما وصلت المقاومة إلى 48 ميجاباسكال عند استخدام ألياف بقطر (2 مم). وتتراجع مقاومة الضغط تدريجياً عند زيادة نسبة الألياف عن 5%؛ مما يجعل النسبة الأقل من 5% آمنة تماماً للاستخدام في العناصر الحاملة أو القواطع الداخلية الممتدة .(Kurugundu & Chandrasekhar, 2022) وفي اختبارات هندسية أخرى، سجلت العينات المكعبة لنفس حجم الألياف مقاومة ضغط بلغت 51.3 ميجاباسكال (محمد وفهمي، 2018).

الكثافة :(Density) تظل كثافة الخرسانة الشفافة قريبة من كثافة الخرسانة التقليدية؛ حيث تتراوح بين (2100 - 2400 كجم/م^3).

الخصائص الفيزيائية:

نفاذية الضوء :(Light Transmittance) ترتبط نفاذية الضوء بالحجم الكلي للألياف وطريقة توزيعها داخل الخلطة. تسمح المادة بنفاذ الضوء الطبيعي والاصطناعي دون نقل تفاصيل الصور أو الأجسام خلفها كلياً؛ مما يوفر توازناً بين الاستفادة من التوهج الضوئي والحفاظ على الخصوصية داخل الفراغات (Patil et al., 2026).

العزل الحراري والصوتي :تشكل الألياف الضوئية مسارات لنقل الضوء دون نقل الحرارة بشكل ملموس؛ مما يمنح الجدران المصنوعة من الخرسانة الشفافة معامل عزل حراري متميزاً مقارنة بالمساحات الزجاجية الكاملة.(Ahuja & Mosalam, 2017)

الخصائص الجمالية:

تسمح الخرسانة الشفافة بنفاذ الضوء الطبيعي أو الاصطناعي على شكل نقاط ضوئية متألقة وبنمط متميز؛ مما يخلق تأثيرات بصرية جذابة وديناميكية داخل الفراغات المعمارية.

مزايا الخرسانة الشفافة وعيوبها

أولاً: المزايا(Advantages)

تحسين العزل الحراري :تمتاز بموصلية حرارية منخفضة مقارنة بالزجاج، مما يساعد في توفير الطاقة داخل المبنى.(Ahuja & Mosalam, 2017)

الكفاءة الميكانيكية والضوئية :تجمع بين قوة الضغط العالية ونفاذية الضوء؛ مما يقلل من الاستهلاك الكهربائي المخصص للإضاءة النهارية.

المرونة المعمارية :تسهم في تخفيف الوزن الذاتي للعناصر الإنشائية مقارنة بالكتل الصماء المماثلة، وتوفر إمكانيات تصميمية مبتكرة.

سرعة التركيب :تُصنع غالباً في صورة كتل أو ألواح مسبقة الصب(Precast) ، مما يسرع عملية التنفيذ والتركيب في الموقع.

الاستدامة البيئية :تُسهم في تقليل البصمة الكربونية للمبنى من خلال الحد من استهلاك الطاقة الكهربائية للإضاءة والتكييف.(Ahuja & Mosalam, 2017)

ثانياً: العيوب والتحديات(Disadvantages & Limitations)

ارتفاع التكلفة :تُعد تكلفة الإنتاج مرتفعة جداً مقارنة بالخرسانة التقليدية نظراً لارتفاع سعر الألياف الضوئية.

الحاجة إلى عمالة ماهرة :تتطلب دقة عالية وعمالة مدربة أثناء عملية الصب والتثبيت لتجنب إزاحة الألياف الضوئية أو تلفها.

محدودية الاستخدام الإنشائي :غير مناسبة للعناصر الإنشائية الرئيسة شديدة الإجهاد (مثل الأعمدة الضخمة، والكمرات الرئيسة، والبلاطات السميكة) بسبب ضعفها النسبي مقارنة بالخرسانة المسلحة التقليدية.

الارتباط بوجود مصدر ضوئي :تعتمد فعاليتها البصرية والجمالية على وجود مصدر ضوئي خارجي (ضوء الشمس أو إضاءة اصطناعية موجهة)، وتفقد أثرها في الأماكن المظلمة تماماً (Ahuja & Mosalam, 2017).

