Integration between Earned Value Method and Risk Analysis to Monitor and Track the Risks of Construction Projects

Dr. Abd Alsalam Zidan*
Aows Abboud**

(Received 31 / 3 / 2024. Accepted 11 / 6 / 2024)

□ ABSTRACT □

The phase of monitoring and tracking the risks of construction projects is crucial to ensure the success of the project and achieve its objectives, as it includes all the necessary processes to apply the corrective measures to deal with risks appropriately. This phase is followed by internationally-known analytical methods such as the Earned Value Method (EVM), which evaluates the project's performance and predicts future performance. However, it fails in calculating the effects of risk events on the final project cost and its completion time.

The research aims to develop a framework for integration between the earned value method and risk analysis based on BIM technology and Monte Carlo simulation (MCS) and apply it to a case of a residential construction project with the aim of helping project managers to provide more inclusive insights into project performance and predict potential problems before they occur, through conclusion of a new estimate (EAC) that includes the basic estimate plus the risk exposure cost resulting from Monte Carlo simulation, and the calculation of a new performance indicator resulting from dividing the new estimate by the basic project budget. The results have shown that if integration is conducted between EVM and risk analysis, it will be noted that there is a cost overrun of 39% for month 11 of project execution, and by 40% for the 12th month of project execution, thus providing a comprehensive overview of identifying sources of problems and proposing appropriate solutions to treat or prevent them.

Keywords: earned value method - risk analysis - building information modeling - Monte Carlo simulation.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Associate Professor, Department of Engineering Management & Construction, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria. E-mail: drzeidane@gmail.com.**
****M.Sc. Student, Department of Engineering Management & Construction, Faculty of Civil Engineering, , Damascus University, Damascus, Syria. E-mail: aowsabboud2254@gmail.com**

التكامل بين أسلوب القيمة المكتسبة وتحليل المخاطر لمراقبة وتتبع مخاطر مشاريع التشييد

د. عبد السلام زيدان*

أوس عبود**

(تاريخ الإيداع 31 / 3 / 2024. قُبِل للنشر في 11/ 6 / 2024)

□ ملخّص □

تعد مرحلة مراقبة وتتبع مخاطر مشاريع التشييد أمراً حاسماً لضمان نجاح المشروع وتحقيق أهدافه، فهي تتضمن جميع العمليات اللازمة لتطبيق الإجراءات التصحيحية للتعامل مع المخاطر بشكل مناسب، ويتبع لهذه المرحلة أساليب تحليلية معروفة عالمياً مثل أسلوب القيمة المكتسبة EVM التي تقوم بتقييم أداء المشروع والتنبؤ بالأداء المستقبلي، إلا أنها تفشل في حساب تأثيرات أحداث المخاطر على كلفة المشروع النهائية وزمن إنجازه.

يهدف البحث إلى تطوير إطار عمل للتكامل بين أسلوب القيمة المكتسبة وتحليل المخاطر بالاعتماد على تكنولوجيا نمذجة معلومات البناء BIM ومحاكاة مونت كارلو MCS وتطبيقه على حالة مشروع بناء سكني بهدف مساعدة مدراء المشاريع في توفير رؤى أكثر شمولية حول أداء المشروع والتنبؤ بالمشكلات المحتملة قبل حدوثها، وذلك من خلال استنتاج تقدير (EAC) جديد يضم التقدير الأساسي مُضافاً إليه كلفة التعرض للخطر الناتجة من محاكاة مونت كارلو، وحساب مؤشر أداء جديد ناتج عن قسمة التقدير الجديد على ميزانية المشروع الأساسية، وقد بينت النتائج أنه في حال أُجرِيَ التكامل بين EVM وتحليل المخاطر سيُلاحظ أن هنالك تجاوزاً للتكاليف بمقدار 39% للشهر 11 من تنفيذ المشروع، وبمقدار 40% للشهر 12 من تنفيذ المشروع، وبالتالي توفير نظرة شاملة حول تحديد مصادر المشكلات واقتراح الحلول الملائمة للعلاج أو الوقاية منها.

الكلمات المفتاحية: أسلوب القيمة المكتسبة – تحليل المخاطر – نمذجة معلومات البناء– محاكاة مونت كارلو.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد، قسم الإدارة الهندسية والتشييد ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة دمشق، دمشق، سورية.drzeidane@gmail.com

** طالب ماجستير، قسم الإدارة الهندسية والتشييد، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق، سورية.

aowsbboud2254@gmail.com

مقدمة:

تعاني صناعة البناء والتشييد من ضعف أداء مشاريعها على مدى أجيال، ويُلاحظ أنه من بين الأسباب المختلفة أن المشكلات المتعلقة بإدارة المخاطر التي تساهم في ضعف أداء هذه المشاريع تكون شائعة جداً (Abanda et al,2020)، فمن النادر العثور على مشروع بناء أُنجِزَ في الوقت المقدر لهُ و/أو في حدود التكاليف المقدرة، وذلك لأن هذه المشاريع تخضع لمجموعة متنوعة من الظروف لها تأثيرات كبيرة (إيجابية أو سلبية) على جداولها الزمنية وميزانياتها (Ayman et al,2022)، ومن هذه النقطة: تبرز أهمية مرحلة مراقبة المخاطر وتتبعها خلال تنفيذ المشروع لكونها تساهم في تحسين استراتيجيات الرد على المخاطر، وأيضاً في تحسين كفاءة إدارة المخاطر كمنهجية مستخدمة خلال دورة حياة المشروع (PMI,2017)، وتوجد أساليب معروفة عالمياً لضبط ومراقبة أداء المشروع مثل أسلوب القيمة المكتسبة Earned Value Method من خلال دمج المعلومات المتعلقة بإنجاز المشروع مع تكاليفه وجدوله الزمني لتقييم الوضع الحالي (Mouradi et al,2017)، ومن جهة أخرى: تقدم التكنولوجيا الحديثة في صناعة التشييد أساليباً مؤثرة وفعّالة في إدارة العديد من جوانب مشاريع التشييد مثل الجدولة والكلفة والجودة وتوثيق المعلومات، وقد أثبتت هذه الأساليب دورها في تحسين ممارسات إدارة مشاريع البناء وذلك من خلال التحكم الفعّال في الجدول الزمني للبناء والميزانية وتحسين الجودة وتقليل المخاطر (Ganah & John,2015).

ومن أبرز الأمثلة: تكنولوجيا نمذجة معلومات البناء BIM Technology التي نمت أهميتها خلال السنوات الأخيرة مع إدراك المعرفة المحيطة بفوائدها في المشاريع العامة بشكل تدريجي، وقد أتت فرضيتها بسبب الافتقار إلى الابتكار وظهور أوجه القصور المستمرة التي تدعو إلى الحاجة للأتمتة والتكنولوجيا بهدف دمجها مع الممارسات التقليدية في عمليات البناء (Crowther et al,2019).

1- مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في أن أسلوب القيمة المكتسبة يفتقر إلى إيجاد رابط بين نتائجه والمعلومات المقدمة من عملية التحليل الكمي للمخاطر، مما يستدعي الحاجة إلى وجود أطر عملية أو منهجيات تقوم على مبدأ التكامل بين هذين المفهومين لدعم مرحلة مراقبة المخاطر أثناء تنفيذ المشروع.

أهمية البحث واهدافه:

تُعتَبر مرحلة مراقبة مخاطر مشاريع التشييد وتتبعها خلال التنفيذ أمراً حاسماً لضمان نجاح المشروع وتحقيق أهدافه، ولذلك لابد من وجود أطر عملية أو منهجيات تساهم في تحسين عملية اتخاذ القرارات وضبط الأداء خلال مرحلة التنفيذ، بالإضافة إلى الدور الإيجابي لنمذجة معلومات البناء في تطوير أدوات وأطر عملية تساعد في إدارة مخاطر مشروع التشييد.

ولهذه الأسباب: يهدف البحث إلى تطوير إطار عمل يجمع بين أسلوب القيمة المكتسبة والتحليل الكمي للمخاطر بالاعتماد على 4D-BIM ومحاكاة مونت كارلو لمساعدة مدراء المشاريع في توفير رؤى أكثر شمولية حول أداء المشروع والتنبؤ بالمشكلات المحتملة قبل حدوثها.

