مدى تأثير التطور الرقمي للتصميم البارامتري على تصميم الوحدات المعمارية الخزفية

The Impact of Digital Development of parametric design on designing Architectural Ceramics units

أ. د/ أيمن علي جودة
أستاذ ورئيس قسم الخزف السابق - كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان
Prof. Dr. ayman Ali Gouda
Professor of ceramics Department - faculty of Applied Arts- Helwan University
أ. م. د/ أحمد حسني رضوان
أستاذ مساعد بقسم العمارة - كلية الفنون الجميلة – جامعة حلوان
Assist. Prof. Dr. Ahmed Hosney Radwan
Assistant Professor of Architecture and Urban Design - Faculty of Fine Arts-Helwan university
م. م/ شيرين السعيد العرنوس
مدرس مساعد بقسم الخزف – كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان
Assist. Dr. Shereen Elsaid Alarnous
Teaching Assistant of Ceramics Department –Applied Arts faculty- Helwan University
shereenalarnous@gmail.com

الملخص:

يعد التصميم الباراميتري Parametric design أحد الموضوعات البحثية التي توفر بناء التواصل بين التصميم والإنتاج، ونحن هنا بصدد استخدام التصميم البارامتري كأحد نواتج التكنولوجيا الرقمية في تطوير منظومة تصميم الخزف المعماري عبر الاستفادة من التقنيات الرقمية الحديثة لإقامة نموذج بارامتري لوحدات معمارية خزفية. وبعد أن أصبح من السهل تحليل الأشكال والكتل الطبولوجية رياضياً، ظهرت العديد من الأفكار الجديدة التي تطوع الأسطح غير المنتظمة Nurbsلتساعد على تكوين أفكار تصميمية فريدة ودائما وأبداً سيظل المصممون في حالة من البحث الدائم والشغف إلى استكشاف أشكال وهيئات جديدة باستخدام الخوارزميات التوليدية Generative Algorithm.

إن بناء العمارة الحرة عبر العصور كان مكلفا نوعا ما و كان يتم عملها لغرض إنشاء البنايات الأيقونية المميزة و قد ظهرت الحاجة القوية إلي تبني منهجية و أداة تصميم تجعل من تصميم و بناء هذا النوع من المباني ذات الأشكال الحرة الفريدة و تعديل هذه المباني أمرا سلسا و موفرا للوقت و الجهد المبذول ومن خلال توضيح أهمية دور تكنولوجيا المعلومات علي عملية التصميم ، فإن هذا الدور لم يتوقف عند العملية التصميمية ، بل استمر إلي عملية الإنتاج والتصنيع الرقمي و يعد الخزف مثله مثل باقي الخامات التي تأثرت كثيرا في طرق إنتاجها و تصنيعها كنتيجة طبيعية لتطور التكنولوجيا الرقمية.

مشكلة البحث:

ما مدي تأثير التطور التكنولوجي على منهج التصميم البارامتري ومردود ذلك في تصميم وإنتاج الوحدات الخزفية المعمارية؟

أهمية البحث:

محاولة وضع منظومة لتطوير التصميم المعماري الخزفي بشكل أكثر مرونة وأكثر تطوراً بعيداً عن محددات تصميم وإنتاج الخزف التقليدية.

DOI: 10.12816/mjaf.2019.16667.1315

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

منهج البحث:

المنهج الوصفي التحليلي لمدي تأثير التكنولوجيا الرقمية على منهج التصميم البارامتري لوحدات عمارية خزفية.

فروض البحث:

يفترض البحث وجود تأثير كبير للتكنولوجيا الرقمية باستخدام المنهج البارامتري مما يؤثر في تطوير التصميم المعماري الخزفي.

حدود البحث:

إلقاء الضوء لتأثير الثورة الرقمية والمعلوماتية وتكنولوجيا البرمجيات والحاسب الآلي سواء في مجالات التصميم المعماري الخزفي أم مجالات تصنيع مواد البناء المتطورة والذكية أم أساليب الإنشاء الحديثة.

الكلمات المفتاحية:

التصميم المعمارى ; الخزف ; التصميم البارامترى ; وحدات خزفية

Abstract:

Parametric design is one of the research topics that provide the building of communication between design and production. Here we are using Parametric design as one of the products of digital technology in the development of architectural ceramic design system by utilizing modern digital technologies to establish a parametric model for ceramic architectural units.

After it became easier to analyze topical forms and masses mathematically, many new ideas emerged that volunteered the irregular surfaces Nurbs to help form unique design ideas and always and designers will always remain in a state of constant research and passion to explore new forms and bodies using generative algorithm

It is understood that the construction of free architecture through the ages was rather expensive and was being done for the purpose of creating iconic buildings and there was a strong need to adopt a methodology and design tool that makes the design and construction of this type of buildings with unique free forms and modification It is a smooth and time-saving effort and by clarifying the importance of the role of information technology on the design process, this role did not stop at the design process, but continued to the process of production and digital manufacturing.

Research problem:

• What is the impact of technological development on the parametric design approach and its effect on the design and production of architectural ceramic units?

research importance:

Try to develop a system for the development of ceramic architectural design more flexible and more sophisticated away from the limitations of design and production of traditional ceramics.

Research Methodology:

• An analytical approach to study the impact of digital technology on the parametric design approach

• An experimental approach by attempting to conceptualize the design and production of ceramic architectural units using the parametric design approach

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

research results:

• Like other materials, ceramics are highly influenced by the methods of production and manufacture as a natural result of the development of digital technology

• Open new horizons and different perceptions of the use of ceramics in architectural vocabulary, both internal and external

Keywords:

Architectural design; Ceramics; Parametric design; Ceramic units.

- **المقدمة:**

تتعدد مداخل تصميم الوحدات المعمارية الخزفية ونحن في هذا البحث بصدد استخدام المنهج البارمتري في تصميم وغنتاج هذه الوحدات والتحكم فيها وتوظيفها بما يتناسب مع امكانيات التشييد المتاحة وكذلك نشر التجديد نحو التشكيل البيئي الطبيعي المتحرر من الخطوط المستقيمة والزوايا القائمة والأشكال المتماثلة مما ينتج عنه واقعياً معماريا مختلفا عن العمارة الا الاقليدية التقليدية

- **تطور التكنولوجيا الرقمية وسبل تطويعها في التصميم المعماري**

قدمت الثورة الرقمية إمكانات هائلة ساعدت في تطوير التكنولوجيا الرقمية وتطويعها لرسم لغات ومفردات جديدة- للتشكيل المعماري وهو ما جعل من عملية التصميم المعماري عملية إبداعية من دون عوائق، وفتح آفاق جديدة أمام المعماري للانطلاق والإبداع؛ مما أفرز تشكيلات معمارية خزفية غير مسبوقة بالاستعانة بأحدث التقنيات البرمجية للحاسب الآلي.

إن ما تشهده الساحة المعمارية عالميا من تأثيرات الثورة الرقمية والمعلوماتية وتكنولوجيا البرمجيات والحاسب الآلي سواء في مجالات التصميم المعماري أم مجالات تصنيع مواد البناء المتطورة والذكية أم أساليب الإنشاء الحديثة. يمثل مرحلة جديدة تعد بمثابة الانطلاقة في تحول العمارة العالمية مع بدايات العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، وهو بدوره ما يشكل المدخل لعمارة المستقبل. وضرورة الاستفادة القصوى من جميع أوجه التطور التكنولوجي في العمل المعماري الخزفي في جميع المجالات المتعلقة به، سواء فيما يختص بالتصميم المعماري من إيجاد لغات ومفردات جديدة للتشكيل المعماري تتناسب وروح العصر، أم فيما يختص بتوظيف الخزف وأساليب الإنشاء والتنفيذ التقنية وغيرها لخدمة العمل المعماري وتطويره التطور المجتمعي الحادث في عصر الثورة الرقمية مستخدمين للتطبيقات التكنولوجية الرقمية في مجال العمارة والإسهام والتطوير لتطبيقات وخاصة في مجال الطباعة الثلاثية للوحدات المعمارية الخزفية.

