دار المنظومة
DAR ALMANDUMAH
الرواد في قواعد المعلومات العربية

العنوان:	إمكانات التصميم الحسابي في الارتقاء بالعمارة العربية المحلية
المصدر:	مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية
الناشر:	الجمعية العربية للحضارة والفنون الإسلامية
المؤلف الرئيسي:	أحمد، أحمد فتحي
مؤلفين آخرين:	صالح، أحمد محمد، علي، محمد حجازي
المجلد/العدد:	ع1
محكمة:	نعم
التاريخ الميلادي:	2016
الشهر:	يناير
الصفحات:	46 - 59
رقم MD:	925404
نوع المحتوى:	بحوث ومقالات
اللغة:	Arabic
قواعد المعلومات:	HumanIndex
مواضيع:	الهوية المعمارية
رابط:	http://search.mandumah.com/Record/925404

© 2021 دار المنظومة. جميع الحقوق محفوظة.
هذه المادة متاحة بناء على الإتفاق الموقع مع أصحاب حقوق النشر، علما أن جميع حقوق النشر محفوظة. يمكنك تحميل أو طباعة هذه المادة للاستخدام الشخصي فقط، ويمنع النسخ أو التحويل أو النشر عبر أي وسيلة (مثل مواقع الانترنت أو البريد الالكتروني) دون تصريح خطي من أصحاب حقوق النشر أو دار المنظومة.

إمكانات التصميم الحسابي في الارتقاء بالعمارة العربية المحلية

أ.م .د .أحمد فتحي أحمد
الأستاذ المساعد بقسم العمارة والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة قناة السويس
د .أحمد محمد صالح
المدرس بقسم العمارة والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة قناة السويس
م .محمد حجازي علي
المعيد بقسم العمارة والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة قناة السويس

الملخص:
إن التصميم الحسابي يعد أحد المراحل التي أسهمت في التطور الكبير لدور الحاسب الآلي في عملية التصميم المعماري، فنجد أن العديد من المصطلحات المعمارية الجديدة مثل التصميم التوليدي، التصميم الحيوي المخلق، التصميم البارامتري أو الخوارزمي، كلها مرادفات ومجالات فرعية تقع تحت المظلة الواسعة للتصميم الحسابي، الذي بدوره يسعي إلي استغلال إمكانات الذكاء الاصطناعي ورقمنة الرياضيات المتقدمة في الوصول الي تشكيلات معمارية شديدة التعقيد والعضوية، وعلى نفس المنوال، فإن التصنيع الرقمي المعزَز بالحاسب الآلي يلعب دورا أساسيا في تحويل هذه التشكيلات الخيالية إلي مبان علي أرض الواقع، بدقة متناهية وتوقيتات قياسية .كذلك، فإن التصميم الحسابي يزخر بتطبيقات واعدة في المحاكاة البيئية والتوثيق ثلاثي الأبعاد للمباني القائمة.
ورغم هذه الإمكانات الواسعة، إلا أن أدوات ومفاهيم التصميم الحسابي قد دخلت عالمنا العربي ليس كوسائل مساعدة للإبداع المحلي، ولكن كتكرار ضحل للتطبيق الغربي لتلك التقنيات، معمقة بذلك أزمتي فقدان الهوية والاستدامة المحلية .فكما يُري في المدن العربية الرائدة معماريا كأبوظبي، دبي، والدوحة، تبدو الهوية المعمارية المحلية مهمشة وغير مستغلة رغم غناها الشديد بالقيم الثقافية والفنية، وكذلك التشكيلات الهندسية المتقدمة ومنهجيات البناء المستدامة، لتؤدي بنهاية الأمر إلي مدن بلا هوية، مشبعة بمبان غير مستدامة وفراغات لا تناسب بيئتها.
إن هذا البحث يسعي إلي استكشاف وعرض تطبيقات التصميم الحسابي في الحفاظ على التراث المعماري في العالم العربي .فيقوم أولا– عبر الاستقراء التاريخي–بعرض دور الرياضيات–والتي تعد أساس التصميم الحسابي–في العمارة الإسلامية، مناقشاً إسهامات علماء الرياضيات المسلمين في الارتقاء بمباني المسلمين تصميما وانشاء .ثانياً: يتم دراسة الزخارف الإسلامية من حيث الأنواع والخصائص، وكذلك الطبيعة الرياضية لتلك التشكيلات الفريدة وأخيرا، يتم استعراض ودراسة عدد من تطبيقات التصميم الحسابي في العمارة المحلية في أكثر من مجال، كعملية التشكيل المعماري، توثيق المباني التراثية، الإنشاء، والمحاكاة البيئية في مرحلة التصميم.

الكلمات المفتاحية :التصميم الحسابي، الزخارف الإسلامية، العمارة المحلية، الهوية المعمارية، الاستدامة.
DOI:10.12816/0036514

Computational Design Potentials Promoting Regional Arab Architecture

A. Prof. Dr. Ahmad Fathi Ahmad
Assistant Professor at Architecture and Urban Planning Department, Faculty of Engineering, Suez Canal University.

Dr. Ahmad Muhammad Saleh
Lecturer at Architecture and Urban Planning Department, Faculty of Engineering, Suez Canal University.

Muhammad Hegazy Ali
Teaching Assistant at Architecture and Urban Planning Department, Faculty of Engineering, Suez Canal University.

Abstract
Computational design was the phase that revolutionized the role of computer in the architectural design process. Generative, Bio morphogenetic, Parametric, and algorithmic design are all synonyms and sub-Disciplines for computational design, aiming to use "Artificial Intelligence" and advanced mathematics to generate and control far futuristic, complex organic forms. Besides, Digital fabrication techniques made it possible to build these forms at astonishing accuracy and time management. Furthermore, computational design has a number of concrete applications in environmental simulations, as well as building modeling and documentation. Unfortunately, these computational design methods were imported to the Arab world not as tools but as copies of the western application to this technology, aggravating the identity crisis and local sustainability, as seen in Dubai, Doha, Abu Dhabi and others. Regional Architecture identity was neglected although it is richness with ritual, religious, sustainable and geometric values, leading to cities with no Identities, non-sustainable buildings and non-efficient spaces. This paper explores the applications of computational design tools for preserving the architectural heritage within the Arab world. Firstly, a historical approach to the role of mathematics in Islamic architecture will be reviewed, discussing how mathematics played a major role in the sophistication of Muslim buildings. Secondly, the unique Islamic patterns will be studied, according to types, features, and computational nature. Finally, a set of case studies will be reviewed for computational design tools used to promote the local identity of contemporary regional architecture in the Arab world. The cases will show various applications in different aspects including form finding, historical buildings restoration, construction, and environmental simulation.

