الخرسانة الشفافة

1- مقدمة:

لقد قام المهندسون بتطوير خلطات خرسانية قادرة على نقل الضوء، ومن خلال استبدال مكونات الخرسانة التقليدية بمكونات شفافة أو من خلال تضمين ألياف بصرية، أصبح الخرسانة الشفافة (المضيئة) واقعًا عمليًا كما يظهر في الشكل (1) الهدف الأساسي من ذلك هو استخدام ضوء الشمس كمصدر للإضاءة لتقليل استهلاك الطاقة في الإنارة.

الشكل (1) الخرسانة الشفافة

يهدف هذا المقال العلمي إلى تسليط الضوء على مفهوم الخرسانة الشفافة، ومكوناتها، وطرق تصنيعها، وخصائصها ، بالإضافة إلى أبرز تطبيقاتها المعمارية، وأهم التحديات التي تواجه استخدامها في المشاريع الكبرى. كما يستعرض بعض الدراسات والأمثلة العملية التي تم فيها استخدام هذا النوع من الخرسانة، مما يعزز فهم الإمكانيات التي تقدمها في مجال العمارة المستدامة

2- تعريف الخرسانة الشفافة:

هي مادة بناء أساسها الخرسانة الخفيفة الوزن، تعتمد هذه الخرسانة على خاصية بصريات النانو يرجع انتقال الضوء أو شفافيتها بشكل أساسي إلى التوزيع المنتظم للألياف البصرية البلاستيكية ذات الفتحة الرقمية العالية أو الخرسانة التي تنقل الضوء، ويتم إنتاجها عن طريق إضافة حوالي ٤٪ إلى ٥٪ من الألياف الضوئية من الحجم في خلطة الخرسانة

3- نبذة تاريخية:

تم التوصل إلى اختراع الخرسانة الشفافة لأول مرة في عام 1935 ببراءة اختراع كندية، وقد تطورت بعدها الألياف الضوئية والمواد الأخرى ولكن بعد مرور الزمن وفي عام 2001 تحديداً تم الوصول إلى فكرة الخرسانة الشفافة بشكلها الحالي

4- المواد التي تدخل في تركيب الخرسانة الشفافة:

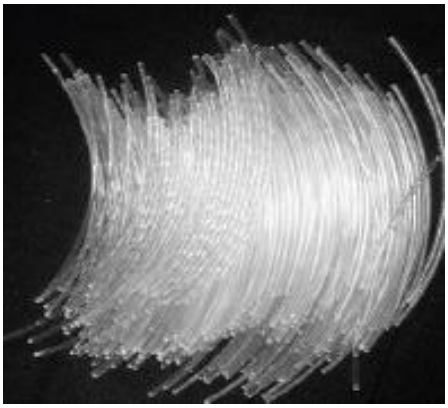
تتكون هذه الخرسانة من عدد من المواد الشائعة وهي:

4-1 الاسمنت: مادة شائعة و من أهم المواد التي تدخل في تركيب أي خرسانة، كما يعد الاسمنت من مادة رابطة تستخدم للحصول على ربط أفضل بين مجموعة من مواد البناء في الخرسانة الشفافة، تكون الألياف الضوئية مسؤولة فقط عن نقل الضوء خلال الخرسانة، لذلك لا يلزم وجود نوع خاص من الاسمنت حيث يستخدم الاسمنت البورتلاندي العادي في الغالب، ويكون متوفر بدرجة مختلفة مثل 33، 43، 53، كما أنه متوفر بأسعار مختلفة.

2-4 الرمل: يتم تصنيع الخرسانة الشفافة أو الخرسانة الناقلة للضوء من خلال مواد دقيقة فقط أو من جزيئات الركام الناعم، ويجب أن يمر حجم الرمل عبر منخل 1.18 مم

3-4 الماء: تعتبر المياه المستخدمة في الخرسانة الشفافة هي مياه ذات جودة تماثل المياه الصالحة للشرب، أي ماء خالي من الشوائب حيث تكون المياه صافية وتتراوح درجة الحموضة فيها بين 6.5 إلى 8.5.

