مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (2) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (2) 2017

تتبع انتشار تغييرات التصميم ضمن بيئة نمذجة معلومات البناء

الدكتور جمال عمران[1]
الدكتور بسام حسن[2]
لما سعود[3]

(تاريخ الإيداع 11 / 10 / 2016. قُبِل للنشر في 5/ 4 / 2017)

□ ملخّص □

يتناول هذا البحث موضوع إدارة تغييرات التصميم ضمن بيئة نمذجة معلومات البناء (BIM) التعاونية المتعددة الاختصاصات.

إن دور ال BIM المتطور في تصميم الأبنية وازدياد تعقيد عملية التصميم ولد حاجة لتطوير إدارة التغيير بالاعتماد على ال BIM. وعلى الرغم من ميزات ال BIM الكبيرة في كشف التعارض والتنبيهات ونشر التغييرات في النموذج، إلا أن أدوات الBIM الحالية توفر دعم محدود في إدارة التغييرات ضمن النماذج المتعددة الاختصاصات.

تصف هذه الورقة طريقة مطورة لتنسيق ولتتبع انتشار التغيير ضمن بيئة ال BIM المتعددة الاختصاصات. تعتمد الطريقة المطورة على نمذجة التغيير بالاعتماد على الـ BIM وعلى استخدام مصفوفة هيكلية التصميم (DSM) المؤسسة على البارامتر لتمثيل مختلف التبعيات بين بارامترات المنشأ وتوظيفها كأداة لتتبع سلسلة من التغييرات المتعاقبة ضمن بيئة الـBIM، وعلى اقتراح آلية لتكامل ال BIM مع الDSM برمجيا لدعم عملية تمثيل مرئي لمسارات التغيير ضمن الBIM. شرحت دراسة حالة حقيقية إمكانية تطبيق الطريقة في بيئة الBIM.

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

[1] أستاذ مساعد – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية
[2] أستاذ – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
[3] طالبة دراسات عليا– قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية .

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (2) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (2) 2017

Tracking Design Changes Propagation Within A Building Information Modeling Environment

Dr. Jamal Omran[1]
Dr. Bassam Hasan[2]
Lama Saoud[3]

(Received 11 / 10 / 2016. Accepted 5 / 4 / 2017)

□ ABSTRACT □

This paper addresses the subject of design changes management in the context of a multidisciplinary collaborative Building Information Models (BIM) environment.

Because of the evolving role of BIM in designing building projects and the increasing complexity of the design process aroused a need to develop change management based on BIM. Despite the great advantages of BIM in the detection of conflict, alerts and propagating changes in the model, but current BIM tools provide limited support in managing changes across multidisciplinary models.

This paper describes developed method to coordinate and track changes within a multidisciplinary BIM environment. The developed method depends on modeling the change based on BIM, on using parameter-based design structure matrix to represent the various dependencies between the parameters of building and as tool for tracking a series of successive changes within the BIM environment, and on suggestion of a mechanism for the integration of BIM with the DSM programmatically to support the visual representation of the tracks of change within BIM. Real case study demonstrates the possibilities of method application in BIM environment.

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

[1] **Associate Professor, Engineering and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[2] **Professor , Engineering and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering , Tishreen University, Lattakia, Syria .**
[3] **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). أكدت العديد من الدراسات أن 20-25% من مدة التشييد ضائعة بسبب عجز في التصميم (Undurraga, 1996) . وأن 78% من مشاكل الجودة منسوبة إلى التصميم (Koskela, 1992) . لذلك فإن إدارة فعالة لتغييرات التصميم هي ضرورة حيوية لإنجاز ناجح لمشاريع التشييد.

تعتبر نمذجة معلومات البناء Building Information Models (BIM) تكنولوجيا جديدة في تصميم المباني، مؤسسة على النمذجة البارامترية، وهي مفهوم قد حل العديد من القضايا المتعلقة بتغييرات التصميم. تدعم نظم تصميم الـBIM زيادة في التزامن وإمكانية لتكرارات 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 وبالتالي حاجة أكبر لإدارة التغيير بشكل فعال.

إن هذا التعقيد في عملية التصميم ناجم عن شبكة مكثفة من الاعتمادية بين التخصصات وبالتالي التغييرات في مكون واحد ستنتشر عبر هذه الشبكة بطرق مختلفة، مما يؤثر على المكونات التي لا ترتبط مباشرة مع المكون الأولي المتغير، فهم هذه الروابط المباشرة وغير المباشرة أمر حيوي لدقة تقييم مخاطر التغيير وإدارة تغيير ناجحة.

تدعم هذه الورقة نظم إدارة التغيير القائم على الـBIM، من خلال فهم أفضل لكيفية انتشار التغيير للتخفيف من مخاطر إنجاز المشروع التي ترتفع بسبب زيادة التعقيد في بيئة الBIM التعاونية المتعددة التخصصات.

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 أن زيادة التعقيد يزيد من التغيير والحاجة لإدارته، لذلك كان لابد من العمل والبحث في أدوات ونظم إدارة التغيير الهندسية التي يمكن أن تتكامل مع أدوات الـ BIM لتحسين كفاءة عملية التغيير.

وعلى الرغم من ميزات ال BIM الكبيرة في كشف التعارض بين النماذج المتعددة الاختصاصات والتنبيهات وتنسيق التغييرات عبر مختلف واجهات (views) النموذج الواحد، إلا أن أدوات ال BIM الحالية تدعم بشكل محدود إدارة التغيير ضمن النماذج المتعددة الاختصاصات، فهي غير قادرة على معرفة تأثير التغيير ضمن هذه النماذج ولا تتبع انتشار التغيير ضمنها بل إنها مجرد أدوات داعمة لإدارة تنفيذ التغيير.

نطمح من خلال هذا البحث إلى تطوير طريقة لتنسيق وتتبع انتشار التغيير ضمن بيئة ال BIM المتعددة الاختصاصات تعتمد هذه الطريقة على نمذجة للتغيير ضمن ال BIM وعلى أدوات لتمثيل التبعيات يمكن تكاملها مع

الBIM لدعم عملية تمثيل مرئي لانتشار التغيير في صناعة البناء وعلى اقتراح آلية برمجية لتمثيل انتشار التغيير ضمن الBIM.

طرائق البحث ومواده:

المنهجية المتبعة في هذه الدراسة تستند على الدراسات المرجعية لتحديد طرق وأدوات إدارة التغيير الهندسية المناسبة ودراسة حالة والمقابلات الشخصية كما موضح في الجدول (1).

