Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 19, No. 73 , October 2024, 1499 – 1521

THE IMPACT OF TECHNICAL DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS ON THE ARCHITECTURAL FACADE – UNIVERSITY BUILDINGS ARE A CASE STUDY

Fatma A. Elagoz*, Ismail M. Mohieddin, Mohamed A. Mahmoud

Architecture Engineering Department, Faculty of Engineering, Al-Azhar University, Cairo, Egypt.

***Correspondence**: engoz.2016@gmail.com

Citation:

F.A. Elagoz, I.M. Mohieddin and M.A. Mahmoud, " The impact of technical development of building materials on the architectural facades – University buildings are a case study", Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, vol. 19 , pp. 1472 - 1494, 2024.

Received: 22 May 2024

Revised: 01 July 2024

Accepted: 11 July 2024

DOI:10.21608/auej.2024.299511.1677

Copyright © 2024 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International Public License (CC BY-SA 4.0)

ABSTRACT

In recent days, technology has developed significantly and rapidly, and the impact of this development has appeared in many fields. This impact has also appeared on architectural facades, this is due to the technical revolution that allowed architects to realize all design ideas, whether at the level of building systems, building materials, finishing materials, or others.

University buildings are among the buildings that are supposed to express the present in which we live and keep pace with its developments, because they are considered the radiation point from which science originates, and the most important feature of this present is technical development, hence the idea of research was to link the three main axes, which are:

1-The technical development.

2- Architectural facades.

3- University buildings.

KEYWORDS: The technical development, Architectural facades, Smart materials, Nano materials, University buildings.

تأثير التطور التقني لمواد البناء على الواجهة المعمارية المباني الجامعية حالة دراسية

فاطمة على العجوز*، إسماعيل محمد محيي الدين، أحمد محمد محمود

قسم العمارة، كلية الهندسة، جامعة الأزهر، مدينة نصر، القاهرة، مصر.

.

***البريد الاليكتروني للباحث الرئيسي:** engoz.2016@gmail.com

الملخص

تتعرض الواجهات اليوم لمرحلة جديدة تتشـــارك فيها كل الحلول التصـــميمية جنبا إلى جنب ســـواء حلول وظيفية أو بيئية أو جمالية، ويرجع ذلك إلى الثورة التقنية التي سمحت للمعماريين بتحقيق كل الأفكار التصميمية خاصة على مستوى مواد البناء والتشطيب. كما أن المباني الجامعية هي من أكثر المباني التي من المفترض أن تعبر عن الحاضـــر الذي نعيشـــه ومواكبة تطوراته لأنها تعتبر نقطة الإشعاع التي ينطلق منها العلم وأهم سمات هذا الحاضر هو التطور التقني ومن ثم فإن هذه الورقة البحثية تتكون من ثلاثة محاور هي:

الواجهات المعمارية وهي العنصـــر المعماري في المبنى الذي يفهمه ويدركه عامة الأفراد بســـهولة، المباني الجامعية وهي المباني التعليمية التي عادة ما يرغب أصـحابها في أن توحى المباني بالمسـتقبل، التطور التقني لمواد الإنشـاء والذي أثر على العمارة ومبانيها على المسـتوى المعماري وظيفيا وجماليا. وفي هذا السـياق يتمثل موضـوع الورقة البحثية في دراسـة مود البناء والتشـطيب المتطورة (الذكية بتقنية النانو) ذات الصـلة بتشـكيل عناصـر واجهات المباني الجامعية وذلك بهدف تسـليط الضـوء على أوجه الاسـتفادة من هذه التقنيات المتطورة في رفع كفاءة واجهات المباني الجامعية وظيفيا وجماليا. وتعتمد هذه الورقة البحثية على المنهج الوصـــفي التحليلي المقارن عن طريق الاســتعراض النظري للواجهات المعمارية والمباني الجامعية والتطور التقني، ثم الدراســة التحليلية لبعض نماذج المباني الجامعية العالمية والعربية ومدى تطبيقها لتطبيقات التطور التقني. وتتكون هذه الورقة البحثية من ثلاثة أجزاء وهي المقدمة التي تمهد لموضــوع الدراســة البحثية ثم متن الدراســة الذي يحتوي على كافة جوانب الموضــوع البحثي ثم خاتمة تتضــمن النتائج والتوصيات.

الكلمات المفتاحية: الواجهات المعمارية، المباني الجامعية، التطور التقني، المواد الذكية، مواد النانو.

1- المقدمة

على الرغم من دور الواجهة المعمارية الكبير في المباني والتي يمكن أن تغير تجربة المستخدم داخليا وخارجيا وتغير أداء المبنى بالكامل، كما تؤثر على مظهر المبنى، إلا أنه غالبا يكون المسقط الأفقي المعني بالدراسة، ويستغرق الوقت الأوفر من زمن التصميم، ويأتي بعدها دور الواجهات في عجالة، ويعتمد غالبا على الحس الفني دون ضوابط علمية وفنية (1).

ومع تسارع إيقاع العصر الذي نعيشه وظهور التكنولوجيا في حياتنا وسهولة الحصول على المعلومات وسرعة العمل لمواكبة التطور المستمر. أصبح هناك حاجة ماسة للمتابعة الدائمة للتطور التقني وكيفية الاستفادة منه وتوجيهه بما يفيد التصميم المعماري.

فالتطور التقني في مجال التصميم والبناء يمثل أحد العوامل المؤثرة على أداء الواجهة المعمارية سواء من الناحية الوظيفية أو الجمالية. حيث لوحظ في الدراسات والأبحاث الأخيرة الدور الكبير الذي يلعبه التطور التقني في ظهور مواد جديدة، ومواد متطورة ذات خصائص جديدة لم تكن موجودة من قبل ساعدت في حل مشاكل الواجهة التقليدية مثل الشيخوخة والثبات وعدم التفاعل مع التغير الخارجي والحصول على واجهات ذات كفاءة عالية.

وعليه فإن المجال الرئيسي للبحث يقوم بدراسة العلاقة بين التطور التقني وكفاءة أداء الواجهة، خاصة في مرحلة ظهور المواد الذكية ومواد النانو. وذلك بهدف وضع محددات لكيفية الاستفادة من المواد الذكية ذات الخصائص المناسبة مع الواجهات المعمارية، خاصة واجهات المباني التعليمية الجامعية محل الدراسة التحليلية.

2- الواجهة المعمارية

2-1- تعريف الواجهة المعمارية

يقصـد بها الواجهة الرئيسـية غالبا في الهندسـة المعمارية، وغالبا ما تكون الأكثر أهمية من وجهة نظر المصـمم حيث أن الواجهة تكون المحدد الرئيســي لنغمة التصــميم (2)، أو هي طبقة الفصــل بين الخارج والداخل، بين الطبيعة والمســاحات الداخلية التي يشغلها الناس.

2-2- عناصر / مكونات الواجهة

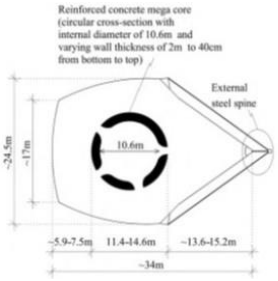
هي العناصــر التي يتم من خلالها بناء الشــكل النهائي للواجهة طبقا لتأثير كل منها على تصــميم الواجهة هندســيا أو تعبيريا:
1- الحوائط (الخارجية) هي الأجزاء المصمتة في الواجهات التي لا تسمح بالاتصـال الفراغي بين الداخل والخارج (1)، تستخدم لنقل الأحمال وتقسـيم الفراغات الداخلية، ويمثل الواجهات الخارجية الرأسـية للمبنى، يسـاعد في تحقيق الوظائف المتعددة الخاصـة بالمبنى (3)، وقد تكون الحوائط مستوية أو منحنية، رأسية أو مائلة، أو ذات تقسيمات بارزة أو غائرة (1).

تطورت الحوائط في الفترة الأخيرة على مستويين:

أ- المواد المسـتخدمة سـواء مواد إنشـائية أو غير إنشـائية أو مواد تشـطيب نهائي وهي عناصــر معبرة ومؤثرة بشــكل كبير في الواجهة المعمارية، وقد تطورت هذه المواد وظهرت مواد جديدة بتطور التكنولوجيا، وقد ســاعدت بشــكل كبير في تحقيق أفكار الكثير من المعماريين والمصممين.

الشكل (1): يوضح استخدام مواد إنشاء حديثة وتأثيرها على الواجهة (21).

ب- الأنظمة التي تشـــكل الحائط حيث أن النظام الإنشـــائي من أوائل العناصر التي تحدد عند تصميم أي مبنى، وقد أدى تطور نظم الإنشاء إلى ظهور فكر معماري جديد في الواجهات الخارجية.



الشكل (2): يوضح تأثير النظام الإنشائي في تكوين المبنى وواجهته – برج الجذع الملتف HSB، السويد، مالمو (24).

2- الفتحات هي العنصـــر الســـالب والمكمل للأجزاء المصـــمتة في الواجهة الخارجية للمبنى، تعتمد على التخطيط الداخلي ومحاور الحركة، تتسـم بالشـفافية والاتصـال البصـري والضـوئي والهوائي بين الداخل والخارج، كما تلعب الفتحات دورا هاما في التشـكيل البصري للواجهة (2)، وتنقسم الفتحات إلى (الأبواب - النوافذ - العقود - الأجزاء المتقطعة من حوائط واجهة الكتلة البنائية).

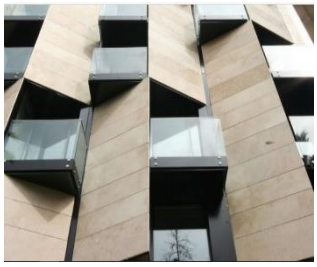
أ- الأبواب وتمثل الأبواب منطقة الدخول للمبنى أو للفراغ أومن فراغ لآخر، حيث توفر الخصوصية والاعتبارات الأمنية والحماية من الحرائق، ويجب تصميمها من مادة وسمك يناسب التصميم.

ب- النوافذ هو العنصر الذي يمثل نسبة المصمت إلى المفتوح وتلعب دورا كبيرا في مدى مقاومة المبنى للأحمال الحرارية الخارجية، إمداد الفراغات الداخلية بالإضـاءة الطبيعية، الطاقة الشـمسـية، تحقيق الراحة للمسـتعملين، الترشـيد في اسـتهلاك الطاقة (3)، وتتشـكل الفتحات من ثلاث مكونات هامة: شكل الفتحة shape، والإطار frame، وأداة الملء filling (1).

الشكل (3): يوضح نماذج للفتحات - نموذج للعقود - https://www.aaciaegypt.com

3- المداخل هو عنصر ذا أهمية كبيرة في تصميم الواجهات من حيث موضعها في التكوين الكتلي، وفي كيفية تأكيدها من خلال السلالم والمنحدرات، وتظليلها، وزيادة تفاصيلها أو تصميم المداخل في أجزاء بارزة أو غائرة من الواجهة (1).