4-4 الألياف الضوئية: تُعرف الألياف الضوئية على أنها ألياف زجاجية أو بلاستيكية رقيقة تحول الضوء من نقطة إلى نقطة أخرى، وتعد جزءاً من العلوم والهندسة التطبيقية يتراوح حجم الألياف الضوئية من 4 إلى 5 في المئة من الحجم الإجمالي للخرسانة وتتراوح سماكة الألياف الضوئية بين 2 ميكرون إلى 4 م، ويظهر الشكل (2) الألياف الضوئية



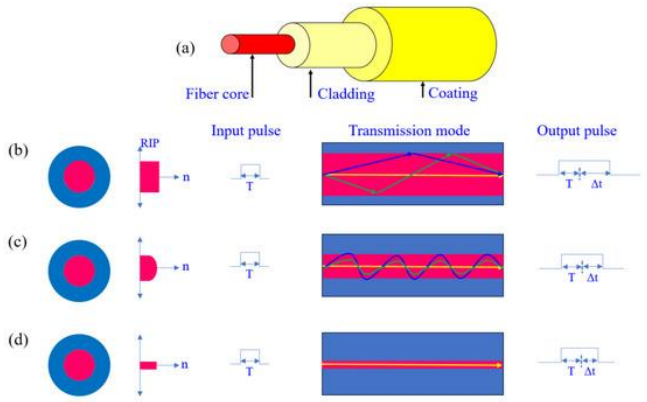
الشكل (2) الألياف الضوئية

4-4-1. تتكون الألياف الضوئية من ثلاثة أجزاء هي:

اللب: وهي الجزء المركزي من الألياف حيث يتراوح قطر اللب من 5 إلى 100 ميكرون

الكسوة: هو المادة الضوئية الخارجية المحيطة باللب والتي تعكس الضوء مرة أخرى إليها، ولحصر الانعكاس في اللب يجب أن يكون معامل الانكسار للب أكبر من معامل الانكسار في الكسوة.

الطلاء: هي عبارة عن طلاء بلاستيكي يوضع فوق الغلاف بغرض منع الرطوبة وغيرها من الأضرار من الوصول للألياف. كما يظهر في الشكل (3)



الشكل (3) a (هيكل الالياف الضوئية) ، b مؤشر الخطوات متعدد الأوضاع ، c فهرس متدرج متعدد الأساليب ، d أسلوب واحد

5- عملية التصنيع للخرسانة الشفافةTranslucent Concrete

5-1. خطوات إنتاج الخرسانة الشفافة هي:

1. يتم تحضير قالب من الصلب أو الخشب بحجم مستطيل. يتم وضع الطين أو الطمي على الجوانب لسهولة فك القوالب حيث لا تتعرض الألياف الضوئية للقالب.
2. يتم قطع الألياف الضوئية بطريقة يمكن وضعها داخل القالب بشكل مثالي.
3. توضع الألياف الضوئية في طبقة. أيضًا، يتم عمل الثقوب على قالب الصلب أو الخشب للسماح لتلك الألياف بالمرور.
4. تصب الخلطة الخرسانية ببطء وبحذر حتى لا يحدث أي اضطراب للألياف الضوئية تحتها.
5. يتم تفريغ الفراغات بمساعدة عمود الدمك.
6. يتم إزالة القالب والطين بعد 24 ساعة
7. ثم يتم قطع الألياف الطويلة عن حدود العينة.
8. يتم بعد ذلك صقل السطح بمساعدة ورق الرمل أو ورق التلميع مما ينتج عنه تشطيبات تتراوح من شبه لامع إلى شديد اللمعان

6- مزايا الخرسانة الشفافة

1. الإضاءة الطبيعية أفضل مصدر للضوء وبدون كلفة، فباستخدام هذا النوع من الخرسانة في الجدران فيمكن إضاءة الغرف والقاعات بصورة طبيعية وهذا ما تهدف إليه فلسفة الأبنية الخضراء فهي صديقة للبيئة.
2. تعمل كعازل حراري وناقل للحرارة مع الضوء وهذا مهم في البلدان الباردة، حيث تقلل التكلفة.
3. يمكن أن توفر جانب امني ومراقبة أكثر في مواقع مثل المدارس والمتاحف والسجون ... الخ حيث أن وجود الأشخاص وما يعملون يمكن مراقبته دون رؤية الصورة الكاملة التامة لهم مما يوفر نوعا من الخصوصية لهم حيث أن الأشياء الكبيرة يمكن رؤيتها دون الصغيرة
4. توفير بالطاقة وذلك عندما يكتسب الجدار خاصية إمرار الضوء سوف نحتاج إلى إنارة صناعية أقل خلال ساعات النهار.
5. تعطي منظراً فنياً جذاباً للأبنية.
6. أقوى بكثير من الطابوق الزجاجي.
7. يقلل الطلب على الإنارة من خلال نقل الإضاءة الصناعية من موقع إلى آخر.
8. يجعل بالإمكان رؤية الأشخاص الواقفين خلف الباب وفي المطاعم والنوادي وغيرها ويجعل بالإمكان معرفة عدد الزبائن من خلال استخدامه حول أبواب البيوت.
9. استخدام الخرسانة الزجاجية في السقف يقلل من الحاجة إلى الإنارة.
10. يمكن أن تضاء الممرات والأرصفة المنفذة من الخرسانة الشفافة بسهولة مما يحسن الأمان، واستخدامها في بئر السلم يزيد من الأمان كما أن الأنفاق يمكن أن تضاء في ساعات النهار كما أن علامات السرعة والمرور في الطرق ومداخل الكراجات يمكن أن تضاء من الأرض فتصبح أكثر فاعلية.

