مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد42 العدد (3) – 2026: 166- 188

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 42 number (3) -2026: 166-188

" الخرسانة الذكيّة ودورها الحيوي في توفير الطّاقة لتحقيق عمارة مستدامة "

حالة دراسيّة: مبنى إداري في ضاحية قدسيّا– ريف دمشق

لمى ابراهيم ونّوس[*1] غسّان عبّود[2] كندة الموصلي[3]

[*1]. طالبة دكتوراه في كلية الهندسة المعمارية– قسم علوم البناء والتنفيذ، جامعة دمشق.
lama4.wannous@damascusuniversity.edu.sy

[2]. الأستاذ الدكتور المشرف – كلية الهندسة المعمارية– قسم علوم البناء والتنفيذ، جامعة دمشق.
ghassan.abboud@damascusuniversity.edu.sy

[3]. الدكتور المشرف المشارك –كلية الهندسة المعمارية– قسم علوم البناء والتنفيذ، جامعة دمشق.
kindamousli@damascusuniversity.edu.sy

الملخّص:

تشكّل المواد الذكيّة جزءاً مهمّاً من المفهوم الحديث للعمارة المستدامة، حيث تمكّن هذه المواد من تحسين كفاءة استخدام الطّاقة والموارد في المباني وتقليل أثرها السّلبي على البيئة.

وبالنّظر إلى التحدّيات البيئيّة الّتي تواجه العالم اليوم، فإنّ استخدام المواد الذكيّة في العمارة أصبح أكثر أهميّةً من أيّ وقتٍ مضى. يستعرض البحث مفهوم المواد الذكيّة وبشكل خاص الخرسانة الذكيّة وأهميّتها في توفير الطّاقة لتحقيق عمارة مستدامة.

يتألّف البحث بشكلٍ عام من ثلاثة أجزاء يتضمّن الجزء الأوّل إجراء مراجعة لأهم الأدبيّات المتعلقة بالمواد الذكيّة ومفهومها والخصائص المتعلّقة بها، واختيار قواعد البيانات البحثيّة لاستخراج الأبحاث في عامي 2022–2023 المتعلّقة بالخرسانة الذكيّة، ثمّ بعد استخراج واختيار الأبحاث ذات الصّلة سيتمّ تحليل محتواها لتحديد أنواع الخرسانة الذكيّة المدروسة فيها وأفضل أماكن تنفيذها في العناصر المعماريّة والإنشائيّة للمبنى، وفي الجزء الثالث بناءً على نتائج التّحليل سيتمّ تطبيق هذه النّتائج على حالة دراسيّة محليّة (مبنى إداري في ضاحية قدسيّا – ريف دمشق) لتحديد مقدار توفير الطّاقة باستخدام أنواع الخرسانة الذكيّة الملائمة، سواءً الطّاقة المستهلكة للإنارة أو التّدفئة والتّكييف بالإضافة إلى انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

لهذا البحث أهميّة كبيرة في مجال الهندسة المعماريّة والإنشاءات المستدامة حيث يساعد في إلقاء الضّوء على أهميّة استخدام المواد الذكيّة في العمارة وبشكل خاص الخرسانة الذّكية، وكيف يمكن أن تساهم هذه المواد في تحسين الأداء البيئي للمباني وتحقيق المزيد من الاستدامة. وقد توصّل البحث إلى تحديد أنواع الخرسانة الذكيّة، واقتراح أفضل أماكن تنفيذ كل نوع من أنواعها (عناصر المبنى المعماريّة والإنشائية)، لتوفير الطّاقة وتفعيل الاستدامة. كما يقدّم هذا البحث دورًا هاماً في توفير معلومات قيّمة للمهندسين المعماريّين والمصمّمين، وذلك لمساعدتهم في اختيار أفضل أنواع الخرسانة الذكيّة وتطبيقها في المشاريع الحاليّة والمستقبليّة، وبالتّالي تحقيق الاستدامة في الأبنية من خلال توفير الطّاقة.

الكلمات المفتاحية: العمارة المستدامة، المواد الذكيّة، الخرسانة الذكيّة، توفير الطّاقة، تخفيض الانبعاث الكربوني.

تاريخ الإيداع: 2023/9/6
تاريخ القبول: 2023/11/19

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص
CC BY-NC-SA 04

"Smart Concrete and its Vital Role in Saving Energy to Achieve Sustainable Architecture"

−Case Study: An Administrative Building in Qudsaya Suburb Damascus Countryside

Lama Ibrahim Wannous*[1] Ghassan Aboud[2] Kindah Mousli[3]

*[1]. PhD student, Faculty of Architecture, Department of Building Construction, Damascus University.
lama4.wannous@damascusuniversity.edu.sy

[2]. Supervisor Professor, Faculty of Architecture, Department of Building Construction, Damascus University
. ghassanabboud@damascusuniversity.edu.sy

[3].Co- Supervisor Doctor, Faculty of Architecture, Department of Building Construction, Damascus University.
kinda,mousli@damascusuniversity.edu.sy

Received: 6/9/2023
Accepted: 19/11/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

Smart materials form an important part of the modern concept of sustainable architecture, as they enable these materials to improve the efficiency of energy and resource use in buildings and reduce their negative impact on the environment. Given the environmental challenges facing the world today, the use of smart materials in architecture has become more important than ever. The research reviews the concept of smart materials, especially smart concrete, and its importance in saving energy to achieve sustainable architecture.

The research generally consists of three parts. The first part includes a review of the most important literature related to smart materials, their concept and properties related to them, and the selection of research databases to extract research in the years 2022-2023 related to smart concrete, and then after extracting and selecting relevant research. Its content will be analyzed to determine the types of smart concrete studied in it and the best places for its implementation in the architectural and structural elements of the building. In the third part, based on the results of the analysis, these results will be applied to a local study case (an administrative building in the (Qudsaya Suburb− Damascus Countryside) to determine the amount of energy savings by using appropriate types of smart concrete, whether the energy consumed for lighting, heating and air conditioning, in addition to carbon dioxide emissions.

This research is of great importance in the field of architecture and sustainable construction, as it helps shed light on the importance of using smart materials in architecture, especially smart concrete, and how these materials can contribute to improving the environmental performance of buildings and achieving more sustainability. The research determined the types of smart concrete, and suggested the best places to implement each of its types (architectural and structural building elements), to save energy and activate sustainability. This study also plays an important role in providing valuable information to architects and designers, in order to help them choose the best types of smart concrete and apply them in current and future projects, thus achieving sustainability in buildings by saving energy.

Keywords: Sustainable Architecture, Smart Materials, Smart Concrete, Energy Saving, Reducing Carbon Emission.

المقدّمة:

تُعتبر العمارة المستدامة أحد أهم التّحديات الّتي تواجه مجتمعاتنا في الوقت الحاضر، وتتطّلب الحفاظ على البيئة والموارد الطّبيعية لتلبية احتياجات الأجيال الحاليّة والمستقبليّة.

وقد تميّزت السّنوات القليلة الماضية بجيلٍ جديدٍ من المباني بدرجات متفاوتة من التّكنولوجيا العالية، لديها القدرة الفائقة على التعامل مع البيئة من خلال الاستخدام الذّكي للوظائف والمواد والمنتجات الّتي يمكن أن تتفاعل مع التّغييرات في محيطها المباشر أو غير المباشر.

وفي هذا السّياق، تلعب المواد الذكيّة دورًا حيويّاً في تحقيق الاستدامة في العمارة، حيث تتميّز بقدرتها على التّفاعل مع الظّروف المحيطة بها، سواء كان ذلك من خلال التكيّف مع درجات الحرارة المختلفة أو تحويل الطّاقة الشمسيّة إلى طاقة كهربائيّة. بالإضافة إلى تحسين كفاءة استخدام الطّاقة وتحسين جودة الهواء داخل المباني، مما يؤدّي إلى تقليل انبعاثات الكربون وتحسين جودة الحياة في المباني. (زيد،2022، 150)

وعلى الرغم من أن استخدام المواد الذكيّة لا يمثّل الحل الوحيد لتحقيق العمارة المستدامة، فإنه يمثّل خطوة مهمّة في هذا الاتجاه. ويتوجّب على المهندسين والمصمّمين والمهتمّين بالعمارة المستدامة النّظر في استخدام المواد الذكية في تصميم المباني والمنشآت، وتطوير تقنيات جديدة لتحسين الأداء البيئي وكفاءة الطّاقة وجودة الحياة وخاصّةً على المستوى المحلّي في ظلّ الظّروف الرّاهنة.

1- الهدف:

يهدف البحث إلى دراسة مفهوم الخرسانة الذكيّة المستدامة الموفّرة للطّاقة في الأبنية، وتحديد أفضل أماكن تنفيذ كل نوع من أنواع هذه الخرسانة (عناصر المبنى المعماريّة والإنشائيّة) للوصول إلى الكفاءة الأفضل بتوفير الطّاقة وبالتالي تحقيق الاستدامة. والتّطبيق العملي كدراسة مقترحة محليّة (مبنى إداري في ضاحية قدسيّا) لتحديد مقدار توفير الطّاقة سواءً الطّاقة المستهلكة للإنارة أو التّدفئة والتّكييف بالإضافة إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ومقارنة استهلاك هذه الطّاقة قبل وبعد تطبيق أنواع الخرسانة الذكيّة الملائمة، لمعرفة مقدار التّوفير الحاصل وانعكاس ذلك بيئيّاً واقتصاديّاً لتحقيق عمارة مستدامة.

2- الأهميّة:

تأتي أهميّة البحث في مواجهة التحديّات التي تفرض نفسها بضرورة توفير الطّاقة في الأبنية وخاصّةً في ظلّ الظّروف الرّاهنة ووفقاً للشّروط المحليّة.

يعدّ هذا البحث ذو أهميّة كبيرة في مجال الهندسة المعماريّة والإنشاءات المستدامة، من خلال تحديد أنواع الخرسانة الذكيّة الحديثة التي تساهم في توفير الطّاقة، لتحقيق الاستدامة في الأبنية. سيتمكّن هذا البحث من اقتراح أفضل أماكن تنفيذ كل نوع من أنواع هذه الخرسانة (عناصر المبنى المعماريّة والإنشائيّة)، لتوفير الطّاقة المستهلكة للإنارة أو التّدفئة والتّكييف بالإضافة إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. كما يقدّم هذا البحث دورًا هامّاً في توفير معلومات قيّمة للمهندسين المعماريّين والمصمّمين، وذلك لمساعدتهم في اختيار أفضل أنواع الخرسانة الذكيّة وتطبيقها في المشاريع الحاليّة والمستقبليّة، وبالتّالي تحقيق الاستدامة في الأبنية من خلال توفير الطّاقة.

