دور نظام نمذجة معلومات المباني
في تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ

الباحث: رضا حسن تقي
قسم هندسة العمارة / الجامعة التكنولوجية

الباحث: علي محسن الخفاجي
قسم هندسة العمارة /الجامعة التكنولوجية

الملخص

تعتبر تقنيات التصميم والتصنيع الرقمي أهم التقنيات التي توصلت اليها الثورة التكنولوجية الهائلة في العقود الأخيرة من القرن العشرين وكان لها أثر كبير في مجالات الحياة المختلفة وبالأخص في مجال الهندسة المعمارية من خلال التأثير على مستويات التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ ، فتطور البرامج الحاسوبية وظهور نظام نمذجة معلومات المباني BIM والأمكانيات التي وفرها قد ساهم في نقل عملية التكامل الى مستوى جديد لذا كان لابد من بيان مدى تاثير هذا التطور الحاصل على مستوى التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ ومناهج تحقيقة.

ومن هنا تحددت مشكلة البحث بـ(النقص في الأطار المعرفي حول أثر نظام نمذجة معلومات المباني على تكامل منظومتي الشكل والمنشأ) ، وأرتأى البحث الى دراسة تحليلية لنظام BIM لبيان أثر التطورات التكنولوجية الحاصلة في مجال التصميم والتصنيع الرقمي وتمثل هذا في هدف البحث.

وتوصل البحث في النهاية الى الأستنتاجات والتوصيات والتي تضمنت محورين : المحور الأول يشمل الأستنتاجات فيما يخص الأطار النظري اما المحور الثاني يضم الأستنتاجات فيما يخص الدراسة التطبيقية للمشاريع التي تم تحليلها.

الكلمات المفتاحية : نمذجة معلومات المباني ، نظام **BIM**، البرامج الرقمية ، مفهوم التكامل ، منظومة الشكل ومنظومة المنشأ.

Abstract

Design and digital manufacturing techniques are the most important techniques reached by the technological revolution tremendous in the last decades of the twentieth century and have had a significant impact in various fields of life, especially in the field of architecture by influencing levels of integration between shapesystem and structural system , evolution of software and the emergence of modeling information system BIM buildings and possibilities provided by the transfer has contributed to the process of integration to a new level, so it was necessary to show the extent of the impact of this evolution on the level of integration between Mnzawmte shape, origin and methods to achieve.

Hence identified research problem (decrease in cognitive frame on the impact of BIM on the integration of Mnzawmte shape and origin) system has felt search analytical system BIM to demonstrate the impact of technological developments in the field of design and digital manufacturing study this represents the goal of the search.

The research found in the conclusions and recommendations, which included the two axes: the first axis includes the conclusions with respect to the theoretical framework The second axis includes conclusions regarding the application study of projects that have been analyzed.

Key words: Building Information Modeling, digital software , the concept of integration, exterior system and structural system.

المقدمة

تعد الثورة الرقمية من أهم ما يميز القرن العشرين وخصوصاً الحقبة الأخيرة منه ، فقد أثرت التقنيات الرقمية على حياتنا بشكل عام ، وتطورت البرامج الحاسوبية بصورة مذهلة وبدأ الأعتماد عليها بشكل كبير في أدارة أغلب الأنشطة الحياتية ، وتأثرت العمارة بالتطور التقني كبقية الأنشطة ، وبات للأمكانيات التي توفرت نتيجة لذلك فضلاً عن تقنية المعلومات دور كبير في المجال المعماري ، ففي فترة قصيرة أصبح الحاسوب أداة أساسية بشكل كبير في المهنة المعمارية .

أن الهدف الأساسي للبحث هو تناول التقنيات الرقمية وخاصة نظام BIM والأمكانيات التي وفرها للمعماريين وتأثيرها على عملية تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل الخارجي ومنظومة الهيكل الانشائي ، وعليه تحددت :

مشكلة البحث : بوجود قصور معرفي في الطروحات السابقة حول دور نظام BIM في تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ.

فرضية البحث: أن تكامل منظومتي الشكل والمنشأ في عصر الثورة الرقمية مرتبط بتوظيف البرامج الحاسوبية في عملية التصميم والتصنيع الرقمي لعناصر المنظومات.

أهداف البحث : -

- بناء إطار نظري شامل لمفهوم التقنيات الرقمية ودخولها في العملية التصميمية ومساهمتها في تكامل منظومتي الشكل والمنشأ.
- توضيح أثر نظام BIM في النتاج المعماري المعاصر.

ولتحقيق أهداف البحث تم أعتماد المنهج الأتي :

تحليل الأدبيات السابقة لتحديد المفاهيم الرئيسية للتقنيات الرقمية المتمثلة بالبرامج الحاسوبية وتاثيرها على فكر المصمم وصولا الى نتاج تصميمي مبدع عن طريق تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ ، ومن ثم إستخلاص مفردات الأطار النظري التي يستند إليها في دراسته التحليلية لعدد من الامثلة العالمية التي تبرز مساهمة نظام BIM مع المصمم في تكوين نتاجات تصميمية مبدعة وبيان مستوى التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ ومدى تاثير ذلك في العمارة المعاصرة.

١ -١ : المنظومة

- التعريف اللغوي للمنظومة :- منظومة: (أسم) :صيغة المؤنَّث لمفعول نظَمَ ، مَنْظُومَةٌ فِكْرِيَّةٌ : أَيْ أُطْرُوحَةٌ تَتَضَمَّنُ مَفَاهِيمَ حَوْلَ قَضِيَّةٍ فِكْرِيَّةٍ ، مَنْظُومٌ : مُرَتَّبٌ ، مَضْمُومٌ بَعْضُهُ إِلَى بَعْضٍ . (معجم المعاني الجامع، معنى كلمة منظومة).
- التعريف الاصطلاحي للمنظومة:- منظومة : مجموعة أفكار ومبادئ او هيئات مُرتبطة ومنظّمة. (معجم المعاني الجامع ، الفرق بين منظومة ونظام ما).
- تعددت الطروحات حول وضع تعريف للمنظومة الا انها تعبر استناداً الى Kenyon عن مجموعة من الاجزاء أو المكونات ترتبط بعلاقات تتصف بوجود الخصائص والصفات التي تحكم المنظومة وأجزائها. (Kenyon, 1970, p. 2).
- المنظومة هي بنية ذاتية متكاملة تترابط مكوناتها ببعض ترابطًا بينيًا في علاقات تبادلية التأثير ديناميكية

التفاعل قابلة للتكيف ، يعني أنها بنية مفتوحة وليست مغلقة، عنكبوتية التشابك لا خطية التتابع، والبنية المنظومية تكون أكبر من مجموع مكوناتها .فالخبرات التعليمية المتشابكة تعمل معًا ككل نحو تحقيق أهداف معينة وهي في حالة تغير ديناميكي دائم وتتضح فيها كافة العلاقات بين أي مفهوم وغيره من المفاهيم . (عفانه ، عزو ، ٢٠١٢).