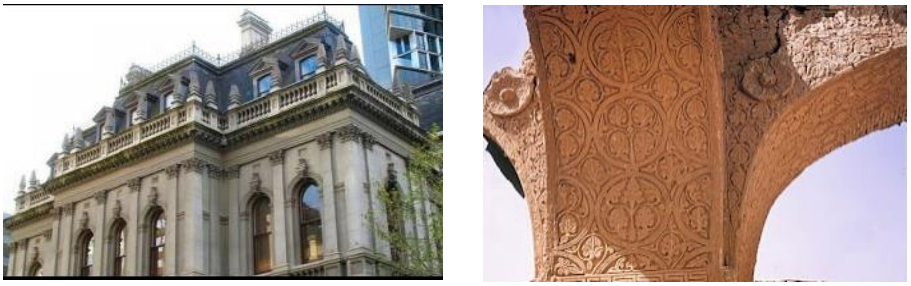
4- العنـاصـــر البـارزة في الواجهـات المعمـاريـة تلعـب دورا هـامـا في التشـــكيـل البصـــري وتنقســـم إلى (2): أ- العناصـر الأفقية كالكاسـرات الأفقية والمظلات والكتل الخارجية وهي مسـتويات أفقية تبرز من مسـتوى الواجهة لتظلل الفتحات أو تقلل من أشعة الشمس الساقطة على الأجزاء المصمتة (1).



الشكل (4): يوضح المظلات - الكاسرات الأفقية - الكاسرات الرأسية - تشكيل الكتل الخارجية - https://shade.ms

ب- العناصر الرأسي ة كالكاسرات الرأسية والأعمدة البارز ة والكتل الخارجية وهي مستويات رأسية وعمودية على سطح الواجهة تمنع أشعة الشمس المنخفضة من اختراق الفتحات، أو تكون للحماية البصرية وتحقيق الخصوصية (1).

5- العناصر التكميلية وهي ترمز إلى العناصر التفصيلية في الواجهة كأحواض الزهور ووحدات الإضاءة الخارجية والعناصر النحتية والزخارف وتختلف من مبنى لآخر (2)، كلها تخفف من ثقل الكتلة البنائية وتعطي شـــفافية وترجع طابعها إلى المقياس الإنســـاني والإحساس بأبعاد العناصر والتكوين (1).



الشكل (5): الزخارف - الحليات - المكملات المعمارية - https://www.homify.ae

6- التكوين العام للواجهة من حيث خط الأرض وخط الســماء (الدراوي) وعلاقة المصــمت بالمفتوح وخط القطاع على التكوين العام للواجهة، ومحاولة المصـــمم على التأكيد على عنصـــر معين في الواجهة أو محاولة التركيز على لون معين أو مادة ظاهرة من المواد المستعملة في البناء (2).

الشكل (6): يوضح بعض عناصر التكوين العام للواجهة (خط السماء بالنسبة للكتل - التأكيد على عنصر الزجاج في الواجهة) - https://mnzly.com

3- مباني الجامعات

3-1- تعريف مباني الجامعات

من وجهة النظر المعمارية هي مباني تخدم الحياة الثقافية والاجتماعية لمجموعة من الناس، يؤثرون على المباني والمباني بأشكالها تؤثر بدورها عليهم. (12)

3-2- أنواع المباني الجامعية

التي تخدم العملية التعليمية لزيادة الفهم والتعمق لدراســة هذه المؤسـســة التعليمية وتحديد الملامح المميزة لها وأهدافها وهي مباني تعليمية (أكاديمية - مباني لأبحاث المســتشــفيات التعليمية وعيادتها)، المكتبة المركزية، مباني تكميلية (مباني إســكان جامعي - مباني رياضية). (12)

3-3- المعايير الخاصة بالمبنى التعليمي وفقا للمعايير المصرية التي تشارك الواجهة في تحقيقها (4):

3-3-1- المعايير التصميمية للفراغات (مساحة الفراغ - سعته - الشبكة المديولية).

3-3-2- معايير المواد والتشطيبات (توفير أكثر من بديل - سرد المتطلبات الفنية لمواد التشطيب)، المتطلبات الفنية لمواد التشطيب يكون عمرها الافتراضي طويل - سهلة التنظيف - الجزء السفلي من مواد صلبة غير سهلة الخدش - الحوائط الخلفية ماصة للصوت).

3-3-3- المعايير البيئية (حرارية - إضاءة - صوتيات) لتحقيق ظروف بيئية جيدة.

حرارية يراعى فيها (تصميم المسقط الأفقي - طرق تجميع الفصول - مسطح الفتحات - تظليل الفتحات - اختيار مواد بناء وقطاعات إنشائية للحوائط والأسقف بحيث تكون لا تتأثر بالظروف المناخية المحيطة ولا تؤثر سلبا على البيئة المحيطة - التهوية الطبيعية بحيث يظل الهواء متحركا ونظيفا).

إضاءة (إضاءة طبيعية) يراعى فيها (مكان النوافذ - فتحات السقف - كافية وسهلة الفتح - تعالج بستائر مقاومة لحريق وسهلة التحكم).

صوتيات يراعى فيها (طرق تجميع القاعات - انتقال الضوضاء بين عناصر المبنى - الأبعاد المناسبة للفراغ - تأثير مواد التشطيب على الخصائص الصوتية حيث يتم اختيار مواد تشطيب ذات كفاءة عالية لامتصاص الصوت - الأحكام الجيد للفتحات - نسبة مسطح الفتحات - تقييم العزل الصوتي لمواد البناء - شكل السقف ودوره في علاج الصوتيات).

3-3-4- معايير الحماية من المخاطر (تحقيق الأمان خلال التصميم - وعند الاستخدام في مرحلة التشغيل).

تحقيق الأمن والأمان خلال التصميم يراعى فيها (المخارج والابواب والنوافذ مقاومة للكسر - مقاومة للحريق - عازلة للصوت - التشطيبات استخدام مواد مقاومة للحريق مانعة لتسرب المياه - مراعاة المخاطر الناتجة عن الإشعاع والمجالات المغناطيسية والكهرباء الساكنة والغبار والحشرات خاصة في غرف الكمبيوتر (15).

تحقيق الأمن والأمان عند الاستخدام في مرحلة التشغيل يراعى فيها (الصيانة اليومية والدورية).

3-3-5- المرونة التصميمية يراعى فيها (النظام الإنشائي حيث يساعد بشكل كبير على خلق فراغات يسهل التغيير فيها - استخدام الحوائط القابلة للمعالجة في الفراغات الدراسية لزيادة كفاءة وحجم الفراغات عند الاحتياج إلى مساحات إضافية) (15).

3-3-6- تحقيق الاستدامة ومراعاة الأداء البيئي ويراعى فيها (المواد المتوفرة بالموقع - صديقة للبيئة - تحقيق أقصى استفادة من البيئة الطبيعية - التقليل من نسب التلوث الناتجة من بعض مواد البناء - استخدام النباتات) (15).

3-3-7- الاعتبارات الجمالية من أهم المعايير التي يجب مراعاتها في الفصول الدراسية خاصة في مباني المكتبات (15).

4- التطور التقني ومواد البناء الجديدة والذكية

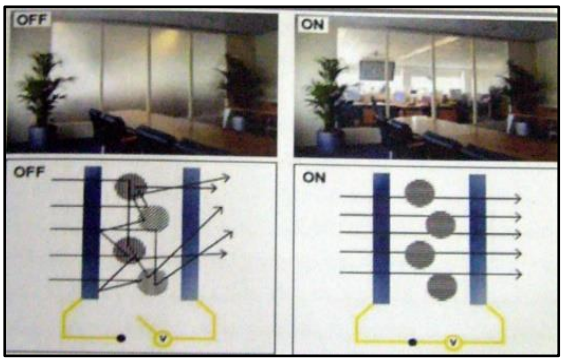
4-1- تأثير التطور التقني على مواد الإنشاء والتشطيب

أتاح ظهور التكنولوجيا إمكانية تحسين خواص بعض المواد بالإضافة إلى ظهور تطورات ملموسة في مواد البناء منها:

أ- ظهور العديد من المواد المصنعة مثل اللدائن Plastics باختلاف تركيباتها.
ب- تطوير مادة الزجاج لتظهر أنواع حديثة معالجة ضد الحرارة وعازلة للضوضاء وغيرها.
ج- تطوير الخرسانة تمثل في زيادة قدرتها على تحمل الضغوط الواقعة عليها (5).
د- تطوير مواد العزل الحراري والصوتي لضمان بيئة داخلية مريحة وللمحافظة على طاقة المبنى.
ه- تطوير مواد بناء ذكية وتطوير مجسات حساسة Sensors قائمة على استخدام المشغلات الذاتية.
و- تطوير المواد والألياف Fibers التي تضاف إلى الخرسانة لتحسين خواصها.

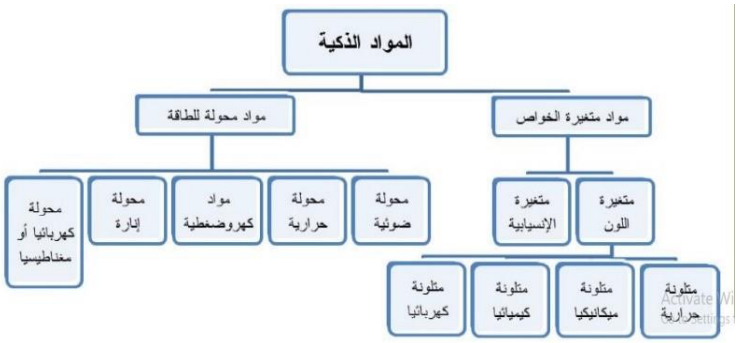
وتبعا لهذه التطورات شهدت العقود الحديثة تقدم هائل في المواد والتي من أهم نتائجها القدرة على الحصول على مباني متنوعة التشكيل والوظيفة والجمال (5).

4-2- المواد الذكية



هي المواد التي لها وظيفة إضـافية مثل القدرة على الاسـتجابة للمثيرات الخارجية بطريقة متوقعة من قبل، ويعرف "بيتر جاردينر Peter Gardiner" وستيوارت بايليStuart Bailey" المواد الذكية بـأنهـا المواد التي يمكنهـا التكييف مع الشـــكـل الخـارجي والتهوية كاسـتجابة لتغيرات البيئة، وتتم الإثارة عن طريق الحرارة والضــغط بحيث يمكنها إحداث رد فعل التغير في اللون أو "البصـــمة الكهربائية Electrical Signature" (6).

الشكل (7): يوضح طبقة سائل كريستال مدمجة بين الألواح الزجاجية يتم تعديل نفاذيتها للضوء والرؤية كهربائيا – (تأثير التكنولوجيا الحديثة في توظيف الخامات البديلة، Academia).



الشكل (8): يوضح أنواع المواد الذكية طبقا لخصائصها (7).

4-3- أنواع المواد الذكية

4-4- تطبيقات المواد الذكية في المباني (7)

تظهر المواد الذكية في المباني في عدة عناصر

1- الهيكل الإنشائي (بلاطات - كمرات - أعمدة).
2- الغلاف الخارجي (حوائط - كسوات خارجية).
3- المعالجات (درجة حرارة - إضاءة - تهوية).
4- التشطيبات (أسقف - أرضيات - كسوات داخلية).
5- التصميم الداخلي (حوائط داخلية).