Keywords: computational design, Islamic patterns, regional Architecture, architectural identity, sustainability .

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في كونه محاولة مؤثرة لحفظ التراث المعماري المحلي في العالم العربي مع مسايرة روح العصر. كما يوضح المنفعة الكبيرة للمعماريين والمصممين العرب باستخدام تلك التقنيات الأحدث في مجال التصميم الرقمي ، وذلك بفهم الأسس للعمارة الإسلامية بالشكل الذي يدعم تطبيق أدوات التصميم الحسابي. وأخيرا، فإن الدراسة سوف توفر عدداً من الأمثلة العملية للتطبيق في مختلف نواحي مجال العمارة شاملة التصميم، الترميم والتوثيق وكذلك الإنشاء.

أهداف البحث:

يمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط الآتية:

- استعراض دور علماء الرياضيات المسلمين في نهضة علوم البناء في العصور الإسلامية الذهبية.
- دراسة الطبيعة الحسابية للعمارة الإسلامية، وخاصة الزخارف الهندسية الإسلامية.
- جمع عدد من الأدلة التاريخية والعلمية لإثبات الاستخدام المتقدم للرياضيات في العمارة الإسلامية.
- التوصل إلي عدد من التطبيقات المعاصرة لاستخدام التصميم الحسابي في توثيق المباني التراثية وإعادة تصميم العناصر المعمارية الإسلامية.

منهجية البحث:

يعتمد البحث المنهج الكيفي(qualitative) في جمع المعلومات، ويتم تطبيقها عبر ثلاثة محاور:

- المحور التاريخي: ويهدف إلي استعراض الدراسات السابقة بخصوص دور علماء الرياضيات المسلمين في نهضة علوم البناء في العصور الإسلامية الذهبية.
- المحور الوصفي: ويهدف إلي تحليل الخصائص الحسابية للعمارة الإسلامية، خصوصا الزخارف الهندسية. ويتم ذلك عن طريق دراسة الأبحاث السابقة المتعلقة بالموضوع مع تحليل الأدلة التاريخية والعلمية.
- محور دراسات الحالة: ويقوم على استعراض وتحليل عدد من الأمثلة لتطبيق التصميم الحسابي في دعم الهوية المعمارية المحلية ، ويتم ذلك عن طريق تحليل بعض دراسات الباحثين إلي جانب تجارب عملية يقوم بها الباحث علي تلك الأدوات.

المقدمة:

إن التصميم الحسابي (Computational Design) هو مصطلح يختلف عن التصميم المساعد بواسطة الحاسب (CAD), ورغم ذلك كثيرا ما يتم الخلط بين المصطلحين. بشكل عام، إذ إن المصطلح الثاني يتعلق أكثر باستخدام الحاسب كأداة رسم رقمية، لأتمامه بعض الإجراءات الروتينية في عملية التصميم، ورقمنة التصميمات. بوصف أبسط ، حيث إن الحاسب في هذه الحالة لا يتدخل في عملية التفكير اثناء التصميم. علىالنقيض، فان التصميم الحسابي يتعلق باستخدام إمكانات الخوارزميات –عن طريق البرمجة والتكويد - في استعراض بدائل لا متناهية من التشكيلات الهندسية، كذلك وحل المشكلات الهندسية شديدة التعقيد،وتبسيطها للمصمم.

كذلك تطبيقات التصميم الحسابي تغطي عدداً كبيراً من المجالات، كالتصميم الصناعي، المحاكاة، والتحريك. ولكن يظل مجال العمارة أحد اهم المجالات استفادة من التصميم الحسابي، بحيث غيرت هذه التقنية سبل المصمم في الوصول إلي التشكيلات وتصنيعها. في تلك الحالة ، حيث إن أدوات التصميم الحسابي يمكن استخدامها في جميع مراحل المبني، لتشمل التصميم (قواعد التشكيل (shape grammars)، النمذجة المعلوماتية للمبني (Building information modelling)، الإنشاء (التصنيع الرقمي، محاكاة مراحل الإنشاء)، وأخيراً إدارة المبني (التحكم الذكي بالمبني، المرافق المتجاوبة بيئيا بشكل آلي).

ومنافع استخدام هذه التقنية لا تكمن فقط في توفير وقت الإنشاء، وإنما أيضا توفر للمصمم اختيارات لانهائية للتصميم وتزيل جميع القيود الفنية التي تعيق إبداعه عبر التقنيات التقليدية. أيضا، تساعد علي دمج جميع مراحل التصميم في نموذج موحد ذكي، يسهل تحليل اجزاؤه وتصنيعها بدقة شديدة بأقل تدخل بشري ممكن.

ورغم ذلك ، فإنه لا يخفي على أحد أن دخول هذه التقنيات الي العالم العربي لم يخدم التراث المعماري المحلي. إذ إن معظم المشروعات التي تبنت هذه الأدوات قد تم تصميمها من قبل مصممين أجانب، سعوا نحو نسخ النموذج

الغربي من هذه التطبيقات في صورة مبانٍ زجاجية شاهقة دون الالتفات للتراث المعماري الإسلامي شديد الغني، لا شكلا ولا سلوكا ، وعلى النقيض، فإنه من المثير للاهتمام الإمكانات الحسابية والرياضية المذهلة للعمارة الإسلامية، وخصوصا الزخارف الهندسية، وكيف أن لها طبيعة رياضية فريدة، تجعلها تطبيقاً ممتازاً لتقنيات التصميم الحسابي. تلك التقنية التي يمكن استخدامها في إنتاج تشكيلات جديدة مستمدة من الثقافة المعمارية المحلية، أو حتى الحفاظ على المباني التاريخية القائمة وتوثيقها عبر المسح ثلاثي الابعاد والتوثيق المعلوماتي البنائي.