مقارنة بين الخرسانة الشفافة والزجاج الإنشائي

نبذة عن الزجاج الإنشائي:(Structural Glass)

يُستخدم مصطلح "الزجاج الإنشائي" عندما يُوظَّف الزجاج كعنصر متحمل للأحمال الإنشائية أو جزء منها، وتتحدد القوة المطلوبة بناءً على موقعه والغرض الوظيفي منه. ومن التطبيقات الشائعة للزجاج الإنشائي: الأرضيات الزجاجية، والأسقف(Skylights) ، والدرابزينات الهيكلية.

وعند تنفيذ مشاريع تتضمن الزجاج الإنشائي، يجب تحديد الموصفات الفنية، وتقنيات التثبيت، وهيكل المبنى، للتأكد من السلامة. والغرض الأساسي منه هو دمج متانة التحمل الهندسية مع جمال الشفافية لإنشاء مبانٍ آمنة، ومضاءة طبيعياً، وذات أسلوب معاصر.(Tiwari & Khandelwal, 2021)

الخاصية و محور المقارنة	الخرسانة الشفافة	الزجاج الانشائي التقليدي
مقاومة الصدمات و الاحمال الكثلية	عالية جدا ،حيث تحتفظ بصلابة الخرسانة و تعمل كعنصر إنشائي أو جدار حامل للأحمال	متوسط إلى ضعيف حيث يعد مادة قابلة للشرخ و الكسر السريع تحت الصدمة
الخصوصية البصرية و سيكولوجية الفراغ	ممتازة حيث تنقل فقط الضوء دون كشف تفاصيل الاجسام خلفها	منخفض حيث ينقل الصورة الكاملة بتفاصيلها مالم يتم معالجتها كيميائيا بالصنفرة أو تلوين يحجب الضوء
مقاومة الخدوش السطحية و البصمات	قوية جدا نظرا لطبيعة السطح الاسمنتي الكثيف و المصقول الذي لا يظهر عليه العيوب أو البصمات بسهوله	ضعيف حيث يتأثر السطح بأقل احتكاك و تظهر عليه البصمات فورا مما يتطلب تنظيفا و صيانة مستمرة
الانطباع الحسي و الجمالي المعاصر	يجمع بين دفء و هيبة الكتلة الحجرية و شاعرية و نفاذية الضوء مما يكسر جمود الموار	يعطي انطباعا و يوحي بالفصل الجاف و الصلب بين الفراغات المعمارية
كفاءة الطاقة و نقل الحرارة	توفر الالياف ممرات الضوء دون نقل الحرارة بشكل ملموس مما يمنحها معامل عزل حراري متميز	ينقل الحرارة بشكل أكبر (الصوبة الزجاجية) مما يزيد من أحمال التكييف و التبريد داخل الفراغ الداخلي

الاتجاهات الحديثة في استخدام الخرسانة الشفافة في التصاميم الداخلية المعاصرة:

تتعدد استخدامات الخرسانة الشفافة بشكل واسع ومبتكر؛ حيث يمكن إنتاج قوالبها بأبعاد وأحجام متنوعة، مما يمنح المصممين حرية عالية وفضاءً واسعاً للإبداع عند العمل بهذه المادة. وتُوظَّف هذه القوالب في تطبيقات متعددة تبدأ من الجدران الداخلية والخارجية، وصولاً إلى وحدات الإضاءة والمصابيح، والنصب التذكارية، فضلاً عن إمكانية استخدامها في تشييد المباني والمنازل الموفرة للطاقة بهدف تقليل تكاليف استهلاك الكهرباء؛ وذلك عبر السماح بتدفق قدر أكبر من ضوء النهار الطبيعي إلى أجزاء الهيكل المعماري (Tiwari & Khandelwal, 2021).

القواطع والجدران الداخلية الفاصلة (Partition Walls & Dividers): يمتاز الجدار المصنوع من الخرسانة الشفافة بامتلاكه المتانة الإنشائية ذاتها التي تتمتع بها الخرسانة التقليدية، إلا أن دمج الألياف البصرية داخل خلطتها يتيح نفاذ الضوء ورؤية الظلال والأشكال الخارجية بأسلوب بصرٍي مميز (كما هو موضح في الشكل X). ومن أهم مزايا استخدام الخرسانة الشفافة في الجدران والقواطع الداخلية أنها مادة صديقة للبيئة، وتمنح المكان مَظهراً أستاتيكياً وجمالياً راقياً، فضلاً عن دورها الفعال في ترشيد استهلاك الطاقة (محمد وفهمي، 2018).