7-عيوب الخرسانة الشفافة:

1- ارتفاع تكلفة الألياف الضوئية
2- يتطلب عمالة ماهرة وإشراف على الصب
3- لا يمكن استخدامها في الأعمدة والكمرات لأنها لا تمتلك قوة كبيرة
4- غير فعال من وجهة نظر التفتيش والفحص
5- غير فعالة في الأماكن التي لا تسقط أشعة الشمس عليها
6- ربما تكون خطيرة في التعامل مع وجود قطع زجاجية

8- مقارنة بين الخرسانة العادية و الخرسانة الشفافة :

يبين الجدول (1) مقارنة بين الخرسانة التقليدية والشفافة من حيث: التركيب ، اللون والمظهر ، نسبة مرور الضوء ، الاستخدامات الشائعة ، الوزن النوعي ، مقاومة الانضغاط ، التكلفة ، طريقة التصنيع ، الهدف الأساسي

الجدول (1) مقارنة بين الخرسانة التقليدية والشفافة

الخاصية	الخرسانة الشفافة	الخرسانة العادية
التركيب	أسمنت، ماء، رمل ناعم، ألياف بصرية	أسمنت، ماء، رمل، حصى
اللون والمظهر	رمادي مع تأثير بصري شفاف	رمادي غير شفاف
نسبة مرور الضوء	2% إلى 10% حسب نسبة الألياف	0%
الاستخدامات الشائعة	الجدران الزخرفية، الواجهات، الإضاءة الطبيعية	الأساسات، الجدران الحاملة، الأرصفة
الوزن النوعي	حوالي 2100–2400 كغم/م³	2400–2024 كغ / م³
مقاومة الانضغاط	تصل إلى 50 ميغاباسكال	20-40 ميغاباسكال
التكلفة	مرتفعة (2 إلى 3 أضعاف الخرسانة العادية)	منخفضة
طريقة التصنيع	غالبًا تصنع مسبقًا على شكل ألواح	صب تقليدي في الموقع
الهدف الأساسي	الجمالية، توفير الإضاءة الطبيعية	المتانة والوظيفة الإنشائية

9-آلية عمل الخرسانة الشفافة:

9-1 في النهار:

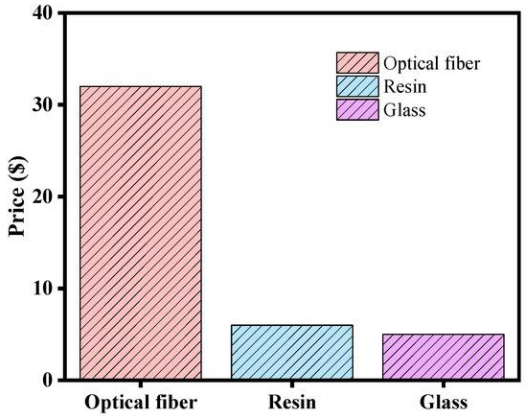
خلال النهار، تعتمد الخرسانة الشفافة على الألياف البصرية المدمجة داخلها لنقل الضوء الطبيعي من الخارج إلى الداخل. تُصنع هذه الألياف من الزجاج أو البلاستيك وتُوزع بشكل متساوٍ داخل الخرسانة، مما يسمح بمرور الضوء وتشكيل أنماط ضوئية على الأسطح الداخلية. هذا يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية، مما يساهم في توفير الطاقة

9-2 في الليل:

في الليل، يمكن دمج مصادر إضاءة صناعية مثل مصابيح LED خلف أو داخل عناصر الخرسانة الشفافة، تنتقل الإضاءة من خلال الألياف البصرية، مما يخلق تأثيرات ضوئية مميزة على الواجهات أو الجدران الداخلية، تُستخدم هذه التقنية في تصميمات معمارية لإضفاء جمالية فريدة على المباني