دورعلماء الرياضيات المسلمين في الفن والعمارة:

بينما كان علماء السلاجقة والمغول هم الأفضل في مجالات البناء والفنون (في أوائل القرن العاشر)، إلا أن الدراسات تشير إلى أن الوصول إلي قمة الإبداع في الرياضات الحسابية كانت في العصر التيموري، خلال القرن الرابع عشر (Mashayekh, 2003). وكمثال لهذا التقدم الرياضي المذهل في الإنشاء، نجد وزن القبة القشرية المزدوجة في قبر (Uljayto)في مدينة السلطانية في وسط إيران (شكل 1)، نجدها بارتفاع 45 مترا وقطر 24.5مترا، محمولة علي عدد قليل من الأعمدة دون أية أكتاف او دعامات رغم ضخامتها،مما يحتم حساب الأوزان الإنشائية قبل الشروع في عملية البناء، الأمر الذي يؤكد استخدامات رياضيات متقدمة في الإنشاء (شكل2). (Hejazi, 1997)

شكل 1: مقبرة UljaytuSultaniya
(http://archnet.org/sites/1671)

شكل 2: النظام الانشائي للقبة
(https://www.studyblue.com/notes/note/n/midterm/deck/5880919)

وبفضل أعمال أبو الوفا البوزجاني في الهندسة والرياضيات العملية، فإن القرن الرابع كان نقطة انطلاق للعلاقة الوثيقة بين الرياضيين والمعماريين. خلال هذه الفترة، عظمت أهمية دار الحكمة في بغداد في التنسيق ما بين العلوم النظرية والأعمال التطبيقية، مما أثر بقوة على أعمال العمارة. ففي أثناء فترة حكم السلاجقة (القرن السادس)، بدأ الاهتمام كبيرا بدراسة العلوم التطبيقية. فزاد وجود الاستشاريين المحنكين حول الملوك، أمثال الخواجة نظام الملك الطوسي، مما أسهم في تقدم ألوان الفنون والعمارة انطلاقا من العلوم الرياضية.(Ebrahimi & Aliabadi, 2015)

واستكمل علماء آخرون أمثال الكاشي دراسة التطبيقات النظرية للرياضيات في العمارة، كنوع من الحلول العملية من خلال عدة مؤلفات حول تطبيقات علم الهندسة في المباني. خلال العصر الصفوي، كان قد تم الوصول إلي قمة التعقيد الزخرفي في تزيين المباني التذكارية، فنري استخدام النسب الهندسية لمثلث الخيام في قبة نظام الملك في مسجد أصفهان الكبير، وذلك لزخرفة النصب. وفي الأحقاب التي تلت الصفويين وخاصة عصرالقاجار، تراجع دور الرياضيات في العمارة نتيجة دخول المنهجيات الغربية، التي ركزت على الأمور الفلسفية والنظرية بشكل أكبر.(Ebrahimi & Aliabadi, 2015)

يوضح الجدول التالي الدور الواضح لإسهامات الرياضيين المسلمين في النهضة بحرفة البناء ما بين القرنين الرابع والثاني عشر.

جدول 1: إسهامات علماء الرياضيات المسلمين في النهوض بالعمارة الإسلامية

اسم العالم	المساهمات
القرنان الرابع والخامس	
البوزجاني	الإثبات الهندسي لنظرية فيثاغورس. تجميع عدد من الدراسات توضح تصميم الزخارف الهندسية بطريقة تربيعات الكيره (Girih tiles). شرح الثلاث أدوات الأساسية للرسم الهندسي: المسطرة، المنقلة، والقوس. طرق تقسيم الكرة زخارف مسجد أصفهان
الطبري	قدم معلومات مفيدة عن المصطلحات ووحدات القياس التي تخص المباني والرفع المساحي.
القرن التاسع	
الكاشي	التعرض لتطبيقات علم الهندسة في مجال العمارة. حساب مساحة المضلعات المنتظمة استنادا إلي معامل مربع. شرح إنشاء المقرنصات، وكيفية معالجة الجوانب العملية لها. تجميع عدد من المعارف في تطبيقات علم الهندسة في العمارة. تصميم وإنشاء وإدارة المرصد الفلكي بسمرقند. كيفية بناء مزولة على الحوائط التي لا تقع ضمن الاتجاهات الأصلية الأربعة. تصميم طريقة هندسية لتحديد وقت صلاة العشاء
القرن الحادي عشر	
الشيخ البهائي	تصميم أدوات هندسية لمساعدة المعماري علي التصميم. دراسة الارتفاع المناسبة للافتات على الطرقات. تصميم وبناء السدود والجسور. تسخير علوم الهندسة في بناء البيوت والحصون.
القرن الثاني عشر	
عمر الخيام	استخدام خصائص الأعداد الصماء (irrational numbers) في تصميم القباب. استخدام مثلث باسكال في المصفوفات الزخرفية .

المصدر:(Ebrahimi&Aliabadi, 2015, p. 226) بتصرف من الباحث

مسجد ديفريجي-اولو (DivrigiUlu)

يعد مسجد ديفرجي-اولو في تركيا أحد الأمثلة القوية في إيضاح التقدم المذهل الذي بلغه المصممون المسلمون عبر استخدام الرياضيات وعلوم الفلك في البناء. تم بناؤه عام 1228 علي يد الأمير احمد شاه، ويعرف المعماري الرئيسي لهذا العمل بخورام شاه مغيث الخيلاتي, الذي ينحدر من مدينة احلات وكان معروفا في مصادر العصور الوسطي ب"الخيلات"(Pancaroğlu, 2009). يعرف المسجد بزخارفه المذهلة بتصميمهاالنباتي، كذلك والتقنيات المتقدمة المستخدمة في الأقبية، والنوعية الفريدة من المنحوتات المقرنصيةعلى الأبواب الرئيسة الثلاثة. (UNESCO World Heritage, 2012). كما تم اعتباره أحد مواقع التراث العالمي لما فيه من قيمة فنية وتاريخية.