جدول (1) منهجية البحث

المنهجية	الهدف	المخرجات
مراجعة الأدبيات	تحديد طرق وأدوات إدارة التغيير الهندسية المناسبة	استخدام مصفوفة هيكلية التصميم القائم على البارامتر لتمثيل الاعتماديات وشجرة الانتشار للتمثيل المرئي
دراسة حالة	فهم نظم إدارة التغيير ضمن بيئة تصميم مشاريع البناء	نمذجة عملية التغيير
المقابلات الشخصية	جمع البيانات المتعلقة بالاعتمادية بين مكونات البناء	تطوير نموذج معلومات لتتبع انتشار التغيير ضمن ال BIM

1- الدراسات المرجعية:

ولد الدور المتطور الذي يلعبه الـBIM في صناعة البناء والتشييد حاجة إلى فهم أفضل لمتطلبات إدارة التغيير في بيئة الـ BIM، عملت عدد من الدراسات لتلبية هذه الحاجة من خلال تقييم فعالية نظام الـ BIM وأدواته في تغييرات التصميم، باعتماد مؤشرات مثل (Giel and Issa, 2013) أو باستخدام الاستبيانات مثل (Shourangiz et al ,2011). كذلك حاول بعض الباحثين أن يعنونوا قضايا إدارة التغيير من خلال تكامل موديلات الكلفة والزمن 4D و5D مع موديلات ال 3D 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 (Akcamete et al., 2009) أنواع التغييرات التي تحدث أثناء دورة حياة المشروع، والتي كان تركز بشكل خاص على أنشطة الصيانة وإدارة المرافق. وناقشوا بعض التحديات المرتبطة بإدارة هذه التغيرات والتحديث المناسب لنماذج معلومات البناء.

ضمن إطار تتبع التغيير ضمن نموذج معلومات ال BIM عرف (Langroodi, 2012) سمات المكونات اللازمة لتتبع نتائج التغييرات ضمن نموذج المعلومات، وقدم مقاربة لتساعد في أتمتة عملية تتبع انتشار التغيير ضمن نموذج معلومات ال BIM المتعدد التخصصات، تستند هذه المقاربة على تمثيل العلاقات بين سمات المكونات ضمن

رسم بياني (graph) ثم ضمن مصفوفة تبعية (dependency matrix) ثنائية (1,0)، لكن هذه المقاربة لا تقدم ألية للتمثيل المرئي لكيفية انتشار التغيير ضمن الBIM.

بعيداً عن الـ BIM، إن إحدى الأساليب المساعدة في إدارة التغيير الهندسي هي التنبؤ بتأثيره. اقترح الباحثين عدد من أدوات التنبؤ تستند هذه الأدوات على مفهوم أن التغيير يتولد بين العناصر من خلال الروابط بينها، حيث اقترح (Sun et al.,2006; Motawa et al.,2006) أدوات لتوقع نتائج التغيير ضمن مقاربة تنظيمية بالاستناد إلى علاقات الاعتماد بين العناصر الرئيسية التالية (خصائص المشروع، أسباب التغيير، احتمال حدوث التغيير، نتائج التغيير).

وقد استخدمت مصفوفة هيكلية التصميم (DSM) من قبل مختلف المؤلفين كأساس لنمذجة انتشار التغيير (propagation change) في أنظمة التصميم المعقدة (أنظمة الطائرات السيارات ..) من خلال تزويد المصفوفات الأساسية بمعلومات إضافية مثل احتمال انتشار التغيير بين اثنين من الأنظمة الفرعية المرتبطة وتأثير ذلك على العنصر التابع في حال حدوث التغيير. استخدم DSM (Zhao et al, 2008) على أساس النشاط لنمذجة تدفق المعلومات في حالة دراسة لمشروع تشييد بناء وطبقت خوارزمية محاكاة مونت كارلو لاكتشاف احتمال إعادة العمل للأنشطة.

تستخدم ال DSM أيضا كأداة لنمذجة العملية، وهي قادرة على تمثيل التكرار في عملية التصميم وعلى أمثلة تسلسل عملية التصميم . إن الجهود القليلة المبذولة في اتجاه تكامل ال BIM مع الDSM، كانت ضمن إطار نمذجة عملية التصميم وتحسين إدارتها ضمن نموذج ال BIM باستخدام الDSM، ولم تطرح أبدا ضمن إطار تتبع التغيير، حيث اقترح (Jacob and Varghese, 2011; Jacob and Varghese, 2012) ألية لتكامل الDSM القائمة على البارامتر مع IFC (Industry Foundation classes) والذي هو صيغة متاحة (open format) من الBIM بهدف نمذجة وإدارة عملية التصميم ضمن نموذج معلومات الBIM.

كما اقترحت طرائق تصورية لتمثيل تأثيرات وانتشار التغيير، حيث يمكن تصور التأثير من خلال الشبكات أو أشجار الانتشار وتمثل هذه الشبكات التبعيات بين العناصر. يمكن أن تشكل العناصر عقد في نطاقات مختلفة، والأضلع تمثل التبعيات (بين أو داخل نطاق)، طول الأضلع يمكن أن يصف معلومات مختلفة، مثل الخطر المركب أو المسار الأقصر (Keller et al., 2005)، لكن لم تدرس إمكانية تكامل هذه الطرائق التصورية مع الBIM.

إذاً بالرغم من وجود عدة منهجيات قادرة على تتبع وتمثيل انتشار التغيير، لا يزال هناك حاجة لتطوير منهجيات قادرة على دعم إدارة التغيير وتمكن من التمثيل المرئي لكيفية انتشار التغيير داخل نموذج معلومات ال BIM. تبحث الدراسة طريقة لتنسيق وتتبع التغيير ضمن نموذج معلومات ال (BIM) التعاوني المتعدد الاختصاصات، تستند هذه الطريقة على توظيف DSM المؤسسة على البارامتر ضمن بيئة الـBIM في إطار تتبع سلسلة من التغييرات المتلاحقة، وعلى اقتراح ألية لتكامل ال DSM مع ال BIM تمكن من التمثيل المرئي لتأثيرات وانتشار التغيير ضمن نموذج الBIM.

2- 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 بين عناصر النظام. يسمح هذا التمثيل بتغذية رجعية للمشروع، كذلك يمثل تبعيات المهمة التكرارية، وهذا مهم للغاية لأن معظم التطبيقات الهندسية موصوفة بالتكرار.

يمكن أن تمثل 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 الـDSM ، حاليا، غير ال BIM إلى حد كبير منهجية التوثيق والتصميم، لذلك فقد أصبح من الضروري تحديد مستويات جديدة مناسبة لتمثيل المعلومات ل DSM.

تحلل DSM القائم على البارامتر (PARAMETER-BASED DSM) عملية التصميم على مستوى علاقات بارامتر التصميم، وتشمل تطبيقاتها تسلسل النشاط وبناء العملية وتسلسل قرارات التصميم على مستوى منخفض. في DSM القائم على البارامتر تمثل العلامات في الصف الواحد البارامترات اللازمة لإخراج (حساب) البارامتر المقابل لهذا الصف. وبالمثل، القراءة نحو الأسفل لعمود محدد يكشف عن البارامترات التي تتلقى معلوماتها من البارامتر المقابل لهذا العمود.

