مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (8) العدد (6) 2024
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (6) 2024

تطوير نموذج لإدارة المخاطر من خلال دمج الشبكات البايزية BN وBIM

د. فايز جراد *

د. لما سعود **

هبة الدبس***

(تاريخ الإيداع 2024/4/1 . قُبِل للنشر في 2024/6/24)

□ ملخّص □

يتناول هذا البحث موضوع تقييم المخاطر في مشاريع البناء ضمن بيئة نمذجة معلومات البناء (BIM).

على الرغم من تطوير نماذج لتقييم المخاطر ضمن بيئة BIM إلا أن تلك النماذج غير قادرة على تحليل الأسباب المباشرة للمخاطر أو القيام بالتقييم المستمر وبشكل تفاعلي للمخاطر خلال مراحل تنفيذ مشروع بناء. تقترح هذه الدراسة نهجاً جديداً لدمج نهج الشبكات البايزية(Bayesian Networks BN)مع نمذجة معلومات البناء(Building Information Modeling(BIM)) وذلك لتقييم مخاطر مشروع البناء والاستدلال على حالات المخاطر الاكثر احتمالاً بشكل مرئي بالاعتماد على BIM.

في النموذج المقترح يمكن استخدام نموذج الشبكة البايزية BN كنموذج احتمالي للإنذار المبكر للمخاطر، في حين أنه يتم استخدام BIM لتزويد البيانات ثلاثية ورباعية الابعاد اللازمة لتطوير النموذج الاحتمالي BN, إضافة لاستخدام إمكانيات التصور والمحاكاة التي توفرها تقنية BIM. تم التحقق من قدرات التكامل والدمج المقترح وإثبات فعاليته في إدارة المخاطر من خلال تطبيقه على دراسة حالة ومجموعة من السيناريوهات الحقيقية لمشروع بناء وذلك بعد تطوير أداة ومكوّن إضافي ضمن أشهر أدوات 4D–BIM (Navisworks).

تشير النتائج أنه يمكن باستخدام أداة 1:BIM-BN– أن نحصل على التنبؤات بالقيم الأكثر احتمالاً لمخاطر الكلفة والزمن في مشروع البناء , 2– المساعدة في تحديد الأسباب الأكثر احتمالاً لحدوث أي خطر.3 – تتبع ومراقبة انتشار المخاطر في أنشطة مشروع بناء وقياس تأثيراتها بشكل احتمالي. هذا وخلصت النتائج على أن المكوّن الإضافي والنموذج المطوّر يمكن أن يساعد مدير المشروع على تحسين فهم أولويات المخاطر من خلال محاكاة انتشارها بشكل تفاعلي وفقاً لمجموعة من الألوان المقابلة للعناصر ثلاثية الأبعاد والتي تقابل مخاطر الأنشطة المختلفة.

الكلمات المفتاحية: إدارة المخاطر، التقييم الاحتمالي للمخاطر، مشاريع البناء, الشبكات البايزية BN ، نمذجة معلومات البناء BIM.

*أستاذ مساعد في قسم هندسة وإدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.

** مدرسة بقسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.

*** طالبة دكتوراه– قسم هندسة وإدارة التشييد –كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين – اللاذقية– سوريا .

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (8) العدد (6) 2024
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (6) 2024

Integrating Bayesian Networks and BIM To Develop a Risk management Model

Dr. Fayez Jrad *
Dr. Lama Saud**
Heba Aldbs ***

(Received 1/4/2024 . Accepted 24/6/2024)

□ ABSTRACT □

This paper addresses the topic of risk assessment in construction projects within a Building Information Modeling BIM environment.

Although of exist several proposed models that incorporate risk assessment methods into the BIM environment, most of them do not support interactive continuous risk assessment and are not able to predict or analyze the most probability causes of the risk occurrence. This research aims to create a novel model that integrates Bayesian Networks and Building Information modeling to risk assessment in construction projects and probabilistic inference of most likely risks with visualization and simulation.

In the proposed model, the BN-based model is used as an early warning probabilistic model of the risks. whilst 3&4D data in the BIM model is used to develop dependencies and relationships in the BN network. In addition, the capabilities of visualization in BIM are used to visualize the probability outputs. For this purpose, the new Plug-in was developed in Navisworks that is most popular tools of 4D-BIM. A real case study demonstrates validation of the model's integration in risk management with several scenarios of a specific project.

The results indicate that using the BN-BIM tool can:1- predict the most likely cost and duration risks in the project. 2- estimate the most likely causes of risks. 3- Tracking propagation of risks and estimating their probability effects in construction project. The BIM-BN Plug-in may help managers achieve more understanding of risk priorities by simulating and visualizing them in color-3D elements that correspond to various risks of activities.

Keywords: Risk Management –Probabilistic Risk Assessment –Construction Project- Bayesian Network-Building Information Modeling.

* Prof. assistant, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
** Lecturer, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
***PhD student, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

١. مقدمة:

تتضمن مشاريع البناء مجموعة من العمليات المنظمة والتي تؤدي لتحقيق وأداء أعمال أنواع مختلفة من المشاريع مثل (البناء والتعديل والتحويل والتجديد والإصلاح والصيانة والهدم وتفكيك الهيكل). يمكن تعريف مشروع البناء وفق دليل PMI بأنه مشروع يجمع العديد من الأشخاص المسؤولين والأطراف المشاركة الذين يستخدمون الموارد لتنفيذ الأنشطة لتحقيق متطلبات الوقت والتكلفة والجودة دون تأثير تقلبات البيئة (الخارجية أو الداخلية) والتي قد تؤثر إيجابياً أو سلبياً على أهداف المشروع وتنعكس بحدوث المخاطر(PMI. 2017). أي يتألف مشروع البناء من مجموعة من الكيانات الأساسية (الداخلية والخارجية) التي ستؤثر بشكل مباشر على أداء المشروع ونجاحه. وإن تفاعل تلك المكونات هو أحد الأسباب الأساسية في حدوث المخاطر والذي يزيد من تعقيد المشاريع. وبالتالي لا بد من استخدام طرق وأساليب لإدارة وتقييم المخاطر بفعالية في المشاريع. إلا أن ممارسات إدارة المخاطر في مشاريع البناء لا تزال تقليدية وتعتمد فقط على الخبرة وبعض الأدوات التقليدية مثل قوائم التحقق وسجل المخاطر(Zou, 2017). تم في الأبحاث السابقة تطوير العديد من النماذج تقييم المخاطر في مشاريع البناء، إلا أن أغلب تلك النماذج المطورة غير مرنة في التطبيق العملي، كونها غير قادرة على تمثيل الترابطات بين المخاطر (Fidan,2011) ولا بد من تطوير نماذج جديدة.

"إدارة المخاطر القائمة على نمذجة معلومات البناء(BIM)" كما تسمى في الدراسات السابقة هي بحث جديد وناشئ يقدم مجموعة من النهج التفاعلية أو الاستباقية لتحليل المخاطر وتقييمها ضمن بيئةBIM(Zou, 2017). حيث تم استخدام BIM لدعم عملية تحديد المخاطر، وغالباً ما تم استخدام قدرات التصور في BIM للمساعدة في تقديم تحذيرات لحدوث المخاطر خلال المشروع (Kang et al.,2013). الشبكات البايزية Bayesian Networks(BN)هي أحد أنواع النماذج الرسومية الاحتمالية، تستخدم كنهج شائع لتمثيل المواقف التي تحتوي على (عدم تأكد). يمكن لBN تمثيل الترابط بين المخاطر وذلك بسبب بنيتها القائمة على تمثيل العلاقات بين السبب والنتيجة Xia et) (al.,2017, السبب الأساسي لاستخدام BN في اتخاذ القرار هو أسسها السليمة وبنيتها الحدسية، إضافة لقدرتها على دمج البيانات مع معرفة الخبراء(Chen and Pollino, 2012). على الرغم من تطوير العديد من نماذج BN للمساعدة في التقييم الاحتمالي للمخاطر إلا أن النماذج المطورة لا تدعم التقييم المستمر للمخاطر بشكل تفاعلي خلال مراحل تقدم المشروع (Yuan et al.,2017). هذا وتركز أغلب أدوات التقييم على تمثيل المخاطر دون تمثيل صريح للمشروع أي تنفيذ إدارة المخاطر بشكل مستقل عن عمليات الإدارة الأخرى. يمكن لتطوير التكامل بين نماذج تقييم مخاطر القائمة على نهج BN ونماذج 4D-BIM أن تعالج تلك المشاكل.

٢. الدراسات المرجعية ومشكلة البحث:

٢,١. الشبكات البايزية BNs ونماذج تقييم المخاطر :

تتضمن عملية تقييم المخاطر تحديد المخاطر والقياس الكمي لها وبالتالي بعد أن يتم تحديد قائمة المخاطر المحتملة، لا بد من جمع المعلومات حول الأحداث الغير المرغوب فيها وكل ما قد ينجم عن حصول الحدث بالإضافة لحجم ومقدار الضرر الناجم عنه، وفرصة واحتمال وقوع الحدث وأخيراً التفاعلات مع باقي أحداث المخاطر الأخرى أي نمذجة التبعيات (الاعتمادية) بين الأحداث، ذلك لأن بعض المخاطر قد تؤثر وتزيد من احتمالية مخاطر أخرى. بالتالي لتحقيق محاكاة أفضل لظروف مشروع بناء، من الضروري فهم وتمثيل العلاقات السببية بين المخاطر وبناء نماذج تقييم قائمة على تلك الخرائط السببية. استخدم في الدراسات السابقة نهج الشبكات البايزيةBN كطريقة لتمثيل الترابطات بين المخاطر والتحديد الدقيق لكيفية تأثيرها أي التقييم الكمي

لها: – اقترح Khodakarami (2009) نموذجاً يستخدم BN ودمجه مع طريقة المسار الحرج لتحديد مخاطر الجدول الزمني للمشروع (Khodakarami, 2009). قام Nasir وآخرون. (2003) بدمج طريقة BN& PERT لتطوير نموذج لتقيم مخاطر الجدول الزمن(Nasir et al. 2003). قام البعض منهمNamazian (2019) بدمج نماذج BN مع نهج أخرى مثل محاكاة مونتي كارلو لتحليل مخاطر الجدول الزمني(Namazian et al., 2019). طرح Zhang وآخرون (2012) طريقة لمعالجة تعقيد التفاعلات بين المخاطر عن طريق استخدام نظرية الشبكة (Zhang,2012). فيما يتعلق بتحليل مخاطر الكلفة قام كل من Khodakarami and Abdi (2014) بتطوير نماذج قائمة على نهج BN لتمثيل وتقييم مخاطر الكلفة في مشاريع البناء(Khodakarami, 2014) . على الرغم من المساهمات القيمة لتلك الأبحاث إلا أنه لم يتم تطوير نموذج عام أو موحد لتقييم المخاطر في مشاريع البناء قائم على BN. وذلك بسبب الهيكل المحدد للشبكات البايزية التقليدية, وتم اقتراح عدة طرق لتمديد BN مثل الشبكات البايزية الكائنية الموجهة OOBN(Koller and Pfeffer,2013). والتي يمكن الاستفادة منها في تقديم هيكل عام وموحد لنموذج تقييم المخاطر في المشاريع، بالإضافة لذلك معظم نماذج BN المطورة لا تدعم التقييم المستمر والتفاعلي للمخاطر.