4-5- المواد الذكية المعالجة بتقنية النانو

هي مواد يتم التعامل معها بتقنية النانو عند قياس مســـتوى النانو متري، والذي يتولى تفكيك المواد والتحكم التام بإعادة تركيبها ووصفها بدقة فائقة، لبناء مواد جديدة لم يسبق تصنيفها وذات إمكانيات وقدرات لا مثيل لها وبمواصفات جديدة، الهدف هنا هو القدرة على تغير المادة واستكشاف خواصها وظواهرها الخفية عند المقياس النانو متري (8).

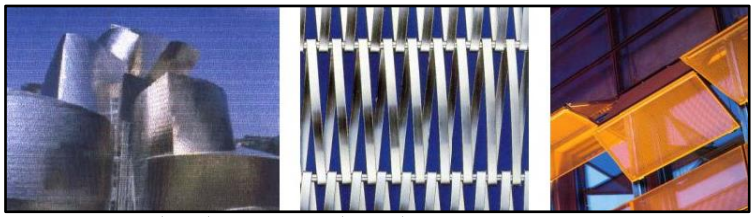
4-6- تصنيف المواد الإنشائية الذكية المعالجة بتقنية النانو (8)

4-6-1- الخشب المعالج بالنانو Nano Wood

يعتبر الخشب من أكثر المواد الإنشائية استخداما، لـذلك تم تجميع جزيئات الخشب وإعـادة ترتيبـه ممـا يجعلـه أكثـر قوة، كما تم تحديد أماكن الفطريات ونقاط تآكله لمعالجتـه. وقد يوضع في هيئة طلاء أو غشاء رقيق وحساسات وهو منتج صديق للبيئة.

ومن مواد النانو التي أضـيفت للخشـب أكسـيد الألومنيوم النـانوي - أكســيد الحديد وثـاني أكســيد التيتانيوم النانوي - النانو سـليكا. يسـتخدم في التصـاميم العضــوية المرنة ذات التشــكيل الحر والمظلات، وفي تكسية الواجهات الخارجية للمباني. **الشكل (9):** يوضح مظلة متروبول الشمسية الملونة في أسبانيا.

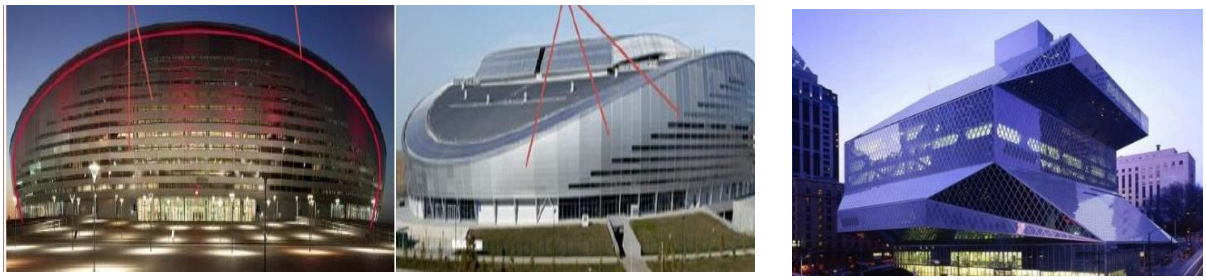
4-6-2- الحديد المعالج بالنانو Nano Iron



الشكل (10): يوضح استخدام المواد المعدنية في معالجة الواجهات.

ومع تطور مواد البناء وظهور المواد المعدنية الجديدة مثل الألومنيوم والنيكل والتيتانيوم والنحاس والزنك والحديد المعالج، بدأ المعماريين في استغلال هذه المواد في تقسيم الفراغات الداخلية أو في تشكيل الواجهات الخارجية للمباني.

ومن مواد النانو التي تضاف للحديد: المواد المالئة النانونية - الصلب عالي الأداء. يستخدم في الكباري والجراجات والمباني التجارية، يستخدم أيضا كإطارات في المباني ذات البحور الواسعة دون وجود أعمدة، لقد فتح الاعتماد على الحاسب الآلي آفاقا جديدة في مجال استخدام الحديد الصلب، حيث لم يعد التشكيل يمثل أي عائق يذكر، ومن الأمثلة التي طبقت حديد النانو استاد استانا في كازاخستان مما أعطى شكلا ديناميكيا للملعب مع فراغ خال من العناصر الإنشائية.



الشكل (11): يوضح استخدام الحديد في التشكيل في أحد أعمال ريم كوولاس - ويوضح ديناميكية السطح الناتجة عن تموجه ومرونة الشكل الخارجي وشفافية الواجهة باتساع الفتحات في استاد استانا الوطني المعماري.

4-3- الخرسانة المعالجة بالنانو Concrete Nano

تعمل خرسانة النانو على إطالة العمر الافتراضي للمباني، تزداد قدرتها على مقاومة التآكل، تقليل الانبعاثات الناتجة من تصنيع الأسمنت، تقلل 50 % من استهلاك الأسمنت وبالتالي توفر في التكلفة. أماكن استخدامها وتأثيرها على الشكل الخارجي: استخدمت في الكثير من المشاريع، مما أدت إلى متانة للمبنى، ليونة عالية في التشكيل، وتحقق إنجازات معمارية متميزة عالية الجودة (8).

4-7- تصنيف الخرسانة طبقا لمواد النانو التي تضاف للخرسانة

4-7-1- خرسانة النانو سيليكا

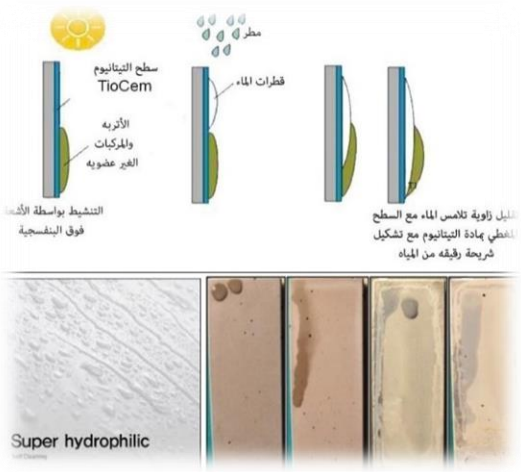
الشكل (12): يوضح برج خليفة الذي استخدمت خرسانة النانو سليكا في الهيكل الأساسي للمبنى.

هي مادة تستطيع أن تحل محل الأسمنت عند الخلط أو يتم حقنها للشروخ عند ظهورها (8)، تتحكم في معدل الانكماش والمسامية والمرونة والنفاذية للحصول على خصائص أفضل، كما تستخدم في إزالة ثاني أكسيد الكربون من صناعة الأسمنت. تستخدم خارجيا في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية، وتم استخدامها في المباني شاهقة الارتفاع مثل برج خليفة.

4-7-2- خرسانة أنابيب النانو كربون

هو شكل من أشكال الكربون تم تسميتها بهذا الاسم نسبة لأقطارها النانو مترية (18)، تضاف في مرحلة الشروخ الأولية، حيث تعمل على معالجة الشروخ والصدأ ذاتيا في حديد التسليح والخرسانة وأي مادة إنشائية أخرى. تستخدم في الواجهات الخارجية مما يؤثر على تشكيل المباني وعمرها الافتراضي.

4-7-3- خرسانة ثاني أكسيد التيتانيوم



هي مادة ذات صبغة بيضاء تستخدم كطلاء، تتفاعل مع الملوثات العضوية المتطايرة والأغشية البكتيرية للحد من تأثير الأمطار، كما أنها طاردة للمياه وبالتالي تحقق خاصية التنظيف الذاتي للأسطح مما يوفر في الطاقة والمحافظة على البيئة (8).

تستخدم في الأسطح المعرضة للشمس، على الأغلفة الخارجية في المناطق الملوثة. كما أثرت على الشكل الخارجي بإنشاء مباني ديناميكية انسيابية مرنة وأثرت على الأداء البيئي بتنقية الهواء الخارجي ومكافحة التلوث البيئي.

الشكل (13): يوضح التنظيف الذاتي لأسطح الخرسانة التي تحتوي على الأسمنت.

ومن النماذج التي طبقت فيها خرسانة ثاني أكسيد التيتانيوم مبنى jubilee church حيث تمكن المصمم من تحقيق علامة تجارية باللون الأبيض في بيئة حضرية شديدة التلوث.

الشكل (14): يوضح استخدام ثاني أكسيد التيتانيوم بالهيكل الخرساني بالكنيسة لإكسابها خاصية التنظيف الذاتي.

4-7-4- الخرسانة ذات المعالجة الذاتية

من أهم المواد المعالجة للشروخ الخارجية للمبنى لتعاملها مع الشروخ ذاتيا دون تأثير على تشكيل الواجهات الخارجية. لها القدرة على معالجة التشققات ومقاومة البكتيريا والفطريات، وبالتالي تقلل الصيانة مما يؤدى تقليل التكلفة (8).

4-7-5- خرسانة السليكا الصغيرة

تسمى بالرمل فائق النعومة عند إضافته بنسبة 5% فإنه يعزز الضغط والإنحناء بنسبة 50%، كما أنه يقلل امتصاص الصوت بنسبة 240% (19).

4-7-6- خرسانة النيكل النانونية

إضافة جزيئات النيكل النانونية إلى الخلطة الخرسانية تزيد من قوة الضغط ما يزيد عن 15%، كما يعزز التفاعل المغناطيسي الميكانيكي للخرسانة (20).

4-8- تصنيف خرسانة النانو طبقا لخصائصها

4-8-1- الخرسانة الشفافة

هو نوع من الخرسانة يضاف إلى مكوناته العادية بعض المكونات (مثل الألياف البصرية أو أنابيب زجاجية يمر بها ألياف ضوئية) أو باستخدام تقنية الثقوب الصغيرة التي تعطيها خاصية الشفافية (لدخول ضوء الشمس كمصدر للضوء للحد من استهلاك الطاقة للإنارة) بدون حدوث أي خلل في القوة الانضغاطية للخرسانة.

تعمل كعازل حراري وناقل للضوء، أقوى بكثير من الأبنية الزجاجية، تحتفظ بصلابتها ومقاومتها للأملاح ومقاومتها للحريق بالإضافة لمقاومتها للأشعة فوق البنفسجية (8). يمكن أن توفر جانب أمني ومراقبة أكثر في مواقع مثل المدارس والمتاحف والسجون، لها منظر فني جذاب للأبنية.

تستخدم لأغراض إنشائية وجمالية لواجهات الأبنية وتغليف الجدران الداخلية والخارجية، وتحقق واجهات شفافة وديناميكية متغيرة بالنسبة للزمن وشكل الواجهات الخارجية في الليل تصبح امتدادا للفراغ الداخلي والعكس صحيح. ومن أشهر الأمثلة الذي طبق فيها الخرسانة الشفافة مبنى المعارض الإيطالي بشنجهاي بالصين Italian Pavilion – Expo Shanghai.