طرائق البحث ومواده:

إن المنهج التبع في هذا البحث هو المنهج التحليلي الوصفي، حيث سيتم تطوير إطار العمل المقترح من خلال:

1. المراجعة الأدبية للدراسات السابقة المتعلقة بالتحليل الكمي للمخاطر وأسلوب القيمة المكتسبة.
2. تحديد الأسس المعتمدة في تطوير الإطار المقترح.
3. تحديد المراحل أو الخطوات المطلوبة لتطوير الإطار.
4. التطبيق العملي للإطار على حالة مشروع.

2- الدراسات المرجعية:

توجد العديد من الدراسات السابقة حول كل من أسلوب القيمة المكتسبة EVM والتحليل الكمي للمخاطر، وقد أُجريَت مراجعة لبعض هذه الدراسات للوقوف على النتائج التي وصلت إليها.

أجرى (Kostelyk et al,2013) بحثاً حول كيفية دمج تقنيات التنبؤ بالقيمة المكتسبة التقليدية EVM مع تحليل المخاطر وأوامر التغيير والمطالبات من خلال إضافة الكلفة الناجمة عن [المخاطر – أوامر التغيير المعلقة – المطالبات المحتملة] بعد حسابها وفق محاكاة مونت كارلو إلى تقديرات المشروع الأساسية في القيمة المكتسبة وذلك في حالة دراسية لمشروع بناء بهدف تحسين قدرة المالك على التنبؤ بتجاوزات الكلفة والتخفيف من حدتها. وبينت نتائج البحث أنه وفقاً لحسابات القيمة المكتسبة التقليدية فقط سيُلاحَظ وجود تجاوز للكلفة بمقدار 5.24%، وفي حال أُجرِيَ التكامل بين تقديرات القيمة المكتسبة ونتائج تحليل المخاطر وأوامر التغيير والمطالبات سيُلاَحظ وجود تجاوز للتكاليف بمقدار 17% عن الكلفة الأساسية المقدرة (BAC).

قام (Bouayed,2016) بتطوير منهجية للتخفيف من مخاطر تجاوزات التكاليف، حيث استُخدِمَت محاكاة مونت كارلو الشهيرة في تطوير دراسة حالة وهمية لتوفير طريقة منظمة لمعرفة القيمة الطارئة للمشروع Project Contingency بهدف تجنب تجاوزات التكاليف، وجُمِعَت البيانات بتكاليف محتملة منخفضة ومرجحة وعالية، وللمساعدة في عملية تحليل البيانات: استُخدِم برنامج RISK@ من شركة Palisade لتشغيل عمليات محاكاة مونت كارلو، وقد اعتُمِدَ منحني التوزيع الاحتمالي المثلثي Triangular Distribution في دراسة حالة مخاطر تجاوزات التكاليف.

هَدَفَ الباحث (Mushamalirwa,2016) إلى تقديم أداة مبتكرة لدعم مدراء المشاريع خلال مرحلة تنفيذ المشروع المعقدة، وتعتمد هذه الأداة على التآزر بين نمذجة معلومات البناء والقيمة المكتسبة (EVM) وتستخدم أداتين برمجيتين معروفتين جيداً هما: Microsoft Excel & AutoDesk Revit بهدف إظهار أداء الكلفة والوقت لموقع البناء في نقطة زمنية محددة، حيث عُرِضَت المراجعة الأدبية لفهم المبادئ الأساسية لتطبيق نمذجة معلومات البناء مع القيمة المكتسبة، بالإضافة إلى وصف كيفية تنفيذ وتطوير أداة BIM/EVM.

أجرى (Abanda et al,2020) دراسة حول تطوير إطار عمل قائم على نمذجة معلومات البناء لإدارة مخاطر مشروع التشييد، حيث اعتُمِدَ في دراسة الإطار على برمجيات تتبع للبعدين الرابع والخامس ضمن التكنولوجيا الحديثة (BIM) بهدف توضيح عمليات إدارة المخاطر في (4D-BIM) Synchro Pro، و(5D-BIM) Vico Control. وتظهر النتائج المقدمة أن البحث في هذا المجال نادر على الرغم من وجود بعض الأبحاث التي تدعمه.

أجرى (Proaño-Narváez et al,2022) تقييماً للمشاريع المنتهية والمنجزة لشركة بناء في جمهورية الإكوادور الشعبية، وذلك بالاعتماد على أسلوب القيمة المكتسبة EVM، حيث استُخدِم الأسلوب السابق ذكره في تقييم مشروعين قامت الشركة بتنفيذهما خلال السنوات الماضية، واعتُمِدَ في تمثيل الحسابات على قاعدة بيانات طُوِرَت بمعلومات من كل

مشروع لإعادة بناء الأحداث الماضية وتقييم الأداء بمرور وقت كلا المشروعين، بالإضافة إلى محاولة استنتاج المشكلات الحالية في أداء الشركة أثناء التنفيذ.

مما سبق نستنتج: أن أغلب الدراسات السابقة أشارت إلى وجود تركيز كبير على المنهجيات التي تعتمد كل من أسلوب القيمة المكتسبة الكلاسيكي وتحليل المخاطر بشكل فردي مما يظهر أهمية كل منهما في إدارة المشاريع، وبالتالي تتمثل الفجوة المعرفية في هذه الدراسات في عدم وجود رابط بين المنهجيتين السابق ذكرهما، لذا سيحاول البحث تقديم إطار عمل يعتمد على التكامل بين القيمة المكتسبة وتحليل المخاطر خلال تنفيذ مشروع التشييد بالاعتماد على 4D-BIM ومحاكاة مونت كارلو MCS بهدف تتبع أداء المشروع باستخدام المحاكاة الافتراضية Visual Simulation، بالإضافة إلى قياس الآثار الكمية الناجمة عن المخاطر المحتملة وإضافتها إلى تنبؤات المشروع المتعلقة بأداء الكلفة للمساعدة في اتخاذ القرار حول كيفية الاستجابة لهذه المخاطر.

3- الأسس المعتمدة في تطوير الإطار:

3-1- التحليل الكمي للمخاطر:

يُستَخدَم التحليل الكمي للمخاطر بهدف حساب تكرارها وحجم عواقبها على المشروع (Banaitiene et al,2011)، وتأتي الفائدة من هذا التحليل في إنتاج معلومات كمية عن المخاطر لدعم اتخاذ القرارات التي تقوم بتخفيض مستوى عدم التأكد في المشروع (PMI,2017). وتُعَد محاكاة مونت كارلو Monte Carlo Simulation من أبرز أساليب التحليل الكمي للمخاطر، حيث تُستَخدَم هذه التقنية في عمليات التنبؤ والتقدير والتحليل من خلال بناء نماذج أو سيناريوهات للنتائج المحتملة عن طريق استبدال مجموعة من القيم حسب التوزيع الاحتمالي المستخدم لأي عامل يحتوي على عدم يقين متأصل، ثم يقوم بحساب النتائج مراراً وتكراراً. ويمكن أن تتضمن محاكاة مونت كارلو آلاف أو عشرات الآلاف من عمليات إعادة الحساب قبل اكتمالها (الحمصي،2013).

وتستخدم هذه المحاكاة مجموعة من التوزيعات الاحتمالية لإكمال عملية حساب السيناريوهات العشوائية بهدف إعطاء الناتج الاحتمالي النهائي، حيث يُعتبر التوزيع الاحتمالي المثلثي Triangular Distributionهو الأنسب لحساب مقدار تجاوز التكاليف المالية Cost Overrun (Bouayed,2016).

3-2- أسلوب القيمة المكتسبة:

يُعتبر أسلوب القيمة المكتسبة من الأساليب المستخدمة في مراقبة وضبط نشاطات المشروع، وفي هذا الأسلوب تُقارن القيم التقديرية في مرحلة التخطيط مع القيم الفعلية الناتجة خلال تنفيذ المشروع وذلك للوقوف على حالته. وبهذه الطريقة يتم إنشاء أي تعديلات ممكنة تؤدي إلى نجاحه. ويوجد ضمن هذا الأسلوب حسابات تُستَخدَم لمعرفة أداء المشروع في أي لحظة زمنية منه (الجدول1، الجدول2) (Araszkiewicz & Bochenek,2019).