الصورة رقم (6) تبين جدار مصنوع من الخرسانة الشفافة

الأرضيات (Flooring): تُحدث الأرضيات المصنوعة من الخرسانة الشفافة تأثيرات بصرية خاصة واستثنائية داخل الفراغات المعمارية؛ إذ تظهر ألواح الأرضية في الظلام كألواح حجرية طبيعية شديدة الأناقة، وتمنح انطباعاً بصرياً فريداً يحاكي وجود ضوء كاشف يتبع حركة الناظر، حيث تزداد درجة سطوعه وتألقه كلما ارتفع زاوية نظر المستخدِم فوق اللوح الخرساني (محمد وفهمي، 2018).

الصورة رقم (7) تبين الخرسانة الشفافة في الأرضيات

الأسقف:

يمكن استخدام الخرسانة الشفافة في تصميم الأسقف لخلق تأثيرات متنوعة حيث يظهر السقف كسماء مرصعة بالنجوم مما يعطي الفراغ جمال بصري مذهل.

الصورة رقم (8) تبين الخرسانة الشفافة في الأسقف

السلالم والدرجات

تُسهم الكتل الخرسانية الشفافة المُدمجة في تصميم السلالم في تعزيز مستويات السلامة والأمان داخل الفراغات المعمارية؛ إذ تساعد على إنارة الدرجات أثناء انقطاع التيار الكهربائي ليلاً، مما يوفر قدراً كبيراً من الرؤية والأمان للمستخدمين. ويمكن تطبيق الخرسانة الشفافة في السلالم إما عبر الاعتماد على الإضاءة الموجهة من الأسفل، أو باستخدام مصابيح (LED) الخطية المدمجة في الهيكل الإنشائي للدرج (محمد وفهمي، 2018).

الصورة رقم (9) تبين الخرسانة الشفافة في السلالم بإضاءة من الأسفل

الصورة رقم (10) تبين الخرسانة الشفافة في السلالم مع مصابيح LED

الجدران الحاملة والواجهات الخارجية

تسمح الجدران والواجهات الخارجية المصنوعة من الخرسانة الشفافة بنفاذ ضوء الشمس المشتت إلى أعماق الفراغات الداخلية للمبنى خلال ساعات النهار؛ مما يحد بشكل مباشر من الاعتماد على الطاقة الكهربائية اللازمة للإضاءة الاصطناعية نهاراً. أمّا خلال ساعات الليل، فإن هذه الجدران تعكس الإضاءة الداخلية للمبنى نحو الخارج، حيث تنقل الألياف البصرية الضوء والظلال دون كشف التفاصيل الدقيقة للأجسام أو الأشخاص (بخلاف الزجاج التقليدي)، وهو ما يحافظ على مستوى عالٍ من الخصوصية. تسهم هذه الخاصية في تحويل المبنى من كتلة خرسانية صماء إلى هيكل معماري مَضيء وديناميكي، دون التأثير سلباً في مقاومة الخرسانة للضغط أو كفاءتها الإنشائية (محمد وفهمي، 2018).

الصورة رقم (11) تبين الخرسانة الشفافة في الجدران الخارجية

تأثير الخرسانة الشفافة في الفراغات الداخلية :

تنعكس الخصائص الضوئية والمعمارية للخرسانة الشفافة بشكل إيجابي ومباشر على جودة البيئة الداخلية للفراغات المعمارية، وتتمثل أبرز هذه التأثيرات في النقاط الآتية:

تحسين الراحة البصرية: تزيد من معدلات نفاذ الضوء الطبيعي إلى أعماق المساحات الداخلية، مما يقلل من التباين الحاد بين مناطق الظل والضوء، ويخفف بالتبعية من إجهاد العين والمرور بصدمات التباين الضوئي.

