

إدارة تغييرات التصميم ضمن نمذجة معلومات البناء باستخدام مصفوفة هيكلية التصميم

الدكتور بسام حسن¹

الدكتور جمال عمران²

لما سعود³

(تاريخ الإيداع 8 / 2 / 2016. قُبل للنشر في 9 / 5 / 2016)

□ ملخص □

يتناول هذا البحث موضوع إدارة تغييرات التصميم ضمن بيئة نمذجة معلومات البناء (BIM) التعاونية التعددية الاختصاصات. يندرج البحث ضمن إطار تنظيم مشاريع الأبنية العامة حيث تم استخدام إدارة التغيير كأداة للمساعدة على التصميم واتخاذ القرار.

تعتمد الطريقة المقترحة لإدارة تغييرات التصميم على نمذجة عناصر المنشأ بالاعتماد على BIM وعلى استخدام مصفوفة هيكلية التصميم (DSM) المؤسسة على البارامتر كأداة لإدارة التغيير بالشكل الذي يدعم تدفق معلومات فعال بين التخصصات وبالتالي يقلل من تغييرات التصميم، ويمكن من تتبع سلسلة من التغييرات المتعاقبة ضمن بيئة BIM.

قدم البحث مختلف النماذج الضرورية لبناء DSM ثم تم إغناؤها بالمعلومات التي جُمعت من مهندسي التصميم والخاصة بمشروع مبنى تجاري.

تقوم الطريقة المقترحة بتمثيل مختلف التبعيات بين بارامترات المنشأ وتقييم تأثيرها على مستوى العناصر وعلى مستوى النظام ككل وعلى مستوى الأنظمة الفرعية بالشكل الذي مكن من تحديد البارامترات الحرجة والتنبؤ ببعض الحلقات التكرارية للتغيير لتجنب إعادة العمل الغير ضرورية.

الكلمات المفتاحية: إدارة التغيير، تغييرات التصميم، نمذجة معلومات البناء، مصفوفة هيكلية التصميم.

¹ أستاذ - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

² أستاذ مساعد - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

³ طالبة دراسات عليا (دكتو) - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Management of Design Changes within Building Information Models by Using Design Structure Matrix

Dr.Bassam Hassan⁴
Dr.Jamal Omran⁵
Lama Saoud⁶

(Received 8 / 2 / 2016. Accepted 9 / 5 / 2016)

□ ABSTRACT □

This paper addresses the subject of design changes management in the context of a multidisciplinary collaborative Building Information Models (BIM) environment. Within Building projects organization field, This research aims to use change management as tool for design and decision making.

The proposed method for the management of design changes depends on both modeling the elements of structure based on BIM and using parameter-based design structure matrix as tool for Change Management in a way that will support the effective flow of information between disciplines, and thus reduces design changes, and will be able to trace a series of successive changes within the BIM environment.

This paper offers different necessary models to build the DSM; then they are fed by the information of a commercial building project collected from design engineers.

The proposed method represents the various dependencies between the parameters of building and evaluates their impact on the levels of elements, the whole system and subsystems in a way that allows to identify the critical parameters and predict some of the iterative cycles of change to avoid unnecessary rework.

Keywords: Change Management, Design Changes, Building Information Models (BIM), Design Structure Matrix (DSM).

⁴ Professor , Engineering and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering , Tishreen University, Lattakia, Syria.

⁵ Associate Professor, Engineering and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

⁶ Postgraduate Student, Engineering and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .

مقدمة:

حولت متطلبات التغيير صناعة البناء إلى عمل معقد وشاق، حيث من المستبعد جدا أن يسلم المشروع من دون أي أوامر تغيير أثناء كل من مرحلة التصميم والتنفيذ (Ssegawa et al., 2002) وهذا الأمر ينعكس على أداء المشروع من حيث الكلفة والزمن والجودة.

التغيير هو جزء لا يتجزأ من تصميم المبنى حيث أن عملية التصميم هي تكرارية في طبيعتها، وينطوي على استكشاف وتحليل العديد من البدائل (Tory et al., 2008). دراسات أكدت أن 20-25% من مدة التشييد ضائعة في عجز التصميم (Undurraga, 1996). وأن 78% من مشاكل الجودة منسوبة إلى التصميم (Koskela, 1992). لذلك إدارة ناجحة لتغييرات التصميم هي ضرورة حيوية لتواصل فعال في مشاريع التشييد.

نمذجة معلومات البناء (BIM) Building Information Models واحدة من أحدث الأدوات في تصميم المباني، مؤسسة على النمذجة البارامترية، ومفهوم قد حل العديد من القضايا المتعلقة بتغييرات التصميم. تدعم نظم تصميم BIM زيادة في التزامن وإمكانية تكرارات تصميم أسرع وذلك عن طريق زيادة سهولة الوصول إلى بيانات التصميم وتعديلها ونقلها. لكن هذا خلق بدوره إمكانية لمزيد من التغيير الهندسي وانتشاره، بسبب زيادة التعقيد الديناميكي في عملية التصميم الشاملة.

إن هذا التعقيد في بناء عملية التصميم ناجم عن التدفق المكثف للمعلومات بين مختلف التخصصات، والذي يتطلب معلومات داخل التخصصات ومتعددة التخصصات. وعند تنفيذ الأنشطة المتزامنة بشكل تعسفي دون اعتبار لهذه التبعية أو الاعتمادية، وهذا سيؤدي إلى زيادة تكرار التصميم وزمن حلقة التكرار.

كما أن تعديل بعض قرارات التصميم في مراحل متقدمة غالبا ما يكون مكلفا عندما يؤثر على العديد من البارامترات ومن المرجح أن يخلق "التكرار في التكرار" لذلك وضع افتراض دقيق بشأن قيم هذه البارامترات مع هامش للتعويض في حال حدوث التغييرات المستقبلية هي ضرورة تتطلب إعطاء المعلومات الصحيحة للشخص المناسب في الوقت المناسب.

يحاول هذا البحث الارتقاء بمستوى إدارة التغيير في مشاريع التشييد لتلافي المظاهر السلبية الناجمة عنها واقتراح طريقة فعالة لإدارة التصميم بالشكل الذي يحد من التغييرات البدائية ضمن نظم إدارة التغيير القائم على BIM.

أهمية البحث وأهدافه :

إن اعتماد تقنية BIM يزداد بوتيرة سريعة في أنحاء العالم، لذا كان من الضرورة بمكان البحث في نظم إدارة التغيير القائم على BIM والتأكيد على ضرورة تحسين هذه النظم بهدف التنسيق الفعال للنماذج المتعددة التخصصات من خلال عملية ديناميكية لتشييد وتصميم البناء. ذكرنا سابقا زيادة الحاجة لإدارة تغييرات التصميم بالشكل الذي تراعى فيها تبعيات التصميم لزيادة فعالية التزامن ضمن BIM لذلك كان لابد من العمل والبحث في أدوات ونظم إدارة التغيير الهندسية التي يمكن أن تتكامل مع أدوات BIM لتحسين كفاءة عملية التغيير.