٢,٢. تقييم المخاطر ونمذجة معلومات البناء BIM:

مع التقدم السريع في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، ظهرت نمذجة معلومات البناء (BIM) كعملية تتضمن إنشاء وتبادل أنواع مختلفة من بيانات الهندسة المعمارية والإنشاء بتنسيقات رقمية, فهي تستخدم كمصدر أساسي لتوفير المعلومات اللازمة من أجل مواجهة التحديات البحثية في أي مجال بحثي. هناك وفرة في البيانات التي يمكن أن تولدها تقنية BIM للاستفادة منها في تقييم المخاطر. هذا ويمكن لـ BIM تحسين عملية التعاون والتواصل في المشروع. وثبت أنه يعزز عملية تحديد المخاطر وتخفيفها (Zou,2017).

تم دمج 4D-BIM في عدة أطر لإدارة مخاطر الجدول الزمني أو الكلفة أو السلامة نذكر منها: قام كل من Chen (2013) وGelisen (2014) بتطبيق4D-BIM خلال مراحل إدارة البناء (Chen et al.,2013; Gelisen and Griffis ,2014) . قام Kang (2011) بتقييم المخاطر في مشاريع البناء من خلال الحصول على درجة الخطر لكل نشاط مع العرض البصري لها(Kang et al., 2011). قام .Sun et al (2017) بتطوير نظام للإنذار المبكر لجدول المشروع وحساب مدة البناء من المنظور الاحتمالي(Sun et al.,2017). يجمع نموذجه بين طريقة مونت كارلو وBIM. دمج Zou (2015) BIM مع هيكل تحليل الخطر RBS كنهج قائم على المعرفة ضمن BIM لربط معلومات المخاطر و4D-BIM (Zou ,2017). قام Rijn (2017) بتطوير أداة لتحديد أولويات المخاطر بدمج نهج تحليل أنماط الفشل وتأثيراتها(FMEA) ونموذج BIM لتصور المخاطر وفقاً لألوان مختلفة(Rijn,2017). من تلك المراجعة نلاحظ أن أنظمة 4D-BIM تعزز الإدارة الفعالة للمخاطر في المراحل المبكرة ومع ذلك، فإن تصور المخاطر لا قيمة له دون تحليل العوامل المسببة لها. وعلى الرغم من توفر عدة منصات لBIM لتحليل المخاطر كبرامج Synchro وVico ,إلا أنها غير قادرة على تشخيص المخاطر بشكل استباقي أو تحديد الأسباب الجذرية والتنبؤ بها خلال مراحل المشروع. ولهذا السبب، يمكن للجمع بين المنطق البشري وتكنولوجيا BIM الغنية بالبيانات لمعالجة هذه الفجوات واتخاذ قرارات أكثر وعياً لتقييم المخاطر. قامت بعض الدراسات بدمج نموذج BIM مع نماذج BN لتقييم المخاطر في مرحلتي التشغيل والصيانة مثل (Alavi et al., 2021). استخدم Chang (2016) معلومات الكلفة من BIM لتوجيه قرارات إدارة مخاطر الجدوى من خلال دمج إطار إحصاءات بايزي (Chang, 2016). اقترح .TohidiFar et al (2021) الدمج أيضاً لقياس التأثيرات المختلفة للكوارث على أنظمة المرافق (TohidiFar et al., 2021). على الرغم من التقدم في هذا المجال لا

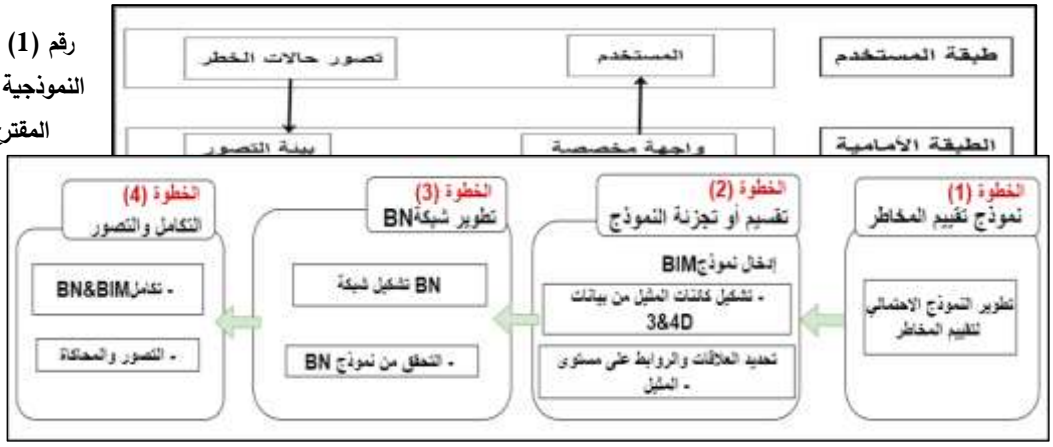
تزال تطبيقات BIM لإدارة المخاطر في مرحلة التخطيط والبناء قيد التطوير، ولا يوجد عمل سابق يدمج BIM مع نموذج BN لتقييم المخاطر في مشاريع البناء.

٣. الهدف من البحث:

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام لتقييم المخاطر قائم على دمج نموذج BN ونموذج BIM الخاص بمشروع البناء من خلال دمج قدرات الاستدلال الاحتمالي BN وإمكانيات التصور لـ4D-BIM بالإضافة لتوفير البيانات الموثوقة من BIM. قد يساعد هذا الدمج في تحليل النتائج الاحتمالية للمخاطر ودعم القرار من خلال التنبؤ ومحاكاة انتشار المخاطر في أنشطة المشروع.

٤. طرائق البحث ومواده:

تقترح الدراسة تطوير نظام لتقييم المخاطر في مشاريع البناء، حيث تكون البنية النموذجية للنظام من ثلاث طبقات كما هو موضح في الشكل رقم (1) وهي طبقة المستخدم؛ وطبقة الواجهة الأمامية والطبقة الخلفية. يتم تنفيذ الارتباط بين الطبقتين الأمامية والخلفية باستخدام واجهة برمجية (Application Programming Interface API). تحتوي الطبقة الخلفية على البيانات والمعرفة المجمعة ويتم فيها أيضاً ترجمة الملاحظات وتحويلها إلى أدلة باستخدام محرك الاستدلال الاحتمالي BN لاستخدامها في التنبؤ والاستدلال الاحتمالي للمخاطر. أخيراً، يقوم النموذج بإرجاع المعلومات الاحتمالية الخاصة بمخاطر الجدول الزمني لكل نشاط في المشروع إلى كائنات BIM ثلاثية الأبعاد ملونة بالألوان المختلفة. تم تنفيذ النظام المقترح في برنامج Navisworks أشهر أدوات 4D-BIM.



شكل رقم (1) البنية النموذجية للنظام المقترح.

شكل رقم (2) خطوات تشكيل النظام المقترح.

يتم تشكيل الطبقة الخلفية بطريقة مقترحة من أربع خطوات:1-التقاط المعرفة وتشكيل النموذج الاحتمالي لتقييم المخاطر في مشروع البناء.2- تجزئة النموذج. 3- تطوير شبكة BN. 4- التكامل والتصور. تم تمثيل طريقة لتشكيل النظام في الشكل رقم (2) لتسهيل فهم الخطوات اللازمة لتطبيق النظام المقترح.

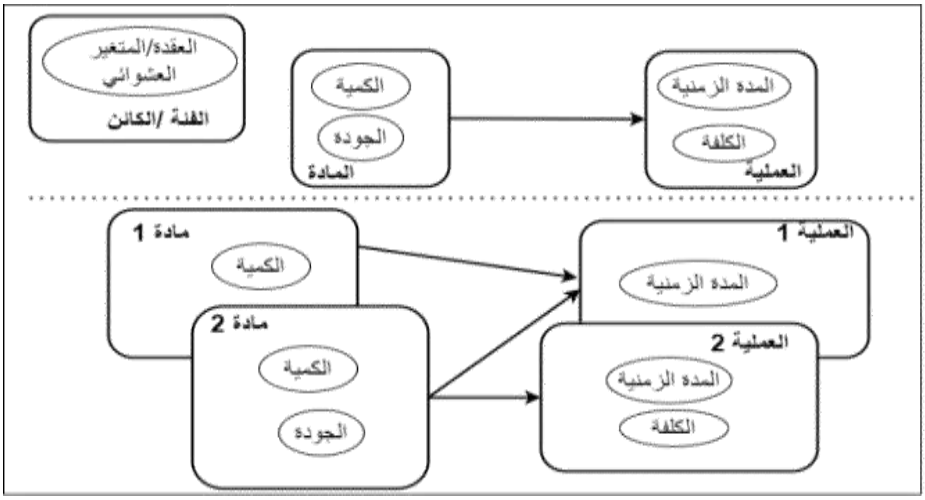
٤,١. الخطوة (1) تطوير نموذج احتمالي BN لتقييم المخاطر:

يمثل نموذج تقييم المخاطر المقترح سلوك متغيرات المشروع والتي تكون تحت تأثير عدم التأكد ولتطوير نموذج عام لتقييم المخاطر في مشاريع البناء، تم إنشاء هيكل النموذج باستخدام علاقات السبب والنتيجة بين المتغيرات غير

المؤكدة التي تمثل المخاطر أو الأحداث. لتطوير النموذج يتم استخدام النماذج الكائنية الموجهة وتوسيع الشبكة البايزية البسيطة BN. بدايةً تُعرَّف الشبكات البايزية بأنها رسم بياني غير دوري موجه تتمثل بنيتها من مجموعة من العقد التي تمثل المتغيرات العشوائية ويتم تمثيل علاقات التبعية أو السببية بين العقد بالأقواس. يتم تمثيل عدم التأكد بين المتغيرات من خلال ما يسمى بالجداول الاحتمالية الشرطية CPTs, حيث يرتبط بكل متغير xi توزيع احتمالي مشروط يُمثّل ب $P(X_i \mid Pa(X_i))$ والذي يُعيّن التوزيع الاحتمالي لقيم المتغير xi بالنظر لقيم$Pa(X_i)$ والتي يشار إليها بالآباء. يمكن حساب التوزيع الاحتمالي المشترك لمجموعة من المتغيرات n عبر قاعدة السلسلة بعد تطبيق قانون بايز(Pearl and Verma,1995) المعادلة رقم(1):

$$P(X_i, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^{n} p\,(X_i | Pa(X_i)) \qquad \textbf{معادلة رقم (1)}$$