تظهر الدراسات الحديثة أن التشكيلات المنحوتة في المدخل الرئيسي تولد ظلالا ذات أشكالٍ بشرية خلال فترات النهار، كظلال لرجل قائم يصلي ويقرأ القرآن (شكل 3)، وكذلك ظلاً لامرأة تصلي في عباءة (شكل 4). هذه التشكيلات لم تولد نتيجة الصدفة، وتري الدراسات استحالة الوصول إلي هذه الظاهرة دون الاستخدام المتقدم

للرياضيات، علوم الفلك، والفنون جميعها في سياق واحد بمهارة شديدة. كما تثبت الأدلة التاريخية بأن القائمين على بناء المسجد سجلوا مراقبتهم للشمس وحركات النجوم على مدار عامين قبل الشروع في الانشاء، حيث تم حساب بروزات التشكيلات بدقة شديدة للوصول إلي هذه التكوينات الظلية. (Al-Hassani, 2007)

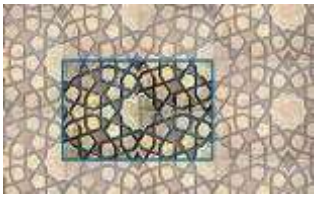
شكل 3: ظل رجل قائم يصلي على المدخل الرئيسي (http://blog.radikal.com.tr/kent-kulturu/divrigi-ulu-camii-ve-darussifasi-1985-yilinda-unesco-dunya-miras-listesine-alinmistir-27792)

شكل 4: ظل امرأة تصلي علي أحد مداخل المسجد (http://www.milliyet.com.tr/gundem/divrigi-ulu-camii-de--namaz-kilan-insan--silueti-1911273/son-dakika-gundem/SonDakikaGaleri/13.07.2014/1911273/default.htm?PAGE=1)

الخصائص الحسابية للزخارف الهندسية الإسلامية:

تمتاز الزخارف الهندسية في العمارة الإسلامية بعدة خصائص ذات أساس رياضي، مما يترتب عليه سهولة تحويلها إلي نموذج للتصميم الحسابي. تلك الخصائص هي:

أ. النمط التكراري(Tessellation): تنشأ الزخارف الهندسية الإسلامية من مجموعة من المضلعات (مثلثات، متساويات أضلاع، مربعات، أو سداسيات)، وتقع ضمن مصفوفة رياضية تعرف بالنمط التكراري المنتظم (regular tessellation)، حيث تعتمد على عنصر متكرر واحد مهما زاد تعقيد المصفوفة (شكل 5 و6). (Islamic Art and Geometric Design, 2004)



شكل 5: الوحدة التكرارية في الزخارف الإسلامية (http://www.catnaps.org/islamic/geometry.html)

شكل 6: الاشكال المتداخلة توضح خصائص التكرارية (http://www.catnaps.org/islamic/geometry.html)

ب. اللانهائية (illusion of infinity): تعتمد الزخارف الهندسية على مفهوم النمط المتكرر في جميع الاتجاهات وبلا أطر تحدها. هذا يعني أن الأطر التي تحيط بالنمط لا تقطع التشكيل، حيث إنه يمكنه الاستمرار في التكرار حتى فيما بعد الإطار في جميع الاتجاهات(شكل7و8). (Islamic Art and Geometric Design, 2004)

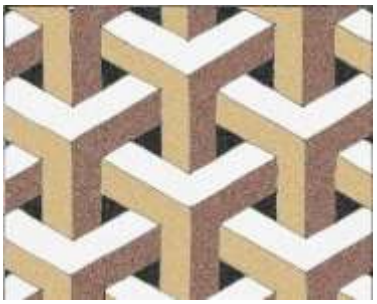
شكل 7: زخارف إسلامية في إطار من العقود (http://dickschmitt.com/travels/spain/granada_province/granada/Alhambra.htm

شكل 8: تشكيلات نجمية تملأ شكل مثلث (http://teardropsonroses.blogspot.com/2014/05/geometric-wood-panels.html)

ج. التماثل (Symmetry): وينشأ في الزخارف الإسلامية عبر تكرار وحدة معينة على محور أو عدة محاور، لتنتج تأثيرا كتأثير المرآة،وغالبا ما تكون الأشكال المتماثلة عبارة عن دوائر أو مضلعات. وعلى الرغم من إمكانية توسع التشكيلات فإن عملية التماثل تضيف نوعا من التناغم والاستمرارية بين جميع أجزاء الزخرفة.(Primary Characteristics of Islamic Geometric Decoration, 2013)

د. ثنائية الأبعاد (Two-Dimensionality): الزخارف الإسلامية ثنائية الابعاد في معظم الأحوال، ليس فقط لأنها تطبق على أوجه مسطحة، بل لان الزخارف نفسها قلما يوجد لها ظلال او بروز. الا انه أحيانا قد يقوم المصمم بعمل تراكيب هندسية تعطي الإحساس بالعمق والاستمتاع البصري .
(شكل9 و10).(Primary Characteristics of Islamic Geometric Decoration, 2013)

شكل9: تشكيلات ملونة تعطي إحساساً بالبعد الثالث (https://www.etsy.com/)



شكل 10: مجموعة من المعينات متراكبة في اشكال تكعيبية (http://2hpencil.com/category/pattern/)

ه. الأنماط المركبة (Shape combinations): في بعض الأحيان تتراكب عدة أنواع من الزخارف مع بعضها البعض، كالزخارف الهندسية والنباتية،وأحيانا مع الخط العربي. ويكمن هذا التراكب في عمل خلفيات متضادة مع الزخرفة الأساسية أو اختلاف طفيف بين درجات الألوان لكل نوع. (Khan, Zaffar, & Ansari, 2011, p. 64)

تربيعات الكيره (Girih tiles)