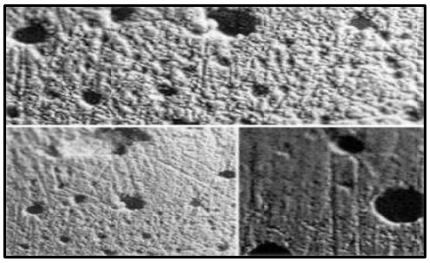
الشكل (15): يوضح استخدام الخرسانة الشفافة بالمعرض العالمي بشنغهاي الصين، الجناح الإيطالي.

4-8-2- الخرسانة الهوائية

هي نوع من الخرسانة يتم إضافة مسحوق الألومنيوم إلى الأسمنت والجير والماء فتنتج خليط رغوي وبعد تصلبه في قوالب يتم معالجته بغرف البخار المضغوط. تنتج خرسانة خفيفة الوزن. تستخدم في الارتفاعات العالية والجدران الداخلية للمبنى والحوائط الستائرية، وتستخدم في المباني السكنية والتجارية والصناعية (17).

الشكل (16): يوضح الخرسانة الهوائية في المنشآت وتصنيعها.

4-8-3- الخرسانة المسامية



هي خرسانة تتكون من الأسمنت البورتلاندي والصخور الخشنة ذات بنية مسامية، تسمح بمرور مياه الأمطار من خلالها إلى الأرض، تتميز بالقوة والمتانة، تستخدم في الأرصفة والأرضيات (17).

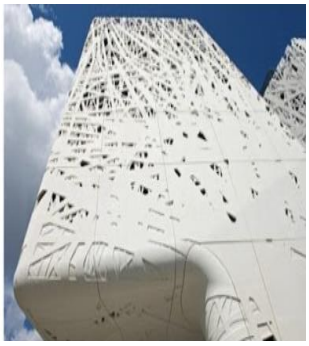
الشكل (17): يوضح صورة بالمجهر للخرسانة العائمة.

4-8-4- الخرسانة العائمة

هي خرسانة تم استبدال الرمل والحصى فيها بكرات بوليمرية صغيرة، وهي أقوى من الخرسانة التقليدية لكنها خفيفة الوزن بحيث تطفو في الماء (17).

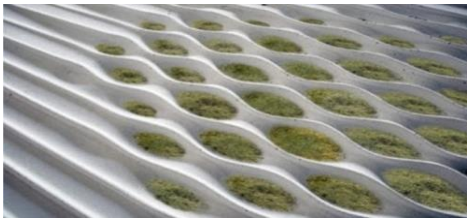
4-8-5- الأسمنت المقلل للتلوث الذكي

يقوم على أساس وضع كربونات الماغنسيوم بدلا من كربونات الكالسيوم ويمتص ثاني أكسيد الكربون من الجو (9)، حيث وجد أن الأسمنت المقلل للتلوث ينتج نصف كمية ثاني أكسيد الكربون التي يخرجها الأسمنت العادي لاستهلاكه حرارة أقل، كما أن له ديمومة أكثر من الأسمنت العادي ومن المباني التي طبقته مبنى The Palazzo Italia بمدينة ميلان بإيطاليا.



الشكل (18): يوضح استخدام الأسمنت المقلل للتلوث بمبنى The Palazzo Italia ذو الغلاف المنقي للهواء.

4-8-6- الخرسانة البيولوجية



هو نوع من الخرسانة التي تدعم نمو الطحالب الصغيرة والفطريات. وتتكون هذه المادة المتعددة الطبقات من نوعين من الأسمنت: الأسمنت البورتلاندي القياسي وأسمنت الفوسفات الماغنسيوم وبالتالي يؤدي إلى النمو البيولوجي. يتم تغليف هذه المواد بطبقة إضافية لإنشاء لوحا عموديا لواجهات المباني وتشمل: طبقة مضادة للماء تحمي الخرسانة من التلف وهي طبقة طلاء عكسي للماء لتسهيل عملية جمع وتخزين مياه الأمطار في الطبقة العضوية (21).

الشكل (19): يوضح ألواح الخرسانة البيولوجية.

يهدف هذا النظام إلى التغلب على القيود المفروضة على الجدران الخضراء التقليدية وما تحتاج إليه من نظم الري الميكانيكية والصيانة المكلفة، وبذلك فهي تعمل على تنقية الهواء من ثاني أكسيد الكربون، وتستغل مياه الأمطار لري هذه الفطريات الدقيقة دون استهلاك زائد للطاقة أو المياه. ومن المباني التي طبقت الخرسانة البيولوجية مبنى مركز الطيران الثقافي Aeronautical Cultural Centre وهو مبنى متعدد الأغراض ترفيهي تجاري ثقافي، نفذ عام 2013 ببرشلونة للمعماري Sergi Godia.

الشكل (20): يوضح استخدام الخرسانة البيولوجية لخلق واجهات خضراء للمركز الثقافي للطيران.

4-8-7- الأسمنت المضيء (المشع)

هو أسمنت مصنع من البوليمرات الصناعية مضافا إليها حبيبات الزجاج المغطسة بالفسفور، بحيث تكسب المادة إشعاعا يظهر في الظلام. وتستخدم هذه المادة الذكية في صورة بلاطات ملونة تستخدم في أغلفة المباني والأرضيات لما لها من درجة كبيرة من الصلابة، ومن المباني التي طبقت الأسمنت المضيء مبنى RWTH Aachen University بميونخ، للمعماري carpus & partner، صمم عام 2012 (21).

الشكل (21): يوضح مبنى RWTH Aachen University كمثال للأسمنت المضيء.

4-8-8- الأسمنت الذكي

هو نوع من الأسمنت يحتوي على جهاز عصبي من ألياف الكربون يتيح له اكتشاف التغيرات الداخلية ونقل معلومات إلى المحيط الخارجي. فيستطيع تحديد النقطة التي يمكن أن تظهر بها شقوق (21).

4-9- تصنيف المواد غيرالإنشائية الذكية المعالجة بتقنية النانو

4-9-1- الطوب

ويشمل (الطوب الذكي - المضيء) حيث يراقب الحالة الإنشائية للمبنى، يتحمل أكثر من الزجاج العادي كما أنه أخف وزنا ومتوفر بشفافية وألوان مختلفة، يتميز بكونه عالي القوة. استخدم الطوب في الهيكل الإنشائي للمبنى والقواطع الداخلية، وهو يراقب الحالة الإنشائية للمبنى وحماية الأفراد داخل المبنى والتقليل من تكاليف التشغيل والمياه والطاقة والحد من التلوث، واستخدام الطوب المضيء في المنشآت الفنية العالمية (8).

4-9-2- الزجاج المعالج بالنانو

ويشمل (ذاتي التنظيف - العاكس - التحكم الشمسي - الذكي - الفوتو كروميك - العازل - الحماية من الأشعة فوق البنفسجية - ذو تكنولوجيا البلورات السائلة - إطارات النانو جيل نصف شفافة - المضاد للحريق - الماص للحرارة - متعدد الطبقات - الألياف البصرية - ذو تقنية الحبيبات المعلقة) من أهم المواد المستخدمة في المباني لإعادة تشكيل الواجهات الخارجية.

استخدم الزجاج المعالج بالنانو في تغطية السطح الخارجي للمباني وتحقيق واجهات ذات شفافية عالية بدون عكس للفراغات الداخلية ووظيفة المبنى، وذات تناسق وترابط ضمن أسلوب واحد وإيقاع واحد متناغم بالإضافة إلى البساطة، إعطاء الشكل الخارجي ديناميكية متغيرة تلقائيا أو يدويا، تحقيق ظروف بيئية داخلية آمنة ومريحة ويخفض من استهلاك الطاقة وتقليل التأثير السلبي على البيئة الخارجية (7) (16).

4-9-3- المواد المصنعة

وتشمل (ألواح البلاستيك - هيكل نسيج الشد - مادةETFE - مادة التغليف الذكي – الأغشية) وهي تعطي سطحا قابلا للتطبيق لأي نوع من أنواع العرض أو الإضاءة، تعد مناسبة للاستخدام في أماكن الترفيه والمناسبات الخاصة والمعارض التجارية، يتميز بخفة وزنه ومرونته الكبيرة في النقل والتشكيل وحتى في درجات الحرارة المنخفضة، بجانب مقاومتها الكبيرة للحريق ونقلها للضوء مع تمتعها بإمكانية الفك والتركيب. استخدام المواد المصنعة في كسوة الواجهات لتكون بمثابة دروع من أشعة الشمس، كما ساعدت المواد المصنعة مثل المواد البلاستيكية على ظهور مباني ذات بحور واسعة ومغطاة بأسطح نصف شفافة ذات سمك رفيع دون وجود أعمدة داخلية (17).

4-9-4- المعادن غير الإنشائية

تشمل (الألومنيوم المعالج بتقنية النانو - التيتانيوم - النحاس - البرونز - الزنك - السبائك) وتتميز هذه المعادن بأنها تتحمل العوامل الجوية، المتانة العالية، مقاومة للصدأ والتآكل، مقاومة للحريق، عازلة للصوت، خفيفة الوزن سهلة التشكيل، كما تتميز بديمومتها وناقليتها الضعيفة للحرارة، بعضها غني بالاحتمالات اللونية (8). استخدام المعادن غير الإنشائية لإعادة تشكيل وكسوة الواجهات الخارجية للمباني العامة وبشكل رئيسي في الجدران عالية الجودة لبناء الفنادق والمباني المرموقة للأعمال الفنية مثل المنحوتات والآثار والتفاصيل الزخرفية للمباني التي تتطلب مقاومة للحد من تأثير الملوثات حيث أن تقنية النانو تمنع الغبار من الالتصاق بسطح الألواح.

4-9-5- الحوائط الجافة الجبسية النانونية

جبس النانو يمكن أن يقلل من التأثيرات البيئية وتحسين الأداء حيث أنه خفيف الوزن، قوى، مقاوم للمياه، مقاوم للعفن.

4-9-6- طلاءات النانو

وتشمل (طلاء التنظيف الذاتي - سهل التنظيف - مضاد للانعكاس - مكافحة الضباب للانعكاس - مكافحة الكتابة على الجدران - المقاومة للحريق - مضاد للبصمة - مضاد للخدش - الحماية من الأشعة فوق البنفسجية - مضادة للبكتريا - الأسود الحالك) يتم تحسين خصائص طلاءات النانو من حيث التنظيف الذاتي والعزل ومقاومة الحريق ومقاومة البكتيريا والضباب ومقاومة الخدوش وتستخدم طلاءات النانو على المواد لتوفير التكلفة ورفع كفاءة المبنى، تقليل الصيانة، تقلل من استهلاك الطاقة المستخدمة، منع امتصاص الزيت والماء، خفض الشدة المنعكسة ليزيد من الكفاءة النوعية، كما تتميز بعض الطلاءات بإزالة الكتابة من على الجدران بسهولة أكبر، تميزت بعض الطلاءات بمنع ظهور بصمات اليد على الأسطح، كما تساعد في الحد من الانعكاسات غير المرغوب فيها. استخدام طلاءات النانو في تطوير وظائف أسطح الواجهات الخارجية، كما أنها تستخدم على المواد لتحسن من خصائصها وجودتها (6) (8).

