مجلة الفنون والعلوم التطبيقية
Journal of Applied Arts & Sciences
جامعة دمياط Damietta University
كلية الفنون التطبيقية

التصميم الباراميتري والعمارة السائلة وتأثيرهما على التصميم الداخلي المعاصر

Parametric Design and Liquid Architecture and Their Impact on Contemporary Interior Design

حسام محمود إبراهيم الورداني
مدرس بقسم التصميم الداخلي والاثاث - كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان - ومعار حاليا لجامعة أم القرى بمكة المكرمة
محمد فالح ناجى الصبحى
معيد بقسم التصميم الداخلي بكلية التصاميم والفنون- جامعة أم القرى

ملخص البحث:-
يهدف هذا البحث إلى دراسة الأثر المتنامي لكلٍّ من التصميم البارامتري والعمارة السائلة على تشكيل الفراغ الداخلي المعاصر، مع التركيز على الأساليب والوسائل التي يُمكن بواسطتها تحقيق التوازن بين الجماليات المتطورة والوظائف العملية. يستند التصميم البارامتري إلى توظيف الخوارزميات الحاسوبية والنمذجة الرقمية لخلق فراغات مرنة تُلبي متطلبات المستخدمين المتغيرة، من خلال استكشاف مجموعة واسعة من الاحتمالات الشكلية والإنشائية. وفي الوقت نفسه، تأتي العمارة السائلة لتُضفي بُعدًا حركيًا وحيويًا على المشهد الداخلي، حيث تتجلى الانسيابية البصرية في عناصر التصميم والمواد المستخدمة. وبذلك، تتيح العمارة السائلة دمج العناصر العضوية مع التقنيات الحديثة بشكل يضمن بناء علاقات تبادلية بين البيئة الداخلية وسلوك المستخدم.
وفي ظل التطورات التقنية المتسارعة، تزداد أهمية دمج مفاهيم التصميم البارامتري والعمارة السائلة لتحقيق فراغات داخلية تتسم بالذكاء والمرونة. إذ تعمل الطباعة ثلاثية الأبعاد والمواد الذكية على توسيع نطاق الإمكانيات الإبداعية، ما يسمح بابتكار أشكال مبتكرة تتكيف مع السياق البيئي والاحتياجات البشرية. علاوة على ذلك، يُضيء البحث على التحديات المحتملة المرتبطة بالتكلفة والتنفيذ العملي، مؤكدًا في الوقت ذاته على دور التفكير المستدام في اختيار المواد وتقنيات البناء، وصولًا إلى تصاميم تحترم البيئة وتلائم متطلبات المستقبل.
يقدم البحث أمثلة حية من مشروعات رائدة تُبرز الانعكاسات الإيجابية لهذا الاندماج بين النهجين، مسلطًا الضوء على كيفية تقديم حلول تصميمية متوافقة مع الاحتياجات الوظيفية والجمالية في آنٍ واحد. وبذلك، يهدف إلى إثراء حقل التصميم الداخلي بإطار نظري وتطبيقي يساعد المهتمين على تبنّي هذه الأفكار المبتكرة وتطويرها، من أجل خلق مساحات تُجسّد الذوق المعاصر وتعزز جودة الحياة وتستجيب للتحديات المستقبلية

الكلمات المفتاحية:
التصميم البارامتري، العمارة السائلة، التصميم الداخلي المعاصر، النمذجة الخوارزمية

مقدمة

شهد مجال التصميم الداخلي في العقود الأخيرة تطورًا متسارعًا بفعل التقنيات الرقمية والمناهج الإبداعية الجديدة، حيث برز التصميم البارامتري والعمارة السائلة بوصفهما اتجاهين واعدين يعيدان صياغة العلاقة التقليدية بين المصمم، المادة، والفراغات ورغم التقدم الذي حقّقه هذان التوجهان في مجالات متعدّدة، لا تزال هناك فجوات بحثية تتعلق بكيفية دمجهما على نحو يخلق آثارًا واضحة على تصميم الفراغات

(ISSN 2537-1061) (Print)
(ISSN 2537-107X) (Online)

الداخلية المعاصرة .تظهر هذه الفجوات بشكل رئيس في غياب إطار تحليلي متكامل يربط بين الخصائص الرياضية والحاسوبية للتصميم البارامتري والمنحى العضوي والحركي للعمارة السائلة، مما يشير إلى حاجة ملحّة لدراسة معمّقة تُلقي الضوء على آليات التطبيق والتحديات والفرص المرتبطة بكليهما .تهدف هذه الدراسة إلى سد بعضٍ من تلك الفجوات عبر تحليل النظريات والممارسات القائمة، وتقييم مدى إسهام التصميم البارامتري والعمارة السائلة في تعزيز الجوانب الوظيفية والجمالية للتصميم الداخلي المعاصر .كما تسعى إلى فحص الكيفية التي يمكن من خلالها تطوير نماذج تصميمية تفاعلية وديناميكية، في ضوء احتياجات المستخدمين المتغيرة ومتطلبات الاستدامة والابتكار التكنولوجي .واستنادًا إلى ذلك، تطرح الدراسة الأسئلة البحثية التالية :أولًا، إلى أي مدى يضمن الدمج بين التصميم البارامتري والعمارة السائلة توفير حلول داخلية مرنة وقابلة للتكيّف؟ ثانيًا، ما هي الآليات التصميمية والتقنيات الرقمية التي تُحسِّن من تفاعل المستخدم مع الفراغ الداخلي وتثري تجربته اليومية؟ وأخيرًا، كيف يمكن توظيف هذه الأدوات لتطوير استراتيجيات تصميمية مستدامة تعزّز القيمة الاجتماعية والاقتصادية للمساحات الداخلية؟ تبرز أهمية هذا البحث في قدرته على تقديم أساس نظري وتطبيقي يمكن للمصممين والمعماريين الاستناد إليه في تطوير حلول أكثر ابتكارًا وانسجامًا مع البيئة والإنسان . وينعكس ذلك على توسيع نطاق المعرفة وفتح آفاق جديدة في الدراسات البينية التي تجمع بين التقنيات الرقمية والأشكال العضوية، بالإضافة إلى الإسهام في صياغة توجهات مستقبلية أكثر تكاملًا .ولتحقيق هذا الغرض، تعتمد الدراسة منهجًا يجمع بين التحليل النظري للدراسات السابقة ودراسة حالات عملية مختارة، بما يمكّن من استخلاص استنتاجات تدعم تطوّر الممارسات المهنية والأكاديمية .وفي ختام المقدمة، سيجري استعراض الهيكل العام للبحث الذي يتضمن مراجعة الأدبيات، وتفاصيل المنهجية، وتحليل النتائج، وخاتمة تُبرز المساهمات الرئيسة للدراسة وتوصياتها المستقبلية.

مشكلة البحث

على الرغم من أن العديد من الدراسات تناولت التصميم البارامتري والعمارة السائلة من منظور تقني أو جمالي، إلا أن هناك ندرة في الأبحاث التي تستكشف تأثيراتهما المتبادلة على تصميم الفراغ الداخلي، يسعى هذا البحث إلى سد هذه الفجوة عبر تحليل العلاقة بين التصميم البارامتري والعمارة السائلة، وتحديد مدى تأثيرهما على تجربة المستخدم وجودة الفراغ الداخلي.

أهداف البحث:

١. تحليل تأثير التصميم البارامتري على وظائف التصميم الداخلي، بما في ذلك الراحة البيئية، والمرونة، وإمكانية التخصيص.

٢. استكشاف مبادئ العمارة السائلة وكيفية تطبيقها في تكوين فراغات داخلية ديناميكية وقابلة للتحول.

٣. تحديد نقاط التقاطع بين التصميم البارامتري والعمارة السائلة من حيث المبادئ التصميمية والتقنيات الرقمية المستخدمة.

الأسئلة البحثية:

يركز البحث على الإجابة عن الأسئلة التالية:

- كيف يمكن توظيف التصميم البارامتري لتحسين مرونة وتكيف الفراغات الداخلية؟
- كيف يمكن دمج استراتيجيات التصميم البارامتري والعمارة السائلة لخلق بيئات داخلية أكثر استدامة وتفاعلية؟
- ما هي التحديات التي تواجه تطبيق هذه الأساليب في الممارسة التصميمية المعاصرة للفراغ الداخلي؟

منهجية البحث:

- المنهج الوصفي التحليلي.
- دراسة حالة لبعض المشاريع في التصميم الداخلي التي استخدمت التصميم البارامتري أو العمارة السائلة.

<u>التصميم البارامتري:</u>

يرجع أصل مفهوم التصميم البارامتري إلى علم الرياضيات، حيث استُخدم مصطلح "بارامترات" أو "المحددات" للتعبير عن متغيرات ذات قيم متعددة تؤثر في المعادلات الرياضية وتُحدد نتائجها. وقد ظهر هذا المصطلح أول مرة على يد عالم الرياضيات جوزيف لويس لاغرانج (Joseph-Louis Lagrange) في عام ١٧٧٤، حين استخدمه في المعادلات التفاضلية بإضافة متغيرات جديدة تساعد في وصف وتحليل المنحنيات الهندسية المعقدة. هذا التطور الرياضي كان الأساس الذي بُني عليه مفهوم التصميم البارامتري لاحقًا، حيث تم توظيفه في الهندسة التحليلية والتصميم المعماري لإنتاج أشكال هندسية مرنة ومعقدة تتغير بناءً على معطيات محددة. بحسب طرح الباحث رونالد هادسون (Ronald Hudson)، يُفهم التصميم البارامتري كعملية إنتاج نموذج تصميمي أو حل معماري رقمي يعتمد أساسًا على تحديد

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

العلاقات بين العناصر المختلفة التي تُعرف بالكيانات، والتحكم بها عن طريق متغيرات محددة. يؤدي التلاعب بهذه المتغيرات إلى خلق مجموعة من البدائل التصميمية، يتم اختيار الأنسب منها بناءً على معايير وظيفية محددة قد تتعلق بكفاءة التصميم أو سهولة تنفيذه أو تكلفته الاقتصادية أو حتى المعايير الجمالية، أو ربما تجمع بين كل هذه العوامل معًا. وبالتالي، فإن التصميم البارامتري يُمثل آلية فعالة لإيجاد حلول تصميمية متوازنة تلبي احتياجات المستخدمين، وتراعي الاعتبارات الجمالية والتقنية بشكل تفاعلي ومتكامل. ويُعد التصميم البارامتري من الأساليب المتقدمة في العمارة والتصميم الداخلي الذي يعتمد على الخوارزميات الحاسوبية والنمذجة الرقمية لإنشاء تصميمات مرنة وقابلة للتكيف كما في صورة (٢,١). تمثل هذه التقنية تحولًا في الطريقة التي يتعامل بها المصمم مع الفراغات ، حيث يُمكن للمصممين تعديل الأشكال وفقًا للمعايير المكانية والبيئية المتغيرة. في هذا السياق، التصميم البارامتري يُتيح تشكيل الفراغات بطريقة تواكب التطورات التكنولوجية ويتيح حلولًا متطورة للوظائف الجمالية والعملية في التصميم الداخلي.[7 ص٧٣]

خلاصة تعريف التصميم البارامتري هو منهجية تصميمية متقدمة تقوم على استخدام محددات أو بارامترات رقمية تسمح للمصمم بتوليد تشكيلات هندسية متعددة ومرنة. ويستطيع المصمم من خلال التحكم بهذه المتغيرات استكشاف بدائل متنوعة وتوقع نتائجها بدقة، ما يتيح له اتخاذ قرارات تصميمية متكاملة وفعّالة.