- **التصميم البارامتري**

إن تصميم البارامترات من وجهة نظر برامج الحاسوب هو إقامة نموذج بارامتري حيث يتم الرجوع إلى العناصر الأولية التي تشكل مع بعضها البعض باستخدام عدد من المتغيرات والقيود المحددة بوضوح، وهكذا فإن النموذج النهائي المكتمل يمكن تغييره أو تعديله وإعادة توليده، في حدود المطابقة للشروط المحددة مسبقا. كما أن النموذج البارامتري يمكن تحديثه عن طريق إجراء تغيير بقيم البارامترات مع الحفاظ على العلاقات بين العناصر المكونة له. ويجري أيضا تجديد برامج CAD المتخصصة لتطوير قدراتها التي يمكن أن تتيح للمستخدمين العمل مع بارامترات الأشكال الهندسية القياسية

المراحل الهامة فى العملية التصميمية مرحلة وضع الأفكار الخاصة بالتكوين الخارجى للمبنى وكذلك التصميم الداخلى ، وساعدت برمجيات الحاسب على تسهيل التشكيل والتكوين للمصمم المعمارى ، فأتاحت له مجالا واسعاً من الأفكار التى لم تكن ممكنة من قبل فبواسطة برامج الكاد والكام والكاتيا (CAD \ CAM , CATIA) تمكن المصمم من الخروج عن

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الأشكال الإقليدسية والتى حددها ليكوريوزيه فى كتابه نحو عمارة جديدة Towards a New Architecture وهى الاسطوانة والهرم والمكعب والمنشور والكرة و هي الأشكال الأساسية التى يتم البدء بها فى التصميم الرقمى بواسطة البرمجيات فى التصميم حتى وقتنا هذا *8

وهذه الأشكال التى كانت العنصر المكون للفراغ والتكوين الخارجى والداخلى متأثرة بمفهوم المعمارى لها ومدى قدرته على إستعمالها والتحكم فيها وتوظيفها بما يتناسب مع إمكانيات التشييد المتاحة .ومع محاولات علماء الرياضيات فى التعرف على علاقة هذه الأشكال ببعضها، والخصائص المكونة لكل شكل، وكيفية الاستفادة من هذه الخصائص، فنجد المعابد المصرية القديمة إعتمدت على الخطوط المستقيمة بكثرة دون إستخدام الأقواس فى البناء . بينما ظهرت الأقواس فى حضارات أخرى، وإرتبط التكوين العام لكل حضارة بمدى التعرف على خصائص هذه الأشكال، ومدى الاستفادة منها إلى أن استطاع علماء الرياضيات التوصل إلى الأشكال غير الأقليدسية، وهذه الأشكال لها خصائص مختلفة عن الأشكال الإقليدسية، والتى أُطلق عليها الأشكال الطبولوجية (Topology shapes) *13

شكل 1: تصور أفقي لاستخدام الأشكال الطبولوجية

- **العمارة البارامترية**

إن العمارة البارامترية استطاعت دمج كل العناصر المعمارية وحولتها إلى عناصر أو محددات لوغارتيمية سهلة التحويل والتشكيل الأمر الذي يساعد على تقوية العلاقات بين مكونات وأشكال المشروع وعلاقة المبنى بمحيطه والتحول عن النماذج الهندسية الكلاسيكية (المكعب، الاسطوانة، الهرم، الكرة) التي أعتمد عليها التشكيل المعماري الكلاسيكي والحديث. هذه الأشكال، إذا جمعت بين بعضها البعض لتكوين التشكيل النهائي المعماري للمباني لا تحقق علاقات تشكيلية قوية فيما بينها، بل تخلق فوضى معمارية وعمرانية حيث إنها تتجمع فيما بينها بدون لغة توحدها. *5

وفي المقابل هناك أشكال أكثر تقارباً بين بعضها تولد تجمعات متناغمة فيما بينها وهي الأشكال التي تحققها العمارة البارامترية. كما أن الخطوط التي ترسم بها الأشكال الهندسية الكلاسيكية هي خطوط غير مرنة فإن الخطوط التصميمية في مجال العمارة البارامترية هي خطوط مرنة سهلة وسلسة ويمكنها أن تشكل كتل لينة ومختلفة ولكن دائماً ما يوجد ترابط قوي بينها، الخطوط هنا تحدد مسطحات يمكن طيها وتحويرها وإيجاد تنوع في تشكيلها بحيث يمكن أن تشكل قطع أثاث أو مبانٍ. كما تشكل المسطحات فيما بينها كتل يمكن كذلك تجميعها فيما بينها ودمجها في كتلة واحدة من خلال خطوطها السائلة. تطبيق مبادئ التصميم البارامتري على تخطيط الأحياء والمدن (زها حديد) وكذلك على صعيد تخطيط المدينة وتحديد كثافاتها وأحجامها وتشكيل أحيائها وخطوط شبكات طرقها تكون هناك سيولة وسلاسة في تشكيل المدينة وتحقيق تنوع في أشكالها دون المساس بترابطها فيما بينها. *13 إن كل الأبحاث والمشاريع التي يتم تصميمها داخل المدارس المعمارية والتي تنتهج العمارة البارامترية يبدو فيها الترابط بين مكوناتها بحيث تتشابه فيما بينها بالرغم من تنوع وظائفها وأحجامها كونها مصممة من قبل معماريين مختلفين إلا أنها تتبع مبادئ واحدة. و تعتمد العمارة البارامترية على مبادئ بعضها يمكن أن نطلق عليه مبادئ سلبية أي يجب تجنبها ومبادئ إيجابية يجب إتباعها وتتلخص المبادئ السلبية في : رفض المبادئ التقليدية مثل تصميم الأشكال الكلاسيكية ذات البنى غير المرنة ومثل التكرار أو التناظر في الأشكال و

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مثل جمع أشكال متنافرة فيما بينها ولذلك تدعو العمارة البارامترية إلى الاستلهام من الأشكال العضوية الطبيعية ، أحد الرواد في هذا المجال هو المهندس الإنشائي والمعماري فراي اوتو الذي استعمل عمارة الخيام في مشاريعه من خلال استخدام أشكال تثبت إنشائياً بطريقة طبيعية كما هو الحال في الأشكال الطبيعية .*2

شكل 2: أحد أعمال فراي أوتو Frei Otto

لم يستخدم فراي اوتو Frei Otto الحاسب الآلي وإنما كان يقوم بعمل تجارب على نماذج مصغرة للخيام. أما اليوم ومن خلال استعمال البرامج اللوغارتيمية الرقمية يمكن إيجاد الأشكال التي تشبه الأشكال العضوية الطبيعية وجعلها تثبت إنشائياً من خلال الحسابات الإنشائية الرقمية. وعليه يجب أن تكون الكتل لينة ذات سيولة قابلة للتشكيل بسهولة كما يجب أن تكون ذات ذكاء تشكيلي أي أنها تتبع محددات ذكية مثل خصائص المواد التي سوف تستخدم في التشكيل والقياسات والقواعد الإنشائية التي يجب احترامها بحيث تضمن ان أي حل سنختاره سيحافظ على هذه الخصائص والقياسات والقواعد، ويمكن إضافة محددات أخرى مثل طرق التصنيع والكثير من المحددات الأخرى. كما يجب أن يكون هناك تميزاً بين الأشكال لكنه يحافظ على تماسك التكوينات فيما بينها هذا التميز يمكن كذلك أن يكون ذكياً أي أنه قابل للتطويع لتحقيق محددات معينة يجب اتباعها مثل تشكيل كتلة المشروع لكي تتجنب الفتحات أشعة الشمس وعلاقة ذلك بهندسة كاسرات الشمس والفتحات، وهذا يؤدي إلى تميز الكتل والمسطحات والخطوط. *5

شكل رقم 3: يوضح مدى التأثر بين العمارة الحديثة والخطوط الانسيابية للأشكال الخزفية

بفضل تكنولوجيا الهندسة الحديثة التي تتغير باستمرار مع الزمن، تستمر المباني في النمو واستخدام انسيابية الخطوط المماثلة للأشكال الخزفية وطبيعة خاماته ومنتجاته للفواصل المعمارية الخزفية الملائمة للبيئة المعمارية *15

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وبعد أن أصبح من السهل تحليل الأشكال والكتل الطبولوجية رياضياً ، ظهرت العديد من الأفكار الجديدة التي تطوع الأشكال غير المنتظمة لتساعد علي تكوين فكرة تصميمية ،فنجد الأفكار المستوحاة من أشكال طبيعية مثل الماء والسحاب والنباتات والحيوانات والفضاء والكون.... إلخ . يقول دكتور على رأفت" : البيئة الطبيعية والكونية تشترك فى بعض المحاور والمواجهات وتتباعد فى غيرها ، والأنسان سعى أخيرا لتطوير الإمكانات التكنولوجية والإنشائية الواسعة للفكر المعمارى لكى يقترب تفاعليا مع المحيط البيئى ، وقد رأينا محاولات لذلك فى العمارة العضوية فى أوائل القرن الماضى . كما أن المعماري يتجه نحو إيجاد الصلة مع هذا المحيط البيئى، حيث تم الاستعارة من الطبيعة والكون وهو يرتفع فى الاتجاهين بالعلاقة التفاعلية أو الإستعارية الموضوعية بينه وبين محيطه المحدود واللانهائى كما يتكامل شكليا مع المحيط بالإستعارة الشكلية مما هو مألوف حوله من البيئة الطبيعية والكونية " ثم يستكمل ليوضح دور التكنولوجيا المعلوماتية وثورة الاتصالات .كما ساعدت وسائل الاتصالات العالمية على نشر التجديد نحو التشكيل البيئى الطبيعى والكونى المتحرر من الخطوط المستقيمة والزوايا القائمة والاشكال المتماثلة الإقليدسية بوجه عام ، وذلك منطلقا إلى خصائص التشكيل الطبيعى الكونى فى منحنيات إنسيابية حرة ، وفى ترديد لتشكيلات الكون المتطور الدنياميكى الممتد المضطرب المتصادم المتشاحن ويؤكد على أهمية دور البرمجيات فى هذه الثورة العلاقة – نتيجة للبرمجيات – بين العمارة البيئية والتوجهات الطبيعية الكونية بنيت على نظرية التركيبات Complexity Theory هذه النظرية بدأت بتعقل مع ثورية روبرت فنتورى عام ١٩٦٦ م ليعلن بها نهاية عمارة الحداثة.*1