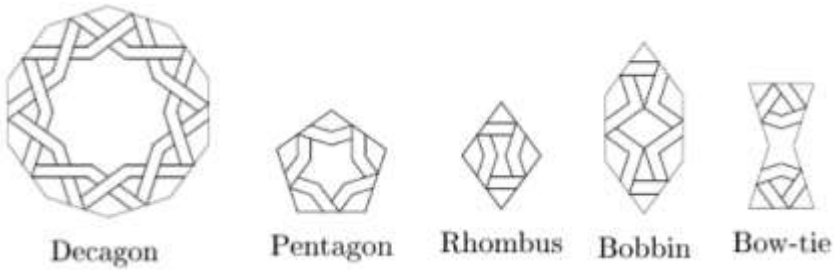
تربيعات الكيرة هي إحدى الطرق الهندسية المتقدمة في تكوين الزخارف، والتي أثبتت الدراسات الحديثة استخدامها في الزخارف الإسلامية المعقدة للوصول الي الدقة المذهلة المعهودة لها. تقوم الكيره على خمسة أشكال هندسية بدائية

لها نفس طول الأضلع،ويتم تكوين مالا نهاية من الأشكال الهندسية عبر تجميعها سويا على زوايا مختلفة. تمتاز تربيعات الكيره بالخصائص الفريدة لأنماط التبلور الرباعي (quasicrytalline tiling)، التي لم تعرف حتى القرن العشرين عن طريق العالم (Roger Penrose)، مما يجعل تلك التقنيات الإسلامية الأصيلة تسبق عصرها بعدة قرون، مبرهنة على التقدم المذهل للرياضيات الهندسية في العصر الإسلامي الذهبي. مصطلح كيره مستمد من كلمة "كره" الفارسية والتي تعني "العقدة"، وقد تم ثبوت استخدام تلك التقنية منذ العام 1200، كما وجدت آثارها في مسجد درب الامام في أصفهان، إيران،المبني عام 1453. (Prange, 2009)

تقوم مضلعات الكيره الخمس على زوايا 36 درجة ومضاعفاتها. وجميعهم، ما عدا الخماسي، لهم خاصية التماثل على محورين متعامدين. كما أن الشكل العشاري (decagon) يظهر خصائص التناظر الدوراني عشاري الأضعاف (tenfold rotational symmetry)أي بزاوية 36 درجة، وللخماسي تناظر دوراني خماسي الأضعاف (fivefold rotational symmetry) أي بزاوية 72 درجة، وهي جميعا خصائص رياضية متقدمة.

والأشكال الخمس الأساسية (شكل11) هي (Nicanor, 2009):

- عشاري أضلاع منتظمة مع عشرة زوايا داخلية كل منها 144 درجة.
- سداسي أضلاع ممدود (محدب غيرنظامي) مع الزوايا الداخلية 72 درجة ، 144 درجة ، 144 درجة، 72 درجة، 144 درجة، 144 درجة.
- القوس المتعادل (مسدس غيرمحدب) مع الزوايا الداخلية من 72 درجة ، 72 درجة ، 216 درجة، 72 درجة، 72 درجة، 216 درجة.
- المعين مع الزوايا الداخلية 72 درجة ، 108 درجة، 72 درجة و108 درجة.
- خماسي الأضلاع منتظم مع خمسة زوايا داخلية من 108 درجة.



شكل 11: الخمس مضلعات الرئيسة لوحدات الكيره
(http://psdg.pbworks.com/w/page/19548743/Geometry%20in%20Islamic%20Architecture)

كيفية تطبيق التصميم والتوثيق الحسابي علي المباني الأثرية والتراثية في الوطن العربي:

أظهرت الأجزاء السابقة من البحث الدور الرئيس للرياضيات في تطوير العمارة الإسلامية، وخصوصا الدقة المذهلة للزخارف الإسلامية. حيث ان تلك الطبيعة الحسابية للتشكيلات الإسلامية يمكنها ضمان تطبيقات واعدة في مجال التصميم الحسابي، لتكرار مفردات العمارة الإسلامية بشكل معاصر.

في الجزء التالي سيتم استعراض ودراسة عدد من دراسات الحالة لاستخدام التصميم الحسابي في دعم العمارة الإسلامية، في مجالات التصميم والزخرفة،توثيق المباني التاريخية، التصنيع والإنشاء.

أ. التوثيق الحسابي للمباني التاريخية (حالة دراسية لبيت "فرسي" بمدينة جدة):

يقوم هذا المثال علي الأعمال البحثية ل (Baik, boehm, & Robson, 2013). ويهدف ذلك المشروع البحثي لاستخدام التوثيق الحسابي كمدخل لإنشاء نموذج معلوماتي ثلاثي الأبعاد للمباني التاريخية بمدينة جدة. في هذه الحالة، تم الاعتماد على تقنيات المسح بالليزر (terrestrial laser scanning) والقياس التصويري المعماري (architectural photogrammetry). وقد تم اختيار بيت فرسي (أحد البيوت التاريخية بجدة) كمثال لاختبار تلك التقنية المعقدة ، ولعل من المنافع الكبيرة للمشروع إمكانية توليد جميع مساقط المبني بشكل تلقائي من النموذج ثلاثي الأبعاد المنتج من عملية المسح.

ويمكن ترتيب المراحل العملية لتطبيق أدوات التوثيق الحسابي على المبني كالآتي:

أولا: المسح عن طريق التصوير: يبدأ المشروع بمجموعة من الصور الفوتوغرافية لاستكشاف المبني وإدراك ابعاده وخصائصه.

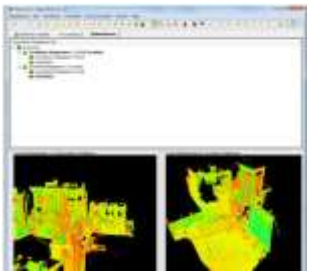
ثانيا: المسح ثلاثي الأبعاد للمبني بالليزر: تم اختيار أفضل المواقع لتموضع أجهزة المسح، مع اختيار أهداف المسح من خلال تحديد ثلاثة نقاط مشتركة بين أماكن تموضع الأجهزة الثلاثة للمسح، لتكوين صورة موحدة متناغمة دقيقة (شكل 12).

ثالثا: تنقية البيانات المستخرجة وتسجيل النقاط السحابية للمسح (Point cloud registration): تم استخدام برنامج(cyclone)لإزالة نقاط الاضطراب بالنموذج المنتج وذلك بعد دمج صور المسح المتداخلة (شكل 13و14).