- يمكن تعريف المنظومة في العمارة بالأتي :- هي مجموعة من العناصر يرتبط كل عنصر بالاخر بعلاقات لتشكل بنية ذاتية متكاملة. ترتبط كل منظومة مع المنظومات الاخرى بعلاقات أهمها علاقات التوحد والتشابك والاتصال والتلامس والانفصال . المصدر: (الباحث).

١ -٢ : مفهوم التكامل

يعرف التكامل لغويا من خلال المعنى الاشتقاقي لكلمة (integrate) وهي (integrates) والتي تعني التشكيل لغرض الوصول الى الكل الموحد ، يرتبط التكامل مع الشكل والفكر ، المادة والروح ، وهو يختلف عن الوحدة Unity والتي عادة ما ترتبط بالشكل او التشكيل الفيزياوي. (Webster, 1973, p. 340).

يشير Rush الى ان مفهوم التكامل يعني المزج To Blend او التشكيل To Form في الكل لمكونات فردية او جماعية مما يؤدي الى تكوين الوحدة ، أما ضمن أنظمة المبنى فأن مفهوم التكامل يكون في عملية أيجاد وظائف مشتركة بين منظومات المبنى. (Rush, 1986, p. 8)

أن التكامل كمفهوم يشير الى علاقة توافق بين الأجزاء لتكوين كل واحد ، اما في حقل العمارة وعلى مستوى المبنى الواحد فأن عملية التكامل تحدث بين المنظومات المعمارية من خلال تداخل وأشتراك وظيفة كل منظومة مع المنظومات الاخرى والغرض من التكامل هو التاثير الأيجابي على زيادة الكفاءة لعمل المنظومات وأختصار الوقت في التصميم والأنشاء وترشيد كمية المواد المستخدمة في كل منظومة. الباحث

١ -٣ : مستويات التكامل

- التكامل المنفصل (Remote Integration) : وهو أول مستويات التكامل واقلها شيوعاً ، تكون فيه المنظومات المعمارية منفصلة فيزياوياً عن بعضها

البعض ومع ذلك فان هناك وظائف منسقة بينها.

- التكامل المتلامس (Touching Integration): هذا النوع من التكامل يعتمد على قوة جذب الارض كقوة رابطة وتستند المنظومات احدها على الاخرى وتشمل العلاقة بينهم الاتصال دون وجود توصيل ثابت بينهما ، كمثال على ذلك استناد منظومة الشكل على منظومة الهيكل الانشائي.
- التكامل المتصل (Connected Integration): في هذا المستوى من التكامل فان المنظومات تترابط فيزياوياً فيما بينها بواسطة ادوات التثبيت المختلفة والتي تكون اما ثابتة او متغيرة.
- التكامل المتشابك (Meshed Integration): في هذا المستوى فان المنظومات تحتل الفضاء نفسه وتتداخلان معه.
- التكامل الموحد (Unified Integration): هذا المستوى هو أقصى درجات التكامل وفيه تكون المنظومات متداخلة الى درجة يصعب تمييز منظومة عن المنظومات الاخرى ، كمثال ان تكون المنظومة الشكلية هي نفسها المنظومة المنشئية. (التميمي، ٢٠١٢، ص٦٩).

١ -٤ : أنماط التكامل

يشير Bachman الى ثلاث انماط تحكم العلاقات التكاملية بين المنظومات المعمارية ، وهذه المستويات هي :-

التكامل الفيزياوي (Physical Integration) :- ويحدث عندما تكون المنظومات المعمارية مشتركة في الفضاء نفسه ومرتبطة مع بعضها بعلاقات مختلفة مثل التشابك والتداخل والطي والتراكب. (Bachman, 2003, p. 2)

التكامل البصري Visual (Integration) :- يعني مستوى التكامل البصري أن المنظومات المعمارية تتكامل من حيث المظهر الخارجي وليس بالضرورة أن تكون متداخلة وظيفياً ، يتم هذا التكامل من خلال جعل المنظومات متشابهه في الشكل او اللون او الملمس والمواد المستخدمة. (Bachman, 2003, p. 5)

التكامل الادائي (Performance Integration) :- يتحقق التكامل الادائي عندما تشترك منظومتين او اكثر في

وظيفة مشتركة ، ويساهم هذا النوع من التكامل في تقليل التعقيد الذي يعتري العملية التصميمية وتوفير الكلفة الاجمالية. (Bachman, 2003, p. 3)

١-٥ : التعريف الاجرائي للتكامل

هو عملية تحقيق الترابط بين منظومات المبنى وأيجاد وظائف مشتركه بينها من خلال تشكيل علاقات متبادلة بمستويات مختلفة بين المنظومات تساهم في رفع أدائية المبنى وتحقيق الغاية التي صمم من اجلها.

٢ -١ : مفهوم الـ BIM

أن أساس هذة التقنية هو أستخدام عناصر مطابقة لعناصر البناء (جدران نوافذ أبواب أعمده ...الخ) وكل من هذه العناصر لها طبيعة مبنيه على تحديدات (Parametric)بمعنى أن كل عنصر يحتوي معلومات معه فالجدار يحتوي معلومات عن أرتفاعه وسمكه والمواد الانشائية له ...الخ. (Eastman, 2011 , p31).

وهذه التقنية لاتعتمد على تصميم عناصر المبنى المختلفة كأشكال هندسية ثنائية أو ثلاثية الأبعاد فقط ، وأنما كعناصر لها خصائصها الفيزيائية والميكانيكية والكهربائية ، مما يسمح بالتحول السريع بين التصميم والمحاكاة من جهة وبين النتائج الهندسية ومخططات التنفيذ من جهة أخرى. وبالتالي فان هذه التقنية تجمع بين برامج الرسم الحاسوبي الـCAD ، وبين برامج المحاكاة Simulation ، وبرامج التحليل و التصميم Analysis & Design في أطار واحد. وهذا يمنح المهندس سهولة في العمل وسرعة في أتمامه. كما وتتيح البرامج التي تعمل وفقا لهذه التقنية سهولة نقل النماذج والتصاميم بين أكثر من برنامج ما يعرف بالـ Work Flow. (BIM , 2014).