ومن خلال الاطلاع على تجارب العديد من المعماريين الذين استخدموا وطوروا تقنيات تكنولوجيا المعلومات، ظهرت مقومات تدل على التأثير على الفكر المعماري **.وعبر البعض عن ذلك من خلال ثلاثة اتجاهات:**

أ - في صورة عمارة نحتية متحررة من قيود الأشكال التقليدية ومتجه نحو عدم الانتظام في الشكل أوالفراغات أوالأسطح وكان المعماري فرانك جيري على رأس هؤلاء المعماريي ن

شكل 4: أحد أعمال فرانك جيري Frank Gehry

ب - وعبر البعض الآخر عن تغير المضمون وتحويل المبنى إلى ما يشبه الكائن الحي واستغلال فوائد التكنولوجيا ومبادئ العمارة الذكية في تحقيق الاستدامة مثل نورمان فوستر.

شكل 5: أحد اعمال نورمان فوستر Norman Foster

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

ج - واستفاد البعض من امكانيات هذه التكنولوجيا في تطوير المناهج والنظريات التصميمية واعادة تعريف العمارة من خلال أعمالهم في صورة العمارة التفاعلية والعمارة المتحركة (عكس العمارة الساكنة) والعمارة الإعلامية والمعلوماتية (عكس

العمارة التقليدية الجامدة) والعمارة التفاعلية (عكس العمارة غير المتفاعلة)، ومن هؤلاء كل من المعماري بن فان بركل (مجموعة UN Studio) والمعماري لارس سباي بريك (مجموعة نوكس NOX). *12

شكل 6: أحد أعمال بن فان بركل Benn Van Berkel

- **تجربة المعماري فرانك جيرى Frank Gehry**

أهمية دور تكنولوجيا المعلومات علي عملية التصميم ، فإن هذا الدور لم يتوقف عند العملية التصميمية ، بل استمر إلي عملية الإنتاج والتصنيع والتنفيذ الرقمي ،ليس هذا فحسب بل وصل إلي مرحلة إندماج كل من العمليتين معاً) العملية التصميمية وعملية الإنتاج والتصنيع والتنفيذ معاً (وذلك من خلال أدوات تكنولوجيا المعلومات من خلال تجربة فرانك جيرى للأفكار غير التقليدية كان تصميم التمثال السمكى الكبير والذى أطلق عليه فيللا أوليمبكا (فى برشلونة بأسبانيا عام ١٩٩٢) والذى واجه جيرى مشاكل وصعوبات فى تنفيذه، بالإضافة إلى القيود المالية لمقاول المشروع وشريك جيرى مما دفع جيرى للبحث عن أسلوب جديد لتسهيل التنفيذ، وبالفعل اقترب جيرى من تكنولوجيا التصنيع ليسهل الاستفادة منه فى البناء ، فكان الحل فى إعادة إعداد خطوات التصميم وإجراءات التنفيذ فى شكل معلوماتى بنائى، ومن خلال دراسة ماكينات التصنيع وأسلوب توقيع الأسطح رقميا إستنتج الآتي: *11

١ - كل مراحل التصميم لها تداخل مع إجراءات وعمليات التصنيع والتنفيذ ومن ثم استلزم تطوير عملية التصميم لتكون عملية رقمية لا ورقية.

٢ - أهمية النماذج الرقمية ودورها فى تحقيق المبنى.

٣ - أهمية فهم خصائص وقواعد الأشكال والمنحنيات حتى يسهل إجراء التمثيل رقميا فى العملية التصميمة والتنفيذية.

٤- يجب وضع خطة واضحة لإدارة منظومة البناء .خلال هذه الاستنتاجات تم وضع خطة توضح مراحل التصنيع المختلفة لتبسيط الأشكال المعقدة وتطوير المواد المناسبة لهذه الأشكال.

خلال هذه الإستنتاجات تم وضع خطة توضح مراحل التصنيع المختلفة لتبسيط الأشكال المعقدة وتطوير المواد المناسبة **لهذه الأشكال. تم ذلك عن طريق تصنيف الأشكال في الطبيعة كالتالي:**

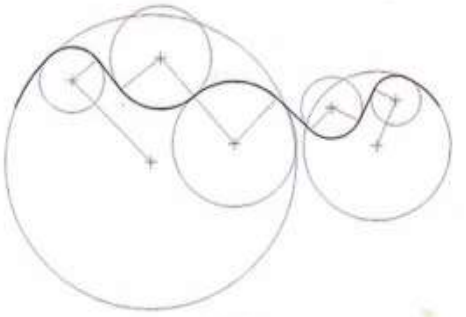
١- الأشكال النقية

٢ - الأشكال المعقدة-الأسطح المنحنية غير المنتظمة (NURBS)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أولا: الأشكال النقية والواضحة: -

استفاد الإنسان بحسه الفطري من هذه الأشكال، والتى تتجسد فى الكهوف، والأنفاق والتكوينات الطبيعية للجبال، والعناصر البنائية التى تبنيها الحشرات والحيوانات لبيوتها فى توليد أشكال إنشائية تساعد على تكوين فراغات وظيفية مسقوفة مثل القباب والقبوات والأقواس المنحنية .والتى جمعت فى شكلها بين التكوين المغلف للفراغ وفى نفس الوقت الأسلوب البسيط لتحويل الأحمال .ومع تطور تقنيات البناء ظهرت أفكار كثيرة تعد تطور للقبو والقبوات فى الشكل والمضمون وظهرت المنشآت القشرية، والسرجية والبالونية واللوحات المطوية والتى اعتمدت على أفكار مستمدة من عوامل وأشكال موجودة فى الطبيعة .وساعد تطور علوم الرياضيات على تحليل الأنظمة الإنشائية لهذه الأشكال وإجراء المعادلات التى يمكن بواسطتها التصميم الإنشائي. *10



شكل 7: يوضح تحليل الخطوط غير المنتظمة *7

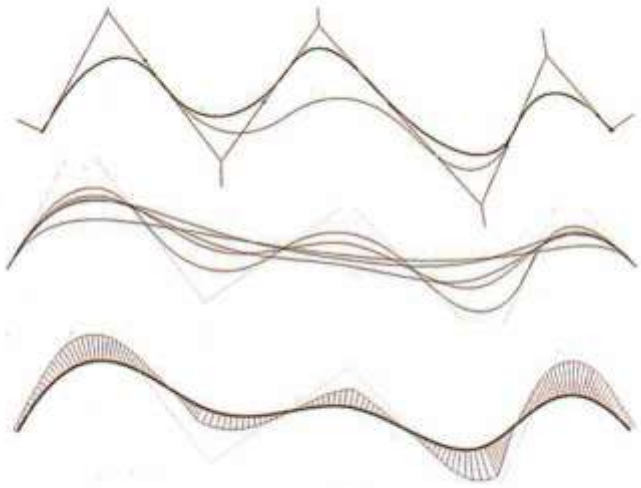
ثانيا: الأشكال المعقدة: -

فكما توجد الأشكال البسيطة والنقية توجد أيضا الأشكال المعقدة، ويطلق عليها أشكال معقدة نتيجة لصعوبة توصيفها هندسيا بالأسلوب التقليدي من الأسطح المتعامدة أو ذات الزوايا الثابتة أو الأشكال المتعارف عليها .