نطمح من خلال هذا البحث إلى تحقيق الأهداف التالية:

✓ استكشاف تدفق معلومات التصميم ضمن بيئة BIM التعاونية التعددية الاختصاصات.

✓ تطوير طريقة لإدارة تغييرات التصميم ضمن بيئة BIM التعاونية التعددية الاختصاصات بالشكل الذي يقلل من إعادة العمل الغير الضرورية من خلال نمذجة صحيحة للمشروع و أدوات لإدارة المهام التكرارية.
✓ اقتراح طريقة لتتبع سلسلة من التغييرات المتعاقبة ضمن بيئة الـBIM.

طرائق البحث ومواده:

الدور المتطور الذي يلعبه الـBIM في صناعة البناء والتشييد ولد حاجة إلى فهم أفضل لمتطلبات نظم إدارة التغيير في محتوى بيئة الـBIM، عملت عدد من الدراسات لتلبية هذه الحاجة من خلال تقييم فعالية نظام الـBIM وأدواته في تغييرات التصميم، باعتماد مؤشرات مثل (Giel and Issa, 2013) و (عمران وحداد، 2014) أو باستخدام الاستبيانات مثل (Shourangiz et al, 2011)، كذلك عمل بعض الباحثين على تطوير أدوات التنسيق والتواصل في بيئة الـBIM حيث عزز (Sawhney and Maheswari, 2013) تنسيقات التصميم من خلال تطوير الـBIM بالاعتماد على البرمجة السحابية كذلك طور (Nour.M, 2012) نظام مؤسس على مبدأ التواصل بعدة أطراف في أماكن عمل مختلفة من خلال مخدم مركزي في بيئة تشاركية للـBIM. حاول بعض الباحثين أن يعنونوا قضايا إدارة التغيير من خلال تكامل موديلات الكلفة والزمن 4D و 5D مع موديلات الـ3D الهندسية مثل (Jongeling and Olofsson, 2007) حيث اقترح جدولة مؤسسة على الموقع وذلك بتخطيط جدولة المهام مع الـ4D .

عدد قليل من الجهود البحثية عملت على فهم نظم إدارة التغيير في محتوى نموذج معلومات الـBIM حيث قدم (Wang et al., 2007) منهجية نصف مؤتمتة تضمنت تصنيف لوصف الاختلافات المحتملة بين نسختين من نموذج البيانات ووفرت وسيلة لتصنيف هذه الاختلافات. وكذلك حدد (Akcemete et al., 2009) أنواع التغييرات التي تحدث أثناء دورة حياة المشروع، والتي كان تركيز بشكل خاص على أنشطة الصيانة وإدارة المرافق. وناقشوا بعض التحديات المرتبطة بإدارة هذه التغييرات والتحديث المناسب لنماذج معلومات البناء.

بعيداً عن الـBIM، إن إحدى وسائل إدارة التغيير هو الحد من التغيير البدائي وذلك من خلال أمثلة عملية التصميم بالشكل الذي يقلل من إعادة العمل الغير ضرورية طبقت طريقة مصفوفة هيكلية التصميم القائم على البارامتر (PARAMETER-BASED DSM)، بهدف تحليل عملية التصميم على مستوى علاقات بارامتر التصميم. استخدمت هذه الطريقة في أمثلة تصميم السيارات (Black et al., 1990; Dong, 1999) ، والتصميم الهندسي للطائرات (Mascoli, 1999)، وتطوير البرمجيات (Rogers and Salas, 1999) ، وتصميم السقف المعلق (Pektas and Pultar, 2006).

سنعمل من خلال هذا البحث في مشكلة تغييرات التصميم الناجمة عن إعادة العمل والتي هي نتيجة تعقيد عملية التصميم وعدم الإلمام بجميع جوانب تبعية التصميم، وسنحاول اقتراح طريقة لإدارة التغيير تندرج ضمن إطار أمثلة قرارات التصميم، تستند هذه الطريقة إلى نمذجة التغيير بالاعتماد على نظم إدارة التغيير ضمن الـBIM وعلى استخدام أداة الـDSM المؤسسة على البارامتر لتمثيل علاقات الاعتمادية بين بارامترات التصميم وتوظيفها بالشكل الذي يدعم تدفق معلومات فعال ضمن بيئة الـBIM التعاونية.

1- مصفوفة هيكلية التصميم القائم على البارامتر:

مصفوفة هيكلية التصميم (DSM) هي أداة إدارة قدمت من قبل Donald Steward في عام 1981، وهي تمثل النظام أو المشروع، ترد مكونات النظام في الصف الأول والعمود الأول من المصفوفة بترتيب زمني تقريبي، تشير

الخلايا خارج قطر المصفوفة إلى التفاعل (الاعتمادية، تدفق المعلومات) بين عناصر النظام. يسمح هذا التمثيل بتغذية رجعية للمشروع، كذلك يمثل تبعيات المهمة التكرارية، وهذا مهم للغاية لأن معظم التطبيقات الهندسية موصوفة بالتكرار.

طريقة الـ DSM تقلل التكرارات في عملية التصميم، من خلال عمليتي التقسيم و التمزيق. التقسيم Partitioning هو عملية إعادة ترتيب صفوف وأعمدة الـ DSM، ذلك أن الترتيب الجديد لا يحتوي على التكرار (أي تحولت الـ DSM إلى الشكل المثلثي السفلي). للنظم المعقدة، غالباً ما يكون من المستحيل الحصول على شكل الـ DSM المثلثي الأدنى من خلال التقسيم. في هذه الحالة، الهدف هو نقل علامات التغذية الرجعية (feedback marks) أقرب ما أمكن إلى قطري لتقليل عناصر النظام المشكلة لحلقة تكرارية (iteration cycle). التمزيق Tearing هو عملية اختيار مجموعة من علامات التغذية الرجعية التي إذا أزيلت من المصفوفة ستجعل المصفوفة بالشكل المثلثي السفلي. العلامات التي يتم إزالتها من المصفوفة تدعى "الدموع". تحديد الدموع التي تؤدي إلى مصفوفة مثلثية سفلى تعني أن مجموعة من الافتراضات سنصنعها للبدء بتكرار عملية التصميم. سنستخدم في دراستنا خوارزمية التقسيم و التمزيق المطورة من قبل طلاب الأستاذ Eppinger في معهد MIT (Massachusetts Institute of Technology) والمبرمجة في مايكروسوفت إكسل (MIT DSM, 2005). يمكن أن تمثل الـ DSM التبعيات في مستويات التصميم المختلفة مثل العنصر، الفريق، النشاط، البارامتر وما إلى ذلك (Browning, 2001). في الحياة العملية من الصعب الوصول إلى مستوى مناسب من التفصيل لتمثيل نشاطات الـ DSM، حالياً، غير BIM إلى حد كبير منهجية التوثيق والتصميم، لذلك فقد أصبح من الضروري تحديد مستويات جديدة مناسبة لتمثيل المعلومات لـ DSM. الـ DSM القائم على البارامتر (PARAMETER-BASED DSM)، تحلل عملية التصميم على مستوى علاقات بارامتر التصميم. وتشمل تطبيقاتها تسلسل النشاط وبناء العملية، وتسلسل قرارات التصميم على مستوى منخفض، في الـ DSM القائم على البارامتر، العلامات في الصف الواحد تمثل قرارات البارامترات اللازمة لإخراج قرار البارامتر المقابل لهذا الصف. وبالمثل، القراءة نحو الأسفل لعمود محدد يكشف عن قرارات البارامترات التي تتلقى معلوماتها من قرار البارامتر المقابل لهذا العمود. مما سبق نجد أن تصميم المباني الموصوف بالتكرار، وتغييرات التصميم التي في الواقع تتم على المستويات المنخفضة (البارامتر) وكذلك BIM البارامتري، دفعنا إلى استخدام الـ DSM القائم على البارامتر في نمذجة عملية التغيير.