صورة (١ , ٢) من مساحات فعاليات مكتب جوجل في ساو بالو البرازيل تعكس مفهوم التصميم الداخلي البرامتري
https://www.archilovers.com/projects/247093/google-event-space.html

العمارة السائلة (Liquid Architecture)

العمارة السائلة (Liquid Architecture) تُشير إلى نوع من العمارة الحية والمتحركة، القادرة على تجاوز الحدود الزمانية والمكانية والتكيّف مع تغيّر الموقع والظروف البيئية بمرور الزمن. وتتميّز هذه العمارة بقدرتها على إنتاج أشكال متعددة ومتغيرة تستجيب للمؤثرات الخارجية، متجاوزة بذلك القيود التقليدية للعالم المادي، ومنفتحة على الأبعاد التخيلية والافتراضية.

في جوهرها، تعتمد العمارة السائلة على مفاهيم الحركة والأنيميشن(Animation) ، وتسعى إلى دمج الواقع بالافتراض عبر استخدام تقنيات رقمية متقدمة تُنتج فراغات ديناميكية قابلة للتغير المستمر. هذا الاتجاه يعكس تطوراً جديداً في العلاقة بين العمارة والفن والمعلوماتية، ويؤكد على أهمية المرونة والاستمرارية في تشكيل الكتلة والحركة، وكذلك في التفاعل الحسي والوظيفي داخل الفراغات (مثل الإضاءة، اللون، والملمس).

ومن أبرز خصائص العمارة السائلة أنها تتنفس، وتتحول باستمرار، وتفتح المجال للانسياب بدلاً من الانغلاق. فهي عمارة لا تسعى إلى إغلاق الحدود أو فرض التنظيم الصارم، بل تتيح للفراغات أن تتدفق وتتشكل بحرّية، معتمدة على مداخل وأبواب غير تقليدية، تاركة المجال للمكان القادم لأن يُحدّد ذاته وفق معطياته المتغيرة. [١ص١٤]

تُعد العمارة السائلة أحد المفاهيم الناشئة في الخطاب المعماري المعاصر، وقد ظهرت كمصطلح لأول مرة في أوائل التسعينيات من خلال المفكر المعماري **ماركوس نوفاك (Marcos Novak)** في مقاله المرجعي Liquid

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

Architecture in Cyberspaceالمنشور عام ١٩٩١ في مجلة Architectural Design، حيث عرّف العمارة السائلة بوصفها "كيانًا افتراضيًا مرنًا، قابلًا للتحول والتفاعل داخل الفضاء الرقمي"، لا يرتبط بشكل ثابت بل بوظيفة متغيرة تعتمد على التفاعل مع المستخدم والبيئة الرقمية أو الفيزيائية.17 ص١٤

يُعد نوفاك من أبرز رواد هذا المفهوم، إلى جانب معماريين رقميين مثل **غريغ لين (Greg Lynn)** الذي طوّر فكرة العمارة الحركية والعضوية باستخدام أدوات التصميم الحاسوبي، خاصة في كتابه Animate Form. [١٤] كما ساهمت تجارب مكاتب مثل **NOX Architects** و **UNStudio**في بلورة التطبيقات الملموسة لهذه الفلسفة.

لا تقتصر العمارة السائلة على الشكل الانسيابي فحسب، بل تقوم على عدد من السمات والمحددات الأساسية، أبرزها : **التفاعل الديناميكي مع العوامل البيئية** مثل الضوء، الصوت، أو الرياح، و**المرونة المكانية**، و**الاعتماد على التصميم البارامتري والخوارزميات** في توليد الشكل، بالإضافة إلى **تجاوز التكوينات الخطية التقليدية**، و**استخدام مواد ذكية أو قابلة للتشكيل**

ويؤكد نقاد معتبرون في النظرية المعمارية مثل **براتيشا كولاريفيتش (Branko Kolarevic)** أن العمارة السائلة تمثل امتدادًا طبيعيًا للعمارة الرقمية، وتُعد إحدى الاستجابات المتقدمة لتحديات القرن الحادي والعشرين، لما توفره من إمكانيات تصميمية تعتمد على البيانات والتكيف الزمني [١٣]

صورة (٣) مركز نيوم للرياضات المائية في المملكة العربية السعودية يوضح شكل ومفهوم العمارة السائلة
(https://nox-architects.com/projects/neom-aquatics-sports-center)

التصميم الخوارزمي

يُعد منهجًا تصميميًا يعتمد على بناء حلول إبداعية من خلال خطوات منطقية مبرمجة مسبقًا، تُمكّن المصمم من التعامل مع مشكلات التصميم المعقدة بكفاءة، باستخدام الذكاء الاصطناعي ونظم رياضية مرنة تتوافق مع مختلف المعايير والبيئات الهندسية [٣ ص٢]

<u>خصائص التصميم البارامتري وميزاته في التصميم الداخلي والمعماري</u>

١. **التحكم بالعلاقات بدلًا من الأشكال الثابتة:**
يعتمد التصميم البارامتري على مبدأ إنشاء علاقات متغيرة بين مكونات التصميم، مما يسمح بتوليد حلول متعددة قابلة للتكيّف مع متغيرات السياق، بدلاً من التمسك بأشكال جامدة. هذه الفلسفة تُعيد تعريف العملية التصميمية باعتبارها نظامًا ديناميكيًا يتفاعل مع الزمن والبيئة.[28]

٢. **مرونة شكلية وإنتاج تكوينات غير تقليدية:**
تُتيح أدوات مثل Rhino و Grasshopperللمصممين خلق أشكال هندسية مركّبة يصعب رسمها أو بناؤها يدويًا، حيث تتحول المعادلات البرمجية إلى نماذج مرئية قابلة للتعديل اللحظي.[27]

٣. **دمج التحليل البيئي داخل التصميم:**
يُمكّن التصميم البارامتري من إدخال بيانات بيئية، مثل الضوء الطبيعي والتهوية والحرارة، عبر أدوات محاكاة مثل Ladybug وHoneybee، ما يجعل القرارات التصميمية مبنية على تحليل علمي دقيق. [22 ص٢٣٧]

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

٤. **لتخصيص المتقدم في التصميم الداخلي:**
يُستخدم التصميم البارامتري لتوليد حلول داخلية مخصصة كقطع الأثاث والحوائط التفاعلية، حيث تتغير العناصر وفقًا لحجم الفضاء أو سلوك المستخدم، مما يعزز التفاعل بين المستخدم والمكان.[18 ص٢٢٩]

٥. **التكامل مع تقنيات التصنيع الرقمي:**
يُسهّل التصميم البارامتري الربط بين التصور الرقمي والتنفيذ المادي، عبر الطباعة ثلاثية الأبعاد، والقطع بالليزر، وتقنياتCNC ، مما يقلل الهدر ويزيد من الدقة

٦. **التصميم القائم على الأداء (Performance-Based Design):**
يتمحور التصميم البارامتري حول توليد نماذج تحقق كفاءة وظيفية وإنشائية وجمالية في آنٍ واحد، بدلاً من الاقتصار على الاعتبارات الشكلية وحدها.[11]

٧. **دمج الإبداع بالذكاء الحسابي:**
يُمثل التصميم البارامتري توجّهًا فكريًا يجمع بين التحليل الرياضي والحس الجمالي، ويسمح بتوسيع آفاق المصمم من خلال أدوات تفاعلية ترتبط بالبيئة، والسياق، والبيانات في الوقت الحقيقي.

التشكيل الرقمي

إن التشكيل الرقمي في العمارة المعاصرة يرتبط مباشرةً بالتقنيات الرقمية التي تمثل روح العصر الحالي، إذ أتاحت هذه التقنيات إمكانية إنتاج الأشكال الهندسية المنحنية والمعقدة بسهولة ودقة. وقد فتحت هذه العمليات الرقمية أبوابًا جديدة أمام المصمم لاستكشاف مفاهيم معمارية مبتكرة من أبرزها:

- **الأشكال الطوبولوجية:(Topology)**

التي تُعنى بدراسة السمات الهندسية للأشكال، خاصة تلك التي تبقى ثابتة رغم التغيرات التي تطرأ على شكلها أو حجمها، مثل الالتواءات والانحناءات دون التأثير على الجوهر البنائي الأساسي. [٢ ص١١]

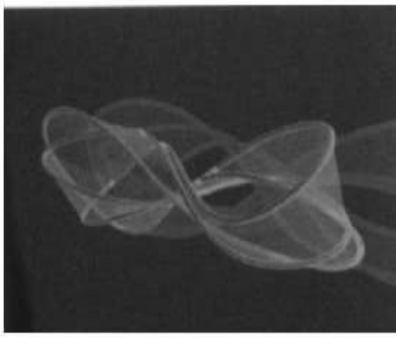
- **الهندسة اللا إقليدية (Non-Euclidean Geometries):**

التي تتعامل مع الفراغ بطرق مختلفة عن الهندسة التقليدية، حيث تسمح هذه الهندسة بخلق فراغات غير تقليدية، وتُنشئ علاقات تفاعلية متجددة بين العناصر المختلفة للفراغ المعماري، مما ينتج تصاميم ذات طابع مرن ومتغير.

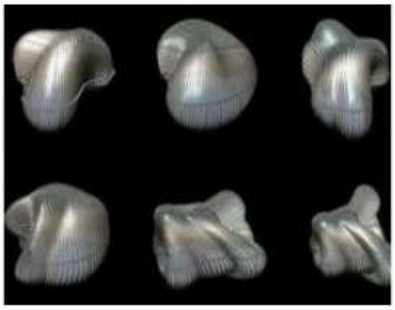
- **الأسطح المنحنية:(NURBS)**

تُعد من أهم الأدوات التصميمية الحديثة التي توسّع إمكانات التصميم الرقمي، حيث تتيح التحكم الكامل بالأشكال والتكوينات وتوزيع الكتل، مما يخلق أشكالاً معمارية غاية في الدقة والتعقيد والتفاعل مع محيطها.

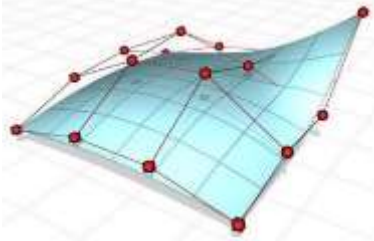
هذه المفاهيم الثلاثة (الطوبولوجيا، الهندسة اللا إقليدية، والأسطح المنحنية) تقدم أدوات جوهرية للتصميم الرقمي البارامتري والعمارة السائلة، وتساعد في إنتاج فراغات معمارية مرنة ومتفاعلة تتماشى مع التوجهات المعاصرة في التصميم الداخلي. [١ ص٥]



شكل (١)



شكل (٢)



شكل (٣)

شكل(١) يوضح الأشكال لطوبولويجية لتكوين الكتل المعمارية (١)
شكل(٢) يوضح الأشكال الغير اقليدية لانتاج شكل عضوي متحرك (١)

شكل (٣) يوضح الأسطح المنحنية التي ساعدت في تكوين تشكيلات معقدة للكتل(١)

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

الأدوات والبرمجيات في التصميم البارامتري Rhino : وGrasshopper

يمثل استخدام البرمجيات المتقدمة في التصميم البارامتري أحد أهم التحولات التقنية التي أعادت صياغة العلاقة بين المصمم والفراغ. ومن بين هذه الأدوات، يُعد برنامج **Rhinoceros 3D**وملحقه **Grasshopper**من أبرز المنصات التي أتاحت إمكانية التعامل مع التصميم المعماري من منظور حسابي مولّد، حيث تُبنى الأشكال والتكوينات المعمارية من خلال الربط بين المعايير والبيانات.