مما أدي الي تصنيف علماء الرياضيات هذه الأشكال إلى تصنيف يجمع طبيعة تكوينها بشكل كبير .هذا التصنيف أطلق عليه بالتكوينات الطبولوجية والتي صعب التعامل معاها بالحسابات التي تعتمد علي العقل البشري، وهنا برز دور الكمبيوتر في كيفية التغلب على حسابات هذه الاشكال، وتم إطلاق مسمي ال (NURBS) على هذه الآسطح. **شكل 3**

- **الأسطح المنحنية غير المنتظمة (NURBS)**

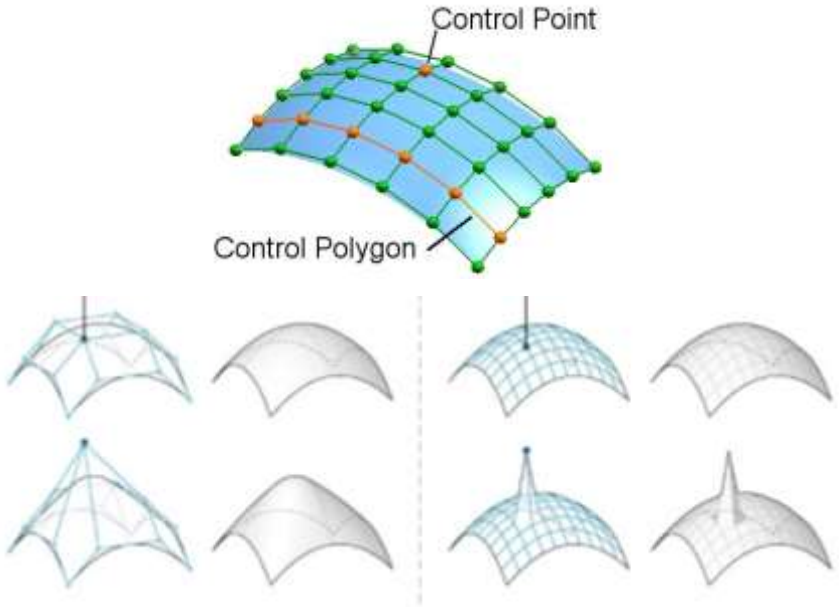
وتستخدم NURBS geometry على نطاق واسع في برمجيات التصميم بمساعدة الكمبيوتر CAD والتصنيع بمساعدة الكمبيوتر CAM والهندسة بمساعدة الكمبيوتر. وNURBS هو مصطلح مشتق عامة من منحنى بيزير. وهي النموذج الرياضي شائع الاستخدام في رسومات الحاسب واختصار ل Non-Uniform Rational B-Splines وتستخدم لتوليد وعرض المنحنيات الرياضية والأسطح المنحنية، فهي التمثيل الرياضي للهندسة ثلاثية الأبعاد والتي تستطيع أن تصف وبكل دقة الأشكال ثنائية الأبعاد من النقطة والخط المستقيم والمنحنى والقوس والدائرة والبيضاوي والمربع والمضلع، وحتى أكثر الهيئات ثلاثية الأبعاد والهيئات العضوية تعقيدا، وبسبب مرونة ودقة هذه النماذج فإنها تستخدم في أية عملية من عمليات العرض أو التحريك أو التصنيع. **شكل 8***10



شكل8 يوضح الخطوط غير المنتظمة NURBS والتي تتكون من مجموعة من المنحنيات

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- **كيفية التحكم في الأسطح المنحنية غير المنتظمة :**



شكل9: كيفية التحكم في الأسطح المنحنية غير المنتظمة

عن طريق نقاط التحكم سواء بتحريكها أوتقليل المسافات فيما بينها NURBS يمكن التحكم لتعطي أشكالاً متغيرة تساعد المصمم علي إنتاج العديد من الأشكال والتكوينات كما يمكن التحكم في هذه الأسطح بواسطة أنصاف أقطار الأقواس المتماسة معا وطول الخط وهذا يظهر فى البرمجيات باختلاف استخداماتها فى كيفية التعامل مع هذه الأسطح. شكل رقم5

تأثير تكنولوجيا المعلومات على التكوين الإنشائي والعمارة البارامترية:

شكل رقم10

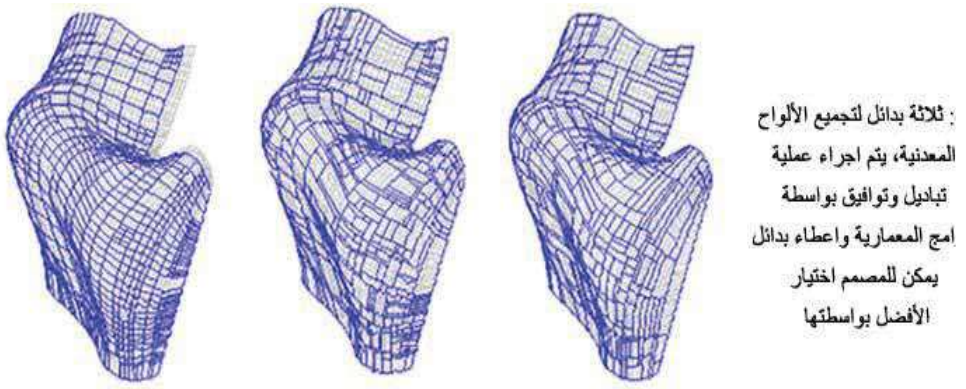
وبالتأكيد فإن التطوير الذي لازم هذه الأسطح فى الحقل المعمارى كان له أثر كبير على العمل ومن أهم الأمثلة لهذه الأسطح متحف جوجينهايم من أعمال المعمارى فرانك جيرى ليعاد استخدام الشرائح المعدنية Rubber . Sheetوتوظيفها فى تغطية هذه الأسطح-شكل رقم 10 وكذلك التحول من شكل الى آخر مما يعطى جيومترات كثيرة تتيح الوصول إلى النتيجة المرغوبة والحصول على أعمال نحتية معقدة مع إمكانيات الحاسب فى التحول إلى عملية التنفيذ وفقا لنقاط التحكم حيث تتصل أجهزة وفقا للبيانات والأبعاد المصمم بها السطح .كما أن هذه الأسطح يمكن دمجها معا فى شكل مستمر بحيث تمثل عنصر متصل وهذا يتضح فى صناعة الطائرات؛ فنجد أن الطائرة تظهر كعنصر واحد متصل ولكن فى حقيقة الأمر فهى مكونة من أسطح دائرية متصلة ناعمة الدوران ولا يظهر هذا التجميع فى المنتج النهائى1*

ويظهر أهمية استخدام الحاسب الآلي في هذه المرحلة من خلال البرمجيات، والتي نجحت العديد من البرامج المعمارية في إعداد العديد من أدوات للتحكم في إنتاج الأشكال، والتحكم فيها عن طريق التعديل والتطوير بواسطة إدراج كافة المتغيرات

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

التي يمكن أن تؤثر على الأسطح .ويتميز استخدام الحاسب الآلي في هذه المرحلة في أنه يُمكَّن المصمم من التحكم في الأسطح*14

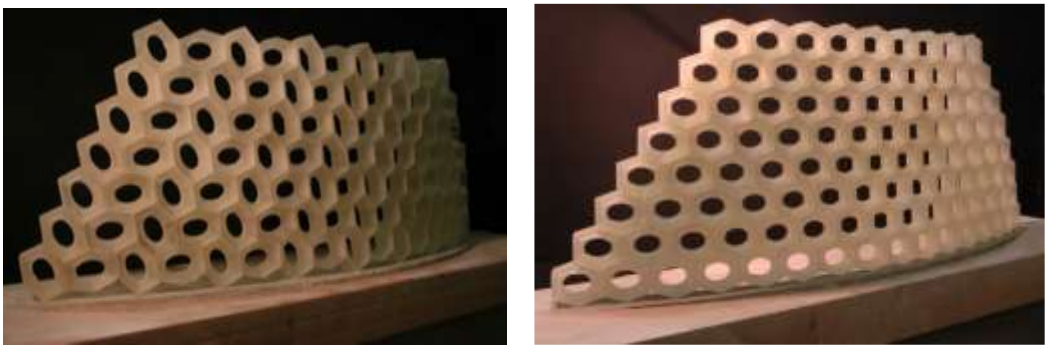
باستخدام المواد المختلفة، والتعامل معها وفقاً لخواصها الطبيعية، كما أنه يساعد المصمم علي إعطاء العديد من البدائل والمقترحات لتكسية الأسطح حسب شكل المواد المستخدمة .بعد أن تحدثنا عن طرق تصنيع أجزاء ومواد البناء المختلفة بأكثر من طريقة تصنيع رقمية، تأتى مرحلة تجميع هذه العناصر فى الموقع لكي تعطى التكوين النهائى للمبنى، وهي المرحلة النهائية في تنفيذ المبني. ففى مرحلة التجميع تستخدم التكنولوجيا الرقمية فى هذه المرحلة بكاملها دون تدخل أى من الطرق التقليدية) مثل القياس بواسطة شريط الأبعاد، أو إستخدام المهارات الحرفية واليدوية .(فالعملية التى تتم كلها تعتمد على النموذج الرقمى الثلاثى الأبعاد، وعلى مرحلة تكويد وتشفير العناصر والأجزاء التى تم تصنيعها-شكل 11-، بحيث يتم وضعها فى أماكنها بإستخدام التكويد والشفرة وبدقة عالية جداً حيث أنه لايُسمح بالخطأ* 3



