Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 17, No. 64, July 2022, 1078 - 1094

TECTONIC ARCHITECTURE AS AN APPROACH TO DESIGNING INTERACTIVE SPACES

Ahmed Mohammed Al Kurdi [1], Saleh Elsayed Hafez [1], Eman Abd El-Haleem Abo Helal [1*]

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

*Corresponding author's E-mail: eman_abdelhaleem.60@azhar.edu.eg

Received: 17 May 2022 Accepted: 19 June 2022

ABSTRACT

This study aims to clarify the importance of tectonic buildings and flexibility of the interactive spaces in them and appears the basic relationship between construction and architecture since the beginning of thinking about the building, And how atectonic construction helps when they are one of the main determinants of the architectural design process to transforming architectural thought from a state of imagination to a state of tangible and visual reality.

This concept has affected the internal and external spaces of the building and its interaction with the environment and the user; so to Understanding the concept of tectonics requires a strong understanding of this concept and Knowing the structural system of the building. When Looking at most of the architectural design processes, we find that the structural form rarely generates the architectural form, but comes to be responsive to design requirements and interconnected with the design concepts of the project .

The importance of the study comes in the lack of research and studies that discussed architectural tectonics and This study will present some discussions regarding tectonics that developed during the past decades, up to the modern era, and the extent of its interrelationship with architecture and construction and discuss the changing concepts of tectonics and the physical and architectural importance of them and their impact on the interaction of the building with its spaces and among the users of these spaces.

Key words: tectonic - structural system - Architectural Design - digital tools - internal spaces - external spaces - the interactive spaces.

العمارة التكتونية كمدخل لتصميم فراغات تفاعلية

احمد محمد الكردي، صالح السيد حافظ ، إيمان عبدالحليم أبوهلال

قسم الهندسة المعمارية , كلية الهندسة , جامعة الازهر, القاهرة , مصر

*البريد الاليكتروني للمؤلف الرئيسي: eman_abdelhaleem.60@azhar.edu.eg

\الملخص

تهدف هذه الدراسه الي توضيح مدي اهميه المباني التيكتونيه ومرونه الفراغات التفاعليه بها وتظهر العلاقة الأساسية بين الإنشاء والعمارة منذ بدء التفكير في المبنى, وكيف يساعد الإنشاء التيكتوني عندما يكونا احد المحددات الرئيسية لعملية التصميم المعماري في تحويل الفكر المعماري من حالة الخيال إلى حالة الواقع الملموس والمرئي ، وقد أثر هذا المفهوم على الفراغات الداخلية والخارجية للمبنى وتفاعلها مع البيئة والمستخدم؛ فالوقوف على مفهوم التكتونية يتطلب إدراكًا قويًّا لهذا المفهوم ، ومعرفة النظام الإنشائي للمبنى. فبالنظر إلى اغلب عمليات التصميم المعماري نجد أن الشكل الإنشائي نادرا ما يولّد الشكل المعماري بل يأتي لكي يكون مستجيب للمتطلبات التصميمية ويترابط مع المفاهيم التصميمية للمشروع وتأتي اهميه الدراسة في قله الأبحاث والدراسات التي ناقشت التيكتونيه المعمارية وستقدم الدراسة بعض المناقشات فيما يتعلق بالتيكتونيه التي تطورت خلال العقود الماضية ,وصولا الي العصر الحديث ومدي ترابطها مع الهندسة المعمارية والإنشائية و مناقشة المفاهيم المتغيرة للتكتونية والأهمية المادية والمعمارية لها وتأثيرها علي تفاعل المبني مع فراغاته وبين مستخدمي هذه الفراغات .

الكلمات المفتاحية : التيكتونيه – النظام الانشائي – التصميم المعماري – الأدوات الرقميه – الفراغات الداخليه- الفراغات الخارجيه – فراغات تفاعليه.

١. المقدمة

أظهر العقد الماضي اهتمامًا متزايدًا فيما يتعلّق بالهيكل والبناء المادي للفضاء والأجسام، وهو ما يعرف بالتيكتونيات المعمارية، وأصبح الجانب العملي والتصنيع الملموس لعالم المواد والبيئات المبنية أكثر تطورًا بكثير عن السابق، وظهر العديد من المفاهيم والمصطلحات في الهندسة المعمارية بحاجة إلى التوضيح، وكان من هذه المفاهيم التي تطورت خلال العقود السابقة مفهوم التكتونية المعمارية، وكيف تحول الفكر الإنشائي الذي يتّصف بالصراحة الإنشائية الناتجة عن تطابق الوظيفة الإنشائية والوظيفة الجمالية إلى المفهوم التيكتوني الذي يرتبط بشكل وثيق بمفهوم النظام الإنشائي والبنية الإنشائية، وقد أثر هذا المفهوم على الفراغات الداخلية والخارجية للمبنى وتفاعلها مع البيئة والمستخدم؛ فالوقوف على مفهوم التكتونية يتطلب إدراكًا قويًّا لهذا المفهوم ، ومعرفة النظام الإنشائي للمبنى.

2.1. فرضية البحث:

مرونة المباني التيكتونية وتعبيرها الفني عن الإنشاء الخارجي والداخلي للمبنى، وتأثيرها الإيجابي على المستخدم.

3.1. منهجية البحث:

المنهج النظري - المنهج الوصفي – المنهج التحليلي

لقد تم استخدام المنهج النظري والمنهج الوصفي التحليلي من خلال إلقاء الضوء على الدارسات السابقة التي تعرضت للمباني التكتونية بشكل تفصيلي. كما تم استخدام المنهج الوصفي من خلال المقارنة والتحليل لفراغات المشاريع المختارة للجزء العملي، وينتهي البحث باستنباط ومناقشة أهم النتائج التي تم التوصل إليها من خلال ما سبق.

4.1. حدود البحث:

تشمل مجموعة من المشاريع في مختلف الأماكن كالمباني التجارية، والتعلمية، والثقافية، والمتاحف، وغيرها مما تم فيه استخدام مفهوم التيكتونية في مختلف الدول العربية والأجنبية.

5.1. المحاور الهامة في البحث:

- دراسة تعريفات التيكتونية الكلاسيكية ومناظرة المعماريّين لها.
- دراسة التيكتونية في العصر الحديث وكيفية تطورها وصولًا إلى الوقت الحالي.
- العوامل التيكتونية.
- دراسةٌ عمليةٌ لبعض المباني لتوضيح مفهوم التيكتونية المعمارية.

6.1.أدوات البحث:

دراسة نظرية – زيارة ميدانية – دارسة تحليلية.

٢. مفهوم التكتونية:tectonic في علم أصول الكلمات (tectonicus) مشتقه من اللغة اليونانية من tektonikós ،بمعني نجار او باني أو البناء بشكل فني ، كما أن مصطلح tektones القديم كان يستخدم فالإشاره إلى العاملين في مجال البناء. [1]

وقد وضح معمارين القرن السابع والثامن عشر التكتونية **باعتبارها ضرورة لإعطاء صفات بصرية للبناء قادرة على إقناع المشاهد بقوته ومصداقيته،** وزاد الاهتمام بها في أوائل القرن التاسع عشر بفهم العمارة اليونانية، وظهرت التكتونية كنظرية في بدايه القرن التاسع عشر، في كتب كارل أوتفريد مولر Müller 1830، وكارل بوتشرBotticher ١٨٤٤م، وفي عام 1851م من قِبَل غوتفريد

سيمبرSemper ، وتم مناقشتها في العصر الحديث من قبل جيفورك هارتونيان Hartonian ١٩٩٤م، وكينيث فرامبتون Frampton ١٩٩٥م. **وتهدف نظرية علم التكتونيات إلى تقوية العلاقة بين الإدراك والخطاب المعماري.** [2]
وفي المناقشات المعاصرة للعمارة الرقمية، تعتبر التكتونيات الرقمية مصطلحًا شائعًا في العصر الحالي بداية من الثقافة واللغة اليونانية، فقد ناقش العديد من المناظرين مثل: كارل بوتشرBötticher، غوتفريد سيمبرSempre ، إدوارد سيكلرSekler ، وكينيث فرامبتون Frampton ، مصطلح علم التكتونيات.
فالنقطة الرئيسية من أطروحة Bötticher على التكتونية هي أن كلّ عمل معماري يمكن تقسيمه إلى الهيكلية والتمثيلية البنائية.
وقد عرفه على أنه الازدواجية بين الهيكل والكسوة الخارجية للمبنى؛ فالتكتونية هي النظام أو المفهوم الذي يربط جميع عناصر المبنى معًا كليًا، **أما سمبير Sempre قام بعمل تقسيم بين المسائل الفنية والرمزية، وتركز على أهمية التماسك بين المواد وطريقة التصنيع.** ويعتبر سمبير Semper أن نقاط التجميع هي الجزء الأقدم والأكثر إنشائية لذلك فإن نقاط التجميع هي أمر حاسم بالنسبة لسمبير Sempre.[1]
ووفقًا لسكلرSekler ١٩٩٥م فإن التعبير التكتوني يعني وجود علاقة غير قابلة للتجزئة بين التعبير الفني والمنطق البناء، ويجب التأكيد عليه مثل مفهومي الفضاء والوظيفة.
أما وفقا لفرامبتون Framptonيمكن أيضًا استخدام مفهوم التكتونية في نقد الهندسة التاريخية لما بعد الحداثة، ويحدّد البعد والبناء المادي للعمارة كأحد أشكال المعارضة لنهج مشهد ما بعد الحداثة. [3]
وفي عام ٢٠١٢م افترضت **أوكسمانOxman** أن العمارة الرقمية المعاصرة حولت التكتونيات الكلاسيكيه إلى تكتونيات رقميه، مما يشير إلى أهمية جديدة لها، ووفقًا لذلك يُنظر إلى المعلومات كنوع من المواد المكونة للمبنى كالخامات، وتشتمل النظرية المعاصرة للكتونيات على مجموعة معينة من أنظمة القيم، وقد ظهرت هذه التقنيات في نهاية القرن العشرين وبداية القرن الحادي والعشرين.
وإن أكثر ما يلفت النظر في علم التكتونيات الرقمية هو طريقة الجمع بين الرياضيات الهندسية وعلم الجمال المعماري من داخل منهج عملي. إلى حدٍ ما، يمكن القول إن العمارة الرقمية والمعايير التفصيلية تجاوزت التوتر النظري بين التكنولوجيا وعلم الجمال. [4]
فالتركيز على **الوضوح الهيكلي، والأهمية المادية، والاهتمام بالتفاصيل** في تجميع مكونات المباني في الهندسة المعمارية يُطلق عليه عادة **التكتونيات المعمارية.**

٣. وصف التيكتونية كمفهوم معماري

إن التكتونية هي القدرة على قراءة المبنى، أو معرفة كيفية تجميع المبنى ويتم بحث العلاقة التيكتونية بين **القوة والشكل** والتحقق منها بمستويين:

- الأول (وصفي): وهو متعلّق بالجانب المادي والشكلي والفيزيائي.
- الثاني (وصفي/ تحليلي): وهو متعلّق بالجوانب الجمالية غير المادية.[5]

١,٣. المستوى الأول: (وصفي) المتعلّق بالجانب المادي والشكلي والفيزيائي، وسيتم فيه بحث: (المباني التيكتونية - المبنى وبناء الفضاء - الفضاء والإحاطة بين الداخل والخارج - أنظمة البناء التيكتوني).