الجدول (1): القيم الأساسية في حسابات القيمة المكتسبة:

القيم المستخدمة في حسابات القيمة المكتسبة EVM:		
PV	القيمة المخطط لها Planned Value	الميزانية المخصصة للعمل المجدول أو المخطط
AC	الكلفة الفعلية Actual Cost	الكلفة الواقعية والناتجة عن العمل الذي تم تنفيذه للنشاطات خلال فترة زمنية معينة
EV	القيمة المكتسبة Earned Value	قياس للعمل المنفذ والمعبر عنه ضمن شروط الميزانية المصرح بها لهذا العمل

الجدول (2): حسابات الانحرافات ومقاييس الأداء والحسابات المتعلقة بانتهاء المشروع في أسلوب القيمة المكتسبة:

الاسم	الرمز	الصيغة أو المعادلة الرياضية	تفسير المقياس
انحراف الكلفة Cost Variance	CV	CV = EV - AC	يشير هذا الانحراف إلى ما إذا كانت تكاليف المشروع تجاوزت الميزانية (سلبي)، أم لم تتجاوز (إيجابي).
انحراف الزمن Schedule Variance	SV	SV = EV - PV	يشير هذا الانحراف إلى ما إذا كان المشروع متقدماً على الجدول الزمني (إيجابي)، أو متأخراً عنه (سلبي).
مؤشر أداء التكاليف Cost Performance Index	CPI	CPI = EV/AC	يُقاس كنسبة (كسر). إذا كانت أقل من 1، فهذا يعني أن تكلفة المشروع الفعلية أعلى من التكلفة المدرجة في الميزانية (تجاوز التكلفة)؛ إذا كان يساوي 1، فإن المشروع له سعر فعلي يساوي التكلفة المتوقعة؛ وإذا كان أكبر من 1، فإن تكلفة المشروع الفعلية أقل من التكلفة المدرجة في الميزانية.
مؤشر أداء الجدول الزمني Schedule Performance Index	SPI	SPI = EV/ PV	يُقاس كنسبة (كسر). إذا كانت أقل من 1، فإن المشروع متأخر عن الجدول الزمني؛ إذا كان يساوي 1، فإن المشروع في الموعد المحدد، وإذا كان أكبر من 1، فإن المشروع متقدم على الجدول الزمني.
الميزانية عند الانتهاء من المشروع Budget At Completion	BAC	----------	تتضمن الكلفة الثابتة لجميع نشاطات المشروع بالإضافة إلى كلف الموارد القاعدية أي الكلفة الكلية للخطة المقدّرة.
التقدير عند الانتهاء من المشروع Estimate At Completion	EAC	EAC=ETC+AC	وهي الكلفة الإضافية المتوقعة والمطلوبة لإكمال المشروع مضافاً إليها الكلفة الفعلية.

وبالرغم من قدرة أسلوب القيمة المكتسبة في قياس ومحاولة ضبط الوضع الحالي للمشروع، إلا أنها تهمل جانب حيوي من عملية التحليل المرتبطة بها وهو كيفية تأثير أحداث المخاطرة على تقديرات المشروع النهائية عند الاكتمال [At Completion] (Kostelyk et al,2013)، وبشكل عام: توجد العديد من الاقتراحات لإنشاء أدوات تقنية في ضبط ومراقبة المشاريع مستخدمين القيمة المكتسبة وإدارة المخاطر (Araszkiewicz & Bochenek,2019).

3-3- دور 4D-BIM في إدارة مشاريع التشييد ومراقبة نشاطاتها خلال التنفيذ:

تُعَد نمذجة معلومات البناء وسيلة فعّالة للمساعدة في التحديد المبكر والتقييم لمخاطر البناء والتنفيذ من خلال التصور المرئي ثلاثي الأبعاد، والجدولة رباعية الأبعاد 4D وتقدير التكاليف 5D (Abanda et al,2020).

ونظراً لأن النموذج ثلاثي الأبعاد يحتوي على بيانات الخصائص الضرورية داخل عناصرهِ الرسومية، فإن البعد الرابع لهذا النموذج 4D BIM يُلزِم هذه البيانات لأداء وظائف إدارة المشروع الإضافية، وبالتالي يكون 4D BIM في هذه الحال موجه بشكل كبير لتخطيط المشروع وتخزين بيانات تقدم الأعمال ليجري على أساسها مقارنة الجداول الزمنية

بشكل أفضل باستخدام المحاكاة الافتراضية المخططة Baseline مقابل التقدم الفعلي Actual Progress في الموقع لتقييم حالة الجدول الزمني للمشروع (Abanda et al,2020) (Crowther et al,2019). وتكون بيانات البرنامج الزمني لتشييد المشروع في بيئة 4D BIM مرتبطة بالنموذج البنائي ثلاثي الأبعاد، وبالتالي يسمح بإجراء المحاكاة المرئية لتسلسل عمليات التشييد، والتي تُمَثَّل من خلال عناصر البناء أو النموذج ثلاثي الأبعاد الذي أنشئ (Crowther et al,2019).

4- الخطوات المطلوبة لتطوير الإطار:

يتطلب تشكيل إطار العمل للتكامل بين إدارة المخاطر وأسلوب القيمة المكتسبة القيام بالخطوات التالية:

A. تحديد القيمة المكتسبة:

تتم هذه الخطوة بجمع البيانات اللازمة لتمثيل القيم الأساسية للقيمة المكتسبة (AC – EV – PV) بهدف تشكيل قاعدة الأساس في حساب المؤشرات (SPI – CPI) وحساب التقديرات (EAC). ويمكن الاستعانة في هذه الخطوة ببرنامج SYNCHRO PRO الذي يتبع للبعد الرابع لتكنولوجيا نمذجة معلومات البناء 4D-BIM، وذلك لكونه يقوم بإجراء تحليل القيمة المكتسبة Earned Value Analysis ويمكن من خلال هذا التحليل معرفة البيانات اللازمة لحساب المؤشرات والتقديرات في أي لحظة زمنية من المشروع.

B. تحديد مقدار التعرض للخطر Risk Exposure:

بالاعتماد على أدوات التحليل الكمي للمخاطر كمحاكاة مونت كارلو Monte Carlo Simulation، يمكن تقدير مقدار الزيادة على القيمة المالية للمشروع وتدعى بكلفة التعرض للخطر Risk Exposure Cost بناءً على المخاطر التي جرى تقييمها في مراحل سابقة.

C. تحديد التقديرات الجديدة للقيمة المكتسبة:

تتم هذه الخطوة بجمع التقدير الأساسي الناتج من أسلوب القيمة المكتسبة مع كلفة التعرض للخطر، لينتج في هذه الحالة تقدير جديد وهو Integrated / Updated Estimation At Completion.

D. مقارنة التقدير الجديد للقيمة المكتسبة مع ميزانية المشروع:

يُحسب في هذه الحال مؤشر أداء جديد ينتج من قسمة التقدير الجديد للقيمة المكتسبة على ميزانية المشروع الأساسية. في حال كان هذا المؤشر أقل من (1) فهذا يعني أن المشروع لم يتجاوز التكاليف (Under Budget)، وإذا كانت قيمة هذا المؤشر أكبر من (1) فهذا يعني أن المشروع قد تجاوز التكاليف (Over Budget).