شكل رقم11

- **عملية التصميم المعماري الخزفي وبرامج الحاسب المتطورة:**

أصبح الكمبيوتر أداة متكاملة في عملية التصميم منذ بدأ مساعدة المهندسين المعماريين والمصممين في محاكاة الفضاء والتعبيرات الهندسية. كما أصبحت النمذجة البارامترية بمثابة الأداة التي يستخدمها المصمم في منهج التصميم الحسابي، أو التصميم المولد بالحاسب، لذلك تم بناء النماذج في جميع مراحل التطبيق بواسطة النمذجة البارامترية، مع مزيج من الخوارزميات التوليدية من أجل استكمال الخطوط الهامة في عمليات تقسيم الأسطح وتكرار الأنماط الهندسية التي تستغرق وقتاً طويلاً جداً في النمذجة التقليدية، مما سهل من عملية توليد رسومات التنفيذ، وكذلك عمل الاختبارات الإنشائية الخاصة بالمشروع التطبيقي بواسطة برامج التحليل الإنشائي الاستاتيكي *4



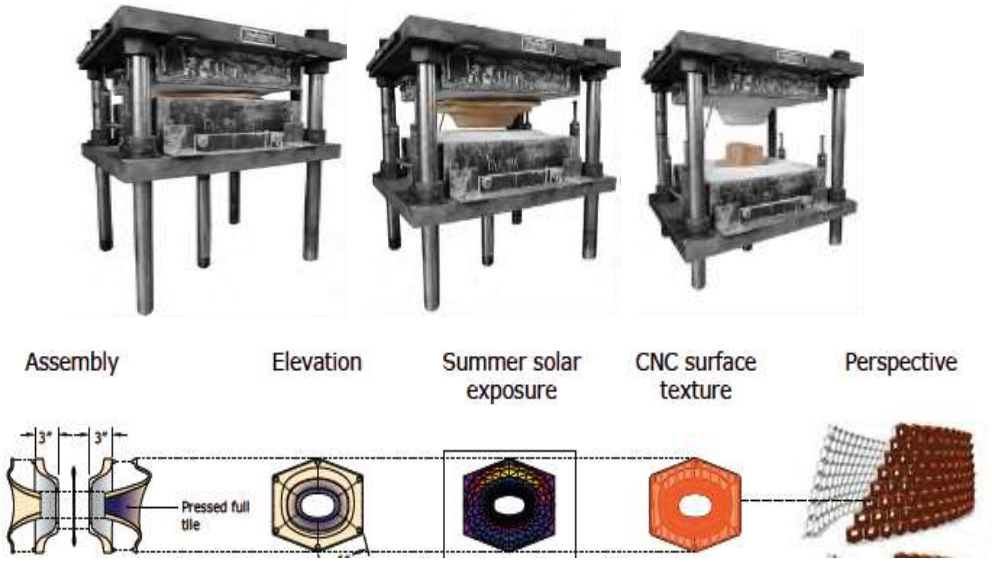
شكل 12: يوضح هذا الشكل الفرق بين التصميم المعماري الخزفي التقليدي والبارامتري

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وبالنظر الي الوحدة الأساسية المكونة للجدار المعماري نجد أن تغيير الوضع وكذلك إمكانية الإنتاج بأبعاد متنوعة أدي إلى رؤية مختلفة ومتغيرة للسطح المعماري

شكل 13: يوضح هذا الشكل الشكل النهائي للوحدة المفردة بعد إنتاجها ووضعها بالنسبة لضوء الشمس في ساعات النهار المختلفة

ويمكن إنتاج مثل هذه الوحدات بعدة طرق منها التقليدي ومنها الحديث فمنذ بداية القرن العشرين استخدمت المكابس الهيدروليكية للقوالب في إنتاج المئات من هذه الوحدات بشكل يومي



شكل 14: يوضح هذا الشكل قطاع ومسقط وانعكاس ضوء الشمس وملمس ومنظور الوحدة المنتجة

وبتطور التكنولوجيا المستخدمة في التصميم والتصنيع أمكن إنتاج مثل هذه الوحدات عن طريق الطباعة الثلاثية الأبعاد

- **الإبداع الرقمي لبلاط السيراميك Digitally crafting ceramic tiles**

تطورت في الآونة الأخيرة طباعة نماذج ثلاثية الأبعاد للبلاط الخزفي ذو البنية التصميمية المعقدة، وأمكن أيضًا إنتاج تصميمات أكثر تطورا للطباعة ثلاثية الأبعاد ليس فقط لنمذجة حواف البلاطات المتجاورة، ولكن أيضًا حساب التقطيع الذي يتحكم في مسار طباعة الوحدة، ولإنشاء هيكل البلاطة.، والذي يستلزم استخدام الخوارزميات الشبكية وطوبولوجيا المكان التي تهتم بدراسة الخصائص المكانية لإنشاء هياكل بناء على معايير محددة. ويستخدم أنواع مختلفة من الطينات وظروف الحريق تبعا لطبيعة كل مشروع.

وفي الوقت الحاضر تقدم بعض بيوت التصميم مثل Architchen التيواني خبرتها في الطباعة والتصميم الخزفي ثلاثي الأبعاد، بالتعاون مع العملاء لإنتاج بلاطات مطبوعة ثلاثية الأبعاد مخصصة لرغباتهم باستخدام أدوات التصميم البارامتري، كما أنهم قاموا بطباعة بلاطات مصممة حدوديًا لتفي بالغرض المعماري. كأعمال فنية تعرض بالمعارض الخاصة بالفنون التشكيلية. شكل 15

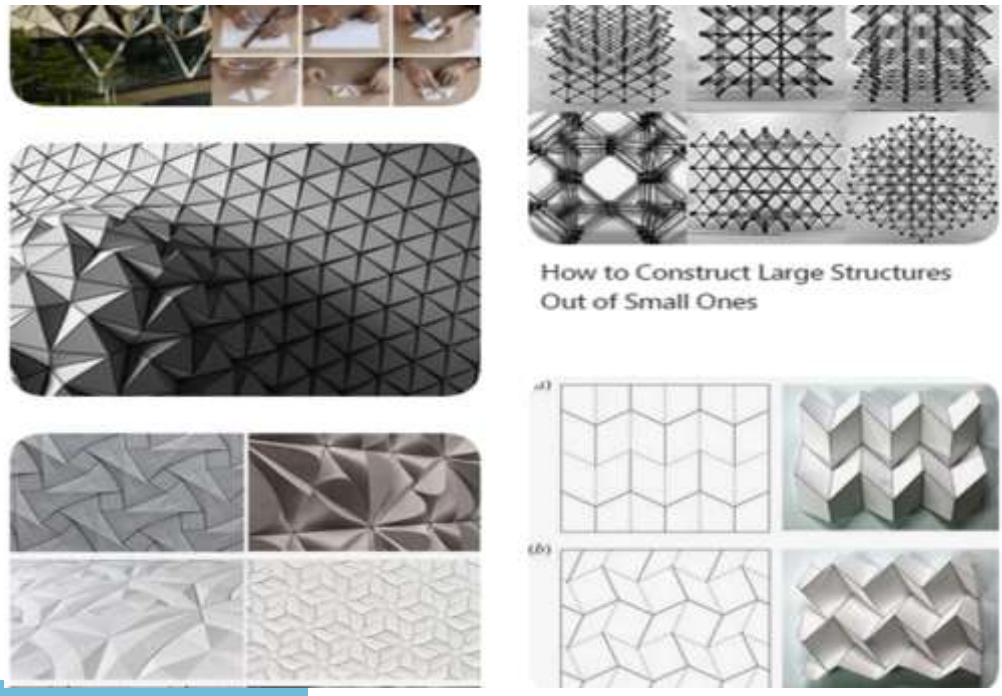
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

شكل 15

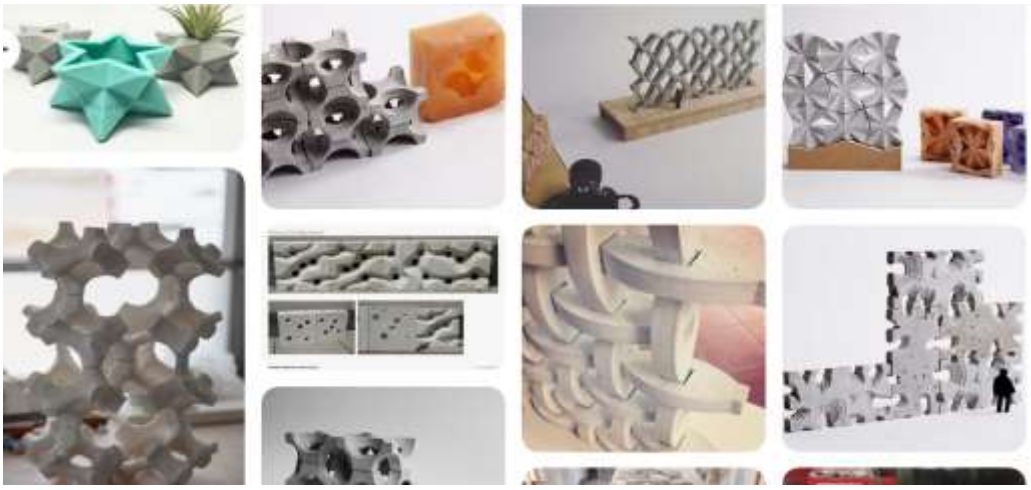
طوب البناء الخزفي ثلاثي الأبعاد 3D printing building bricks

إن البلاط المطبوع ثلاثي الأبعاد يأخذ الهندسة المعمارية في الواقع إلى مكان جديد، حيث أن هيكل كل بلاطة يوضع غالبًا لإنشاء صورة أكبر في التصميم والهندسة الحسابية. ونجد كيفية بناء هياكل كبيرة من الوحدات الصغيرة ذات الشكل الواحد التكراري -شكل 16 - وهذه من الإمكانيات التي يمكن أن يحققها التصميم الحسابي والتصنيع الرقمي للسيراميك كمادة.