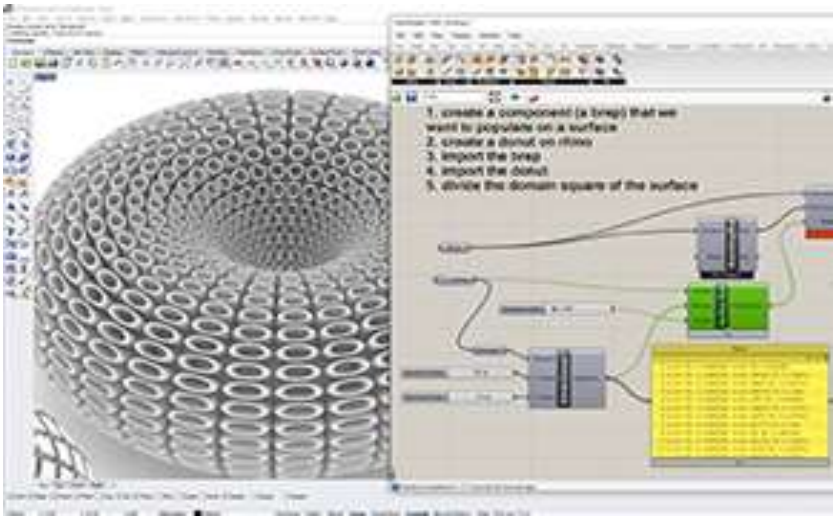
Rhinoهو برنامج نمذجة ثلاثي الأبعاد يُستخدم بكثرة في مجالات العمارة والتصميم الصناعي، يتميز بقدرته على إنتاج أشكال معقدة باستخدام أسطح NURBS الدقيقة. أما **Grasshopper**، فهو أداة إضافية داخل بيئة Rhino تتيح التوليد الخوارزمي للتصميم عبر واجهة بصرية تعتمد على الربط بين "مكوّنات" منطقية تمثّل المعادلات، العلاقات، والمعايير التصميمية .يُعدّ هذا النظام من أقوى الوسائل التي تتيح إنتاج حلول تصميمية غير تقليدية تستجيب للمحيط والوظيفة والجماليات على حدّ سواء[25].

ومما لا يتم التركيز عليه كثيرًا في الأدبيات هو الجانب **التعليمي والمعرفي** الذي أتاحته هذه الأدوات. فـ Grasshopperلا يقتصر فقط على كونه بيئة تصميم، بل يُعد "نظام تفكير (Thinking System) "يعيد تشكيل عملية اتخاذ القرار التصميمي، ويُدخل المصمم في حوار مباشر مع التصميم عبر عمليات التكرار، التحليل، والمحاكاة. هذه البرمجيات تُحوّل المصمم من "منشئ شكل" إلى "صانع أنظمة"، ما يغير طبيعة الإنتاج المعماري بالكامل. 15ص٣٩

جانب آخر لم يُتناول كثيرًا هو **الدور في التكامل بين التصميم والبيئة** .فمن خلال إدماج إضافات (Plug-ins) مثل **Ladybug**و **Honeybee**في بيئةGrasshopper ، يمكن محاكاة أداء المبنى من حيث الطاقة، الإضاءة، والراحة الحرارية. وهكذا، لا تعود البيئة الرقمية مجرد وسيلة لإنتاج الشكل، بل تصبح أداة لتحليل القرار التصميمي وقياسه مقابل بيانات واقعية دقيقة. 22 ص٢٣٨

كما توفر هذه الأدوات بيئة تصميم **تشاركية** متعددة التخصصات. فبفضل لغة البرمجة البصرية، أصبح من الممكن للمصممين التعاون مع المبرمجين، المهندسين، وحتى علماء البيانات ضمن منصة واحدة، وهو ما عزّز من ظهور تصميمات متجاوبة على مستوى الإنشاء والوظيفة في آنٍ واحد.

ختامًا، فإن Rhino و Grasshopperلا يقدّمان مجرد أدوات تصميم، بل يُمثلان نموذجًا لتفكير شمولي يربط بين الشكل، البيانات، التحليل، والبيئة، ما يجعل هذه الأدوات اليوم محورية لفهم وتطبيق التصميم البارامتري في السياق الأكاديمي والمهني المعاصر.



صورة (٤) توضح واجهة برنامج **Rhino** مع إضافة Grasshopper وكيف تتم عملية النمذجة والتوليد (https://simplyrhino.co.uk/3d-modelling-software/grasshopper)

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

تجاوز الجمود نحو التفاعل الحي

تُعيد العمارة السائلة تعريف المبنى بوصفه كائنًا تفاعليًا حيًا، يتكيّف مع المتغيرات البيئية والسلوكية، متجاوزة النماذج الهندسية الجامدة. تستند هذه الرؤية إلى مبادئ التدفق، الانسيابية، والحركية المستمرة، مع توظيف تقنيات رياضية متقدمة مثل NURBS التي تتيح توليد أسطح منحنية لا يمكن إنتاجها يدويًا، بل يتم تصميمها بواسطة أنظمة رقمية ديناميكية تستجيب للزمن والبيئة ويبرز هذا الاتجاه في مشاريع تستخدم التصميم بالحركة والمحاكاة الرقمية، حيث تتفاعل المادة مع الضوء والهواء والحرارة، منتجة مبانٍ تتغيّر بصريًا وسلوكيًا باستمرار.

عند دمج العمارة السائلة مع التصميم البارامتري، ينشأ ما يُعرف بـ"التصميم التكيفي"، الذي يُمكّن المعماري من إنتاج بيئات داخلية قابلة للتطوّر والتشكّل تبعًا للمعطيات البيئية والوظيفية. لا يقتصر هذا الدمج على الأشكال العضوية فحسب، بل يجعل من الفراغ نظامًا ذكيًا يستجيب لحاجات المستخدم، كما في مشروع، عالم بي ام دبليو الذي يُجسّد الانسيابية البصرية والتقنيات الذكية لتقديم تجربة متغيّرة باستمرار

يُعد مصطلح **"التصميم التكيفي (Adaptive Design) "** من المفاهيم المتعددة الأصول التي نشأت في سياقات مختلفة، إذ لا يُنسب إلى شخص واحد بعينه، بل تطور تدريجيًا استجابةً لتحولات في البيئات التقنية، والاجتماعية، والمناخية. تعود الجذور الأولى للمصطلح إلى أواخر الستينيات وأوائل السبعينيات في مجال التصميم الصناعي، حيث أشار الباحث **R. G. Dyson (1971)** إلى أهمية التصميم الذي يستجيب للمتغيرات الصناعية والتقنية المتسارعة، مؤكدًا على مفهوم "التصميم التكيفي للأنظمة الصناعية."

وفي سياق العمارة المستدامة، تعمق المفهوم في الثمانينيات والتسعينيات، خصوصًا لدى المعماريين والباحثين البيئيين الذين سعوا إلى تطوير بيئات مبنية تتفاعل مع التغيرات المناخية والأنماط السلوكية للمستخدمين.

لاحقًا، برز المفهوم مجددًا في الألفية الجديدة ضمن مجال التصميم الرقمي، حيث طوّره المصمم **Aaron Gustafson** في كتابه Adaptive Web Design عام ٢٠١١، ليعبّر عن تصميم التجارب الرقمية القادرة على التكيف مع خصائص الأجهزة وسلوكيات المستخدمين.

أهمية التصميم الرقمي في تشكيل مستقبل التصميم الداخلي والمعماري

أصبح التصميم الرقمي اليوم أكثر من مجرد أداة إنتاج، بل يشكل إطارًا فكريًا جديدًا يعيد تعريف العلاقة بين الشكل، الوظيفة، والتجربة البشرية في الفراغ. إذ يلعب التصميم البارامتري دورًا محوريًا في هذا التحول، بفضل قدرته على توليد نماذج مرنة، قابلة للتكيّف، ومدفوعة بالخوارزميات التي تُراعي البيئة، الكفاءة، وسلوك المستخدم [١٩ص٧]

يتكامل هذا التوجه مع أدوات التحليل البيئي والتصنيع الرقمي والذكاء الاصطناعي، ليمنح المصممين إمكانيات غير مسبوقة في ضبط الأداء المكاني منذ لحظة التكوين وحتى التنفيذ، مما يُعيد تشكيل دورهم كمبرمجين للفراغات بدلاً من مجرد شكل صانعي [٢٤ص١٦]

التصميم الرقمي يُمكن من إعادة صياغة كل عناصر الفضاء – من الجدران إلى الإضاءة – بطريقة تعتمد على الأداء والاستجابة، وليس فقط الجماليات. كما يرى أن التكامل بين الذكاء الاصطناعي والتصنيع الرقمي قد يقود إلى ما يُعرف بـ "العمارة المؤتمتة جزئيًا"، حيث يتم تقليص الفجوة بين الفكرة والتجسيد المادي.

من هذا المنطلق، يُعد اعتماد التصميم الرقمي ضرورة ملحّة في ظل التحديات البيئية والتكنولوجية والاجتماعية المتسارعة، بل ويشكّل أساسًا للممارسات المهنية المستقبلية، والتعليم المعماري، وتطوير المدن الذكية، مما يؤهله ليكون العمود الفقري لأي توجه معماري معاصر يسعى للاستدامة والتفوق الوظيفي والجمالي.

دمج التصميم البارامتري مع العمارة السائلة

أحد المواضيع البحثية المثيرة هو دمج التصميم البارامتري مع العمارة السائلة، وهو ما يُعرف بالتصميم التكيفي. في هذا السياق، أن الجمع بين هذين الاتجاهين يوفر فرصًا جديدة لإنشاء فراغات داخلية تفاعلية وديناميكية تتكيف مع التغيرات البيئية والاجتماعية

التحديات والفرص في دمج الأساليب

يواجه دمج التصميم البارامتري والعمارة السائلة في التصميم الداخلي عددًا من التحديات، من أبرزها ارتفاع التكاليف، وتعقيد عمليات التنفيذ، والاعتماد على تقنيات متقدمة. ومع

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

ذلك، فإن التقدم في التقنيات الحديثة، مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطور المواد الذكية، يفتح آفاقًا واعدة لتجاوز هذه التحديات، ويسهم في توسيع إمكانيات التطبيق العملي لهذه الاتجاهات التصميمية المبتكرة.[9 ص٩٢]

صورة (٧،٦،٥) مبنى Heydar Aliyev Center تصميم زها حديد يعتبر مثالاً مثاليًا على الدمج بين المنهجين لتوفير استدامة معمارية وتفاعلية بيئية
(https://www.archdaily.com/448774)

التفاعل الإنساني والتجربة المكانية

من الجوانب الجوهرية في دمج التصميم البارامتري مع العمارة السائلة هو نقل الفراغ من مجرد وظيفة مادية إلى تجربة معيشة حسية. الفراغات الداخلية تصبح بذلك امتدادًا لجسد المستخدم، تتحرك معه وتستجيب لحالاته النفسية والسلوكية. عند توظيف الأنظمة الذكية وتقنيات الواقع المعزز (AR) أو الإضاءة المتغيرة، تتحول بيئة السكن أو العمل أو العرض إلى مشهد متفاعل، يجعل من المستخدم جزءًا من الفراغات، لا مجرد مستهلك له