لتشكيل نموذج عام لمشاريع البناء يتم دمج BN في أطر أكثر عمومية, يتم توسيع نموذج الشبكة BN إلى الشبكات البايزية الكائنية الموجهة(Object-Oriented Bayesian Networks(OOBN)) (Pearl and Verma,1995), والتي يمكن من خلالها نمذجة المشكلات المعقدة عن طريق تمثيل الكائنات (Objects) أو الفئات(Classes). وبالتالي OOBN هي شبكة متعددة المثيلات التي يمكن تشكيلها من تلك الكائنات التي تتضمن عقد موحدة، بحيث تصبح جميع العقد في الشبكة بعد إنشاء المثيلات لكائناتها شبكة BN بسيطة. يبين الشكل رقم (3) شبكة OOBN بسيطة تمثل الترابط بين كائنين (فئتين) هما المادة والعملية. تمثل الكائنات بالمستطيلات وتمثل العقد بالدوائر. يميز كل كائن مجموعة من العقد أو المتغيرات، مثلاً: تميز العملية متغيرات المدة والزمن. حيث تؤثر متغيرات المادة على متغيرات العملية في المشروع والذي يعبر عن العلاقة السببية بين العملية والمادة على شكل قوس. هذا ويمكن الحصول على عدد غير محدد من المثيلات لكل كائن مثلاً : مادة 1 ومادة 2 لكائن المادة. لتشكيل نموذج لتقييم المخاطر نبدأ بتحديد الكائنات والعلاقات بينها والمتغيرات العشوائية التي تميز تلك الكائنات. بعد تحديد هيكل OOBN يمكن تصميم كائنات معينة عن طريق إنشاء مثيلات لمشروع معين وتحديد العلاقات بينها والحصول على شبكة BN خاصة. وفقاً للعلاقات بين الكائنات تحدد العلاقات بين متغيراتها أي يتم توريث العلاقات الترابطية بين الكائنات إلى المتغيرات إلا أنه يمكن تقييدها أو تغييرها عند الحاجة أو عند إنشاء حالات الخاصة بالمشروع. يتم تمثيل حالات عدم التأكد من خلال تحديد التبعية(الاعتمادية) الاحتمالية بين متغيراتها واستخدام التوزيع الاحتمالي المشروط CPTs. يتم القيام بإجراءات تطوير نموذجBN بناءً على مراجعة الدراسات السابقة التي يتم تعزيزها من قبل آراء الخبراء والتي يتم الحصول عليها عن طريق المقابلات بالإضافة لتقارير المخاطر ووثائق مشروع البناء.



شكل رقم (3) شبكة OOBN بسيطة تمثل العلاقة بين كائنين.

٤,٢. الخطوة(2) تجزئة النموذج:

المعلومات اللازمة لتوفير متطلبات تقييم المخاطر متاحة على نطاق واسع في برامج 3D-4D BIM. فيما يتعلق بالمعلومات المطلوبة لتشكيل الاعتمادية السببية بين الكائنات في النموذج المراد تشكيله مثل كائنات عناصر والأنشطة والموارد المحددة للمشروع، فيمكن الحصول عليها بسهولة من خلال برامج 3D–4D BIM أيضاً. مع ظهور معايير وتنسيقات موحدة للإدارة البينية المتكاملة مثل معايير(Industry Foundation Classes) والتي تستخدم كمعايير لتبادل المعلومات ضمن BIM. يتم تمثيل مهام البناء وموارد البناء وعناصر البناء بواسطة فئات IfcTask وIfcResource وIfcElement (Xue et al., 2015). بالإضافة لتمثيل الروابط بين الكائنات , فعلى سبيل المثال يتم إنشاء هيكل تنظيم العمل WBS، الذي يعبر عن العلاقات بين الأنشطة بواسطة كيان العلاقة IfcRelSequence ضمن وصف IFC. ويتم إنشاء هيكل تقسيم الموارد، الذي يحدد العلاقات بين المهام والموارد المرتبطة بها بواسطة IfcRelAssignsToProcess. والعلاقة بين المنتج والمهمة بواسطة IfcRelAssignsToProduct. في هذه الخطوة، يتم الحصول على البيانات من نموذج 3&4D-BIM المُدخل، حيث يتم استخدام الكائنات المرتبطة بالمشروع وعلاقاتها كأساس لتشكيل OOBN.

٤,٣. الخطوة (3) تطوير شبكة BN:

في الخطوة 3.، يتم تعيين النتائج في الخطوة السابقة إلى BN. حيث سيتم إنشاء شبكة OOBN الخاصة بمشروع معين. من الخطوة (2) واستناداً إلى نموذج OOBN الذي تم تشكيله، سيتم إنشاء مثيل للكائنات وسماتها لمشروع محدد. بعد إنشاء العلاقات الترابطية يتم تحديد جداول الاحتمالية الشرطية CPTs بين المتغيرات. ومن ثم، يتم تطوير شبكة BN بشكل كامل. أخيراً، تم اختيارGeNIe Modeler (BayesFusion,2020 a) من بين عدة أدوات لإنشاء نموذج BN نظراً لواجهته سهلة الاستخدام وخوارزمياته التي تؤدي بسهولة الاستدلال حتى في الشبكات الكبيرة(Mahjoub & Kalti, 2011). ثم يتم التحقق من صحة النموذج، حيث يتم إجراء تحليل الحساسية للتأكد من جودة وصلاحية نموذج BN الناتج.

إن تطوير OOBN عام قائم على الكائنات يجلب العديد من المزايا: أ– تسريع عملية تطويرBN, ب– زيادة جودة الشبكة، ت– تطوير نموذج عام يمكن استخدامه في الدراسات المستقبلية.

٤,٤. الخطوة (4) تكامل BN–BIM:

باستخدام الاستدلال الاحتمالي في BNs يمكن الحصول على القيم المختلفة للمتغيرات في الشبكة بالنظر إلى بعض القيمة الملحوظة لمتغيرات المراقبة أو الأدلة التي قد تكون إما أدلة مؤكدة أو أدلة احتمالية (Ding & Rebai, 2010). في هذه الدراسة: يستخدم BN للتنبؤ بقيم حالات مخرجات مشروع البناء مثل تأخير النشاط أو زيادة الكلفة مع الأخذ في الاعتبار أي ملاحظات يتم التقاطها من خلال المعلومات المتاحة في بيئة المشروع . أو يمكن استخدام النموذج عكسياً وإجراء الانتشار العكسي لتقدير الأسباب الأكثر احتمالية للمخاطر. تساعد إمكانيات التصور والمحاكاة التي توفرها BIM صناع القرار على إدارة المخاطر مع الأخذ في الاعتبار النتائج المحتملة. تم تنفيذ التكامل باستخدام "API"، التي تدمج التطبيقات المستخدمة (منصة BIM وبرنامج BN). يتم من خلال API جمع الأدلة المدخلة وتخصيصها للعقد المقابلة في نموذج BN. ثم من خلال محرك التفكير SMILE، يتم تحديث الحالات والحصول على متغيرات الإخراج وتصورها عن طريق تلوين العناصر المقابلة للأنشطة.

٥. تطبيق وتنفيذ النموذج:

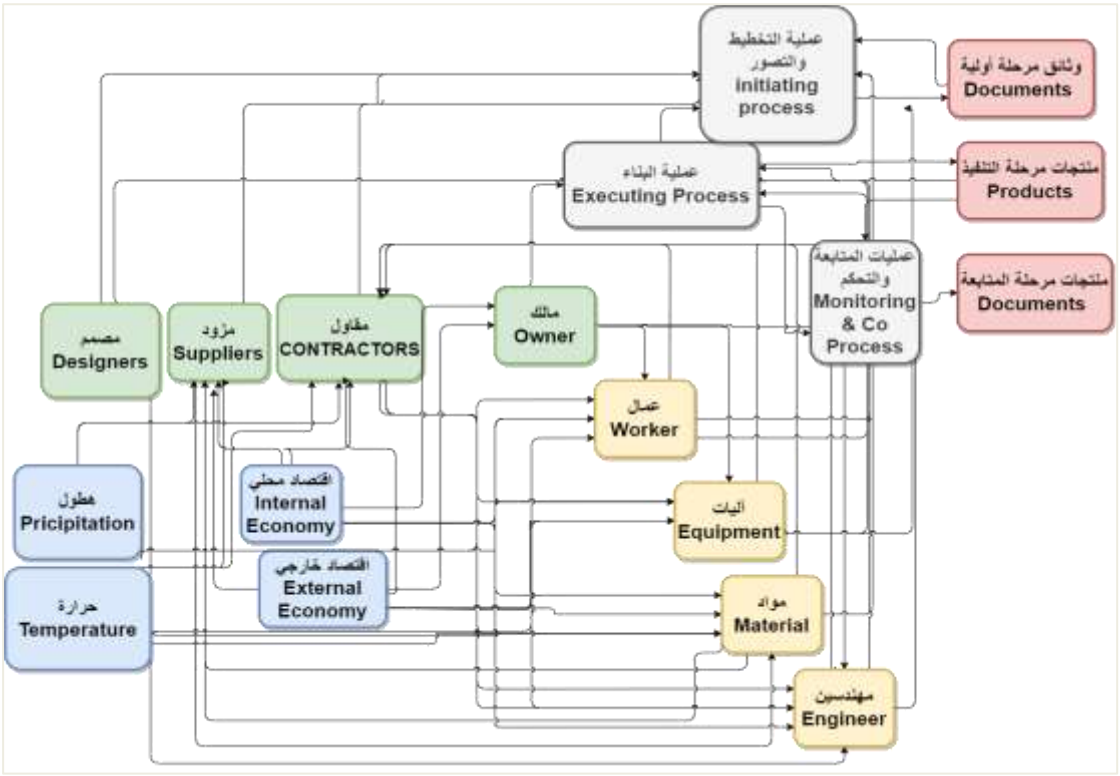
يتم تنفيذ وتقييم النموذج المقترح من خلال تطبيقه في دراسة حالة حقيقية لإثبات قدرته على المساعدة في عملية صنع القرار. دراسة الحالة عبارة عن مبنى سكني يقع في مدينة طرطوس شمال غرب سوريا نفذ عام 2012. في النموذج يقوم المستخدم بإدخال الملاحظات ويتلقى النتائج بحالات المخاطر كمخرجات. وفقاً للخطوات التالية:

٥,١. الخطوة (1) تطوير نموذج تقييم المخاطر في مشاريع البناء:

تم تطوير نموذج OOBN بناءً على دورات عديدة من التكرار والتنفيذ والتحقق، الخطوة الأولى كانت تحديد الكائنات التي يتكون منها مشروع البناء والعلاقات فيما بينها، ثم تم تحديد المتغيرات أو خصائص تلك الكائنات. في الشكل رقم (4) النموذج المفاهيمي ل OOBN لمشاريع البناء، حيث يتألف مشروع بناء من الكائنات المرتبطة بالعمليات والموارد والأطراف المشاركة والمناخ والاقتصاد وغيرها، حيث يبدأ مسار الخطر بمحاكاة سلوك المتغيرات الخاضعة لعدم التأكد والتي تمثل الأسباب الأولية كمتغيرات المناخ والاقتصاد والأطراف المشاركة (مقاول، مصمم..) والموارد (مواد، آليات..) وقد تؤثر على أحداث الخطر التي تتفاعل مع بعضها أو تتأثر بالمخرجات المتمثلة بمتغيرات العملية والمنتج. في النموذج المقترح، تم تحديد الكائنات والمتغيرات والعلاقات بينها بالاعتماد على مجموعة من الدراسات المرجعية، وتم تعزيزها من خلال مجموعة من آراء الخبراء وتقارير المخاطر ووثائق المشروع.