2-2 دراسة حالة:

قدمنا دراسة حالة لمشروع مبنى تجاري بتصميم متعدد الأطراف (مدني، عمارة، ميكانيك) صمم في شركة خاصة في اللاذقية باستخدام الريفيت وهو من أقوى برامج التصميم التي تعتمد الـ BIM، فريق تصميم المشروع مؤلف مثل باقي المشاريع من المهندسين المعماريين والإنشائيين و مهندسي الـ MEP (الميكانيك والكهرباء والصحية). تمت مراقبة دورات التصميم وعملية التنسيق بين الاختصاصات كما تم مناقشة العديد من أمثلة التغييرات خلال دراسة الحالة ومراجعة نماذج الـ BIM المتعلقة بهذه التغييرات مع مهندسي التصميم والتي أعطتنا فرصة لفهم نظم إدارة التغيير في محتوى نموذج معلومات الـ BIM.

الاعتماد الأساسي في دراستنا كان على المقابلات التفصيلية مع مصممي الاختصاصات المختلفة في الشركة بهدف وضع نمذجة للتغيير تستند على BIM وكذلك في جمع البيانات المتعلقة بتأثيرات التغيير (الاعتمادية) في مجال معين على مجالات التصميم الأخرى.

أثناء عملية جمع البيانات لوحظ أنه حتى محترفي التصميم من ذوي الخبرة مثل المهندس المعماري والمهندسين الذين تمت مقابلتهم، ليس لديهم إلمام حول جميع جوانب التصميم. رد المشاركين على المقابلات بشكل إيجابي للغاية، وذلك لأن هذه المقابلات جعلتهم يفكرون من وجهة نظر النظم.

أسست هذه البيانات جميعها لتطوير نموذج لإدارة تغييرات التصميم باستخدام DSM القائم على البارامتر.

2-3 تعريف سمات وعلاقات التغيير بالاعتماد على BIM:

المستندات التي تم استخدامها خلال هذه المرحلة هي مراجع التصميم باستخدام BIM بالإضافة إلى ملفات تغييرات التصميم الخاصة بالمبنى التجاري المدروس.

بناء على مراقبة التغييرات في بارامترات المكون ضمن نموذج معلومات BIM وبمساعدة مهندسي التصميم في الشركة، تم تجميع التغييرات في مجموعة من البارامترات تحت اسم سمة التغيير، هذه السمات هي جيومتري (Geometry)، موقع (Position)، ومواصفات (Specification) إذ أن التغييرات في المكونات إما أن تكون في جيومتري أو موقع أو مواصفات المكون وتندرج تحت هذه السمات مجموعة من البارامترات موضحة أمثلة عنها في الجدول (1).

جدول (1) : السمات المتغيرة للمكونات

سمات التغيير	البارامترات المندرجة تحت السمة
هندسي	الشكل (Shape): مستطيل، اسطواني.
	الأبعاد (Dimensions) (الطول، السماكة، الانحدار، القطر)
موقع	X, Y, Z : الاحداثيات
	Rx, Ry, Rz : الاحداثيات القطبية
مواصفات	المادة: حديد رخام
	العنصر: حجم التسليح ترتيب التسليح
	خواص: مقاوم للماء، مقاوم للحريق

وكذلك تم ملاحظة أن التغييرات في بعض سمات المكونات يؤدي إلى تغيير تلقائي في سمات مكونات أخرى متصلة بها بعلاقة معرفة ضمن نموذج معلومات BIM فمثلاً الأعمدة متصلة مع البلاطة التي فوقها ضمن الريفيت فإن أي تغيير في سمة (موقع) البلاطة سيغير في سمة (جيومتري) الأعمدة المتصلة معها نتيجة وجود علاقة مكانية.

وبشكل عام يمكن القول بأن التغييرات بين المكونات تحصل نتيجة اعتمادية مكانية (Spatial) أو تحليلية

(Analytical) ومفاهيم هذه الاعتمادية موضحة ضمن الجدول (2).

جدول (2) : مفاهيم الاعتمادية اللازمة لتتبع التغيير

مفهوم الاعتمادية	الاعتمادية
متصل ب :الأعمدة والبلاطات، الدككات الرئيسية والثانوية	مكانية
مماس ل : السقف المستعار والجدران	
مستند على : الجوائز والأعمدة	
محاط ب : موقع السقف المستعار وموقع الدككات	تحليلية
سلامة المنشأ: أبعاد الجوائز وأبعاد العمود	
التناسق المعماري: مواصفات الغرفة و مواصفات أجهزة الإضاءة	
التفاعل الميكانيكي: الحمل الحراري للفراغ ومواصفات أجهزة التكيف	
العلاقات الكهربائية : استطاعة لوحة الكهرباء والحمل الكهربائي للفراغ	

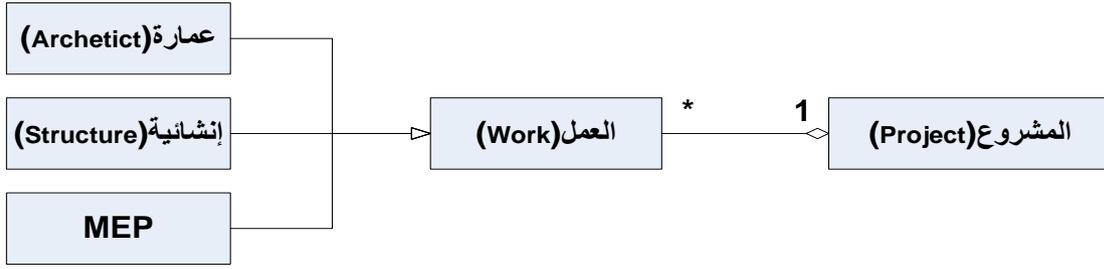
لابد من الإشارة هنا أن نموذج معلومات الـ BIM يعرف قسم لا بأس به من علاقات الاعتمادية المكانية بين المكونات وقسم قليل من علاقات الاعتمادية التحليلية بين المكونات نظرا لتعقيدها. ولكن التحسن السريع لأدوات BIM في تعريف مختلف التبعيات جعل إمكانية الوصول إلى مستوى التغيير التلقائي ليس ببعيد.