١. كيف يمكن توظيف التصميم البارامتري لتحسين مرونة وتكيف الفراغات الداخلية؟

يساهم التصميم البارامتري في تعزيز مرونة وتكيف الفراغات الداخلية من خلال استخدام الخوارزميات الرقمية لتوليد نماذج تصميمية متعددة قادرة على الاستجابة للمتغيرات البيئية والاستخدامية. وتبيّن الدراسات أن توظيف هذه المنهجية يمكّن المصممين من إنتاج فراغات داخلية متغيرة وظيفيًا بسهولة نسبية، مما يزيد من قدرتها على التكيف والاستدامة عبر الزمن

صورة (٩،٨)متحف المستقبل في دبي يوضح كيفية استخدام التصميم البارامتري لخلق مساحات داخلية تتكيف مع المتغيرات المختلفة .
(https://www.archdaily.com/983458)

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

٢. ما مدى تأثير العمارة السائلة على سلوك المستخدمين داخل المساحات الداخلية؟

تؤثر العمارة السائلة بشكل إيجابي على سلوك المستخدمين داخل الفراغات الداخلية من خلال خلق بيئة معمارية تتسم بالانسيابية، الأمر الذي ينعكس إيجابيًا على الراحة النفسية والسلوكية للمستخدم. وتؤكد دراسات علمية أن هذه النوعية من التصميمات تدعم الحركة الحرة والتفاعل الحسي، وتعزز من الإحساس بالتواصل والانتماء للمكان[24 ص٨-١٦]

٣. كيف يمكن دمج استراتيجيات التصميم البارامتري والعمارة السائلة لخلق بيئات داخلية أكثر استدامة وتفاعلية؟

يسمح الدمج بين استراتيجيات التصميم البارامتري والعمارة السائلة بإنتاج بيئات داخلية ذات جودة بيئية عالية وتفاعلية في الوقت ذاته، حيث يُمكن عبر التصميم البارامتري ضبط الظروف البيئية مثل توزيع الإضاءة والتهوية الطبيعية، بينما توفر العمارة السائلة لغة معمارية تعزز من تفاعل المستخدم مع المكان. وقد أثبتت الأبحاث أن هذا التكامل يحقق استدامة وظيفية وبيئية أفضل، إلى جانب تحسين تجربة المستخدم للفراغ الداخلي.[20ص٨٥]

٤. ما هي التحديات التي تواجه تطبيق هذه الأساليب في الممارسة التصميمية المعاصرة؟

من أبرز التحديات التي تواجه تطبيق التصميم البارامتري والعمارة السائلة في الممارسة التصميمية الحديثة: ارتفاع التكلفة، والحاجة إلى خبرات تقنية متقدمة، والصعوبات الإنشائية في تنفيذ الأشكال المعقدة. ورغم هذه التحديات، تؤكد الدراسات أنه يمكن التغلب عليها من خلال تطوير المهارات، وتوفير التقنيات المتقدمة، والتوسع في اعتماد برامج التصميم الرقمي في التعليم والتدريب المهني.[6;28]

دراسة حالة:

الدراسة الأولى: متحف المستقبل في دبي

الموقع :دبي، الإمارات العربية المتحدة

المصمم :شركة تصميم نورمان فوستر (Foster + Partners)

تاريخ الإنشاء2022 **:**

صورة (١١،١٠) صور خارجيا وداخليا توضح تناغم التصميم البرامتري والخط العربي ومهوم العمارة السائلة (https://www.archdaily.com/983458)

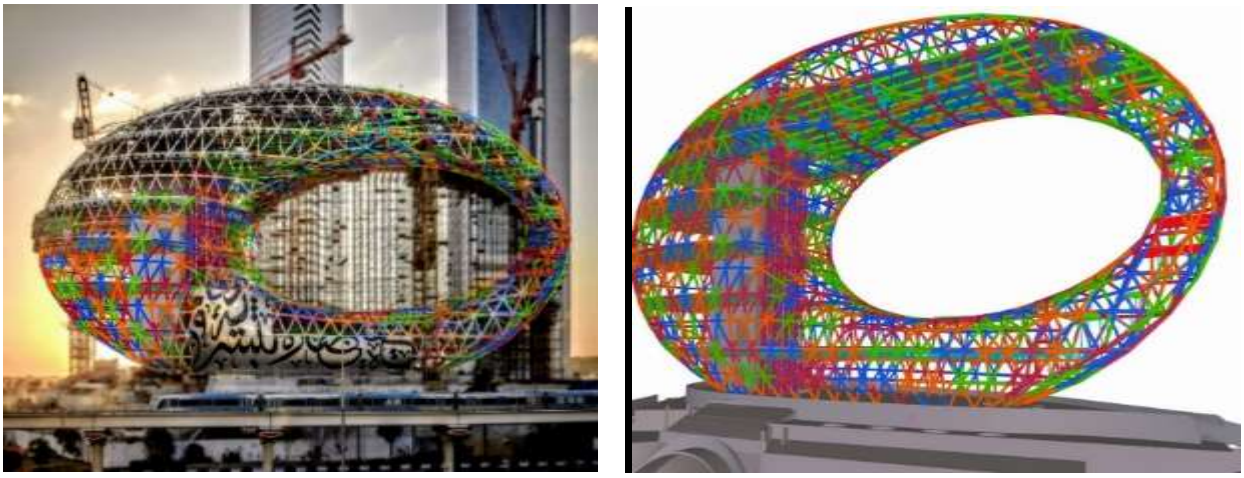
متحف المستقبل في دبي يعد من بين المعالم المعمارية الأكثر تطورًا في العالم اليوم، ويمثل دمجًا مذهلاً بين **التصميم البارامتري** والعمارة **السائلة** .يُعد هذا المتحف من أبرز مشاريع التصميم المعماري في المنطقة الشرق الأوسط، وقد تم تصميمه ليكون مركزًا للتكنولوجيا والابتكار. تصميمه يبرز من خلال الشكل العضوي والانسيابي الذي يشبه الحركية المستمرة، مما يجسد فكرة **العمارة السائلة** بشكل واضح، بينما يتفاعل مع **التصميم البارامتري** الذي يعزز من وظيفة المبنى ومرونته.

التصميم البارامتري: دقة التنظيم المعماري

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

في متحف المستقبل، تم استخدام **التصميم البارامتري** بشكل رئيسي لتحديد الأشكال الهيكلية للمبنى، حيث تم تطبيق **البرمجيات الحاسوبية المتقدمة** مثل **Rhino** وGrasshopper لتشكيل الهيكل الفريد للمتحف. يمكن اعتبار هذا التصميم البارامتري مثالًا حيًا على كيفية استخدام الخوارزميات لتوليد أشكال معمارية غير تقليدية بشكلٍ يتناسب مع البيئة المحيطة.



صورة (١٣،١٢) توضح استخدام البرمجيات الحاسوبية المتقدمة **Rhino**وGrasshopper لتشكيل الهيكل
(https://www.archdaily.com/983458)

الهيكل الخارجي للمتحف، الذي يُشبه حلقة مغلقة أو شكل بيضاوي، تم تحديده باستخدام الخوارزميات التي ساعدت في تشكيل الجدران والأعمدة بطريقة تتيح للمساحات الداخلية التفاعل بحرية مع الضوء. هذه الخوارزميات تتيح للمصممين تحديد الأبعاد بناءً على عوامل متعددة مثل حركة الزوار، ونسبة الضوء الطبيعي التي يدخل إلى المتحف، وكذلك المسافات بين مختلف عناصر المعرض. يمثل هذا التصور البارامتري قدرة تصميم المساحات الداخلية لتتكيف مع **التجارب المستقبلية** وتستجيب للحاجة إلى مرونة وابتكار.

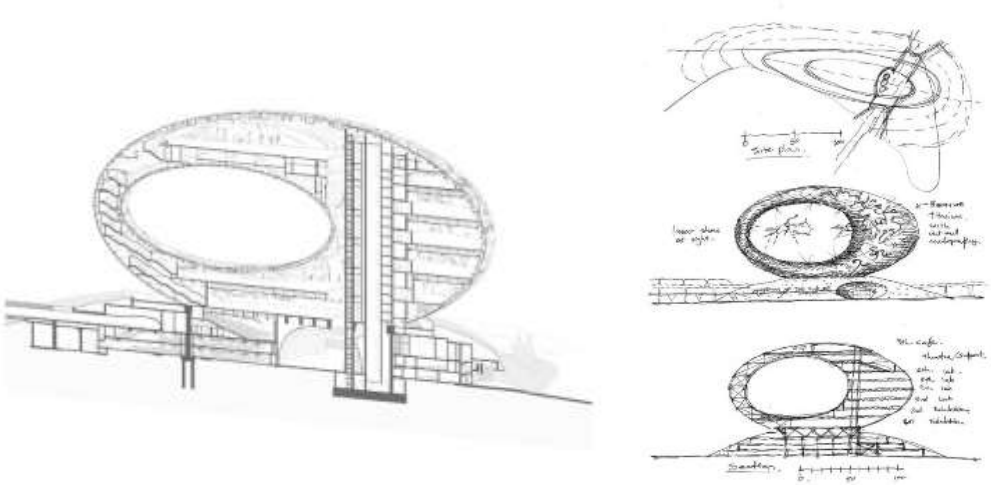
العمارة السائلة: تفاعل التصميم مع البيئة

تُظهر **العمارة السائلة** في **متحف المستقبل** من خلال استخدام أسطح منحنية وسائلة التي تعكس مرونة **الفراغ الداخلي** وال**خارجية** للمتحف. ليس فقط من خلال الأشكال المنحنية، بل أيضًا في فكرة أن المبنى ذاته يبدو كما لو أنه يسبح في الهواء .**المبنى ليس له حواف أو زوايا حادة،** حيث يتم استبدالها بأشكال ناعمة تتدفق وتتكامل مع البيئة المحيطة.

الجانب الأكثر إثارة في هذا التصميم هو **الواجهة الخارجية** المصنوعة من **الستانلس ستيل** الذي يعكس الضوء بشكل غير تقليدي، مما يخلق تأثيرًا بصريًا يتغير مع حركة الشمس خلال اليوم. تم اختيار هذه المواد بعناية لتكون مستدامة ومعالجة بيئيًا مع الأخذ في الاعتبار المناخ الصحراوي لدبي. يخلق **السقف الفولاذي المنحني** انطباعًا بالانسيابية التامة، بحيث يتناغم مع الأفق المحيط، مما يتيح للمبنى أن يبدو وكأنه جزء حي من المدينة.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)



شكل(٥،٤) يوضح استخدام اسطح منحنية وسائلة لتعكس مرونة الفراغ الداخلي
(https://www.archdaily.com/983458)

التحديات والتقنيات

كان **متحف المستقبل** من أكثر المشاريع المعمارية تحديًا من الناحية التقنية. كان من الصعب تصميم واجهته المنحنية باستخدام تقنيات البناء التقليدية، لذلك كان من

الضروري استخدام **النمذجة الرقمية** والأدوات المتقدمة مثل **الطباعة ثلاثية الأبعاد** لاختبار وتقديم النماذج الأولية . **الخرسانة المدعمة بالألياف** تم استخدامها لإنشاء الأسطح المعقدة التي تلائم الهيكل السائل وتوفر القوة الهيكلية المطلوبة في ظل الظروف المناخية القاسية.

تم أيضًا التغلب على التحديات البيئية في منطقة دبي الصحراوية عن طريق تنفيذ **أنظمة ذكية لتبريد الهواء** تعتمد على **تقنيات الطاقة المتجددة** مثل **الطاقة الشمسية**، مما يعكس دمج **التصميم البيئي** مع **العمارة السائلة** و **البارامترية**.