شكل 16: كيفية بناء هياكل كبيرة من الوحدات الصغيرة ذات الشكل الواحد التكراري



المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



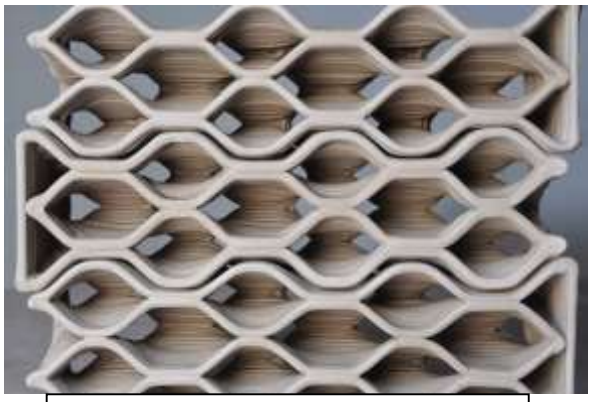
شكل 17: كيفية بناء هياكل كبيرة من الوحدات الصغيرة ذات الشكل الواحد التكراري

- **التقنيات الجديدة في تصميم الوحدات المعمارية**

في ورشة عمل براين بيترز Brian Peters DesignLab Workshop يصمم بأفكار بسيطة منبثقة من النمذجة الرقمية والبرمجة البارامترية يجمع بين الأفكار المستوحاة من العلوم ذات التقنية العالية واللمسة الإنسانية. لبناء وحدات الفواصل الخزفية Building Bytes قام براين بتطوير هندسة بناء الوحدات عن طريق برمجة حائط ثم تقسيم هذا الحائط في برنامج Grasshopper إلى وحدات نمطية، يتم تحديث شكل الطوب الفردي تلقائيًا. وأثبتت الطباعة ثلاثية الأبعاد أنها تساعد في قياس النماذج وأبعاد الوحدات، ولكن ماذا عن مقياس البناء؟ مع الطباعة الكلية للحائط الطيني

شكل 18: أحد الوحدات أثناء الطباعة الثلاثية الأبعاد

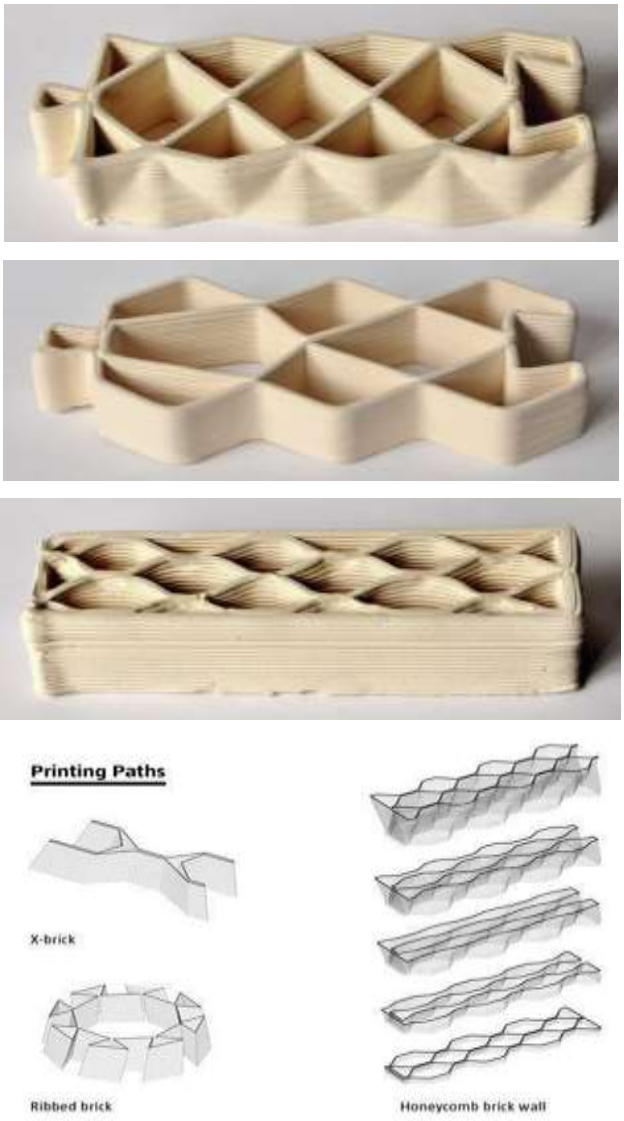
في وقت واحد باستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد وعن طريق التصنيع بالإضافة بدلا من الطرق التقليدية لإنتاج مثل هذه الوحدات كالصب والبثق وغيرها؛ لذلك صمم بيترز وطبع عده وحدات من الطوب: منها السداسي، والمتشابك، والمضلع، وتمر عملية التصنيع بمجموعة متراكمة من محاولات الإنتاج للطين اللدن وماكينة الطباعة. جرب بيترز العديد من المتغيرات، بما في ذلك لزوجة الطين، ارتفاع الطوب المراد طبعه، وبعد المسافات أو الانتقال بين الطبقات، مما يؤثر على ثبات الوحدة المطبوعة. وقد قام بتعديل خواص الطينات بحيث يكون لها أوقات تجفيف مختلفة، نسب انكماش، ولزوجة مختلفة تتنوع بتنوع التصميم وحجم القطعة المراد طباعتها. يقول بيترز: يجب أن تكون الطابعة قادرة على الطباعة بسلاسة وتجنب فقاعات الهواء وزيادة اللزوجة حتى لا تنهار الوحدات أثناء الطباعة.



شكل 19: أحد الوحدات بعد طباعتها

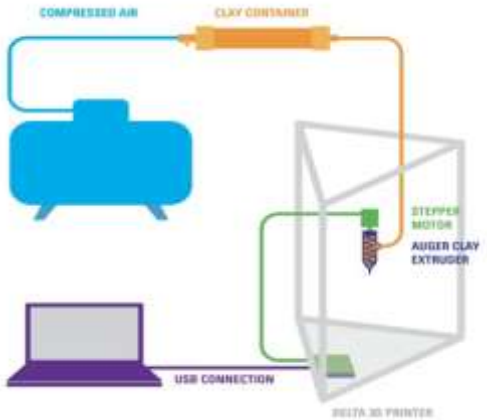
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وكذلك تمت طباعة نماذج صغيرة الحجم من أشكال الجدران الكاملة لاقتراح كيفية وضع الطوب. بينما يشتمل برنامجه بالفعل على بيانات مثل تكلفة المواد ووقت الطباعة ونظام وضع العلامات للإشارة إلى وضع الطوب في الجدارية.



شكل 20: عده وحدات من الطوب بعد الطباعة منها السداسي، والمتشابك، والمضلع

طريقة التنفيذ باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد:



شكل 21: رسم توضيحي لمكونات عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الطّباعة ثلاثيّة الأبعاد هي إحدى تقنيات التصنيع بالإضافة، حيث يتم تصنيع القطع عن طريق تقسيم التصميمات ثلاثية الأبعاد إلى طبقات صغيرة باستخدام برامج الحاسب ومن ثم يتم تصنيعها باستخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد عن طريق طباعة طبقة فوق الأخرى حتى يتكون الشكل النهائي. ويختلف هذا النظام عن نظامي القولبة والنّحت Milling اللذين يبددان أكثر من 90% من المادة المستخدمة في التصنيع وتتيح الطابعات ثلاثية الأبعاد للمطورين القدرة على طباعة أجزاء متداخلة معقدة التركيب ، كما يمكن صناعة أجزاء من مواد مختلفة وبمواصفات ميكانيكية وفيزيائية مختلفة ثم تركيبها مع بعضها البعض . تستخدم تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لبناء أجزاء المنتج أو النموذج الأول في شكل طبقات، حيث يرسم الجزء المطلوب بمساعدة برنامج أوتوكاد أو غيره من البرامج الخاصة بالنمذجة ثم يقسم التصميم إلى رسوم محوسبة (Algorithm Draw)بحيث يتحول كل شكل إلى بيانات رقمية ، يقوم جهاز الطباعة بعد ذلك بتنفيذها مجسمة من المادة المختارة بالتفاصيل الدقيقة لكل طبقة.ويتم بناء كل طبقة بضغط حبل متصل من الطين فوق سطح طبقة أخرى من الطين تم اعدادها كأساس.