رابعا: النمذجة باستخدام برنامج (Revit):بعد استخراج وتسجيل النقاط السحابية من ماسح الليزر، تم استخدام برنامج (Revit)لتحويل الكتلة السحابية الي عناصر معمارية فعلية كحوائط وأبواب وغيرها (شكل 15).

خامسا: التصدير لبرنامج (360BIM Glue): تم ربط النموذج المستخرج من الخطوة السابقة مع البرنامج المذكور لاستكشاف نقاط التصادم، وكذلك تنظيم النموذج والتأكد من فاعليته ودقته.

شكل12: استخدام ماسحات الليزر لمسح واجهات المبني الخارجية
(Baik, boehm, & Robson, 2013)



شكل13: استخدام الخوارزميات لتنقية البيانات الواردة
(Baik, boehm, & Robson, 2013)

شكل14: النقاط السحابية المنتجة من الماسحات
(Baik,boehm, & Robson, 2013)

ب. التوثيق الحسابي للمقرنصات الإسلامية (حالة دراسية لمقرنصات مسجد "الجمعة" بمدينة أصفهان):

ان المقرنصات تحمل في طياتها قدرا كبيرا من الابداع الهندسي والزخرفي، خاصة تلك الموجودة في المساجد التراثية الفارسية. ولعله من الملاحظ أن كثيرا من المقرنصات في طور الترميم تفقد جزءا من سمات أصالتها

التصميمية الفريدة، نظرا لغياب التوثيق الهندسي الدقيق للعنصر المرمم. وعلى ذلك، تظهر جليا أهمية حفظ نسخ رقمية عالية الدقة من المقرنصات الأثرية خاصة قبل الترميم (شكل 16).

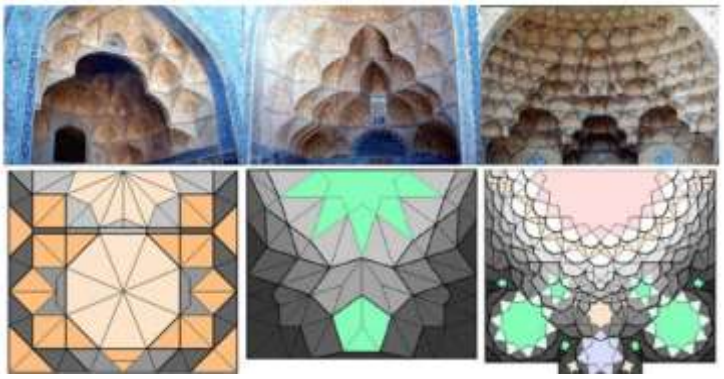
إن أدوات التصميم الحسابي تفتح مجالات واسعة أمام توثيق الأسس التصميمية للمقرنصات ، والتي تعني تحليل المحددات الرياضية التي تتحكم في الشكل النهائي للمقرنص، وهي بذلك لا تتيح فقط الحفاظ على المقرنصات الأثرية، بل تتعدي ذلك لتصل إلي إبداع نوعية جديدة من المقرنصات مبنية على نفس أسس التشكيل الأصلية.

المثال المستعرض يقوم علي الأعمال البحثية ل((Hamekasi, Samavati, & Nasri, 2011)) حيث تم تحليل أحد مقرنصات مسجد الجمعة بأصفهان، وإعادة إنتاجه رقميا باستخدام أداة برمجية صممت خصيصا لذلك الغرض، وتتلخص خطوات العمل في الأتي:

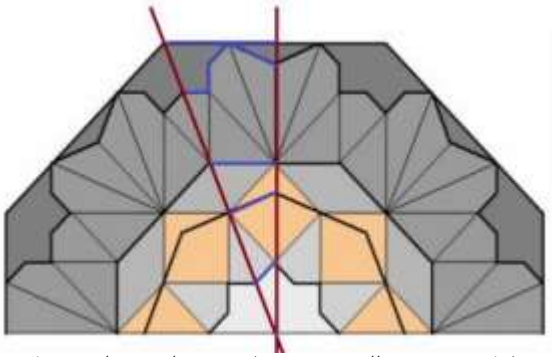
- تحويل المقرنص إلي عدة مستويات أفقية خطية(رقميا)، وتجميعهم معا في إسقاط موحد ثنائي الأبعاد. (شكل 17)
- يتم تحليل الإسقاط الموحد لاستنتاج الوحدة التكرارية، وفصلها لتصديرها إلي أداة التصميم الحسابي.

-يقوم برنامج التصميم الحسابي بتحليل الوحدة التكرارية وتقسيم خطوطها إلي مستويات مختلفة الارتفاع، كما يتم تحديد شكل المسار الذي سيربط رأسيا بين هذه المستويات. (شكل 18)

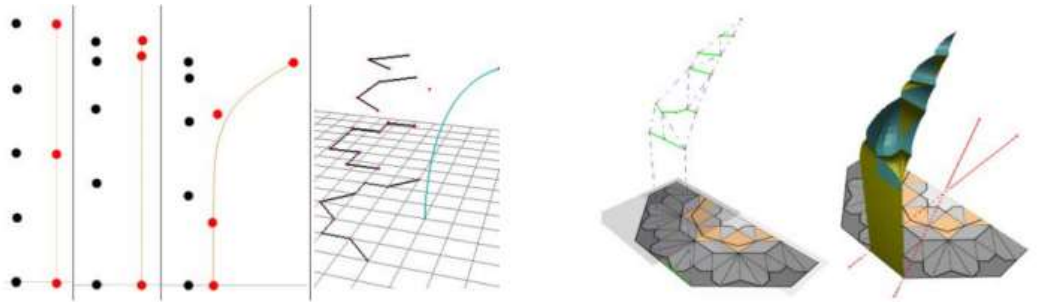
-بعد رسم التشكيل ثلاثي الأبعاد للوحدة التكرارية، يتم عمل نسخ مكررة على الزوايا المحددة للوصول إلي الشكل النهائي للمقرنص. (شكل 19)