4-9-7- الدهانات الذكية

تشمل (الدهانات اللونية الحرارية - الفسفورية الفلوروسنتية - دهانات ضد الصدأ) تستخدم لما تتمتع به من خصائص لونية حرارية تكون بمثابة مؤشر يدل على تغير درجة حرارة السطح، وهناك دهانات ذكية أخرى تحتوي على حافز ضوئي، ترجع أهمية تصنيع الخامات الذكية إلى قدرتها على التنبيه على وجود تشققات بداخلها أو صدأ في الخامة الأساسية حيث وجود تلك التشققات قد يغير من المجال الكهربي. استخدام الدهانات الذكية كأغلفة تحمي المواد المستعملة في البناء والإنشاءات كالأخشاب والفولاذ والمواد المعدنية الخفيفة والبلاستيك والأسمنت والجبس من التأكسد والتآكل والتحلل وتستعمل أيضا للديكور (6).

4-9-8- مواد العزل المعالجة بتقنية النانو

أ- مواد العزل الحراري وتشـــمل (ألواح العزل الفراغية - الهلام الهوائي - الألومنيوم الرغوي - الأغشـــية الرقيقة - المواد العاكســـة العازلة - ألواح البولي كاربونيت المموجة – إستروفويل - ألواح مؤخرة للحرائق - الرغويات البلاستيكية كعازل حراري) تتميز بالحد الأقصـى للعزل الحراري والحد الأدنى لسـمك العزل، القدرة العالية على العزل الصـوتي، توفر الإضـاءة الطبيعية بنسـبة، غير قابلة للاشـتعال، تتمتع بعض العوازل بمتانة عالية ولمسـة نهائية جيدة، كما أنها قادرة على حجب أشعة الشمس وبالتالي توفير الطاقة، تتميز بعض العوازل بإطالة زمن مقاومة الحريق للمنتج، سهولة الاستخدام، التكلفة الرخيصة، القدرة على امتصاص الرطوبة (17).

اســـتخدام المواد العازلة المعالجة بتقنية النانو في المباني لخفض انبعاثات ثاني أكســـيد الكربون وغيره من الغازات المســـببة للاحتباس الحراري، وللحفاظ على درجة حرارة ثابتة داخل الفراغات لحماية البيئة الداخلية وللعزل الصـوتي والرطوبة، كما يسـتخدم بعض ألواح العزل في الجدار الداخلي والخارجي وفي أرضـــيات المباني وبعضـــها في مليء أنواع مختلفة من التجاويف بين الألواح الزجاجية والجدران متعددة الطبقات وبعضها مناسب للاستخدام في الأجزاء الخارجية للمبنى (21).

ب- مواد العزل الصـوتي وتشـمل (وحدات جداريه عازلة للصـوت - ألواح الصـوف الزجاجي - ألواح من رغوة البلاسـتيك مثقبة أو محببة الوجه - ألواح من مواد ورقية مضـــغوطة ومثقبة الوجه - ألواح مربعة أو مســـتطيلة من الجبس مع ألياف في الوجه والداخل - ألواح من ألياف المعادن مع مادة الأسـمنت البورتلندي الأسـود - صـفائح الألومنيوم القابلة للتشـكيل - لوحات البوليسـترين الصـوتية - الرغويات البلاستيكية كعازل صوتي).

تقوم بامتصاص الصوت للسيطرة على الصوت في الفراغات الداخلية (9)، ويمكن تركيبها في الحوائط والأرضيات والأسقف، تتميز بقدرتها على التحمل وسـهولة التنظيف ولا يمكن تشـويهها بالرسـم، تتميز بالمرونة والقابلية للتشـكيل، تحمي المبنى من الأشـعة فوق البنفسجية، خفيفة الوزن وتستخدم في تزيين الجدران.

4-10- المواد المركبة

تشـــمل (البوليمر المقوى بألياف الزجاج - ألياف الكربون - ألياف البورون - مادة الإيثيلين رباعي فلورو إيثيلين - بلاط الســـيراميك) حيث تميزت هذه المواد بقوة عالية الصـــلابة تسـتخدم معماريا في الواجهات، وتعتبر الاختيار المثالي في التصـــاميم العضـــوية والبارا مترية ذات الواجهات المرنة بتشكيلات انسـيابية حرة وذلك بسـبب سـهولة التصـنيع، كما تعطي اتسـاعا كبيرا في المسـاحات الداخلية وتساعد في الحفاظ على بيئة داخلية مريحة. واستخدام المواد المركبة في كسوة الواجهات الخارجية وتتكون الألواح من طبقات مختلفة من حبيبات عالية الأداء كمـا يمكـن صـبها على حدة لتشكيل الأشكال المنحنية التي يتطلبها التصميم (8).

4-11- المواد المبتكرة (16)

تشـمل (البولي كربونات - تيتانيوم زنك - الفولاذ المقاوم للتجوية - الشـبكة السـلكية) حيث تميزت هذه المواد بأن بعضـها شـفاف مثل الزجاج موفر للطاقة مناسـبًا للاسـتخدام في كل من الإنشـاءات المدنية والصـناعية، ويتيح بعضـها تغطية الغلاف الخارجي للأعمال المعمارية بطبقة معدنية، كما تتميز بالحماية الذاتية من التآكل من خلال تشـــكيل طلاء للأســـطح، كما يتميز البعض الآخر بخلق تأثير يتراوح من الاكتناز الشديد إلى الشفافية الكاملة، وهي قابلة للتكيف بسهولة وقليلة الصيانة.

5- مشاكل الواجهة التقليدية التي نجحت المواد والأنظمة الذكية في حلها

5-1- الثبات وعدم التفاعل مع التغير الخارجي

على الرغم من أن خصـــائص المناخ لها معلمات متغيرة (variable parameters) إلا أن الواجهات التقليدية ثابتة إلى حد كبير. لذا كان هناك العديد من الدراسـات التي ركزت على اسـتخدام المواد والأنظمة الذكية في تصـميم غلاف المبنى لتحقيق اسـتجابة أفضل للتغيرات المناخية (7).

5-2- الشيخوخة

فغلاف المبنى الذي يتعرض للطقس بمرور الوقت يتعرض للعديد من الضـــغوط لا ينتج عن ذلك تغييرات فنية ووظيفية فحســـب بل يؤدي في النهاية إلى تغيير في مظهره. فهناك واجهات تتحلل وتصـــبح رثة بســـبب النظام الإنشـــائي والمواد المستخدمة غير المناسبة، وبسبب عدم عمل الصيانة الوقائية والتصحيحية بما في ذلك تنظيف وإصلاح واستبدال

الواجهة وإعادة التأهيل. لذا جاءت المواد الذكية التي امتلكت خصائص ساعدتها على مقاومة العوامل الجوية وصيانة نفسها ذاتيا وبالتالي تزيد من عمر غلاف المبنى وتساعد على الحفاظ على مظهره.

5-3- عدم الاستدامة والحفاظ على أداء المبنى للطاقة

لذلك نستخدم كميات كبيرة من الطاقة من أجل التحكم في الراحة الداخلية. لذا جاءت المواد والأنظمة الذكية التي ساعدت على بناء العناصر طبقا للنظم الطبيعية وتقليل الحاجة إلى استخدام النظم الميكانيكية والكهربائية في المباني فهي خطوة لجعل المباني المستقبلية أكثر تكيف مع بيئتهم (6).

5-4- عدم تقييم المواد المستخدمة في البناء جيدا

وبالتالي عدم القدرة على السيطرة على الكربون المتجسد للمبنى، كما تؤثر على فشل الواجهة حيث لا تستطيع مقاومة المياه والأحمال. حتى توصلنا لبعض المواد الذكية التي تحقق نسبة عالية من السلامة للمبنى والمستخدم.

5-5- عدم التكامل بين التطور التقني لنظم ومواد الإنشاء وبين التصميم المعماري للمبنى

ولكن التطور والتنوع الآن في نظم ومواد الإنشاء وإمكاناتهم المتطورة والمختلفة ساعدت المعماري والمصمم إلى محاولة التكامل بين المواد والنظم المستخدمة وبين التصميم.

5-6- عدم الوعي أحيانا بالشكل المعماري

بمستوياته ومكوناته المختلفة من كتلة وفراغ وملمس ولون ومراعاة البيئة المحيطة والتوافق مع التطور التقني. ولكن أصبح الآن هناك الكثير من التطبيقات للمواد والنظم الحديثة التي تشارك المعماري في الوصول بالمبنى إلى مستويات من الشكل والجماليات والإبداع لم يسبق لها مثيل.

6- تطبيق المواد الذكية المعالجة بالنانو وتأثيرها على الواجهات الخارجية (17)

6-1- تأثيرات رسمية Formal

أ- على المستوى الإنشائي Structure Level
1- تغيرت أنواع الواجهات حيث ظهرت الواجهة مزدوجة الجدار والتفاعلية والمتحركة.
2- ظهرت أنماط جديدة للمباني وهو ما يسمى بالنظام الحديث.
3- إمكانية التغير في اللون، الملمس، التكوين، المقياس.
4- أثرت على العلاقة مع الجيران من حيث الاتصال والانعزال. وبالتالي سمحت بتغيير خصائص الواجهة مثل الحرارة والضوء والرطوبة والهواء وغيرها لتتكيف مع الظروف المناخية المتغيرة باستمرار لتنظيم الراحة الداخلية بالإضافة إلى متطلبات المستخدم، لم يعد يُنظر إلى غلاف المبنى على أنه وسيلة بسيطة لفصل البيئة الخارجية عن الداخلية، ولكنه اتخذ وظائف متعددة وأصبح الغلاف عنصرًا معماريًا حقيقيًا يحدد ويحيط الهيكل فأنتجت ما يسمى بالواجهات الذكية.
ب- على المستوى الدلالي Semantic Level
1- ساعد على تنسيق المصدر Source Format (مجال من مجالات العمارة - طبيعي - علوم وغيره).
2- ظهرت تعبيرات للتكوين Form Indication (محلي - تقني).

وبالتالي تسمح بتنوع الحلول المعمارية الجمالية مع احترام مخطط المدن الذي يضمن الاستمرارية الهندسية.

6-2- تأثيرات بيئية Environment

أ- القدرة على التكيف الذاتي Self-Adaptive (بالتحكم في الإشعاع الشمسي - التهوية - الحرارة).
ب- القدرة على حماية مصادر الطاقة (بالحفاظ على الطاقة -المواد - الماء).
ج- تحقيق الاستمرارية (بالأداء - المتانة والصلابة - مقاومة العوامل الجوية).

وبالتالي أعطت حلول واجهات نشطة جديدة قادرة على تقليل التأثير البيئي.