هذا وتغطي نمذجة معلومات المباني الهندسة والعلاقات الفراغية وتحليل الضوء والمعلومات الجغرافية، وكميات وخصائص مكونات المبنى ، كما أن دورة حياة المبنى بكاملها يمكن تمثيلها بطريقة النمذجة المعلوماتية، بما في ذلك من عمليات بناء وتشغيل المبنى ، كذلك، تعمل هذه الطريقة من النمذجة على تسهيل العديد من المهام مثل أستخراج وتصنيف الكميات والمواصفات للمواد المستخدمة. ويمكن أيضا العمل بشكل جزئي لكل شخص في فريق العمل، كتوزيع مهام تنسيق الموقع والمباني والاثاث الداخلي على أشخاص مختلفين ويعمل كل على حدة في نفس النموذج

المركزي. (Eastman & Others , 2011, p. 44).

٢ -٢ :أشهر البرامج المعتمدة لنظام BIM: -

هناك العديد من البرامج العالمية التي تعتمد نظام BIM، سنتطرق الى نبذة عن بعض البرامج المشهورة:

- في مجال التصميم المعماري:
  - برنامج ArchiCAD المنتج من قبل شركة Graphisoft :- يمكن برنامج الأركيكاد مستخدمه من أنشاء مبنى أفتراضي من عناصر إنشائية أفتراضية مثل الجدران ، والارضيات ، الأسطح، الأبواب، الشبابيك والأثاث. كما يتوفر ضمن البرنامج خيارات كبيرة من العناصر المكتبية القابلة للتعديل، يبين الشكل (٣- ١٠) واجهه البرنامج.
  - برنامج Revit Architecture المنتج من قبل شركة Autodesk :- هو أحد برامج شركة Autudesk ، يُشبه في عمله برنامج Archicad ، صمم برنامج Revit خصيصًا للمُهندّسين والمعماريّين والمُصمّمين الدّاخليّين ؛ حيثُ يسمحُ لمُستخدميه تصميم المَبانى ومكوّناتها في نماذج ثلاثيّة الأبعاد بما يحويه من أدواتٍ قادرةٍ على التّصميم، مع أمكانيّة تحويلها إلى نماذج ثُنائيّة الأبعاد، ومن ثمّ الحصول على معلومات المَبنى بناءً على قاعدة بيانات النّماذج. يتبع التصميم مختلف مراحل دورة حياة المشروع أو المبنى، بدءًا من مفهوم البناء الأولي إلى مرحلة الهدم في وقتٍ مُتأخّر. يبين الشكل (٣- ١١) واجهة البرنامج. (ويكيبيديا ، برنامج الاركيكياد).
  - على صعيد التصميم الانشائي :- يبرز برنامج Autodesk Revit Structure الذي يتميز بسهولة التصميم الانشائي (أعتماد النموذج الفيزيائي لا التحليلي) مع توفر تقنية الربط ببرنامج ال Autodesk Robot Structural Analysis Professional الأمر الذي يمكننا من تصميم المبنى انشائيا بشكل مباشر. كما يسمح هذا البرنامج بتحديد الأسعار والكميات واقامة الرسومات الانشائية. يبين الشكل (٣- ١٢) واجهه برنامج Revit Structure.

٣-٣ : مميزات وفوائد أستخدام نظام **BIM** ودورة في تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ

في دراسة حديثة أجريت مؤخراً ، قامت مؤسسة McGraw Hill بأجراء أستطلاع في نهاية سنة ٢٠١٣ شملت ١٠ دول هي أستراليا ، البرازيل ، كندا ، فرنسا ، المانيا ، اليابان ، كوريا الشمالية و الجنوبية ، نيوزلندا ، بريطانيا والولايات المتحدة الامريكية ، أظهرت عدة فوائد ومميزات لتطبيق نظام BIM في تصميم وتنفيذ المشاريع ، ويبين ملحق (٢) نسبة التصويت (حسب الدراسة التي أجريت) لكل ميزة وأهميتها ، وهذة المميزات هي التالي :-

١- تقليل نسبة الاخطاء والسهو في مرحلة التصميم ، وهذا العامل البسيط له تاثير كبير جدا في تقليل زمن الانجاز والمواد الانشائية والكلفة الاجمالية ، لذلك فهو يعتبر اهم ميزة من مميزات نظام BIM.

٢- تحسين العلاقة بين المصمم والجهة المستفيدة اثناء مراحل تصميم وتنفيذ المبنى ، اذ ان نظام نمذجة معلومات المباني يسمح بمشاركة المعلومات بسهولة بين اكثر من جهه وأعطاء تغذية أسترجاعية Feedback مما يسهل التواصل بين افراد فريق العمل والجهه المستفيدة.

٣- تقليل من عملية التعديل واعادة العمل rework ، وذلك بسبب شفافية مراحل التصميم والعمل الجماعي الذي يسهل من تحديد الاخطاء اثناء مراحل التقدم بالعمل والعمل على تصحيحها بصورة مبكرة.

٤- التقليل من كلفة انشاء المبنى الاجمالية.

٥- القابلية على توقع الكلفة الاجمالية للمشروع والتحكم بها ، حيث ان القابلية على اجراء التعديلات على النموذج الاولي واجراء التحليل لهة باستخدام نظام BIM تمكن فريق العمل من تحديد كلفة للمشروع والعمل على اجراء تعديلات على التصميم الاولي ليتناسب مع الكلفة المحددة له.

٦- تقليل الزمن الكلي لانجاز المشروع، بسبب تقليل نسبة الاخطاء والتعديلات على المشروع وشفافية العمل بين أعضاء الفريق ، كل هذة الاسباب تؤدي الى تقليل الزمن اللازم لاتمام العمل على المشروع.

٧- زيادة الارباح والفوائد المالية.

openkandil.com

٨- التقليل من زمن سير العمل. من خلال مشاركة المعلومات مع جميع أطراف العمل وهذا يسرع من عملية أتخاذ القرارات .

٩- زيادة الامان. من خلال السيطرة على عملية تنفيذ المبنى آلياً واعتماد التصنيع الرقمي في أجزاء من المبنى ساهم في تقليل الايدي العاملة . http://blog.visualarq.com/2014/03/12/15-advantages-of-using-bim/

٣ -١: استعراض الدراسات السابقة

٣ -١ -١ : الدراسات العالمية

اولاً : دراسة Y. Arayici & Others **سنة ٢٠١١ بعنوان (BIM Adoption and Implementation for Architectural Practices)**

أوضحت الدراسة مفهوم نمذجة معلومات المباني BIM وعرفته بانه أداة تستعمل من قبل كادر التصميم لتحسين النتاج المعماري عن طريق الاستفادة من التغذية الراجعة وتحقيق عملية التكامل ما بين الانظمة. ان الانتقال من نظام CAD الى استعمال نظام BIM يتعبر تطور هائل في مجال البناء وتصميم المباني على مستوى شامل . بالرغم من استخدام نظام نمذجة معلومات المباني بصورة رئيسية في الشركات المعمارية الكبيرة ، الا ان أستخدامه ما زال غير منتشر بصورة واسعة في المكاتب المعمارية الصغيرة. (Y. Arayici, 2011, pp. 3-5)