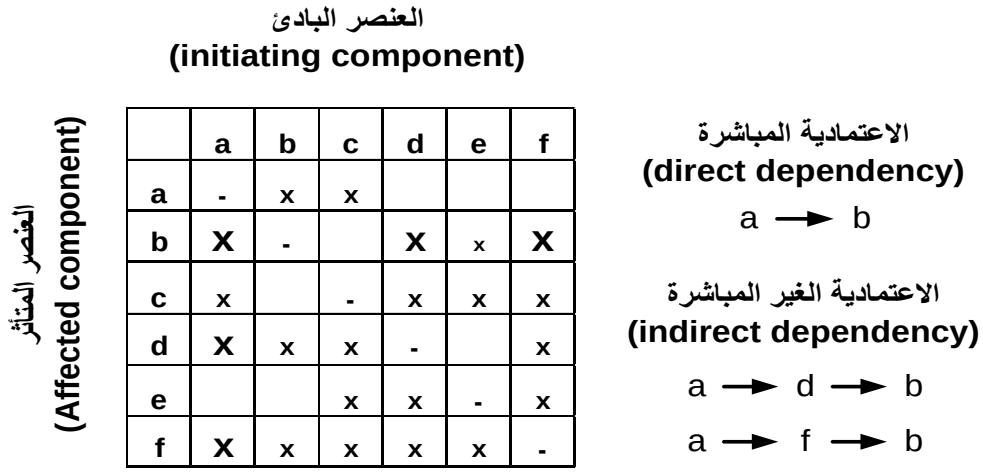
استخدمت هذه الطريقة في تصميم السيارات (Black et al., 1990; Dong, 1999)، والتصميم الهندسي للطائرات (Mascoli, 1999)، وتصميم السقف المعلق (Pektas and Pultar, 2006).

تدعم أداة DSM عملية تغيير التصميم بطريقتين مختلفتين. إنها من جهة تدعم خلاصة بناء نموذج للنظام يساعد المصممين الأفراد و المديرين على فهم كيف تتصل المكونات في منطقة مسؤوليتهم مع أجزاء أخرى . من جهة ثانية تقدم ال DSM القاعدة الأساسية platform لتحليل بيانات انتشار التغيير، بناء على اجتماع ارتباطات المكون المركبة. هذا يسمح للمصممين بتقييم سريع لاحتمال انتشار التغيير من عنصر واحد إلى المكونات الأخرى (Keller et al., 2005).

مما سبق نجد أن تصميم المباني الموصوف بالتكرار، وتغييرات التصميم التي تتم في الواقع على المستويات المنخفضة (البارامتر) وكذلك BIM البارامتري، دفعنا إلى استخدام DSM القائم على البارامتر في نمذجة عملية التغيير وتوظيفها كقاعدة لتحليل بيانات انتشار التغيير.

3- انتشار التغيير الهندسي

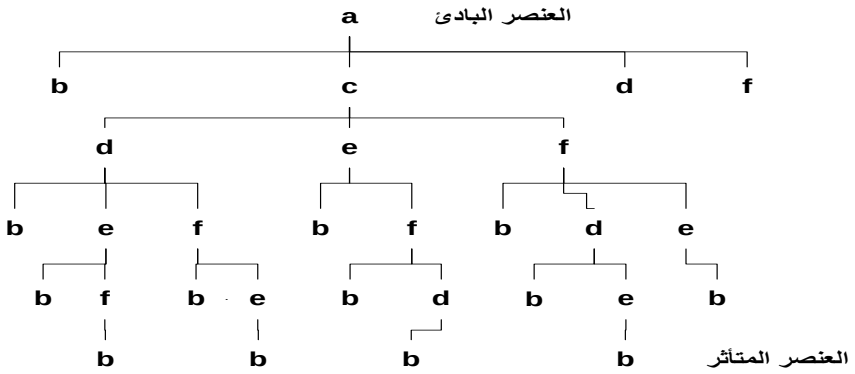
يتولد التغيير نتيجة الاعتمادية المباشرة (direct dependency) وغير المباشرة (indirect dependency) بين المكونات ويظهر الشكل (1) الفرق بين هذين النوعين.



	a	b	c	d	e	f
a	-	x	x			
b	X	-		X	x	X
c	x		-	x	x	x
d	X	x	x	-		x
e			x	x	-	x
f	X	x	x	x	x	-

الشكل (1) الاعتمادية المباشرة وغير المباشرة بين المكونات (Clarkson et al. 2004)

تنشأ أشجار انتشار التغيير (Change Propagation Tree) من البيانات الواردة في المصفوفة الموجودة في الشكل1، حيث التغيير في العنصر البادئ (Initiating Component) الموجود في عمود j حيث {j=a,b,c,d,e,f سيولد تغير في العنصر المتأثر(Affected Component) الموجود في السطر i حيث{a,b,c,d,e,f}= i إذا كان خلية ij الموجودة في الـDSM ذات قيمة (x) وبعدها يكون العنصر i هو العنصر التالي للتغيير، وهكذا تتولد شجرة التغيير الناجمة عن تغيير عنصر معين ويمكن بذلك معرفة جميع العناصر المتأثرة بالتغيير. يبين الشكل (2) جزء من مسارات شجرة انتشار التغيير والخاصة بالمكونين a و b .



الشكل (2) شجرة انتشار تغيير جزئية (Clarkson et al. 2004)

4- دراسة حالة:

قدمنا دراسة حالة لمشروع مبنى تجاري بتصميم متعدد الأطراف (مدني، عمارة، ميكانيك) صمم في شركة خاصة في اللاذقية باستخدم الريفت (Revit) وهو من أقوى برامج التصميم التي تعتمد الـ BIM، فريق تصميم المشروع مؤلف مثل باقي المشاريع من المهندسين المعماريين والإنشائيين و مهندسي الـMEP (الميكانيك والكهرباء والصحية).

راقبنا عملية التصميم وكيفية تنسيق التغيير في نماذج المعلومات. ناقشنا العديد من أمثلة التغييرات خلال دراسة الحالة وراجعنا نماذج الـ BIM المتعلقة بهذه التغييرات مع مهندسي التصميم مما أعطانا فرصة لفهم نظم إدارة التغيير في محتوى نموذج معلومات الـ BIM.

الاعتماد الأساسي في دراستنا كان على المقابلات مع مصممي الاختصاصات المختلفة في الشركة بهدف وضع نمذجة للتغيير تستند على الـ BIM وكذلك في جمع البيانات المتعلقة باعتمادية مكونات التصميم. لوحظ أثناء عملية جمع البيانات أنه حتى محترفي التصميم من ذوي الخبرة مثل المهندس المعماري والمهندسين الذين تمت مقابلتهم، ليس لديهم إلمام بجميع جوانب اعتمادية التصميم وهذا يؤكد ضرورة وجود أداة لتتبع التغيير ضمن نموذج الBIM التشاركي المتعدد الاختصاصات تمكن من اتخاذ قرار مستنير بشأن تأثير التغيير المقترح. رد المشاركين على المقابلات بشكل إيجابي للغاية، وذلك لأن هذه المقابلات جعلتهم يفكرون من وجهة نظر النظم. استخدمت هذه البيانات لتطوير نموذج لإدارة تغييرات التصميم باستخدام DSM القائم على االبارامتر.