التأثير في التصميم الداخلي

متحف المستقبل ليس مجرد مبنى، بل هو تجربة معمارية متكاملة حيث يتم التفاعل بين الزوار والتكنولوجيا بشكل مستمر. يتم تحديد توزيع المساحات الداخلية بناءً على حركة الزوار ورغباتهم المتغيرة باستخدام تقنيات **التصميم البارامتري** .المساحات الداخلية **مرنة وقابلة للتكيف** مع مختلف الفعاليات، من المعارض التفاعلية إلى العروض التكنولوجية المستقبلية.

الفراغات الداخلية للمتحف تُظهر كيف يمكن أن تكون الفراغات **التفاعلية**، حيث تتغير **الأنماط البصرية** والتفاعلية بناءً على تفاعل الزوار مع التقنيات المختلفة داخل المعارض. تصميم الجدران المنحنية والخطوط السائلة يعزز من التأثير **الحسي** و **البصري** للمكان، مما يجعل كل زاوية تجربة جديدة تمامًا.

متحف المستقبل في دبي هو نموذج رائع لدمج **التصميم البارامتري** و **العمارة السائلة** في الشرق الأوسط. يبرز هذا المشروع كيف يمكن أن يكون للمباني المعمارية تصميم مستقبلي مرن وقابل للتكيف مع احتياجات المستخدمين. كما يمثل **متحف المستقبل** خطوة هائلة نحو **الاستدامة** و **التكنولوجيا المتقدمة** في العمارة، حيث تدمج هذه الأساليب مع البيئة المحيطة والمناخ. يعتبر هذا المشروع مصدر إلهام للمصممين المعماريين في المنطقة والعالم، ويستحق أن يكون أحد أبرز الأمثلة على الابتكار المعماري في العصر الحالي.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

صورة (١٤,١٥,١٦,١٧) لمتحف المستقبل في دبي تبين دمج خوارزميات الحاسب الالي مع مفهوم العمارة السائلة (https://www.archdaily.com/983458)

الدراسة الثانية: مركز نيوم للرياضات المائية(NEOM Aquatics Sports Center)

الموقع :المملكة العربية السعودية – ساحل البحر الأحمر، ضمن مدينة نيوم المستقبلية

المصمم : NOX Architects (Lars Spuybroek)

الوضع التنفيذي :مشروع لم يُنشأ حتى تاريخ إعداد الدراسة، ويُعد في مرحلة التصميم والتخطيط

صورة (١٨,١٩,٢٠,٢١) تُظهر تكامل الشكل المتدفق مع التوليد البارامتري الذكي (https://nox-architects.com/projects/neom-aquatics-sports-center)

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

يُعد مشروع مركز نيوم للرياضات المائية (NEOM Aquatics Sports Center)أحد أبرز التطبيقات المعاصرة لمفهوم العمارة السائلة، وقد تم تصميمه من قبل مكتب NOX Architectsبقيادة المعماري الهولندي Lars Spuybroek، المعروف بمشاريعه التي توظف الخوارزميات التصميمية والبيئات التفاعلية. يقع المشروع على ساحل البحر الأحمر ضمن مدينة نيوم المستقبلية، ويُعد جزءًا من منصة رياضية مبتكرة تهدف إلى تطوير فضاءات تدمج بين الأداء الرياضي، والتجربة الحسية، والتكنولوجيا البيئية الذكية.

يتّخذ المشروع من السيولة محورًا جوهريًا في صياغته المعمارية، ليس فقط من حيث الشكل الانسيابي للأسطح والفراغات، بل من خلال رؤية وظيفية تتجاوز الفضاء الثابت نحو بيئة حركية متغيرة .تُظهر التكوينات المعمارية تداخلًا سلسًا بين الأرض والسقف والجدران، حيث تُشكّل جميعها سطحًا عضويًا موحّدًا يُجسّد مفهوم "الكتلة المتدفقة". وتُستخدم هذه اللغة التصميمية للتعبير عن الانسياب المائي الذي يُحاكي البيئة البحرية المحيطة، ما يجعل من العمارة امتدادًا للمحيط الطبيعي لا عنصرًا منفصلًا عنه.

اعتمد المشروع على تحليل المعطيات البيئية والمناخية باستخدام أدوات تصميم رقمية (Parametric Environmental Modeling)، بهدف توجيه الفتحات، وتشكيل الواجهات، وتنظيم مسارات الحركة الداخلية. كما تم توظيف تقنيات بناء مرنة ومواد ذكية (Responsive Materials)تسمح للفراغات بأن تُعاد تشكيلها جزئيًا وفقًا للاستخدام أو الظروف المحيطة، مما يعكس أحد أبرز محددات العمارة السائلة: التفاعل المستمر مع الزمان والمكان.

ويتميز المركز بخاصية الانفتاح التام على التجربة البشرية، إذ لا يُقدّم الفضاء الداخلي كمجرد وعاء لأنشطة رياضية، بل كمجال تفاعلي يستجيب لحركة المستخدم، سواء كان على اليابسة أو في الماء. كما أن التجربة الحسية –من حيث الإضاءة، الصوت، التهوية، والملمس – تُصاغ بعناية رقمية لتتكامل ضمن بيئة معمارية متعددة الأبعاد.

تُبرز هذه الحالة الانتقال النوعي للعمارة السائلة من التمثيلات النظرية المبكرة (مثل أعمال نوفاك أو غريغ لين)، إلى تطبيق واقعي في مشروع متعدد الوظائف على نطاق حضري .ويُمثل المشروع نقطة التقاء بين العمارة الرقمية، الأداء البيئي، والمرونة الوظيفية، مما يُرسخ موقع العمارة السائلة كأحد توجهات التصميم المستقبلي القادرة على إعادة تعريف العلاقة بين الشكل والوظيفة والسياق.

الدراسة الثالثه : جناح الصين في إكسبو ميلانو ٢٠١٥

تصميم: جامعة تسينغهوا(Studio Link-Arc +)

شكل (٧،٦) لجناح الصين في إكسبو ميلانو٢٠١٥
(https://www.archdaily.com/627497)

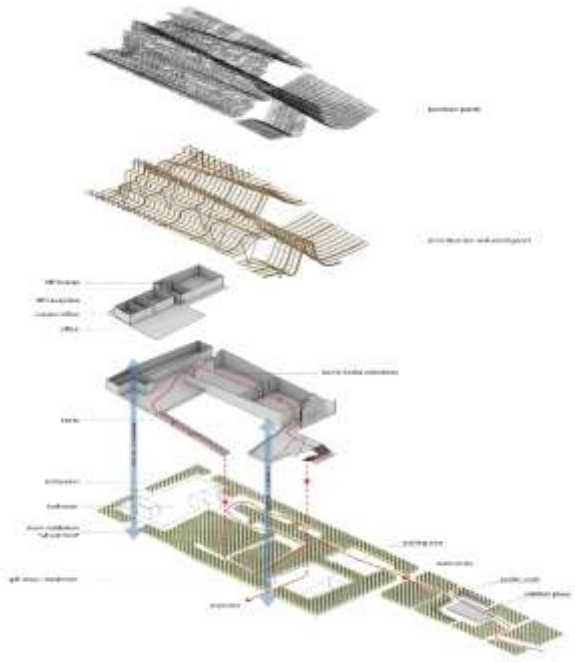
(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

يُعد جناح الصين في معرض إكسبو ٢٠١٥ في ميلانو من أبرز الأمثلة على التكامل بين التصميم البارامتري ومفاهيم العمارة السائلة في مشروع معماري يجمع بين الرمز الثقافي والابتكار التقني. صُمم الجناح في إطار موضوع "أرض الأمل" ليُعبّر عن العلاقة المتناغمة بين التقاليد الزراعية الصينية والحداثة المعمارية، وتم تطويره من خلال شراكة بين جامعة تسينغهوا الصينية ومكتب Studio Link-Arc الأمريكي.

استند التصميم إلى مفهوم الانسيابية في الانتقال المكاني، حيث اختفى التقسيم التقليدي بين الداخل والخارج، وتحوّلت المسارات إلى تجربة مستمرة من الحركة البصرية والجسدية. السقف المتموج المستلهم من الحقول المدرّجة في جنوب الصين تم توليده باستخدام أدوات التصميم البارامتري (Rhino + Grasshopper)، ما أتاح إنتاج شكل عضوي عالي الدقة ومتجاوب مع المعايير البيئية هذا الشكل لم يكن تجريبيًا فقط، بل وظيفيًا أيضًا، إذ مكّن من خلق منطقة ظل طبيعية توفر الراحة الحرارية للزوار.

أبرز ما يميز المشروع هو دمج الاستراتيجيات البارامترية في تكوين الهيكل الخشبي، الذي تم تنفيذه بتقنية .Glulam هذه الاستراتيجية مكّنت من تقليل العناصر الداعمة، وتحقيق امتدادات واسعة دون التضحية بالثبات الإنشائي. كما تم استخدام خوارزميات للتحكم بتوزيع الكتل والفراغات أسفل السقف بما يتناسب مع تدفق الزوار، والإضاءة الطبيعية، ومسارات التهوية، مما جعل التصميم "يعمل" كنظام ديناميكي أكثر من كونه مجرد تركيب بصري



شكل (٨) توضح دمج الاستراتيجيات البرامترية في تكوين الهيكل الخشبي
(https://www.archdaily.com/627497)

(ISSN 2537-1061) (Print)

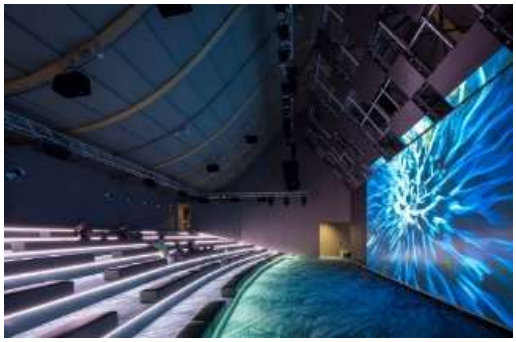
(ISSN 2537-107X) (Online)

من الناحية الحسية، يُقدم الجناح تجربة فراغية فريدة من خلال دمج الوسائط الرقمية مع التكوينات المادية. فعلى أرضية المعرض، وُظّفت أكثر من ٢٢,٠٠٠ وحدة LED لتشكيل حقل ضوئي تفاعلي ينبض بالحركة استجابة لمرور الزوار، في محاكاة شاعرية لحركة سنابل القمح في الرياح. هذا الانصهار بين الشكل الرقمي والطبيعة الحسية هو تجسيد مثالي لفلسفة العمارة السائلة، حيث لا يُفهم الفراغ من خلال ثباته، بل من خلال تدفقه

رغم قوة المفهوم المعماري والتنفيذ التقني، إلا أن الجناح واجه بعض التحديات المرتبطة بإدراك المستخدم للفراغ الداخلي. فغياب التسلسل الواضح للمحتوى المعروض، واعتماد التجربة على الحدس الحركي والبصري دون توجيه صريح، أدى في بعض الحالات إلى شعور بالتيه لدى الزائرين. هذا يطرح إشكالية في التوازن بين الطموح الشكلي والتواصل الإدراكي، وهي قضية مركزية في النقد المعماري

للتصاميم التجريبية استخدم المشروع مواد خفيفة ومستدامة كالخيزران والأخشاب اللاصقة، مع دمج أنظمة تهوية طبيعية وإضاءة منخفضة الاستهلاك، مما يعزز من الأداء البيئي الكلي للجناح. إلا أن ملاءمة هذه المواد للظروف المناخية الأوروبية أثارت بعض التحفظات، خصوصًا من حيث الأداء طويل الأمد، ما يدعو إلى دراسة أعمق لمعادلة المواءمة بين الشكل المستدام والسياق