ثانياً: دراسة **Eastman , (Chuck)** سنة ٢٠١١ بعنوان **"BIM Handbook"**

تشير الدراسة الى أن نظام BIM يستوعب العديد من الوظائف اللازمة لتصميم نموذج افتراضي لدورة حياة المبنى ، موفراً بذلك الامكانيات الاساسية لتصميم وانشاء مبنى جديد وأجراء التعديلات عليه مغيراً بذلك العلاقات بين أفراد فريق العمل عما كانت عليه في السابق قبل ظهور هذا النظام ، ان نظام نمذجة معلومات المباني قد ساهم وبشكل كبير في انتاج مباني ذات كفاءة عالية والتقليل من كلفة وزمن الانشاء . (Eastman , & Others, 2011, pp. 10-11)

أن برامج الـBIM أعطت المعماريين الامكانية في دمج النماذج الثلاثية الابعاد مع المقاطع الثنائية الابعاد وتحديد دقة التفاصيل للنموذج النهائي ، كذلك فان اي عنصر يتم رسمه يتم أضافة المعلومات المتعلقة به مثل نوع مواد الانهاء ومعلومات العزل الحراري والتكلفة وغيرها الى سجل

البيانات الخاصة بالمشروع وبهذا يستطيع المستخدم الحصول على جداول المعلومات للمبنى ككل. (Eastman & Others, 2011, p. 34)

ثالثاً : دراسة **(Sanguinett & Eastman)** سنة ٢٠١٢ بعنوان

" General system for BIM: An architecture integrated approach for designand analysis"

تتناول الدراسة موضوع نمذجة معلومات المباني (BIM) و الطريقة الفعالة للتعامل مع هذا النظام للحصول على أفضل وأدق النتائج ، حيث أن عدم تطبيق نظام (BIM) بشكل صحيح سيودي الى خسارة مميزات نظام BIM وبالتالي خسارة في الوقت والجهد ويحول النظام الى نظام ال CAD بشكل آخر وربما مع صعوبات ومشاكل أخرى. (Sanguinetti & Eastman, 2012, p. 2)

أوضحت الدراسة أن الأستخدام الخاطى لنظام BIM يفقد النظام خصائصه ومميزاته محولاً اياه الى نظام CAD ، بينما الأستخدام الصحيح لنظام BIM يضمن أستغلال خصائص النظام في توفر سرعة في العمل واختصار الوقت وسهولة تحقيق التكامل بين منظومات المبنى ، ان أهم ميزة للعمل بنظام BIM هو أجراء عملية تحليل البيانات و الحصول على التغذية الراجعة بالتزامن مع عملية التصميم ، وبهذا تحديد المشاكل التصميمية بشكل مبكر وسهولة اجراء التعديلات على تصميم منظومات المبنى قبل اعتماد التصميم بشكلة النهائي.

٣ -١ -٢ : الدراسات المحلية

اولاً : السامرائي ، صفاء الدين علي، أثر تكنولوجيا النظم المنشئية في النتاج المعماري المعاصر ، ٢٠١٤

تتناول الدراسة موضوع تاثير تكنولوجيا النظم المنشئية على النتاج المعماري المعاصر ، من خلال دراسة التطور الحاصل في تكنولوجيا النظم المنشئية من المواد واساليب الانشاء بالاضافة الى ظهور الثورة الرقمية وتاثيرها على امكانيات التصميم المعماري والانشائي في خلق نتاج معماري متميز ، اذ اعتبرت الدراسة ان تكنولوجيا النظم المنشئية هي مصدر الابداع في النتاج المعماري المعاصر .

ثانياً : دراسة (مجيد ، علي سعيد) سنة ٢٠١٥ بعنوان (التكنولوجيا الرقمية وتطبيقاتها في الهياكل المنشئية العضوية)

تطرح الدراسة موضوع التطور التكنولوجي الرقمي وتأثيرة على النظام

openkanar.com

الأنشائي للأبنية المعاصرة ، أذ بفضل التقنيات الرقمية والبرامج الحاسوبية الجديدة وما جلبتة من أمكانيات ، فان الخيارات التصميمية والتنفيذية لدى المصمم توسعت وهذا بدوره أدى الى تحرير المصمم من القيود التي كانت تفرضها عليه عملية التصميم التقليدية وأنتاج أبنية باشكال عضوية معقدة ومفصلة ، فضلا عن أنتاج الأشكال المنحنية والغير منتظمة ، ومن هذا فقد ظهرت ضرورة تطوير وسائل التصنيع والتنفيذ ، فكانت النتيجة هو الحصول على جيل جديد من وسائل التصنيع الرقمية والمتمثلة بالآلات والمكائن التي تتميز بالذكاء الصناعي والتي تساعد في أختصار الوقت والجهد والكلفة لأنتاج المشاريع المعمارية المعاصرة للأبنية القشرية العضوية والمعقدة وبشكل مفصل .

٤ -١ : أستخلاص الأطار النظري والدراسة التطبيقية

تم أستخلاص الأطار النظري للمفردات الرئيسية لدور نظام BIM في تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ والمفردات الثانوية كما في الجدول (١) التالي:

جدول (١) خلاصة الأطار النظري لتحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ

	المفردات الاساسية	المفردات الثانوية	القيم الممكنة	
١	مؤشرات أستخدام نظام BIM في عملية التصميم لمنظومتي الشكل والمنشأ	البرامج الحاسوبية المستخدمة في عملية التصميم	Autodesk Revit	Architecture
				Structure
				MEP
			Graphisoft ArchiCAD	
			Tekla	
			BoCAD	
			RhinoBIM	
٢	مؤشرات التصنيع الرقمي لمنظومتي الشكل والمنشأ	تقنيات تصنيع الأجزاء ثنائية الأبعاد	مكائن CNC	
			مكائن قطع الليزر	
		تقنيات تصنيع الأجزاء ثلاثية الأبعاد	أستخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد	
			تصنيع القطع بالمكائن التشكيلية	
		أعتماد أساليب جديدة في التعامل مع المواد التقليدية	أعتماد الروبوتات	
			أعتماد القوالب المصنعة	
٣	مؤشرات تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ	العلاقات التكاملية بين منظومتي الشكل الخارجي	مستوى التكامل	
			نمط التكامل	

	بأستخدام نظام BIM	والمنشأ	
		المعالجات المتبعة	أستخدام المواد المحلية
			تقليل الكلفة
			اعطاء بدائل مختلفة للتصميم
			اختصار وقت التنفيذ
			تحقيق مستوى أدائية عالي

٤ -٢ : طرق القياس والتحليل

اعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي للشروحات والنصوص التفصيلية لكل مشروع مع تحليل الرسوم التي توضح الفكرة التصميمية والمنظومة المنشئية ، ولغرض توضيحها بشكل مفصل تم تحليلها في أستمارة خاصة وحسب مفردات الأطار النظري ، ثم تم جمع القيم المتحققة في جدول (٢) وصولاً الى الأستنتاجات.