3- المنهجية:

المنهج الاستقرائي النّظري: استُخدم في عرض الأدبيّات الخاصّة بالمواد الذكيّة بشكل عام، من خلال تحديد المفاهيم المتعلّقة بموضوع البحث واختيار قواعد البيانات البحثيّة لاستخراج الأبحاث ذات الصلة في عاميّ 2022-2023 (حتى تاريخ إعداد البحث)، وتحليل محتوى هذه الأبحاث لتحديد أنواع الخرسانة الذكيّة وأفضل أماكن تنفيذها في العناصر المعماريّة والإنشائيّة للمبنى.

المنهج التّطبيقي: استُخدِمَ في تطبيق نقاط المنهج الاستقرائي على حالة دراسيّة محليّة (مبنى إداري في ضاحية قدسيّا)

كدراسة مقترحة لتحديد مقدار توفير الطّاقة باستخدام أنواع الخرسانة الذكيّة الملائمة (طاقة الإنارة – طاقة مستهلكة للتّدفئة والتّكييف – انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون– التّكلفة المادية).

4- مراجعة الأدبيّات:

يتناول البحث دراسة مصادر الأدبيّات المختلفة لتوفير نظرة شاملة حول مفهوم العمارة المستدامة، ومفهوم المواد الذكيّة، أهم تعريفاتها، خصائصها وأنواعها، وصولاً إلى دراسة الخرسانة الذكيّة من خلال تحليل أحدث الأبحاث في عام 2022 – 2023 والمتعلّقة بأنواع الخرسانة الذكيّة ودورها المستدام.

4-1- العمارة المستدامة:

إن الاستدامة مبنيّة على ثلاثة مفاهيم أساسيّة:

الاقتصاديّة والاجتماعيّة والبيئيّة والّتي يجب أن تبقى في توازن يلبّي حاجات السكّان الآن وفي المستقبل. فالمجتمع المستدام هو الذي يكفل تأمين حياة ملائمة لجميع أفراده عن طريق التّوازن بين الخطط والنّفقات والاستهلاك لموارد المجتمع كّلها عبر الزمان والمكان. (البحرة، فاكوش،2013، 561)

صفة الاستدامة في العمارة لا تعدّ من الصفات المستحدثة بل قائمة بشكل أو بآخر منذ أزمنة بعيدة، وقد عُرّف المبنى المستدام بأنه عبارة عن الابتكار والأداة المسؤولة عن بناء بيئة صحيّة قائمة على الموارد الفعّالة والمبادئ البيئيّة، والهدف من هذه العمارة هو الحد من التأثير السّلبي على البيئة من خلال الطّاقة وفعاليّة الموارد. (زيد،2022، 75)

وقد عرّف العالمان بريندا وروبرت " Robert& Brend " الاستدامة في كتابهما بعنوان العمارة الخضراء بأنّها:

(مدخل شامل لتصميم المباني، حيث أنّ كلّ الموارد في صورة المواد أو الطّاقات يجب أخذها في عين الاعتبار إذا أردنا أن نحقّق عمارة مستدامة).

فالعمارة المستدامة هي تصميم المباني مع مراعاة وضع الأهداف البيئيّة والتّنمية المستدامة نصب أعيننا حيث تسعى العمارة المستدامة إلى تقليل التأثيرات السلبية للمباني على البيئة وذلك بتعظيم الكفاءة والاعتدال في استخدام مواد البناء والطّاقة وتعدّد استخدامات الفراغات. (وزيري،2003، 63،64)

بالتّالي تعتبر العمارة تحدّياً فريداً في مجال الاستدامة فالمشاريع المعمارية تستهلك كميات كبيرة من الموارد والطّاقة خلال دورة حياتها من إنشاء وإشغال وتشغيل، ومع زيادة النموّ السّكاني العالمي والتوسّعات الاقتصادية يظهر التحدّي الحقيقي الذي يواجه المعماريّين في عمليّة إنشاء المباني وتشغيلها كي تحقّق عواملها الوظيفيّة وبالتّالي تقليل الأثر السّلبي على البيئة.

4-2- المواد الذكيّة:

المواد الذكيّة هي نتاج تداخل المواد التّقليدية مع الأنظمة الالكترونية الدّقيقة وهو ما أحدث ثورة في المواد جعلها تستجيب للمتغيّرات الحادثة من حولها والتّفاعل معها بما يلائم الوظيفة التي أُعدّت من أجلها وذلك عن طريق توزيع بعض المشغّلات والمجسّات الالكترونية في المادّة وبالتالي يصبح أداء المادة أداء غير تقليدي وإنما أداء ذكي.(Schwartz 2009,11)

4-2-1- تعريف المواد الذكيّة:

ظهرت العديد من التّعريفات للمواد الذكيّة على مدى السّنوات والّتي حاولت توصيف ماهيّة المواد الذكيّة:

موسوعة التّكنولوجيا الكيميائيّة تعرّف المواد الذكيّة بأنّها تلك الأشياء التي تستشعر الأحداث البيئيّة وتنقل المعلومات الحسيّة، ثمّ تعمل على التّفاعل مع البيئة. (Kroschwitz,1992)

المواد الذكيّة هي مواد هندسيّة قادرة على توفير استجابة مفيدة فريدة عند حدوث تغيير معين (Sharp 2004)

المواد الذكيّة هي المواد القادرة على الإحساس والتّجاوب مع البيئة المحيطة بالطّريقة المطلوبة والمحدّدة من قبل، بحيث تستطيع تغيير خصائصها الفيزيائيّة لحظيّاً (كالشّكل واللّون ودرجة اللّزوجة) استجابةً لمحفّزات طبيعيّة أو مصطنعة. (Leo, 2007,1)

لتلخـيص هـذه التعريفـات، يتعلّـق مصـطلح " المـواد الذكيّـة " بتمييزها من خلال سلوكها المحدّد وطبيعة استجابتها، ممكن أن تكون هذه الاستجابة فوريّة (تستجيب في الوقت الحقيقي)، أو عابرة (تستجيب لأكثر من حالة بيئيّة واحدة)، أو ذاتيّة التّشغيل (الذّكاء داخلي بدلاً من خارجي بالنسبة لـ "المادّة")، أو انتقائي (الاستجابة منفصلة وقابلة للتنبؤ)، أو مباشرة (الاستجابة محليّة لحدث التّنشيط). (Konarzewska, 2017,2)

4-2-2- خصائص المواد الذكية:

تمّ تلخيص خصائص المواد الذكيّة بحسب طريقة تفاعلها من خلال الجدول التالي:

خصائص المواد الذكيّة	
الخاصيّة	طريقة التّفاعل
القدرة على التغيّر	بما يلائم الظّروف المحيطة
الاستجابة	سرعة الاستجابة اللّحظيّة للمحفّز الخارجي
حسّاسة وقابلة للتطوّر والتكيّف	حيث تستطيع تغيير خصائصها الفيزيائيّة وسلوكها استجابة للمحفّزات الدّاخليّة أو الخارجيّة
القدرة	القدرة على العمل من خلال منظّمات الكترونيّة
التحكّم عن بعد	إمكانيّة التحكّم بالمواد الذكيّة عن بعد
خفّة الوزن وقوّة الاحتمال	سهولة تركيبها وتبديلها
القدرة على الإصلاح الذّاتي	ترميم أجزائها التّالفة التي سبّبتها الظّروف البيئيّة
التّشخيص الذّاتي	التّشخيص الذّاتي للخلل الموجود بها وذلك من خلال مقارنة أدائها الحالي بأدائها السّابق للتحقّق من قدرتها على أداء وظائفها
القدرة على الإحساس بالطّاقة	كتخزينها وقت ارتفاع درجات الحرارة وإطلاقها عند انخفاض درجات الحرارة

الجدول (1) إعداد الباحث- خصائص المواد الذكية

المصدر (Konarzewska,2017,3,)

4-2-3- تصنيف المواد الذكيّة:

هناك العديد من المواد الذكيّة الجديدة التي تتميّز بالعديد من الخواصّ الفعّالة وبعد مراجعة الدّراسات السّابقة في هذا المجال يمكن حصر وتقسيم المواد الذكيّة إلى نوعين رئيسين يتم استخدامهما في كثير من التّطبيقات المختلفة في المباني.

الجدول (2) إعداد الباحث- تصنيف المواد الذكية

تصنيف المواد الذكية			
المواد الذكية متغيرة الخواص Property Changing Smart Materials		المواد الذكية المحولة للطاقة Energy Changing Smart Materials	
هي المواد الّتي تقوم بتغيير واحدة أو أكثر من خواصّها الميكانيكيّة ، الكهربائيّة كرد فعل للتغيّر في العوامل الخارجيّة من خلال التّعاون بين البيئة المحيطة والمادّة		عبارة عن مواد تحوّل الطّاقة من شكلٍ إلى آخر بطريقة مباشرة أو عكسيّة ، ويتمّ تصنيفها حسب قدرتها على استعادة هذه الطّاقة الدّاخلية وتحويلها إلى شكلٍ أكثر استخداماً	
المواد الذكية المتغيرة اللون	المواد الذكية المتغيرة التدفق	المواد الكهروحرارية	المواد الكهروضغطية
وهي مواد تتغيّر خصائصها البصريّة نتيجة لتغيّر مصدر الطّاقة الخارجي	عبارة عن مواد لزجة تقوم بتغيير خصائصها استجابةً للمجال الكهربائي أو المغناطيسي	تستخدم مدخل جهد كهربائي لخلق وصلات ساخنة أو باردة يتمّ استخدامها في التّسخين أو التّبريد	هي المواد التي تنتج تيّاراً كهربائيّاً عند تعرّضها للضّغط ، حيث أن قوّة الضّغط المستخدمة على هذه المادّة تنتج تغيّر في الشّكل بالإضافة إلى إنتاج جهد كهربائي

المصدر (Konarzewska,2017,4,5)

4-3- الخرسانة الذكيّة المستدامة:

Sustainable Smart Concrete:

تركّز صناعة البناء بشكلٍ متزايدٍ على الاستدامة وتطوير الممارسات الصّديقة للبيئة، استجابةً للمخاوف المتزايدة بشأن تغيّر المناخ، ونضوب الموارد، وتوليد النّفايات. أحد الجوانب الحاسمة لهذا التحوّل هو اعتماد مواد مستدامة في المبنى الخرساني. لذلك ظهرت العديد من المواد والتّقنيات المبتكرة، بهدف تقليل الأثر البيئي السّلبي للمبنى الخرساني، وتعزيز المتانة والأداء، والمساهمة في تحقيق الاستدامة، وبذلك تُعتبر الخرسانة الذكيّة المستدامة واحدة من التّقنيات الحديثة التي تُستخدم في مجال البناء والّتي تهدف إلى تحسين كفاءة استخدام الموارد الطّبيعيّة وتقليل أثرها البيئي. (Makul,2020,1)

4-3-1-خصائص الخرسانة الذكيّة المستدامة:

1-الخصائص الكيميائيّة: تتميّز الخرسانة الذّكية المستدامة بمقاومة عالية للتّآكل والتّفاعلات الكيميائية. وهذا يرجع إلى استخدام بعض المواد الجديدة فيها، مثل الألياف الزجاجيّة أو الألياف الكربونيّة، والتي تزيد من مقاومة الخرسانة للمواد الكيميائيّة.