١,١,٣. المباني التكتونية

طبيعة المباني التي ترتبط بالشكل الإنشائي بطبيعتها تكتونية وملموسة بقدر ما هي أشياء بصرية، ومع ذلك، يمكن أن نؤكد أن البناء هو أولًا وقبل كلّ شيء بناء وخطاب تجريدي يستند إلى السطح والحجم، كما يمكن إضافة أن البناء ليس فقط تجربة يومية بقدر ما هو تمثيل للفكرة، وأنه شيء ملموس وليس علامة، فمن خلال وجهة النظر هذه تكون **التكتونية هي فن الارتباط.** [1]
وفي مفهوم النظرية الجمالية تشير التيكتونية إلى الهيكل الإنشائي بطريقتين مختلفتين:
الأولى: تشير فيها التكتونية إلى الهيكل ضمن المفهوم العام للنظام الإنشائي، أي أنها تشير إلى أن هيكل البناء هو شكل المبنى نفسه، وفي هذه الحالة يرتبط بمفهوم النظام الإنشائي الذي يتعامل مع التفاعل الثابت للأحمال مع نقاط ارتكاز الهيكل تحت ظروف عمل القوى المتشابكة: كالجاذبية، وقوى الدفع.
الثانية: تشير التكتونية إلى الإحساس بالنظام الإنشائي مع اختلاف الهيكل؛ فهي تشير إلى الإحساس بالانضمام والإحاطة الفضائية والترابط بين العناصر، وبالتالي يوضح ذلك مظهر المبنى.[4] ووفقًا لذلك فقد اختفت التكتونية من النظرية المعمارية للعمارة الحديثة، ليس كمفهوم بناء تكتوني فقط؛ بل كمفهوم أساس للجمال المعماري.

٢,١,٣. المبنى التكتوني وبناء الفضاء:

يمكن القول إن الفضاء المعماري هو الفضاء البنائي المُعدّ لنشاط إنساني معين؛ فهو يشكّل حياةً ووجودًا، ويتم تنظيمه من خلال ارتباط بعض العناصر المعمارية، مثل: الحوائط، والسقف، والأرضية، ومن خلال تنسيق هذه العناصر، ومع دراسة الألوان والنسب والضوء والظل، وبعض الإضافات، ينتج تكوين يرتبط شكله الوظيفي والجمالي بمتطلبات المستخدم ومعبرًا عن هويته؛ **فالاختلاف الواضح بين شكل الهيكل وشكل المبني يؤدي إلى اختلاف نسبي للبناء التكتوني عن بناء الشكل.** إذ يشكل المبنى والفضاء كيانًا لكلّ من العناصر

الحاملة وغير الحاملة. وبذلك أصبح الفضاء جزءًا لا غنًى عنه في البناء، بحيث يبدو من المستحيل التفكير فيه دون التركيز على الإزاحة المكانية للمبنى في الوقت المناسب، ويذكر أيضًا أنه يمكن تعزيز المساحة بدلًا من الطابع الحجمي للشكل المعماري، من خلال إعادة النظر في القضايا الهيكلية. https://blog.360modern.com/frank-lloyd-wrights-taliesin-west/2018/11[1]

ومن المشاريع التي توضح الفراغ التيكتوني مشروع فرانك لويد رايت في تاليسين ويست Taliesin West بالقرب من فينيكس Phoenix وهو قراءة لطبيعة الموقع وتضاريسه، وأهميته هي إن أصل المبنى من الخرسانة المصبوبة في الموقع، حيث تتناسب الخطوط الرأسية للجدران مع تقنية الصبّ فيما يتعلق بالمناظر الطبيعية، ثم إن إضافة الرمال والأحجار إلى الخليط الخرساني تؤكد بشكل أكبر هذه العلاقة بين العملية والموقع والبناء. [6]

٣,١,٣. الفضاء والإحاطة بين الداخل والخارج:

يأتي دور الإنشاء في ربط الفراغات الخارجية مع الفراغات الداخلية في العمارة المعاصرة، حيث تقدم أحيانًا المنشأة المكشوفة الموجودة على الواجهة الخارجية بعض التشابه مع المنشأة الداخلية. والذي يمكن أن يكون نتيجة لعمليات التصميم التي تبدأ من خلال العناية بالإنشاء الداخلي، ومن ثمّ وضع هذه القرارات التصميمية مع متطلبات أخرى، مثل: الشفافية لإعطاء الشكل الخارجي النهائي.

وربما يكون للتطابق بين المنشأة الخارجية والمنشأة الداخلية جذور أعمق؛ فهي رد فعل واعٍ تجاه الأبنية المعمارية التي لا تكون فيها الواجهة شديدة الصلة ببقية المبنى، أو يكون التطابق نتيجة الرغبة في التوصل إلى العمل المعماري المتكامل؛ حيث تكون الرابطة قوية بين الداخل والخارج؛ فالمنشأة الخارجية يجب أن تعبّر عن المواصفات الإنشائية الداخلية، أكثر من كونها مجرد كشف للعناصر الإنشائية والتفصيلات الإنشائية. وتكون أحيانًا العناصر الإنشائية الخارجية امتدادًا بحتًا للإنشاء الموجود داخل غلاف المبنى، لكن مع بعض التعديلات الإنشائية البسيطة.

ويأتي دور فهم العلاقة بين البناء التكتوني وبناء الفضاء من حوله، حيث تعتمد التكتونية على بعض الجوانب الأساسية للعالم المادي ومن أهمها الجاذبية والفيزياء؛ فتؤثر الجاذبية على المباني، وهناك جانب آخر وهو الهيكل الإنشائي، والأخير هو طريقة تجميعهم معًا؛ حيث تظهر السطوح كأنها مرتبطة بالفضاء.

وفي النظرية المعمارية في النصف الثاني من القرن العشرين كان بناء الفضاء لا يزال يتحدّد مع الإحاطة الفضائية؛ حيث اهتمت الفكرة الحديثة عن الفضاء بالإحاطة الفضائية وعلاقتها مع الفضاءات الخارجية ضمن مفهوم التداخل الفضائي، وبالتوازي مع ذلك فقد تمت مناقشة الفضاء بصورة أوسع من خلال مفهومه الثقافي والاجتماعي، وفي هذا الصدد رُبط التداخل الفضائي مع مفهوم المكان والذي يتمثل من خلال توضيح معنى ومفهوم الفضاء.[1]

٤,١,٣. أنظمة البناء التيكتوني

تتميّز الطبيعة للمبنى بطابع تكتوني ملموس كما هو الحال في المناظر الطبيعية والبصرية، على الرغم من أن أيًّا من هذه الصفات لا ينكر مكانته المكانية. ومع ذلك، قد نؤكد أن المبنى هو أولًا وقبل كلّ شيء بناء و خطاب مجرّد على أساس السطح والحجم والمخطط[1].

المبادئ الإنشائية للمباني التيكتونية (النظام الإنشائي)

يتكون النظام الإنشائي من عناصر ومكونات إنشائية مترابطة ومتفاعلة مع بعضها البعض، لإتمام الوظيفة الإنشائية المحددة للمبنى مع توفير عناصر الثبات والاستقرار، وتمييز مفهومي العلاقة والنظام؛ فهناك عدة فوارق بينهما، أهمها المقاصد التنفيذية والإنشائية، للأسباب التالية:

أ. تنشأ العلاقة بين عنصرين، يمكن تشكّل العلاقات المركبة فيهما بصورة ثنائية، أما النظام فيشمل عددًا غير محدد من العناصر والمكونات غير القابلة للتحليل في بعض الأحيان بصورة ثنائية.

ب. تكون العلاقة بين عنصرين ترابطًا، ولا يشكل هذان العنصران المترابطان نظامًا؛ بل ترابطًا، بموجب مواصفات وخصائص بارزة وثابتة.

جـ. لكي يوجد النظام يجب وجود أرضية بُعدية (Dimensional Domain) فالنظام تشكيل محدّد تتوزع المكونات فيه وترتبط بعلاقات وفق قواعد محددة ضمن أرضية محدّدة، أي إن هناك حدودًا لوجود النظام.

وتختلف النظم الإنشائية في أشكالها وعناصرها وفي آلياتها في نقل القوى المؤثرة والأحمال عمليًا، كما تختلف في كيفية التعامل مع مواد البناء الحديثة ويعتمد اختبار النظام الانشائي على طبيعة الفعالية الوظيفية، والعامل الاقتصادي، ومواد البناء المستخدمة فيه.

فنظم الإنشاء هي طريقة أو أسلوب البناء للمبنى التي تعبر عن تسلسل توزيع الأحمال على هذا البناء بكل مستوياته، وانتقالها إلى منسوب التأسيس، ويمكن تقسيم غالبية المنشآت من ناحية السلوك الاستاتيكي - behaviour static- إلى أربعة أنظمة تختلف فيها طرق الإنشاء عن بعضها البعض، وهي كما يلي:

١- نظام الجدران الحاملة load bearing walls system

٢- نظام الإنشاء الهيكلي skeleton structure system، وينقسم إلى:

أ – هيكل خرسانة مسلحة reinforced concrete skeleton

ب- هيكل الايطارات والجمالونات frames and trusses skeleton

٣- نظام المنشآت الفراغية space structure system والمعروف بنظام القشريات system shells، وينقسم إلى:
أ- خلايا صندوقية فراغية.
ب - إنشاءات قشرية.
ج - نظم إنشائية مرنة.
٤- نظام الخرسانة مسبقة الصب Precast concrete system

٢,٣. المستوى الثاني: (وصفي/ تحليلي)

إن توظيف التكنولوجيا الرقمية في العمارة المعاصرة قد أوجد إمكانيات جديدة في مجال تكوين الشكل، وتصميم الهياكل الإنشائية، ووسائل إنتاج المكونات المختلفة للمبنى، ونظم الإنشاء. ونتيجة لذلك فقد ظهرت علاقات جديدة بين الشكل المعماري وهيكله الإنشائي .وتنوعت تبعًا لاختلاف النماذج الرقمية المختارة في بدء العملية التصميمية، واختلاف المحدّدات الرقمية المدخلة للبرامج التي يختارها المصمم، ويرتبط ذلك بوصف التكتونية غيرالمادي؛ حيث يتعلّق بالجوانب غير المادية كالجمالية التعبيرية، واعتمد هذا المستوى على خمس مفردات رئيسية استنبطت من الأبحاث السابقة التي تخص وصف التكتونية بين الجمال وآليات تحقيقها، وهي:

١,٢,٣. مثالية الهيكل والشكل.
٢,٢,٣. توليد الشكل.
٣,٢,٣. تحسين الشكل وإيجاده.
٤,٢,٣. التشكيل الذاتي وبرامج المحاكاة.
٥,٢,٣. الجوانب الهيكلية والفيزيائية للشكل.