٤ -٣ : مبررات أختيار العينة

لغرض أجراء التطبيق ، إستند البحث في دراسته التطبيقية الى إنتخاب مجموعة من المشاريع الرقمية المعاصره التي تتفرد بأهميتها المعمارية بوصفها نماذج أكتسبت أهميتها مما تقدمه من مثال حول الجمع بين توظيف أمكانيات التقنيات الرقمية على مستوى التصميم والتصنيع الرقمي بهدف توليد مباني ذات منظومات متكاملة فيما بينها وذات أدائية عالية.

تم أنتخاب المشاريع المعمارية بعد أن خضعت لمجموعة من المعايير أشتملت على ما يأتي :-

١- أن تكون جميع المشاريع المنتخبة منفذة على أرض الواقع أو قيد التنفيذ.

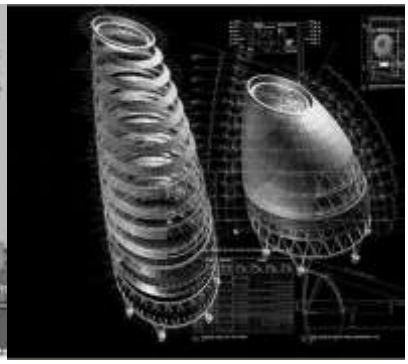
٢- أن تنتمي المشاريع الى نفس التوجهه المعماري وهو توجهه العمارة الرقمية .

٣- التنوع في عملية التصميم الرقمي ، بدءاً بأختيار برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد والتنوع في شكل وتكوينات المشاريع حسب نوع الأجسام المنتخبة وطريقة التعامل معها في برامج النمذجة ، والتنوع في عمليات التصنيع الرقمي لهذة العينات (التنوع في طرق التصنيع والتنوع في أختيار مواد التغليف النهائية من الخارج والداخل).

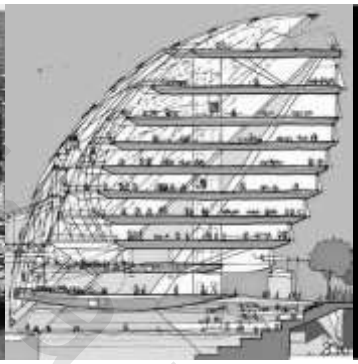
ووفقاً لذلك تم أختيار المشاريع التالية:

أولاً : مشروع (London City Hall) للمعماري نورمن فوستر عام ٢٠٠٢ : -

في أعقاب الأزمة المناخية التي يشهدها العالم ، تم عمل دراسات بيئية مكثفة على المباني وتاثيرها في الأحتباس الحراري والتغيرات المناخية التي يشهدها كوكبنا ، وتم التوصل الى أن المباني المشيدة مسؤولة عن أستهلاك نصف الطاقة الكلية في دول العالم المتقدم ، بألاضافة الى قلة وعي الناس بأن المباني مسؤولة عن أنتاج نصف الكمية من الأنبعاث الكاربوني الى الجو من كل أنحاء الكرة الأرضية.



شكل (١) : التحليل الاولي لمنظومات المبنى باستعمال برامج BIM أثناء عملية تصميم الكتلة.



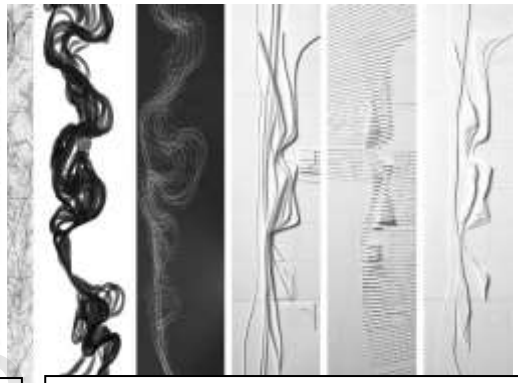
شكل (٢) مقطع يوضح تفاصيل المشروع .

شكل (٣) لقطات توضح منظومة الغلاف الخارجي لمشروع (London City Hall) من تصميم المعماري نورمن فوستر .

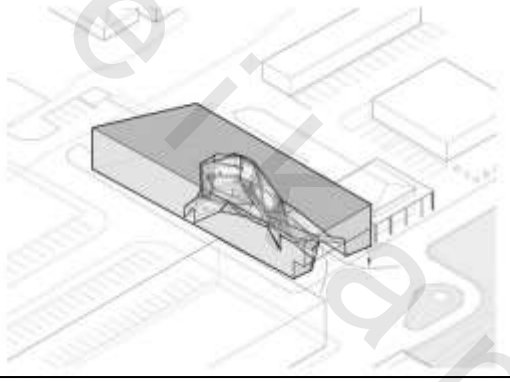
ساعدت برامج BIM فريق العمل في وضع عدة مقترحات أولية للتصميم والحصول على التحليل الأولي للأداء الأنشائي والحراري والصوتي للمبنى ، ومن ثم أختيار المقترح الأفضل وأجراء عملية التطوير والتعديل لتحقيق أعلى مستوى من الكفاءة البيئية والوظيفية ، وتم أستثمار الأمكانيات التي توفرها برامج BIM في عمل الدراسات التحليلية لتطوير التصميم من مرحلة الأفكار الأولية الى أن يصبح شكلاً ذو حل متكامل لمسألة الطاقة وأساس منطقي يمكن من بنائه. تحقيق الأداء الامثل لاستهلاك الطاقة من خلال أتباع معالجات تصميمية على مستوى منظومة الغلاف الخارجي ومنظومة الخدمات كزيادة نسبة التضليل وتقليل مساحة السطوح المعرضة لأشعة الشمس المباشرة ، بالأضافة الى أستراتيجيات توفير التهوية الطبيعية وأستخدام الخلايا الشمسية لتحقيق أقل أستهلاك للطاقة والذي وصل الى نسبة ٢٥٪ من أستهلاك أي مبنى نموذجي آخر في مدينة لندن. شكل (١) ، شكل (٢) ، شكل (٣).