2- الخصائص الفيزيائيّة الميكانيكية: تتميّز الخرسانة الذكيّة المستدامة بصلابتها ومتانتها العالية ومقاومتها للماء، ممّا يزيد من مدّة العمر الافتراضيّة للمباني ويقلّل من الحاجة إلى الصّيانة والتّجديد المتكرّر.

3-الخصائص الجماليّة التّشكيلية: يمكن للخرسانة الذكية المستدامة أن تكون أكثر تنوعًا في الألوان والأشكال، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تتطلب مظهرًا جماليًا، وذلك بسبب استخدام تقنيات تصنيع متقدّمة.

4-الخصائص البيئيّة: الخرسانة الذكيّة المستدامة لها القدرة على تقليل استهلاك الطّاقة، حيث تستخدم الخرسانة الذكيّة المستدامة الموارد المتجدّدة والمستدامة، ممّا يساهم في تقليل استخدام الموارد الطّبيعية وتقليل الانبعاثات الكربونية. (Nihalani et al.,2019,279)

5-الخصائص الحرارية (الكثافة والموصليّة الحرارية):

تتراوح كثافة الخرسانة العادية من 2200 إلى 2500 كغ/سم²، بينما تتمتع الخرسانة الذكية المستدامة بكثافة أقل وتختلف بحسب أنواعها.

الموصليّة الحرارية هي قياس قدرة المادة على نقل الحرارة. تُقاس الموصلية الحرارية بالواط لكل متر/ درجة مئوية (واط/م/درجة مئوية).

تتميّز الخرسانة الذكية المستدامة بموصليّة حراريّة أقل من الخرسانة العاديّة. تتراوح الموصليّة الحراريّة للخرسانة العادية تقريباً من 0.8 إلى 2.5 واط/م-درجة مئويّة، بينما الموصليّة الحراريّة للخرسانة الذكيّة المستدامة أقل وتختلف بحسب أنواعها. تؤثّر الكثافة والموصليّة الحرارية على الخرسانة الذكية

المستدامة بعدة نقاط، بما في ذلك خفّة وزنها وقوّتها والقدرة العالية على العزل الحراري.(Makul,2020,3)

تلعب قيمة الموصلية الحرارية دوراً كبيراً في العلاقة الرياضية التي تحدد كمية الحرارة المنتقلة عبر مغلّف البناء (الطاقة الحراريّة) وذلك بناءً على درجتيّ الحرارة الداخليّة والخارجيّة بالإضافة إلى سماكة الجدار أو السقف ومساحته وذلك من خلال العلاقة التالية:

$Q= \{K*A*(T1-T2)\} / L$ حيث:

Q: كمية الحرارة المنتقلة (واط)

K: قيمة معامل التوصيل الحراري (واط/م/درجة مئوية)

A: مساحة السقف أو الجدار (م^2)

L: سماكة الجدار أو السقف (م)

T1-T2: الفرق بين درجتي الحرارة الداخلية والخارجية. (درجة مئوية)

المصدر :(https://energy-models.com)

الجدول (3) مقارنة بين الخصائص العامة لكل من الخرسانة الذكية المستدامة والخرسانة المسلحة العادية

الخصائص	الخرسانة المسلّحة العادية	الخرسانة الذّكية المستدامة
مقاومة التّآكل والمواد الكيميائيّة	مقاومة جيّدة	مقاومة عالية
القوة والصّلابة	قوّة وصلابة حيّدة	قوّة وصلابة عالية
مقاومة المياه	مقاومة جيّدة	مقاومة عالية
الاستدامة	غير مستدامة	مستدامة
التّطبيقات	تطبيقات تتعلق بالإنشاء والبنية التّحتية	تطبيقات تتعلق بالإنشاء والبنية التحتية بالإضافة إلى تطبيقات من الناحية الجمالية التشكيلية والبيئية
التكلفة	اقتصادية	مكلفة
الكثافة	كثافة عالية ووزن أعلى	كثافة منخفضة ووزن أقل
الموصليّة الحرارية	نقل الحرارة وبالتّالي عزل حراري قليل	قلّة نقل الحرارة وبالتالي عزل حراري أعلى

إعداد الباحث. المصدر (Makul,2020,4)

4-4- تحديد وتحليل أهم الدّراسات السابقة حول الخرسانة الذكيّة المستدامة عام 2022 -2023 تاريخ إعداد البحث):

تمّ اختيار قاعدة بيانات (Google scholar) وتطبيق الكلمات المفتاحية

التّالية للبحث في العنوان فقط/Sustainable Smart Concrete / لعاميّ (2022-2023 حتى تاريخ البحث في الشهر السادس 2023). وتمّ رصد سبعة أبحاث ذات صلة وتحليلها وفق الجدول (4)الجدول (4) أهم الدراسات حول الخرسانة الذكية المستدامة عام 2022 -2023 (إعداد الباحث)

عنوان البحث	نوع الخرسانة	خصائصها المستدامة
1-تقييم الخرسانة الذكيّة الموفّرة للطّاقة مع الخصائص المعماريّة لتكنولوجيا المباني الخضراء المستدامة (Haque 2022)	خرسانة شفّافة: خرسانة ذكيّة جديدة ذات خصائص معماريّة عن طريق ترتيب الألياف في الخرسانة لتصبح قدرتها الوظيفيّة كخرسانة زخرفيّة بخصائص نقل الضّوء من خلال الألياف المدمجة	استخدام الخرسانة الشفّافة المحضّرة من الألياف الخيطيّة جعلها مادة ذاتيّة الاستدامة بكونها شفّافة موفّرة للطّاقة بالإضافة إلى صفتها الجماليّة الزخرفيّة
2-مواد وتقنيّات ذكيّة لمبنى خرساني مستدام (Nilimaa 2022)	خرسانة خضراء: الخرسانة الخضراء المصنوعة باستخدام مواد صديقة للبيئة والّتي يمكن إنتاجها بعدّة طرق بما في ذلك استخدام الرّكام المعاد تدويره والمنتجات الثّانوية الصّناعية والمواد الرّابطة البديلة	تقليل التّأثير البيئي بسبب إنتاج الخرسانة وإنشاء البناء بالإضافة إلى تقليل انبعاثات الكربون وتقليل استهلاك الموارد الطبيعيّة
3-استقصاء تجريبي عن سلوك الانحناء للعارضة الخرسانيّة المسلّحة المستدامة مع طبقة الملاط الذكيّة (Durairaj et al ;2023)	الخرسانة المسلّحة المستدامة: أضيفت للخرسانة طبقة الملاط الذكيّة (إضافة الألياف النحاسيّة والنّحاس الأصفر الهجين وألياف الكربون)	استخدام الملاط الذّكي جعل العناصر الهيكليّة للمبنى تحافظ على حملها ضمن حدٍ آمن حتّى في تغيّرات الحرارة الشّديدة ممّا يجعل هذه التّقنية سريعة وميسورة التّكلفة وأقلّ استهلاكاً للوقت لمراقبة الصّحة الهيكليّة للمبنى وبالتالي جعله أكثر استدامةً
4-الخرسانة البكتيريّة الذكية ذاتيّة الشّفاء لتحقيق هدف مستدام (Nasir Uddin et al; 2022)	الخرسانة ذاتيّة الشّفاء تحسين الخرسانة البكتيرية بعدة طرق من أجل المتانة في الخرسانة مع الرّكام المختلط والرماد المتطاير وغاز السّيليكا وجزيئات المطاط واللّدنات الفائقة.	تُعتبر هذه الخرسانة حلاً آليّاً للشّفاء الذّاتي في المستقبل للمباني الصّديقة للبيئة دون الحاجة إلى المواد الكيميائيّة والبوليمرات الّتي تشكّل خطراً على صحّة الإنسان والبيئة
5-نظام قائم على الامتزاز ذكي ومستدام لإزالة تلوث الأموكسيسيلين من الموارد المائيّة عن طريق تطبيق الخرسانة الخلويّة خفيفة الوزن: مناهج تجريبية ونمذجة (Azizi et al; 2022)	الخرسانة الخلويّة خفيفة الوزن مادة ماصّة غير مكلفة وقويّة	نظام قائم ذكي ومستدام لإزالة تلوّث الأموكسيسيلين من الموارد المائيّة من خلال عملية الامتزاز وبالتّالي الحفاظ على البيئة والموارد الطبيعيّة
6-الخرسانة المدعّمة بالألياف المركّبة الذكية الثّلاثية المتكاملة الحسابيّة من أجل الإنشاءات المستدامة (Bajad 2023)	الخرسانة المدعّمة بالألياف المركّبة: تولّد الخرسانة بشكل طبيعي شقوق صغيرة أثناء المعالجة، ولأنّ هذه الشّقوق تنتشر بسرعة تحت الأحمال المطبّقة، فإنّ الخرسانة تتمتّع بقوّة شد منخفضة، وبالتالي فإنّ استخدام الألياف في الخرسانة يقلّل من تأثير التشقّقات الدّقيقة ويزيد من قوّة الخرسانة	أداء الخرسانة المصنوعة من الألياف الهجينة والأسمنت + الرّماد المتطاير + مزيج دخان السّيليكا أفضل في جميع نطاقات درجات الحرارة. ممّا يجعل المبنى مستداماً من خلال الحفاظ على الهيكل في كافّة الظّروف.
7- الخرسانة الذكيّة المتكاملة الحسابيّة للإنشاءات المستدامة HFRTB (Bajad 2022)	خرسانة الألياف الهجينة المعزّزة بالألياف الثلاثيّة (HFRTB)	مقاومة كافّة درجات الحرارة وبالتّالي الحفاظ على المبنى وتحقيق إنشاء مستدام

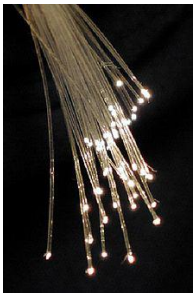
4-4-1 أنـواع الخرسـانة الذكيــة المسـتدامة وفـق أحـدث الدراسات في الجدول السابق (4)

الشكل (1) حزمة الالياف الضوئية +الخرسانة الناقلة للضوء (Navabi et al;2023,3)

4-1-4-1 الخرسانة الشفّافة Transparent TCF Concrete:

تُستخدم الخرسانة الشفّافة في تصميم المباني لزيادة الإضاءة الطبيعيّة وتحسين الجوانب البصريّة للمبنى. تجمع بين مزايا الخرسانة القويّة والدّائمة مع إمكانيّة الاستفادة من الإضاءة الطبيعيّة، ممّا يجعلها مواداً جذّابة في مجال العمارة.

