Using Machine Learning Applications to Develop Models For Predicting The Impact Of Construction Claims On The Cost And Time Of Projects In Syria

Hiba Ibrahim [*]
Dr. Lama Saoud [**]
Dr. Fayez Jrad [***]

(Received 10 / 3 / 2026. Accepted 18 / 5 / 2026)

□ ABSTRACT □

Most construction projects in Syria suffer from numerous claims due to various reasons, such as change orders, design errors, and other factors that negatively impact project time and cost. Therefore, this article aims to develop models capable of predicting cost and time increases resulting from these claims. The objective was achieved through a questionnaire distributed to engineers working in the public sector in both supervision and execution asking them about the impact of each claim on project cost and time. Then they were used to develop two separate cost and time prediction models. Three machine learning methods were selected for model development: artificial neural networks, gradient boosting, and random forests. After training the models on 71 projects, the model with the lowest error rate was selected. The analysis results showed that the random forest model performed best for cost prediction, achieving the highest coefficient of determination (R^2) at 0.9940 and the lowest (RMSE) at 0.0922. For time prediction, the gradient boosting model, achieved the highest (R^2) of 0.9607 and the lowest RMSE of 36.29 days. A tool utilizing the best models was developed and applied to a project to validate the methodology.

Keywords: Causes of Claims, Prediction, Artificial Neural Network, Random Forest, Gradient Boosting.

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

[*] **Master's Student, Department of Construction Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Latakia University (formerly Tishreen), Latakia, Syria. hiba.ibrahim@Latakia-univ.edu.sy**

[**] **Associate Professor, Department of Construction Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Latakia University (formerly Tishreen), Latakia, Syria. Lama.Saoud@latakia-univ.edu.sy**

[***] **Professor, Department of Construction Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Latakia University (formerly Tishreen), Latakia, Syria. fayezjrad@Latakia-univ.edu.sy**

استخدام تطبيقات تعلم الآلة لتطوير نماذج للتنبؤ بتأثير مطالبات التشييد على كلفة وزمن المشاريع في سورية

هبه إبراهيم *

د. لما سعود **

د. فايز جراد ***

(تاريخ الإيداع 10 / 3 / 2026. قُبِل للنشر في 18 / 5 / 2026)

□ ملخّص □

تعاني معظم مشاريع البناء في سورية من كثرة المطالبات وتعود لأسباب عديدة كأوامر التغيير وأخطاء التصميم وغيرها مما ينعكس سلباً على زمن وكلفة المشروع لذلك يهدف هذا المقال إلى تطوير نماذج قادرة على التنبؤ بالزيادات في كلفة وزمن المشاريع الناجمة عن أسباب المطالبات. تحقق هدف الدراسة من خلال استبيان موجه للمهندسين العاملين في القطاع العام في مجالي الإشراف والتنفيذ للسؤال عن تأثير كل سبب للمطالبة على كلفة وزمن المشروع واستخدمت هذه الأسباب في بناء نموذجين للتنبؤ بالكلفة والزمن كل على حدى. أُختيرت ثلاث طرق من تعلم الآلة لتطوير النماذج وهي الشبكات العصبونية الصنعية والتعزيز المتدرج والغابات العشوائية. وبعد تدريب النماذج السابقة بناء على 71 مشروع أُعتمد النموذج الذي حقق أقل نسبة خطأ. أظهرت نتائج التحليل أن نموذج الغابات العشوائية هو الأفضل بالنسبة لنموذج الكلفة حيث حقق أعلى قيمة لمعامل التحديد R^2 حيث بلغت 0.9940 وأقل قيمة لمتوسط الخطأ RMSE بمقدار 0.0922. وبيّن تفوّق نموذج التعزيز المتدرج بشكل جلي بالنسبة لنموذج الزمن حيث حقق أعلى قيمة لمعامل التحديد R^2 حيث بلغت 0.9607 وأقل قيمة لمتوسط الخطأ RMSE بمقدار 36.29يوماً. تم تطوير أداة استخدمت النماذج الأفضل وتطبيقها على مشروع للتحقق من المنهجية.