3-6- تأثيرات تكنولوجية Technology

أ- تحقيق جودة عالية للمواد الذكية (باستخدام المواد متغيرة الخواص Property Changing- مواد تبادل الطاقة Energy-exchanging).
ب- التنوع في المواد (باستخدام نوع واحد - أكثر من نوع).
ج- استخدام المواد (في كامل الواجهة - أجزاء من الواجهة).
د- أثرت على وظائف المواد (إنشائيا - جماليا - بيئيا).

7- تأثير التطور التقني لمواد البناء والتشطيب على الخصائص التكوينية للواجهات (11)

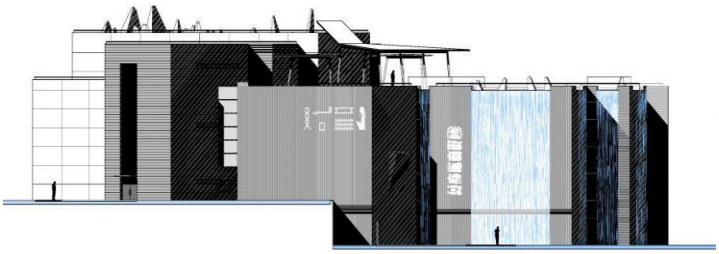
7-1- ارتفاع المباني

أدى تطور مواد البنـاء إلى الزيـادة في ارتفاع المبـاني وإلى تغييرات تـاريخيـة عبرت عن إنجازات كل عصـــر بالمواد المتوفرة فيه وفلســفة البناء وثقافة وأسلوب معيشـة الناس في كل عصـر. فعند مقارنـة مواد البناء وارتفاع الهياكل المعمارية من خلال التاريخ نجد أن تاريخ الارتفاع يزداد كما في الأمثلة التالية.

الشكل (22): يوضح مواد البناء وزيادة ارتفاع الهياكل المعمارية عبر التاريخ.

7-2- استخدام المياه في الهياكل المادية المعمارية

حيث نجد علاقة غير عادية بين الأسطح المائية والهياكل المادية الأثرية، إنهم يلفتون الانتباه إلى الفلسفة الإرشادية بالربط بين المباني ومواقع المياه حيث يكون لذلك تأثير على الهوية الجمالية المعمارية، وفي التعريف العضـــوي الميتابيلي يمثل مادة التوازن بين القطع الأثرية والمواد الطبيعية. لذا اعتاد لوكور بوزيه وضـــع الشـــلالات الصـــناعية على الواجهات الرأســية، فرانك لويد رايت، زها حديد، فرانك جيري.



الشكل (23): يوضح العلاقة بين المياه ومواد البناء المعاصرة في الهياكل المعمارية –

Waterfalls in Zaragozas River Aquarium 2008 – Acuario fluvial – (http://www.lumiartecnia.com)

7-3- ظهور الغطاء النباتي في الهياكل المعمارية

من أجل تحســين أوجه القصـــور في البيئة هناك اتجاه متزايد للجمع بين مواد البناء المصـــنوعة والمواد النباتية في أســـطح الواجهات، وتظهر أمثلة من العالم تداخلات ناجحة جدا في بناء المدن وهي تتراوح من إضـــافة بســـيطة للحدائق العمودية، جدران الجمالون من قبل عالم النبات الفرنسي باتريك بلانك كما في مدريد، إلى العديد من السقالات متعددة الطوابق المضافة بشكل خيالي في لوزان.

The School of Art, design & media at Nanyang technological university campus in Singapore 2006

الشكل (24): يوضح العلاقة بين الغطاء النباتي مع المواد المعاصرة في الهياكل - (http://www.greenroofs.com)

7-4- استخدام الخشب الرقائقي في الهياكل المادية المعمارية

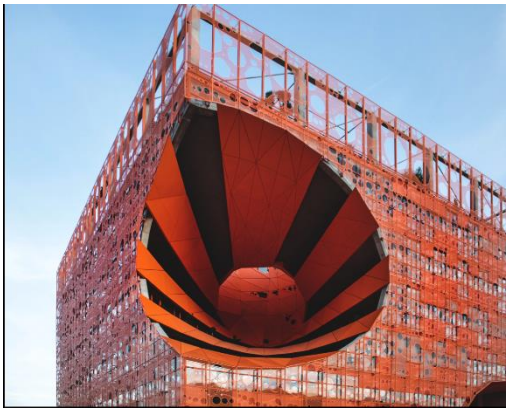
تم تحسين تشكيل الواجهات في العمارة من خلال ظهور العناصر الهيكلية المصنوعة من الخشب الرقائقي، خاصة في المباني التي تمتد مسافات كبيرة مثل الصالات الرياضية والقاعات والجسور وما إلى ذلك. وبصرف النظر عن العوارض الهيكلية ذات الخصائص الفيزيائية الميكانيكية المتميزة (القوة والمرونة وقابلية الانقسام وما إلى ذلك) أثبتت مادة الصفائح الخشبية أيضا أنها جيدة بسبب جمال مظهرها والمتانة والأمان والكفاءة من حيث تبطين واجهات وأسقف الفراغات الأنيقة. ومن الأمثلة على ذلك الجناح الصيني المصمم حديثا في ميلانو EXPO2015 ، من قبل المعماري الياباني في هانوفر، حيث كانت فلسفة جديدة في البناء والتشكيل المتناسق للمباني بدون الفولاذ والخرسانة والزجاج.

Japan Pavilion, Expo 2000 Hannover, Germany

الشكل (25): يوضح استخدام الخشب الرقائقي في الهياكل المعمارية - (http://designaplause.com)

7-5- استخدام المعادن المختلفة في الواجهات المعمارية

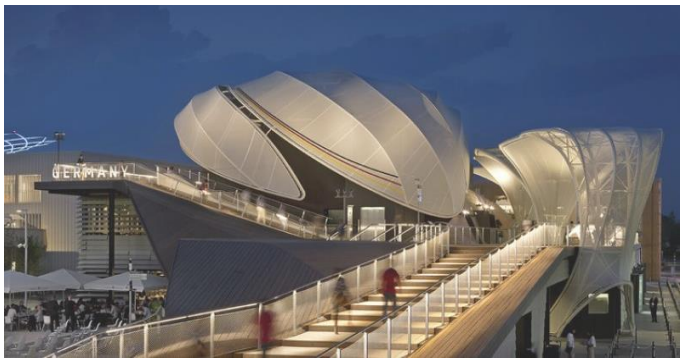
تظهر العديد من المواد المعدنية في واجهات المباني البيئية المعاصرة مثل التيتانيوم، الألواح الفولاذية المقاوم للصدأ، الزنك، والنحاس. ومن أمثلة المباني التي طبقت الفولاذ المقاوم للصدأ على الواجهة الفندق الذي تم تجديده في برشلونة من قبل المعماري تويو اتو في مبنى ORANGE CUBE في ليون، حيث تم تكسيه الواجهة بألواح ألومنيوم عالية التقنية مع ثقوب عشوائية حوالي 65% يتم من خلالها إدخال الضوء في المساحة الداخلية، + The Orange cube2 confluence, Lyon, France, by Jakop . Macfarlane, 2010



الشكل (26): يوضح استخدام المعادن المختلفة في الواجهات المعمارية - (http://upload.wikimedia.org)

7-6- استخدام أنواع مختلفة من النسيج في الهياكل المادية المعمارية

تم تشكيل أغلفة واجهات المباني باستخدام مواد نسيجية مقاومة للحريق والأشعة فوق البنفسجية مع عناصر خشبية أو فولاذية أو خرسانية أو زجاجية أو بولي كربونات وغيرها من العناصر مع ألياف مطلية بالتفلون ذات تقنية عالية، ويطلق عليها اسم الخيام. يمكن استخدام نسيج الغشاء ليس فقط في المباني ذات الطابع المعياري المؤقت ولكن هناك عدد كبير من الهياكل العامة مثل الملاعب والقاعات والمواقع الأثرية وما إلى ذلك. تحقق تأثيرات جمالية وحيوية وديناميكية كما يمكن تثبيتها بسرعة وسهولة، من الممكن تفكيك سطح النسيج ونقله، تم تصميم الجناح الألماني للمعرض العالميEXPO2015 في ميلانو من مادة PVC.



The German pavilion at EXPO Milano 2015 –

الشكل (27): يوضح استخدام الأنواع المختلفة من النسيج في الهياكل المعمارية - (http://ristorando.eu)

7-7- استخدام أنواع مختلفة من الزجاج في الهياكل المادية المعمارية

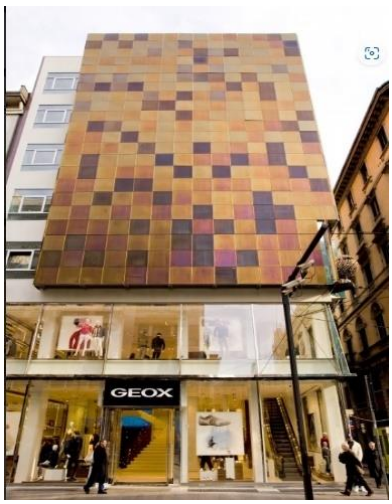
يظهر الزجاج كمادة بناء في تصميم واجهات المباني، حيث يتمتع الزجاج بإمكانيات كبيرة والتي يتم إنتاجها بخصائص تقنية النانو مع خصائص فيزيائية بصرية، صوتية، حرارية، مسامية، مقاومة للحريق، مع صلابة وقوة كبيرة، مع هيكل مستقر للسطح. يوفر الزجاج إبداعات تصميمية في الفراغ من الأوهام البصرية إلى تأثيرات تلوين الضوء الأكثر تنوعا وأسطح المعلومات النفعية والزخرفية مع رسائل ثابتة أو قابلة للتغيير، غالبا ما يكون هناك تثليث وأحجام متعددة الأضلاع لتوفر حلا لتغيير الاتجاهات في حالة التدرجات المختلفة لأقسام الواجهة.

Glass Architecture – Futuroscope (Poitiers, France)

الشكل (28): يوضح استخدام أنواع مختلفة من الزجاج في الهياكل المادية المعمارية - (http;//farm3.staticflickr.com)

7-8- ظهور واجهات ذات تأثيرات إنارة مختلفة في الهياكل المادية المعمارية

المباني المشيدة سواء كانت التي تم تجديدها أو الحديثة بمساعدة الأجهزة الإلكترونية والكمبيوتر تحصل على مظهر جديد، خاصة في الليل. الاعتبارات المتعلقة بإضاءة الأسطح الرأسية والأفقية للمباني كالواجهات تعد نذير حقبة جديدة من الإدراك البصري لأسطح الواجهات في العمارة. من المثير للاهتمام أيضا حل الإضاءة لمبنى "GEOX" في ميلانو مع تأثيرات الإضاءة والوهم البصري للواجهة التي تنبض بشكل إيقاعي وتتوسع وتغير حجمها.