2-4 نمذجة المعارف:

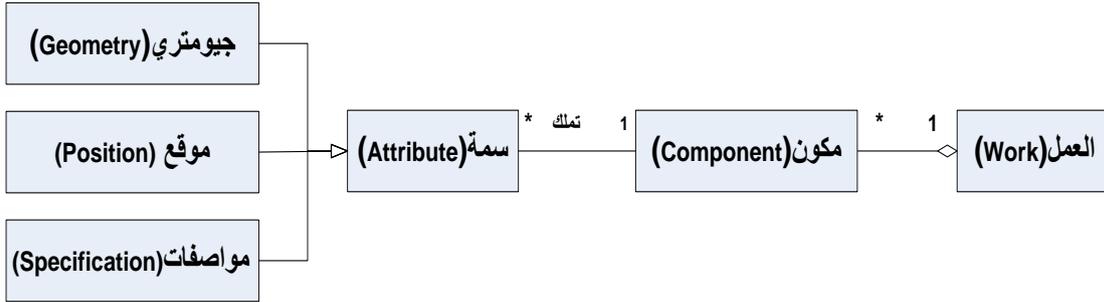
تقود النمذجة إلى وضع نماذج لإدارة التغيير بالاعتماد على الـ BIM وإلى تكريس وتجميع الخبرة ضمن هذا المجال بدل أن تبقى ضمن أذهان بعض الكوادر والخبراء العاملين ضمن شركات التصميم والتنفيذ.

ثم استخدام لغة النمذجة الموحدة (UML) Unified Modeling Language في تمثيل المخططات، باعتبارها واحدة من أهم طرق تمثيل النماذج التصورية، سنستخدم مخطط الفئة لتمثيل نموذج المشروع. يعتمد تمثيل مخطط الفئة على ثلاثة مكونات: المفهوم، العلاقة، القيد. المفهوم يُمثل بمربع بسيط له عنوان هو اسم المفهوم في أعلى المربع و توضع في المستطيل الموجود تحته سمات المفهوم (attributes)، العلاقة (relation) و هي عبارة عن رابط بين مفهومين تُمثل بخط مفرد يسمى رابط؛ بحيث تُكتب الفكرة المعبرة عن العلاقة بين الكيانين فوق الخط الرابط، ويمكن عرض عدة علاقات يرسم رموز على طرف الخط الرابط مثل علاقة التجميع "aggregation" ويرمز له ب ، و علاقة الوراثة "inheritance" ويرمز له ب للدلالة على أن مفهوم ما هو فرع من مفهوم آخر، القيد (constraint) يحدد شرطية العلاقة بين الكيانات و هناك أرقام في طرفي الرابط ، هذه الأرقام تصف الإلزامية لهذا الرابط و تخبرنا عن العدد المسموح به لتمثيلات كل مفهوم ويرمز ب * للدلالة على التعددية "Multipliated".

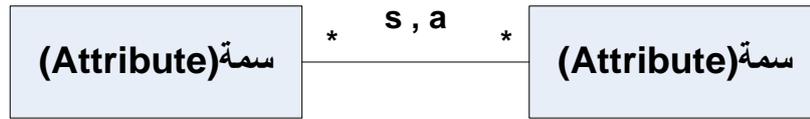
يوضح الشكل(1) النموذج الخاص بأعمال مشروع المبنى التجاري المؤلفة من أعمال العمارة والإنشائية وMEP، يوضح الشكل(2) النموذج الخاص بمكونات المشروع حيث لكل مكون سمات معينة متعلقة بالشكل والموقع والمواصفات، يوضح الشكل(3) النموذج الخاص بتوالد التغيير إذ يتوالد التغيير بين السمات نتيجة ارتباطها مع بعضها البعض بعلاقة تحليلية (a) أو علاقة مكانية (s) .



الشكل (1) نموذج الأعمال



الشكل (2) نموذج المكونات



الشكل (3) نموذج تولد التغيير

2-5- تطوير نموذج باستخدام مصفوفة هيكلية التصميم القائم على البارامتر:

يتطلب بناء نموذج باستخدام الـ DSM الخطوات التالية:

2-5-1 تعريف النظام ومجاله:

النظام المدروس هو نظام المبنى التجاري في الحالة المدروسة مؤسس على النمذجة السابقة، يتألف نظام المبنى من أعمال العمارة والإنشائية و MEP، سنكتفي من أعمال MEP بأعمال التكييف والإضاءة والصحية وكل عمل يتألف من مجموعة من المكونات تم تحديد هذه المكونات بالتعاون مع المهندسين المصممين في الشركة ووفق مكونات نظام الـ BIM وتشمل المكونات الأساسية لكل نموذج والأكثر عرضة للتغيير واكتفينا بهذه المكونات بهدف إنتاج نموذج أولي، ليشكل قاعدة لمزيد من التطوير، المكونات المدروسة موضوعة ضمن المصفوفة ومميزة بلون تعبئة خاص بنموذج العمل الذي تنتمي إليه وكذلك تم تمييز سمات المكون الواحد بلون خط محدد.

تم تحديد سمات التغيير (موقع العنصر، جيومتري العنصر، مواصفات العنصر)، كمستوى مناسب لتمثيل المعلومات ضمن الـ DSM للتقليل من التعقيد الناتج عن الحجم الكبير للبيانات في حال تم التمثيل على مستوى البارامتر وإمكانية التحكم بإدارتها.

2-5-2 جمع البيانات:

تم جمع البيانات المتعلقة بالتبعيات بين سمات المكونات وطبيعة هذه التبعيات ومدى تغطية الريف لها واعتمدنا بذلك على المقابلات التفصيلية مع مهندسي الاختصاصات المتعددة في الشركة، وذلك لفهم محتوى العلاقات الغير مباشرة والتي لا يمكن الحصول عليها من معاينة وثائق التصميم والطرق الأخرى، فمثلا يقول المهندس نتيجة الخبرة أن تغير مواصفات الزجاج في الواجهة الزجاجية يغير مواصفات (تدفق) أجهزة التكييف ولكن نتيجة المقابلة تؤكد أن هذا التفاعل في الحقيقة غير مباشر وأن تغير مواصفات الواجهة الزجاجية يغير المواصفات الميكانيكية (الحمل الحراري) للفراغ وهذا يؤدي إلى تغير مواصفات (تدفق) أجهزة التكييف وعليه يجب وضع علامة في عمود مواصفات الواجهة الزجاجية وصف مواصفات الفراغ الميكانيكية ، بدلا من عمود مواصفات الواجهة الزجاجية وصف مواصفات أجهزة التكييف. كما أن وجهات النظر المختلفة لدى المهندسين حول القضايا نظرا لاختلاف أعمالهم تطلبت دورات متكررة من المقابلات للتوصل إلى تفاهم مشترك.