تتراوح نسبة مرور الضوء في الخرسانة الشفافة بين 10-20% وذلك بسبب وجود الألياف البصرية فيها، حيث تسمح هذه الألياف للضّوء بالمرور من خلالها وكلّما كانت الألياف البصرية أرق، زادت نسبة مرور الضّوء وكلّما كان طول موجة الضّوء أقصر وزاوية سقوطه أقل، زاد سمك الضوء الذي يمكن أن يمرّ من خلال الخرسانة.(Haque, 2022,2)



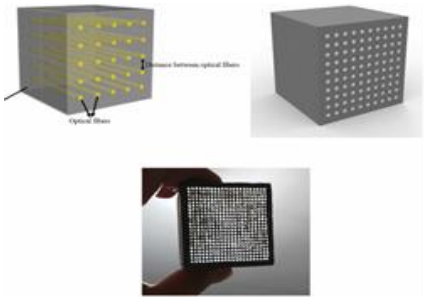
الشكل (2) استخدام الخرسانة الشفافة في مجمع المعارض في مدينةShenzhen في الصين.

المصدر : http:// www.dezeen.com

من خلال هذه الخرسانة يتم تمرير الضّوء الطّبيعي لتعزيز الرّاحة البصريّة دون الإضرار بالعزل الحراري للجدران الخارجيّة للمبنى وتوفير الطّاقة بنسبة بين (31.5% إلى 45.7%) من الكهرباء المُستهلكة في مبنى مكاتب وفق دراسة عدّة حالات في عدّة مدن(Navabi et al;2023,1).

4-1-4-2 الخرسانة الخضراء: GC Green Concrete

الخرسانة الخضراء هي نوع من الخرسانة المستدامة الّتي تُستخدم في مجال البناء تتميّز باستخدامها مواد متجدّدة وصديقة للبيئة في إنتاجها.



تتراوح نسبة الاسمنت في الخرسانة الخضراء بين 20 -30% مقارنة بنسبة 100% في الخرسانة التقليدية، ولكن يتم استبدال جزء من الإسمنت بالمواد المتجدّدة الصّديقة للبيئة مثل الرّماد المتطاير والكربونات وغيرها، على سبيل المثال (خلطة الخرسانة الخضراء القائمة على الرماد المتطاير تتألف من 60% من الرماد المتطاير و20% من الماء و20% من الاسمنت)، ويتمّ إضافة مواد مثل الألياف النباتيّة والمعادن لزيادة قوّة التحمّل والمتانة للخرسانة.(Nilimaa, 2022,3,3)

تتميز الخرسانة الخضراء بعدة مزايا، منها:

1- تقليل الانبعاثات الكربونيّة: تستخدم الخرسانة الخضراء مواد متجّددة صديقة للبيئة، مما يقلّل من الانبعاثات الكربونية المرتبطة بإنتاج الإسمنت.

2- توفير الموارد الطبيعية: تستخدم هذه الخرسانة مواد متجدّدة وصديقة للبيئة، ممّا يساهم في توفير الموارد الطّبيعية وتقليل الاستهلاك الزّائد للمواد اللّازمة لإنتاج الخرسانة التّقليدية.

3- تحسين جودة الهواء المحيط: تقلّل الخرسانة الخضراء من التلوّث الصّناعي وتحسّن جودة الهواء المحيط.

الشكل (3) الخرسانة الخضراء (Nilimaa, 2022,4)

4- زيادة المتانة والصلابة: من خلال استخدام مواد مثل الألياف النباتيّة والمعادن لزيادة قوّة التحمّل والمتانة للخرسانة. (Nilimaa, 2022,3,4)

الشكل (4) مبنى التنمية الصناعية في الصين الذي يستخدم الخرسانة الخضراء في بنائه.

المصدر: https://www.worldbank.org

استخدام الخرسانة الخضراء يمكن أن يساعد في توفير الطاقة عن طريق تقليل الحاجة إلى التدفئة والتبريد في المبنى، وبالتالي تقليل الاستهلاك الكهربائي والتكاليف المرتبطة به. كما تساعد في تحسين جودة الهواء داخل

المبنى وتقليل الاعتماد على النظام الميكانيكي للتهوية الذي يستهلك الطاقة. يمكن تقدير نسبة التوفير بنسبة تتراوح من 10 إلى 25% في استهلاك الطاقة للتدفئة والتبريد في المبنى وبالتّالي تقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بما يصل لنسبة 52% (Goswami et al; 2021,1)

4-4-1-3 الخرسانة المسلّحة المستدامة SFRC Sustainable Reinforced Concrete:

تهدف إلى تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل الأثر البيئي النّاتج عن العمليّات الإنشائية. تتميّز بعدة خصائص منها:

1 -استخدام مواد متجدّدة ومستدامة: مثل الألياف النّباتية والزّجاج المعاد تدويره وغيرها من المواد، لتحسين كفاءة استخدام الموارد الطّبيعيّة وتقليل الأثر البيئي.

2 -تقليل الانبعاثات الكربونيّة: من خلال استخدام تقنيّات الخلط الحراري والخلط البارد لإنتاجها، مما يقلّل الانبعاثات الكربونيّة المرتبطة بعملية الإنتاج.

3 -الصّلابة والمتانة: تتميّز هذه الخرسانة بصلابتها ومتانتها العالية، فيزداد العمر الافتراضي للمبنى ويقلّل من الحاجة إلى الصّيانة والتّجديد المتكرّر.

4 -كفاءة الطاقة: يمكن تحسين كفاءة استهلاك الطّاقة في عمليّات الإنتاج والبناء بواسطة استخدام تقنيّات مثل هذه الخرسانة الذكيّة (Durairaj et al ;2023,3) .

إن استخدام الخرسانة المسلحة المستدامة مع طبقات العزل المناسبة يمكن أن يساعد في توفير استهلاك الطّاقة للتدفئة والتبريد في المبنى وبالتالي تقليل الاستهلاك الكهربائي بنسبة تصل إلى 32%.(Asadi et al;2022,13)

الشكل (5) الخرسانة المسلحة المستدامة (Durairaj et al ;2023,)

الشكل (6) مبنى CO - OPERATIVE GROUP في المملكة المتحدة الذي يستخدم الخرسانة المسلحة المستدامة في بنائه.

المصدر : http://www.archdaily.com

4-4-1-4 الخرسانة ذاتيّة الشّفاء SCC Self-Healing Concrete :

لها القدرة على إصلاح الأضرار النّاجمة عن الاستخدام الميكانيكي المتواصل بمرور الوقت، وقد جاءت الفكرة من الأنظمة البيولوجيّة الحيويّة الّتي تستطيع إصلاح نفسها بعد حدوث شقوق بها أو أيّ نوع من الأضرار على المستوى المجهري، يؤدّي ذلك إلى تغيّر الخواص الحراريّة والكهربائيّة والصّوتية وبالنّهاية إلى فشل كامل لمادّة البناء.

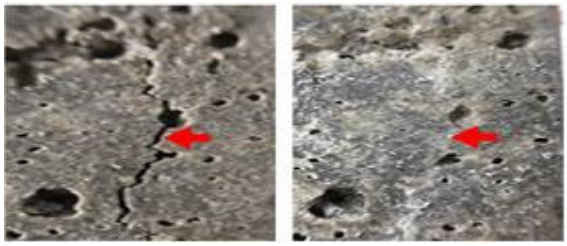
وتعدّ الخرسانة ذاتيّة الشفاء تقنيّة مبتكرة يتمّ تطويرها باستمرار لتحسين كفاءتها وقدرتها على التّصليح الذّاتي. تتميز بعدة خصائص منها:

1 -القدرة على التّعافي الذّاتي: حيث تحتوي على مواد كالبكتيريا والبوليمرات التي تُفرز منها مواد لاصقة عندما تتعرّض الخرسانة للتشقّق، لتساعد على إصلاح الشّقوق والتّجاويف الّتي تحدث في الخرسانة.

2 -تحسين السّلامة: تساعد على تحسين السّلامة في المباني والجسور والطّرق وغيرها، حيث يمكنها إصلاح التشقّقات والتّجاويف الّتي تؤدّي إلى تدهور البنية التّحتية.

3 -الكفاءة الاقتصاديّة: حيث تساعد الخرسانة ذاتيّة الشّفاء على تقليل تكاليف الصّيانة والتّجديد المتكرّر، وتحسين الكفاءة الاقتصاديّة لمشاريع البناء(Nasir Uddin et al; 2022.3)

يمكن تقدير نسبة التوفير بنسبة تتراوح من 5 إلى 10% في استهلاك الطاقة في عمليات الصّيانة والإصلاحات للمبنى عند استخدام الخرسانة ذاتيّة الشفاء. (Roque et al;2023,1)



الشكل (7) الخرسانة ذاتية الشفاء (Nasir Uddin et al; 2022)

الشكل (8) مبنى الابتكار والتنافسية في برلين Innovation Centre for Mobility and Societal Change الذي يستخدم الخرسانة ذاتيّة الشّفاء في بنائه.