١,٢,٣. مثالية الهيكل والشكل:

تهدف هذه النقطة إلى هو استكشاف مجموعة من الاحتمالات التي توضحها طرق مرحلة إنشاء الشكل المعماري، وهي منهجية تبدأ بتحقيق عميق ومبدئي للمتطلبات الهيكلية، لتحديد مجموعة مرنة من الحلول التي تستجيب إلى مبادئ الاتساق والضرورة والنفعية. [7]

شكل١ . مثال للتكامل بين المعماري والهيكل

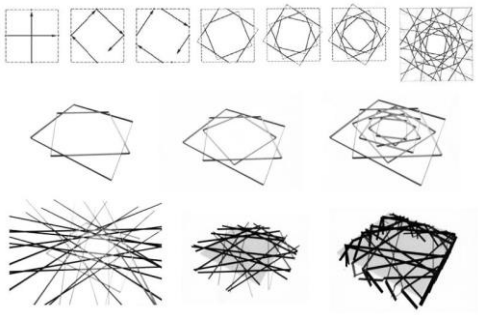
وتظهر معظم أجزاء العمارة الرغبة في الإشارة إلى المعرفة الفنية للبناء بطرق مختلفة ابتداء من الحالة التي يكون فيها الهيكل في الأساس هو الشكل، كما هو الحال في أعمال: توروجا Torroja، نيرفي Nervi، ميوسميك Musmeci، كما توضح الحالة التي تكون فيها اللغة الهيكلية واضحة ومتكاملة ، بشكل أو بآخر مع المكونات الأخرى للتصميم المعماري، كما هو الحال في معماريات: ميس Mies، رايت Wright، و التوAalto ؛ التي يوجد فيها تكامل جوهري لجميع مكونات عملية التصميم ، كما هو الحال في هياكل: أندو Aando ، وإيتو Ito، وميس Mies، **وصولاً إلى الحالة التي يوجد فيها تكامل كبير في جميع مكونات عملية التصميم، كما هو الحال في أعمال: خان Kahn، و لوكوربوزييهLo Corbusier** ، وما إلى ذلك.

وبالإتفاق مع فرامبتون Frampton يمكن تعريف كل هذه الأعمال وفقاً لمصطلح (التكتونية)، إذ يمكن أن يطلق هذا المصطلح على الأعمال التي تترك المكونات الهيكلية جانبًا أثناء عملية التصميم، وتركز على خلق الأشكال الفنية العشوائية، والتأكيد على أن الجانب الأخلاقي في عملية البناء يمكن أن يسمى "Atectonic "تلك المباني التي تترك جانبًا للمطالبات الهيكلية من عملية التصميم لإنشاء أي قطع أثرية فنيه.[7]

٢,٢,٣. توليد الشكل:

في مشروع معرض Serpentine في Kensington Park في لندن استهدف المهندس المعماري تويو إيتو Toyo Ito عام ٢٠٠٢م ، تصميمًا يجعل الأنظمة التي تشكّل أبسط الشروط التي تجعل الهندسة المعمارية ممكنة؛ فالجناح عبارة عن هيكل مؤقت تم استخدامه لمدة ثلاثة أشهر في صيف عام ٢٠٠٢م. في مرحله التصميم تصور تويو إيتو هيكلًا تتشكّل فيه الأعمدة والعوارض بواسطة مربعات متقاطعة عشوائيًا.

من ناحية أخرى، حاول بلموند Balmond أن يلائم التصميم الذي كان له الترتيب الفوضوي الذي أراده إيتو Ito، ولكن كان له أيضًا ترتيب أساسي


شكل ٢ الفكرة الأولية للمشروع

مع خوارزمية معيّنة، وكانت من أحدث الخوارزميات algorithms في بناء وتنفيذ أفكارهم، مثل: (الخوارزمية الجينية) إذ بدءا بفكرتين بسيطتين جدًا تستند الأولى إلى نظام البناء الهيكلي الرشيق graceful الذي يدعم السقف الشفاف المسطح ذي الشكل الحر free form أما الفكرة الثانية فاعتمدت السقف المسطح المؤلَّف من الخطوط العشوائية المتقاطعة والمدعمة بخط من الجدران الخارجية لتشكل في النهاية صندوقًا مطلقًا باستخدام الخوارزميات ولقد أكد إيتو Ito على أن النظرة إلى الخوارزميات تمكننا من خلق تعقيد غير متوقع، وحالات هجينة محسوبة وممكنة التحكم، وبحلول مختلفة، ولكن عندما نُضَيّقُ الشروط ونتجاهل الاحتمالات المختلفة؛ فالحركة المكانية للمشروع جعلت من الممكن تخيل، وحساب، وتصنيع، وتجميع الأشكال، بوقت قصير عن طريق التكنولوجيا الرقمية.

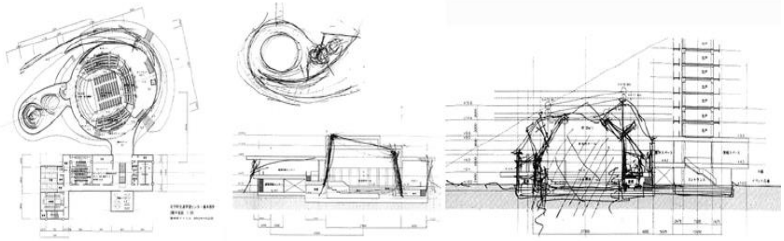
شكل ٣ صور توضح المشروع

تم تحقيق الرؤية المعمارية لتويو إيتو Toyo Ito من خلال تطوير التصميم الذي تم طرحه في البداية كنتيجة للتنفيذ المتناسق لتطوير الخوارزمية وعمليات التطبيق المستخدمة، على الرغم من عدم وجود محاكاة للطبيعة في التصميم، عندما يتم فحص عملية تطوير التصميم، فإن تطوير الشكل الخوارزمي ينشئ علاقة مع الطبيعة، وبذلك أعطت تلميحًا للفضاء الذي يختلف نوعيًّا عما اعتدنا عليه؛ فالخوارزمية ستكون مهمة في ذكر عمارة المستقبل. [9]

٣,٢,٣. تحسين الشكل وإيجاده:

ويوضح ذلك طريقتين مختلفتين لمشكلة إنشاء أشكال جديدة لهذه المتطلبات الأساسية والضرورية، ومدى ملاءمة المشروع المعماري، تشير "الأشكال الجديدة" على وجه الخصوص إلى الأشكال والأغلفة الحرة، وبشكل عام إلى الأسطح غير الخطية التي يمكن أن تكون على سبيل المثال نتيجة لمشكلة التحسين الهيكلي.

ويؤدي استخدام منطق إيجاد النموذج الهيكلي إلى ضبط التشكلات المكانية بطرق متعددة، أي مهمة تطوير لغة مكانية منهجية. يمكن للتعبير السيميولوجي بعد ذلك تعيين اختلافات برمجية مهمة على اختلافات مورفولوجية واضحة بحيث تحدث الاختلافات فرقًا. يُقترح هنا التعبير التكتونية كمفهوم للاستخدام المفصلي الاستراتيجي للاختلافات المورفولوجية التي تنشأ من المنطق الهندسي مثل الهندسة الإنشائية والهندسة البيئية وهندسة الواجهات. حيث تقدم طرق التحسين الجديدة التي تبدأ من تحسين الشكل الهيكلي إلى أساليب تحسين الطوبولوجيا، والتصميم الصناعي والتي تبدأ الآن في استغلالها أيضًا في الهندسة المعمارية كأدوات مساعدة قوية لـ "البحث" أو "اختراع" مثل "الأشكال الجديدة". إن الاستخدام المكثف للبرامج التي تسمح بالتحكم في هذه الأسطح من خلال التحليل الميكانيكي


شكل ٤ مركز كيتاجاتا المجتمعي، جيفوGifu (اليابان) ٢٠٠٥. اسكتشات ورسومات (ساساكيSasaki ٢٠٠٥).

الرياضي / العددي، يضع المصمم بشكل أساسي أمام فرصتين:

• **الاولي** لتسليط الضوء على الجانب التعبيري الرسمي، يليه الضبط الدقيق للسلوك الهيكلي (تحسين الشكل)، واتباع طريقة تخطيط تحافظ على مركزية "الرؤية" المعمارية من ترجمتها في الجوهر المادي، تبقي المرحلة الإبداعية من مرحلة التحقق والتنفيذ؛

• **الثانية** البدء من نطاق أكثر مرونة في ايجاد الأشكال، على سبيل المثال الوظيفة، أو مساحة التصميم المتاحة، والتي لا تتجاهل أبدًا السلوك الهيكلي "الأمثل" الشامل (إيجاد النموذج). سيحث البرنامج، في كل مرحلة تطورية من المشروع، على جميع الإعدادات المكانية المثلى للأغراض الميكانيكية، ويذكر دائمًا أنه لا توجد أداة لاستبدال التحكم المباشر للمصمم. [10]

مركز كيتاجاتا نتيجة تعاون بين المهندس موتسور و ساساكي والذي يعبر عن وصف العمليات التي أدت إلى إنشاء تغطية حرة للمركز التي قررها أراتا إيسوزاكي Arata Isozaki، و تم إنشاؤها بواسطة معلومات التصميم، ثم باستخدام طريقة تحليل الشكل، تم تعديل متغيرات التصميم بواسطة الكمبيوتر لتحديد أفضل شكل. وتمكن المصمم من اختيار الشكل الأكثر إثارة للاهتمام. وأصبح السقف بطريقة أو بأخرى قشرة خرسانية مقواه بسماكة ١٥ سم مع شكل غير متبلور مثل قطعة قماش. من خلال هذه التجربة الأولية، بدأنا نشعر أن طريقة تحليل الشكل هذه كانت مناسبة للاستخدام كأداة تصميم

٤,٢,٣. التشكيل الذاتي وبرامج المحاكاة:

كانت العملية التصميمية في الماضي معتمدة على تفكير المعماري في شيء ما، ثم تجسيده شكليا، اما في التكتونيه الرقمية فقد تم الاعتماد على الحاسوب في تجسيد الشكل ثم ايجاد المعماري للفكرة المرتبطة به .واكدت المناقشات التكتونيه من زوايا مختلفة، الا انها اكدت على التغير الدرامي في الانشاء وعلاقته بالشكل المعماري الذي تسببه دخول التكنولوجيا الرقمي. فإن لحظة تخليق الشكل المعماري باعتباره تكوين متناسق من الحدس والاختيار يكون محور اهتمام للكثير من الباحثين في مواضيع الهياكل المعمارية وتركز علي تحسين اكثر من شكل يعتمد علي المعايير المجانسه وغير المتجانسه لايجاد شكل متماسك يتوافر فيه الحلول المثالية فمثلا الاعمال

المعمارية المقدمة من خلال زها حديد و تشومي و فرانك جيري Frank Gehry, Tschumi & Zaha Hadid يظهرون خروجاً كبيراً وتدريجياً عن الموضوعات المتعلقة بأخلاقيات البناء والتماسك الهيكلي للمشروع وسعيهم باتجاه النواحي الرمزية ، فالتعقيد الهندسي (غير الخطي) في هذه العمارة لا يتطابق دائماً مع التماسك التكتوني الفعلي للمبنى» حيث يظهر بعض المتعارضات بين كيف يبدوا المبني وما هو عليه في الواقع . ومع عملية الاهتمام بالآثار التي يمكن أن تولدها هذه البرامج على الأجيال الجديدة من المصممين **فإن إستعادة البعد الأخلاقي للمبنى هو التحدي مع الأدوات المطورة** [12]

واصبح التشكيل الذاتي جزء من البحث المعماري الهيكلي يأخذ هذا الاتجاه مع التركيز على الأساليب التي تستند إلى العناصر الموضوعية وتحديد المعالم التي ليست متجانسة بالضرورة (مثل التحسين متعدد الأهداف).