بعد تحديد النموذج العام لإطار OOBN, تم إجراء عدة جولات من المقابلات مع تسعة خبراء في المجال لتحسين النموذج وضمان دقة العلاقات وجودة البيانات. يتمتع الخبراء بخبرة تزيد عن عشر سنوات في إدارة المشاريع. في الشكل رقم (5) أمثلة على الكائنات والمتغيرات المرتبطة والعلاقات بينها. نلاحظ أن متغيرات البيئة الخارجية (الهطول الحرارة، الاقتصاد..) تؤثر بشكل مباشر على خصائص الموارد (المواد، الآليات ...) والمشاركين (المالك، المقاول). تعتمد حالات خصائص العمليات على حالات الأطراف المشاركة وعلى خصائص البيئة/ والموارد. ومع ذلك، فإن تأثيرات البيئة والمشاركين على المنتج تكون غير مباشرة حيث يعتمد المنتج على إكمال المهمة. أي خصائص المنتج تكون مستقلة عن الخصائص البيئية والمشاركين بالنظر لحالات خصائص النشاط.

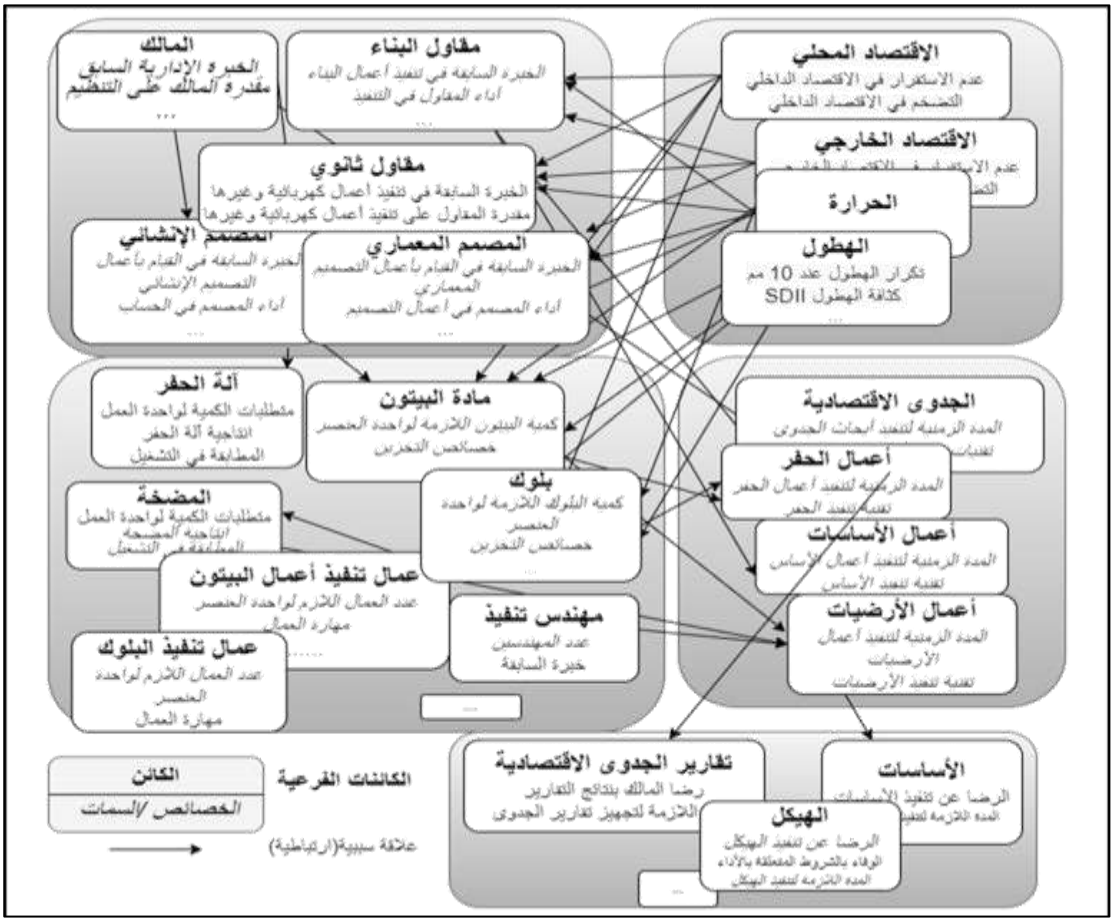
شكل رقم (4) النموذج المفاهيمي لنموذج OOBN الخاص بمشاريع البناء.



تمثل العقد في نموذج BN المتغيرات عشوائية, يمكن تعريف كل عقدة على أنها إما مُصنَّفة أو حقيقية منفصلة أو مُرتّبة أو منطقية، اعتماداً على نوع بياناتها(Fenton and Neil, 2018). تم تعريف حالات العقد بناء على آراء الخبراء واعتماداً على بيانات مجموعة من مشاريع الأبنية السكنية المنفذة في سوريا، حيث تم استخدام طريقة ديلفي المعدّلة(Rowe & Wright,1999). في نموذج BN تم تعريف معظم العقد في الشبكة على أنها منفصلة ومرتبة وفقاً لثلاث حالات أو نقاط (−1، 0، 1) والتي تقابل كل من المصطلحات الوصفية التالية: "عالية"، و"متوقعة"، و"منخفضة". بحيث تعبر هذه الحالات عن السلوك المحتمل للمتغيرات العشوائية مقارنةً بالسلوك المتوقع. مثلاً ، تعد (متطلبات الكمية من المادة لواحدة العنصر) إحدى خصائص "المادة" وتم تصنيف حالاتها إلى: (زيادة) و(متوقعة) و(تقليل). تم تعريف متغير المدة الزمنية للعملية والتي تعبر حالاتها عن مخاطر الجدول الزمني، يتم تعريفها على أنها قيم حقيقية منفصلة وتم تصنيفها بواسطة مقياس مكون من 7 نقاط (−3، −2، −1، 0، 1، 2،

3) على النحو التالي: (S1 = "زيادة عالية"، S2 = "زيادة متوسطة"، S3 = "زيادة خفيفة"، S4 = "في الوقت المحدد"، S5 = "انخفاض خفيف"، S6 = "انخفاض متوسط"، S7 = "انخفاض كبير").

تشير قيمة "زيادة خفيفة" إلى تأخير المدة الزمنية بنسبة 20% كزيادة للمدة الزمنية المتوقعة. تم تعريف العقد الأخرى على أنها منطقية ولها حالات ثنائية. يوضح الجدول (1) جميع المتغيرات المستخدمة في شبكة BN العامة مع أمثلة للكائنات. يتم استخدام الجداول الاحتمالية الشرطية (CPTs) لتحديد التبعيات الاحتمالية بين متغيرين (الأصل والابن). في النموذج يتم استخدام مصفوفة الارتباط لتحديد CPTs بين متغيرين، والتي يمكن أن تكون مصفوفة ارتباط سلبية أو إيجابية. فيما يتعلق بالمصفوفة بين عقدتين ذات مقياس ثلاثي، فإن جداول CPT هي عبارة عن مصفوفة 3X3.يتم تحديدها وفقاً لحالة المشروع. لتحديد CPTs لسمة ذات أصول أو آباء متعددة، يلزم وجود إطار عمل احتمالي(Fenton et al.,2007). تم استخدام التوزيع العادي المقطوع (TNormal) بمدى [0,1] والبارامترات [μ; σ] لتحديد التوزيع الاحتمالي لمجموعة من العقد الآباء(Fenton et al.,2007). حيث يعكس التباين (σ^2) تأثير عدم التأكد في العقدة الأب. باستخدام القيم المرتبة، يمكن تعيين وزن أو الأهمية (Wi) لكل عقدة رئيسية. لتبسيط الحسابات، تم اعتبار جميع المتغيرات في النموذج ذات أهمية متساوية (Wi = 1)، ويتم تعريف القيمة المتوسطة μ على أنها المتوسط المرجح (W_{mean}) لمجموعة من الآباء Xi باستخدام التعبير $\mu = Wmean = \mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{n}$, n هو عدد عقد الأصل, التباين $\sigma^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n-1}(Xi - \bar{X})^n$.



شكل رقم (5) مثال على نموذجOOBN لتقييم مخاطر مشاريع البناء.

جدول رقم (1) المتغيرات المستخدمة لأمثلة من الكائنات المحددة في نموذج BN المطوّر

الكائن / (أمثلة)	البارامتر (العقدة في الشبكة BN)	حالات العقدة في الشبكة BN		
أعمال التصور *(الجدوى، رسومات التصميم)* ***أعمال البناء*** *(أعمال الأساس , الهيكل)* ***أعمال المتابعة والتحكم*** *(تقارير المتابعة، تعديل الأخطاء)*	المدة الزمنية لتنفيذ العمل الكلفة اللازمة لتنفيذ العمل	S1	زيادة عالية	70% – 35% للزمن 60% – 25% للكلفة
		S2	زيادة متوسطة	35%–25% للزمن 25% – 10% للكلفة
		S3	زيادة خفيفة	25%–10%للزمن 10% – 5% للكلفة
		S4	في الوقت المحدد	وقت –كلفة متوقعة
		S5	انخفاض خفيف	10%–5%للزمن 10% – 5% للكلفة
		S6	انخفاض متوسط	15%–10%للزمن 15% – 10% للكلفة
		S7	انخفاض كبير	25%–15%للزمن 25% – 15% للكلفة
	تقنية/تكنولوجيا تنفيذ العمل	جيدة/ متوسط / غير جيدة		
مقاول (البناء , مقاول ثانوي, مختص) ***مصمم(معماري , إنشائي)*** ***المالك*** ***المزود***	المقدرة (القدرة الفنية) على (تنفيذ , تركيب, تصميم , حساب , تنظيم, تزويد) الأعمال.	نعم(كفؤ) /لا (غير كفؤ)		
	الأداء (السرعة) على (تنفيذ , تركيب, تصميم , حساب, تنظيم, تزويد) الأعمال .	سريع/ بطئ		
	مؤهلات التأهيل المسبق	جيد/ عادي / سيء		
	الخبرة السابقة في (تنفيذ، تركيب, تصميم , حساب, تنظيم, تزويد) الأعمال .			
	كلفة الطرف المشارك في (تنفيذ، تركيب, تصميم , حساب, تنظيم, تزويد) الأعمال.	زيادة / متوقعة/ منخفضة		
الهطول المطري	عدد أيام الهطول الغزير(R 10mm)	الميل قيمة سالبة <0 = زيادة , الميل =0 = طبيعي, الميل قيمة موجبة > 0 = انخفاض.		
	مؤشر الكثافة البسيط (SDII)			
الحرارة	عدد أوقات الأيام الدافئة (TX90p)			
	مؤشر مدة النوبة الدافئة (WSDI)			
	عدد أوقات الأيام الباردة (TX10p)			
	مؤشر مدة النوبة الباردة (CSDI)			
الاقتصاد الخارجي	عدم استقرار الاقتصاد الخارجي	زيادة / طبيعي / انخفاض		
	التضخم للاقتصاد الخارجي			
الاقتصاد الداخلي	عدم استقرار الاقتصاد الداخلي			
	التضخم للاقتصاد الداخلي			
المواد *(البيتون , العزل , الدهان ...)*	متطلبات الكمية من المادة (البيتون مثلاً) لواحدة العنصر	زيادة / متوقعة / منخفضة		
	الكمية الكلية للعنصر أو مكون البناء.	زيادة / متوقع / تقليل		
	الخصائص الأساسية للمادة	جيدة / سيئة		
	الشروط / الظروف الداخلية والخارجية للتخزين	خاطئة /صحيحة		
الآليات *(آليات عمل للبناء، مكتبية) , والتي قد يكون مالكها (مالك, مقاول...)*	عدد الآليات المطلوبة لتنفيذ(تركيب) واحدة العنصر	زيادة / متوقعة /منخفضة		
	كمية أو حجم العمل الكلي	زيادة / متوقعة / منخفضة		
	مطابقة الآلة في التشغيل	مرتفع / متوقعة / منخفضة		
	الإنتاجية في (تنفيذ، تركيب..) العمل	سريع / متوقعة / بطيء		