المصدر :
https://eller-eller.de

4-4-1-5 الخرسانة الخلويّة AAC Autoclaved Aerated Concrete:

هي نوع من الخرسانة الخفيفة الوزن والتي تتميّز بخفّتها وقلّة كثافتها. تحتوي هذه الخرسانة على فقاعات هوائيّة صغيرة ومتوزّعة بشكل متساوٍ داخل المادة، ممّا يجعلها أخفّ وزنًا بكثير من الخرسانة التقليديّة. تُستخدم في العديد من التّطبيقات مثل الجدران والأسقف والجدران الانشائيّة والعوازل الحراريّة والصوتيّة. وتتميّز هذه الخرسانة بعدّة مزايا، منها:

1 -خفّة الوزن: حيث تكون أخف وزنًا من الخرسانة التقليديّة بنسبة تتراوح بين 50% و70%، مما يجعلها مثاليّة للاستخدام في المنشآت التي تتطّلب تقليل الوزن.

2 -العزل الحراري والصوتي: تتميز بخصائص العزل الحراري والصوتي الجيّدة.

3 -سهولة التّشكيل والمتانة: حيث يمكن تشكيلها بسهولة مع تميّزها بالمتانة والقوّة، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في المنشآت التي تتطّلب المتانة والصّلابة.

5 -الصّيانة السّهلة: تتطّلب الخرسانة الخلويّة صيانة أقل بكثير من الخرسانة التقليديّة.

يتم إنتاج الخرسانة الخلويّة عن طريق خلط مواد مثل الاسمنت والرمل والماء مع مادّة مثل الألومنيوم أو السيليكات، (لإنتاج خرسانة خلوية بكثافة 400كغ/م3 نحتاج كنسبة تقريبية لخلط 70-80% من الاسمنت مع 10-20% من الرمل و10-20% من الماء و2-5% من الألمنيوم) وتُترك هذه المادة للتّفاعل والتصلّب في درجة حرارة مرتفعة، ويمكن تعديل النسب المئوية لتغيير خصائص الخرسانة كالكثافة والصلابة والمقاومة الحرارية (Azizi et al; 2022)

يمكن تقدير نسبة التوفير بنسبة تتراوح من 20 إلى 37% في استهلاك الطّاقة المستخدمة في تكييف درجة الحرارة داخل المبنى، وتعتمد هذه النسبة على نوعيّة الخرسانة الخلويّة المستخدمة وظروف المناخ في المنطقة وطريقة استخدامها في البناء والتّصميم.(li et al;2022,1)

الشكل (9) الخرسانة الخلوية خفيفة الوزن (Azizi et al; 2022)

الشكل (10) مبنى US Bank Tower في لوس انجلس الذي يستخدم الخرسانة الخلوية خفيفة الوزن في بنائه

المصدر : http://www.laconservancy.org

4-4-1-6 الخرسانة المدعّمة بالألياف المركّبةFRC Fiber Reinforced Concrete:

هي نوع من الخرسانة التي تمّ تعزيزها بإضافة ألياف مركّبة، مثل الألياف الزجاجيّة أو الألياف الدّقيقة المعدنية وغيرها من الألياف لتحسين خصائصها الميكانيكية. وتُستخدم الخرسانة المدعّمة بالألياف المركّبة في مجموعة متنوعّة من التّطبيقات الهندسيّة، مثل البناء والجسور والأرصفة والجدران الصوتيّة والأسوار والأعمدة

تتمتّع الخرسانة المدعّمة بالألياف المركبة بعدة خواص، ومن أهمّها:

1- مقاومة عالية للتشقّق والصّدمات: تحتوي هذه الخرسانة على ألياف تنتشر بشكل متجانس داخل الخليط الخرساني، مما يحسّن من مقاومتها للتشقّق والّصدمات والتّأثيرات الخارجيّة الأخرى.

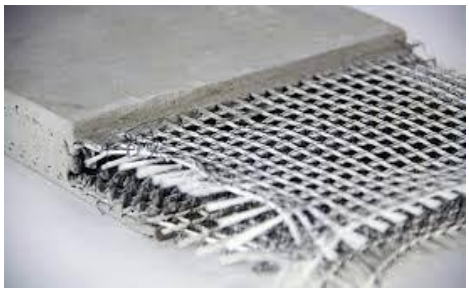
2- متانة وأداء عالي: تُستخدم الخرسانة المدعّمة بالألياف المركّبة في المنشآت التي تتعرّض للتّآكل والاهتراء والتآكل الكيميائي، ويتميّز هذا النوع من الخرسانة بمتانة عالية وأداء ممتاز في ظروف الاستخدام الصّعبة.

3- قابليّة تشكيل وتصميم مرنة: تتيح إمكانيّة تشكيلها وتصميمها بسهولة ومرونة، ممّا يتيح للمصممّين والمهندسين إنشاء تصاميم مختلفة ومبتكرة وتحسين خصائص الخرسانة بشكل كبير.

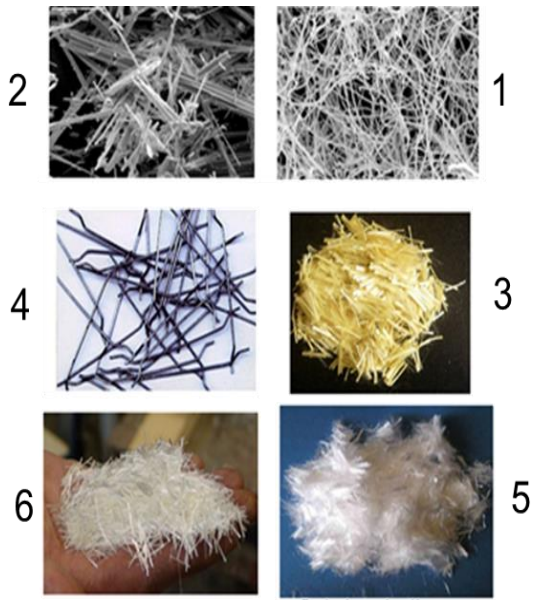
4- توفير الوقت والتّكاليف: تتميّز بسهولة التّركيب وسرعته، مما يعني توفير الوقت والجهد والتّكاليف في عمليات البناء.

5- خفّة الوزن: بالمقارنة مع الخرسانة التّقليدية، تحتوي الخرسانة المدعّمة بالألياف المركّبة على نسبة أقل من الاسمنت والرّكام، ممّا يجعلها خفيفة الوزن وسهلة النّقل والتّركيب.(Bajad, 2023,3)

تُعتبر هذه الخرسانة كمواد موفرّة للطّاقة وتنظيم درجة الحرارة الدّاخلية في المباني. يمكن تقدير نسبة التّوفير بنسبة تتراوح من 5 إلى 15% حيث تقلّل بشكل كبير من حمل التّبريد للمبنى خلال النهار حتّى في درجة حرارة الغرفة المرتفعة وتوفّر انخفاضًا في الحرارة أثناء الليل. ممكن أن تنخفض درجات الحرارة بمقدار 3 درجات مئويّة وتحقيق برودة لمدة 7 ساعات تقريبًا أثناء النهار بينما تم الوصول إلى درجة حرارة أكثر دفئًا قدرها 0.3 درجة مئوية في الطّقس البارد (Gencel et al;2022,1)



الشكل (11) الخرسانة المدعمة بالألياف المركبة (Bajad 2023)



الشكل (12) مركز Froedtert & Medical College of Wisconsin للرعاية المتقدمة في أمريكا الذي يستخدم في بنائه الخرسانة المدعمة بالألياف المركبة.

المصدر : https://www.obgyn.mcw.edu

4-4-1-7 الخرسانة الذّكية المتكاملة الحسابيّة للإنشاءات المستدامة HFRTB

Highly Functionalized Reinforced Tough Bio-composite:

الخرسانة الذكية المتكاملة الحسابيّة للإنشاءات المستدامة HFRTB (Highly Functionalized Reinforced Tough Bio-composite)هي نوع من الخرسانة الذكيّة المتطوّرة تمّ تطويرها لتحسين أداء الخرسانة وزيادة متانتها وتحسين استدامتها وتقليل تأثيراتها البيئيّة. تتميّز بالعديد من الخصائص المميّزة، بما في ذلك:

1- المرونة والتحكّم الكبير في التصميم: تتيح تصميم الإنشاءات بطريقة مرنة ودقيقة، وتحسين دقّة التّصميم والتحكّم في الأبعاد والأشكال والتّفاصيل.

2-تحسين مقاومة الخرسانة للتآكل والتأّثيرات الخارجية: تحتوي على ألياف متعدّدة ومختلفة الأنواع (الموضّحة في الشكل 13)،

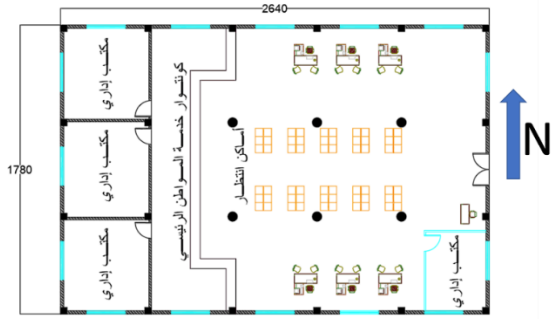
ممّا يحسن مقاومتها للتآكل والتّأثيرات الخارجية والتحمّل الحراري والرّطوبة.

3- الخفّة والسّهولة في التركيب: فيها مواد خفيفة الوزن وسهلة التّركيب، مما يقلّل من الوقت والجهد والتّكاليف في عمليّات البناء.

4- التحكّم الحراري: تحتوي على مواد عازلة وموصلة للحرارة كالألياف الكربونية والألياف الزجاجية والتي تتراوح الموصلية الحرارية لها بين 0.2-0.5 واط / م / درجة مئوية، مما يحسّن من قدرتها على التحكّم في درجة الحرارة وتوفير الطّاقة وتحسين استدامة الإنشاءات.

يمكن تقدير نسبة التّوفير بنسبة تتراوح من 10 إلى 30% فتساعد في تحسين كفاءة استهلاك الطّاقة في أنظمة التّدفئة والتّبريد في المبنى، بفضل خاصيّاتها المتعلّقة بتخزين وتحويل الطّاقة وتوزيع الحرارة بشكل متساوٍ داخل المبنى. Bajad, (20224)

الشكل (13) بعض أنواع الألياف المستخدمة في الخرسانة الذكية HFRTB (1. الياف الكربون 2. ألياف الأسبستوس 3. ألياف الأراميد 4. ألياف الفولاذ 5. ألياف البولي بروبلين6 ._ألياف الزجاج) (Bajad 2022)



الشكل (14) مبنى Henn's Cube أول مبنى في العالم مصنوع من الخرسانة المسلحة ذات الألياف الكربونية.