وبهذه الطريقة، من خلال المحاكاة الحاسوبية، يمكن تحديد مجموعة من الحلول المتماسكة التي تخضع لحساسية المصمم الحرجة، بحثًا عن أفضل الحلول، وهو الحل الأفضل. ومن الواضح أيضًا أن جزءًا كبيرًا من الإنتاج المعماري، ممثلة بشخصيات بارزة في المشهد الدولي مثل فرانك غيري، وبن فان بيركل، وزها حديد (على سبيل المثال لا الحصر) ، يظهر انحرافًا تدريجيًا كبيرًا عن الموضوعات المتعلقة بأخلاقيات البناء والتماسك الهيكلي للمشروع ، والسعي وراء المقاصد التصويرية ، التي تحظى بتقدير كبير باعتبارها مذهلة. فالبروز البعدي والتعقيد الهندسي ("اللاخطية") لهذه البنيات لا يتوافقان دائمًا مع التماسك التكتوني الفعلي للمبنى، وهو نوع من التناقض بين كيفية "مظهر" العمارة وما هو "في الواقع".

شكل ٥ مبنى بنك DZ لفرانك جيري ببرلين / شكل ٦ محطة قطار ستراسبورج بألمانيا / شكل ٧ جناح باتيري بارك لبن فان بيركيل بنيويورك

في الامثله من الواضح أن الاستخدام غير النقدي لبرنامج النمذجة ثلاثية الأبعاد ، الذي يسمح لأي شخص بإنشاء أسطح جميلة وهندسة معقدة. مع الاهتمام أيضًا بالتأثيرات التي يمكن أن ينتجها هذا التقسيم لأجيال جديدة من المصممين ، فإن استعادة البعد الأخلاقي للمبنى يمثل تحديًا لم يعد بإمكان العمارة المعاصرة الهروب منه. يقدم تطوير CAD / CAM الآن مجموعة من الحلول الرسمية ، والتي يمكن أن تدعم المصمم في هذا التحدي بالعديد من الأدوات المحدثة. إلى جانب العمليات التقليدية لإنشاء الشكل ، قد يكون من المفيد اعتماد بعض الأساليب العددية الشائعة الاستخدام في الخوارزميات الجينية Genetic algorithm. واستخدامها بشكل مناسب لهذه النماذج المطبقة على مشكلة إيجاد أشكال جديدة يمكن أن يعيد قيمة "الأخلاق" إلى رحلة غير خطية نحو آفاق المهندس المعماري المعاصر.[13]

٥,٢,٣. الجوانب الهيكلية والفيزيائية للشكل :

يُنظر إلى العمارة في الغالب على أنها عنصر جامد وثابت ولا يتغير دون القدرة على التفاعل مع البيئة المتغيرة حولها والظروف المحددة لموقعها. ولقد أظهر النهج الرقمي للتصميم المعماري بالفعل أنه من الممكن إنشاء نماذج أولية معمارية تتفاعل مع المدخلات الخارجية من خلال التغييرات في خصائصها المادية أو حتى في الشكل. العمارة التقليدية الثابتة غير قادرة على التفاعل مع العوامل البيئية ، ولا مع الاحتياجات المتغيرة لشاغلي المبنى ، مما يجلب المهندسين المعماريين والمصممين والمهندسين إلى قضية الحركة في العمارة. تصف هذه النقطه المواد والهياكل التكيفية المختارة المستخدمة في الهندسة المعمارية. تم تصميم الشكل التكيفي وتحليله باستخدام مزيج من أداة النمذجة ثلاثية الأبعاد Rhinoceros والمكون الإضافي الخوارزمي حيث تتم محاكاة الرياح في تصميم الهيكل التدفقي.

ويتم استغلال إمكانات أدوات التصميم الرقمي إلى حد كبير لدراسة إمكانيات تطوير الأشكال والهياكل المعمارية التقدمية . ويمكن أن تحدد المحاكاة الحاسوبية استهلاك الطاقة ، وتحسين المواد وبالتالي الشكل العام للهندسة المعمارية. قد تكون بنية الغد قادرة على التحول كرد فعل على الأحمال الحية المتغيرة أو التقلبات البيئية. يمكن أن يحدث التغيير نفسه في بنية المواد المعرضة لتأثيرات البيئة ، أو في الشكل المعماري الشامل .

٤. عوامل التكتونية : وتنقسم العوامل التكتونية الي قسمين - التكتونية الكلاسيكيه و التكتونيه الحديثة

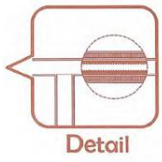
١,٤.عوامل التكتونية الكلاسيكيه

تستحث هذه النقطه سبعة عوامل تكتونية كلاسيكيه مهمة من ملخص الأبحاث السابقه فيما يلي تحليل وتعريف العوامل التقليدية السبعة:

١,١,٤. نقاط التجميع Joint

كما لوحظ سابقًا عرّف سمبير Semper نقاط التجميع بأنه العامل التكتوني الأساسي أثناء تكوين المبنى خاطب فراسكاري Frascariأن المفصل هو اصل البناء كما حدد فرامبتون Frampton نقاط التجميع بأنه أصغر عنصر في المبنى لذلك تعتبر العامل التكتوني الأول و يتم تعريفه على أنه الوحدة الأساسية والأصغر في بناء المبنى. وظائفها كحلقة وصل في تسلسل هرمي مختلف بين المكونات في المبنى بأكمله مثل المواد والهياكل والكائنات.

٢,١,٤. التفاصيل Details



عرف جريجوتي Gregotti التفاصيل على أنها وصف للمادة التي يمكن أن تثبت خصائص المواد لجعل التصميم أكثر وضوحًا بالإضافة إلى ذلك التفاصيل التي تشكل الهيكل وقد عرّف فراسكاري Frascari التفاصيل بأنها "التفاصيل التفصيلية" ، لأن كل التفاصيل تخبرنا قصة صناعة المبنى ووضعه وأبعاده. لذلك يعتبر أن التفاصيل هي العامل التكتوني الثاني وتعرفه على أنه طريقة التكوين في إنشاء ووضع وبناء أبعاد البناء وطريقة سرد الخصائص المختلفة للمواد .

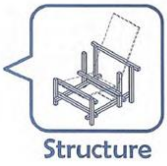
٣,١,٤. المواد Material

في دراسة علم التكتونيات حدد سمبير Semper طرق التجميع المختلفة في التراكيب بين المواد المختلفة: تكتونية الإطار (الخشب والصلب) والعناصر النمطية للأرض (الحجر والتربة والخرسانة) وأعاد كاشي Cache تعريف المادة واعتبر أنه يمكننا استخدام مختلف المواد وعمليات الإنتاج الجديدة في العصر الرقمي مع الأخذ في الاعتبار أن المعلومات هي أيضا نوع من المواد لذلك تعتبر المادة العامل التكتوني الثالث ويتم تعريفه على أنه العنصر الذي يمكن أن يمثل ظهور المبنى ويعبر تطبيق المادة وطريقة التجميع عن نية التصميم المعماري مثل استخدام الخرسانة لتمثيل الحجم الثقيل واستخدام الزجاج لإظهارالخفه والشفافيه.

٤,١,٤. العنصر Object

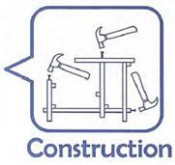
عرف بوتشير Bötticher التكتونية كنظام يجمع الكثير من الأجزاء فيأخذ المعبد اليوناني كمثال ويؤكد أن الكثير من الأجزاء يتم دمجها في نظام كلي تكون فيه الأجزاء كعناصر مكونه للمبنى على سبيل المثال ، العمود ، الجدار ، السقف ، الأرض ، الباب ، النافذة ، إلخ هذه العناصر لها معنى بناء معين وخواص وظيفيه ويعتبر أن العنصر هو العامل التكتوني الرابع.

٥,١,٤. الهيكل Structure



يميز سيكلر Sekler العلاقة بين الهيكل والبناء والتكتونية فيجعل تعريف "البناء" دلالة على شيء تم تجميعه بوعي بينما يشير "الهيكل" إلى ترتيب منظم للأجزاء المكونة بمعنى أوسع بكثير وأشار إلى أن "التكتونية" هي تعبير عن العلاقة بين الشكل والقوة ذات الصلة بـ "الهيكل" و "البناء" **لذلك يعتبر الهيكل هو العامل التكتوني الخامس** ويعرفه على أنه المكون الذي يمكن من خلالة عرض مبدأ الميكانيكا ونقل القوة وكيفه تحمل الهيكل للأحمال المختلفه.

٦,١,٤. البناء Construction



من التعريف السابق للعامل التكتوني الخامس يمكننا أن نتعلم أن البناء عامل تكتوني مهم أيضًا عرف سيكلر Sekler البناء بأنه طريقة لتحقيق المفهوم الهيكلي وعملية وضع مكونات المبنى في المقابل. لذلك يعتبر البناء هو العامل التكتوني السادس وهو عبارة عن عملية التجميع بأكملها لجميع العوامل السابق ذكرها .

٧,١,٤. التفاعل Interaction

أكد فرامبتون Frampton على مفهوم"فن البناء" أثناء مناقشة التكتونية وشدد على الدور الهام للطبوغرافيا والإدراك في تشييد المباني ويؤكد مفهوم الطبوغرافيا على العلاقة بين المبنى والموقع كما أكد علي العلاقة بين الشعور الإنساني والفضاء ومن هنا نجمع بين هذين المفهومين كعامل تكتوني سابع ونطلق عليه التفاعل وتعريف التفاعل هو العلاقة بين البناء والموقع والتفاعل بين الناس والفضاء[12] .

٢,٤. العوامل التكتونية الرقمية

في هذه النقطه سيتم مناقشه أربعة عوامل تكتونية رقمية جديدة تستخدم الوسائط الرقمية المختلفة والمتنوعة للمساعدة في عملية التصميم في حالات التصميم الرقمي التيكتوني فخصائص البيئة الرقمية مثل عملية المعالجة الديناميكية والتقنيات الرقمية مثل برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد ، والنظام التوليدي ، والخوارزميات ، وبرامج CAD / CAM ، تغيّر تدريجياً طريقة التصميم وعملية البناء للتصميم المعماري. لذلك وجد أن العوامل التكتونية التقليدية السبعة لم تعد كافية لتحليل بعض الخصائص في حالات التصميم الرقمي. وهذه العوامل الجديد هي:

١,٢,٤. الحركه Motion

من التحاليل للمشاريع التيكتونيه الحديثة وجد أن هذه الحالات تستخدم العملية الديناميكية لاستنتاج مفهوم التصميم مثل الاستفادة من الرسوم المتحركة وعملية التحويل في عملية إنشاء النماذج أو العثور على النماذج. لذلك تعتبر الحركة أول عامل تكتوني رقمي جديد ويتم تعريفها على أنها عملية التشغيل الديناميكية في معالجة مفهوم التصميم أو العثور على النموذج.