الكلمات المفتاحية: أسباب المطالبات، تنبؤ، شبكات عصبونية اصطناعية، غابات عشوائية، تعزيز متدرج

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **طالبة ماجستير، كلية الهندسة المدنية، قسم هندسة وإدارة التشييد، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سورية.**
hiba.ibrahim@Latakia-univ.edu.sy

** **أستاذ مساعد، كلية الهندسة المدنية، قسم هندسة وإدارة التشييد، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سورية.**
Lama.Saoud@latakia-univ.edu.sy

*** **أستاذ، كلية الهندسة المدنية، قسم هندسة وإدارة التشييد، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سورية.**
fayezjrad@Latakia-univ.edu.sy

مقدمة:

يشكّل إنهاء المشروع ضمن التكاليف والوقت المخططين له تحدياً صعباً وتتصف مشاريع التشييد بأنها معقّدة وتحتوي العديد من الأطراف بحيث تحتاج المشاريع إلى تشارك كل مكونات العمل للحصول على منتج وحيد نهائي. تتميز بيئة التشييد بعدم اليقين حيث يواجه تنفيذ المشاريع (ظروف غير متوقعة أوامر تغييرية، أخطاء التنفيذ، وغيرها من العوامل الأخرى) التي تقود إلى تأخيرات وتجاوزات في التكاليف ولذلك فإن الطرف المتضرر سيطالب بتعويض عن الخسائر التي لحقت به عن طريق تقديم مطالبة والتي تعتبر طلب قانوني للحصول على زمن إضافي أو تعويض مالي أو كليهما. وفي الواقع فإن مشاريع التشييد تواجه كمّاً هائلاً من المطالبات والتي تعتبر جزءاً لا يتجزأ من أنظمة العقود الحديثة لذلك فإن المشاريع الناجحة ليست التّي تحقّق العدد الأدنى من المطالبات وحسب بل هي التي تتعامل وتعالج المطالبات. وفي حال عدم معالجتها فإنها ستتحول إلى منازعات.إن إدراك العوامل المسببة للمطالبات التنبؤ المبكر بتأثيرها يساهم في التقليل من انعكاساتها السلبية المتمثلة بزيادة الكلفة ومد زمن المشروع والمساعدة في اتخاذ القرار المناسب.

أجرى [1] استبيانًا لدراسة أنواع المطالبات وأسبابها في مشاريع البناء المختلفة في الإمارات. ووفقًا لهذه الدراسة تُعدّ "أوامر التغيير/التعديل" و"التأخير الناتج عن المالك" من أكثر الأسباب شيوعًا. كما يُمكن استنتاج أن "التغييرات" و"التأخيرات" هما أكثر أنواع المطالبات شيوعًا. وفي دراسةٍ لأنواع المطالبات وأسبابها في قطاع البناء الخاص في مملكة البحرين حدّد [2] ستة وعشرين سببًا وستة أنواع وخلصت الدراسة إلى أن حوالي 87% من أسباب المطالبات تعود إلى "أوامر التغيير أو التعديل"، وأن النوع الأكثر شيوعًا هو "مطالبات التأخير". وحدّد [3] تسعة وثلاثين سببًا وثمانية أنواع من المطالبات. وصُنّفت الأسباب إلى ست مجموعات رئيسية وفقًا لمصدر المطالبة. أظهرت النتائج استناداً إلى آراء الاستشاريين في قطاع الإنشاءات الهندي وأن أبرز أسباب المطالبات هي "المشاكل المالية للمقاول" و"كثرة أوامر التغيير من قِبل المالك". كما أظهرت النتائج أن مطالبات الأعمال الإضافية هي النوع الأكثر شيوعًا. حدد [4]29 سببًا للمطالبات من خلال مراجعة الأدبيات وصنفها إلى خمس فئات (المالك، المقاول، المصمم، جميع الأطراف، والقوانين). من وجهة نظر جميع الأطراف تُعد "أوامر التغيير أو التعديل" تليها "التغيير في الكميات نتيجةً لمتطلبات جديدة من المالك" أهم العوامل. كما أظهرت النتائج أن جميع الأسباب صُنفت على أنها مهمة أو ذات أهمية عالية. قدّم [5] نموذجاً للتنبؤ بآثار المطالبات لمساعدة مالكي المشاريع في مرحلة ما قبل العطاء للتخفيف من المطالبات في مصر. تحقق ذلك عن طريق جزأين الأول بناء ثلاث نماذج من الشبكات العصبونية الصنعية وتمّ اختيار 14 متغيراً لطبقة المدخلات لثلاث شبكات عصبونية ولكل شبكة مخرج واحد حيث كان النموذج الأول للتنبؤ بالنسبة المئوية للزيادة في كلفة مشاريع التشييد أمّا النموذج الثاني فكان للتنبؤ بالنسبة المئوية للزيادة في مدة المشاريع والنموذج الثالث للتنبؤ بالعلاقة بين المالك والمقاول. الجزء الثاني من البحث هو نموذج إدراك القرار Decision Awareness Modelيفيد هذا النموذج بالتنبؤ وذلك في مراحل مبكرة قبل البدء بالتصميم الأولي بحيث يعطي تصور عن الزيادات التي يمكن أن تحصل في حال اعتماد المشروع وبالتالي فإن هذه النماذج ستكون أداة دعم وتساعد في زيادة الوعي والإدراك في مرحلة ما قبل العطاء. طوّر[6] نماذج للتنبؤ بأنواع المطالبات في مشاريع التشييد في الهند باستخدام الشبكات العصبونية الصنعية ANN. شُكّلت خمس شبكات عصبونية. مدخلات كل شبكة هي الأسباب المرتبطة بكل نوع والمخرج لكل شبكة هو نوع المطالبة المرتبط بكل مجموعة أسباب. تفيد هذه النماذج بالتنبؤ بالمطالبات في مرحلة مبكرة مما يحسّن أداء المشروع ويقوي الروابط بين