	صيانة الآلة /الاستبدال			نعم / لا
	كلفة أو أجور الآلات			مرتفعة / متوقعة /منخفضة
العمال *(عمال في الموقع للتنفيذ، التركيب , .. أو عمال مكتبيين)* ***أو مهندسين***	عدد العمال أو الفريق المطلوب لتنفيذ واحدة العنصر			زيادة / متوقعة /منخفضة
	كمية أو حجم العمل الكلي			زيادة / متوقعة / منخفضة
	مهارة العمال أو الفريق (تنفيذ، تركيب , أعمال مكتبية ...)في تنفيذ أعمال (البناء , التركيب , العمل المكتبي).			مرتفعة / متوقعة / منخفضة
	الإنتاجية في (تنفيذ، تركيب ..) العمل			سريع / متوقع/ بطيء
	كلفة أو أجور العمال (بناء، تركيب، مكتبيين ...)			مرتفعة/ متوقع / منخفضة
مخرجات العناصر النهائية *(الأساسات، الهيكل)* *أو* ***مخرجات الورقية*** *(الوثائق والتقارير الجدوى، أوراق الترخيص، رسومات ..*	رضا المالكين عن نتائج المخرج النهائي			نعم /لا
	الوفاء بالشروط واللوائح المتعلقة بالأداء			صحيح / خاطئ
	المدة الزمنية للحصول على المخرجات المطلوبة (العناصر أو التقارير ..) الكلفة للحصول على المخرجات المطلوبة	S1	زيادة عالية	35% – 70% للزمن 25% – 60% للكلفة
		S2	زيادة متوسطة	25%–35% للزمن 10% – 25% للكلفة
		S3	زيادة خفيفة	10%–25%للزمن 5% – 10% للكلفة
		S4	في الوقت المحدد	وقت –كلفة متوقعة
		S5	انخفاض خفيف	5%–10%للزمن 5% – 10% للكلفة
		S6	انخفاض متوسط	10%–15%للزمن 10% – 15% للكلفة
		S7	انخفاض كبير	15%–25%للزمن 15% – 25% للكلفة

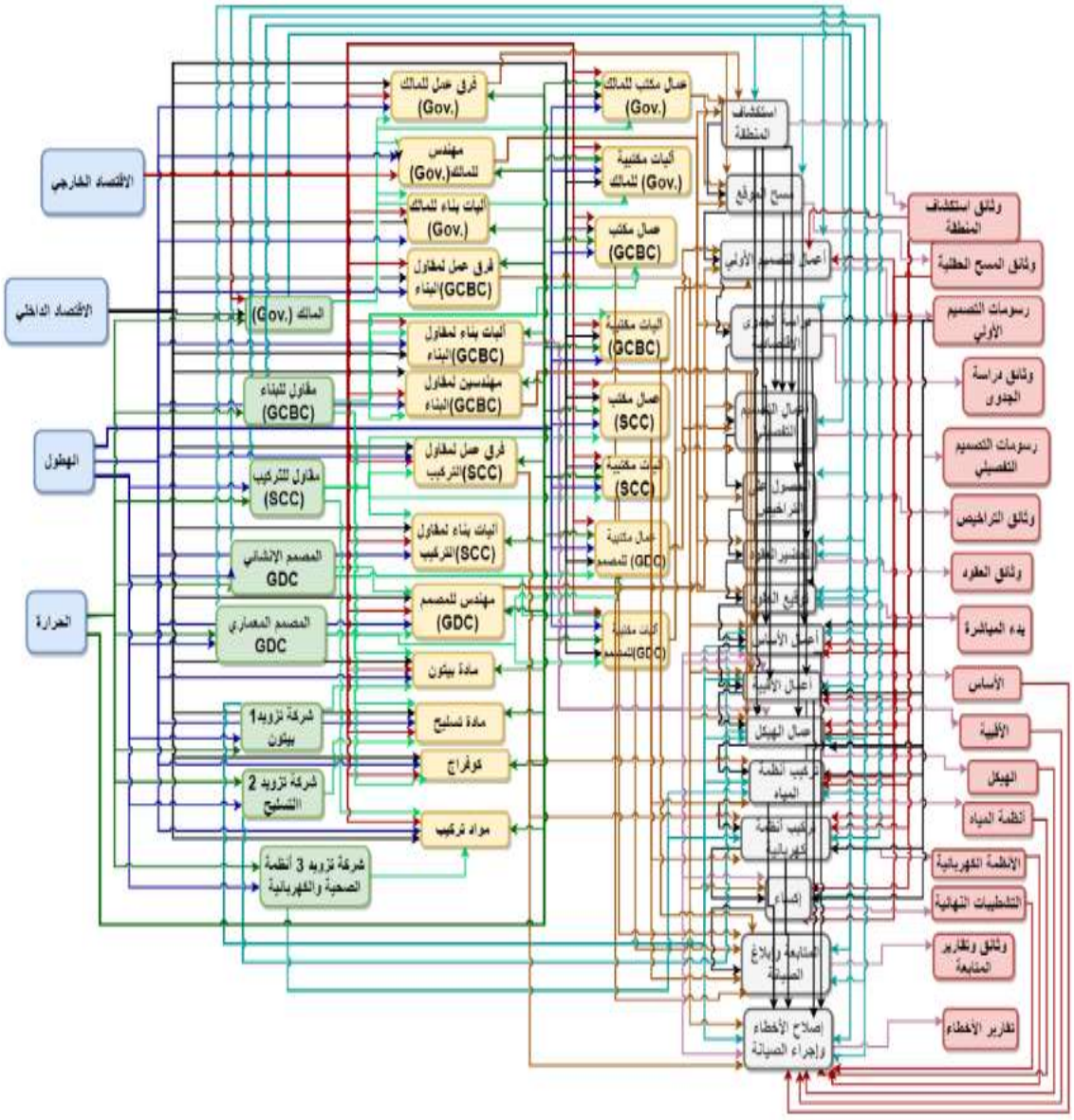
٥,٢. تجزئة المشروع (حالة الدراسة):

حالة الدراسة عبارة عن مبنى سكني بناء برجي مكون من 12 طابق، مالك المشروع هو أحد جهات القطاع العام وهي (جهة حكومية Covernment))، تم التعاقد مع مقاول رئيسي وهو "الشركة العامة للبناء والتشييد" (General Company for Building and Construction GCBC). بدايةً تم إدخال النموذج ثلاثي الأبعاد، ثم تم إدخال المعلومات المرتبطة بالكميات المقدرة للعناصر والجدول الزمني والموارد بكمياتها التفصيلية ضمن برنامج Navisworks .وذلك بعد الحصول على المدد الزمنية الخاصة بالأنشطة باستخدام برنامج Primavera. في Navisworks، ترتبط الأنشطة بعناصر ثلاثية الأبعاد3D، مما ينتج عنه معلومات رباعية الأبعاد4Dخاصة بالمشروع. تم استخدام تصنيف UNIFORMAT لتسهيل وتوحيد الكائنات بين نموذج شبكة BN ونموذج 4D. تم استخدام كل هذه المعلومات لتجزئة الشبكة, باستخدام بيانات IFC والعلاقات بين الكائنات في OOBN في الخطوة السابقة تم التقاط الكائنات والتبعيات في OOBN الخاصة بالمشروع. وهي موضحة في الشكل رقم (7).

٥,٣. تشكيل شبكة BN لحالة الدراسة:

بعد أمثلة الكائنات في نموذج OOBN والمرتبطة بالحالات الخاصة للمشروع، وتحديد المتغيرات المقابلة لها والعلاقات السببية فيما بينها. يتألف نموذج OOBN الناتج من 60 كائناً وأكثر من 130 عقدة. تمثل جميع العقد في النموذج المتغيرات الغير مؤكدة المرتبطة بحالة المشروع المدروس.

في حالة الدراسة ونظراً لندرة البيانات وعدم وجود جمع منهجي للبيانات في مشاريع البناء، لم تكن البيانات التاريخية موثوقة للحصول على جداول (CPTs) ولذلك تم الحصول عليها عن طريق الخبراء. تم تطوير مصفوفة الارتباط بناءً على آراء مجموعة من الخبراء لنموذج BN للمشروع المدروس.



شكل رقم (7) الكائنات التي يتألف منها مشروع المبنى السكني

في الجدول (2-أ,ب) مصفوفة الارتباط الإيجابية والسلبية المستخدمة, وتم اختيار التوزيع المسبق لجميع العقد المرتبة ذات المقياس الثلاثي كتوزيع متماثل P(Xi) =[0.21, 0.58, 0.21] والذي يعبر عن الاعتقاد المسبق لحالات المتغيرات. يظهر في الشكل رقم (8) نموذج شبكة BN الخاص بتقييم مخاطر المشروع المدروس باستخدام GeNIe.