E. المراقبة والتقييم المستمر:

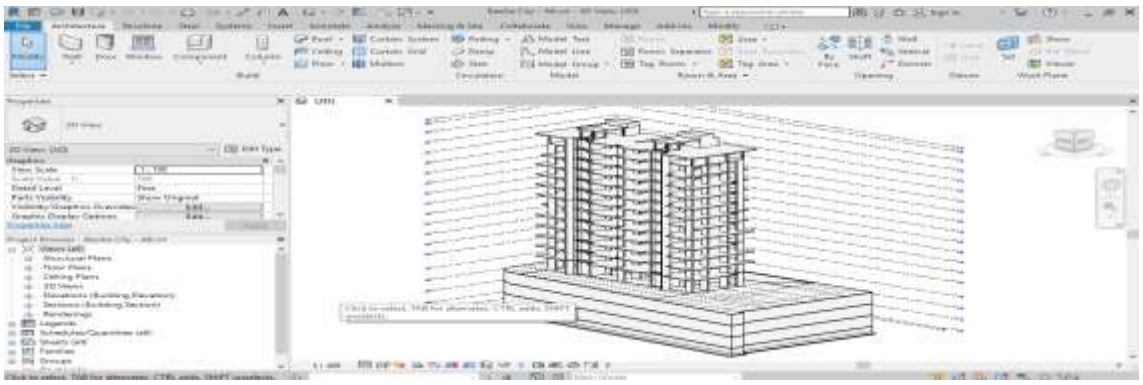
يجب مراقبة أداء المشروع بانتظام وتقييم تأثير التكامل بين المخاطر والقيمة المكتسبة على نتائج المشروع لمعرفة كيفية الاستجابة لهذه المخاطر أثناء مراقبتها خلال التنفيذ.

5- التطبيق العملي للإطار على حالة مشروع:

نُفِّذ التطبيق العملي للإطار المقترح على مشروع بناء سكني متعدد الطوابق قيد الإنجاز حالياً، يقع هذا المبنى في محافظة دمشق ضمن مشروع السكن البديل (باسيليا سيتي)، ويتكون من ثلاث أقبية و12 طابق سكني متكرر بالإضافة للطابق الأرضي، وقد ركز هذا التطبيق على تنفيذ أعمال الهيكل للبناء [أعمال بيتون النظافة والبيتون المسلح] كون المشروع لايزال في تنفيذها حتى الوقت الحالي، وجُمِعَت البيانات الفعلية لبنود الأعمال [كميات – مدد زمنية] من خلال الاطلاع على تقارير الإنجاز الشهرية والكشوف المؤقتة لتنفيذ الأعمال، بالإضافة إلى دفتر المساحة

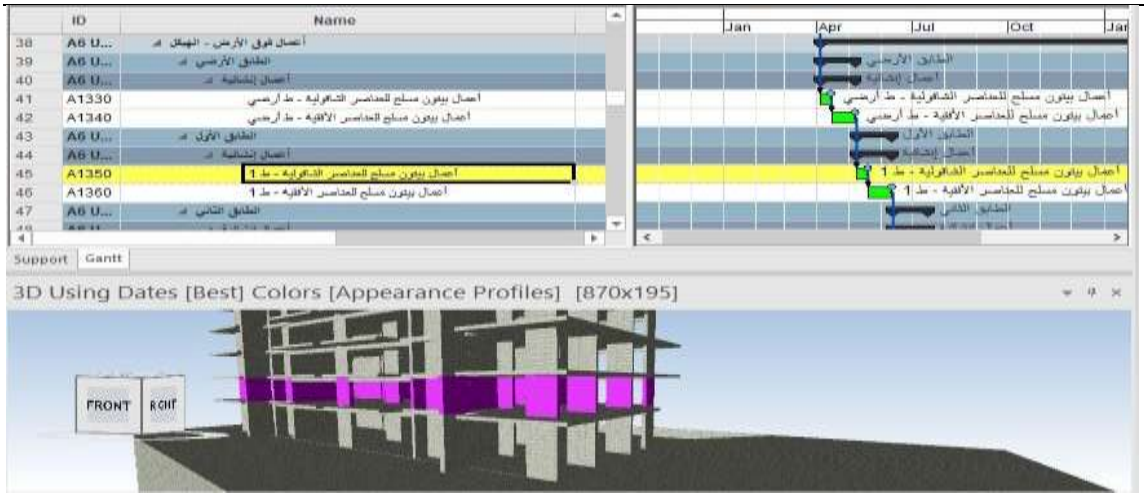
والكشف التقديري للمشروع، حيث تبين أن قيمة تنفيذ أعمال الهيكل لكامل المشروع (BAC) = 3,165,450,000 ل.س، ومدة تنفيذ هذه الأعمال في المشروع وفق العقد 18 شهراً.

تم إنشاء النموذج الإنشائي ثلاثي الأبعاد للمشروع باستخدام AutoDesk Revit 2019 (الشكل1)، وإعداد الجدول الزمني الخاص بأنشطة نموذج المشروع بالاعتماد على برنامج التخطيط والجدولة الزمنية SYNCHRO PRO (الشكل2)، حيث تمر خطوات إنشاء الجدول الزمني بنفس المراحل التي يُعمَل بها أثناء العمل على برنامج PRIMAVERA P6، ومن ثم ربط الجدول الزمني مع النموذج ثلاثي الأبعاد ضمن برنامج SYNCHRO PRO باستخدام خاصية Auto Matching ليتكون النموذج رباعي الأبعاد 4D-BIM Model (الشكل 3).



الشكل (1): إنشاء النموذج الإنشائي للمشروع ضمن برنامج AutoDesk Revit 2019

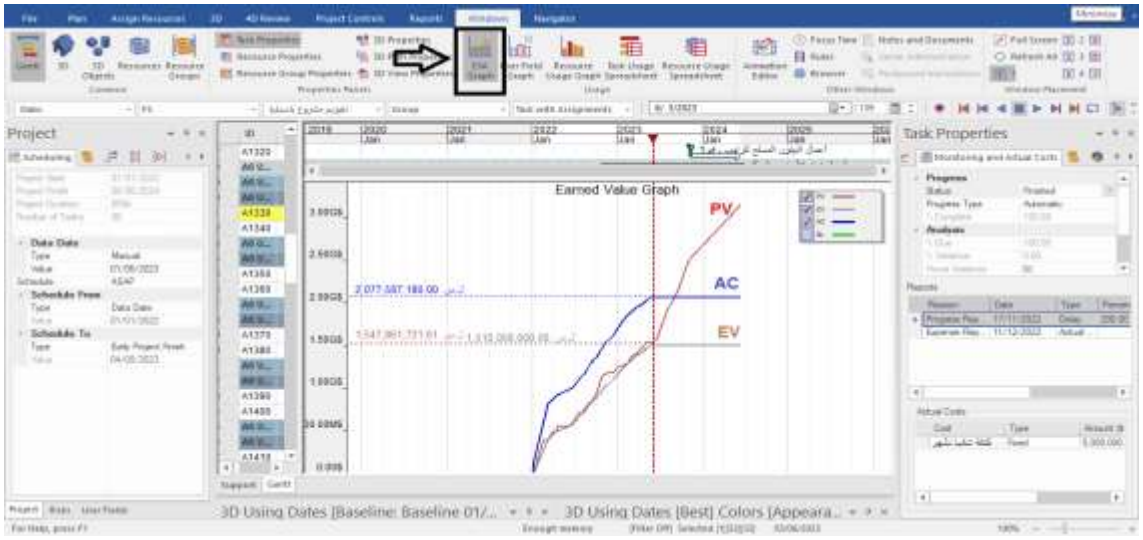
الشكل (2): إنشاء الجدول الزمني للمشروع ضمن برنامج SYNCHRO PRO 2019



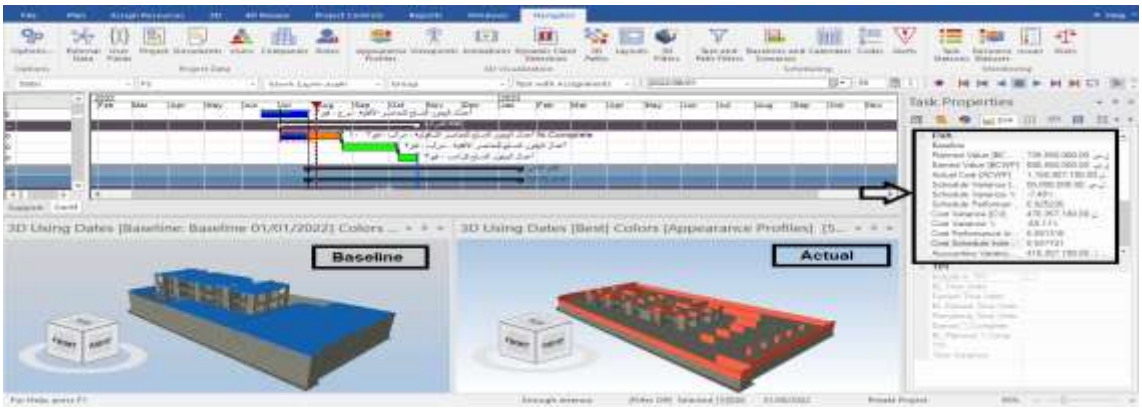
الشكل (3): ارتباط النموذج ثلاثي الأبعاد بالجدول الزمني للمشروع [إنشاء 4D-BIM Model]