2-5-3 إنتاج المصفوفة:

بعد تحديد مكونات النظام وجمع التبعيات المكانية والتحليلية بين سمات هذه المكونات ، بنينا DSM الثنائية (0,1) لتمثيل بنية الاعتمادية الأساسية وتدفقات المعلومات بين سمات عناصر النظام المختلفة. DSM عبارة عن مصفوفة ذات بعدين (55*55) وترد سمات التغيير للمكونات المدروسة في الصف الأول والعمود الأول من المصفوفة بترتيب زمني تقريبي. المصفوفة مقروءة على صفحة قياسية، من أجل تقليل تعقيد DSMs ولجعلها أسهل للمراجعة.

قمنا بتغذية خلايا المصفوفة بالتبعيات بناء على البيانات المسجلة، تشير الخلايا ذات القيمة (1) إلى التفاعل (الاعتمادية) بين سمات المكونات. القراءة نحو الأسفل لعمود محدد يكشف عن جميع سمات المكونات التي ستتأثر بتغيير سمة المكون المقابل لهذا العمود، وبالمثل القراءة في الصف الواحد تشير إلى جميع سمات المكونات التي يؤثر تغييرها في سمة المكون المقابل لهذا الصف.

بعدها عرضت المصفوفة على المشاركين وتم تلقي تعليقاتهم، كما عرضت على مهندسين آخرين في شركة الدراسات والاستشارات الفنية في اللاذقية وأنهيت المصفوفة حسب التغذية الرجعية من المصممين. يبين الشكل (11) مصفوفة النظام الناتجة.

النتائج والمناقشة:**3-1 تحليل DSM:**

بعد إنتاج الـ DSM ، تم تحليل DSM على عدة مستويات أولا على مستوى عناصر الـ DSM ثم على مستوى الأنظمة الفرعية (عمارة ، إنشائية،...). وتأثيرها على بعضها وأخيرا على مستوى نظام التصميم التعاوني الكلي بين مختلف الاختصاصات.

3-1-1 تحليل عناصر الـ DSM:

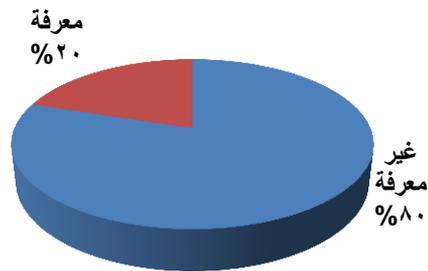
إن البارامترات الأكثر أهمية، من منظور إدارة التغيير، هي تلك التي تؤثر على العديد من البارامترات. قمنا بحساب المجموع السلبي والإيجابي لكل عنصر في المصفوفة. يمثل المجموع السلبي (passive sum) كم يتأثر

من المفيد هنا أن نحدد خط حرج لتعريف مجموعة العناصر الحرجة في الشبكة بالكامل، وتعرف الحالة الحرجة بوصفها نتاج للمجموع الفعال والمجموع السلبي، وتحسب من خلال ضرب المجموع السلبي مع الإيجابي، قمنا برسم الخط الحرج ($A*Pa=12$)، جميع العناصر المذكورة أعلى هذا الخط تمتلك نتاج أعلى من المجموع الإيجابي والسلبي مما هو مشار إليه من قبل الخط الحرج المستمر.

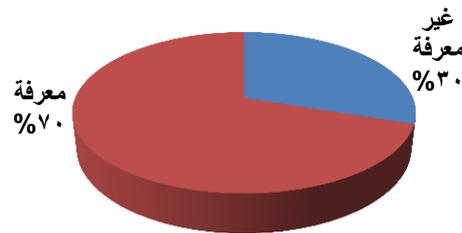
يبين الشكل (4) في القطاع الأزرق أن التغيير في موقع البلاطة (أي التغيير في ارتفاع الطابق) وكذلك التغييرات في القواطع الداخلية ومواصفات الغرف من أكثر البارامترات الفعالة التي يؤثر تغييرها على عدد كبير من بارامترات عناصر المبنى يليها تأثير التغيير في موقع الأعمدة.

كذلك يشكل جيومتري الجوائز بارامتراً حرجاً بسبب مجموعته السلبي والإيجابي الكبير نسبياً وكذلك المواصفات الميكانيكية للفراغ وموقع السقف المستعار.

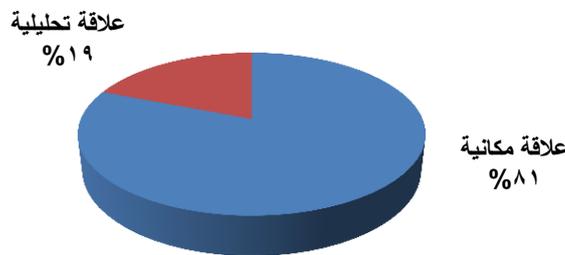
تم استبدال علاقة الاعتمادية (0,1) في الـ DSM الثنائية، بطبيعة علاقة الاعتمادية (تحليلية "a"، مكانية "s") التي جمعت سابقاً ومعرفة نسبة علاقات التصميم المعرفة ضمن الريفيت كما في الشكل (5-a)(5-b)(5-c). لا بد من الإشارة إلى أن هذه النسب خاصة بالعناصر المدروسة ضمن الـ DSM فقط وهي في تحسن مع كل إصدار من إصدارات برامج الـ BIM.



الشكل (5-b) نسبة علاقات الاعتمادية التحليلية المعرفة ضمن الـ BIM



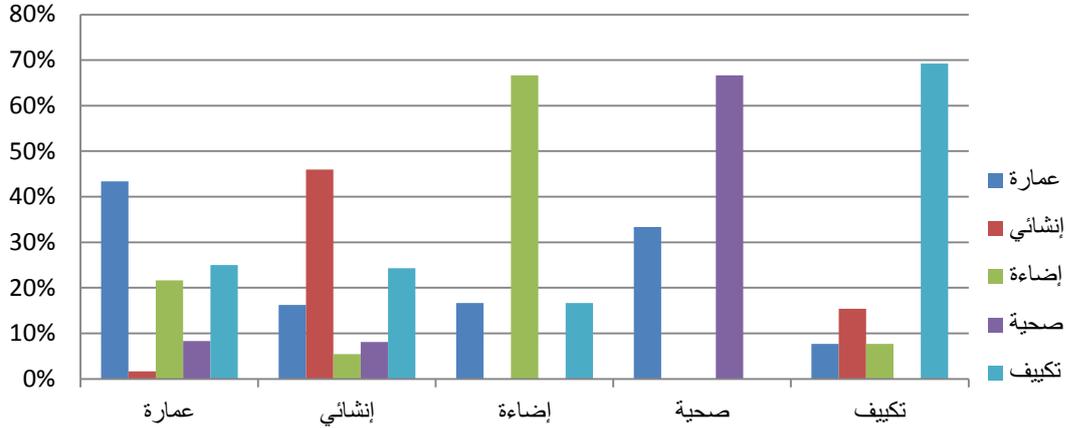
الشكل (5-a) نسبة علاقات الاعتمادية المكانية المعرفة ضمن الـ BIM