شكل 22: الطباعة ثلاثية الابعاد لوحدة خزفية

مميزات الطباعة ثلاثية الأبعاد:

- سهولة تعديل التصميم .
- إمكانية الحصول على أجزاء كبيرة الحجم، الأجزاء البارزة، الأجزاء المتداخلة، الأجزاء المعشقة بزاوية أقل من 90 درجة
- نظام استرجاع متكامل للخامات، من خلال إعادة تدوير الخامات.
- لا تستخدم أدوات أو أجهزة كثيرة ولذلك نختصر الوقت والتكلفة .
- لا توجد حدود لمدي تعقيد التصميم، فمن الممكن تنفيذ الشكل مهما بلغت تفاصيله .
- أقل تكلفة، حيث إنه من الممكن أن يعتمد على شخص واحد في التصميم والتنفيذ، وأيضا إمكانية التنفيذ في أي مكان.
- دورة إنتاج قصيرة.
- الحصول علي منتج مطابق لكل المواصفات القياسية، وليس من الطرق التقليدية القديمة من عيوب للتشكيل والتصنيع، سواء بالتشكيل اليدوي، أو الزوائد التي تحدث جراء عملية الصب.

استخدام الوحدات المعمارية الخزفية في الواجهات المعمارية:

إن المصممين المعماريين في العالم يملكون العديد من الخيارات الآخذة في الاتساع والتنوع في معالجات الواجهات الجديدة والقديمة على حد سواء، وهناك مجموعة من العوامل تحكم الاختيار الأخير للمعماري حول طبيعة الخامة التي يستعين بها والتي تتمثل في :

1-آلية للتهوية ملائمة للمبني والمعروفة ب ventilated facade

3-مناسب لأنظمة التثبيت المستخدم ويسمح كذلك بتجديد الهواء

4-إمكانية تركيب خلايا شمسية لتوليد الطاقة.

5-كما يجب أن تكون مادة قوية متينة مضادة للحريق ومقاومة للصقيع والرطوبة ومتاحة بتكلفة مقبولة ومتوفرة بأحجام وأشكال وألوان وملامس متنوعة لا تقيد المعماري.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

6-سهولة التنظيف والصيانة ولها مدى زمني كبير.

7-تنوع طرق وتقنيات الحصول عليها.

8-تتوافق مع مفاهيم التصميم الإيكولوجي والخامات البيئية. *8

شكل 23: أحد الواجهات المعمارية الخزفية - ايطاليا

و هنا يتقدم البلاط الخزفي كحل مثالي لمعالجة الواجهات فهو مادة غنية تعكس تنوعا كبيرا ومرونة عالية للتوافق مع طرز معمارية وتقنية متعددة مما دفع معماريين أمثال Jorn Utzon, Enric Miralles and Antoni Gaudi لاستخدام البلاط بشكل واسع في أعمالهم والتي تجيب على: لماذا البلاط الخزفي تحديدا وليس أية مادة أخري, هنا نعود للتصميم المعماري وقرار التصميم الذي حدد وصنف وقيم درجة جودة الخزف كمادة للبناء وذلك على مدار قرون عديدة بداية من بوابة عشتار مرورا بطرز معمارية متنوعة وصولا إلى دار أ وبرا سيدني والخزف يلعب دورا بارزا في التكسية المعمارية بما تتميز به البلاطات الخزفية من ثراء في المعالجة واللون ومرونة في حل المشكلات التصميمية والوظيفية والتقنية ومن أهم أسباب نجاح البلاط الخزفي في معالجة واجهات العمارة في وقتها هو بالأثاث راجع إلى معرفة المعماريين الجيدة بالخامة ونقاط تميزها وإمكاناتها ليس فقط كمادة بناء أو تكسية معمارية ولكن كوسيط قوي في التعبير عن أفكارهم وإبداعاتهم وملاءمته للبيئة *9

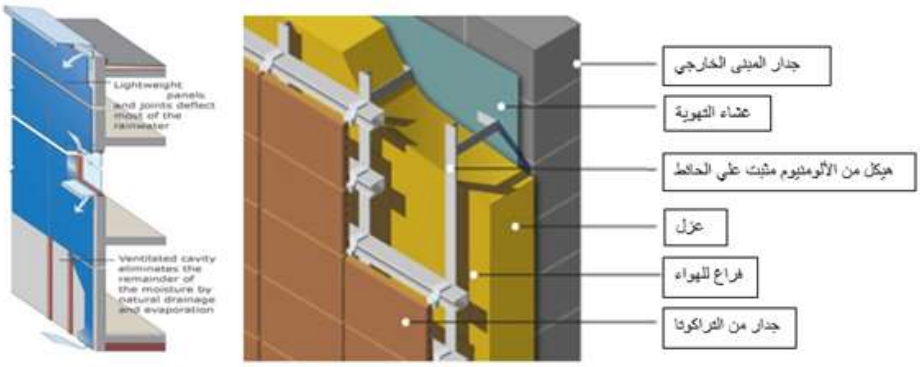
وفي السابق كان استخدام البلاطات الخزفية في التكسية المعمارية محدود مقارنة بمعدلات استخدامه الآن نظرا لتقنيات تثبيت البلاط على الحائط باستخدام مواد لاصقة غير كافية لضمان عدم سقوطه بعد فترة قصيرة بالإضافة إلى مشاكل مرتبطة بتراكم البكتريا على الأسطح بخاصة في الأماكن ذات الرطوبة العالية فيما يعد تحد كبير مما كاف دافعا لتطوير الخامات وتقنيات الإنتاج والتثبيت لبلاطات الخزف في الواجهات وفيما يلي نعرض لمحورين أساسين في مجال بلاطات الواجهات جعلت الخزف في مقدمة المواد المستخدمة في معالجة الواجهات المعمارية والتكسية المعمارية بشكل عام.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أنظمة التركيب والتثبيت :- Fitting and anchoring systems

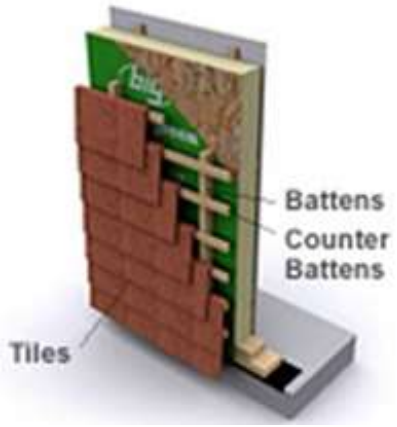
بشكل عام هناك ثلاثة أنظمة للتثبيت:

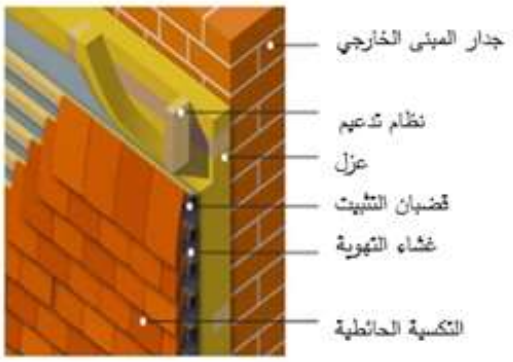
1-التثبيت المباشر على جدار المبنى: يتم باستخدام مادة سريعة اللصق أو الإسمنت بحيث لا تزيد أبعاد البلاطة عن30*30 وغالبا في الطابق الأول وقد تصل إلى ارتفاع 6 أمتار.



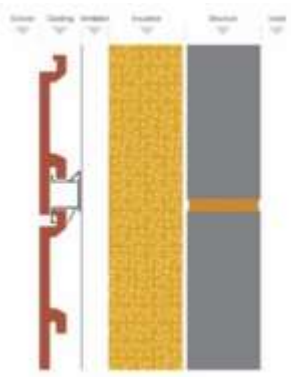
2-التثبيت الميكانيكي الغير مباشر:Mechanical anchoring

ويستخدم نظام ميكانيكي معقد لتثبيت البلاط على الجدران هناك طريقتان للتثبيت الميكانيكي :طريقة تثبيت مخفية وأخرى ظاهرة والظاهرة تعتمد على التثبيت من خلال أركان البلاطة الخزفية حيث يتم عمل ثقوب على الجوانب الرأسية للبلاطة التي يتم التثبيت من خلالها، وتكون دعامات التثبيت ظاهرة في الشكل الرأسي .أما التثبيت المخفي فيتم من خلال ممرات مصممة في بناء البلاطة مسبقا حيث يتم التثبيت من خلالها بواسطة كلبسات تربط ألواح الألومونيوم بالبلاطة من خلال الممرات بالبلاطة.