المناخي.جناح الصين في إكسبو 2015 هو أكثر من مجرد مشروع عرض؛ إنه بيان معماري متعدد الطبقات يجمع بين اللغة الرقمية، والانسياب الحسي، والرؤية الثقافية .وبرغم بعض الملاحظات النقدية، فإنه يمثل نقلة نوعية في فهم كيف يمكن للعمارة أن تروي سردية ثقافية من خلال أدوات رقمية متقدمة، ويُعد مرجعًا أكاديميًا وتطبيقيًا هامًا لكل من يدرس التصميم الداخلي المعاصر في ضوء العمارة التفاعلية



صورة (٢٤,٢٣,٢٢) معرض اكسبو الصين في ميلانو توضح الفكرة التصميمية

(https://www.archdaily.com/627497)

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

العلاقة بين التصميم البارامتري والعمارة السائلة

تتجلى العلاقة بين **التصميم البارامتري** و**العمارة السائلة** في سعيهما المشترك إلى تجاوز حدود الأشكال الهندسية الصلبة، وتبنّي حلول ديناميكية تتفاعل مع المتغيرات البيئية والوظيفية والإنسانية. وتجدر الإشارة إلى أن **البدايات الأولى لكسر النماذج الهندسية التقليدية لا تعود إلى هذا الدمج، بل إلى المفاهيم التي طرحتها "الهندسة الكسيرية Fractal) " (Geometry**، والتي مهّدت الطريق أمام التفكير في أشكال غير خطية وفوضوية منظمة ترتبط بالطبيعة والنسق البيئي. ومع تطور الأدوات الرقمية، أصبح التصميم البارامتري أحد أكثر الوسائط قدرة على **تفعيل تلك المفاهيم وتطويعها في المجال المعماري والتصميمي**.

في هذا السياق، تمثل العمارة السائلة فلسفة تصميمية تعبّر عن السيولة والتدفق واللا-ثبات، بينما يوفّر التصميم البارامتري الوسيط الحوسبي القادر على تحويل هذه المفاهيم إلى نظم إنشائية قابلة للتنفيذ. من خلال التحكم بالمعايير (Parameters)وربطها بالبيانات البيئية والوظيفية، يُمكّن التصميم البارامتري المصممين من توليد أشكال مرنة تتجاوز منطق الزوايا الحادة والتكوينات الخطية.

وتُعد الأشكال المنحنية والعضوية سمة أساسية في العمارة السائلة، تعكس الفوضى المنظمة والتغير المستمر، وهي سمات يصعب تحقيقها بدقة دون استخدام أدوات التصميم البارامتري. فعند تصميم واجهات معمارية تتفاعل مع الرياح أو الضوء، تُستخدم البرمجيات البارامترية لتوليد نماذج استجابية ديناميكية قادرة على التكيف مع هذه المتغيرات.

يظهر هذا التكامل جليًا في نماذج تصميمية حديثة مثل **متحف المستقبل في دبي**، الذي يمزج بين الانسيابية الشكلية للعمارة السائلة والدقة الرياضية للتصميم البارامتري، إذ تم توليد شكله البيضاوي المعقّد باستخدام خوارزميات رقمية متقدمة. يعكس هذا الدمج التحوّل من التصميم القائم على التشكيل الثابت إلى التوليد القائم على البيانات.

وهكذا، يوفّر التقاطع بين التصميم البارامتري والعمارة السائلة بنية فكرية تسمح بتجاوز التفكير الخطي، وتبنّي منهجيات تعتمد على التكرار والتحليل الحي للمعطيات. وفي السياقات التعليمية والبحثية، يعزز هذا الدمج التوجهات متعددة التخصصات، ويجسد الانتقال من "الفراغ الجامد" إلى "البيئة التفاعلية الذكية"، بما يواكب متطلبات المستخدم العصري من حيث الراحة النفسية والتجاوب الوظيفي

دراسة نقدية لمشروع يُساء أحيانًا تصنيفه كعمارة سائلة

ثم استخدم متحف جوجنهايم كـ حالة توضح الفرق المفاهيمي بين العمارة التفكيكية والعمارة السائلة.

يُعد متحف جوجنهايم بلباو (١٩٩٧) للمعماري فرانك جيري من أبرز الأمثلة المعمارية التي يتم تصنيفها خطأً ضمن "العمارة السائلة" نظرًا لأشكالها المنحنية والديناميكية. إلا أن هذا المشروع يُجسّد في جوهره مبادئ العمارة التفكيكية، لا سيما من حيث التفكيك التركيبي، والتشظي البصري، واعتماد التكوين اللا-خطّي، وهو ما أكده جيري نفسه في العديد من الحوارات .ومن هنا، تُدرج هذه الدراسة ضمن البحث ليس بوصفها تمثيلاً للعمارة السائلة، بل كنموذج إشكالي يعكس الخلط المفاهيمي في تصنيف المشاريع المعاصرة. ويهدف تحليل هذه الحالة إلى إبراز حدود وسمات العمارة السائلة مقارنة بالأنماط الشكلية التي تشترك معها في بعض الخصائص البصرية، لكنها تختلف عنها جذريًا في النية التصميمية والمنهج البنائي.

جدول مقارنة نقدية بين العمارة التفكيكية والعمارة السائلة .ويهدف تحليل هذه الحالة إلى إبراز حدود وسمات العمارة السائلة مقارنة بالأنماط الشكلية التي تشترك معها في بعض الخصائص البصرية، لكنها تختلف عنها جذريًا في النية التصميمية والمنهج البنائي.

فعلى الرغم من أن مبنى متحف جوجنهايم يتميز بواجهات منحنية وانسيابية تبدو وكأنها تنتمي إلى مفاهيم السيولة، إلا أن هذه التكوينات لم تُنتج عبر أدوات توليدية أو برمجيات خوارزمية بالمعنى المرتبط بالعمارة السائلة، بل جاءت نتيجة عمليات تفكيك واعٍ للأشكال والكتل، وتجريب حاد في هندسة الكتلة والتكوين المعماري. العمارة السائلة، في المقابل، تقوم على معايير بيئية وتفاعلية دقيقة، تتضمن استخدام الخوارزميات والنمذجة الرقمية لتشكيل فراغات مرنة قابلة للتكيّف الحي مع المستخدم والسياق، وهو ما لا يتوافر في حالة جوجنهايم.

وبذلك، يمثل متحف جوجنهايم بلباو حالة نقدية تساعد على **إعادة ضبط الخطاب المعماري**، من خلال توضيح أهمية عدم الخلط بين الانسياب الشكلي والانسياب المفاهيمي والوظيفي. فكل عمارة ذات شكل عضوي ليست بالضرورة "سائلة"، كما أن الشكل المتحرر من الصرامة الهندسية لا يعني دومًا أنه ناتج عن تفكير توليدي أو بيئي. يُظهر هذا التمييز كيف أن **العمارة التفكيكية** و**العمارة السائلة**، على الرغم من تقاطعهما البصري في بعض الأحيان، إلا أنهما يعبران عن **مسارين**

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

فكريين وتقنيين مستقلين يتطلبان قراءة دقيقة ومتعمقة لفهم نواياهما وأدواتهما ونتاجهما المكاني

.

صورة (٢٥) (٢٦) توضح العمارة التفكيكية في متحف جوجنهايم

جدول مقارنة نقدية بين العمارة التفكيكية والعمارة السائلة

جدول (١) يوضح الفرق بين العمارة السائلة والعمارة التفكيكية

العمارة السائلة(Liquid Architecture)	العمارة التفكيكية(Deconstructivism)	البند
ظهرت أوائل التسعينات عبر مقال Novakثم تطورت مع العمارة الرقمية	ظهرت في أواخر السبعينات وتبلورت في معرض MoMAعام ١٩٨٨	**النشأة الزمنية**
مستمدة من نظريات السيولة، الأنظمة الديناميكية، والبيئات التفاعلية	مستمدة من فلسفة جاك دريدا (التفكيك) والاتجاه ما بعد البنيوي	**الأساس الفلسفي**
خلق بيئة مرنة، متغيرة، ديناميكية تتفاعل مع المستخدم والسياق	التشكيك في النمطية، وتحطيم ثوابت الشكل التقليدي	**النية التصميمية**
يُركّز على الترابط، الانسياب، والنمذجة الحركية	يُركّز على التشظي، التراكب، والتلاعب بالكتلة	**المنهج البنائي**
انحناءات ناعمة، سلاسة بصرية، تداخل بين الفضاءات، تواصل عضوي	زوايا حادة، لا-تماثل، تصادم بصري، تشويش هندسي	**السمات الشكلية**
أدوات رقمية متقدمةGrasshopper :، Rhino، الخوارزميات التوليدية	أوتوكاد، ٣ds Max، تشكيل يدوي أو برامجي تقليدي	**أدوات التصميم**
تفاعل مباشر مع المناخ، الضوء، الصوت، والبيانات الزمنية	علاقة محدودة مع البيئة، التأثير بصري وجمالي بالدرجة الأولى	**البيئة والتفاعل**
يتعامل مع المستخدم كجزء نشط في تكوين التجربة	يتعامل مع المستخدم كمتلقٍ بصري للتجربة	**العلاقة مع المستخدم**
مواد ذكية، متجاوبة، قابلة للتشكيل (responsive/smart materials)	معادن، زجاج، خرسانة بأشكال حرة	**المواد المستخدمة**

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

جدول مقارنة بين العمارة البارامترية والعمارة السائلة

جدول (٢) يوضح الفرق بين العمارة السائلة والعمارة البارمترية

العمارة السائلة(Liquid Architecture)	العمارة البارامترية(Parametric Architecture)	البند
ظهرت فكريًا في التسعينات (Novak, 1991) وتبلورت مع التصميم التفاعلي	ظهرت بقوة في أوائل الألفينات مع تطور الخوارزميات وأدوات التصميم الرقمي المتقدم	النشأة الزمنية
دمج العمارة مع السيولة والتحوّل والتفاعل – مستوحاة من الحركة والعضوية	تصميم موجه بالمعايير – (parameters) الأشكال تُولّد وفق علاقات رياضية بين عناصر	الأساس الفلسفي
توليد بيئات ديناميكية مرنة تتفاعل مع الزمان والسياق والمستخدم	إنتاج أشكال معقدة قابلة للتحكم والتحول عبر برمجيات رقمية	النية التصميمية
برمجيات محاكاة سلوكية + واجهات تفاعلية + نمذجة بيئية ديناميكية	أدوات توليدية Rhino + Grasshopper – خوارزمية تعتمد على الربط بين المعايير	أدوات التصميم
تعتمد على استجابة مباشرة وحية للمؤثرات البيئية ضمن سلوك مائع ومتغيّر	تستجيب غالبًا للبيئة ضمن شروط رقمية (شمس، رياح، صوت) عبر معايير قابلة للتعديل	العلاقة مع البيئة
تفاعلية مستمرة – يتغير الفراغ أو السطح أو الاستجابة وفق المستخدم أو الزمن	غير تفاعلية غالبًا – يُصمم النظام مسبقًا لكن لا يتغير تلقائيًا بعد التنفيذ	العلاقة مع المستخدم
يدمج الشكل بالسلوك والوظيفة ضمن نظام حي ومتجاوب	يعتمد على التحكم الدقيق في الشكل عبر علاقات رقمية، أحيانًا بدون علاقة مباشرة بالوظيفة	المنهج البنائي
أشكال انسيابية عضوية، لكنها تُظهر تدفقًا حسيًا وتفاعليًا لا شكليًا فقط	أشكال هندسية معقدة، ناعمة، متعددة الانحناءات والانسياب	المخرجات الشكلية
يركز على تجربة المستخدم، والإدراك الحسي، والانسياب الداخلي والخارجي	يركز على التنسيق بين الأنظمة الرقمية (Structure + Form + Logic)	التركيز الوظيفي
تُستخدم مواد ذكية وتفاعلية، قادرة على التغير أو الاستجابة مثل واجهات ميكانيكية	يمكن أن تكون تقليدية (زجاج، حديد، خرسانة) تُنفّذ وفق النموذج الرقمي	المواد المستخدمة
مرونة زمنية حيّة: تتغير خلال الاستخدام أو تتفاعل لحظيًا مع المتغيرات	مرونة رقمية وقت التصميم فقط، غالبًا غير قابلة للتغير بعد البناء	المرونة الزمنية