النتائج والمناقشة:

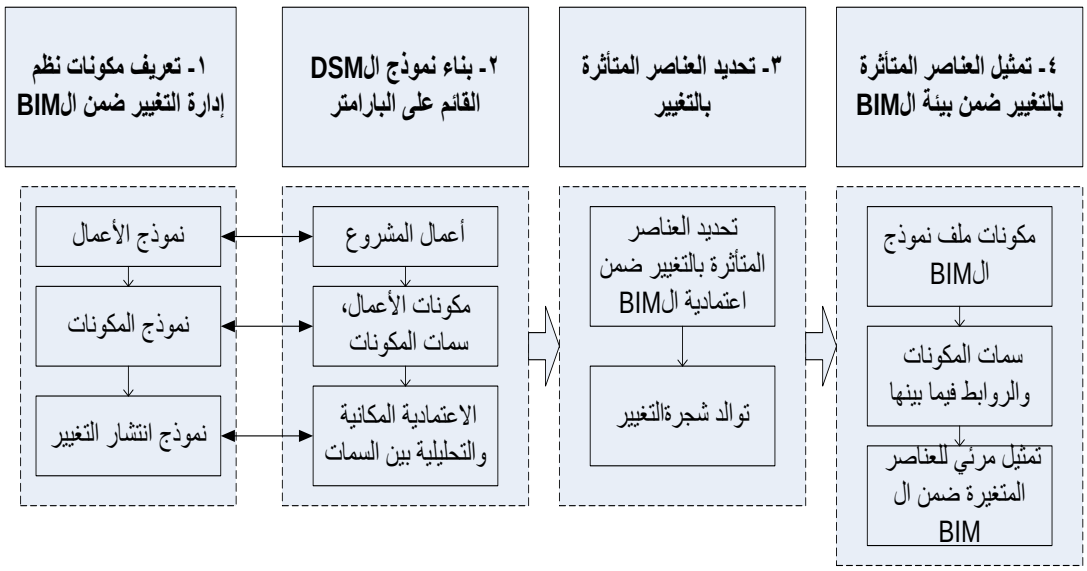
تم اقتراح طريقة لتتبع التغيير ضمن نموذج معلومات ال BIM كما هي مبينة في الشكل (3) ويمكن تلخيصها بالخطوات التالية:

1 -نمذجة التغيير بالاعتماد على نظم إدارة التغيير ضمن الBIM.

2 -تطوير نموذج معلومات باستخدام DSM المؤسسة على البارامتر لتمثيل علاقات الاعتمادية بين بارامترات التصميم لتشكل قاعدة لتحليل بيانات انتشار التغيير.

3 -استخدام شجرة انتشار التغيير لتمثيل العناصر المتأثرة بالتغيير ضمن اعتمادية الBIM.

4 -تمثيل التغيير مرئيا ضمن الريفت من خلال اقتراح طريقة لتكامل ال DSM مع الBIM برمجيا.



الشكل (3) الطريقة المقترحة لتتبع انتشار التغيير ضمن الBIM

3-1 نمذجة التغيير بالاعتماد على نظم إدارة التغيير ضمن الـBIM

درسنا في هذه المرحلة بعض المراجع المتعلقة بكيفية التصميم باستخدام ال BIM كذلك قمنا بالتدقيق في بعض ملفات الريفت المتعلقة بالتغييرات الحاصلة أثناء عملية تصميم المبنى التجاري المدروس.

بناء على مراقبة تغييرات بارامترات المكون في نموذج الـ BIM ضمن ملف الريفت وبمساعدة مهندسي التصميم في الشركة، بارامترات المكون المتغيرة صنفت في مجموعات تدعى سمات المكون المتغيرة، هذه السمات هي جيومتري (Geometry)، موقع (Position)، ومواصفات المكون (Specification) إذ أن التغييرات في المكونات إما أن تكون في جيومتري أو موقع أو مواصفات المكون وتتدرج تحت هذه السمات مجموعة من البارامترات موضحة أمثلة عنها في الجدول (2).

جدول (2): السمات المتغيرة للمكونات (Langroodi, 2012)

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

وكذلك تم ملاحظة أن التغييرات في بعض سمات المكونات تؤدي إلى تغييرات تلقائية في سمات مكونات أخرى متصلة بواسطة علاقاتهم المعرفة ضمن نموذج معلومات الـBIM فمثلا الأعمدة متصلة إلى البلاطات فإن أي تغيير في سمة (موقع) البلاطة سيحدّث أتوماتيكيا سمة (جيومتري) الأعمدة المتصلة معها نتيجة علاقة مكانية بينهما، كذلك أي تغيير في جيومتري الفراغ (space) سيغير بشكل أتوماتيكي في مواصفات الإضاءة ومواصفات التكييف لهذا الفراغ نتيجة وجود علاقة تحليلية (تفاعل ميكانيكي) بين سمات هذه المكونات معرفة ضمن نموذج الـBIM.

وبشكل عام يمكن القول بأن التغييرات بين المكونات تحصل نتيجة التبعيات المكانية (Spatial) أو التحليلية (Analytical) ومفاهيم هذه التبعيات موضحة ضمن الجدول (3).

لابد من الإشارة هنا أن نموذج معلومات الـ BIM يعرف عدد من الاعتماديات المكانية بين المكونات و قليل من الاعتماديات التحليلية نظرا لتعقيدها، كما يعمل المهندسون أثناء التصميم على تفعيل ما أمكنهم من هذه العلاقات بغية توفير الكثير من إعادة العمل في حال طلب التغيير، حيث يقوم ال BIM بالتغيير الأتوماتيكي نتيجة هذه العلاقات ولكن المشكلة لاتوجد ألية لمعرفة ما الذي تغيير وكيف تغير ولا تتبع التغيير بشكل مرئي ضمن الريفت، وهذا ما سنعمل على حله في هذه الورقة لما لهذه المشكلة من أهمية في إطار تعقيد بيئة ال BIM التعاونية المتعددة الاختصاصات .