3-نظام التثبيت المزدوج:- Mixed anchoring



ويعتمد على مادة رابطة مثل الإسمنت بالإضافة إلى النظام الميكانيكي في التثبيت في البلاطات التي تبدأ من 40*60 سم فما فوق وبوزن يزيد علي 40 كجم/متر مربع *9 إن جميع منتجات بلاطات السيراميك تملك تنوعا كبيرا بين منتجات ذات حرقة واحدة أو ثنائية الحريق مزججة وغير مزججة ترا كوتا مصقولة وغير مصقولة كما الحال في البورسيلين

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

نتائج البحث:

- فتح آفاق جديدة وتصورات مختلفة لاستخدامات الخزف في المفردات المعمارية سواء الداخلية أو الخارجية
- تقلصت أهمية التوحيد القياسي وذلك لصالح التعدد والتنوع في التشكيل وتحرر الفكر، وفي حين كان الحل المعماري ضرورة حتمية من نتائج الثورة الصناعية ذات الاتجاه الداعي إلى التوحيد القياسي والإنتاج على نطاق واسع بحيث يؤدي ذلك لتحقيق سهولة وسرعة في الإنتاج لأسباب اقتصادية بحتة.

توصيات البحث:

- ضرورة تطوير البرامج الدراسية الأكاديمية بمؤسسات التعليم المعماري، سواء فيما يختص بمقررات التصميم-المعماري أم غيرها، لتتناسب وتلك المتغيرات التكنولوجية الحديثة التي أنتجتها الثورة الرقمية، من أجل تعريف الطلاب وتدريبهم على التقنيات الرقمية الحديثة وتطبيقاتها المختلفة والمتنوعة في كافة مجالات العمل المعماري.
- ضرورة اهتمام المراكز البحثية المعمارية المتخصصة سواء في الجامعات أو الهيئات البحثية ذات الصلة وغيرها-بدعم البحوث العلمية الجادة بهدف توظيف التكنولوجيا الرقمية الحديثة وتطبيقاتها وتطويرها في مجالات العمارة بما يتوافق مع ظروف المجتمع وامكاناته ومتطلباته.

المراجع:

المراجع العربية:

1. محمد حسن خليل أحمد "تأثير تكنولوجيا المعلومات على تطور الفكر المعماري" رسالة ماجستير – كلية الهندسة – جامعة الأزهر 2011

Khalil 7asan mo7ammed “ta2theer teknolojya elma3lomat 3la tatawor elfekr el m3mary” resalat majesteer- kollyat elhandasa-game3at elazhar 2011

2. وائل صلاح الدين خليل “تأثير الثورة الرقمية على مجال الوظيفة والتشكيل المعماري "-بحث غير منشور

كلية الهندسة – جامعة مصر للعلوم والتكنولوجيا

Khalil sala7 eldeen wa2el “ta2theer el thawra el rakamya 3la magal elwazifa w eltashkeel el m3mary “ba7th 3’eer manshour – kolyat elhandasa- game3at masr lel3eloom w el teknolojya

3. محمود، محمود فتحي،" الثورة الرقمية والتقنيات المستخدمة في العمارة -التصميم والتنفيذ"، المؤتمر المعماري الدولي السادس -كلية الهندسة - جامعة أسيوط - ٢٠٠٥ م.

Fat7y Ma7moud Ma7moud “althawra elrakamya w el teknyat almostakhdama fe al3emara – altasmeem w eltanfeez” almo2tamar alme3mary aldawly alsades – kolyet elhandasa – game3at assiout2005

4. أكرم جاسم محمد العكام - أحمد لؤي احمد البجاري " أثر التكنولوجيا الرقمية في التشكلات الإيكولوجية والبيولوجية في العمارة المحلية" مجلة الإمارات للبحوث الهندسية , 2010

El3akam mohammed gasem akram – el bagary ahmed lo2ay ahmed “athar elteknologya elrakamya fe altashakolat alekolojya w el biolojia fi al3emara alma7alia” magalat al emarat lel be7ooth alhandasyya 2010

5. وجدان ضياء عبد الجليل "توليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية " الجامعة التكنولوجية – بحث منشور بمجلة جامعة بابل 2018

Abdelgelil dia2 wegdan “tawleed el shakl w 3elakateho belhaikal fe al3emara alrakamya” algame3a alteknolojya – ba7th manshour bi megalat game3at babel 2018

6. كامل، أحمد -العمارة والتكنولوجيا، رسالة ماجستير كلية الهندسة جامعة الأزهر، القاهرة، 2012

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Ahmed kamel – al3emara w elteknolojya- resalat majestir kolyat alhandasa game3at alazhar-alkahira 2012

7. فرغلي، ياسر أحمد" الفكر المعماري في نهاية القرن العشرين"، رسالة ماجستير كلية الفنون الجميلة جامعة الإسكندرية، 2004

Far3'aly Yasser ahmed "alfekr el me3mary fi nehayat alkarn al3eshreen "resalat majestir kolyat alfenon al gamila – game3at aleskandarya 2004

8.محمد زكريا محمد علي " التحليل الرقمي للنظم الحيوية كمدخل لتصميم الأسقف المعدنية المرنة للمنشآت المستدامة"رسالة دكتوراة- كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان 2014

Ali mo7ammed zakarya mo7ammed "alta7leel alrakamy lel nozom al7yawia kamadkhal letasmeem alaskof alma3danya almarena lel monsha2at almostadama" resalat doktorah-kolyat alfenoon altatbekyah- game3at 7elwan 2014

9. سناء عيسي عبد الجواد "القيمة البيئية و التكنولوجية والاقتصادية لبلاطات الواجهات الخزفية" بحث منشور كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان -2012

Abdelgawad eissa Sanaa" alkima al be2ya w el teknolojia w elektesadya le balatat alwagehat alkhazafia "ba7th manshour-kolyat elfenoon altatbekya-game3at 7elwan 2012

10. محسن، محمود. زينهم، محمد. النحاس، حسام الدين فاروق. "أثر النمذجة البارامترية فى تصميم البلاطات الزجاجية للعمارة" مجلة العمارة و الفنون و العلوم الإنسانية العدد 19

Mohsen, Mahmoud. Zinhom, Mohamed. Elnahas, Hosam el din faroa. Magalet al Emara w al Fenoun w al Elom al Insania El adad 19

11. راشد، أحمد يحيى. محمد، أسامة يوسف. الصعيدى، إسلام "التصميم البارامترى كمدخل لإستلهام الطبيعة فى تصميم المنتجات" مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية العدد14

Rashed, Ahmed Yehia. Mohamed, Osama Youssef. Elseeidy, Eslam. "el tasmim el barametri kamadkhal lestelham el tabiaa fe tasmim el montagat" Magalet al Emara w al Fenoun w al Elom al Insania El adad 14

المراجع الأجنبية

8. Rizal Muslimin, Parametric Fabrication for Traditional Ceramics Massachusetts Institute of Technology, 2010

9. Jason O. Vollen, Kelly Winn, Jed Laver Emerging Building Technologies in Ceramics: Performance Masonry System, Usa, 2007

10. Foster, Norman. (2005). Reflections, Prestel Publishers, London

11. Agnoletto, M. (2006). Masterpieces of Modern Architecture, VMB Publishers, Vercelli

12. Isenberg, Barbara. (2009). Conversations with Frank Gehry, Knopf; First Edition, New York

مصادر الصور والأشكال:

13. https://amazing-architectural-design-pictures-for-skyscrapers-tall-commercial-buildings

14. http://www.bezalel.ac.il/en/galleries/artwork/?id=13864&exhibition=1753&refereru=%2Fen%2Fgalleries%2Fportfolios%2F%3Fp%3D18%26id%3D2314

15. https://www.architectmagazine.com/awards/r-d-awards/award-building-bytes_o

16. https://www.pinterest.com/pin/484277766158090882/visual-search/

17. https://www.3dprintingmedia.network/architchen-taiwan-ceramic-3d-parametric-design/

18. https://www.architecturaldigest.com/gallery/best-of-frank-gehry-slideshow

19. https://www.floornature.com/foster-partners-zayed-national-museum-5661/

20. https://www.designboom.com/architecture/the-three-graces-by-nox-lars-spuybroek/

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com