الدور التمكيني للتصميم البارامترى في تجسيد مفاهيم العمارة السائلة

يشكّل التصميم البارامتري حجر الأساس في إمكانية تحقيق العمارة السائلة، إذ يُوفّر أدوات رقمية متقدمة تسمح بتوليد أشكال منحنية وعضوية تتجاوز القيود التقليدية للتصميم المعماري. فعلى عكس الأنماط الهندسية الصلبة، تتطلب العمارة السائلة قدرة عالية على تشكيل الكتل والفراغات بطريقة تتفاعل مع الحركة والبيئة المحيطة. وهنا، يبرز التصميم البارامتري كأداة تمكينية تسمح بترجمة هذه الرؤى المفاهيمية إلى واقع ملموس يمكن نمذجته، اختباره، وتعديله في بيئة حاسوبية دقيقة.

من خلال برمجيات مثل Grasshopperو Rhino، يتمكن المصمم من التحكم الدقيق في المتغيرات الشكلية والإنشائية، وهو ما يسمح بتوليد تكوينات لا خطية ومرنة يمكن تخصيصها واستجابتها للمعطيات البيئية أو السلوكية. هذا النوع من التصميم، الذي يُعرف بـ "التوليد التفاعلي"، يُمكّن المعماري من تجاوز مجرد إنشاء شكل بصري جمالي، نحو صياغة تجربة معمارية متغيرة وديناميكية تتماشى مع مبادئ العمارة السائلة.[27]

تحقيق الأشكال المعقدة التي تتطلبها العمارة السائلة كان في السابق يواجه تحديات كبيرة على مستوى التنفيذ، أما اليوم، فإن التصميم البارامتري أتاح للمصممين إمكانية إنتاج هذه التكوينات بدقة هندسية متناهية، وربطها بالبيانات البيئية والوظيفية، مما أضفى بعدًا عمليًا على ما كان يُعتبر سابقًا خيالًا بصريًا.

ويُعد مركز حيدر علييف في باكو مثالًا تطبيقيًا بارزًا على هذا التكامل، حيث استُخدمت أدوات التصميم البارامتري لتوليد الهيكل المعقد والمنحنيات الانسيابية للمبنى، بما يحقق فلسفة العمارة السائلة في التعبير عن التدفق والحركة والاستمرارية المكانية.[24 ص١٧]

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

في المجمل، فإن التصميم البارامتري لا يعمل فقط كوسيلة لتحقيق العمارة السائلة، بل يشكّل جزءًا لا يتجزأ من بنيتها المفاهيمية والتنفيذية. إذ يربط ما بين الفكر التصميمي المعقد وإمكانية التمثيل الهندسي الفعلي، مما يُعيد تعريف المعمار بوصفه نظامًا حيًا ومتجاوبًا مع المتغيرات، لا كتلة جامدة مستقلة.

إعادة تعريف التصميم الداخلي من خلال تقنيات التصميم البارامتري والعمارة السائلة: نحو بيئات تفاعلية ومستدامة

في ظل التحولات الرقمية المتسارعة، يعاد تعريف التصميم الداخلي من خلال أدوات وتقنيات لم تكن متاحة سابقًا، أبرزها التصميم البارامتري والعمارة السائلة. يُتيح التصميم البارامتري للمصممين استخدام خوارزميات حاسوبية لتوليد أشكال وهياكل مرنة قابلة للتكيف مع المدخلات البيئية والسلوكية، مما يجعل الفراغ الداخلي أكثر استجابة ومرونة [6].

أما العمارة السائلة، فهي فلسفة تصميمية تنبثق من مفاهيم الحركة والتحول والانسيابية، وتطمح إلى تجاوز الجمود الهندسي لصالح الفراغات الديناميكية التي تُحاكي الأشكال العضوية وتدعو المستخدم للتفاعل المكاني المستمر [٢٥].

في هذا السياق، لا تعود البيئة الداخلية مجرد وعاء وظيفي، بل تصبح تجربة معيشية تتغير باستمرار.

وقد أظهرت دراسات حديثة أن الدمج بين هذين التوجهين يُنتج فراغات داخلية فريدة من نوعها: تفاعلية، متكيفة، ومستجيبة للبيانات الحسية والبيئية. التصميم البارامتري يُعد الأداة التكنولوجية اللازمة لترجمة انسيابية العمارة السائلة إلى واقع معماري قابل للبناء والتحكم الرقمي، وذلك من خلال أدوات مثل Rhino و Grasshopperهذه البيئة البرمجية لا تقتصر على إنتاج الشكل، بل تتحول إلى منظومة فكرية تمكّن المصمم من التفكير المنطقي والتكراري في العلاقات التصميمية.

وقد بيّنت تجارب معمارية مثل مركز حيدر علييف في باكو، ومتحف المستقبل في دبي، أن هذا الدمج يفتح أفقًا غير مسبوق نحو بيئات داخلية تنطوي على قابلية التكيّف مع الأنشطة البشرية، وتُعيد صياغة حدود الحسي والفيزيائي في التصميم الداخلي

من جهة أخرى، هذه الفلسفة التصميمية تتطلب إعادة هيكلة في طريقة تدريس التصميم الداخلي، حيث يجب تدريب المصمم على البرمجة، المحاكاة البيئية، وتوليد النماذج الديناميكية، بدلًا من الاقتصار على المهارات التقليدية.

ورغم التحديات التقنية والتكلفة المرتفعة نسبيًا، فإن هذه الاستراتيجيات الرقمية تقدم فرصًا استثنائية لإنتاج تصميمات داخلية قائمة على الأداء البيئي، وتعزز من مرونة الاستخدام، مع إمكانيات تخصيص عالية لمراعاة احتياجات الفرد والمجتمع.

تحديات تطبيق التصميم البارامتري في الواقع العملي:

رغم ما يقدّمه التصميم البارامتري من إمكانيات ابتكارية في تشكيل الفضاءات الداخلية، إلا أن تطبيقه على أرض الواقع يواجه جملة من التحديات التقنية والاقتصادية والسلوكية.

أول هذه التحديات تكمن في **ارتفاع تكلفة التنفيذ**، نتيجة الحاجة إلى تقنيات تصنيع متقدمة مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد أو القطع بالليزر، والتي تتطلب تجهيزات مهنية مكلفة، إضافة إلى استهلاكها للوقت والموارد في مرحلة النمذجة والتحقق الرقمي.

ثانيًا، يتطلب التصميم البارامتري **فريق عمل يمتلك خبرات عالية في البرمجة المعمارية والنمذجة الخوارزمية**، وهو ما قد لا يتوفر دائمًا في المكاتب التقليدية، مما يحد من انتشاره على نطاق واسع.

كما يُضاف إلى ذلك **تحدي تقبّل المستخدم النهائي**، إذ أن بعض الفراغات الناتجة عن التصميم البارامتري – رغم تفرّدها البصري – قد تبدو غير مألوفة أو معقدة من حيث الاستخدام اليومي، مما يفرض على المصممين التفكير في توازن دقيق بين التعبير الجمالي وراحة المستخدم.

وتؤكد الدراسات أن نجاح التصميم البارامتري لا يرتبط فقط بالإبداع الشكلي، بل يعتمد أيضًا على دمجه ضمن **سياقات تنفيذ واقعية ومستدامة** تأخذ بالاعتبار كفاءة الطاقة، تكاليف الصيانة، ومرونة الاستخدام.[13]

أثر التصميم البارامتري على جودة الفراغ الداخلي:

يُحدث التصميم البارامتري تحوّلاً جوهريًا في مفهوم جودة الفراغ الداخلي من خلال تقديم حلول تصميمية عالية الدقة تستجيب للعوامل البيئية والوظيفية والإنسانية في آنٍ واحد.

تبدأ مساهمة التصميم البارامتري بتحليل **السياق المكاني والبيئي** للفراغ عبر بيانات دقيقة (مثل الضوء، الحرارة، الصوت)، مما يُتيح تشكيل فراغات تتكيف مع الظروف المحيطة وتوفر راحة حسية متقدمة للمستخدم.

على المستوى الوظيفي، يسمح الربط البرمجي بين عناصر التصميم بتحقيق **مرونة عالية في التوزيع المكاني**، ما يدعم تنقلًا أفضل، وانسيابية حركية داخل الفضاء، خاصة في

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

البيئات التعليمية، التجارية، أو التفاعلية. أما من الناحية الجمالية، فإن الأشكال الناتجة عن التصميم البارامتري تميل إلى الانسيابية والتناغم البصري، مما يعزز من **الإدراك الإيجابي للفراغ** ويُولّد تجربة مكانية غير تقليدية تدمج بين الحداثة والوظيفة.
إضافة إلى ذلك، تُساهم الأنظمة الذكية الناتجة عن العمليات البارامترية في تحسين كفاءة استخدام الطاقة عبر التحكم في الفتحات، الظلال، والتهوية الطبيعية، مما يرفع من **أداء الفضاء الداخلي** بيئيًا واقتصاديًا.
وتُجمع الدراسات المعاصرة على أن التصميم البارامتري لا يُحسّن الشكل فحسب، بل يُعيد تعريف العلاقة بين الإنسان والفراغ، عبر نهج **تفاعلي متكامل** يعكس احتياجات المستخدمين المتغيرة [13]

النتائج والتوصيات

النتائج:

١. **تحقيق مرونة تكيفية في التصميم الداخلي باستخدام الخوارزميات الرقمية**

أثبتت الدراسة أن التصميم البارامتري يُمكّن المصممين من توليد فراغات داخلية ديناميكية قابلة للتكيّف مع سلوك المستخدم والظروف البيئية المتغيرة، من خلال توظيف النمذجة الخوارزمية في صياغة حلول تصميمية غير جامدة.

٢. **إعادة تعريف العلاقة بين الإنسان والفراغ من خلال العمارة السائلة**

كشفت الحالات المدروسة أن الفراغات السائلة قادرة على خلق تجربة حسية متغيرة ترتكز على التدفق البصري والانسيابية، مما يعزز التفاعل الشعوري والحركي مع عناصر البيئة الداخلية.

٣. **تكامل الشكل والوظيفة من خلال التصميم الرقمي المتقدم**

أظهرت التجارب أن التصميم البارامتري يدمج المعايير البيئية والهندسية ضمن البنية الشكلية للفراغ، مما ينتج حلولًا تصميمية ذات كفاءة وظيفية وجمالية في آن واحد، كما في تصميم متحف المستقبل في دبي .