10- تحليل التكلفة:

يتم عرض تكاليف إنتاج العناصر الناقلة للضوء المختلفة في الألياف الضوئية لها تكاليف عالية مقارنة بالراتنج والزجاج ، وخاصة الألياف الزجاجية ، ويمكن أن يؤدي استخدام الألياف البلاستيكية إلى تقليل تكلفة إنتاج LTC بشكل كبير. بالإضافة إلى تكلفة المواد الخام ، لا يمكن تجاهل عملية التصنيع وتكاليف العمالة ، لأن تخطيط وتركيب الألياف الضوئية أكثر تعقيدا كما يظهر في الشكل(4)



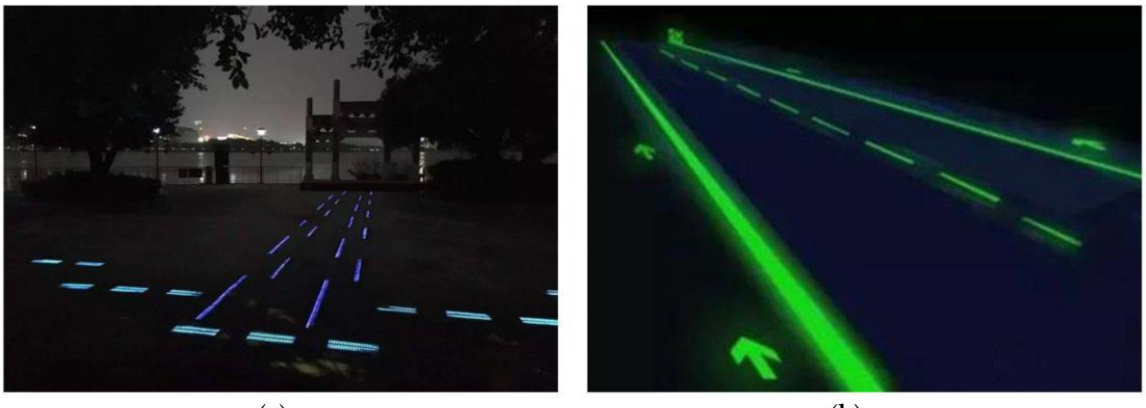
الشكل (4) مقارنة أسعار المواد الشفافة المختلفة

11- تطبيقات معمارية عن الخرسانة الشفافة :

تم تنفيذ عدد من المباني في بعض البلدان باستخدام الخرسانة الشفافة كما يظهر في الأشكال (5،6،7)

الشكل (5) جدار الخرساني الشفاف في قاعة مدخل مقر فينشي الجديد (IMG: Lumineo)

الشكل (6): البناء الجديد لكابيتال بنك في عمان ، الأردن



(a) (b)

الشكل (7) تصميم طريق LTC ، a رصيف الحديقة ، b الطرق السريعة

12- النتيجة:

تقدم الخرسانة الشفافة حلًا معماريًا متميزًا يجمع بين الصلابة الإنشائية والكفاءة الطاقية والجمالية المتطورة. برغم التحديات المتعلقة بالتكلفة والمهارة التنفيذية، فإن التطورات المستمرة في تصنيع الألياف واستخدام المواد المعاد تدويرها تعد بمستقبل مستدام لهذه التقنية في العمارة الحديثة.

13- المراجع :

1. Kushwaha, V., & Vyas, C. M. (**2015**).Transparent concrete as a green material for building. International Journal of Research in Engineering and Technology, 4(3), 203–205.

2. مقال يشرح خصائص الخرسانة الشفافة، المواد المستخدمة فيها، ومزاياها وعيوبها (**2022**)

: anaengineer.net

3. Translucent(Transparent) concrete **2017** الخرسانة الشفافة أ.م.د. قاسم محمد

مقال باللغة العربية من جامعة الكوفة يتناول الخرسانة الشفافة .
https://www.researchgate.net

4. أيقونة الويب العمومية هندسة دوت إكس واي زد

الخرسانة الشفافة ـ المواد المستخدمة، التطبيقات، المزايا والعيوب **2020** المهندس محمد

https://www.handasa.xyz › translucent-concrete.html

5. Zhang, H., & Müller, S. (**2024**). *Development of Optical Fiber Light-Transmitting Concrete (LTC)*. **Buildings (MDPI)**, 15(1), 104.

Development of Optical Fiber Light-Transmitting Concrete (LTC)—A Review