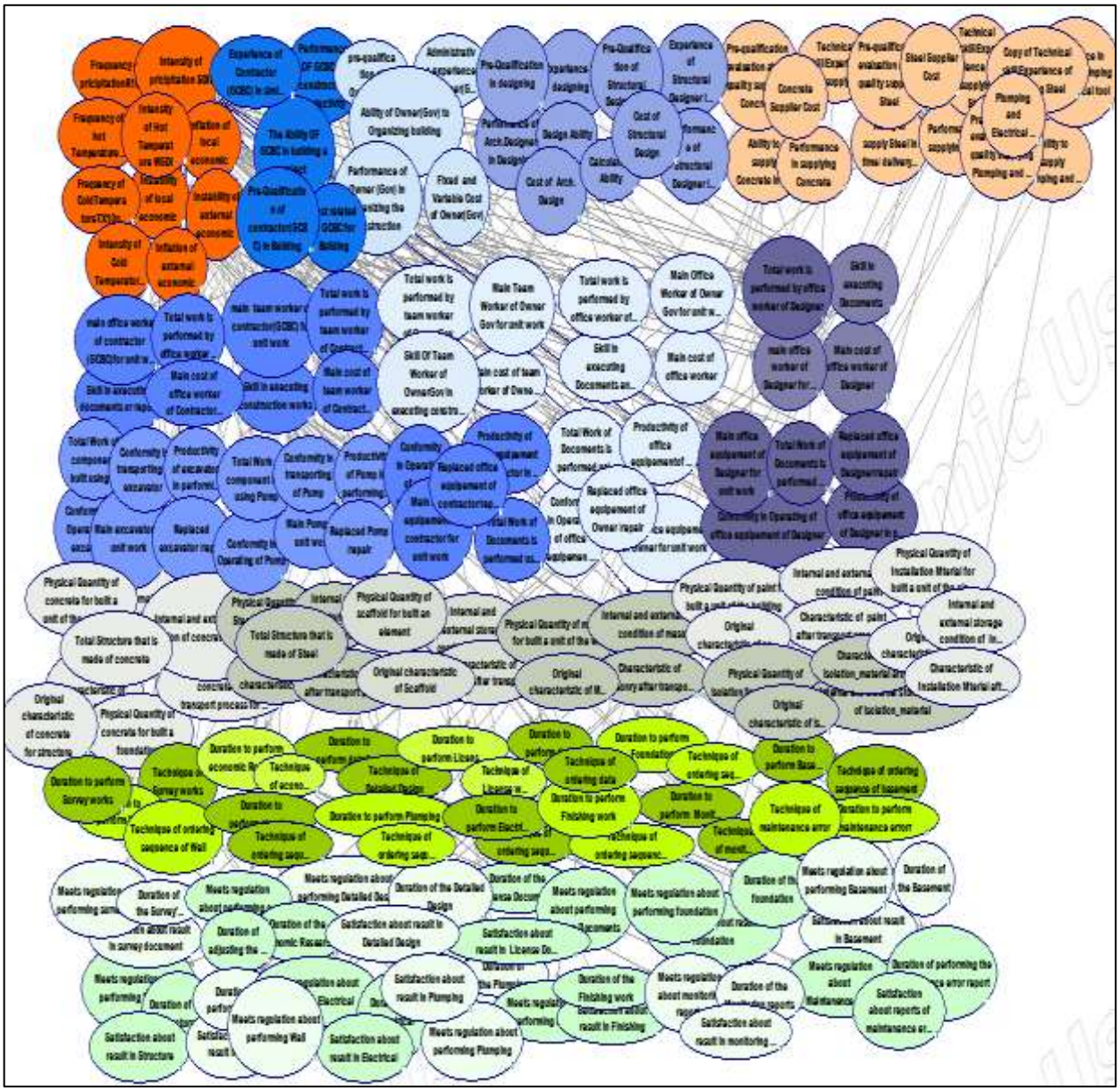
العقدة الابن	-f-

جدول رقم (2) مصفوفة الارتباط: أ- مصفوفة الارتباط الإيجابية.

ب- مصفوفة الارتباط السلبية

العقدة الأصل \ القيم	Negative (−1)	Neutral (0)	Positive (1)
Negative(−1)	0.58	0.32	0.1
Normal(0)	0.32	0.58	0.1
Positive(1)	0.1	0.32	0.58

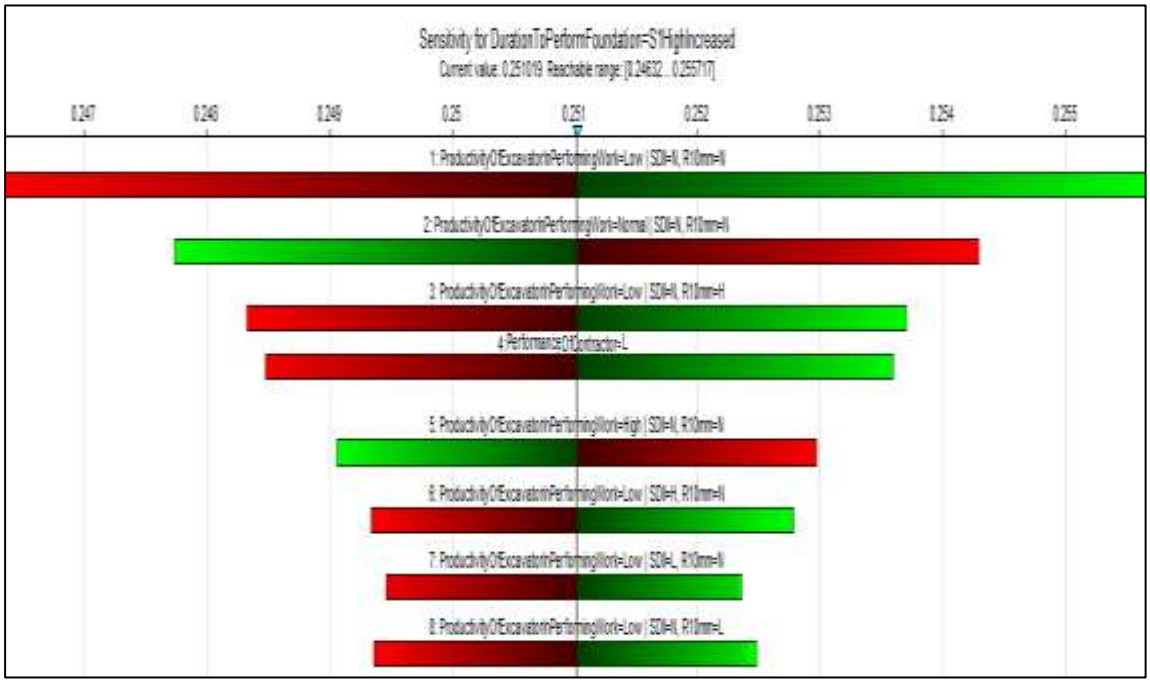
-ب-	العقدة الابن		
العقدة الأصل \ القيم	Negative (−1)	Neutral (0)	Positive (1)
Negative(−1)	0.1	0.32	0.58
Normal(0)	0.1	0.58	0.32
Positive(1)	0.58	0.32	0.1



شكل رقم (8) شبكة BN الخاصة بمشروع حالة الدراسة.

٥,٤. التحقق من صحة النموذج:

تم اختبار الجودة التنبؤية لنموذج OOBN العام. حيث تم تحليل خمس وعشرين حالة من أربع مشاريع بناء بعد إنشاء شبكات BNs الخاصة بها، تم تقييم كل مشروع وإجراء تحليلات الحساسية على مجموعة من السيناريوهات الحقيقية، لم يتم عرض النتائج بسبب حجمها. بدلاً من ذلك، تم إجراء تحليل الحساسية لحالة المشروع المدروس فقط على عقدة مستهدفة (المدة الزمنية) لتوضيح حساسية النموذج تجاه بعض متغيرات الإخراج بالنسبة لمتغيرات الإدخال. تم تقييم تغيير قيم المدخلات على متغير "مدة تنفيذ أعمال الأساس" عبر سيناريوهات مختلفة للمشروع المدروس وذلك لأهميتها في تحديد النتيجة النهائية للمشروع. في الشكل رقم (9) رسم بياني يوضح المتغيرات الأعلى تأثير على العقدة المستهدفة، تمثل الأشرطة المتغيرات، ويشير طول كل شريط إلى حجم أو حجم تأثير المتغير على مخرجات العقدة المستهدفة. يمثل كل شريط تأثير المتغيرات (الأسباب الجذرية) على قيمة متغير العقدة المستهدفة (أي مدة تنفيذ الأساس). تشير الأشرطة الخضراء والحمراء إلى الزيادة والنقصان، على التوالي. من الشكل (9) يتراوح احتمال حالة "مدة تنفيذ الأساس" التي تأخذ القيمة (S1 = زيادة عالية) من 0.2463 إلى 0.2557. ومن القضبان رقم 6 و7 يمكن ملاحظة أن (مؤشر الكثافة اليومية البسيط(SDII)) تتغير من (High) إلى (Low) أي يقلل من احتمالية حدوث "الزيادة العالية" لـ "المدة" من25.285 إلى 25.22%. يوضح ذلك أن النموذج حساس للتغيرات الطفيفة في متغيرات الإدخال.



شكل رقم (9) تحليل الحساسية لمشروع حالة الدراسة

٥,٥. تكامل BIM–BN:

تم استخدام SMILE.NET كغلاف لتشكيل وتطوير مكون إضافي جديد لـ Navisworks سمي "إدارة المخاطر". يقدم هذا البرنامج المساعد ميزات إضافية، بما في ذلك القدرة على فتح وقراءة وتحميل شبكة BN ضمن (Navisworks). فهو يستورد مباشرة أنشطة نموذج المشروع، مما يسمح للمستخدمين بتحديد خصائص مثل مدة وكلفة كل نشاط وربطه بالعقدة المقابلة داخل شبكة BN. وهذا يسهل تقييم مخاطر المدة والكلفة لكل نشاط. ثم باستخدام TimeLiner، تتم محاكاة العناصر 3D وتصور النتائج من خلال عكس المخاطر ككائنات ثلاثية الأبعاد ملونة بالألوان ضمن نموذج BIM. يوضح الجدول (3) رموز الألوان المختلفة وفقاً لحالات تقييم المخاطر كمثال فقط لمخاطر الجدول الزمني، حيث تم اعتماد نظام لوني مشابه لمخاطر الكلفة إلا أنه لم يوضح بالتفصيل.