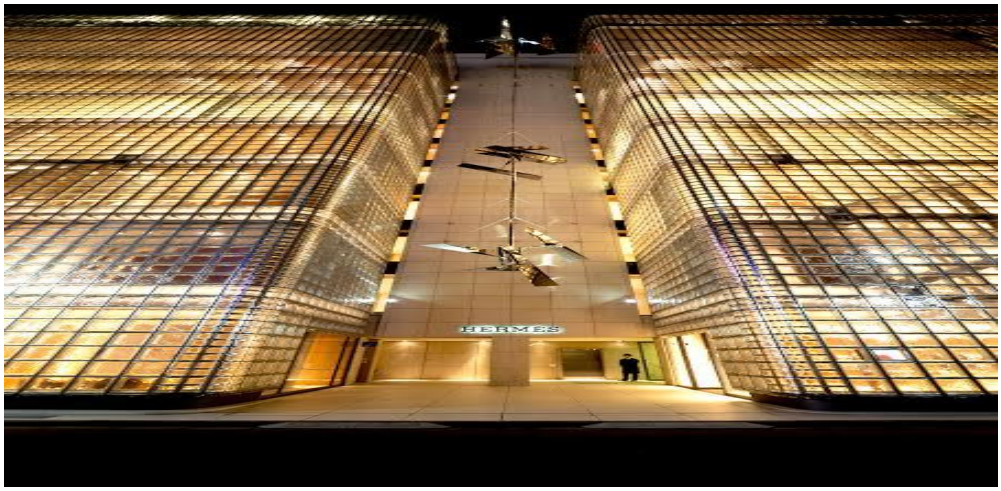
كفاءة استهلاك الطاقة: تسهم بشكل فعال في تقليل الاعتماد على الإضاءة الاصطناعية خلال ساعات النهار، مما يؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة الكهربائية والانبعاثات الكربونية المرتبطة بها.

تعزيز الانفتاح البصري: توفر إحساساً بالراحة والانفتاح البصري داخل بيئات العمل المغلقة، دون التضحية بمبدأ الخصوصية المطلوبة للفراغات.

دعم الصحة النفسية والإنتاجية: تحسن الحالة النفسية والمزاجية للعاملين نتيجة زيادة التعرض للضوء الطبيعي، وهو ما ينعكس إيجاباً على الأداء الوظيفي ورفع معدلات الإنتاجية في بيئات العمل المعاصرة (Srivastava & Kumar, 2023).

الصورة رقم (12) تبين مركز زوار سيلا سبيكيتورا-المجر(2006)

الصورة رقم (13) جناح إيطاليا في شنغهاي الصين (2010)



الصورة رقم (14) تبين دار هيرميس-طوكيو(2011)

الصورة رقم (15) تبين كسوة خرسانية شفافة لمسجد العزيز في أبوظبي(2015)

المناقشة والتحديات

رغم المنافع البيئية والمعمارية الكبيرة التي تتيحها الخرسانة الشفافة في بيئات العمل والفراغات المعمارية الحديثة، إلا أن البحث رصد مجموعة من التحديات التقنية والاقتصادية التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند التخطيط لتطبيقها في مشاريع التصميم الداخلي، وتتلخص في النقاط الآتية:

ارتفاع التكلفة المادية: تتسم الخرسانة الشفافة بارتفاع تكلفة المواد الخام الداخلة في تصنيعها (ولا سيما الألياف الضوئية عالية الجودة) مقارنة بمكونات الخرسانة التقليدية، مما يحد من انتشارها واسع النطاق في المشاريع ذات الميزانيات المحدودة.

الحاجة إلى كفاءات تنفيذية متخصصة: تتطلب عمليات تصنيع ألواح الخرسانة الشفافة ورص أليافها وتركيبها خبرات فنية وهندسية عالية الدقة لضمان المحافظة على استقامة الألياف، وجودة السطح النهائي، ومتانة الكتلة.

تحديات التوريد والسوق المحلي: تعاني الأسواق المحلية في العديد من الدول النامية والعربية من محدودية توفر الألياف البصرية البلاستيكية (POF) بالمواصفات الهندسية المطلوبة؛ مما يترتب عليه الاعتماد على الاستيراد وارتفاع تكاليف الشحن والنقل.