وقد تم الاعتماد على تقارير الإنجاز الشهري للمشروع بهدف استخلاص البيانات حول تقدم الأعمال وإدخالها إلى النموذج رباعي الأبعاد، ليجري على أساسها المقارنة بين الأعمال المخططة وما أُنجِزَ فعلياً خلال الشهر، وبالتالي تحديد القيم الأساسية الثلاث (PV-EV-AC) وحساب المؤشرات والتقديرات المتعلقة بأسلوب القيمة المكتسبة.

بعد إدخال بيانات الإنجاز إلى النموذج: نحصل على مخطط بياني لتحليل القيمة المكتسبة يضم القيم الأساسية الثلاث (PV-EV-AC) وذلك بعد اختيار تبويبة EVA Graph (الشكل 4)، بالإضافة إلى الحصول على المؤشرات والتقديرات مباشرةً من البرنامج (الشكل 5، الجدول 3). ويُلاحظ من الشكل 4 أن منحني (AC) يقع فوق المنحنيين (PV-EV) خلال فترة دراسة حالة المشروع مما يدل على وجود انحراف في التكاليف Cost Overrun.



الشكل (4): المخطط البياني لتحليل القيمة المكتسبة لحالة الدراسة – EVA



الشكل (5): الحصول على المؤشرات والتقديرات من برنامج SYNCHRO PRO

الجدول (3): نتائج حسابات القيمة المكتسبة EVM التي تم الحصول عليها من برنامج SYNCHRO PRO 2019

N	توصيف الأعمال المنجزة خلال الشهر الحالي	القيم الأساسية لحسابات EVM			مؤشرات EVM		التقدير عند الانتهاء
		PV (ل.س)	EV (ل.س)	AC (ل.س)	CPI	SPI	EAC (ل.س)
1	أعمال بيتون النظافة + أعمال البيتون المسلح للحصيرة والإساسات	255,714,285	190,228,517	453,270,420	0.420	0.744	3,428,491,903
2	متابعة تنفيذ أعمال البيتون المسلح للحصيرة والأساسات	397,600,000	340,316,371	717,133,110	0.475	0.856	3,542,266,739
3	إكمال تنفيذ الحصيرة والأساسات + البدء بأعمال البيتون المسلح للرقبات والشيناجات	497,600,000	447,616,371	867,894,680	0.516	0.900	3,585,728,309
4	إكمال تنفيذ الرقبات والشيناجات + البدء بأعمال البيتون المسلح لأرضية القبو الثالث	557,450,000	512,578,871	940,172,180	0.545	0.920	3,593,043,309
5	متابعة تنفيذ أعمال أرضية القبو الثالث	557,450,000	512,578,871	962,449,680	0.533	0.920	3,615,320,809

6	اكتمال تنفيذ أرضية القبو الثالث	636,411,250	555,450,000	1,006,567,180	0.552	0.873	3,616,567,180
	تنفيذ أعمال البيتون المسلح للعناصر الشاقولية – برج – قبو3						
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الأفقية – برج – قبو3						
7	اكتمال تنفيذ العناصر الأفقية – برج – قبو3	735,550,000	680,550,000	1,150,907,180	0.591	0.925	3,635,807,180
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الشاقولية – مرآب – قبو3						
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الشاقولية – برج – قبو2						
8	متابعة تنفيذ العناصر الشاقولية – مرآب – قبو3	829,245,000	733,625,000	1,256,567,180	0.584	0.885	3,688,392,180
	اكتمال تنفيذ العناصر الشاقولية – برج – قبو2						
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الأفقية – برج – قبو2						
9	اكتمال تنفيذ العناصر الشاقولية – مرآب – قبو3	939,012,500	820,080,000	1,387,642,180	0.591	0.873	3,733,012,180
	اكتمال تنفيذ العناصر						

	الأفقية – برج – قبو2						
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الأفقية – مرآب – قبو3						
	تنفيذ أعمال البيتون المسلح للعناصر الشاقولية – برج – قبو1						
10	متابعة تنفيذ العناصر الأفقية – مرآب – قبو3	1,161,050,000	909,730,000	1,486,000,000	0.612	0.784	3,741,720,000
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الأفقية – برج – قبو1						
11	متابعة تنفيذ العناصر الأفقية – مرآب – قبو3	1,186,050,000	1,045,685,000	1,671,217,180	0.626	0.882	3,790,982,180
	اكتمال تنفيذ العناصر الأفقية – برج – قبو1						
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الشاقولية – ط أرضي						
12	متابعة تنفيذ العناصر الأفقية – مرآب – قبو3	1,251,993,000	1,140,233,000	1,776,217,180	0.642	0.911	3,801,434,180
	اكتمال تنفيذ العناصر الشاقولية – ط أرضي						
	بدء أعمال البيتون المسلح للعناصر الأفقية – ط أرضي						

بافتراض تنفيذ سيناريو التحليل الكمي للمخاطر لأخر تقديرين محسوبين من الجدول (3) وهما التقديرين عن الشهرين 11&12، ستُستَخدَم محاكاة مونت كارلو في حساب كلفة التعرّض للخطر Risk Exposure Cost، حيث يكون حساب هذا النوع من التكاليف بالاعتماد على المخاطر التي من المؤكد حدوثها خلال الشهر وليس بالضرورة أن تحدث جميعها في لحظة زمنية واحدة (بنفس الوقت) وإنما يتم رصدها وتتبعها خلال الشهر، وهي تتكرر أكثر من مرة خلال مدة تنفيذ المشروع الإجمالية. ولضمان تفعيل المحاكاة بشكل صحيح: أُجرِيَت عملية تقييم المخاطر ضمن هذين الشهرين باستخدام الاستبيان (الملحق 1) وتوزيعه على جهاز المقاول والمهندسين في الموقع للحصول على أهم عوامل الخطر المؤثرة من خلال استنتاج درجة أهمية كل عامل بالاعتماد على احتمال حدوث الخطر وشدة تأثيره على كلفة المشروع وفق المصطلح اللغوي (الجدول 4)، ومن ثم تأكيد النتائج التي تم الحصول عليها من الاستبيان للشهرين وفق المعلومات الواردة في تقارير الإنجاز الشهري للمشروع (الجدول6، الجدول8). وقد بلغ عدد المستجيبين للاستبيان في كل شهر 40 شخصاً وتم تحليلهم ديموغرافياً (الجدول 5).