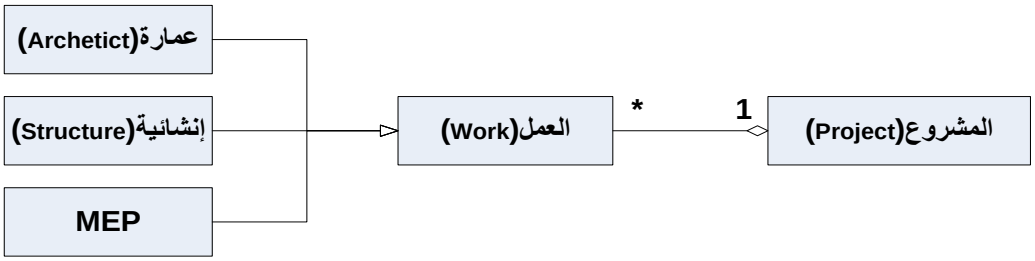
جدول (3) : مفاهيم الاعتمادية اللازمة لتتبع التغيير (Langroodi, 2012)

الاعتمادية	مفهوم الاعتمادية	الرمز	مثال
مكانية	متصل ب (Connected To)	CT	الأعمدة والبلاطات، الدكتات الرئيسية والثانوية
	مماس ل /مجاور ل (Adjacent To)	AT	السقف المستعار والجدران
	مستند على (Supported By)	SPB	الجوائز والأعمدة
	محاط ب (Surrounded By)	SRB	موقع السقف المستعار وموقع الدكتات
تحليلية	سلامة المنشأ (Structural Integrity)	SI	أبعاد الجائز وأبعاد العمود
	التناسق المعماري (Architectural Consistency)	AC	مواصفات الغرفة و مواصفات أجهزة الإضاءة
	التفاعل الميكانيكي(Mechanical Interaction)	MI	الحمل الحراري للفراغ ومواصفات أجهزة التكييف
	العلاقات الكهربائية(Electrical Relationship)	ER	استطاعة لوحة الكهرباء والحمل الكهربائي للفراغ
	المتطلبات التشغيلية (Operational Requirement)	OR	موقع أجهزة الإنارة وموقع أجهزة التكييف

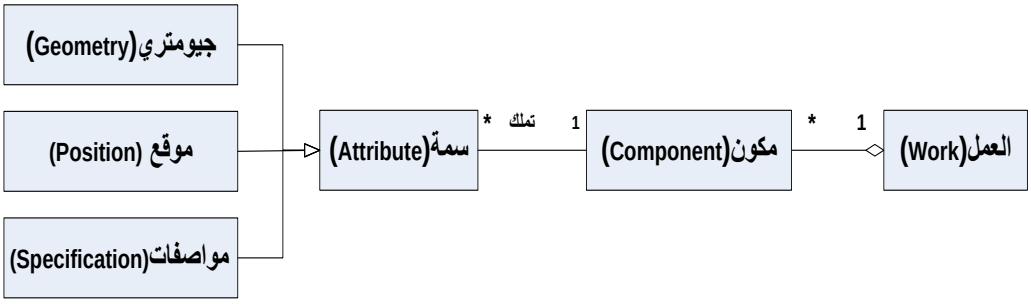
بناء على ما سبق تم اقتراح النماذج التالية لتتبع التغيير بالاعتماد على الـ BIM التعاوني المتعدد الاختصاصات، حيث تم استخدام لغة النمذجة الموحدة Unified Modeling Language (UML) في تمثيل المخططات، باعتبارها واحدة من أهم طرق تمثيل النماذج التصورية، والمستخدمة في البرامج الهندسية الغرضية التوجه. سنستخدم مخطط الفئة مخطط الفئة "Diagram Class لتمثيل نموذج المشروع.

يعتمد تمثيل مخطط الفئة على ثلاثة مكونات: الفئة (الكيان)، الربط (العلاقة)، القيد. الفئة تمثل ملخص الكيان مع خواصه العامة تشرح الفئة بمستطيل مقسم إلى أقسام. ثم وضع اسم الفئة في القسم الأول، وقائمة السمات في القسم الثاني. تمثل الروابط العلاقات بين الفئات .أسماء الروابط تتوضع فوق أو تحت الخط الرابط . وتظهر العلاقات المختلفة بين الفئات بأنواع مختلفة من الأسهم مثل استخدام (◊) لتمثيل علاقة تجميع بسيطة، نستعمل (◁) لتمثيل علاقة الوراثة للدلالة على أن فئة ما هي فرع من فئة أخرى . يحدد القيد (constraint) شرطية العلاقة بين الكيانات وهناك أرقام في طرفي الرابط، هذه الأرقام تصف الإلزامية لهذا الرابط و تخبرنا عن العدد المسموح به لتمثيل كل مفهوم ويرمز ب * للدلالة على التعددية "Multiplicity".

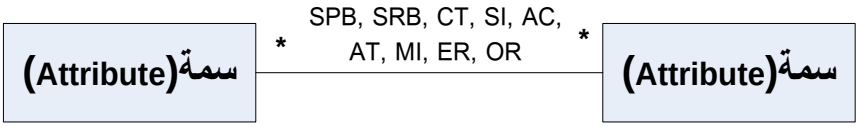
يوضح الشكل (4) النموذج الخاص بأعمال مشروع المبنى التجاري المؤلفة من أعمال العمارة والإنشائية وMEP، يوضح الشكل (5) النموذج الخاص بمكونات المشروع حيث لكل مكون سمات معينة متعلقة بالشكل والموقع والمواصفات، يوضح الشكل(6) النموذج الخاص بانتشار التغيير إذ ينتشر التغيير بين السمات المرتبطة مع بعضها البعض بعلاقة تحليلية (a) (SI, AC, MI, ER, OR) أو علاقة مكانية (s) (SPB, SRB, CT, AT).



الشكل (4) نموذج الأعمال



الشكل (5) نموذج المكونات



الشكل (6) نموذج انتشار التغيير

3-2- تطوير نموذج باستخدام مصفوفة هيكلية التصميم القائم على البارامتر:

قمنا ببناء نموذج DSM خاص بعلاقات الاعتمادية ضمن نظام المبنى التجاري المدروس ويبين الشكل (7) جزء من هذا النموذج واللازم للاستجابة لتغيير في موقع السقف المستعار قمنا باقتراحه كعنصر بادئ للتغيير.

تم بناء هذا النموذج من خلال الخطوات التالية:

3-2-1 تعريف النظام ومجاله:

النظام المدروس هو نظام عام للمبنى التجاري في الحالة المدروسة مؤسس على النمذجة السابقة، يتألف نظام المبنى من أعمال العمارة والإنشائية و MEP. وكل عمل يتألف من مجموعة من المكونات معرفة ضمن ملف الريفت، اكتفينا من هذا النموذج بالمكونات المعنية بالتغيير البادئ (تغيير موقع السقف المستعار) والتي حددناها بالتعاون مع المهندسين المصممين في الشركة ووفق مكونات نظام الBIM.

تم تحديد سمات المكون (موقع المكون، جيومتري المكون، مواصفات المكون)، كمستوى مناسب لتمثيل المعلومات ضمن الـ DSM للتقليل من التعقيد الناجم عن الحجم الكبير للبيانات في حال تم التمثيل على مستوى البارامتر ولإمكانية التحكم بإدارتها. وضعت سمات المكونات المدروسة في العمود والسطر الأول من المصفوفة كما مبين في الشكل (7).