المصدر https://www.archinect.com

بعد معرفة أنواع الخرسانات الذكيّة الواردة في أحدث الدّراسات ودراسة خصائصها وميّزاتها ودورها المستدام يمكن تحديد أفضل أماكن تنفيذها في عناصر المبنى الإنشائيّة والمعماريّة لتحقيق الأداء الأمثل والاستدامة في المباني. وذلك باتّباع الخطوات التّالية:

دراسة نوعيّة المبنى: والتأكّد من ملاءمتها له- تحديد الأهداف المراد تحقيقها من استخدام الخرسانة الذكيّة المستدامة في هذا العنصر من المبنى، مثل تحسين جودة الهواء أو تحسين كفاءة الطّاقة- دراسة ظروف المناخ ودرجات الحرارة - التّكاليف: يجب دراسة التكاليف المتعلقة باستخدام الخرسانة الذكية المستدامة وتحديد فعالية استخدامها في تحقيق التّوفير في التّكاليف على المدى الطويل.

الجدول (5) أماكن توضع أنواع الخرسانة الذكية في عناصر المبنى المختلفة (إعداد الباحث)

نوع الخرسانة الذكية	العناصر المعمارية للمبنى			العناصر الإنشائية للمبنى		
	الواجهات	الأرضيات	الأسقف	الأعمدة	الجدران الحاملة	الجوائز
الخرسانة الشفافة	√	×	√	×	×	×
الخرسانة الخضراء	√	√	√	√	√	√
الخرسانة المسلحة المستدامة	×	√	√	√	√	√
الخرسانة ذاتية الشفاء	√	√	√	√	√	√
الخرسانة الخلوية	√	×	√	√	√	×
الخرسانة المدعمة بالألياف المركبة	√	√	√	√	√	√
الخرسانة الذكية المتكاملة الحسابية	√	√	√	√	√	√

بناءً على مراجعة الأدبيّات وأحدث الدّراسات المتعلّقة بالخرسانة الذكيّة وحسب ما ورد في البحث أعلاه يمكن تلخيص مدى توفير الطّاقة لكل نوع من أنواع الخرسانات المدروسة وفق الجدول التالي (6):

الجدول (6) توفير استهلاك الطاقة لأنواع الخرسانات الذكية المختلفة (إعداد الباحث)

نوع الخرسانة الذكية	مجال توفير الطاقة	النسبة المئوية لتوفير الطاقة
الخرسانة الشفافة	توفير طاقة الإنارة	%45.7-31.5
الخرسانة الخضراء	توفير طاقة التدفئة والتكيف	%25-10
	تقليل انبعاثات co2	%52
الخرسانة المسلحة المستدامة	توفير طاقة التدفئة والتكيف	%32
الخرسانة ذاتية الشفاء	توفير طاقة عمليات الصيانة والإصلاحات	%10-5
الخرسانة الخلوية	توفير طاقة التدفئة والتكيف	%37-20
الخرسانة المدعمة بالألياف المركبة	توفير طاقة التدفئة والتكيف	%15-5
الخرسانة المتكاملة الحسابية	توفير طاقة التدفئة والتكيف	%30-10

5-الحالة الدراسيّة:

5-1 تعريف بالحالة الدراسية وتحليل الوضع الرّاهن:

مبنى إداري في ضاحية قدسيّا- ريف دمشق (مركز خدمة المواطن)

الجدول (7) تعريف بالحالة الدراسيّة (إعداد الباحث)

الوضع الراهن						
مواد البناء	السطح		الواجهات		المغلف	
	المساحة	النسبة	المساحة	النسبة	المساحة	النسبة
خرسانة مسلحة	470	%100	28	%7	498	%57.5
زجاج	-	-	47.5	%12	47.5	%5.5
بلوك وطينة	-	-	322.5	81%	322.5	%37
المجموع	470	%100	398	100%	868	100%

الشكل (15) موقع الحالة الدراسية (إعداد الباحث)

المصـــــــــــــــــــــــــدر : https://maps.google.com

الشكل (16) المسقط الأفقي للحالة الدراسيّة (إعداد الباحث)

(المصدر http://moe.gov.sy)

مساحة مغلّف المبنى: –سيتم حساب مساحة مغلّف المبنى ليتمّ لاحقاً تطبيق الأنواع المناسبة من الخرسانة الذكيّة وحساب مدى توفير الطّاقة في الدّراسة المُقترحة للحالة الدراسيّة.

مساحة السّطح + مساحة الواجهات(الارتفاع يتضمن ارتفاع التّصوينة مع طبقات السطح الأخير بمقدار 1م)

(الطول x العرض) + (المحيط x الارتفاع)

= (4.50 x 88.40) + (17.80 x 26.40)

470 + 398 = 868 متر مربع المساحة الكليّة للمغلف

مساحة السّطح بالنسبة للمغلف كاملاً تقريباً= 55%

مساحة الواجهات بالنسبة للمغلّف كاملاً تقريباً = 45%

الجدول (8) تحليل الوضع الراهن لمواد البناء حيث تمّ حساب كافة المساحات الواردة في الجدول من خلال برنامج الأتوكاد لتحديد مساحة عناصر الواجهة. (إعداد الباحث)

5-2 دراسة استهلاك الطاقة والانبعاث الكربوني في الوضع الراهن للحالة الدراسيّة بشكل تقريبي ووفقاً للّظروف المحليّة الحاليّة:

بعد المقابلة والاجتماع مع موظّفي المركز تمّ تقدير الاستهلاك الوسطي للكهرباء المستخدمة للإنارة والتّدفئة أو التكييف بشكل عام في كلّ أيّام السّنة بمعدّل أصغري (20 كيلو واط ساعي) ومعدّل أعظمي (30 كيلو واط ساعي)، وعليه تمّ دراسة استهلاك الطّاقة الكهربائيّة والتّكلفة الماديّة وكميّة الانبعاث الكربوني على الشّكل التّالي:

1- تكلفة الكيلو واط الساعي بحسب التّعرفة الحاليّة للشّركة العامّة للكهرباء في الجمهورية العربيّة السّورية في الأبنية الإداريّة الحكوميّة والمقدر ب (300 ليرة سورية لكل واط ساعي)

2- تحديد الانبعاث الكربوني الوسطي النّاتج عن استهلاك كل كيلو واط ساعي من الكهرباء ويقدّر بـ (0.5 كيلو غرام لكل كيلو واط ساعي

(المصدر https://electricengg.com)

الجدول (9) مقدار الاستهلاك والكلفة والانبعاث الكربوني في الوضع الراهن للحالة الدراسيّة (إعداد الباحث)

الوضع الراهن		عدد الكيلو واط الساعي	كلفة 300 ليرة للكيلو واط الساعي	انبعاث الغازات 0.5 كغ لكل كيلو واط ساعي
ساعة	أصغري	20	6,000	10
	أعظمي	30	9,000	15
يوم	أصغري	160	48,000	80
	أعظمي	240	72,000	120
شهر	أصغري	3200	960,000	1600
	أعظمي	4800	1,440,000	2400
سنة	أصغري	38400	11,520,000	19200
	أعظمي	57600	17,280,000	28800

3-5 الدّراسة المقترحة للحالة الدراسيّة:

بناءً على دراسة أنواع الخرسانة الذكيّة وأفضل أماكن استخدامها في العناصر المعمارية والإنشائية للمبنى حسب التحليل السابق في الجدول (5)، وللاستفادة من خصائصها الواردة في متن البحث، سيتمّ تحليل الدّراسة المقترحة لمواد البناء في الحالة الدراسيّة بعد اقتراح استخدام الأنواع المناسبة من الخرسانة الذكية، وفق ما هو موضّح في الجدول (10) (المساحات اعتماداً على ما تمّ حسابه في الجدول (8) المتضمن دراسة مواد البناء في الوضع الراهن وحجم الخرسانة ناتج عن جداء المساحة بقيمة 0.3 المعبّرة عن سماكة الخرسانة المستدامة 30سم).

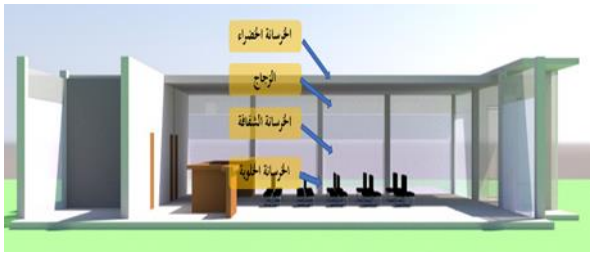
الخرسانة الخضراء: اقتراح استخدامها في السقف الأخير كعنصر إنشائي وفي التّصوينة المحيطة كعنصر معماري (جزء من الواجهة) بديلاً عن الخرسانة المسلحة العادية والبلوك الخلوي العادي.

الخرسانة الشفّافة: اقترح استخدامها في الواجهات كعنصر معماري بديلاً عن البلوك الخلوي العادي.

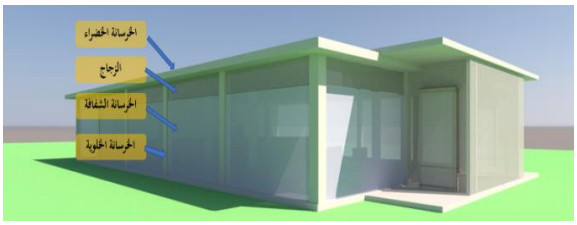
الخرسانة الخلويّة: اقتراح استخدامها في الأعمدة الإنشائية كعنصر إنشائي في مغلف البناء بديلاً عن الخرسانة المسلحة العادية.