ثانياً : مشروع The Louisiana State Museum and Sports Hall of Fame من تصميم شركة **Trahan Architects** عام ٢٠١٣ :

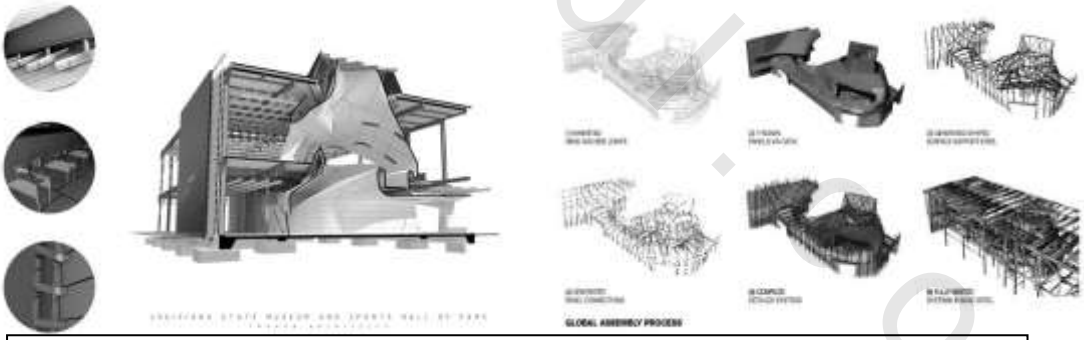
يقع المشروع على بحيرة (Cane) والتي تتميز بالطابع التاريخي ويحيطه نهر (Red River) في شمال ولاية (Louisiana) ويعتبر المشروع أحد أفضل الأمثلة التي تبين فعالية تطبيق نظام BIM في تصميم المنشأت والمباني ، اذ تمت عملية تصميم منظومة الهيكل الأنشائي بأستخدام برامج BIM بصورة أولية أثناء عملية التصميم الرقمي لكتلة



شكل (١) اعتماد موقع المشروع كمرجع شكلي للفكرة التصميمية.



شكل (٢) التصميم الاولي لكتلة المشروع باستخدام برامج BIM .



شكل (٣) : التحليل الاولي لمنظومات المبنى باستعمال برامج BIM أثناء عملية تصميم الكتلة.
المصدر (http://www.archdaily.com)

المشروع ، حيث تم أقتراح أكثر من نظام منشئي ، وتم فيما بعد تحديد النظام القشري (Thin-shell structure) ليكون النظام المنشئي الرئيسي للمبنى ليتماشى مع الاشكال المختارة تصميم منظومة الفضاء الداخلي وايضاً مع الفكرة الرئيسية للمشروع . كذلك تم

أستخدام أمكانيات النمذجة لبرامج BIM في عملية تعديل السطوح المتكونة بواسطة برامج BIM والبدء بعملية تقسيم السطوح الى أجزاء وتحديد قطع التغليف ومعالجة الزوايا والمشاكل الحاصلة بصورة آنيه قبل الوصول الى التصميم النهائي.

أما بالنسبة الى منظومة الغلاف الخارجي ، فتم أستعمال المواد المحلية والتغليف بألواح الخشب لتعزيز علاقة المبنى مع منظومة الموقع المحيطة به ، فالفكرة التصميمة هي ربط الأهمية التاريخية للموقع والمواد المحلية مع التقنيات الحديثة والنظريات المعاصرة للعمارة ، وتم أستخدام اليآت التصنيع الرقمي في عملية تصميم قطع التغليف لمنظومة الغلاف الخارجي لأمكانية الحصول على قطع مختلفة الأبعاد وبدقة عالية بواسطة برامج BIM واليات التصنيع الرقمي (Mass Customization) للقطع لتتناسب مع التصميم الخارجي لكتلة المبنى. شكل(٤)

ثالثاً : مشروع البنك المركزي العراقي من تصميم المعمارية زها حديد لعام ٢٠١٤ :

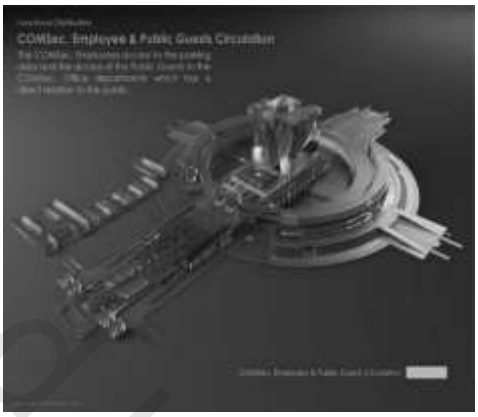
يقع المشروع في منطقة الجادرية في مدينة بغداد بالجهه المطلة على نهر دجلة ، يتكون المبنى من القاعدة الرئيسية مع برج يعلو القاعدة يتألف من (٣٧) طابق ، وتبلغ المساحة الكلية للمشروع (٢٠٠٠٠م^{٢}) ، أما المساحة البنائية (GIA) فتقدر بـ(٩٣٠٠٠ م^{٢}). يوضح الشكل (٨) المنظور الخارجية للمشروع.

تم تصميم منظومة الغلاف الخارجي بأستخدام نظام BIM والذي يوفر سهولة العمل والتعديل على الأشكال العضوية والحصول على تحليل منظومات المبنى الأولية أثناء مرحلة التصميم ، شكل (٤-٧١) ، وتم عمل نموذج مصغر بأستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد للحصول على رؤية لتناغم كتلة المبنى مع النسيج الحضري المحيط بالمشروع. شكل (٤-٧٢).

أما بالنسبة لعملية تحليل منظومة الغلاف الخارجي للمبنى، فان الشكلين (٤-٧٣) ، (٤-٧٤) يوضحان عملية تحليل منظومة الغلاف الخارجي للمبنى بأستخدام برامج BIM والبدء بعملية التصميم الرقمي لتفاصيل منظومة الغلاف الخارجي ، كتصميم الشفرات الخارجية للكتلة وزوايا الانحراف الخاصة بها.

شكل (١٠) تصميم كتلة المبنى بأستخدام برامج BIM .

شكل (١١) تحليل عملية تصنيع عناصر منظومة الهيكل الأنشائي الأساسي والثانوي للمبنى بأستخدام برامج BIM .



شكل (١٢) تحليل منظومة الهيكل الأنشائي للمبنى بأستخدام برامج BIM وتحقيق التكامل بين منظومتى الغلاف الخارجى والهيكل الأنشائى.

شكل (١٣) المناظير الخارجية للمشروع. المصدر(مكتب كاب للاستشارات والتصاميم الهندسية).