٢,٢,٤. المعلومات Information

هناك خاصية عدم الأهمية في البيئة الرقمية وتستمد حالات التصميم الرقمي مفهوم المادة عن طريق دمج المعلومات في شكل المبنى وتعمل كمادة جديدة وتصبح المعلومات نوعًا جديدًا من المواد السطحية للمبنى.

وتعتبر المعلومات العامل الرقمي الثاني والتعريف الرئيسي لها هو تطبيق المعلومات الديناميكية في الغلاف أوالتكسيات أو سطح المبنى كمادة المظهر الجديد.

٣,٢,٤. التوليد Generation

تُستخدم تقنيات الكمبيوتر مثل النظام التوليفي والخوارزمية للمساعدة في عملية العثور على النماذج في حالات التصميم الرقمي حيث يقوم المصممون بإدخال المعلومات وتشغيل نظام التوليف وخوارزمية الكمبيوتر بشكل أساسي لإنشاء أشكال تصميم مختلفة تلقائيًا ويقومون فقط بتحديد أو اختيار النموذج الذي يرغبون فيه لذلك يعتبر أن التوليد هو العامل الرقمي الثالث ويتم تعريفه على أنه عملية إنشاء النموذج أو عملية إنشاء المفهوم تلقائيًا بواسطة مساعدة النظام التوليفي للكمبيوتر.

٤,٢,٤. التصنع Fabrication

وجد أن عملية تصميم جديدة ظهرت قبل مرحلة البناء في حالات التصميم التي تم تحليلها فاستخدم المصممون تقنية تصنيع CAD /CAM /مثل الماسح الضوئي RP و CNC والماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد لاستكشاف الطريقة الجديدة للتجميع وتختتم العوامل بعملية إنتاج وتصنيع واختبار وتجميع مكونات التصميم لإنتاج وتجميع البنية المعقدة للمبنى لذلك يعتبر التصنيع العامل الرقمي الرابع ويتم تعريفها على أنها عملية تصنيع مكونات التصميم وطريقة البناء بمساعدة برامج.CAD / CAM [14]

٥. Museo Guggenheim Bilbao (متحف غوغنهايم بلباو(بالإسبانية)

١,٥.موقع المشروع

يقع بالعاصمه الثقافيه لا قليم Bilbao وياخذ موقعا استرايجيا على حافه نهر نيرفيون في مدينه بلباو بالباسك الاسباني حيث توجد أيضا جامعة دي دستو ومتحف الفنون الجميلة فموقع المتحف يشكل مركزا ثقافيا للمدنية علي مساحه حوالي 24 متر مربع.وتم إنشاء المتحف عام 1997م من تصميم المعماري فرانك جيري.

شكل ٨ يوضح موقع المشروع

٢,٥. مكونات المشروع:

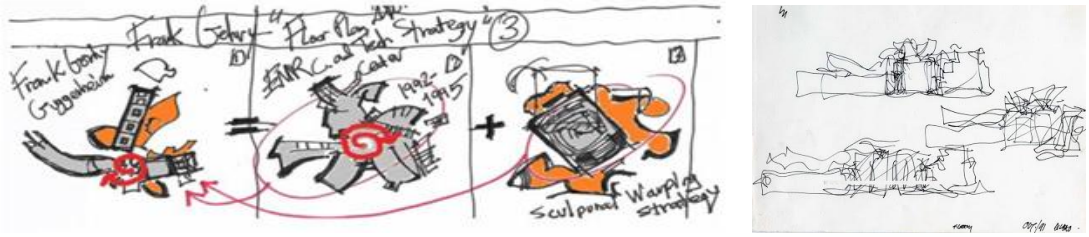
عبارة عن مجموعة من الكتل المتداخلة والمتراكبة بأسلوب يوضح في أنه كتلة غريبة ليستقطب الزوار من جميع أنحاء العالم.وتم تنظيم المبنى حول مساحة مركزية، حولها ٢٠ صالة عرض مرتبة في ٣ مستويات. نحو الطرف الغربي وتتضمن متجرًا وكافيتريا وقاعة احتفالات علي مساحه تبلغ ٢٤٠٠٠ متر مربع،

منها ١١٠٠٠ متر مربع مخصصة لقاعات العرض، حيث تم توزيعها على تسعة عشر صالة عرض ويبلغ عرض أكبر معرض ٣٠ مترًا وطوله ١٣٠ مترًا بالإضافة إلى مساحة معرض ومبنى مكاتب منفصل، والمتحف لديه غرفة ارشاد الزائر، وقاعة جلوس ٣٠٠و متجر و مكتبة وكافتيريا ومطعمين[15]

شكل ٩ لكتلة المشروع

٣,٥. فكرة المشروع:

نشأت الفكرة التصميمية لمتحف جوجنهايم في إطار عمل نقطة جذب للمدينة في على النهر وتحويلها من مدينة صناعية إلى مدينة سياحيه وجاءت الفكرة التصميمية للمصمم بتقريب الكتلة من شكل السفينة، وتوحى التكسية الخارجية بمادة التيتانيوم بأنواع السمك البراق، نتيجة لكون المبنى مُطل على النهر الرئيسى للمدينة.



شكل ١٠ اسكتشات توضح فكرة المشروع

بدأ فرانك جيري التصميم من الداخل للخارج، حيث بدأ بصناعة مجسم لارض المشروع. ومكعبات لكيفية تجميع الفراغات المطلوبه للمبني، ثم عمل رسومات يتخيل فيها شكل المبنى، بعد ذلك تحول هذه الرسومات إلى مجسمات كي تبدأ عملية تطوير الشكل الخارجي للمبنى وبمساعدة برامج الكومبيوتر على حساب المسطحات وتكاليف الإنشاء، وعن طريق البرنامج يمكن معرفة إن كان تشييد المبنى سيتحمل الميزانيه المفترضه قبل البدأ في بناءه ام لا، وعلى ضوء هذه المعلومات يتم تغيير التصميم حتى يتم الوصول إلى تصميم مناسب من الناحية الفنية والاقتصادية،و استخدم فرانك جيري برنامج كاتيا لعمل مسح ومراجعه الاحجام المصنوعة من

الخشب ويحسب الأبعاد اللازمة بشكل دقيق ومن أي نقطة مرئية أو حتى من أي مقطع ما بالتكوين المنحني المعقد، هذه الأبعاد تنقل وتترجم إلى العوارض الفولاذية الداخلية ومن ثم إلى قطع التيتانيوم المستخدم في التغطية.
وفي هذه الطريقة ووفقا لكتابات ديتليف DetLive ان الكمبيوتر يعمل على حل الأشكال الهندسية المعقدة التي يمكن وضعها في وسائط أو مواد أخرى وعلى مستويات أخرى ولكن لا بد من أن تأتي الأفكار **أولاً** والمادة الثانيا وان الاستمراريه هي التكتيك المركزيل معالجه الانقسام بين الشكل والتيكتونية [16]

٤,٥. الوصف المعماري للمشروع:

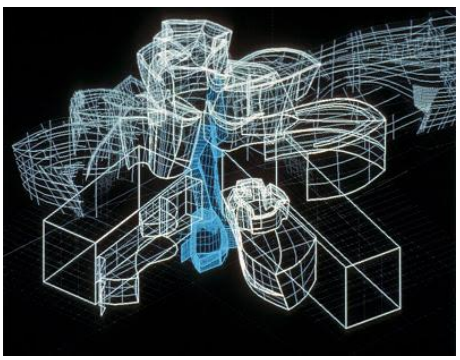
شكل ١١ يوضح موقع المبني علي النهر

اثر موقع المشروع على طريقة تصميمه حيث يقع موقع النهر على الحافة الشمالية من وسط المدينة.و يوجد طريق وخط للسكك الحديدية في الجنوب، والنهر من الشمال، والهيكل الخرساني لجسر Salve إلى الشرق. من خلال إجراء اتصال مادي ملموس بالمدينة، يدور المبنى وينبثق حول جسر Salve، ويخلق متنزهًا منحنيًا على ضفاف النهر، ويشكل ساحة عامة سخية جديدة على الجانب الجنوبي من الموقع. ويطل المبنى على مناظر طبيعية، مثل الممر الضيق إلى قاعة المدخل الرئيسية أو الممر المنحني والمعالم المائية استجابة لنهر نيرفيون. وعلى الرغم من أن الشكل المعدني للجزء الخارجي يبدو زهريًا تقريبًا من الأعلى، إلا أنه من الأرض يشبه المبنى قاربًا إلى حد كبير، مما يستحضر الحياة الصناعية السابقة لميناء بلباو. وقد تم تصميم المنحنيات العشوائية من الخارج لا لتقاط الضوء والتفاعل مع الشمس والطقس وكانت عملية تصميم المتحف معقدة للغاية ومبتكرة في كثير من النواحي. بعد أن تم بناء التصميم التخطيطي للمهندس المعماري والنماذج المتدرجة، كان لا بد من تنفيذ المجمع كخطط مبنية. كان فريق Gehry رائدًا في استخدام CATIA، وهو برنامج يستخدم في صناعة الطائرات، من أجل إنشاء أحجام ثلاثية الأبعاد للمبنى وحساب المواد وتقدير التكلفة. تم استخدام البرنامج في كل من التصميم وكذلك في بناء العديد من عناصر البناء وتفاصيل التشطيب، نظرًا للطابع النحتي للمبنى، لم يتم تكرار أي عنصر فالمشروع (خاصة ألواح التيتانيوم). وتم تحقيق الأشكال النحتية عن طريق إطار فولاذي هيكلي مغطى بألواح معدنية. واختار جيري طلاء الأسطح المواجهة للنهر بصفائح بسمك ٠,٣ مم مصنوعة من سبيكة من التيتانيوم والزنك، مع متانة وليونة رائعة بالإضافة إلى توفير لون أفضل من الفولاذ بسبب المناخ الغائم للمدينة.
وبذلك فقد أصبحت الهندسة المعمارية شكلا فنيا يتم التركيز فيه على المبني ليس فقط كوسيله ولكن على تمثيل المعرفة للبناء في مجال علم التكتونيات بمعني استخدام التكنولوجيا الحديثة والنظر في كيفية استخدام التقنيات الجديدة والمواد الجديدة وأساليب البناء الجديدة لا نتاج التناسق الهيكلي وبالتالي السماح للهندسة المعمارية لا نتاج شكل مكاني جديد، يجري تأسيسه على **علاقة لا تنفصل بين الهندسة المعمارية والموقع وإنتاج التفاعل بين الناس والطبيعة والثقافة**[15]

الشكل المعماري:

جاء الشكل المعماري للمتحف على شكل السفينة تتكون من فراغات متداخله ومتباينه بالأضافه إلى كتل متعامدة نظامية مغطاة بالحجر الجيري مع كتل نحتية منحنيه مغطاة بمعدن التيتانيوم وجدران زجاجيه هائلة تزود المبنى بالإنارة والشفافية وتم تشييد المبنى في الوقت المحدد والميزانية وفي مقابلة في مجلة هارفارد ديزاين، شرح جيري كيف فعل ذلك. أولاً، تأكد من أن ما يسميه "تنظيم الفنان" ساد أثناء البناء، لمنع المصالح السياسية والتجارية من التدخل في التصميم. ثانيًا، تأكد من أن لديه تقديرًا تفصيليًا وواقعيًا للتكلفة قبل المتابعة. ثالثًا، استخدم تصورات الحاسوب التي أنتجها ريك سميث باستخدام برنامج CATIA V3 الخاص بشركة Dassault Systemes، وتعاون بشكل وثيق مع مهن البناء الفردية للتحكم في التكاليف أثناء البناء.
وفي عام ١٩٩٣، بدأ المهندسون المعماريون في Gehry Partners في استخدام برنامج CATIAs من Dassault Systemes لمرحلة التصميم التخطيطي لمتحف Guggenheim Bilbao لرقمنة ونمذجة الشكل الخارجي لمشروع المتحف. طبق المهندسون المعماريون عمليات النمذجة الرئيسية وعمليات البناء الافتراضية التي تعلموها من ريك سميث واستخدامه لنفس التقنيات في قاعة والت ديزني للحفلات الموسيقية خلال العامين الماضيين. أدى النجاح والوعي العالمي لمتحف غوغنهايم بلباو إلى دخول حقبة جديدة من المبنى الافتراضي وكان حافزًا لما أصبح معروفًا باسم نمذجة معلومات البناء بعد سبع سنوات.