الجدول (10) تحليل الدراسة المقترحة لمواد البناء في الحالة الدراسيّة (إعداد الباحث)

الدراسة المقترحة (سماكة الخرسانة المستدامة 0.3 م)									
مواد البناء	السطح			الواجهات			المغلف		
	المساحة $م^2$	النسبة	الحجم $م^3$	المساحة $م^2$	النسبة	الحجم $م^3$	المساحة $م^2$	النسبة	الحجم $م^3$
خرسانة خضراء	470	%100	141	88.4	22%	26.52	558.4	65%	167.52
زجاج	-	-	-	47.5	12%	-	47.5	5%	-
الخرسانة الشفافة	-	-	-	234.5	59%	70.35	234.5	27%	70.35
الخرسانة الخلوية	-	-	-	28	7%	8.4	28	3%	8.4
المجموع	470	%100	141	398	100%	105.27	868	100%	246.27



الشكل (17) لقطة خارجية توضّح الدّراسة المقترحة للحالة الدّراسيّة بعد تطبيق الخرسانة الذكيّة (إعداد الباحث)



الشكل (18) مقطع منظوري يوضح الوضع الدراسة المقترحة للحالة الدراسية بعد تطبيق الخرسانة الذكية (إعداد الباحث)

الشكل (19) لقطة داخلية توضح الدّراسة المقترحة للحالة الدراسيّة بعد تطبيق الخرسانة الذكيّة (إعداد الباحث)

5-4 دراسة التّوفير بعد استخدام الخرسانة الذكيّة في الدّراسة المقترحة للحالة الدراسيّة (توفير استهلاك الطاقة الكهربائيّة- التوفير المالي -توفير انبعاثات CO_2):

الجدول (11) يبيّن القيم الجديدة لاستهلاك الطّاقة بناءً على تطبيق عدد من أنواع الخرسانة الذكّية وهي: الخرسانة الشفّافة في الواجهات- الخرسانة الخضراء في السقف – الخرسانة الخلويّة في الأعمدة الإنشائية. بحيث يوفّر المبنى ما مقداره 25% من استهلاك الطّاقة الكهربائية كمعدّل وسطي لنسب توفير هذه الأنواع من الخرسانة بحسب الجدول (6) الوارد في البحث أعلاه.

وتمّ توفير نسبة إضافيّة لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون نتيجة لتطبيق الخرسانة الخضراء على 65% من مساحة مغّلف المبنى (السّطح) مما يؤدّي لتوفير إضافي بنسبة 30%

الجدول (11) مقدار الاستهلاك والكلفة والانبعاث الكربوني في الدراسة المقترحة للحالة الدراسية (إعداد الباحث)

الدراسة المقترحة		عدد الكيلو واط الساعي	كلفة الكيلو واط الساعي ليرة سورية	انبعاث الغازات بعد خفض استهلاك الكهرباء 0.5كغ لكل كيلو واط ساعي	انبعاث الغازات نتيجة تطبيق الخرسانة الذكية كغ/ كيلو ولط ساعي بتوفير 30%
ساعة	أصغري	15	4,500	7.5	5.25
	أعظمي	22.5	6,750	11.25	7.875
يوم	أصغري	120	36,000	60	42
	أعظمي	180	54,000	90	63
شهر	أصغري	2400	72,000	1200	840
	أعظمي	3600	1,080,000	1800	1260
سنة	أصغري	28800	8,640,000	14400	10080
	أعظمي	43200	12,960,000	21600	15120

يمكن تلخيص التّوفير الحاصل نتيجة تطبيق أنواع الخرسانة الذكية على الحالة الدراسية كدراسة مقترحة من خلال:

الجدول (12) الذي يوضّح مقدار التّوفير الحاصل نتيجة طرح قيم استهلاك الطاقة الكهربائية في الدراسة المقترحة من قيم استهلاك الطّاقة الكهربائيّة في الوضع الراهن.

الجدول (12) مقدار التّوفير في استهلاك الطاقة الكهربائية كنتيجة نهائية للفرق بين الوضع الراهن والدراسة المقترحة للحالة الدراسية (إعداد الباحث)

استهلاك الطاقة الكهربائية		عدد الكيلو واط الساعي		
		قبل	بعد	التوفير
ساعة	أصغري	20	15	5
	أعظمي	30	22.5	7.5
يوم	أصغري	160	120	40
	أعظمي	240	180	60
شهر	أصغري	3200	2400	800
	أعظمي	4800	3600	1200
سنة	أصغري	38400	28800	9600
	أعظمي	57600	43200	14400

الجدول (13) الذي يوضّح مقدار التّوفير المالي الحاصل نتيجة طرح قيم تكلفة استهلاك الطاقة الكهربائية في الدراسة المقترحة من قيم تكلفة استهلاك الطّاقة الكهربائيّة في الوضع الراهن.

الجدول (13) مقدار التّوفير المالي في استهلاك الطاقة الكهربائية كنتيجة نهائية للفرق بين الوضع الراهن والدراسة المقترحة للحالة الدراسية (إعداد الباحث)

تكلفة استهلاك الطاقة الكهربائية		كلفة الكيلو واط الساعي ليرة سورية		
		قبل	بعد	التوفير
ساعة	أصغري	6,000	4,500	1.500
	أعظمي	9,000	6,750	2,250
يوم	أصغري	48,000	36,000	12,000
	أعظمي	72,000	54,000	18,000
شهر	أصغري	960,000	72,000	240,000
	أعظمي	1,440,000	1,080,000	360,000
سنة	أصغري	11,520,000	8,640,000	2,880,000
	أعظمي	17,280,000	12,960,000	4,320,000

الجدول (14) الذي يوضّح مقدار التّوفير الحاصل نتيجة طرح قيم انبعاث ثاني أكسيد الكربون في الدراسة المقترحة من قيم انبعاث ثاني أكسيد الكربون في الوضع الراهن.

الجدول (14) مقدار التّوفير في انبعاث ثاني أكسيد الكربون كنتيجة نهائية للفرق بين الوضع الراهن والدراسة المقترحة للحالة الدراسية (إعداد الباحث)

كمية انبعاث CO2		انبعاث الغازات كغ/كيلو واط ساعي		
		قبل	بعد	التوفير
ساعة	أصغري	10	5.25	4.75
	أعظمي	15	7.875	7.125
يوم	أصغري	80	42	38
	أعظمي	120	63	57
شهر	أصغري	1600	840	760
	أعظمي	2400	1260	1140
سنة	أصغري	19200	10080	9120
	أعظمي	28800	15120	13680

6- النتائج والتّوصيات:

نتائج على المستوى النظري:

خلاصة عامة حول الخرسانة المستدامة وخواصها وتصنيفاتها:

1-تمّ استنتاج أهم خواص الخرسانة الذكية المستدامة ومقارنتها مع الخرسانة التقليدية والتأكيد على خصائصها الحرارية التي لها الدور الأكبر في توفير الطاقة عند استخدامها في الأبنية.

2- تمّ تحديد أهم أنواع الخرسانة الذكيّة الحديثة وهي:

1. الخرسانة الشفّافة Transparent Concrete
2. الخرسانة الخضراء Green Concrete
3. الخرسانة المسلّحة المستدامة Sustainable Reinforced Concrete
4. الخرسانة ذاتيّة الشّفاء Self-Healing Concrete
5. الخرسانة الخلويّة Aerated Concrete
6. الخرسانة المدعّمة بالألياف المركّبة Fiber reinforced concrete
7. الخرسانة الذّكية المتكاملة الحسابيّة للإنشاءات المستدامة HFRTB (Highly Functionalized Reinforced Tough Bio-composite)

3- تمّ اختيار الأماكن المناسبة لتوضيع الخرسانة الذكيّة المستدامة في عناصر المبنى المختلفة المعماريّة والإنشائيّة لتحقيق الأداء الأمثل والاستدامة في المباني، وتحقيق العديد من الفوائد المهمّة للبيئة والمجتمع.

4- تمّ استنتاج قيم توفير الطّاقة التي يمكن تحقيقها عند تطبيق أنواع الخرسانة الذكيّة في الأبنية سواءً الطّاقة المستهلكة للإنارة أو التّدفئة والتّكييف بالإضافة إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وبالتالي انعكاس ذلك على تحقيق عمارة مستدامة.

نتائج على المستوى التطبيقي:

1-تم اختيار أنواع مناسبة من الخرسانة الذكيّة المدروسة ضمن البحث لتطبيقها كدراسة مقترحة للحالة الدراسيّة (مبنى إداري في ضاحية قدسيّا) وذلك للوصول إلى النّسبة الأكبر من توفير استهلاك الطّاقة الكهربائيّة في المبنى إضافةً لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وبهذا الهدف استخدم الباحث ثلاثة أنواع من الخرسانة الذكيّة في الدّراسة المقترحة للحالة الدراسيّة وهي:

الخرسانة الشفّافة في الواجهات– الخرسانة الخضراء في السقف – الخرسانة الخلويّة في الأعمدة الإنشائية.

2– تمّ التوصّل إلى مقدار التّوفير في الطّاقة الكهربائيّة المستخدمة للإنارة والتدفئة والتكييف في الدراسة المقترحة للحالة الدّراسيّة (بعد تطبيق أنواع الخرسانة الذكية) والذي بلغ ما يعادل تقريباً 14400 كيلو واط ساعي سنوياً بشكل أعظمي بنسبة توفير 25%.

3– تمّ التوصّل إلى مقدار التوفير المالي في الدراسة المقترحة للحالة الدّراسيّة (بعد تطبيق أنواع الخرسانة الذكية) والذي بلغ ما يعادل تقريباً 4 ملايين و320 ألف ليرة سورية سنوياً بشكل أعظمي بنسبة توفير 25%.

4– تمّ التوصّل إلى مقدار التوفير في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الدراسة المقترحة للحالة الدّراسيّة (بعد تطبيق أنواع الخرسانة الذكية) والذي بلغ ما يعادل تقريباً 13680 كغ لكل كيلو واط ساعي سنوياً بشكل أعظمي بنسبة 47.5%.

5– أدّى استخدام الخرسانة الذكية في الدراسة المقترحة للحالة الدراسية إلى التوفير الكبير في الطاقة الكهربائية المستخدمة للإنارة والتدفئة والتكييف وبالتالي التوفير المالي وتقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون مما يحقق أهم نقاط العمارة المستدامة بيئيّاً واقتصادياً.

توصّل البحث إلى مجموعة من التّوصيات هي:

1–إجراء المزيد من الدّراسات حول المواد الذكيّة وإمكانيّة تطبيقها في الأبنية والاستفادة من خصائصها المتطوّرة خاصّةً بما يتعلق بتوفير الطّاقة وتحقيق الاستدامة، وإمكانيّة تطبيقها على المستوى المحلي، أسوةً بباقي دول العالم وخاصةً في ظلّ الظّروف الرّاهنة وقلّة الموارد في الجمهوريّة العربيّة السّورية.