٤ -٤ -٥ : مشروع تصميم مبنى الأمانة العامة لرئاسة مجلس الوزراء من تصميم المعماري منهل الحبوبي لعام ٢٠١٤

يتكون التصميم من جزء رئيسي وهو المكعب الذي يقع في قلب المشروع والذي يرمز الى الصلابة والهيبة ، يقسمة الى نصفين الشكل المفرغ لرمز الأبدية (Infinity) وهو من أقدم الرموز للحضارة السومرية ، يتكون المبنى المركزي (بناية المكعب) من ١٢ طابق وبطابقين للسرداب ، ويضم المكاتب الأدارية للمبنى ، يتكون باقي المشروع من جزئين أساسيين : الجزء الاول وهو مبنى الختم ويمثل قاعدة المبنى بأرتفاع ثلاث طوابق وجزء منة طابق مزدوج

الأرتفاع (Double Volume) ويحوي أيضاً على سرداب ، الفكرة التصميمية للكتلة مستوحاة من الأختام القديمة ، ويضم مكتب رئيس الوزراء ومكاتب الشخصيات المهمة ومكاتب الوزراء فضلاً عن قاعة التشريفات وقاعة الأجتماعات وفضاءات الخدمات الملحقة بالمبنى ، تم توقيع هذا المبنى ضمن الموقع ليمثل حلقة وصل ما بين النهر والشارع الرئيسي . شكل (١٣). يبين الشكل (١٥) عملية نمذجة وتصميم منظومة الغلاف الخارجي للمبنى بأستخدام برامج BIM ، ومن ثم الوصول الى عملية التصميم لتفاصيل المنظومة والتي تتضمن تغليف واجهه المبنى المكعب بألواح الخرسانة مسبقة الصب وبطريقة الـ(Cladding) ، أما بالنسبة للتحليل الوظيفي ، فيبين الشكل (١٤) عملية التوزيع الوظيفي لاقسام المبنى ، يحتوي المشروع على عدة مداخل منها المداخل العامة في الطابق العلوي المؤدي الى قاعة المؤتمرات ، والمداخل العامة في الطابق السفلي والمؤدي الى قاعة التشريفات، يهيمن على المدخل الرئيسي البوابة الرئيسية المكعبة الشكل المنشطرة الى نصفين ، وتعبر طريقة أنشطار المكعب من الوسط الى نصفين على التأكيد لصفة المدخل ، يوجد هناك أيضاً مداخل أخرى خاصة بالموظفين ترتبط بين موقف السيارات والمكاتب الأدارية المرتبطة بالمراجعين ، بالأضافة الى وجود مداخل خاصة لدخول الشخصيات المهمة أسفل مداخل الموظفين وبمعالجات أمنية عالية وتكون عملية الدخول والخروج أسفل المبنى .

٥: النتائج والأستنتاجات

بعد تحليل المشاريع على وفق مفردات الأطر النظري وتنظيم الشروحات وتوضيح مفردات تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ بأستخدام نظام BIM ، تم تحديد المفردات المتحققة في جدول مفردات الاطار النظري جدول (٢) ليتم أستخلاص أهم الأستنتاجات:

	المفردات الاساسية	المفردات الثانوية	القيم الممكنة		المشروع الاول	المشروع الثاني	المشروع الثالث	المشروع الرابع
١	مؤشرات أستخدام نظام BIM في عملية التصميم	البرامج الحاسوبية المستخدمة في عملية التصميم	Autodesk Revit	Architecture	*	-	-	*
				Structure	*	*		-
				MEP	*	-	*	*
			Graphisoft ArchiCAD		–	×	–	–
			Tekla		×	×	×	×
			BoCAD		×	×	–	–
			RhinoBIM		×	–	×	–

	لمنظومتي الشكل والمنشأ						
٢	مؤشرات التصنيع الرقمي لمنظومتي الشكل والمنشأ	تقنيات تصنيع الأجزاء ثنائية الأبعاد	مكائن CNC	×	×	×	×
			مكائن قطع الليزر	–	×	–	–
		تقنيات تصنيع الأجزاء ثلاثية الأبعاد	أستخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد	×	×	–	×
			تصنيع القطع بالمكائن التشكيلية		×		×
		أعتماد أساليب جديدة في التعامل مع المواد التقليدية	أعتماد الروبوتات	×	–	–	–
			أعتماد القوالب المصنعة	×	×	×	×
٣	مؤشرات تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ بأستخدام نظام BIM	العلاقات التكاملية بين منظومتي الشكل الخارجي والمنشأ	مستوى التكامل	×	×	–	×
			نمط التكامل	×	–	×	×
		المعالجات المتبعة	أستخدام المواد المحلية	×	–	–	–
			تقليل الكلفة	×	×	×	×
			اعطاء بدائل مختلفة للتصميم	×	×	×	×
			اختصار وقت التنفيذ	×	×	×	×
			تحقيق مستوى أدائية عالي	×	×	×	×

٦ : الأستنتاجات النهائية

١. يخلص البحث الى تأكيد أهمية توظيف البرامج التي تعتمد تقنية BIM في تحقيق التكامل بين منظومتي الشكل والمنشأ في العمارة المعاصرة ، حيث أن أعتماد نظام BIM في تصميم المباني وفر الكثير من المميزات والفوائد لجميع أطراف العمل ، وساهم في رفع أدائية المبنى على المستوى البيئي والانشائي والشكلي.

٢. توصل البحث الى التعريف الأجرائي لعملية التكامل الرقمي الذي يعرف بأنه وسيلة لتحقيق التكامل بين منظومات العمارة تستخدم فيها البيانات الرقمية المندرجة تحت مظلة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب كونة يعتمد على مجموعة من البرامج الحاسوبية والأدوات الآلية المتنوعة لتصميم وتصنيع عناصر منظومات المبنى من أنموذج رقمي مولد بالحاسوب.

٣. يعمل التكامل الرقمي على سد الفجوة بين عملية التصميم والتصنيع والتي تتيح للمصمم الوصول الى مجالات جديدة لم تستكشف وخاصة للأشكال ذات التعقيد الشكلي.

٤. يجب أن يكون المصمم على دراية بمدى التوافق التقني بين اساليب توليد التصاميم الرقمية وآلات التصنيع الرقمي لضمان حصول نقل مباشر لمعلومات التصميم ليتسنى لالات التصنيع الرقمي قراءتها والبدء بتنفيذها ولضمان عدم حصول مشاكل في عملية التكامل.

٥. أن البرامج الحاسوبية تحولت من مجرد وسيلة للرسم والعرض الى جزء مهم من عملية التصميم لاي مشروع كان لما توفرة من أمكانيات التشكيل وسهولة التعديل وأختصار الوقت.

٦. أن عملية التكامل بين منظومات المبنى هي عملية توفر أختصاراً للتكلفة وسرعة في الانجاز وادائية افضل للمبنى ، ولكن ليس بالضرورة ان زيادة مستوى التكامل بين منظومتين هو شي ايجابي ، فكلما زاد مستوى التكامل بين عنصرين يقل مستوى المرونة بينهما وبالتالي تزيد صعوبة أجراء عملية الصيانة وتزيد التكلفة معها.

٧. يوفر نظام BIM التواصل بين أفراد فريق العمل بصورة عالية مما ينعكس ايجاباً على أختصار وقت التصميم ودقة العمل.