٥,٥. الشكل الإنشائي:



جاء الشكل الإنشائي للمبني على شبكة شبكية منفصلة من الفولاذ الهيكلي تم تطبيقها بشكل حر و تم استخدام نظم الهياكل الحديدية في المبني لا نها تعطي المشروع مرونة عالية كما مكنت جيري من عمل فراغات معمارية واسعه لتحقيق الهدف الوظيفي المطلوب التوصل الية وفي هذه الحاله يسطر الشكل على الإنشاء ولم يسطير الإنشاء على الشكل كما كان في الأنظمة الإنشائية القديمة.
وتتكون جدران المتحف من أنظمة دقيقة ومعقدة ومنحنية بالإضافة إلى مساحات عرض شاسعة،و لتحقيق الأمرين توجب عمل جدران رفيعه جدا مما أدى إلى مشكلة ضمان قوة المبنى بشكل كاف ليدعم نفسه، لذا تم استخدام هيكل

معدني رفيع على شكل منحنيات مزدوجة وواضحة لتقوية البناء، مما جعل التعقيد هي الصفة السائدة على معالم متحف غوغنهايم بلباو.

شكل ١٢ يوضح خطوط المشروع علي البرنامج

ويمكن التعرف على التكنولوجيا المستخدمة في عملية تصميم المنشأ بالنظر إلى برنامج الحاسوب CATIA إختصاراً ل: Computer Aided Three – Dimensional Interactive Application وهو نسخة مطورة من برنامج حاسوبى مصمم خصيصاً للمساعدة في تصميم الطائرات.

وأعطى هذا البرنامج مقدرة فائقة في يد المصمم، فأصبح من المتاح له الوصول إلى تصاميم وتشكيلات لم يكن من الممكن له قبل هذا أن يصل لها بغير مساعدة الحاسوب ومن هنا نرى أن التقدم التكنولوجى هو العنصر الأبرز ضمن أسباب كون التشكيل التكوينى على حالته الراهنة.

وبشكل أساسي، يقوم البرنامج برقمنة النقاط الموجودة على الحواف والأسطح والتقاطعات لنماذج Gehry المصممة يدويًا لا نشاء نماذج على الشاشة يمكن معالجتها بعد ذلك بطريقة الرسوم المتحركة.[17]

جائت جدران المبنى وأسقفه حاملة للأوزان، وتحتوي على هيكل داخلي من قضبان معدنية تشكل شبكات مثلثه.و قامت CATIA بحساب عدد الأشرطة

شكل ١٣ يوضح اجزاء من الهيكل

المطلوبة في كل موقع، بالإضافة إلى مواضع وتوجهات القضبان. بالإضافة إلى هذا الهيكل، تحتوي الجدران والأسقف على عدة طبقات عازلة وطلاء خارجي من التيتانيوم. كل قطعة حصرية لموقعها، والتي يحددها برنامج CATIA.

ويعمل الفناء الكبير المليء بالضوء كمركز تنظيم للمتحف وبالنسبة للقاعات ال١٩ تم عمل ١٠ من المعارض على خطة متعامدة كلاسيكية يمكن التعرف عليها من الخارج من خلال تشطيب الحجر الجيري. ويتم تحديد المعارض التسعة المتبقية من الخارج عن طريق دوامات الأشكال العضوية المكسوة بالتيتانيوم ويضم أكبر معرض تركيبًا دائمًا يسمى "مسألة الزمن" لريتشارد سيرا.

وكان عمل فرانك جيري مثالا واضحا للتكتونيات الرقمية والتي تؤكد أهمية التكتونية في الهندسة المعمارية ويمكن العثور على بيان لهذه الحركة في كتاب فرامبتون Frampton بعنوان دراسات في الثقافة التكتونية ومع ذلك، بمجرد تخرج المهندسين المعماريين الذين تم تدريبهم على استخدام الأدوات الرقمية وبدأوا في البناء، حدث تحول تطورت فيه التكتونيات المعمارية إلى ما أطلق عليه التكتونيات الرقمية.

٦,٥. العلاقة بين الشكل الإنشائي والشكل المعماري:

شكل ١٤ يوضح النظام الأنشائي وكتل المشروع

وبالرغم من أن النظام الإنشائي للأسطح المنحنية في المتحف يتكون من أضلاع إنشائية فولاذية وفراغات غير مكشوفة إلا أنها تجتمع وتتآلف مع الشكل المعماري لدرجة أنها تعمل على خدمة الفراغات المعمارية الخارجية والداخلية فلا نستطيع فصلها عن الشكل المعماري.

ومنها فالشكل المكاني الناتج من توحيد الشكل الإنشائي والشكل المعماري يمكن للمباني التعبير عن فن البناء وعمل التشيل الواضح المعبر عن جمال وبراعة التصميم في الهندسة المعمارية. وهذا يعني أن الشكل المكاني للهندسة المعمارية يجب دراسته وفحصه من خلال التكتونية، مما يشكل رابطة لا تنفصل بين الهندسة المعمارية والتكتونية[18].

٧,٥. تأثير الإنشاء على غلاف المبني:

تميز الشكل الخارجي للمبني بالتنوع غير المألوف من حيث مواد البناء وهو يبدو لاول وهله للنظاهر كتجمع من الأشكال الغير منتظمة تتباين فيه الكتل المعدنية الغير المكتملة مع الكتل الحجرية والجدران الزجاجية الهائلة والكتل المكسوة بمعدن التيتانيوم وكان استخدام التيتانيوم جديدا اذا لم يستخدم من قبل في البناء وخاصة في الأجزاء الخارجية [15]

وطبقا لمناقشه مفهوم التيكتونية في الندوه العالميه المتعدده للتخصصات الهندسيه عام ٢٠١٦ عند بدأ ظهور الاختلافات بين الإطار الهيكلي والأسطح المحيطة للتكتونية والتجسيمية في التلاشي أو الدخول في علاقات جديدة وبدأ توضيح الإمكانيات والنتائج الجديدة للتكنولوجيا الرقمية وتحليلها اخذت من ذلك دراسة التكتونيات الرقمية نموذجاً جديدا

شكل ١٥ يوضح الشكل الخارجي للمبني والتكسيه المعدنية

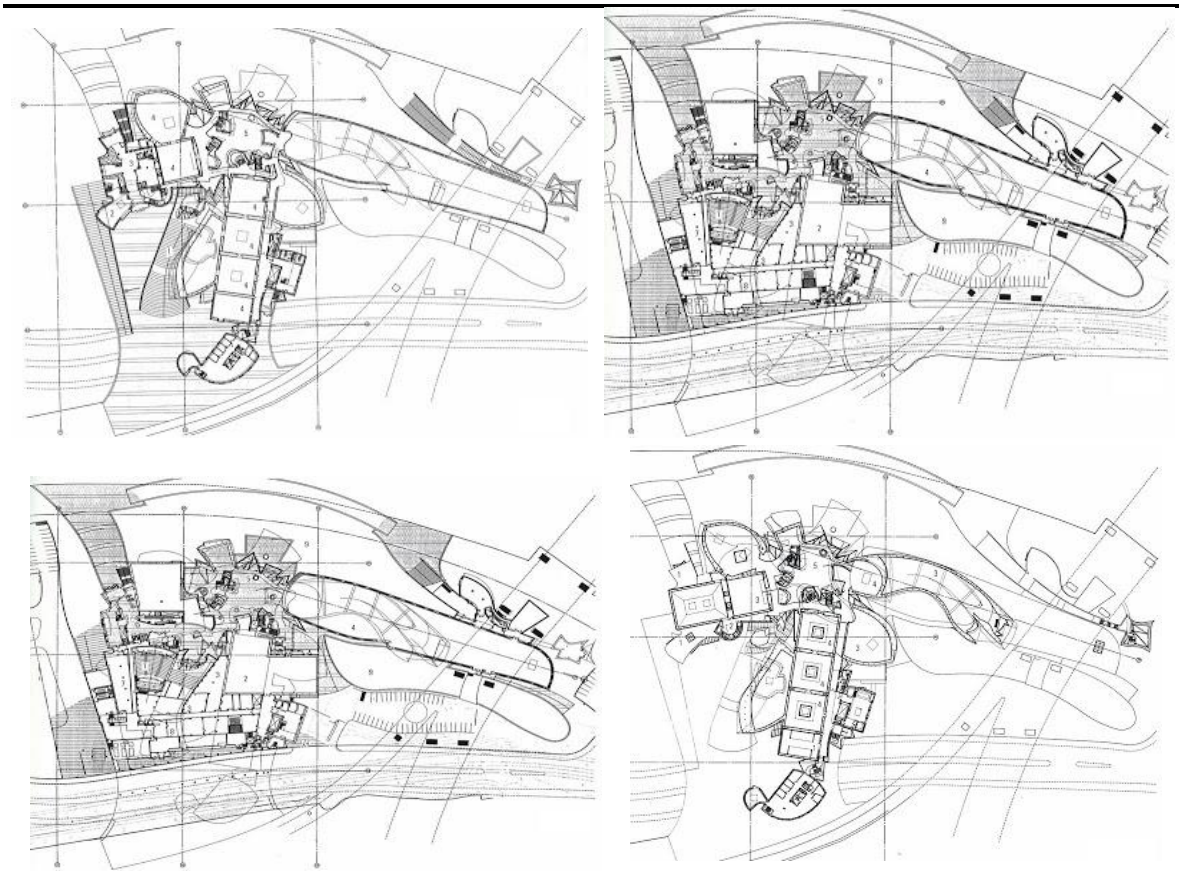
في التصميم المعماري واهتماماً متجدداً بالهياكل وتنامياً بين المهندسين المعماريين وشهدت الفتره الأخيرة تطوراً كبيراً في الأدوات الرقمية لانشاء أشكال منحنية مع القيام في الوقت نفسه بتطوير نظرية ومنهجية لتصميم هذه الأشكال وتتطلب هذه الهياكل الجديدة الناشئة أنواع جديدة من الإنتاج الصناعي وأدوات التصميم أفكاراً ومفاهيم جديدة في مجال الهندسة سواء من منظور المصمم أو من منظور الشخص الذي يخوض التجربة في البيئة المبنية ويصبح النمو من التكنولوجيا التكتونية الرقمية التناظرية العامل الرئيسي في التفكير الحديث والتصميمات وتشييد المباني.