الجدول (4): المصطلح اللغوي لاحتمال حدوث الخطر وشدة التأثير على الكلفة المستخدمين في نموذج قائمة الاستبيان:

المصطلح اللغوي	منخفض جداً	منخفض	متوسط	عالي	عالي جداً
الوصف (احتمال حدوث الخطر)	احتمال الحدوث منخفض جداً (أقل من 20%)	احتمال الحدوث منخفض (21–40) %	احتمال الحدوث متوسط (41–60) %	احتمال الحدوث كبير (61–80) %	الخطر سيحدث بالتأكيد وبنسبة أكبر من 81%
الوصف (شدة التأثير على الكلفة)	زيادة الكلفة بنسبة أقل من 1% من كلفة المشروع التقديرية	زيادة الكلفة بنسبة بين (1–4) % من كلفة المشروع التقديرية	زيادة الكلفة بنسبة بين (4–7) % من كلفة المشروع التقديرية	زيادة الكلفة بنسبة بين (7–10) % من كلفة المشروع التقديرية	زيادة الكلفة بنسبة أكبر من 10% من كلفة المشروع التقديرية

الجدول (5): معلومات التحليل الديموغرافي لعينة المستجيبين على الاستبيان:

المعيار:	الوصف:
الصفة الوظيفية للمستجيبين	مهندسي الموقع ومهندسي الإشراف (60%)، مدراء مشاريع (22.5%)، غير ذلك (17.5%)
عدد سنوات الخبرة للمستجيبين	يمتلك خبرة تزيد عن 20 سنة (15%)، يمتلك خبرة تزيد عن 10 سنوات (47.5%)
عدد المشاريع التي عملوا فيها سابقاً	عملوا في عدد مشاريع تزيد عن 10 (62.5%)

الجدول (6): سجل المخاطر للشهر الحادي عشر من التنفيذ:

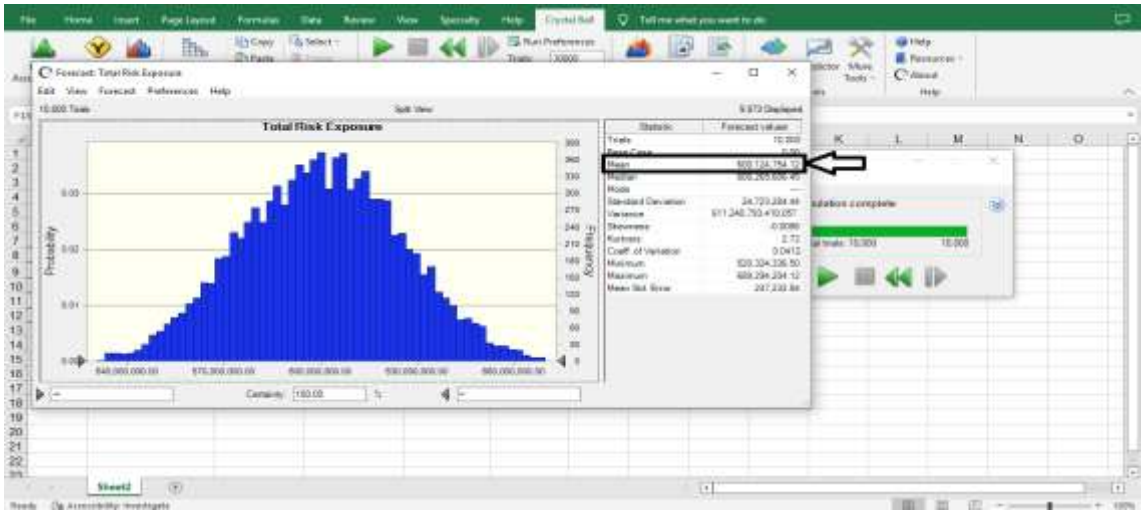
رقم الخطر:	اسم الخطر:	وصف الخطر:
Risk 1	ارتفاع الأسعار	أثناء الشهر 11 من التنفيذ: تم التنبؤ **بزيادة أسعار مواد البناء** (اسمنت – حديد) بالإضافة إلى ارتفاع أسعار المحروقات، ودرجة أهمية هذا الخطر عالية
Risk 2	انقطاع الموارد بشكل مفاجئ	أثناء الشهر 11 من التنفيذ: تم التنبؤ **بانقطاع المحروقات من المشروع،** ودرجة أهمية هذا الخطر عالية
Risk 3	عدم توافر مواد البناء بشكل كافي	أثناء الشهر 11 من التنفيذ: تم التنبؤ **بعدم توفر الاسمنت لاستكمال صب البيتون المسلح في المشروع،** ودرجة أهمية هذا الخطر عالية

وقد جُمِعَت بيانات تأثير المخاطر على كلفة المشروع بتكاليف (منخفضة – أكثر احتمالية – عالية) من خلال الاطلاع على سجلات التكاليف السابقة للمشروع نفسه، بالإضافة إلى الاطلاع على سجلات التكاليف (الكشوف) لمشاريع سابقة مشابهة ومنفذة من قبل المقاول نفسه في فترات قريبة من فترة تنفيذ المشروع المدروس (الجدول 7).

الجدول (7): بيانات التأثير المالي للمخاطر – الشهر 11:

اسم الخطر:	الكلفة المنخفضة (ل.س)	الكلفة الأكثر احتمالاً (ل.س)	الكلفة العالية (ل.س)
Risk 1	175,000,000	200,000,000	225,000,000
Risk 2	200,000,000	250,000,000	300,000,000
Risk 3	125,000,000	150,000,000	175,000,000

يوجد أدوات برمجية تستخدم محاكاة مونت كارلو (MCS) مثل برنامج Crystal Ball المُنتج من شركة ORACLE وهو يعمل كإضافة Add-in لبرنامج Microsoft Excel، وقد استُخدِم هذا البرنامج لتنفيذ عملية المحاكاة، حيث يتم إدخال بيانات التأثير المالي إلى ورقة Excel Sheet وتُحسَب الكلفة الجزئية لكل عامل خطر بالاعتماد على التوزيع الاحتمالي الملائم لحالة الدراسة (التوزيع المثلثي) ومن ثم حساب الكلفة الإجمالية للعوامل الثلاث بعد تحديد عدد مرات إجراء المحاكاة لتوليد الناتج الاحتمالي ويجب أن تكون بحدود (10,000) مرة ومن ثم تشغيل عملية المحاكاة (Run the simulation). وتظهر واجهة لمخطط بياني تُستنتج منها القيمة المطلوبة من خلال أخذ القيمة المتوسطة الناتجة من عملية المحاكاة (Mean)، ويظهر من الشكل(6) أن القيمة المطلوبة تساوي 600,124,754.12 ل.س



الشكل (6): المخطط البياني لعملية المحاكاة واستنتاج كلفة التعرض للخطر للشهر الحادي عشر

الجدول (8): سجل المخاطر للشهر الثاني عشر من التنفيذ:

رقم الخطر:	اسم الخطر:	وصف الخطر:
Risk 1	عدم توفر اليد العاملة للبناء	أثناء الشهر 12 من التنفيذ: تم التنبؤ **بعدم توفر يد عاملة لازمة لاستكمال نشاطات تركيب حديد التسليح وتركيب القالب الخشبي وفكه**، ودرجة أهمية هذا الخطر عالية
Risk 2	عدم توفر الموارد بالشكل الكافي	أثناء الشهر 12 من التنفيذ: تم التنبؤ **بعدم توفر حديد التسليح لاستكمال أعمال البيتون المسلح في المشروع**، ودرجة أهمية هذا الخطر عالية

بنفس الخطوات السابقة: تُستنتج كلفة التعرّض للخطر للشهر الثاني عشر، وتكون القيمة المطلوبة تساوي 641,521,838,.91 ل.س

بعد إجراء جميع الحسابات السابقة: يُجمَع التقدير الأساسي الناتج من أسلوب القيمة المكتسبة (EAC) في الجدول (3) مع كلفة التعرض للخطر Risk Exposure Cost لينتج التقدير الجديد (Integrated EAC)، حيث ستُجمع هذه الكلفة مع أخر تقديرين محسوبين في الجدول (3) كمثال توضيحي فقط، ويُحسب مؤشر الأداء الجديد من قسمة التقدير الجديد على ميزانية المشروع الأساسية BAC، وتبين المعادلتان (1) & (2) كيفية حساب كل من التقدير الجديد والمؤشر الجديد، كما يبين الجدول (9) نتائج حساب التقدير الجديد للقيمة المكتسبة ومؤشر الأداء الجديد وفق المعادلتين (1)&(2).