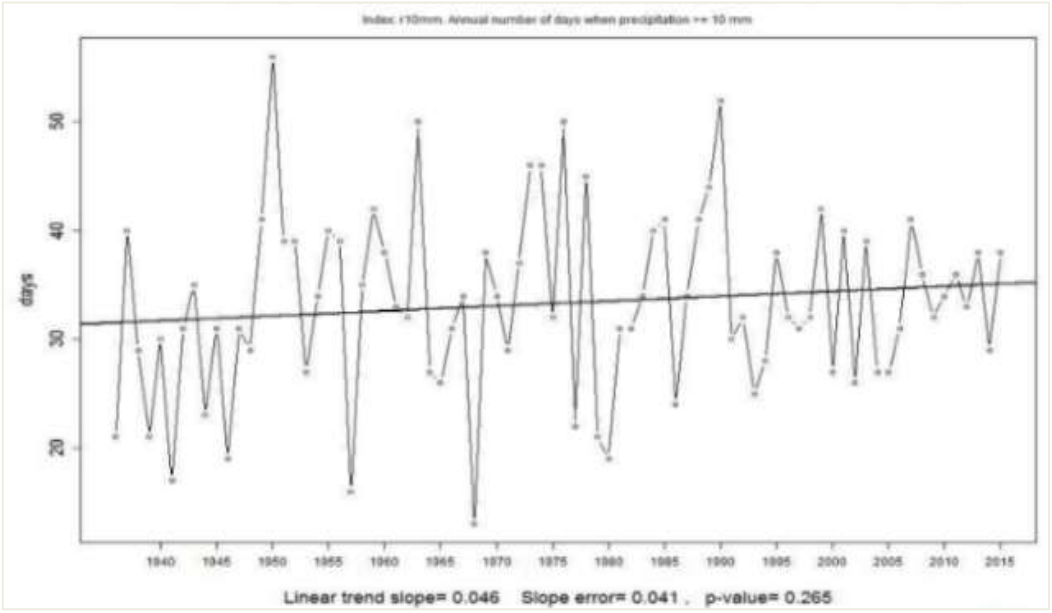
جدول رقم (3) حالات مخاطر الجدول الزمني ضمن BN والألوان المقابلة لها ضمن BIM

الحالات ضمن BN	زيادة المدة الزمنية بنسبة			في الوقت المحدد	نقصان المدة الزمنية بنسبة		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
	عالية	متوسطة	خفيفة	في الوقت المتوقع	خفيف	متوسط	عالي
الاختلاف بين القيم المخططة والفعلية	35- 100%	25-35%	10-25%	0	5 -10%	-10 15%	>25%
الألوان المقابلة							

٥,٦. سيناريو محاكاة الخطر:

حدث تأخير خلال تنفيذ المشروع بسبب: هطول أمطار غزيرة غير عادية خلال شتاء عام 2012 ,إضافة لحدوث التضخم وعدم الاستقرار الاقتصادي في المنطقة المحلية للمشروع في ذلك الوقت. هذا وكانت خبرة المصمم قليلة في التصميم والمؤهلات المسبقة له غير جيدة. باستخدام نموذجBN لحالة المشروع، تم إنشاء سيناريو حقيقي لتأخير المشروع لتوضيح كيفية عمل النظام المقترح. قبل البدء بتنفيذ المشروع، يجب تحديد مؤشرات تغير المناخ، كما تم تحديدها وحسابها من قبل(Klein et al., 2009) يمكن أن تساعد هذه المؤشرات في تتبع اتجاهات الهطول والحرارة التي كانت من المحتمل أن تقع في منطقة المشروع في ذلك الوقت. لحساب المؤشرات، يجب إعداد واختيار سلسلة بيانات المراقبة من المحطة المرشحة. يقع المشروع في محافظة طرطوس شمال سوريا ("23 '54 °34 شمالاً و"27 '52 °35 شرقاً). تم جمع البيانات التاريخية عن هطول الأمطار ودرجات الحرارة بين عامي 1940 و2015 من مديرية الأرصاد الجوية من موقع محطة قريبة. وبعد مراقبة الجودة، وتقييم التجانس، والاختبارات الإحصائية لسلسلة البيانات، تم حساب المؤشرات باستخدام برنامج إحصائيRClimDex (Zhang and Yang,2004)وذلك لرصد الاتجاهات الملحوظة في هطول الأمطار اليومي أو درجات الحرارة القصوى. لوحظت اتجاهات متزايدة كبيرة في مؤشر تواتر أيام هطول الأمطار الغزيرة (R10mm) ومؤشر الكثافة (SDII). بينما الاتجاهات في مؤشرات درجات الحرارة كانت ضعيفة بشكل عام وغير متزايدة. يبين الشكل رقم (10) مثال على كيفية الحصول على الاتجاه المتزايد لتكرار أيام الهطول> 10مم للموقع القريب من منطقة المشروع. إضافة لهذه الملاحظات، هناك ملاحظات تشير إلى عدم الاستقرار الاقتصادي مثل ارتفاع أسعار الصرف خلال تلك

الفترة. يتم دمج جميع هذه الأدلة في النموذج عن طريق تعيين قيم الإدخال أو علامات الإنذار المبكر في الجدول رقم (4).

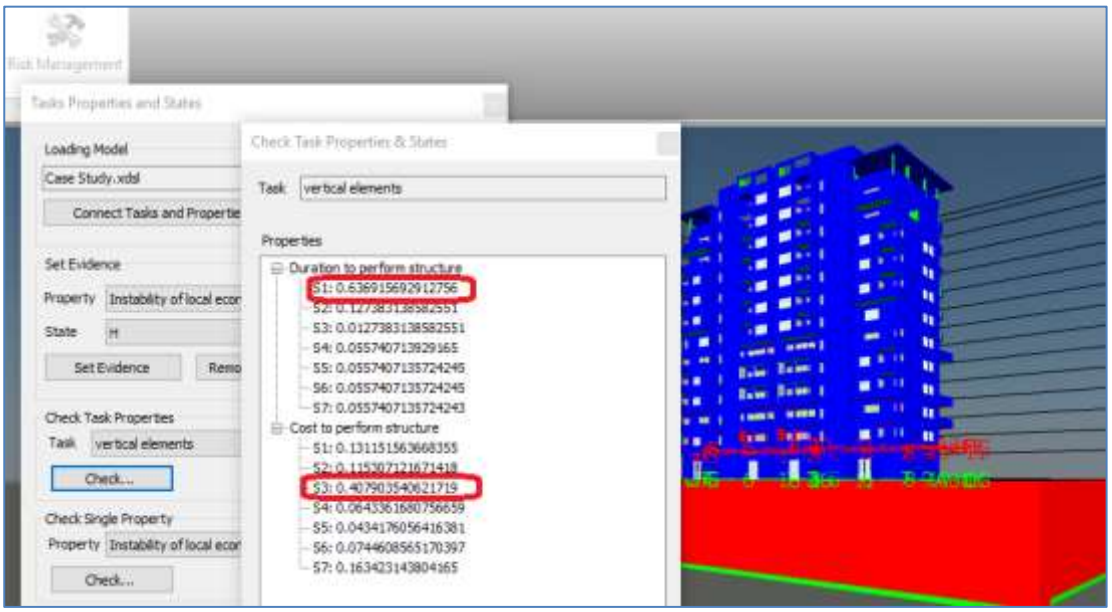


شكل رقم (10) اتجاهات تكرار الهطول > 10مم في منطقة طرطوس [34 ° 54' 23" شمالاً، 35 ° 52' 27" شرقاً].

جدول رقم (4) قيم الحالات المقابلة لسيناريو المشروع الحقيقي

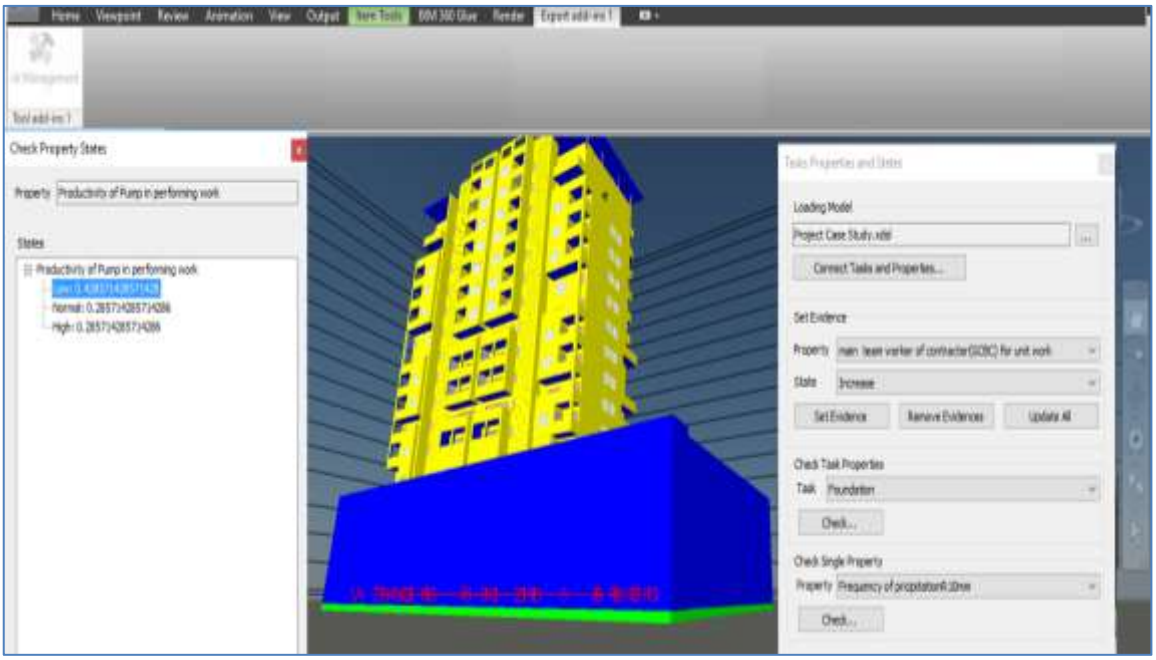
سيناريو المشروع	الحالة المقابلة
تكرار هطول مطري > 10مم =زيادة (Frequency Precipitation (R10mm))	حدوث هطول غير عادي
كثافة الهطول=زيادة (Intensity of Precipitation (SdII) = Increase)	حدوث هطول غير عادي
تكرار الأيام الدافئة=طبيعي (warm day−times=Normal)	لا توجد ملاحظات لحدوث حرارة غير عادية
مؤشر المدة للأيام الدافئة= طبيعي (warm spell duration index=Normal)	لا توجد ملاحظات لحدوث حرارة غير عادية
تضخم في الاقتصاد المحلي=زيادة (Inflation of Local Economy=Increase)	حدوث التضخم
خبرة المصمم الإنشائي=سيئ (Experience of Structural Designer=Bad)	شركة تصميم غير خبيرة
مؤهلات مسبقة للمصمم (Pre−Qualification of Designer =Bad)	

يظهر الشكل رقم(11) نموذج 3D مرمز بالألوان الخاصة بالمشروع بعد تحديث الحالات باستخدام Navisworks, تعرض المحاكاة 4D عناصر ملونة تتوافق مع تأخيرات المهام يشير الشكل (11) إلى أن عناصر الأساس ملوّنة باللون الأحمر أي أن مدة تنفيذ الأساس تقابل حالة S1(زيادة عالية بقيمة احتمال =56.8%), أي ستكون متأخرة بنسبة زيادة تتراوح بين (35%–60%) وفق الجدول رقم(3). إضافة للتقييم اللوني يمكن الحصول على قيم الاحتمالية لمتغيرات الكلفة والزمن المرتبطة بأي مهمة، باستخدام البرنامج يمكن التنبؤ بالقيمة الأكثر احتمالاً لكلفة مهمة الهيكل كما في الشكل رقم (11) والتي تشير إلى قيمة(S3=40.79%) والتي تقابل احتمال زيادة الكلفة بشكل خفيف. في المشروع الحقيقي، للاستجابة لهذا التأخير في أعمال الحفر، تم استخدام ورديات إضافية من العمال والمعدات من قبل المقاول (GCBC). وبناء على هذه الإجراءات يتم دمج الملاحظات عن طريق تعيين حالات للعقد في السيناريو التالي: قيمة متغير (عمال الفريق الرئيسي للمقاول (GCBC) = زيادة) أي (Main team workers of contractor (GCBC) = Increase) وقيمة (كمية المعدات (الحفارات) الرئيسية للمقاول (GCBC) = زيادة) أي (Main excavator equipment for contractor (GCBC) = Increase). يظهر الشكل رقم (12) مخاطر الجدول الزمني الناتجة. نلاحظ أن الحالة الأكثر احتمالاً لعقدة "مدة تنفيذ الأساس" هي (زيادة خفيفة) والتي تقابل اللون الأخضر، بالإضافة لهذه النتائج يمكن الحصول على قيمة أي متغير ضمن الشبكة، فعلى سبيل المثال يمكن الحصول على قيمة الأكثر احتمالاً لمتغير (إنتاجية مضخة البيتون) والتي تقابل



قيمة (Low=42.85%).