٨. أن نظام BIM هو ليس مجرد برنامج واحد بل هو عبارة عن مجموعة برامج متوافقة مع بعضها البعض تعمل ضمن بيئة واحدة و لا يكفي الأعتماد على برنامج واحد لتحقيق عملية التكامل بين منظومات المبنى.

٩. تظهر الحاجة الى استخدام (الطابعات ثلاثية الابعاد) لانتاج النماذج الاولية لغرض دعم الفكرة التصميمية بالانموذج المادي من جهة وتحديد

نقاط القوة والضعف في الشكل الناتج.

١٠. يتمثل أكثر إستخدام للتقنيات التي تعمل على تحويل العالم الرقمي الى مادي في تقنية التصنيع القطعي نتيجة استخداماتها المتنوعة على مستوى الهيكل والقشرة وانتاج القوالب ولرخص ثمنها متمثلة باستخدام مكائن الـ CNC ودقة الاجزاء التصنيعية الناتجة منها متمثلة بمكائن القطع الالكتروني بالليزر.

٧: المصادر

٧ -١ :المصادر العربية

١. التكريتي ، سعد غالب ، "نظم مساندة القرارات"، دار المناهج ، عمان ، ٢٠٠٣.

٢. التميمي ، أسامة عبد المنعم ، " المنظومات التكنولوجية المتكاملة وتعبيرية العمارة" ، اطروحة دكتوراه مقدمة الى مجلس كلية الهندسة – جامعة بغداد ، ٢٠١٢.

٣. الخفاجي ،علي محسن ، "الهيكل الانشائي والمعنى في الشكل المعماري" ، رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة العمارة – الجامعة التكنولوجية ، ١٩٩٩.

٤. الخفاجي ، حيدر ، "التصنيع الرقمي في العمارة" ، رسالة ماجستير مقدمة الى قسم الهندسة المعمارية – الجامعة التكنولوجية ، ٢٠١٥.

٥. السامرائي ، صفاء الدين علي، أثر تكنولوجيا النظم المنشئية في النتاج المعماري المعاصر، بحث منشور في مجلة الهندسة – جامعة بغداد ، العدد الخامس ، ٢٠١٤/٥/٢٠.

٦. سليم ، عمر ،" حوار مع الBIM" ، مقال منشور في صفحة (٢-٣) ، مجلة BIMarabia ، العدد الأول ، ٢٠١٥ .

٧. سليم ولطفي ، عمر ، أحمد ،"نمذجة معلومات البناء (الجانب الأجماعي)" ، مقال منشور في الصفحات (٢٣-٢٦) ، مجلة BIMarabia ، العدد الخامس ، ٢٠١٦.

٨. سليم، عمر ،"مقدمة عن الBIM" ، مقال منشور في صفحة (٧) ، مجلة BIMarabia ، العدد الثاني ، ٢٠١٥.

٩. مجيد ، علي سعيد ، "التكنولوجيا الرقمية وتطبيقاتها في الهياكل المنشئية العضوية" ، رسالة ماجستير مقدمة الى مجلس كلية الهندسة – جامعة بغداد ، ٢٠١٥.

١٠. يعقوب ، لينا غانم ،"دراسة الخصائص الشكلية للعمارة الرقمية" ، بحث منشور في المجلة العراقية للهندسة ، العدد ٢٠ الجامعة التكنولوجية – قسم الهندسة المعمارية، ٢٠١٠.

٧-٢: المصادر الاجنبية

1. Aiello, Carlo, "Digital and Parametric Architecture", Evolo, Issue 06, 2014.
2. Bachman , Leonard R., "Integrated Buildings The Systems Basis Of Architecture" , Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2003.
3. Eastman , Chuck & Others , " BIM Handbook" , Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey , 2011.

4. Kolarevic, branko (ed.) "Architecture in the digital Age: Design and Manufacturing". Taylor & Francis Group, New York and London, 2003.
5. Kymmell, Willem, "Building Information Modeling", McGraw, New York, 2008.
6. Krauel, Jacobo , "Contemporary Digital Architecture: Design & Techniques" , Publisher Links , 2010.
7. Rush, R.D., The Building Integration handbook, The American Institute of Architects, 1986.
8. Percy، K. & Ward، S , " INTEGRATED DIGITAL TECHNOLOGIES FOR THE ARCHITECTURAL REHABILITATION & CONSERVATION OF BEINN BHREAGH HALL & SURROUNDING SITE، NOVA SCOTIA، CANADA" , Remote Sensing and Spatial Information Sciences Volume II , P 235-241, 25th International CIPA Symposium , Taipei, Taiwan , 2015.
9. Sanguinetti , Paola : & Eastman , Chuck , " General system architecture for BIM: An integrated approach for designand analysis" , Georgia Institute of Technology, School of Architecture, Atlanta, GA , United States, 2012.
10. Tango, Robert, "Technology integration into architecture Building Systems" , AIA, LEED AP Southern Polytechnic State University , 2009.
11. Webster Ninth, New Collegiate Dictionary, G and C Merriam,co. printing,1st printing, USA , 1973.
12. Y. Arayici, & Others , "BIM Adoption and Implementation for Architectural Practices" , The School of Built Environment, the University of Salford, Greater Manchester, UK, 2011.

٧ -٣ : مصادر الانترنت

المصادر العربية : -

١. عريقات ،بسمة عبد الله ، " تكنولوجيا التصميم واثرها على المعمار الحديث" ، مقال منشور في النسخة العربية من مجلة دوموس، ٢٠٠٩/٦/٣٠ ، http://uraiqat.blogspot.com/2013/01/blog-post_30.html .

٢. معجم المعاني الجامع ، " معنى كلمة منظومة" ، http://www.almaany.com/ar/dict/ar-ar/%D9%85%D9%86%D8%B8%D9%88%D9%85%D8%A9/ .

٣. ويكيبيديا ،"نمذجة معلومات المباني BIM " ، https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%85%D8%B0%D8%AC%D8%

A9_%D9%85%D8%B9%D9%84%D9%88%D9%85%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%A8%D8%A7%D9%86%D9%8A

٤. ويكيبيديا ، برنامج الاركيكاد https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D8%B1%D9%83%D9%8A%D9%83%D8%A7%D8%AF

المصادر الاجنبية:-

1. BIM , Stoop , 13/2/2014 , http://www.stooob.com/605583.html .
2. Farooqui , Rizwan & others , "BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software" , a research paper published in (Researchgate) website , 15/8/2014 , http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2009/paper/CPRT125002009.pdf
3. Selkowitz , Stephen , "Integrated Building Envelop , Daylighting , and Lighting" , May 7, 2014 , https://sites.google.com/a/lbl.gov/green-clean-mean/key-strategies/envelope-lighting

Yoders, Jeff , BIM + the Building Envelope , BIM Fourm , 23/10/2010 , http://bimforum.org/2010/12/23/bim-the-building-envelope/

obeikandl.com