2– الاستفادة من الدّراسة المقترحة للحالة الدّراسيّة في مبانٍ مشابهة (في مرحلتيّ الإنشاء والإكساء) بحيث يكون المبنى أكثر استدامةً وتوفيراً للطّاقة باستخدام الأنواع المناسبة من الخرسانة الذكيّة.

3–دراسة مدى إمكانيّة استخدام الخرسانة الذكيّة على المستوى المحلّي الّتي تتّمتع بشروط ومواصفات حديثة ستساعد على تحقيق توفير الطّاقة وتقليل الجهد والوقت وتحقيق المزيد من الأمان في المباني بالإضافة إلى الدّور الأساسي في تحقيق الاستدامة وحماية البيئة.

4–التّشجيع على استخدام الأنواع المناسبة من الخرسانة الذكية المستدامة على المستوى المحلّي رغم أنها أكثر تكلفة من الخرسانة العادية، وبحسب الخبراء السوريين في مجال مواد البناء يمكن تقدير تكاليف إنتاج أو استيراد ونقل وتركيب الخرسانة الذكية المستدامة بنسبة 15–25% أكثر من كلفة الخرسانة العادية، لكنّها توفّر العديد من الفوائد الاقتصادية مثل إطالة عمر المبنى وخفض تكاليف الإنتاج وتوفير الطّاقة.

5– الاستفادة من البرامج الحاسوبية الحديثة لقياس الانتقال الحراري عبر الخرسانة الذكيّة المستدامة في الجدران والأسقف في الأبنية وبالتالي سهولة حساب استهلاك الطّاقة والتّوفير الناتج عن استخدام هذه الأنواع من الخرسانة في الأبنية ليكون هذا البحث بمثابة اللّبنة الأولى لأبحاث متقدّمة في مجال اقتصاديّات مواد البناء.

6–إعطاء دور أساسي للمهندسين المعماريّين في اختيار المواد الذكيّة المناسبة أثناء دراسة وتنفيذ الأبنية من خلال الاستفادة من خصائصها بهدف تحقيق كفاءة الطّاقة والوصول إلى أحدث المواصفات في المباني.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

1.البحـرة–طـلال، فـاكوش–عقبـة، (2013). دراسـة مقارنـة تحليليّة لبعض معايير الاستدامة السّكنيّة العالميّة. مجلّة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلّد التاسع والعشرون، العدد الثاني، 561.

2.زيـد– خالـد، (2022). مفـردات العمـارة الذكيّـة لتحقيـق الاستدامة، 75.

3. وزيري –يحيى، (2003). التصميم المعماري الصديق للبيئة نحو عمارة خضراء 63–64.

4. Asadi, I., Baghban, M. H., Hashemi, M., Izadyar, N., & Sajadi, B. (2022). Phase Change Materials Incorporated into Geopolymer Concrete for Enhancing Energy Efficiency and Sustainability of Buildings: A Review. Case Studies in Construction Materials, 17, e01162,13.

5. Azizi, M., Teymourian, T., Teymoorian, T., Gheibi, M., Kowsari, E., Hajiaghaei–Keshteli, M., & Ramakrishna, S. (2023). A Smart and Sustainable Adsorption-Based System for Decontamination of Amoxicillin from Water Resources by the Application of Cellular Lightweight Concrete: Experimental and Modeling Approaches. Research on Chemical Intermediates, 49(1), 341-370.

6.Bajad, Mohankumar. (2022). Computational Integrated Smart HFRTB Concrete for Sustainable Constructions. Research Squre , This work is licensed under a creative commons attribution 4.0 International Licence. May 2022.

7. Bajad, mohankumar. (2023). Computational Integrated Smart Ternary Composite Hybrid Fiber-Reinforced Concrete for Sustainable Constructions. Springer link/ Emergent Materials .6 -769-776. Published 28 March 2023.

8. Durairaj, Ramkumar., Varatharajan, Thirumurugan., Srinivasan, Satyanarayanan Kachabeswara., Gurupatham, Beulah Gnana Ananthi and Roy, Krishanu. (2023).
Experimental Investigation on Flexural Behaviour of Sustainable Reinforced Concrete Beam with a Smart Mortar layer.
MDPI/ this article belongs to the special issue (sustainable construction composite materials)23 march 2023.

9.Gencel, Osman., Hekimoglu, Gokhan., San, Ahmet., Ustaoglu Abid., Subasi, Serkam., Marasli, Muhammed., Erdogmus Ertugrul., Memon, Shazine Ali. (2022).
Glass Fiber Reinforced Gypsum Composites with Microencapsulated PCM as Novel Building Thermal Energy Storage Material. Sciences Direct/ ELSEVIER/ construction and building materials. V 340, 18 July 2022,127788.

10.Goswami, Shubham., Shukla, Dharmendra Kumar., Singh, Pramod Kumar. (2021). Sustainable Transformation of Sewage Sludge ash and Waste Industrial Additive into Green Cement Blend.
Structural Concrete / Journal of th fib/ 30 july 2021.

11.Haque, MohammadBdrul (2022). Evaluatin of an Energy Efficient Smart Concrete with Architectural Properties for Sustainable Green Building Technology. AIP/ Publishing Research article/ November 17 2022.

12.Kamal, Ibtisam (2021). Smart Concrete: The Deep Revolution to the Field of Conventional Concrete Materials. Faculty of Engineering -Soran University 10 May 2021.

13.Konarzewska, Boguslawa. (2017). Smart Materials in Architecture: Useful Tools with Practical Applications or Fascinating Inventions for Experimental Design. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Gdansk University of Technology ,2.

14. Kroschwitz, J. (1992). Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons New York.

15. Leo, D. (2007). Engineering Analysis of Smart Material Systems. John Wiley & Sons Press, Hoboken, New Jersy .1.

16. Li, Qing., Ju, Zhipeng., Wang, Zhiguo ., Ma, Lingyong., Jiang Wei., Li,Dong., Jia, Jiaojio (2022) . Thermal Performance and Economy of PCM Foamed Cement Walls for Building in Different Climate Zones. Science Direct/ ELSEVIER/ Energy and Buildings. Volume 277,15/12/2022,112470.

17. Lorraine,F .(2009) Construction + Materiality. AVA Publishing.

18. Luhar, Ismail., Luhar, Salmabanu., Sawa, Pericles., Theodosiou, Antreas., Petrou, Michael and Nicolaides, Demetris. (2021). Light Transmitting Concert: A Review. Buildings /Journal.

19. Makul, Natt. (2020). Advanced Smart Concrete – A Review of Current Progress, Benefits and Challenges. Journal of Cleaner Production, volume 274, 20 November 2020, 122899.
20. Manikanta,A ., Dash ,Bimalendu ., Mohan, Sai.G (2018). A Review on Carbon Reinforced Concrete. Civil Engineering Department GMR Institute of Technology, Rajam, India. IJEDR 2018 / Volume 6, Issue 4/ISSN: 23201-9939.
21. Mihashi,H. Kaneko,Y.,, Nishiwaki,T& Otsuka,K.(2000) . Fundamental Study on Development of Intelligent Concrete Characterized by Self-healing Capability for Strength. Transactions of the Japan Concrete Institute.
22. Nasir Uddin, Md., Tafsirojjaman, t., Shanmugasundaram, N., Praveenkumar, S., & Zhili, Ling. (2022). Smart Self- healing Bacterial Concrete for Sustainable Goal. Innovative Infrastructure Solutions. 8, Article number 46 (2023). Published: 18/12/2022.
23. Navabi, Danial., Amini, Zahra., Rahmati, Alireza., Tahbaz, Mansooreh., Butt,Talib.E., Sharifi , Sarvenaz ., Mosavi, Amir. (2023). Developing Light Transmitting Concrete for Energy Saving in Buildings. ELSEVIER/ case studies in construction materials 18 July 2023, e 01969.
24. Nihalani, Seema., Dr. Joshi, Unnati., Meeruty, Ashish. (2019). Smart Materials for Sustainable and Smart Infrastructure. Materials Science Forum, ISSN: 1662-9752, Vol, 969, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
25. Nilimaa, Jonny. (2022). Smart Materials and Technologies for Sustainable Concrete Construction. ELSEVIER/ Development in the Built Environment, Volume 15, October 2022.
26. Roque, Bruno Augusto Cabral., Brasileiro, Pedro Pinto Ferreira., Brandao, Yana Batista., Casazza, Alessandro Alberto., Converti, Attilio., Benachour Mohand and Sarubbo, Leonie Asfora. (2023). Self-healing Concrete: Concepts, Energy Savaging and Sustainability. MDPI/ Energies / 7/2/2023. This article belongs to the special issue. Valorization of wastes: Environmental Sustainability and Production of Biofuels by Advanced Technology IT.
27. Sharp,P.S., Clemena ,G.G . (2004) State of the Art Survey of Advanced Materials and their Potential Application in Highway Infrastructure, Charlottesville, Virginia Transporttation Research Council.
28. http:// www.autodesk.com/ products/ fusion-365/ blog/ piezoellecticity
(Accessed 1/6/2023)
29. https:// www. The constructor.org/ concrete/carbon fiber-reinforced-polymers-applications /1588#
(Accessed 2/6/2023)
30. https://www. archinect.com / news/article/ 150276090/
(Accessed 2/6/2023)
31. http:// www.dezeen.com/ 2021/ 05/07/Shenzhen-reform-and-opening -up -exhibition-hall-sou-fujimoto-Vhina/ (Accessed 18/6/2023).
32. http:// www. worldbank.org / en/results/2021/4/19/developing-a-sustainable – industrial -zone-in- China (Accessed 18/6/2023).
33. http://www.archdaily.com/ 337430/1-angel-square-3d-reid (Accessed 19/6/2023 .(
34. https://eller-eller.de/en/portfolio/bayer-open-innovation-center-Berlin
(Accessed 19/6/2023.)
35. http:// www.laconservancy.org/ locations/ us-bank-tower
(Accessed 19/6/2023)
36. https://obgyn.mcw.edu/ services/for-patients/locations/cancer-center/
(Accessed 19/6/2023)
37. http://moe.gov.sy
(Accessed 20/6/2023)
38. https://electricengg.com
) Accessed 20/6/2023 (
39. https://maps.google.com
(Accessed 18/6/2023)
40. https://energy-models.com/ heat -transfer. (Accessed 1/11/2023)