الشكل (5-c) نسبة علاقات الاعتمادية المعرفة ضمن الـ BIM

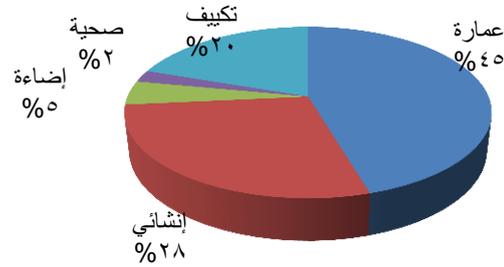
3-1-2 تحليل المصفوفة على مستوى الأنظمة:

تم حساب نسبة تأثير بارامترات كل نظام على الأنظمة الأخرى كما في الشكل (6)، يمكن أن نلاحظ من الشكل مثلاً أن التغيير في النظام الإنشائي يؤثر بشكل كبير على بارامترات نظام التكيف ويمكن تفسير ذلك بأن توضع جميع تمديدات التكيف مرتبط بتوضع الجوائز والأعمدة.



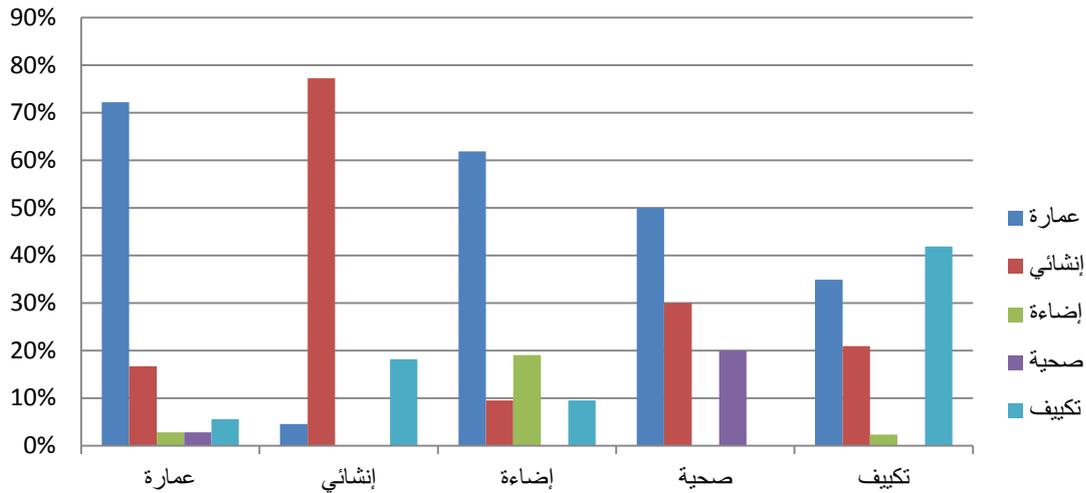
الشكل (6) نسبة تأثير بارامترات النظام على بارامترات الأنظمة الأخرى

وكذلك يبين الشكل (7) نسبة تأثير التغيير في الأنظمة، حيث أن التغيير في بارامترات نظام العمارة من أكثر البارامترات المؤثرة على بارامترات النظام ككل.



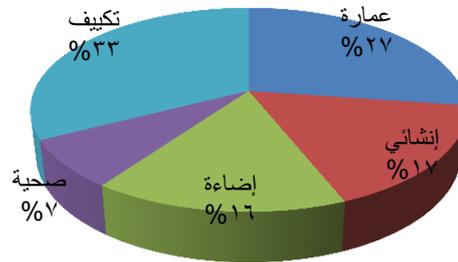
الشكل (7) نسبة تأثير بارامترات النظام على بارامترات النظام ككل

وكذلك تم حساب نسبة تأثير بارامترات كل نظام ببارامترات الأنظمة الأخرى كما في الشكل (8)، يمكن أن نلاحظ من الشكل مثلاً أن بارامترات نظام التكيف تتأثر بشكل كبير ببارامترات نظام العمارة.



الشكل (٨) نسبة تأثر بارامترات النظام ببارامترات الأنظمة الأخرى

وكذلك يبين الشكل (9) نسبة تأثر الأنظمة للتغيير، حيث أن التغيير في بارامترات نظام التكيف من أكثر البارامترات المتأثرة بتغييرات بارامترات النظام ككل.



الشكل (٩) نسبة تأثر بارامترات النظام ببارامترات النظام ككل

قمنا بتحليل مصفوفة كل نظام لوحده واستخدمنا خوارزمية التقسيم (MIT DSM, 2005)، وتبين أن قرارات البارامترات على مستوى كل نظام لوحده تتم بطريقة متوازنة أو متعاقبة وعدد الحلقات قليلة أو معدومة، كمثل على ذلك يبين الشكل (10) نظام العمارة لوحده بعد التقسيم.

العنصر	رقم	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
جدار (P)	1	1																		
واجهة زجاجية (P)	2		1																	
واجهة زجاجية (S)	3			1																
واجهة زجاجية (G)	4	1			1															
غرف (S)	5					1														
باب (P)	6	1					1													
أرضية (P)	7							1												
أرضية (S)	8					1			1											
أرضية (G)	9	1	1							1										
أجهزة الصحية (P)	10	1					1													
سقف مستعار (S)	11					1														
سقف مستعار (G)	12	1																		
سقف مستعار (P)	13																			
جدار (S)	14					1														
جدار (G)	15					1									1		1			
باب (G)	16					1												1		
أجهزة الصحية (S)	17					1											1		1	1
غرف (G)	18	1	1		1											1				
باب (S)	19					1												1		

الشكل (10) نظام العمارة بعد التقسيم

3-1-3 تحليل على مستوى النظام ككل:

استخدمت عملية التقسيم للتزود بالتسلسل الأمثل لقرارات البارامترات وتحديد الحلقات المقترنة ضمن النظام. نتائج تقسيم المصفوفة المبينة في الشكل (12) نجد أن DSM على مستوى نظام المبنى ككل تحتوي على حلقات تكرار كبيرة، 47% من عناصر DSM على مستوى النظام هي في واحد أو أكثر من الحلقات؛ يتضمن DSM على مستوى النظام 8 حلقات تكرارية. يوجد مجموعة تحتوي عدة حلقات متداخلة. يلعب كل من النظام المعماري والإنشائي والتكييف والإضاءة دوراً رئيسياً في هذه التكرارات. بينما نظام الصحية يسبب حلقة تكرارية صغيرة يمكن تفاديها بافتراض صحيح لموقع الأنابيب منذ البداية.

تظهر المصفوفة بعد التقسيم كيفية تدفق المعلومات الأفضل وكيف أن البارامترات المتعلقة بالموقع هي في الأغلب البارامترات التي يجب الاتفاق عليها أولاً بين التخصصات ثم بارامترات المواصفات والجيومتري.