3-2-2 جمع البيانات:

تم جمع البيانات المتعلقة بالتبعيات بين سمات المكونات كما تمت مناقشة طبيعة هذه التبعيات (مكانية /تحليلية)، وذلك لبرمجة هذه العلاقات ضمن ال DSM لكي تتفاعل مع الريفت. واعتمدنا بذلك على المقابلات مع مهندسي الاختصاصات المتعددة في الشركة لفهم محتوى العلاقات الغير مباشرة والتي لا يمكن الحصول عليها من معاينة وثائق التصميم والطرق الأخرى، فمثلا يقول المهندسون نتيجة الخبرة أن تغير في موقع السقف المستعار يغير مواصفات أجهزة الإضاءة (Lighting fixture S) ولكن في الحقيقة هذا التفاعل غير مباشر وأن تغير موقع السقف المستعار يغير مواصفات الإضاءة للفراغ (Space Sl) وهذا يؤدي إلى تغير مواصفات أجهزة الإضاءة.

3-2-3 إنتاج المصفوفة:

بعد جمع البيانات بنينا مصفوفة DSM لتمثيل بنية الاعتمادية الأساسية بين سمات مكونات النظام. DSM عبارة عن مصفوفة ذات بعدين وترد سمات المكونات المدروسة في الصف الأول والعمود الأول من المصفوفة. قمنا بتغذية خلايا المصفوفة بعلاقات التبعيات بناء على البيانات المسجلة، تشير الخلايا ذات القيمة إلى التفاعل بين سمات المكونات.

بعدها عرضت مسودة الDSM على المشاركين وتم تلقي تعليقاتهم وأنهيت النماذج حسب التغذية الرجعية من المصممين. يبين الشكل (7) DSM علاقات التبعيات والخاصة بالمكونات المعنية في حال حدوث تغيير بادئ (تغيير موقع السقف المستعار).

لابد من الإشارة هنا إلى أن نماذج ال DSM الاعتيادية تكون خلايا قطرها غير مفعلة ولكن لتكييفها للعمل ضمن بيئة الريفت يوجد علاقة بين سمة المكون نفسها فمثلا تغير موقع مكون الدكت قد يغير موقع دكت أخر متصل به وبالتالي نموذج ال DSM المقترح يمكن أن يحوي علاقة بين سمة المكون نفسها (اي علاقة ضمن خلايا القطر). كذلك يحوي نموذج DSM المقترح بعض العلاقات الغير معرفة بعد ضمن نموذج ال BIM كعلاقة تغير موقع الدكت يغير جيومتري الجائز المجاور له، ولكن التحسن السريع لأدوات ال BIM في تعريف تبعيات المكون مع كل إصدار للريفت يجعل إمكانية تعريف هذه العلاقات ممكن جدا في المستقبل القريب.

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
ceiling P	a									SRB	SRB											
Space G	b	SRB																				
diffuser P	c	CT			OR																	
Lighting fixture P	d	CT		OR																		
Space Sl	e		Ml														Ml					
Space Sm	f		Ml																			
Lighting fixture S	g					Ml											OM					
diffuser S	h						Ml										OM					
Duct G	i			CT															CT		Ml	
Duct P	j			CT								AT										
beam G	k										AT											
beam S	l											Sl										
column G	m											Sl										
column S	n													Sl								
Foundation G	o													Sl								
ceiling S	p							OM	OM													
Foundation S	q															Sl						
diffuser G	r						Ml		Ml													
Air handling unit S	s						Ml															
Duct S	t								Ml											Ml		
Lighting fixture G	u					Ml		Ml														

G Geometry P Position S Specification Sm Mechanical Specification Sl lighting Specification

الشكل (7) DSM علاقات التبعية

3-3 ألية تتبع العناصر المتأثرة بالتغيير باستخدام شجرة انتشار التغيير:

عند حدوث تغيير ضمن بيئة ال BIM سيقوم ال BIM بتغييرات تلقائية للعناصر المرتبطة مع العنصر البادئ وفق علاقات (مكانية / تحليلية) معرفة ضمن نموذج معلومات ال BIM، لتتبع انتشار هذا التغيير يستلزم ذلك تعريف هذه العلاقات وبرمجتها ضمن ال DSM وفق االنموذج المبين في الشكل (7)، وبالتالي توليد شجرة انتشار التغيير الخاصة بهذا التغيير التي من خلالها يمكن معرفة العناصر المتأثرة بالتغيير وطبيعة العلاقة التي على أساسها تم التغيير.

لابد من الإشارة هنا إلى أن نموذج DSM يمثل علاقات الاعتمادية في مستوى الفئات categories (a,b....)، بينما التمثيل ضمن الريفت سيكون في مستوى المكون (a1 ϵ a, b1 ϵ b, ...)، لذلك إذا تغير موقع السقف المستعار فإن موقع أجهزة الإضاءة المرتبطة معه بعلاقة مكانية (CT) سوف يتغير حسب الاعتمادية المعرفة ضمن مصفوفة DSM ، لكن إذا كان لاوجود لأجهزة إضاءة (مكون) مرتبطة معه في ملف ال BIM ، فإن شجرة التغيير لن تحتوي هذا العنصر ولن يمثل في الريفت (أي شجرة التغيير المبينة في الشكل (8) لن تحوي العناصر

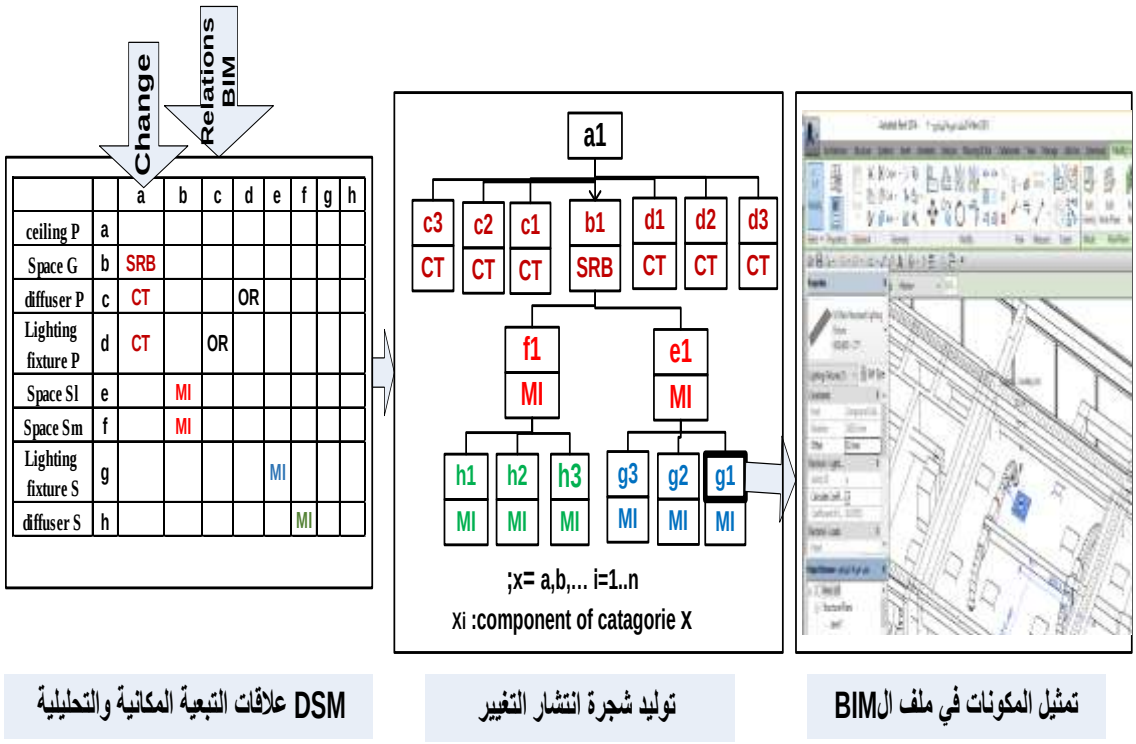
g1,g2,g3). كذلك قد تتغير سمة المكون أكثر من مرة من علاقات مختلفة تساعد شجرة التغيير على معرفة جميع العلاقات التي سببت تغيير سمة المكون المحدد.