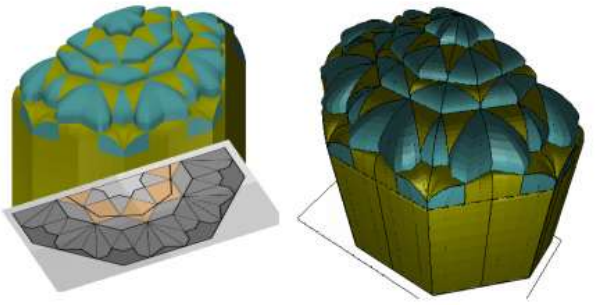
شكل 16: أمثلة لعدد من المقرنصات واسقاطها ثنائي الابعاد
(http://www.shiro1000.jp/muqarnas/default-.htm)



شكل17: الاسقاط ثنائي الابعاد للمقرنص وتظهر فيه الوحدة التكرارية(بين المحاور)
(Hamekasi, Samavati, & Nasri, 2011)



شكل 18: على اليسار، تحويل الوحدة التكرارية إلي مستويات مختلفة الارتفاع، وتحديد نقاط الاتصال بينها. على اليمين، بعد رسم خطوط الوحدة التكرارية يتم تحويلها إلي مجسم مصمت
(Hamekasi, Samavati, & Nasri, 2011)



شكل 19: الشكل النهائي للمقرنص بعد نسخ الوحدة التكرارية
(Hamekasi, Samavati, & Nasri, 2011)

ج. التصنيع الرقمي للزخارف الإسلامية التراثية لاستخدامها في المباني المعاصرة (حالة دراسية لمكتب "Nomad Inception"بالإمارات العربية المتحدة):

شركة (Nomad Inception) هي إحدى المكاتب الرائدة في استخدام تقنيات التصميم الحسابي في نمذجة وتصنيع الزخارف الإسلامية، ومقرها دبي. تتخصص أعمالها في إنتاج زخارف للأرضيات والحوائط في المشروعات المحلية المرتبطة بالتراث الإسلامي المعماري. في البداية، تستخدم خوارزميات معينة لإنتاج عدد كبير من تباديل وتوافيق تشكيلات الزخارف الإسلامية، مع مراعاة الأصالة وإدراج الأسس التقليدية لتلك التشكيلات، كالنجوم والمتشابكات(interlocks)، ثم تستخدم بعدها برمجيات اخري لتقسيم التشكيلات المعقدة الي قطع مستقلة.

ثانيا: يعمل الفريق الفني علي تطوير التصميم وتحويله إلي رسومات قابلة للتصنيع، وكذلك تنسيق مراحل العمل وإتمامه جميع المعالجات التكرارية بشكل حسابي (شكل 22). بعدها، يتم دمج التصميمات المنتجة مع النظم الهندسية المتوافقة مع أسلوب عمل العميل. وأخيرا، يتم اختبار الفاعلية الانشائية والاقتصادية للتصاميم، ثم استخدام تقنيات التصنيع بمساعدة الحاسب (CAM) في التصنيع التلقائي لتلك التشكيلات (شكل 23)، بدقة متناهية ودون تدخل بشري، ويتم جمع القطع المصنعة بشكل مباشر في الموقع بمساعدة تعليمات إرشادية لخطوات التركيب منتجة خوارزميا عن طريق أدوات التصميم الحسابي. (Nomad Inception, 2014).

شكل20: استخدام الخوارزميات في تصميم الزخارف المعقدة اليا (https://vimeo.com/nomadinception/videos)

شكل21: استخدام الآلات الحفر الموجه بواسطة الحاسب لتصنيع التفاصيل المعقدة للتشكيلات (https://vimeo.com/nomadinception/videos)

الاستنتاجات:

من الواضح أن دور الحاسب الآلي في عملية التصميم المعماري يزداد اتساعا واهمية مع تطور التقنيات، حيث تحول من مجرد أدوات رسم الي أداة تفكير يمكنها مساعدة المصمم في اتخاذ القرارات التصميمة واستعراض البدائل المختلفة للتشكيلات، وكذلك تحسينها وتجهيزها للتصنيع مهما بلغ تعقيدها. وعلاوة على ذلك، يمكن استخدام ذات التقنية في مجالات أوسع من التصميم، كما اتضح في عملية توثيق المباني التاريخية، أو حتى في المحاكاة البيئية لعناصر البناء الإسلامي كالملقف والمشربية.

ففي الوقت الذي يتراجع فيه دور العمارة الإسلامية المعاصرة، مدفوعة بتأثيرات العولمة ومحدودية إسهامات المعماريين المحليين، يستخدم التصميم الحسابي حاليا ليكون هدفا لا أداة لدعم الهوية، وإنما لتكرار المباني الغربية التي لا تمت بصلة لا إلي الثقافة ولا البيئة المحلية، كما نري في قطر ودبي وغيرهما. وهنا يتم الوقوع في خطأ تجاهل التراث الغني للعمارة الإسلامية، بما فيها من إمكانيات حسابية واعدة وتوافق مع بيئتنا الحارة.

وكما أن التصميم الحسابي يقوم في الأصل على الرياضيات، كان من الضروري استكشاف دور الرياضيات في العمارة الإسلامية، الأمر الذي بدا جليا في الدراسة. فانه منذ أوائل القرنين الرابع والخامس الميلاديين، تم استخدام الرياضيات في العمارة الإسلامية ليس فقط للتغلب على المشاكل الفنية كعملية الإنشاء أو تخطيط مبانٍ ذات أشكال هندسية دقيقة، وإنما أيضا لتعزيز إبداع الحرفيين المسلمين، الذي يظهر بوضوح في الزخارف الهندسية شديدة التعقيد. ولا يتوقف الأمر عند ذلك، فنري كيف تم تسخير ألوان العلوم من رياضيات وفلك وبناء في مسجد (Divriji-ulu) للتعبير عن القيم الدينية والثقافية للمجتمع، بشكل مذهل.

ولعل الزخارف الهندسية المعقدة خير مثال علي كون الرياضيات لا تنفصل عن العمارة الإسلامية. حيث تخالف التفسيرات التقليدية التي تدعي برسمها عبر المسطرة والمنقلة، فتثبت الدراسات الحديثة استنادها إلي قواعد رياضية أكثر تقدما، كتشكيلات البلورة الرباعية (quasicrytalline tilling)، والتي لم يعرفها الغرب سوي في القرن العشرين. كما أوضح أسلوب الكيره (Girih tiles) استخدام عدد من المضلعات المبسطة ، عبر خوارزميات محددة، في انتاج زخارف يستحيل رسمها بذات الدقة عبر الأدوات التقليدية.