Integrated EAC= EAC_{Basic} + Risk Exposure ……. (1)
Integrated Performance Index = Integrated EAC / BAC…… (2)

الجدول (9): نتائج حساب التقدير الجديد للقيمة المكتسبة، ومؤشر الأداء الجديد:

رقم الشهر	EAC	Risk Exposure Cost	Integrated EAC	Integrated Performance Index
11	3,790,982,180	600,124,754	4,391,106,934	1.39
12	3,801,434,180	641,521,839	4,442,956,019	1.40

النتائج والمناقشة:

بالنظر إلى النتائج الموضحة في الجدول (3) الخاص بحسابات القيمة المكتسبة EVM والتي تم الحصول عليها من خلال برنامج Synchro Pro 2019 (4D-BIM): يُلاحَظ أن كل من المؤشرين (CPI)، (SPI) لم يتجاوزا قيمة (1) في الفترة الزمنية التي جُمِعَت فيها البيانات لدراسة حالة المشروع، مما يدل على تأخره عن الجدول الزمني للتنفيذ ويوجد زيادة في تكاليفه. كما يُلاحظ أيضاً أن قيمة الزيادة المتوقعة في التكاليف عن الكلفة الأساسية للمشروع عند التقدير رقم (11) = 625,532,180 ل.س وهي ناجمة عن طرح EAC_{11} من BAC التي تساوي 3,165,450,000 ل.س أي بنسبة انحراف 19.76% عن الكلفة الأساسية للمشروع، وعند التقدير رقم (12) = 635,984,180 ل.س وهي ناجمة عن طرح EAC_{12} من BAC نفسها (3,165,450,000) ل.س أي بنسبة انحراف 20.09% عن الكلفة الأساسية للمشروع، ويرجع السبب في ذلك إلى فترة بداية أعمال الهيكل في المشروع بسبب زيادة كمية بيتون النظافة وزيادة سعر متره المكعب بالإضافة إلى تعديل مخططات الدراسة الخاصة بالأساسات والحصيرة مما نتج عنها زيادة كميات البيتون المسلح، وقد أُخِذَت هذه المعلومات من الكشوف المؤقتة لتنفيذ المشروع وملاحق العقد المضافة إليها، وهذا يثبت فعالية 4D-BIM في دعم إجراء عملية المقارنة بين الأعمال المخططة وما أُنجِزَ فعلياً خلال الشهر، وبالتالي تحديد القيم الأساسية الثلاث (PV-EV-AC) وحساب المؤشرات والتقديرات المتعلقة بالقيمة المكتسبة EVM والتي تعتبر واحدة من أساليب ضبط ومراقبة المشروع أثناء التنفيذ.

وبالنسبة للنتائج الموضحة في الجدول (9) نلاحظ أنه في حال نُفِّذَ سيناريو التحليل الكمي للمخاطر من خلال حساب كلفة التعرّض للخطر وإضافتها إلى نتائج حسابات القيمة المكتسبة (EAC)، سيُلاحَظ من خلال التقدير الجديد Integrated EAC الذي تم حسابه وفق المعادلة رقم (1) أن قيمة الزيادة المتوقعة في التكاليف عن الكلفة الأساسية للمشروع بعد إضافة كلفة التعرّض للخطر عند التقدير رقم (11) = 1,225,656,934 ل.س وهي ناتجة عن طرح Integrated EAC في الشهر 11 من BAC التي تساوي 3,165,450,000 ل.س، وعند التقدير رقم (12) = 1,277,506,019 ل.س وهي ناتجة عن طرح Integrated EAC في الشهر 12 من BAC نفسها (3,165,450,000) ل.س.

وسيُلاحَظ أيضاً من خلال مؤشر الأداء الجديد Integrated Performance Index الذي تم حسابه وفق المعادلة رقم (2) أن هنالك تجاوزاً للتكاليف بمقدار 39% عن الكلفة الأساسية للمشروع في الشهر 11 وبمقدار 40% عن الكلفة الأساسية للمشروع في الشهر 12، وبالتالي فإن هذا التجاوز المتوقع هو أكثر إثارة للقلق من التنبؤ الحالي بواسطة تحليل القيمة المكتسبة، وبالتالي تظهر نتائج هذا التكامل أنه عندما يتم دمج معلومات التحليل الكمي للمخاطر مع

تنبؤات القيمة المكتسبة الأساسية تكون التقديرات الجديدة أكثر شمولية لأخذها بعين الاعتبار عوامل الخطر المستقبلية عوضاً عن افتراض أن المشروع سيسير ضمن نفس الظروف السابقة وفق الطريقة الكلاسيكية التقليدية EVM.

وبمقارنة النتائج التي توصل إليها البحث المقدم مع نتائج دراسة الباحث (Kostelyk et al,2013): نجد أن نسبة تجاوز التكاليف المتوقعة في الدراسة السابقة للباحث وذلك من إجراء التكامل بين EVM وتحليل كل من المخاطر وأوامر التغيير والمطالبات =17%، أما في البحث المقدم فنسبة التجاوز المتوقع هي (39&40) % للشهرين 11,12 على التوالي من إجراء التكامل بين EVM وتحليل المخاطر فقط، وتأتي هذه القيم تبعاً للقيود والظروف الاقتصادية التي تؤثر سلباً وبشكل كبير على سير تنفيذ مشاريع التشييد في سورية. وبالتالي لابد من إجراء عمليات القياس والتحليل الكمي لهذه المخاطر بشكل دوري ومنتظم لمعرفة الإجراءات المناسبة للاستجابة لهذه المخاطر والتخفيف من آثارها السلبية إلى الحد الأدنى أو المقبول.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. من خلال مناقشة نتائج البحث: برزت أهمية نمذجة معلومات البناء كوسيلة فعّالة للمساعدة في مقارنة الأعمال المخططة وفق الجدول الزمني للمشروع Baseline مع الأعمال المنجزة خلال كل شهر من أشهر التنفيذ وذلك من خلال إجراء تحليل القيمة المكتسبة EVA ضمن برنامج Synchro Pro واستنتاج القيم الأساسية الثلاث (PV-EV-AC) وحساب المؤشرات والتقديرات من البرنامج مباشرةً بعد إدخال بيانات الإنجاز الشهري للمشروع وذلك بهدف معرفة الأداء الحالي ورصد التنبؤات المتعلقة بأداء الكلفة.

2. إن القيام بعمليات دراسة وتحليل المخاطر بشكل دوري ومنتظم أثناء التنفيذ تعد من الأمور الحيوية والهامة في مشاريع التشييد لما لها من فوائد في التعرف على الأخطار التي يمكن أن تعرقل تنفيذ مشاريع التشييد ولها درجة أهمية عالية في المشروع، وذلك بهدف إعطائها الأولوية للتعامل معها وتصميم الإجراءات التصحيحية للتعامل معها بشكل مناسب.

3. قامت نتائج هذه الدراسة بتوضيح أن تطوير إطار عمل للتكامل بين أسلوب القيمة المكتسبة وتحليل المخاطر بالاعتماد على 4D-BIM ومحاكاة مونت كارلو MCS له فوائد كبيرة وهامة في مراقبة وتتبع مخاطر مشاريع التشييد خلال مراحل التنفيذ، وذلك من خلال مقارنة الجداول الزمنية بشكل أفضل باستخدام المحاكاة الافتراضية المخططة Baseline مقابل التقدم الفعلي Actual Progress في الموقع لتقييم حالة الجدول الزمني للمشروع وبالتالي سهولة تتبع مخاطر المشروع، بالإضافة إلى قياس الآثار الكمية المترتبة عن هذه المخاطر (كلفة التعرض للخطر) وإضافتها إلى تقديرات المشروع المتعلقة بأداء الكلفة للمساعدة في اتخاذ القرار حول كيفية الاستجابة لهذه المخاطر ومحاولة ضبط انحرافات الكلفة الناجمة عنها، حيث أن أغلب الدراسات التي تم التعرف عليها والاستفادة منها لبناء اطار العمل المقترح ركزت على كل من أسلوب القيمة المكتسبة الكلاسيكي وتحليل المخاطر بشكل فردي.

4. من خلال مناقشة نتائج البحث: إن الاستجابة الأمثل لمثل هذه الزيادات هي بالاستعانة بميزانية احتياطيات الطوارئ Contingency Reserves للتغطية على العواقب الناجمة عن حدوث هذه المخاطر (زيادة التكاليف).