كذلك نلاحظ وجود حلقات تكرارية صغيرة، ومجموعة مؤلفة من 3 حلقات كبيرة متداخلة وتحتوي كذلك كل حلقة على علاقات اقتران صغيرة تمثل هذه المجموعة تداخل نظام العمارة (موقع السقف المستعار) مع نظام الإضاءة (مواصفات أجهزة الإضاءة) مع نظام الإنشائي (أبعاد الجوائز) وكذلك نظام التكييف (مواصفات ومواقع الدكتات والناشر (diffuser)).

سمات المكونات التي تسببت بحلقات تكرار كبيرة ضمن هذه المجموعة هي: مواصفات البلاطة، أبعاد الجائز، موقع السقف المستعار، حجم فراغ الغرفة، مواصفات الإضاءة للفراغ، مواصفات أجهزة الإضاءة، مواصفات السقف المستعار، مواصفات الناشر، مواصفات التكييف لفراغ الغرفة، موقع الدكت، موقع الناشر، موقع أجهزة الإضاءة، أقطار الدكت، أبعاد الناشر، مواصفات الدكت (تدفقه)، مواصفات وحدة الهواء، مواصفات وحدة التكييف المركزية.

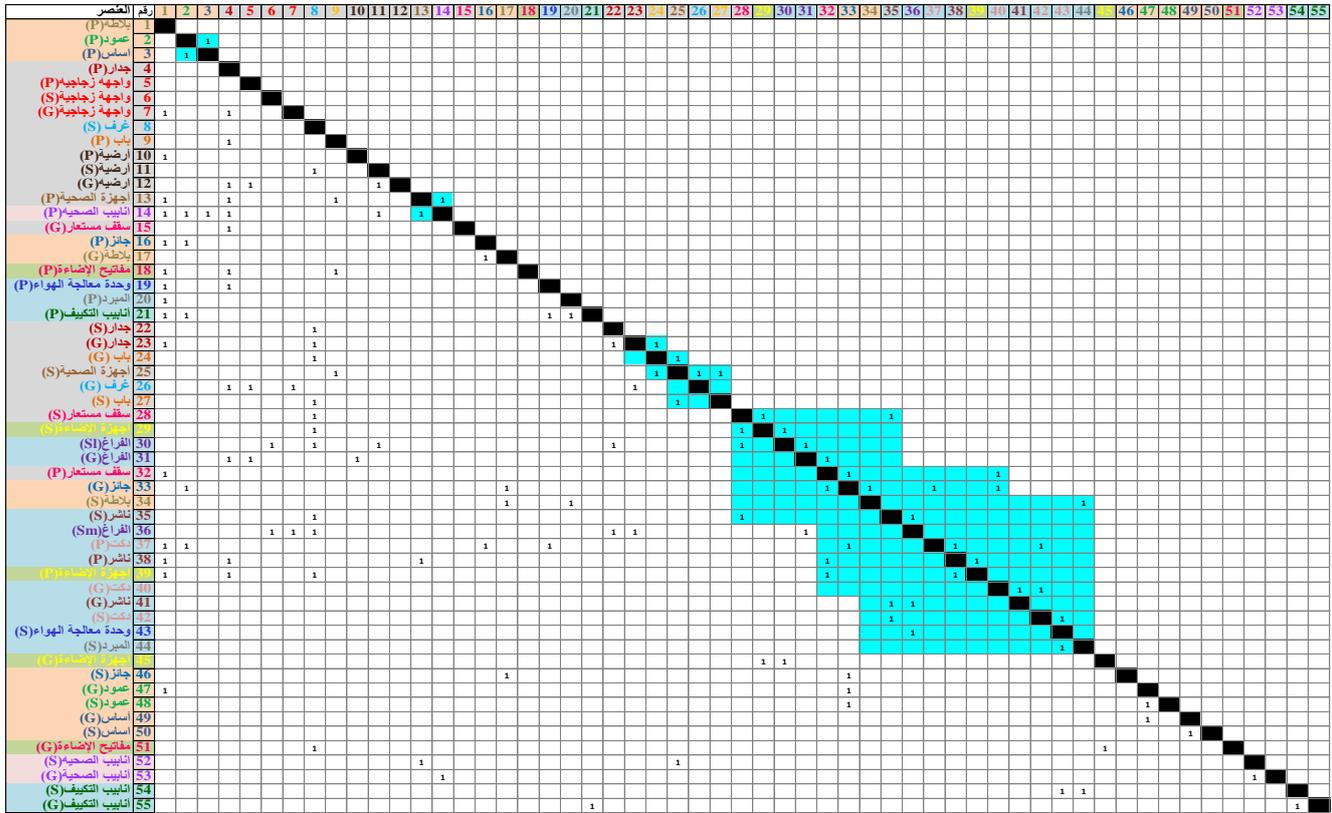
تبين هذه المجموعة وجود علاقة اقتران بين مواصفات أجهزة الإضاءة ومواصفات السقف المستعار ومواصفات الناشر وكذلك علاقة اقتران بين موقع السقف المستعار وأبعاد الجائز وكذلك علاقة اقتران بين موقع الناشر وموقع أجهزة الإضاءة.

ونلاحظ كذلك وجود علاقة متسلسلة حيث التغيير في أبعاد الجائز يغير في موقع السقف المستعار وهذا يؤدي إلى تغيير حجم فراغ الغرفة وبالتالي تغيير مواصفات الإضاءة للفراغ ومنها إلى مواصفات أجهزة الإضاءة.. الخ (كما مبين في الحلقة الأولى) وكذلك إلى تغيير في مواصفات التكييف للفراغ ومنها إلى مواصفات أجهزة التكييف والدكت... الخ (كما مبين في الحلقة الثانية). كذلك علاقة متسلسلة بالتالي بين مواصفات الناشر (تدفق الهواء) ومواصفات الدكت (تدفق الهواء)، قطر الدكت ومواصفات وحدة معالجة الهواء ومواصفات المبرد (كما مبين في الحلقة الثالثة)، وأن تغيير في مواصفات المبرد يؤدي إلى تغيير في تسليح البلاطة وبالتالي أبعاد الجوائز ومنه موقع السقف المستعار و.....

تم إجراء تحليل التمزيق لكل نقطة متفاعلة في الحلقة فوق القطر ووجدنا أن التمزيق لا يقلل من عدد الحلقات ولكن يمكن أن تقلل بعض الافتراضات من حجم الحلقات حيث تبين أن الافتراضات الصحيحة لموقع السقف المستعار (ارتفاع السقف المستعار عن الأرضية) ومواصفات الدكت (تدفق هواء التكييف) وأبعاد الجوائز في بداية العملية يمكن أن يمنع التغييرات المكلفة فيما بعد.