إن التصميم الحسابي يفتح آفاقا غير محدودة في مجال الحفاظ على التراث المعماري الإسلامي، كتوثيق المباني التاريخية عبر المسح ثلاثي الأبعاد وبرامج التصميم الحسابي، بحيث يمكن ترميمها أو إعادة بناؤها بدقة لا تقل عن وضعها الأصلي. كما تعُد Nomad Inception أحد التجارب التي تعطي لمحة عن إمكانات تحويل الزخارف الإسلامية الي متغيرات حسابية لإنتاج تشكيلات متناهية التعقيد في دقائق معدودة بدلا من شهور، وكذلك قابليتها للتصنيع باستخدام الحاسب، مما يتغلب على عوائق توافر الحرفيين المهرة، وفتح الآفاق للمصمم لاستعراض الآف البدائل لتصميماته.

ولعل الحالات المستعرضة في الدراسة مجرد أمثلة قليلة ، تعطي فكرة بسيطة عن بحر المنفعة الواسع الذي تحمله أدوات التصميم الحسابي للمعماري العربي ، للحفاظ على الهوية المحلية دون التأخر عن روح العصر أو القبوع في تكرار الماضي السحيق وفي الحقيقة، فإن التطبيقات غير المحدودة لتلك التقنية تقع مسئولية استكشافها وتطويعها على المعماريين المحليين، ليس بوصفها غاية أو تقليداً أعمي، وإنما كأدوات مبتكرة لتحقيق الاحتياجات البيئية والاجتماعية، وكذلك الجوانب الجمالية التي نفتقدها في العمارة العربية في الوقت الحاضر.

التوصيات:

ينصح البحث بالأخذ بالتوصيات الآتية:

- يجب على المعماريين المحليين تبني مفاهيم التصميم الحسابي كمدخل تصميمي، لإنتاج وجه جديد من العمارة المحلية، وجه يراعي الهوية الثقافية والبيئية مع استيعاب اتجاهات العولمة المستقبلية في العمارة.
- يجب أن يتصل المبني ببيئته ماديا ومعنويا، بطريقة تعكس التراث الثقافي والمعماري الفريد للمكان، مع الاتسام بالعصرية والحداثة لخدمة الهدف الأول.
- عند تطبيق مفاهيم التصميم الحسابي في الدول العربية، يفضل مشاركة معماريين محليين في عملية التصميم، لإضفاء مصادر الالهام الثقافي وإشباع احتياجات المجتمع الحقيقية.
- يجب أن تضع المسابقات المعمارية المحلية، خاصة الحكومية، الهوية المحلية كأولوية قصوى في عملية التصميم، وان يكون مدي الإبداع في تطبيق ذات المعيار أساسا للفوز في المنافسة.
- ينبغي إدراج التصميم الحسابي كمادة تدريسية لطلاب أقسام العمارة ، عبر سنوات الدراسة المختلفة، وتنمية وعيهم تجاه هذه التقنيات، مع تطبيقها خلال مشروعات التصميم الدراسية.

المراجع:

- Al-Hassani, S. (2007, April 25). *New Discoveries in the Islamic Complex of Mathematics, Architecture and Art*. Retrieved May 22, 2015, from Muslim Heritage: http://www.muslimheritage.com/article/new-discoveries-islamic-complex-mathematics-architecture-and-art#ftnref107
- Baik, A., boehm, J., & Robson, S. (2013). JEDDAH HISTORICAL BUILDING INFORMATION MODELING "JHBIM" OLD JEDDAH - SAUDI ARABIA. *XXIV International CIPA Symposium* (pp. 73-78). Strasbourg, France: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Çolakoğlu, B., Yazar, T., & Uysal, S. (2008). Educational Experiment on Generative Tool Development in Architecture. *eCAADe Conference* (pp. 1-7). Yildiz Technical University.
- Ebrahimi, A. N., & Aliabadi, M. (2015). The Role of Mathematics and Geometry in Formation of Persian Architecture. *Asian Culture and History, 7*, 220-239.
- Hamekasi, N., Samavati, F., & Nasri, A. (2011). Interactive Modeling of Muqarnas. Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging (2011).
- Hejazi, M. M. (1997). *Historical Buildings of Iran: Their Architecture and Structure.* WIT Press.
- (2004). *Islamic Art and Geometric Design.* New York: The Metropolitan Museum of Art.
- Kaptan, K. (2013). Early Islamic Architecture and Structural Configurations. *International Journal of Architecture and Urban Development, 3*, 5-12.
- Khan, K., Zaffar, A., & Ansari, M. R. (2011). Islamic Art, Mathematics and Heritage of Sindh. *The Sindh University Journal of Education*, *40*(2010-2011), 58-73.
- Mashayekh, H. (2003). Wisdom in Art: Mathematics in Islamic Architecture in Iran. *ISAMA-BRIDGES Conference* (pp. 582-582). Granada, Spain: University of Granada.

- Nicanor, P. (2009, March 5). *Geometry in Islamic Architecture*. Retrieved May 20, 2015, from pbworks.com: http://psdg.pbworks.com/w/page/19548743/Geometry%20in%20Islamic%20Architecture
- *Nomad Inception*. (2014). Retrieved May 23, 2015, from http://www.nomadinception.com/about-us.aspx
- Pancaroğlu, O. (2009). The Mosque-Hospital Complex in Divriği: A History of Relations and Transitions. *Anadolu ve Çevresinde Ortaçağ 3*.
- Prange, S. R. (2009, October). The Tiles of Infinity. *Saudi Aramco World*, pp. 24-31.
- *Primary Characteristics of Islamic Geometric Decoration*. (2013, January 8). Retrieved May 9, 2015, from The Metropolitan Museum of Art: http://www.metmuseum.org/learn/for-educators/publications-for-educators/art-of-the-islamic-world/unit-three/primary-characteristics-of-islamic-geometric-decoration
- *UNESCO World Hertiage*. (2012, January 4). Retrieved May 22, 2015, from http://whc.unesco.org/en/list/358