يبين الشكل (8) آلية تحديد العناصر المتأثرة بالتغيير ضمن ال BIM وجزء من شجرة التغيير الناتجة عن تغير موقع السقف المستعار. عند تغيير موقع السقف المستعار سيتغير موقع النواشر (diffuser P) و كذلك موقع أجهزة الإضاءة (Lighting fixture P) وفق علاقة ارتباط مكانية عرفناها ضمن ال DSM بعلاقة (CT) وهذه العلاقة هي عبارة عن علاقة معرفة ضمن نموذج معلومات ال BIM كعلاقة مضيف (host) بين السقف المستعار وأجهزة الإضاءة و بين السقف المستعار والنواشر، يتم برمجة هذه العلاقة ضمن ال DSM لمعرفة أي المكونات التي تغيرت بفعل وجود هذه العلاقة باستخدام لغة برمجة مثل #C ضمن بيئة visual studio البرمجية وبالاستعانة ب API الريفت (الوثائق المساعدة لمعرفة التعامل مع الريفت برمجيا)، المقطع التالي سيشرح ألية التفاعل برمجيا بين الDSM وال BIM.

وكذلك تغير موقع السقف المستعار سيغير جيومتري الفراغ (space G) الذي تحته بموجب وجود علاقة مكانية عرفناها ضمن ال DSM بعلاقة (SRB) (إذ يحيط السقف المستعار بفراغ الغرفة من الأعلى) يتم الاستعانة كذلك بAPI برنامج الريفت لمعرفة كيف يعرف الريفت هذه العلاقة برمجيا وكيف يمكن تحديد العناصر التي تغيرت بموجب وجود هذه العلاقة وبرمجتها ضمن الDSM.

بدوره إن تغير جيومتري الفراغ (space G) سيغير المواصفات الميكانيكية لهذا الفراغ (space Sm) وكذلك مواصفات الإضاءة لهذا الفراغ (space Sl) وفق علاقة تحليلية عرفناها ضمن الDSM بعلاقة تفاعل ميكانيكي(MI) (إذ يوجد ضمن الريفت علاقة رياضية تربط بين حجم الفراغ وحساب الحمل الحراري و كذلك بين حجم الفراغ وحسابات الإضاءة لهذا الفراغ) ويتم برمجتها كذلك ضمن ال DSM. وكذلك تغير المواصفات الميكانيكية ومواصفات الإضاءة للفراغ يغير على الترتيب مواصفات النواشر(diffuser) المنتمية لهذا الفراغ ومواصفات أجهزة الإضاءة بعلاقات يتم التقصي عنها داخل الريفت وهكذا.....

عند توليد شجرة انتشار التغيير يمكن تمثيل عناصر شجرة التغيير (العناصر المتأثرة سماتها بالتغيير) مرئيا ضمن الريفت عبر نوافذ تفاعلية مع الريفت.



		a	b	c	d	e	f	g	h
ceiling P	a								
Space G	b	SRB							
diffuser P	c	CT			OR				
Lighting fixture P	d	CT		OR					
Space Sl	e		MI						
Space Sm	f		MI						
Lighting fixture S	g					MI			
diffuser S	h						MI		

الشكل (8) ألية تتبع العناصر المتأثرة بالتغيير ضمن الBIM

3-4 تكامل الDSM مع الBIM برمجيا:

موديل الBIM يحفظ كل البارامترات والسمات الخاصة بمكونات البناء، كل مكون مرتبط مع ID فريد وبالتالي هناك إمكانية لتصدير جميع سمات المكون من موديل الBIM كما أن هناك إمكانية لفلترة هذه المكونات وتصنيفها.

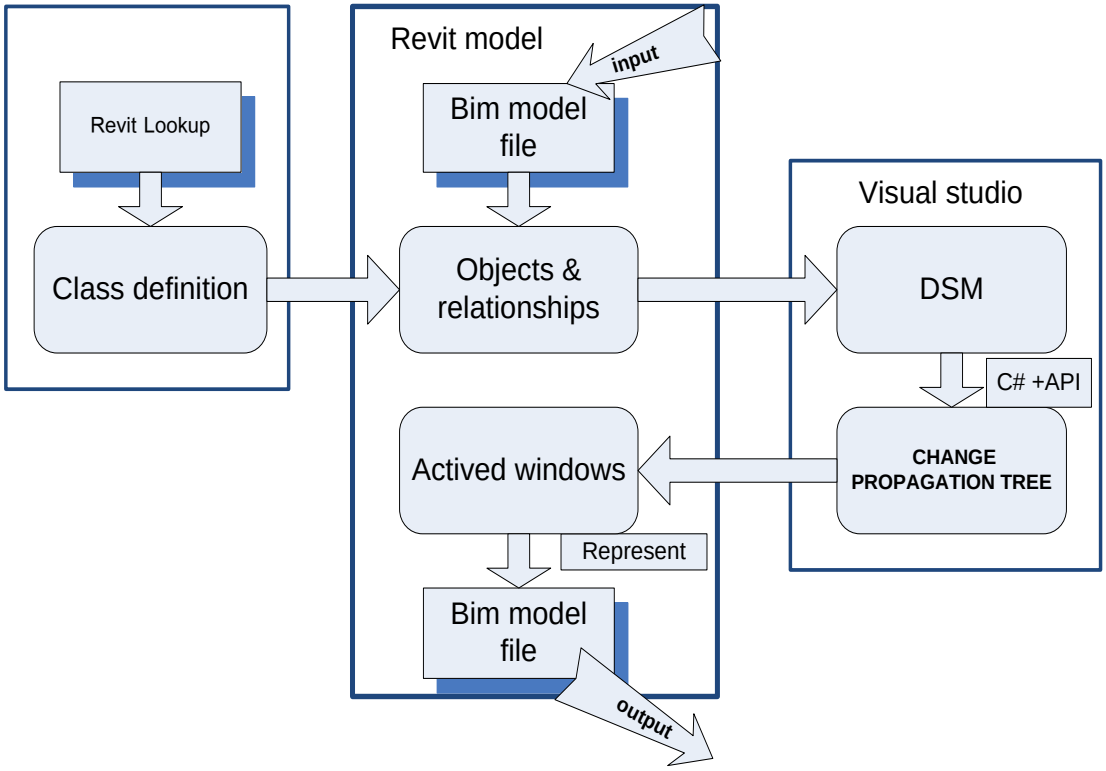
Bim model file هو الملف الذي يصدر من تطبيق الBIM ويحتوي على معلومات العناصر المستخدمة في نموذج البناء، تم الاستعانة بمكتبة لتعريف الفئات (class definition) لاستخراج المعلومات المفلترة من ملف النموذج وإخراج بارامترات المكونات المطلوبة لتعريف العلاقات والتي تشكل مدخلات ل DSM، وذلك باستخدام أداة Revit Lookup وهي أداة برمجية جاهزة تتيح مشاهدة كل تفاصيل مكونات BIM model file وبارامتراتها والارتباطات بينها (objects & relationships).