الأحمال والإجهادات الإنشائية: تتميز ألواح الخرسانة الشفافة بثقل وزنها النوعي القريب من الخرسانة العادية؛ مما يتطلب إجراء دراسات إنشائية دقيقة لتقييم مدى قدرة الأسقف والأرضيات على تحمل هذه الأحمال الإضافية.
اشتراط وجود مصدر إضاءة خلفي: تُعد الخرسانة الشفافة مادة ناقلة للضوء وليست مضيئة بذاتها؛ لذا فإن كفاءتها البصرية والجمالية ترتبط شرطياً بوجود مصدر ضوئي خلفي مباشر (سواء كان ضوء الشمس الطبيعي أو نظام إضاءة اصطناعية كأشرطة الـ(LED ، مما يفرض قيوداً موقعية عند تحديد أماكن تثبيتها داخل الفراغ.
نتائج البحث (Results) من خلال الدراسة الوصفية التحليلية والبيانات الموثقة، التوصل إلى النتائج الرئيسة الآتية:
أثبتت الدراسة إمكانية إنتاج خرسانة ذات كفاءة عالية في نفاذ الضوء، تمنح الفراغ الداخلي قيماً جمالية وبصرية مبتكرة، وتخلق تأثيرات ضوئية ديناميكية تغير من المفهوم النمطي للتصميم الداخلي التقليدي.
أظهرت النتائج أن مقاومة الضغط للخرسانة الشفافة المعتمدة على الألياف البصرية البلاستيكية (POF) تتأثر بالحجم الكلي للألياف وقطرها داخل الكتلة، في حين ترتبط نفاذية الضوء بحجم الألياف ونمط توزيعها الشبكي دون الاعتماد المباشر على قطرها؛ حيث تتيح مرور الضوء مع حجب تفاصيل الأجسام خلفها للحفاظ على الخصوصية.
توصّلت الدراسة إلى ضرورة ضبط المعايير التصميمية والتركيب الدقيق لخليط الخرسانة لتحقيق التوازن الأمثل بين الكفاءة الإنشائية والجمال البصري؛ إذ تبيّن أن النسبة الحجمية المثالية للألياف تقع بين 2% إلى 5% من الحجم الكلي للكتلة، وبقطر يتراوح بين (1 مم - 2 مم) من الألياف عالية الجودة، حيث أتاح هذا التركيب تسجيل مقاومة ضغط ميكانيكية مرتفعة وصلت إلى 51 ميجاباسكال.(MPa)
تُعد الخرسانة الشفافة خياراً استراتيجياً يحقق مفاهيم الاستدامة المعمارية؛ إذ تسهم في خلق بيئات عمل معاصرة تعتمد على مواد وتقنيات تحد من استهلاك الطاقة الكهربائية للإضاءة والتكييف، وتعزز جودة البيئة الداخلية والراحة النفسية للمستخدمين.
التوصيات (Recommendations) بناءً على ما أسفرت عنه الدراسة من نتائج ومناقشات، يوصي الباحث بالنقاط الآتية:
إدراج المادة في الكودات المعمارية: ضرورة تضمين الخرسانة الشفافة ودلائل استخدامها ضمن كودات التصميم الداخلي والمباني الخضراء، كخيار أساسي في المشاريع التي تستهدف تحقيق أهداف الاستدامة والتقييم البيئي.
تطوير بدائل اقتصادية وتقنيات التصنيع: الحث على إجراء أبحاث تطبيقية لاستبدال الألياف البصرية التجارية المواد الشفافة المعاد تدويرها، مع تشجيع المصانع على ابتكار خطوط إنتاج آلية لصف ورص الألياف ضوئياً بدلاً من التجميع اليدوي، مما يخفض التكلفة ويجعلها مادة قابلة للتداول التجاري الواسع.
توطين التقنية عربياً: السعي نحو نقل وتوطين تكنولوجيا إنتاج الخرسانة الشفافة في الدول العربية لتقليل تكاليف الاستيراد، ودعم تصنيع القوالب مسبقة الصب محلياً لتقليل التكلفة الإجمالية وتسهيل انتشارها في السوق الإقليمي.
التكامل المهني والتدريب: عقد ورش عمل ودورات تدريبية مشتركة بين المهندسين الإنشائيين والمصممين الداخليين للتدريب على الأساليب التقنية والهندسية الدقيقة لتركيب الألواح الخرسانية الشفافة وصيانتها، وتفادي الأخطاء التنفيذية والأحمال الزائدة في الفراغات المعمارية.