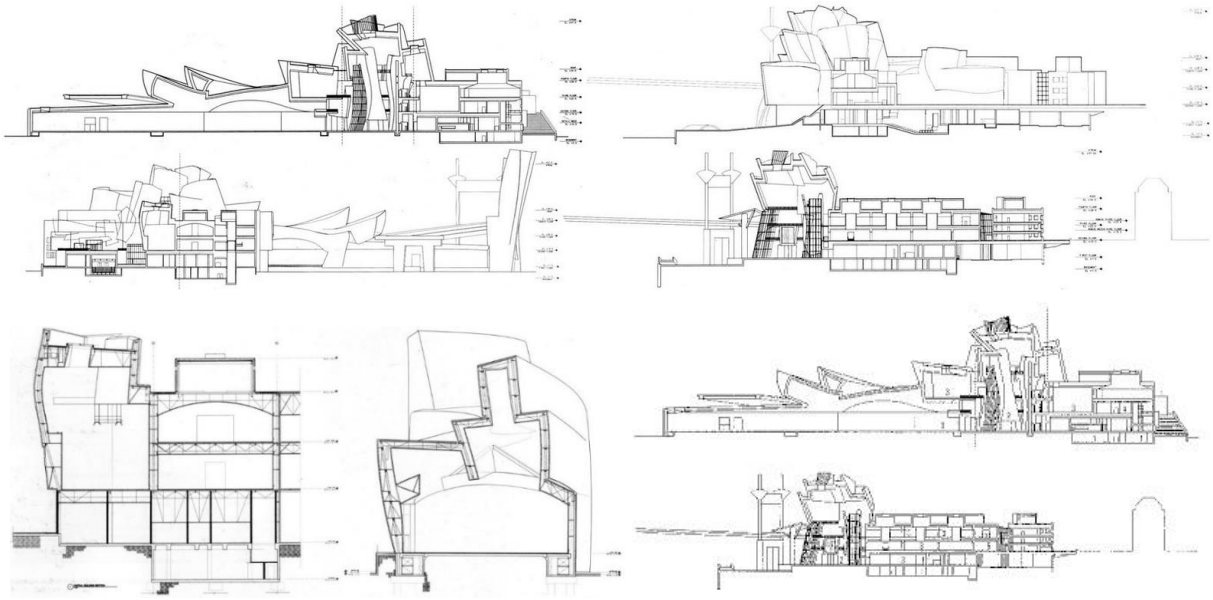
٨,٥. تأثيرالإنشاء على وظيفة المبني:

ساعد استخدام التيتانيوم على مقاومة التلوث البئي في المدينة لما لا يقل عن مائة عام, فألواح الحجر الجيري والزجاج الحراري المزدوج يحمي الفراغ الداخلي من الحرارة والإشعاع الشمسي.

كما درس Gehry أيضا ضوء الشمس، بحيث يتم إضاءة الأعمال بسخاء ولكن بطريقة معتدله، خاصة خلال أشهر الصيف.

وساعد الهيكل وأسلوب الإنشاء المستخدم بتوفير مساحات واسعه بدون أعمدة ساعدت على استغلال الفراغات من اجل تحقيق وظيفتها حيث يظهر التعبير التيكتوني في الازاحه المكانيه للمبني واستغلال الهيكل بطريقة تخدم الفضاء والتصميم للمبني بشكل عام

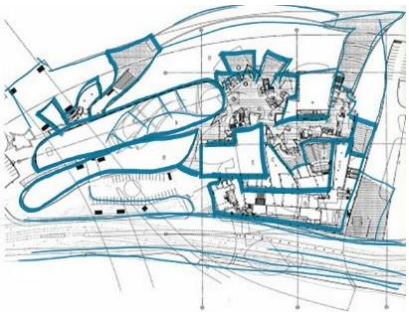




شكل ١٦ صور توضح مخططات المشروع

٩,٥. تأثير الإنشاء على الفرغات الداخلية:

١,٩,٥. من الناحية الشكلية: يتكون المبني من مجموعه من الفراغات التشكيليه التي تترابط ببعضها كوحده واحده وتنطلق من الوحدة الأساسيه فالتشكيل وهي ردهة المتحف حيث يتم الانتقال مباشره من الصاله الرئيسيه إلى ردهة المتحف وهي من أهم العناصر الأكثر تميزاً في تصميم جيري ويصل ارتفاعها إلى ١٦٥قدم، حيث تعلوها كسوة معدنية على شكل زهرة مصنوعة من المعدن تسمح بتدفق الأشعة الضوئية التي تبعث في الردهة نوعاً من الدفء والجاذبية. ويتاح لزوار المتحف الوصول بسهولة إلى تراس المتحف المكسوة بغطاء شفاف يستند على عمود حجري وحيد، ويخدم هذا الغطاء أغراض الوقاية بالإضافة إلى إضفاء لمسة جمالية في نفس الوقت.



شكل ١٧ يوضح تشكل الفراغات

٢,٩,٥. من ناحيه النسب والمقياس: أثرت النسب المعمارية الكبيره للفراغات في إعطاء الشعور بالرحابه والسعة وفخامة المكان حيث استخدم المصمم نسب الارتفاعات الكبيرة لتأكيد فكرته المعماريه للفراغات الداخليه

شكل ١٨ يوضح ارتفاعات ونسب المشروع

٣,٩,٥. من الناحية الوظيفية : ساعدت الخصوصية العالية التي يتمتع بها الفراغ المولد للتصميم تجاه الفراغات الأخرى الي الخارجي العام والذي انعكس على شكل التصميم حيث اعطي للمبني خاصية الانفتاح علي الفراغ العام الخارجي، فعمل علي جذب الزوار ممن يرغبون برؤية محتويات الفراغات الداخليه للمبني. وينقسم المتحف، المقام على ثلاثة مستويات، من الداخلإلى: قاعات العرض، والبهو، والمطعم، والمكتبة، وقاعة المحاضرات (بها ٣٠٠ مقعد)، والمحلات المخصصة لبيع الكتب والكتالوجات ونسخ الأعمال الفنية الخاصة بالمتحف ومعروضاته، ومجموعة من المكاتب الإدارية.

وبالنسبة إلى أكبر غرفة (بطول ١٣٠ مترًا)، صحن ممدود يستحضر شكل سمكة، مخصص للمنحوتات الضخمة. في الواقع، صُنعت أعمال ريتشارد سيرا الموجودة هناك خصيصًا للمعرض، وتم تجميعها أثناء عملية بنائه. وفي المقابل، توجد المتاهة وهي عبارة عن مجموعة من المنحوتات على أساس الهندسة المثلثية [19].

شكل ١٩ يوضح مرونة الحركة بالممرات

٤,٩,٥. من ناحية النفاذية الحركية :

تنطلق من هذا الفراغ مجموعة من الممرات المنحنية والمصاعد الزجاجية والسلالم التي تصل إلى ١٩ صالة عرض متنوعة الأشكال من الفراغات المستطيلة الكلاسيكية إلى فراغات نسب وأشكال غير مألوفه.

شكل ٢٠ يوضح الممرات والتكسيات الخاصه بها

أما بالنسبة للمصاعد فهي مغطاة بهذه الألواح الزجاجية التي تشبه الرقائق، في إشارة أخرى إلى العالم المائي الذي كان يستخدم سابقًا في "The Dancing House"، الذي صممه Gehry وMilunic على ضفاف نهر فلتافا في براغ.[19]

٥,٩,٥. من ناحية النفاذية البصريه :

ساعد الاتصال البصري بين الخارج والداخل والفراغات الداخليه علي زيادة التفاعل الاجتماعي بين الزوارحيث ساعدت الفراغات التفاعليه على تحقيق الاتصال البصري ضمن الطابق الواحد و الطوابق المختلفة بسبب تنوع الفراغات ويظهر ذلك بوضوح في تصميم المسقط الافقي وقطاعات المبني فيما يخص المسارات والشفافيه

شكل ٢١ يوضح تكسيه المصعد

بين الداخل والخارج للفراعات الحيويه بالمشروع

من ناحية الأضاءة:

ساعدت المنحنيات العشوائيه بالمبني على عكس الضوء بالفراغات كما تم عمل القبه التي تغطي البهو من المعدن وتتوزع فيها الفتحات الزجاجية التي تدخل الضوء الطبيعي من خلاله وبذلك تم تامين دخول الضوء الطبيعي إلى بعض صالات العرض عبر فتحات علوية مزوده بستائر متحركة أما صالات العرض المتبقيه فتضاء صناعيا بواسطه وحدات اضاءة أما معلقه في السقف أو على الجسور المعدنية الممتده بالصالات

شكل ٢٢ يوضح توزيع الاضائه الطبعييه في المبني

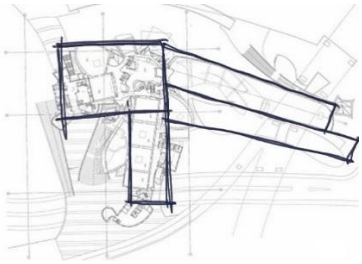
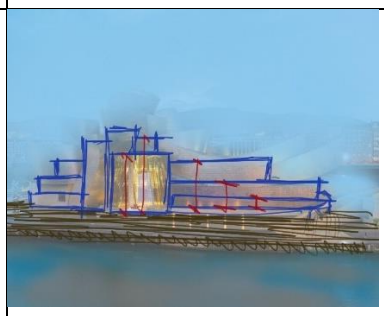
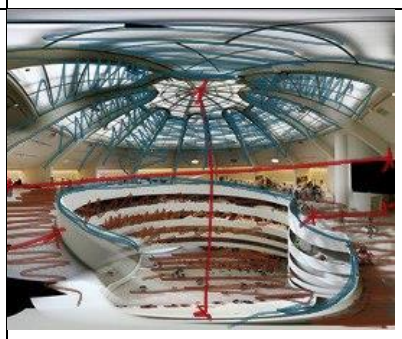
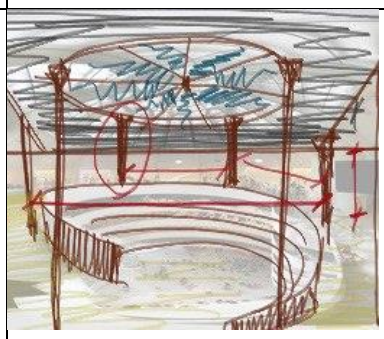
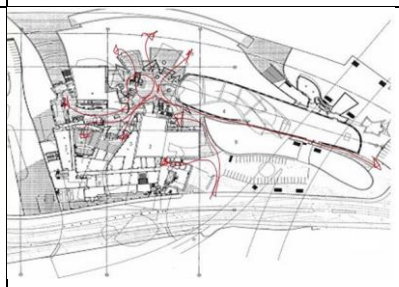
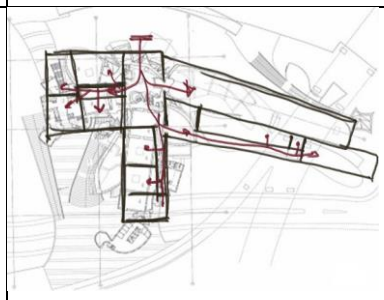
ويقتبس عن المصمم قوله: " أن التصميم جاء في صورته العشوائية، من أجل أن يلاحق الضوء " فمن المعروف أن الثنايا المختلفة والزوايا المتباينة التي يتعرض لها السطح قد جعلت إمكانية عكس أشعة ضوء الشمس في أي وقت من بزوغها ممكناً خصوصاً ومع إستخدام مادة التيتانيوم التي تعكس الضوء.