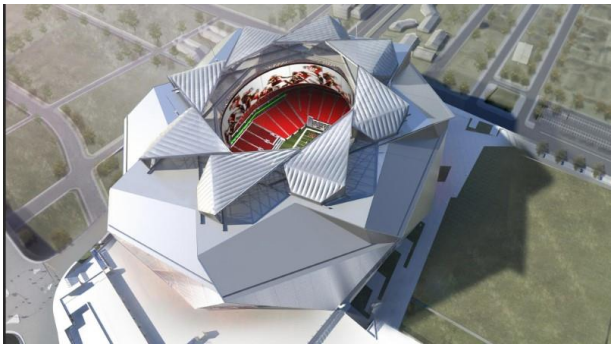


GEOX Milano Urban File, GEOX in Via Torino in pie no Centro a Milano, Geox – The breathing building, Design: Dante O. Benini & Partners Architects Destination: Milan, Italy Year: 2010

الشكل (29): يوضح واجهات ذات تأثيرات إنارة مختلفة في الهياكل المادية المعمارية - (http://www.geox.biz)

7-9- ظهور الواجهات الحركية المعاصرة

ظهرت أحدث الحلول التكنولوجية مع هيمنة مواد البناء والهياكل المعاصـــرة، حيث ســـاعدت في حركة أجزاء المباني حيث اقترح المعماري DEJVID FISCHER مفهوم الأبراج التي تعمل بالطاقة الشمسية والرياح في دبي، حيث ستكون الطوابق بأكملها قـادرة على الـدوران حول المركز العمودي المركزي وبـذلـك يتغير مظهر الواجهات. وفي ملعب أتلانتا الجديد نجد أن السقف يفتح ويغلق وفقا للمبدأ المستخدم في فتحات التصوير.



The New Atlanta Falcons stadium

الشكل (30): يوضح الواجهات الحركية المعاصرة - (http://edestesdesign.files.wordpress.com)

7-10- ظهور الألياف الزجاجية المعاصرة في الهياكل الفيزيائية المعمارية

كان لبناء الملعب الأوليمبي في ميونخ 1972 تأثير تاريخي قوي لتطوير وتطبيق المواد المعاصـــرة، حيث اســـتخدم غشـــاء وسقف الخيمة من الألواح الشفافة المصنوعة من الأكريليك والزجاج، التي استخدمها المعماري أوتوا فراي حيث أحدثت تحسينا ثوريا لـهـيـاكـل الإضـــاءة لـلـمســـاحـات الـكـبـيـرة وتـعـبـيـرا مـعـمـاريـا رائـعـا لـمســـتـوى واجـهـة الســـطـح. تم تطبيق ذلك في جناح كوريا الجنوبية في معرض اكســبو 2012 حيث كانت الظروف المحلية من تأثير الشـــمس وتيارات الرياح حاسمة لإنشاء مفهوم المناخ المستدام وتصميم الأشكال الحيوية فكانت واجهات الجناح أكثر جاذبية من الناحية المعمارية.

Yony and Suny: Thematic pavilion – Yeosu, South Korea,

الشكل (31): يوضح استخدام الألياف الزجاجية المعاصرة في الهياكل الفيزيائية المعمارية EXPO 2012 - (http://www.initiativearchitektur.at)

.

8- الدراسة التحليلية

انتقلت الدراسة التحليلية لعدد من نماذج المباني التعليمية العالمية والعربية (التي استخدمت تطبيقات التطور التقني)، وتم اختيار خمس نماذج دراسية يتمثلوا في ثلاثة من النماذج العالمية واثنان من النماذج العربية.

8-1- النماذج العالمية

	نماذج المباني التعليمية العالمية	صور تفصيلية للمشروع
أ	**مركز مايك أو فيليا زاريديس نانو الكم (Mike & Ophelia Lazard's Quantum - Nano Centre) جامعة واترلو – كندا – مبنى تعليمي ابتكاري.** **المصمم:** ماريان ما كينا – **تاريخ الإنشاء:** 2012 – **المساحة:** 26500 متر مربع. اتخذ المبنى توجيه واحد لمواجهة الظروف المناخية والتغلب عليها من أجل تحقيق بيئة نظيفة عن طريق مواد تقنية النانو. تم تصميم المبنى بتقنيات حديثة أثرت على فكر المعماري في اختيار أنسب المواد للتعامل مع العوامل المناخية وللوصول إلى مبنى يتناسب مع النسيج المحيط من المباني المجاورة ومختلف من حيث التصميم والتشكيل، حيث يتميز المبنى ببنية شبكة سداسية الشكل مستوحاة من الهيكل الكربوني السداسي للأنابيب النانونية. **استخدم في المبنى** زجاج ذاتي التنظيف ذات التحفيز الضوئي - ألواح الألومنيوم المقاوم للحريق (8)، (22).	
ب	**مبنى النحت، جامعة ييل (Yale University - Sculpture Building) - الولايات المتحدة الامريكية - مبنى تعليمي متحفي.** **المصمم:** كيران تيمبرلايك اسوشييتس، فيلادلفيا – **تاريخ الإنشاء:** 2007 – **المساحة:** 62000 متر مربع. نفذت جامعة ييل وكان الهدف تحسين البيئة. وقد تحقق ذلك من خلال امتداد مبنى جامعة النحت غربا عبر الجامعة، يقيم المبنى علاقات حضرية جديدة مع المدينة الواقعة على أطراف الحرم الجامعي، حصل على شهادة الليد البلاتيني. استخدم المبنى الواجهة الزجاجية متعددة الطبقات، وألواح هلام النانو، الألومنيوم لتحقيق المظهر الجمالي من خلال التصميمات الموجودة على الواجهة الخارجية (8)، (23). **استخدم في المبنى** الزجاج الشفاف وشبه الشفاف يحتوي على هلام النانو - الألومنيوم المعالج - خشب الأرز المعالج.	
ج	**كلية التقنية بالجامعة الجنوبية University of southern Denmark (SDU) Odense) – الدنمارك** **المصمم:** مكتب C. F. Moller Architects – **تاريخ الإنشاء:** 2015 – **المساحة:** 20000 متر مربع. مبنى تعليمي للتعليم والأبحاث، قامت الفكرة التصميمية له على إظهار الإبداع الذي يهدف إليه التعليم التقني من خلال تصميم الواجهات ذات فتحات أشكالها دائرية كاملة متعددة الأحجام وذلك تعبيرا عن النشاط العلمي الذي يمارس داخل المبنى. يتميز المبنى بمرونة عالية في التصميم حيث يستطيع التكيف مع مباني الجامعة المحيطة به التي صممت عام 1970(12). **استخدم في المبنى** الألواح الزجاجية الشفافة - الألواح الخرسانية البيضاء (خرسانة ثاني أكسيد التيتانيوم).	

الجدول (1-1): يوضح دراسة تحليلية لثلاث نماذج عالمية

2-8- النماذج العربية

	نماذج المباني التعليمية العربية	صور تفصيلية للمشروع
د	**معهد مدينة مصدر Carbon – Neutral Masdar City Institute – أبو ظبي – الإمارات.** **المصمم:** شركة الهندسة المعمارية فوستر وشركاه (Foster & Partners) وشركة CH2M هيل – **تاريخ الإنشاء:** البداية 2007. يجسد هذا المشروع التكامل الحقيقي بين فن العمارة وعلم الهندسة في أوضح صوره، من خلال مبنى ديناميكي جميل يتجاوز في أدائه أي تصميم آخر بحجمه على مستوى العالم. يمثل أول مبنى ينتج الطاقة الخاصة بتشييده باعتماده استراتيجية بناء السقف على مراحل قبل تشييد بقية المبنى (13). **استخدم في المبنى** زجاج النانو - النوافذ الديناميكية الكتروكروماتيك - الزجاج الغير عاكس - زجاج الحماية ضد الحريق - ألواح الألومنيوم المركب – Nano PVDF مضاد للكشط وذو خاصية التنظيف الذاتي يتكون من قلب البولي ايثيلين بين طبقتين من الألومنيوم.	
ه	**مبنى (كلية الفنون الجميلة إحدى كليات جامعة جنوب الوادي) - الأقصر - مصر.** **المصمم:** أسامة حسن إسماعيل – **تاريخ الإنشاء:** المبنى الحديث 2018 – **المساحة:** 700 متر مربع. المبنى القائم فيه كثير من المشاكل منها عدم تحقق المعايير الوظيفية والجمالية ومعايير السلامة والأمان. كذلك يوجد مشاكل بيئية بالمبنى كالحرارة المرتفعة وانتقال الصوت وذلك بسبب مواد الإنشاء، ومشاكل بالإضاءة الطبيعية والتهوية الطبيعية من هنا كانت الحاجة الماسة إلى إنشاء مبنى آخر للدراسة العملية بالكلية مع مراعاة أن الموقع الذي سيتم به المبنى يتسم بالضيق وبالحدة الشديدة من حيث قربه من الجيران والمباني المحيطة. من هذا المنطلق كان لابد من البحث عن فكرة تصميمية تتميز بالتفرد والخصوصية وتلبى الأبعاد المعنوية والحسية والتواصل بين الماضي والحاضر والتي يمكن أن تنعكس بشكل إيجابي على المتلقي ومستعملي المبنى المراد تصميمه (14). **استخدم في المبنى** ألواح معدنية (الألومنيوم المركبة) (ACP) وهي عبارة عن ألواح ألومنيوم مزدوجة تحتوي على مادة عازلة.	

الجدول (1-2): يوضح دراسة تحليلية لاثنان من النماذج العربية

1-8- دراسة تحليلية مقارنة لمدى تحقيق تطبيقات التطور التقني

	تطبيقات التطور التقني										
	مواد النانو الإنشائية			مواد النانو غير الإنشائية				مواد العزل المعالجة بالنانو	طلاءات النانو	الدهانات الذكية	المواد المركبة
	الخرسانة المعالجة بالنانو	الحديد المعالجة بالنانو	الخشب المعالج بالنانو	الطوب الذكي	الزجاج الذكي	المواد المصنعة	المعادن غير الإنشائية المعالجة بالنانو				
أ	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
ب	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
ج	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
د	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
ه	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

الجدول (1-3): يوضح دراسة تحليلية مقارنة لمدى تحقيق تطبيقات التطور التقني

2-8- دراسة تحليلية مقارنة لمدى تحقيق النماذج التحليلية المطبقة لتقنيات النانو لأهداف الواجهة الوظيفية

	أهداف الواجهة الوظيفية											
	الانتفاع والاستقرار	التكامل بين الفتحات	تحقيق الراحة الداخلية عن طريق				تحقيق أداء مناسب للطاقة بالمبنى	تحقيق الأمن والأمان	تحقيق نسبة من الاستدامة	تحقيق المرونة التصميمية الداخلية	تحقيق سهولة الصيانة والتشغيل	تحقيق متطلبات المستخدم
			مراعاة ضوء النهار	مراعاة الراحة الحرارية	مراعاة الراحة الصوتية	مراعاة التهوية الطبيعية						
أ	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
ب	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
ج	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
د	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
ه	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1

الجدول (1-4): دراسة تحليلية مقارنة لمدى تحقيق النماذج التحليلية المطبقة لتقنيات النانو لأهداف الواجهة الوظيفية

3-8- دراسة تحليلية مقارنة لمدى تحقيق النماذج التحليلية المطبقة لتقنيات النانو لأهداف الواجهة الجمالية