مخرجات الBIM المفلترة والمصنفة تشكل مدخلات لتوليد DSM، نستخدم لغة البرمجة C # مع الاستعانة ب API الريفت ضمن بيئة visual studio البرمجية لبرمجة علاقات الاعتمادية ضمن موديل DSM بهدف تحديد العناصر المتأثرة بالتغيير وتوليد شجرة التغيير وفق الطريقة المقترحة .

مخرجات الDSM يتم تمثيلها من خلال نوافذ تفاعلية (active windows) ضمن برنامج الريفت وتحديد كل عنصر متغير ضمن واجهة الملف.

يمكن أن نطور في المستقبل أداة برمجية بحسب الطريقة المقترحة، إذ يغير المستخدم سمة العنصر ضمن الريفت هذا التغيير يشكل مدخل كتغيير بادئ للمصفوفة والتي تبدأ بالبحث ضمن الريفت عن سمات العناصر التي تغيرت وفق العلاقات المبرمجة داخلها ومن ثم تولد شجرة التغيير والتي منها نعرف العناصر المتغيرة سماتها وآلية هذا

التغيير وتمكن الأداة من مشاهدة هذه العناصر مرئيا ضمن الريفت ، يبين الشكل (9) آلية التكامل البرمجية المقترحة بين الBIM والDSM.



الشكل (9) آلية تكامل BIM مع DSM برمجياً

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم التوصل في نهاية البحث إلى النتائج الرئيسية التالية:

- اقتراح نمذجة لعملية إدارة التغيير ضمن بيئة تصميم الBIM التعاونية.
- تطوير نموذج معلومات لإدارة التغيير ضمن ال BIM باستخدام مصفوفة هيكلية التصميم (DSM) المؤسسة على البارامتر يمثل التبعيات بين سمات العناصر.
- اقتراح طريقة لتتبع سلسلة من التغييرات المتعاقبة ضمن بيئة BIM تعتمد على نمذجة عملية التغيير بالاعتماد على الـBIM ثم بناء نموذج معلومات باستخدام هيكلية التصميم (DSM) المؤسسة على البارامتر لتتبع انتشار التغيير.
- اقتراح طريقة لتكامل ال DSM برمجيا مع ال BIM لدعم عملية تمثيل مرئي لتتبع التغيير ضمن الBIM.

التوصيات:

كما تم تحديد مجموعة من التوصيات لتطوير هذا البحث يمكن تلخيصها بالمحاور التالية:

- مزيد من البحوث للتحقيق في نمذجة التغيير المقترحة من خلال تحليل أنواع مختلفة من التغييرات

في مشاريع أبنية تجارية أخرى وكذلك في أنواع مختلفة من المشاريع.

- تطوير نموذج DSM ليشمل تغييرات من نوع أخر كحذف أو إضافة مكونات، حصول أكثر من تغيير في نفس الوقت، وجود عدة سيناريوهات للتغيير، إمكانية نمذجة تكلفة التغيير.
- تطوير الطريقة المقترحة بالشكل الذي يمكن من التنبؤ بانتشار التغيير ضمن بيئة BIM الحالية التي لا تعرف جميع التبعيات.
- دراسة إمكانية نمذجة الـDSM ضمن نموذج الـBIM.
- تعميم الدراسة السابقة على أنواع أخرى من مشاريع الأبنية بغية الحصول على قواعد بيانات خاصة بكل نوع من أنواع الأبنية.

المراجع:

1- 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.

2- 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.

3- 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.

4- CLARKSON, P. J.; SIMONS, C.; ECKERT, C. *Predicting change propagation in complex design.* Journal of Mechanical Design, Vol. 126, No. 5, 2004, 788-797.

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- Jacob, J. ;Varghese, K. *A Model for Product-Process Integration in the Building Industry Using Industry Foundation Classes and Design Structure Matrix.* In Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World , 2012, 582-590.

8- Jacob, J., & Varghese, K. *Integration of BIM and DSM to improve design process in building construction projects.* In DSM 2011: Proceedings of the 13th International DSM Conference, 2011.

9- 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.

10- KELLER, R.; EGER, T.; ECKERT, C.; CLARKSON, P. *Visualising change propagation,* in 15th international conference on engineering design. Melbourne, 2005.

11- 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.

12- LANGROODI, B. P. *Change management with building information modeling: a case study*. Thesis Master,University of British Columbia, 2012.
13- 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.
14- MOTAWA. I. A. 2005. *A systematic approach to modelling change processes in construction projects*. Journal of Construction Economics and Building. Vol. 5, No.1, 2005, 23–31.
15- 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.
16- 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
17- SSEGAWA, J.K.; MFOLWE, K.M.; MAKUKE, B.; KUTUA, B. *Construction variations: A scourge 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.
18- 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.
19- Sun, M.; Senaratne, S.; Fleming, A.; Motowa, I.; Yeoh, M.L. *A Change management toolkit for construction projects*. Architectural Engineering and Design Management, Vol.2, No.4, 2006, 261-271.
20- 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.
21- UNDURRAGA, M. *Construction Productivity and Housing Financing*. Seminar and Workshop, Interamerican Housing Union, Ciudad de Mexico, Mexico, 1996.
22- 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.
23- ZHAO, Z-Y., LV, QIAN-LEI, YOU, W-Y. *Applying dependency structure matrix and monte carlo simulation to predict change in construction project*, in Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE, 2: 2008, 670-675.