3-2- تتبع سلسلة التغييرات المتتالية:

إن المصفوفة الناتجة يمكن استخدامها كأداة للسيطرة على توالد التغيير، حيث التغيير في عنصر موجود في عمود i سيولد تغيير في العنصر الموجود في السطر i إذا كان قيمة خلية ij الموجودة في الـ DSM تساوي "1" وبعدها يكون العنصر i هو العنصر التالي للتغيير، وهكذا تتولد شجرة التغيير الناجمة عن تغيير عنصر معين و يمكن بذلك معرفة جميع العناصر المتأثرة بالتغيير. كذلك أثناء التصميم التعاوني، يقرر مختلف المشاركون في التصميم قيم البارامترات، وبالنتيجة السيطرة على العلاقة بين البارامترات تحدد العلاقة بين صناعات القرار. كذلك يمكن أن نحدد من يتوجب عليه الإبلاغ عن التغيير وتسلسل الإجراءات التي ينبغي اتخاذها باستخدام هذه الأداة.



عمارة إنشائي صحية إضاءة تكييف موقع P جيومتري S مواصفات

الشكل (12) مصفوفة النظام بعد التقسيم

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم التوصل في نهاية البحث إلى النتائج الرئيسية التالية:

- اقتراح نمذجة مناسبة لعملية إدارة التغيير ضمن بيئة تصميم BIM التعاونية .
- تزويد BIM بقاعدة بيانات تزود بمختلف التبعيات المكانية والتحليلية بين العناصر يمكن البناء على أساسها للوصول لبناء بيم مثالي يمكن من تغيير تلقائي .
- إجراء تحليل لتدفق المعلومات ضمن بيئة تصميم BIM يساعد هذا التحليل على تحديد البارامترات الحرجة و يمكن المصمم من افتراض صحيح لقرارات هذه البارامترات وإعطاء هامش جيد يغطي احتمال التغييرات المستقبلية، وكذلك التنبؤ ببعض الحلقات الرئيسية للتغيير وجمعهم في مجموعة واحدة من المهام لتجنب إعادة العمل الغير ضرورية.
- اقتراح طريقة لإدارة تغييرات التصميم بالشكل الذي يمكن من تدفق معلومات أفضل يقلل من إعادة العمل الغير الضرورية ويزيد من فعالية التزامن ضمن BIM باستخدام DSM القائم على البارامتر .
- اقتراح طريقة لتتبع سلسلة من التغييرات المتعاقبة ضمن بيئة BIM.

التوصيات:

- كما تم تحديد مجموعة من التوصيات لتطوير هذا البحث يمكن تلخيصها بالمحاور التالية:
- تحسين نموذج DSM من خلال دراسة عدد أكبر من عناصر مشاريع الأبنية العامة.
 - تعميم الدراسة السابقة على أنواع أخرى من مشاريع الأبنية بغية الحصول على قواعد بيانات خاصة بكل نوع من أنواع الأبنية.
 - استخدام نمذجة DSM العددية والتي من شأنها أن توفر فهم أفضل للنظام والسماح بتحليل أكثر تفصيلاً يدعم عملية تقييم تأثير تغييرات التصميم.
 - دراسة إمكانية تكامل نمذجة DSM مع نمذجة الBIM.
 - دراسة تأثير التغيير على كلفة وزمن المشروع .
 - دراسة مخاطر التغيير على كلفة المشروع خلال مرحلة التصميم.

المراجع:

- 1-د.عمران، جمال ؛ حداد ، جورج . مقارنة استخدام نظام نمذجة معلومات البناء بأنظمة الكاد التقليدية في مرحلة التصميم، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد36 ، العدد4، 2014
- 2- AKCAMETE, A.; AKINCI, B.; GARRETT, H.J. *Motivation For Computational Support for Updating Building Information Models (Bims)*. International Workshop on Computing in Civil Engineering, ASCE, Austin, Texas, 2009.
 - 3- BLACK, T.A., FINE, C.F., & SACHS, E.M. *A Method for Systems Design Using Precedence Relationships: An Application to Automotive Break Systems*. Working Paper, MIT School of Management, Cambridge, MA,1990.
 - 4- BROWNING, T. R. *Applying The Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions*. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.48, No.3, 2001, 292-306.
 - 5- DONG, Q. *Representing Information Flow and Knowledge Management in Design Using The Design Structure Matrix*. M.Sc. Dissertation, Department of Mechanical Engineering. Massachusetts Institute of Technology,1999.
 - 6- GIEL, B. ; ISSA, R. *Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction*. J. Comput. Civ. Eng., Vol. 27, No.5, 2013, 511–521.
 - 7- JONGELING, R. ; OLOFSSON, T. *A Method for Planning of Work-Flow by Combined Use of Location-Based Scheduling and 4DCAD*. Automation in Const., Vol.16, No.2, 2007, 189–198.
 - 8- KOSKELA, L. *Application of The New Production Philosophy to Construction*. Technical Report # 72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering, Stanford University,1992.
 - 9- MASCOLI, G.J. *A Systems Engineering Approach to Aero Engine Development in A Highly Distributed Engineering and Manufacturing Environment*. MIT SDM Thesis, Massachusetts Institute of Technology,1999.
 - 10- MIT DSM Research Group (2005) MIT DSM Web Site <http://www.dsmweb.org/>
 - 11- NOUR. M. *BIM Support for Design Change Management and Workflow Approval*. 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Moscow, Russia, 2012.
 - 12- PEKTAS, S.T., PULTAR, M. *Modelling Detailed Information Flows in Building Design with The Parameter-Based Design Structure Matrix*. Design Studies, Vol. 27, 2006, 99-122.

- 13- SAWHNEY , A.; MAHESWARI, J. U. *Design Coordination Using Cloud-Based Smart Building Element Models*. IJCISIM (International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications), Vol.5, 2013, 445-453.
- 14- SHOURANGIZ, E.; MOHAMAD, M. I.; HASSANABADI, M. S.; BANIHASHEMI, S.S.; BAKHTIARI, M.; TORABI, M. *Flexibility of BIM towards Design Change*. International Proceedings of Economics Development & Research, Vol.15, No.2, 2011, 79-83
- 15- SSEGAWA, J.K., MFOLWE, K.M., MAKUKE, B. AND KUTUA, B., *Construction variations: Ascource or a necessity*. In: Proceedings of The 1st Cib-W107 International Conference on Creating A Sustainable Construction Industry in Developing Countries. Cape Town, South Africa, 2002.
- 16- STEWARD, D. V. *The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems*. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 28, 1981, 71-74.
- 17- TORY, M. ; STAUB-FRENCH, S. ; PO, B. A. ; WU, F. *Physical and Digital Artifact-Mediated Coordination in Building Design*. Computer Supported Cooperative Work (CSCW), Vol.17, No.4, 2008, 311-351.
- 18- ROGERS, J.L. ; SALAS, A.O. *Toward A More Flexible Web-Based Framework for Multidisciplinary Design*. Advances in Engineering Software, Vol.30, 1999, 439-444.
- 19- UNDURRAGA, M. *Construction Productivity and Housing Financing*. Seminar and Workshop, Interamerican Housing Union, Ciudad de Mexico, Mexico, 1996.
- 20- WANG, H. ; AKINCI, B. ; GARRETT, J. H. *Formalism for Detecting Version Differences in Data Models*. Journal of Computing in Civil Engineering, Vol.21, No.5, 2007, 321.