References:

Zhou, Z., Ou, G., Hang, Y., Chen, G., & Ou, J. (2009). Research and development of plastic optical fibre based smart transparent concrete. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 7293, Article 72930F.
Ravivarman, S., Mageswari, M., & Kanagalakshmi, A. S. (2015). Experimental study of LiTraCon. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 12(4), 18–25.

Al-Azawi, T. S., & Al-Maliki, A. A. (2017). An investigating study on a new innovative material: Transparent concrete. International Journal of Engineering Research and Applications, 7(6), 40–48.
Bashbash, B. F., Hajrus, R. M., Wafi, D. F., & Alqedra, M. A. (2013). Basics of light transmitting concrete. Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation, 2(3), 076–083.
Ahuja, A., & Mosalam, K. M. (2017). Evaluating energy efficiency of translucent concrete panels. Energy and Buildings, 156, 154–169.
Shen, J., & Zhou, Z. (2019). Preparation and study of resin translucent concrete products. Advances in Civil Engineering, 2019, Article 8812674, 1–10.
Jain, I. M., Tandekar, N., Talekar, R., Jadhav, C., Swami, G., & Khande, J. (2024). Experimental analysis on translucent concrete. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), 13(Special Issue 3), 63–69.
Patil, M., Nagarajan, K., & Narwade, R. (2026). Optical fiber concrete: The future of sustainable urban infrastructure. Proceedings of the Conference on Technologies for Future Cities (CTFC), Atlantis Press, 455–471.
Momin, A. A., Kadiranaikar, R. B., Jagirdar, V. S., & Inamdar, A. A. (2014). Study on light transmittance of concrete using optical fibers and glass rods. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Special Issue: ICAET-2014, 67–72.
Salih, S. A., Joni, H. H., & Mohamed, S. A. (2014). Effect of plastic optical fiber on some properties of translucent concrete. Journal of Engineering and Development, 18(5), 112–126.
Chiang, C. M., Chou, P. C., & Peng, C. K. (2018). Application of light-transmitting concrete panels in building curtain walls and structural frames. Construction and Building Materials, 168, 802–814.
المهنـــدس محمد. (2020، 15 ينـــاير). الخرســـانة الشـــفافة - المـــواد المســـتخدمة، التطبيقـــات، المزايـــا والعيـــوب. موقـــع هندســـة. https://www.handasa.xyz/translucent-concrete.html
Chiadighikaobi, P. C., Adegoke, M. A., Kharun, M., Paul, V. J., Abu Mahadi, M. I., & Finbarrs-Ezema, B. (2020). A review of the structural properties of translucent concrete as sustainable material. Civil Engineering Journal, 6(11), 2219–2230.
Kurugundu, N., & Chandrasekhar, M. (2022). Mechanical and optical properties of translucent concrete with various core diameters of plastic optical fiber. Journal of Building Engineering, 49, Article 104034.
Al-Kheetan, M. J., Ghaffar, S. H., & Minton, J. (2022). Mechanical and light transmittance properties of high-performance translucent concrete. Case Studies in Construction Materials, 17, Article e01260.
Tiwari, A., & Khandelwal, S. (2021). Mechanical and optical properties of translucent concrete: A review. Journal of Building Engineering, 42, 102–115.
Mohamed, S. S. F. (2018). Application of transparent concrete in the interior design of smart houses. Journal of Architecture, Arts and Humanistic Science, 11(1), 98–115.
Bajpai, R. (2014). Application of transparent concrete in construction world. i-manager's Journal on Civil Engineering, 4(2), 20–28.
Haldimand, M., Luible, A., & Overend, M. (2008). Structural Use of Glass (Structural Engineering Document No. 10). International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE).
National Glass Association / GANA. (2022). Glazing Manual. National Glass Association (NGA).
Hassan, M. (2020). Studies on natural and artificial lighting in interior architecture. Journal of Architecture and Environment, (12), 45–60.
Al-Sodani, K. A. A. (2023). Production, thermal, durability, and mechanical properties of translucent concrete and its applications in sustainable construction: A review. Case Studies in Construction Materials, 19, Article e02416.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JLABW** and/or the editor(s). **JLABW** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.