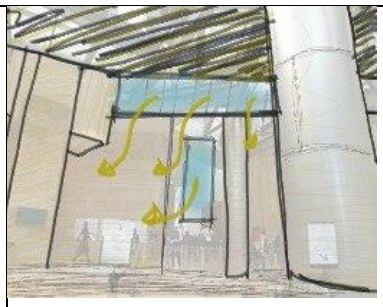
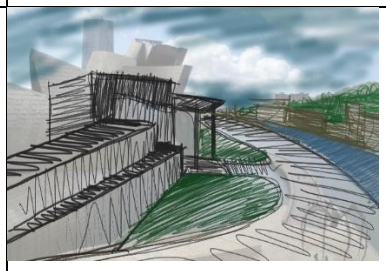
٦,٩,٥. من ناحية البناء و الفضاءالمحيط:

بالإضافة إلى ذلك، يتكامل كل من الردهة والمعارض المساحة بصريًا مع المناظر الطبيعية الخارجية، مع دمج منظر المدينة كجزء من مكون المبنى.

شكل ٢٣ يوضح البيئه المحيطه بالمبني

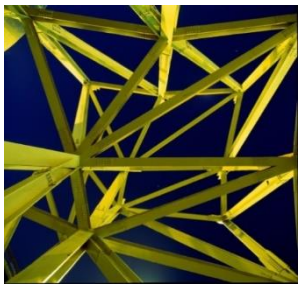
١٠,٥. جدول مقارنة الفراغات للمبني التيكتوني والاتيكتوني

وجه المقارنه	حالة الدراسه	التوضيح	القياسي	التوضيح
الشكل		ظهرت الكتل المعماريه متنوعه بشكل واضح في القياسات والارتفاعات مما يعبر عن شكل سفينه ضخمه علي النهر		ظهرت الكتل بشكل نمطي وارتفاعات قياسيه لا تظهر فكرة المشروع بشكل واضح
النسب والمقياس		ساعدت الارتفاعات علي تأكيد فكره التصميم الخاصه بالمشروع		تقليل نسب الارتفات لا يظهرالفكره بشكل واضح ويجعل الكتله غير مميزه
الوظيفه		ساعدت الفراغات الكبيره علي تقليل الشعور بالضوضاء وخلق فراغ كبير خالي من الاعمده		في الفراغ القياسي يقل الارتفاع للدور مما يؤدي الي زياده الضوضاء وتظهر الاعمده علي مسافات معينه بحيث تتحمل الفراغات الكبيره
الحركه		ساعدت الفراغات المتنوعه في المساحه علي ديناميكيه مسار الحركه مما يكسر الملل للمستخدم		في الممرات النمطيه ظهرت الممرات طويله ومملة وظهرت نقاط تجمع مما يؤدي الي الازدحام في بعض المناطق

الاضاءه		ساعدت الفتحات المتنوعه في الهيكل الأنشائي علي توزيع الأضائه النهاريه بشكل مريح لكامل الفراغ	 في الفراغات النمطيه تم الاعتماد علي فتحات الشبابيك مما يؤدي الي تقليل كميه الضوء الداخل للفراغ
البناء والفراغ المحيط		أعطي البناء بجوار النهر تفاعل قوي باظهار انعكاس المبني علي المياه والمؤثرات الضوئيه اثناء الاحتفال	 في الموقع النمطي تم الاستغناء عن النهر مما ادي الي تقليل التفاعل بين المبني والبيئه المحيطه

١١,٥. التفصيلات الإنشائية:

تم التعبير في المتحف عن مادة الإنشاء وطرق التشييد بشكل واضح، وبالرغم من أن كمية الإنشاء المكشوف قليلة إلا أنها تعبّر عن كيفية تشييد هذا المبنى المميز، فغالبية إنشاء المبنى مخفي ضمن الأشكال النحتية المنحنية والموجية باستثناء عدة فراغات حيث تم كشف الإنشاء الفولاذي الهيكلي فيها، مثل منطقة البرج التي يظهر فيها الإنشاء مفهوما من الجسر الواصل إلى جسم المتحف الأساسي، مما يعطي فكرة عن كيفية إنشاء بقية سطوح المبنى الخارجية، حيث يدعم الإطار الفولاذي المثلثي التقليدي البسيط تلك السطوح المعقدة هندسيا بشكل غير متوقع [15]



شكل ٢٤ يوضح التفصيلات الإنشائية

٦. الخلاصة:

تظهر العلاقة الأساسية بين الإنشاء والعمارة منذ بدء التفكير في المبنى، حيث أن الإنشاء يمثل الجانب المادي في العمارة وهو العامل المهم الذي يساعد في نقل الفكر المعماري من حالة الخيال إلى حالة الواقع الملموس والمرئي وعندما يكون نظام الإنشاء ومواد البناء وحدة واحدة يكونا احد المحددات الرئيسية في العملية التصميم المعماري.

وبالنظر إلى اغلب عمليات التصميم المعماري نجد أن الشكل الإنشائي نادرا ما يولّد الشكل المعماري بل يأتي ليكي يكون مستجيب للمتطلبات التصميمية ويترابط مع المفاهيم التصميمية للمشروع وتتمحور علاقة الشكل المعماري مع الشكل الإنشائي ضمن ثلاثة أنماط فهي أما مجتمعة او منسجمة متناغمة او تضاد, بهذه العلاقات المختلفة للهيكل الإنشائي والمعماري والفراغات قد يتوافق مع وظيفة المبنى أو يتعارض معها، فالهيكل بأنواعه المختلفه يلعب دور مهم في تنظيم الفراغات كما يمكن أن يغني الجوانب التعبيرية والرمزية للمبنى ويتداخل بذلك مع ثقافة المصمم وفكره وخبرته الشخصية وأيضا يمكن ان يساهم في كمية الضوء الداخلة إلى المبني ويساهم في تحديد المدخل ولقد أدى التطور التكنولوجي الحديث في مواد وأنظمة الإنشاء إلى أن أصبح الإنشاء أداة للتعبير المعماري وجزء هام فيه يساعد إلى الوصول لمبني تيكتوني معبر عن وظيفته وعناصره الإنشائية بشكل كبير.

وتحول العملية التصميمية بمعاونة البرامج الرقمية من التفكير في الشكل ثم تجسيده إلى عملية ايجاد الشكل رقميا ثم ربطه مع التفسير المناسب لخيارات المصمم الذهنية. وتمثل قيمة التكتونيك في العمارة الرقمية من خلال عملية خلق الشكل المعماري وارتباطها بعملية التصميم الهيكلي ونوع العلاقة التي تربط بينهما في عملية انتاج العمارة.

المصادر :

1- Frampton, K., “Reflections on the Scope of the Tectonic in studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in 19th and 20 th Century Architecture “, The MIT Press, London, 1995, p78 Schuller, Wolfang “Horizontal-Span Building Structure”, John Wily& Sons Inc., New York,1983, p.1-214
2- Aristóteles Cantalice II “A Armação tectônica na Arquitetura Amazônica de Severiano Porto | The Tectonic framework in Severiano's Porto Amazonic Architecture “ , 1980,p2
3- Y. Hürol , RECONSIDERING ETHICS IN THE TECTONICS OF ARCHITECTURE THROUGH THE TECTONICS of BODIES IN LOVE, 2014, p1-2
4- Sekler, E., “Structure, Construction, Tectonic: In Structure, In Art, In Science”, dited by Gyorgy Kepes, Studio Vista, London, 1965 p 125-133
5- الخفاجي ,محسن ,علي, “التكتونيك في العمارة“ , ٢٠١٥ p ٣-٢
6- Ole Egholm Jackson , “THE TECTONIC POTENTIALS OF CONCRETE ” ,Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy , 2013 , p28-29
7- Charleson, Andrew,” Structure As Architecture”, Elsevier, Architectural press, New York , 2005 p 135-156
8- Trovalusci, P. & Panei R., “ Towards an ethic of construction : the structural conception and the influence of mathematical language in architectural design ” , Proc. of the 1st Int. Conf. on Structures & Architecture p 45 Structural optimization vs. shape design . p4
9- Rob Bolin, PE, ” PRODUCTIVE APPROACHES BASED ON NATURAL PROCESSES IN FORMING THE BUILDING SHELL” , 2016 , p64-66
10- Cui, C., Ohmori, H. & Sasaki, M. 2003. Computational Morphogenesis of 3D Structures by Extended ESO Methods, J. *Int. Ass. Shell & Spatial Structures p51-61*
11- Trovalusci, Patrizia , “ On the “Tectonics” in architecture : between esthetics and Ethics” , University of Rome, Rome, Italy,2010 p 18
12- Gao, W. P., “ Tectonics ? A case study for digital free-form architecture Proceedings of Computer Aided Architectural Design ”, Yonsei University Press, Seoul, 2004, p.519.
13- AU YEUNG Chun Wa, “DEVELOPING TECTONICS: TOWARD A DIGITAL“, 2011, p 10-22
14- CHOR-KHENG LIM, YU-TUNG LIU , “NEW TECTONICS: New Factors in Digital Spaces“ 2005, p 3-11
15- https://www.archdaily.com/422470/ad-classics-the-guggenheim-museum-bilbao-frank-gehry
16- https://www.inexhibit.com/mymuseum/guggenheim-museum-bilbao/
17- https://artsandculture.google.com/project/guggenheim-bilbao
18- https://www.art-days.com/156222/
19- http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2012/08/f-gehry-guggenheim-museum-bilbao.html
- شكل ١ -١https://www.themodernhouse.com/journal/house-day-residencia-cavanelas-oscar-niemeyer/
- شكل ٢-٣ -٢https://www.themodernhouse.com/journal/house-day-residencia-cavanelas-oscar-niemeyer/
- شكل ٤ -٣https://www.nagata.co.jp/news/news0602-e.htm
- شكل ٥ -٤http://architectuul.com/architecture/dz-bank
- شكل ٦ -٥https://www.dezeen.com/2011/05/13/new-amsterdam-pavilion-by-unstudio
- شكل ٧ -٦https://www.metalocus.es/en/news/10th -anniversary-nordpark-cable-railway-zaha-hadid-architects
٧- شكل ٨ و ٩ و ١١ https://www.archdaily.com/422470/ad-classics-the-guggenheim-museum-bilbao-frank-gehry
- شكل ١٠ ١٣ – ١٤- ١٥ – ١٦- https://www.inexhibit.com/mymuseum/guggenheim-museum-bilbao/
- شكل ١٢ -٩http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2012/08/f-gehry-guggenheim-museum-bilbao.html
١٠- شكل ١٧-١٨-١٩-٢٢ -٢٣- بتصريف من الباحث