	أهداف الواجهة الجمالية						
	إعطاء الواجهة قيمة جمالية وتأثير حسي مباشر على المتلقي من خلال						
	التأقلم مع البيئة المحيطة	التوافق مع المجتمع وثقافته	القدرة على إظهار هوية خاصة للمبنى	مراعاة المعايير العلمية كالنسب والأنماط والطرز	مراعاة المعايير الذاتية كمواد البناء والألوان وغيرها من العناصر	توافق الإنشاء مع الشكل والكتل المعمارية	تحرر التشكيل الخارجي للمباني والفراغات
أ	1	1	1	1	1	1	1
ب	1	1	1	1	1	1	0
ج	1	1	1	1	1	1	1
د	1	1	1	1	1	0	1
ه	1	1	1	1	1	1	0

الجدول (1-5): يوضح دراسة تحليلية مقارنة لمدى تحقيق النماذج التحليلية المطبقة لتقنيات النانو لأهداف الواجهة الجمالية

4-8- دراسة تحليلية مقارنة لمدى نجاح النماذج التحليلية المطبقة لتقنيات النانو في حل مشاكل الواجهة التقليدية

	مشاكل الواجهة التقليدية التي ساعدت الواجهات المتطورة على حلها				
	القدرة على التفاعل مع التغير الخارجي	القدرة على مقاومة العوامل الجوية وصيانة الغلاف لنفسه	الاستدامة والحفاظ على أداء المبنى للطاقة	استخدام مواد تنتج كميات أقل من الكربون وتحقق نسبة عالية من السلامة	التكامل بين مواد ونظم الإنشاء للوصول بالمبنى إلى مستويات من الشكل والجماليات والإبداع لم يسبق له مثيل
أ	1	1	1	1	1
ب	1	1	1	1	1
ج	1	1	1	0	1
د	1	1	1	1	1
ه	1	0	1	0	1

الجدول (1-6): دراسة تحليلية مقارنة لمدى نجاح النماذج التحليلية المطبقة لتقنيات النانو في حل مشاكل الواجهة التقليدية

دلالات الرموز:

(1) مادة مستخدمة

(0) مادة غير مستخدمة

النتائج والتوصيات

تنتهي الورقة البحثية إلى عدد من النتائج الهامة، التي يمكن إيضاحها عل النحو التالي:

1- أتاح التطور التقني إمكانية تحسين خصائص المواد التقليدية (كالخرسانة المسلحة – الخشب – الحديد – الزجاج) وأصبح لها استخدامات جديدة، بالإضافة إل ظهور مواد جديدة (كاللدائن - بدائل الرخام) تأخذ إيجابيات المواد التقليدية وتعالج الكثير من سلبياتها.
2- ساعدت المواد الذكية (بتقنية النانو) في الحصول على مواد متغيرة الخواص تستجيب لأي تغيرات، وهو ما أدى إلى رفع كفاءة المباني في الواجهات الخارجية فيما يخص: المعايير الاقتصادية والوظيفية والجمالية، وتوفير الطاقة، ومقاومة الحريق، والصيانة، والعمر الافتراضي.
3- نجاح توظيف تطبيقات النانو بكامل المبنى (مواد – نظم – غلاف المبنى) بمتوسط نسبة 42% للمباني الأجنبية، 36% للمباني العربية (محل الدراسة).
4- حققت تطبيقات التطور التقني (المواد الذكية بتقنية النانو) أهداف الواجهة الوظيفية (الانتفاع والاستقرار – التكامل بين الفتحات – تحقيق الراحة الداخلية – أداء مناسب للطاقة – الأمن والأمان – الاستدامة – المرونة التصميمية – سهولة الصيانة والتشغيل – تحقيق متطلبات المستخدم) بنسبة 83% للمباني الأجنبية والعربية (محل الدراسة).
5- نجحت تطبيقات التطور التقني (المواد الذكية بتقنية النانو) في تحقيق أهداف الواجهة الجمالية (التأقلم مع البيئة المحيطة – التوافق مع المجتمع وثقافته – إظهار هوية خاصة للمبنى – مراعاة المعايير العلمية كالنسب والأنماط والطرز – مراعاة المعايير الذاتية كمواد البناء والألوان – توافق الإنشاء مع الشكل والكتل المعمارية – تحرر التشكيل الخارجي للمباني والفراغات) بنسبة 95% للمباني الأجنبية، 85% للمباني العربية (محل الدراسة).
6- نجحت تطبيقات التطور التقني (المواد الذكية بتقنية النانو) في حل مشاكل الواجهة التقليدية (القدرة على التفاعل مع التغير الخارجي – مقاومة العوامل الجوية وصيانة الغلاف لنفسه – الاستدامة والحفاظ على أداء المبنى للطاقة – تحقيق نسبة عالية من السلامة – التكامل بين المواد والنظم المستخدمة للوصول لنسبة عالية من الشكل والجماليات) بنسبة 93% للمباني الأجنبية، 80% للمباني العربية (محل الدراسة).

وتوصي الورقة البحثية بالأمور التالية:

1- العمل على زيادة الدراسات باستخدام وتوظيف المواد الذكية بتقنية النانو في واجهات المباني المحلية، وزيادة نسبة تحقيقها في المشروعات المقامة على الصعيد المحلي.
2- زيادة الاهتمام بالدراسة والتعرف على التقنيات المتطورة (المواد الذكية بتقنية النانو) من خلال المقررات الدراسية ومشاريع طلاب الجامعات، وا لندوات وورش العمل للمهندسين المعماريين، ودعوة خبراء وأساتذة دوليين ومحليين لعرض تجاربهم المختلفة في هذا المجال.
3- تخصيص جزء من الموارد المالية للمؤسسات النقابية والبحثية للمساعدة في القيام بالأبحاث العلمية في مجال المواد الذكية وتقنيات النانو.
4- قيام كل جامعة بإقامة أحد منشآتها بالتقنيات المتطورة بالتقنيات المتطورة (المواد الذكية بتقنية النانو) باعتبار مباني الجامعات ذات دلالة ومكانة كبيرة، ولتكون مثالا حيا يرجع إليه الطلاب والباحثون في هذا المجال.

المراجع

[1] يوسف، ممدوح علي، 2000، واجهات المباني - مفاهيم ومفردات وتشكيل، قسم عمارة، كلية الهندسة، جامعة أسيوط، المؤتمر المعماري الدولي الرابع، العمارة والعمران على مشارف الألفية الثالثة.
[2] عطوة، محمد سعد، ومجدي، وأحمد، 2016، دراسة تحليلية للواجهات الخارجية للمباني مدخل لتحسين جودة التصميم، مجلة جامعة الأزهر،11 (38)، ص (421-434).
[3] فودة، أحمد ماهر، 2015، تأثير التكنولوجيا الحديثة على تصميم الواجهات الخارجية للمباني، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الأزهر.
[4] حسين، أميرة أحمد محمد، 2018، تحليل وتقييم عناصر التصميم الداخلي للأبنية التعليمية من خلال مفهوم الاستدامة، كلية التربية، جامعة حلوان.
[5] أحمد، شريف محمد، ومحمد، وخديجة، 2014، تجويد وتحسين تطبيقات استخدام الخرسانة كمادة إنشائية وزخرفية في العمارة المعاصرة في مصر، كلية الهندسة، جامعة المنوفية، مجلة أبحاث الهندسة المجلد (37)، عدد (2)، ص (277-291).
[6] السيد، أحمد فتحي، 2014، تأثير التكنولوجيا الحديثة في توظيف الخامات البديلة في مفردات التصميم المعماري، https://www.academia.edu.

[7] فجال، خالد سليم، ووفاء، 2019، دراسة لقائمة الموارد التي تسهم في استخدام المواد الذكية لتحقيق الاستدامة في العمارة المعاصرة، Journal of Advanced Engineering Trends (JAET)، العدد (2)، رقم (38).
[8] حسب الله، عبد الله أحمد عبد الله، 2017، تأثير تطبيقات تقنية النانو على المواد المستخدمة في الواجهات الخارجية للمباني، رسالة ماجستير كلية الهندسة، جامعة القاهرة.
[9] مكي، آلاء رفيق سالم، 2017، آليات تطبيق متطلبات العمارة الذكية على المباني الإدارية، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، الجامعة الإسلامية، غزة.
[10] جدعة، محمد عبد الله محمد على، 2015، الإبداع الإنشائي في التصميم المعماري، الخرطوم، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، كلية العمارة والتخطيط، رسالة ماجستير.
[11] سكيك نيكولا، 2014، تأثير المواد المعاصرة على تشكيل الواجهات في العمارة، المؤتمر العلمي الدولي العلوم التقنية تكامل العلوم والممارسة، جامعة نيش، روسيا، موسكو.
[12] أبا الخيل، إبراهيم عبد الله، 2018، مجلة البناء، العدد (328)، https://albenaamag.com.
[13] شريف، فريال عبد المنعم، 2017، الإنشاءات البنائية وتكنولوجيا النانو... رؤية جديدة للعمارة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، https://academiaarabia.com.
[14] علي، أسامة حسن إسماعيل، 2018، معايير ومتطلبات تصميم حيزات الدراسة العملية – دراسة تطبيقية، مجلة الزرقاء للبحوث والدراسات الإنسانية، المجلد الثامن عشر، العدد الثاني.

[15] Joseph D. C. & John C., 1987, Time Saver Standards for building Types, 2nd Edition, Mc Graw – Hill Book Co-Singapore for manufacture and export.
[16] Genny C., Valentina P., Alberto C., 2016, New Construction Materials and Technologies for Contemporary Building Envelopes, 41st IAHS World Congress, Albufeira, Algarve, Portugal, Sustainability and Innovation for the Future.
[17] AL Obeidi, Mayssa M. & Alsarraf, 2018, The Impact of the use of Smart Materials on the Façade of Contemporary Buildings, International Journal of Engineering & Technology, 8(1.5), 308-315, site: http://www.researchgate.net/publication.
[18] Giuseppe ferro: jean-marctulliani, Simone musso, 2011, Carbon Nanotubes Cement Composites, Ferro et alibi, casino (FR), Italia.
[19] Shebl, S. S., Seddeq, H. S., & Aglan, H. A., 2011, Effect of Micro-Silica Loading on The Mechanical and Acoustic Properties of Cement Pastes, Construction and Building Materials, Volume 25 Issue (10), P 3903-3908.
[20] N. Guskos, G. Zolnierkiewiez, J. Typek, J. Blyszko, W. Kiernozycki, 2010, Ferromagnetic Resonance and Compressive strength study of cement mortars containing Carbon, Encapsulated Nickel and Iron Nanoparticles, p3-4, site: http://www.ipme.ru/e-Journals/RAMS/no 12310/ guskos4.pdf.
[21] https://www.archdiwanya.com/2022/03/Smart-Materials.html, 2022.
[22] https://en.wikipedia.org/wiki/Mike_%26_Ophelia_Lazaridis_Quantum-Nano_Centre, 2021.
[23]https://www.academia.edu/7765249/Yale_Sculpture_Building_andGalleryKieranTimberlake,2008
[24] https://www.syr-res.com/article/12555.html., 2005.