٤. **الاعتماد المتبادل بين التصميم البارامتري والعمارة السائلة**

تُشير النتائج إلى أن العمارة السائلة لا يمكن تحقيقها فعليًا دون الأدوات الرقمية البارامترية، نظرًا لحاجتها إلى إنتاج أشكال منحنية معقدة وترابطات عضوية دقيقة، وهو ما توفره برمجيات التصميم الحسابي بكفاءة لا تضاهى.

٥. **إعادة صياغة مفهوم الفراغ الداخلي التقليدي**
أثبتت الدراسة أن توظيف التصميم البارامتري مع العمارة السائلة يحرر الفراغ الداخلي من التقسيمات الصلبة والتصنيفات النمطية، ما يفتح المجال أمام بيئات وظيفية مرنة وقابلة لإعادة التشكيل وفق الاستخدام والتفاعل البشري.

٦. **فرص تعليمية واعدة في المناهج الأكاديمية**
أظهرت نتائج التحليل أن دمج التصميم البارامتري ضمن التعليم الأكاديمي يعزز مهارات التفكير التصميمي التحليلي لدى الطلاب، ويدفعهم نحو إنتاج حلول مبتكرة منسجمة مع التطورات الرقمية والتقنية في مهنة التصميم المعماري.

التوصيات:

١. دمج التحليل البيئي المبكر (Environmental Simulation)في مرحلة التصميم، لا سيما تحليل الإضاءة الطبيعية والتهوية، بهدف توليد نماذج بارامترية تستجيب للمناخ والسياق المكاني، ما يُحسن من جودة الراحة الحرارية والبصرية داخل الفراغ.

٢. استخدام أدوات التصميم الخوارزمي) مثل : (Grasshopper, Dynamoلتوليد حلول تصميمية قابلة للتخصيص حسب احتياجات المستخدمين، خاصة في المساحات متعددة الاستخدام، مما يعزز من مرونة توزيع الأثاث، وتكيّف المساحة بمرور الوقت.

٣. الاستفادة من الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج مكونات داخلية مخصصة (كالفواصل، الأثاث، الأسقف) بأشكال تتبع البيانات المدخلة بدقة، مع التركيز على استخدام مواد خفيفة ومستدامة.

٤. توظيف واجهات تفاعلية (Responsive Systems) تعتمد على المجسات أو الأنظمة الذكية (مثل: واجهات قابلة للتحرك أو التعتيم) لضبط جودة الإضاءة والصوت والحرارة بناءً على سلوك المستخدم.

٥. تصميم نظم إنشائية داخلية غير تقليدية تعتمد على الشبكات البارامترية التي تقلل الحاجة إلى الأعمدة أو الحواجز، مما يفتح المجال لتدفق حركي أفضل ويزيد من الشعور بالاتساع والراحة النفسية.

٦. اعتماد نهج التصميم التكراري (Iterative Design) الذي يُمكّن من اختبار أكثر من سيناريو فراغي بناءً على

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

أداء التصميم، قبل تثبيته، وهو ما يحسّن من القرارات النهائية ويرفع جودة المنتج التصميمي.

٧. تدريب فرق التصميم الداخلي على استخدام البرمجيات المرتبطة بالنمذجة البارامترية، ودمج ذلك في منظومة العمل اليومية لضمان جودة التصميم وتجنب الاعتماد الكامل على المخيلة أو الحدس دون تأكيد بياناتي.

الخاتمة

في ضوء ما سبق، يتضح أن التصميم البارامتري والعمارة السائلة يشكلان معًا ثنائية مفاهيمية وتطبيقية أحدثت نقلة نوعية في ممارسات التصميم الداخلي المعاصر. فقد أظهرت نتائج الدراسة أن دمج هذه المنهجيات لا يُنتج فقط أشكالًا جديدة، بل يُعيد صياغة العلاقة بين المستخدم الفراغ، ويخلق بيئات داخلية تتسم بالمرونة، التفاعل، والقدرة على الاستجابة للمتغيرات الوظيفية والبيئية.

لقد أثبت التصميم البارامتري قدرته على توليد حلول معمارية دقيقة تستجيب للمعايير الهندسية والسياقية في الزمن الحقيقي، بينما أظهرت العمارة السائلة أهمية البُعد الحسي والعضوي في إعادة تشكيل التجربة المكانية داخل الفراغ. ومن خلال تحليل مشاريع مثل متحف المستقبل في دبي ومركز نيوم لرياضات المائية، تبين أن الفراغات الناتجة عن هذا الدمج ليست فقط مبتكرة شكليًا، بل هي فراغات داخلية حيّة تتفاعل مع المستخدم وتُعيد تعريف مفاهيم الوظيفة والجمال.

كما تؤكد هذه الدراسة أن التصميم الرقمي، بكل أدواته وخوارزمياته، يُعد اليوم المحرك الأساسي لإعادة هيكلة منظومة التصميم الداخلي والمعماري، سواء من حيث الإنتاج المعرفي أو الممارسة التقنية. ولم يعد من الممكن تصور مستقبل هذه المهنة دون حضور واضح لتقنيات التصميم الرقمي، التي لم تعد ترفًا إبداعيًا، بل ضرورة ملحة لمواكبة التحولات البيئية والاجتماعية والتكنولوجية.

ومن هنا، يفتح هذا البحث الباب أمام المزيد من الدراسات المتقدمة التي تتناول التفاعل بين الإنسان والفراغ في ظل المعطيات الرقمية، ويحث المصممين والباحثين على إعادة التفكير في حدود الفراغ المعماري من منطلق ما بعد الشكل، نحو فراغ داخلي قابل للتكيف، التخصيص، والتجاوب المستمر مع روح العصر.

المراجع:

١. أحمد، محمد سيف النصر، &عبد الغفار، منى محمد العربي .(2020) .تأثير الوسائط الرقمية على الخصائص التشكيلية للعمارة الحديثة: دراسة تحليلية على العمارة السائلة .مجلة البحوث الهندسية، (167)، AA107– AA127.كلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان.

٢. عفيفي، وائل محمد كامل السيد. (٢٠٢٤). سيكولوجية التصميم الحديث "البارامتري" وأثره على عناصر التصميم الداخلي والأثاث .مجلة الفنون والعلوم التطبيقية، المجلد ١١(٢)، المعهد العالي للفنون التطبيقية، جامعة دمياط.

٣. عبد السعيد، د. ج. (٢٠٢٢). التصميم البارامتري وأثر تطبيقاته على العمارة النحتية .مجلة الفنون والعلوم التطبيقية، العدد التاسع (٢)، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط.

٤. عبد الله، يمنى خالد إبراهيم محمد. (دون تاريخ). الاتجاه البارامتري في التصميم الداخلي وتطبيقه على المعارض التجارية الدولية (رسالة ماجستير غير منشورة). كلية الفنون التطبيقية – قسم التصميم الداخلي والأثاث، جامعة حلوان..

٥. عصام الدين، محمد. (٢٠٠٤). التطور التكنولوجي كمدخل لعمارة القرن الواحد والعشرين (رسالة ماجستير غير منشورة). كلية الهندسة، جامعة القاهرة.

6. Burry, M. (2011). Scripting cultures: Architectural design and programming. John Wiley & Sons. Burry, M. (2011). Scripting cultures: Architectural design and programming. John Wiley & Sons.
7. Cohn, D., & Malafronte, L. C. (2020). Parametric design in architecture: Computers and mathematics in design. Routledge.
8. Dino, I. G. (2012). Creative design exploration by parametric generative systems in architecture. METU Journal of the Faculty of Architecture, 29(1), 207–224.
9. Fox, M. (2018). Challenges and opportunities in contemporary architecture. Architectural Technology Review, 14(3), 92–107.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

10. Ghotmeh, L. (2021). Digital design and fluid form: Innovations in parametric architecture. Springer.
11. Hudson, R. (2010). Strategies for parametric design in architecture: An application of practice-led research (Doctoral dissertation, University of Bath).
12. Jabi, W. (2013). Parametric design for architecture. Laurence King Publishing.
13. Kolarevic, B. (2003). Architecture in the digital age: Design and manufacturing. Taylor & Francis.
14. Lynn, G. (1999). Animate form. Princeton Architectural Press.
15. Mathews, A. (2019). The intersection of digital and sustainable design: A new era of parametric architecture. Journal of Sustainable Architecture, 8(2), 115–129.
16. NOX Architects. (2024). NEOM Aquatics Sports Center. Retrieved from https://nox-architects.com/projects/neom-aquatics-sports-center/
17. Novak, M. (1991). Liquid architecture in cyberspace. Architectural Design, 61(1/2), 14–19.
18. Oxman, R. (2010). Theory and design in the first digital age. Design Studies, 27(3), 229–265. https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.12.003
19. Oxman, R. (2017). Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. Design Studies, 52, 4–39. https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001
20. Oxman, R., & Oxman, R. (2014). Theories of the digital in architecture. Routledge.
21. Pinto, N. (2020). Parametric architecture: Merging digital and organic design. Springer.
22. Schnabel, M. A. (2007). Parametric designing in architecture. In Proceedings of the 12th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures (pp. 237–250). Springer.
23. Schumacher, P. (2008). Liquid architecture: The impact of fluidity in architectural design. Architectural Design, 78(3), 12–19.
24. Schumacher, P. (2016). Parametricism 2.0: Rethinking architecture's agenda for the 21st century. Architectural Design, 86(2), 8–17. https://doi.org/10.1002/ad.2006
25. Sharif, K. M., & Behzad, M. K. (2019). Digital architecture: Design and construction. Design Media Publishing.
26. Spuybroek, L. (2019). Architecture and the fluid. Architectural Press.
27. Tedeschi, A. (2014). AAD: Algorithms-aided design. Parametric strategies using Grasshopper. Le Penseur Publisher.
28. Woodbury, R. (2010). Elements of parametric design. Routledge.
https://www.archdaily.com/422470
https://www.archdaily.com/983458
https://www.archilovers.com/projects/247093/google-event-space.html
https://simplyrhino.co.uk/3d-modelling-software/grasshopper
https://www.archdaily.com/983458
https://www.archdaily.com/627497
https://nox-architects.com/projects/neom-aquatics-sports-center

(ISSN 2537-1061) (Print)
(ISSN 2537-107X) (Online)

Abstract:
This study explores the influence of parametric design and liquid architecture in shaping contemporary interior environments, emphasizing strategies that merge advanced aesthetics with practical functionality. Parametric design employs computational algorithms and digital modeling to produce adaptable spaces that respond to changing user needs, offering broad formal and structural flexibility. In parallel, liquid architecture adds a fluid, dynamic dimension to interior settings, focusing on visual continuity and materials that convey organic movement. Together, these approaches foster a symbiotic relationship between space and user interaction, integrating technological precision with natural form.
In an era of rapid technological advancement, the fusion of parametric design and liquid architecture becomes crucial for creating intelligent, responsive interiors. Innovations like 3D printing and smart materials expand design potential, enabling the development of forms that adapt to environmental and human factors. However, this study also addresses challenges related to cost and implementation, underlining the need for sustainable materials and construction methods to ensure environmental responsibility and long-term viability.
Through selected case studies of pioneering architectural projects, this research demonstrates how integrating these two approaches can effectively balance functional performance with aesthetic innovation. The results underscore the potential of this design philosophy to transform interior spaces into dynamic environments that align with contemporary lifestyles and future demands. By offering both a theoretical foundation and practical insight, the study aims to contribute to the evolution of interior design practices, encouraging professionals to adopt forward-thinking strategies that enhance spatial quality, user experience, and environmental harmony.

Keywords:
Parametric Design, Liquid Architecture, Contemporary Interior Design, Algorithmic Modeling,