التوصيات:

1. ضرورة إيجاد منهجيات أو أطر عملية جديدة تقوم على مبدأ التكامل بين المخاطر المؤثرة على زمن تنفيذ المشروع ومنهجية إدارة الوقت المكتسب Earned Duration Management (EDM) لقياس الآثار الكمية الناجمة عن هذه المخاطر (التأخير الزمني في إنجاز المشروع).
2. التوسع في استخدام برامج وتطبيقات نمذجة معلومات البناء لما لها من فوائد كبيرة في مجال إدارة مشاريع التشييد.
3. إجراء أبحاث جديدة حول كيفية تقدير القيمة الطارئة للمشروع Cost Contingency بالاعتماد على التكامل بين القيمة المكتسبة EVM وأدوات التحليل الكمي للمخاطر مثل محاكاة مونت كارلو Monte Carlo Simulation مع الأخذ بعين الاعتبار المخاطر المؤثرة على المشروع.
4. الاهتمام بمرحلة مراقبة المخاطر وتتبعها أثناء التنفيذ من خلال تطوير منهجيات وأطر عملية تساعد في قياس الانحرافات الناجمة عند حدوث المخاطر، بالإضافة إلى اعتماد قواعد بيانات وأنظمة أرشفة الكترونية لجميع أنواع التقارير داخل المؤسسات والشركات الإنشائية.
5. ضرورة إيجاد منهجيات أو أطر عملية لتصميم خطط الاستجابة للمخاطر Risk Response Plans بهدف اتخاذ الإجراءات التصحيحية الملائمة للرد على المخاطر بشكل مناسب.

References:

1. Al- Homsi, Rama. 2013. Developing a Tool helping in Analyzing the Risks of Construction Projects in The Contracting Phase. Master thesis. Department of Engineering Management and Construction. Faculty of Civil Engineering. Damascus University. Damascus. Syria.
2. Abanda F.H., Musa A.M., Clermont P., Tah J.H.M. and Oti A.H. (2020). *"A BIM – Based Framework for Construction Project Scheduling Risk Management"*. International Journal of Computer Aided Engineering and Technology.
3. Araszkiewicz, K., & Bochenek, M. (2019). "*Control of construction projects using the earned value method: Case study*". Open Engineering, 9(1), 186-195.
4. Banaitiene, N., Banaitis, A., & Norkus, A. (2011). "*Risk management in projects: Peculiarities of Lithuanian construction companies"*. International Journal of Strategic Property Management,15(1), 60-73.
5. Bouayed. Zakia, (2016*), "Using Monte Carlo Simulation to Mitigate the Risk of Project Cost Overruns"*, Int. J. of Safety and Security Eng., Vol. 6, No. 2 (2016) 293–300.
6. Crowther, J and Ajayi, SO. (2019). *"Impacts of 4D BIM on Construction Project Performance*". International Journal of Construction Management. ISSN 1562-3599.
7. Hassan, B. Omran. J, Maya, R. Defining the Areas and Priorities of performance Improvement in Construction Companies Case Study for General Company for Construction and Building. Tishreen University Journal - Engineering Sciences Series. 2015;37(6).
8. Hassan, B. Omran. J, Maya, R. Methodology of Project Management Assessment and the Financial Effects of Its Practices. Tishreen University, Engineering Sciences Series. 2008;30(1).
9. Kostelyk.J, AbouRizk.H, Smid.B, AbouRizk.S, (2013), "*Improving Earned Value Forecasting through Integration with Risk Analysis and Scope Change Management*", CSCE 2013 General Conference - Congrès général 2013 de la SCGC, Montréal, Québec.

10. Moradi, N., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2017). *"An earned value model with risk analysis for project management under uncertain conditions*". Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 32(1), 97-113.
11. Mushamalirwa. Anne-Marie Nsimire, (2016), *"A BIM-Based Solution to Support Earned Value Management in Construction"*, Thesis to Obtain the Master of Science Degree in Civil Engineering, Tecnico Lisboa University, Portugal.
12. Proaño-Narváez, M.; Flores-Vázquez, C.; Vásquez Quiroz, P.; Avila-Calle, M. (2022). *"Earned Value Method (EVM) for Construction Projects: Current Application and Future Projections*". Buildings 2022, 12,301.
13. *"Project Management Institute. (2017). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (5th ed.)*". Newtown Square, PA: Project Management Institute.
14. Sutrisna, M.; Pellicer, E.; Torres-machi, C.; Picornell, M. (2018*)." Exploring earned value management in the Spanish construction industry as a pathway to competitive advantage*". Int. J. Constr. Manag. 3599, 1–12.

الملحق (1): نموذج قائمة الاستبيان المستخدم في البحث – جدول /1/:

تصنيف المخاطر:	اسم الخطر:	بيانات المخاطر	
		احتمال حدوث الخطر	شدة تأثير الخطر على كلفة المشروع
بشرية	عمالة غير مؤهلة فنيا		
	قلة/عدم توفر اليد العاملة اللازمة للبناء		
	تذبذب معدلات الانتاجية لليد العاملة		
تصميمية	أخطاء تصميمية في مخططات الدراسة		
	التعارضات بين الاختصاصات الهندسية المختلفة		
	عدم التوافق بين المخططات والكميات والمواصفات		
	عدم الدقة في إعداد جداول الكميات التقديرية		
	أخطاء في الدراسة الطبوغرافية		
أوامر التغيير	عدم وجود توثيق لأوامر التغيير لمجال العمل		
	طلب أمر تغيير مفاجئ من المالك		
إدارية/إدارة مشروع	التأخير في إصدار التراخيص الإدارية اللازمة لبدء العمل		
	مراقبة أو تتبع قليل لمراحل تنفيذ المشروع (تكاليف – زمن)		
	تغييرات في طرق الإدارة		
	ضعف التواصل بين أفراد فريق المشروع		
تخطيط ورشة العمل	مشاكل الازدحام المروري		
	نقص في منشآت الخدمات المؤقتة		
السلامة المهنية	عدم الالتزام بإجراءات الأمن والسلامة في موقع العمل		
	حوادث في موقع العمل		

مالية	التضخم وارتفاع الأسعار		
	تأخر صرف الكشوف المؤقتة للمقاول		
	نقص التمويل أو انقطاعه بشكل مفاجئ		
	صعوبة التحكم في التدفق النقدي		
	عدم الوضوح في اعتماد نظام لإعداد الكشوف المالية وتدقيقها		

الملحق (1): نموذج قائمة الاستبيان المستخدم في البحث – جدول /2/:

تصنيف المخاطر:	**اسم الخطر:**	**بيانات المخاطر**	
		احتمال حدوث الخطر	**شدة تأثير الخطر على كلفة المشروع**
آليات ومعدات	عدم توافر المعدات الضرورية لإنجاز الأعمال		
	تعطل إحدى معدات التشييد أثناء التنفيذ		
	استخدام معدات تشييد حديثة لأول مرة دون تدريب		
	كلفة الصيانة المرتفعة لمعدات التشييد		
	عدم توفر قطع الصيانة اللازمة لمعدات التشييد		
توريدات	عدم توافر الموارد اللازمة للبناء في السوق المحلية		
	تأخيرات ناتجة عن توريد المواد الأساسية اللازمة لأعمال البناء		
	عدم الالتزام بحفظ توريدات المشروع بشكل سليم يضمن سلامتها		
	انخفاض جودة التوريدات المقدمة من قبل الموردين		
	قلة التخطيط والإدارة للموارد الموجودة في موقع العمل		
	انقطاع التوريدات اللازمة للبناء بشكل مفاجئ		
لها علاقة مباشرة بالتنفيذ	كثرة تغيير مخططات الدراسة خلال زمن قصير		
	التأخيرات والمشاكل الفنية والقانونية مع المقاولين الثانويين		
	عدم توافر المعلومات الكافية عن دراسة المشروع		
	ظروف موقع العمل تؤدي إلى حدوث تغييرات في آلية التنفيذ		
	صعوبة الالتزام بالجداول الزمنية لتنفيذ أعمال البناء		
	عدم التقيد بالشروط الواردة في دفاتر الشروط والمواصفات الفنية		
	تخفيض جودة العمل مقابل الالتزام بالوقت		
	مشاكل ميكانيك التربة (تربة غير صالحة للتأسيس – ظهور المياه الجوفية)		
	ظروف طبيعية وجوية غير متوقعة		