شكل رقم (11) تصور ومحاكاة مخاطر الجدول الزمني لحالة مشروع الدراسة بعد إدخال علامات الإنذار المبكر



شكل رقم (12) تصور ومحاكاة مخاطر الجدول الزمني لحالة مشروع الدراسة بعد إدخال ملاحظات جديدة.

٦. النتائج والمناقشة:

ساعد النموذج المطوّر في السيناريو الأول في تقييم أولويات المخاطر بشكل مرئي بعد إدخال قيم الأدلة المُلاحظة وتحديث النظام. تم التنبؤ باحتمالية عالية لتأخير مدة تنفيذ الأساس وهذا ما حدث في *السيناريو الحقيقي*، انخفضت إنتاجية آلة الحفر وأثرت بشكل مباشر على مهمة تنفيذ الأساس، وهو ما يعزى إلى الاتجاه المتزايد لتكرار هطول الأمطار الغزيرة. ونتيجة لذلك، زادت احتمالية حالة "زيادة عالية" لمتغير "مدة تنفيذ الأساس" بالنسبة لبقية الأنشطة، *في السيناريو الثاني*، يمكن باستخدام النموذج تخفيض القيمة الأكثر احتمالاً لمتغير "مدة تنفيذ الأساس" من (زيادة عالية) إلى حالة (زيادة خفيفة)، أي أنه تم تحسين قيمة مخرجات "مدة تنفيذ الأساس" بعد ملاحظة الأدلة التي تعبر عن العمال والمعدات الإضافيين للمقاول. يسهّل النموذج محاكاة المشروع في جميع مراحله. من خلال جمع الأدلة في أي لحظة خلال تقدم المشروع. وساعد مدير المشروع على النظر في احتمالية تأخير المدة أو تجاوز الكلفة المقابلة للمهام بشكل فردي. بالإضافة لإمكانية الحصول على قيم الاحتمالية للمتغيرات الأخرى (مثل الحصول على احتمال انخفاض أو زيادة إنتاجية مضخة البيتون) وهذا يوضح مرونة ودقة النموذج.

٧. الاستنتاجات والأبحاث المستقبلية:

طُوّر في البحث نظام قائم على الدمج والجمع بين قدرات BN وBIM. تم استخدام القدرات الاحتمالية لـ BN لتحليل وتقييم مخاطر مشاريع البناء، مع استخدام قدرات التصور والعرض البصري الخاصة بتقنيةBIM وذلك لغرض دعم اتخاذ القرارات المستنيرة والإدارة الفعالة للمخاطر. بعد التحقق من النظام وتطبيقه على مشروع بناء كحالة دراسية للتحقق من الغرض منه. يقدّم البحث فكرة وقدرة جديدة تسهّل على صناع القرار نمذجة المخاطر ومحاكاة انتشارها عند وقوع أي حدث وبشكل تفاعلي باستخدام تقنية BIM, هذا وتلعب معايير IFC والبيانات ضمنBIM دوراً رئيسياً في تسريع آلية تطوير هيكل شبكة BN. هناك بعض القيود الموجودة في النموذج المقترح. حيث هناك نقص في البيانات التي توضح سلوك مشروع البناء أثناء حدوث المخاطر ولا توجد حلول عملية لالتقاط وجمع هذه البيانات. ولذلك، فإن النموذج

يقتصر على المعرفة المتوفرة في الدراسات السابقة وخبرة الخبراء. تقتصر الواجهة التي تم تطويرها والمكون الإضافي على دمج الكائنات يدوياً في نموذج (BN) والكائنات المقابلة لها في Navisworks، لالتقاط الأنشطة والعناصر. وهذا يعني أن المنهجية شبه آلية. هناك حاجة إلى مزيد من الأبحاث المستقبلية لتطوير أساليب منهجية لأتمتة إنشاء نماذج BN لأي مشروع بناء، وإتمام عملية الدمج بشكل تلقائي. أخيراً، يمكن للعمل المستقبلي توسيع النموذج المقترح بشكل أكبر من خلال استخدام تقنيات جديدة مثل Industry 4.0 وAI وIoT والأنظمة القائمة على أجهزة الاستشعار لإنشاء حل مؤتمت ومتكامل.

٨. المراجع:

- Alavi, H., Forcada, N., Bortolini, R. and Edwards, D.J., 2021. *Enhancing occupants' comfort through BIM-based probabilistic approach. Automation in construction*, Vol. 123, p.103528.
- BayesFusion (2020a). GeNIe Modeler: Complete Modeling Freedom. Retrieved: July 14, 548 2020. <https://www.bayesfusion.com/genie/> .
- Chang, C.Y., 2016. *Harnessing BIM data in the management of project risks: the Bayesian risk-bearing capacity approach*. In Transforming the Future of Infrastructure through Smarter Information: Proceedings of the International Conference on Smart Infrastructure and Construction, 27–29 June 2016 (pp. 537-542). ICE Publishing.
- Chen, S.M., Chen, P.H. and Chang, L.M., 2013. *A framework for an automated and integrated project scheduling and management system. Automation in Construction*, Vol. 35, pp.89-110.
- Chen, S.H. and Pollino, C.A., 2012. *Good practice in Bayesian network modelling. Environmental Modelling & Software*, Vol. 37, pp.134-145.
- Ding, J. and Rebai, A., 2010. *Probabilistic inferences in Bayesian networks. Bayesian Network*, pp.39-53.
- Fenton, N.E., Neil, M. & Caballero, J.G., 2007. *Using ranked nodes to model qualitative judgments in Bayesian networks. IEEE Transactions on Knowledge&Data Engineering*, Vol. 19(10), pp.1420-1432.
- Fenton, N. and Neil, M., 2018. *Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks*. Crc Press.
- Fidan, G., Dikmen, I., Tanyer, A.M. and Birgonul, M.T., 2011. *Ontology for relating risk and vulnerability to cost overrun in international projects. Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 25, N 4, pp.302-315.
- Gelisen, G. and Griffis, F.H., 2014. *Automated productivity-based schedule animation: Simulation-based approach to time-cost trade-off analysis. Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 140, N. 4, p.B4013007.
- Kang, L.S., Kim, S.K., Moon, H.S. and Kim, H.S., 2013. *Development of a 4D object-based system for visualizing the risk information of construction projects. Automation in Construction*, Vol. 31, pp.186-203.
- Kang, L.S., Moon, H.S., Kim, H.S., Choi, G.Y. and Kim, C.H., 2011. *Development of 5D CAD system for visualizing risk degree and progress schedule for construction project. In Computing in Civil Engineering* (pp. 690-697).
- Khodakarami, V. and Abdi, A., 2014. *Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. International Journal of Project Management*, Vol. 32, N. 7, pp.1233-1245.

- Khodakarami, V., 2009. *Applying Bayesian networks to model uncertainty in project scheduling* (Doctoral dissertation).
- Klein Tank, A.M.G., Zwiers, F.W. & Zhang, X., 2009. *Climate data and monitoring WCDMP*, Vol. 705,N. 72.
- Koller, D. and Pfeffer, A., 2013. *Object-oriented Bayesian networks. arXiv preprint arXiv*:1302.1554.
- Mahjoub, M.A. and Kalti, K., 2011. *Software comparison dealing with bayesian networks. In Advances in Neural Networks–ISNN 2011: 8th International Symposium on Neural Networks*, ISNN 2011, Guilin, China, May 29–June 1, 2011, Proceedings, Part III 8 (pp. 168-177). Springer Berlin Heidelberg.
- Namazian, A., Yakhchali, S.H., Yousefi, V. and Tamošaitienė, J., 2019. *Combining Monte Carlo simulation and Bayesian networks methods for assessing completion time of projects under risk. International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 16, N. 24, p.5024.
- Nasir, D., McCabe, B. and Hartono, L., 2003. *Evaluating risk in construction–schedule model (ERIC–S): construction schedule risk model. Journal of construction engineering and management*, Vol. 129, N. 5, pp.518-527.
- Pearl, J. and Verma, T.S., 1995. *A theory of inferred causation. In Studies in Logic and the Foundations of Mathematics.* Vol. 134, pp. 789-811.
- Project Management Institute PMI. 2017, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK-Guide)*. Sixth V, Pennsylvania, USA.
- Rijn, M.P, 2017. *A BIM-based tool to support time risk management in construction projects. e Master of Science degree in Civil Engineering*. Thesis, Instituto Superior Técnico TECNICO LISBOA.
- Rowe, G. and Wright, G., 1999. *The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. International journal of forecasting*, Vol. 15, N. 4, pp.353-375.
- TohidiFar, A., Mousavi, M. and Alvanchi, A., 2021. *A hybrid BIM and BN-based model to improve the resiliency of hospitals' utility systems in disasters. International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 57, p.102176.
- Xia, N., Wang, X., Wang, Y., Yang, Q. and Liu, X., 2017. *Lifecycle cost risk analysis for infrastructure projects with modified Bayesian networks. Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 15, N. 1, pp.79-103.
- Xue, W., Wang, Y. and Man, Q., 2015. *Research on information models for the construction schedule management based on the IFC standard. Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, Vol. 8, N. 3, pp.615-635.
- Yuan, Z., Wang, Y. and Sun, C., 2017. *Construction schedule early warning from the perspective of probability and visualization. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*,Vol. 32,No. 1, pp.877-888.
- Zhang, X. and Yang, F., 2004. RClimDex (1.0) user manual. *Climate Research Branch Environment Canada*, Vol. 22, pp.13-14.
- Zhang, Y.B., Chen, Y.Q. and Zhu, X.Y., 2012, December. *Risk management for construction projects with colored Petri nets: An agent-based modeling framework*. In 2012 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 2008-2012). IEEE.
- Zou, Y., 2017. *BIM and knowledge-based risk management system*. The University of Liverpool (United Kingdom).