أطرافه ويساعد في اختيار الاستراتيجية الأفضل لتخفيف المطالبات. قدّم [7] نموذج للتنبؤ بكمية المطالبات في مشاريع التشييد حيث تمّ تحديد أسباب المطالبات الأكثر حرجاً باستخدام مصفوفة الاحتمالية والتأثير وعددها 10 أسباب وبما أن المطالبات تحدث في مشاريع مختلفة الأزمنة والكلف فقد أُعتمد معيارين للمقارنة وهو CCI (Cost Claimed Index) والذي يعبر عن مؤشر مطالبات الكلفة ويساوي الكلفة الإضافية المطالب بها للمشروع على كلفة المشروع الكلية. والثاني TCI والذي يعبر عن مؤشر الوقت المطالب به (Time Claimed Index) ويساوي قسمة الوقت الإضافي المطالب به على زمن المشروع الكلي (أشهر). وتمّ تشكيل شبكة عصبية للتنبؤ بالمعيارين السابقين. تُفيد هذه الشبكة بالتنبؤ بمطالبات الوقت والكلفة بناء على الأسباب السابقة وبالتالي يمكن إدارة المطالبات بطريقة فعّالة. طوّر[8] نموذج معتمد على تطبيقات التعلّم الآلي للتنبؤ بنتيجة النزاع قبل حصوله حيث قام الباحثون بجمع 141 قضية تحكيم في مشاريع تركيا بين عامي 2005 و2020 وحددوا 16 عامل للمدخلات بناء على المعلومات المستمدة من الدراسات السابقة والحالات التي تم تحليلها. وكانت نتيجة التنبؤ هي من الطرف الذي سيكسب المنازعة (لصالح المقاول، لصالح الإدارة (صاحب العمل)، لصالح المقاول إلى حدٍ ما، بدون قرار حاسم (أو لم يتم البت فيه بشكل واضح). وتم اعتماد 5 أنواع من تطبيقات التعلم الآلي وهي الانحدار اللوجستي، شجرة القرار، K–nearest neighbor (kNN)، Support Vector Machine (SVM)، الغابات العشوائية. أظهرت النتائج أنّ (SVM)أعلى دقة تنبؤ بنسبة 71.65%. يفيد هذا النموذج في توقع نتيجة أي نزاع قضائي في قطاع البناء قبل أن ينتهي فبدلاً من انتظار التحكيم يخبر هذا النموذج بناءً على المعطيات الاحتمال الجهة المرجحة للفوز. اعتبر[9] التنبؤ الدقيق بتكاليف تشييد المباني أمراً حيوياً خاصة في المباني الخضراء لأن عمليات تقديم العطاءات وإرسائها في المباني الخضراء أكثر تعقيداً من تشييد المباني التقليدية. تمّ تصميم نموذج للتنبؤ بالتكاليف الأولية للأبنية الخضراء باستخدام تطبيقات تعلّم الآلة وهي خوارزمية تعزيز التدرج القصوى XGBOOST والشبكة العصبية العميقة(DNN) والغابات العشوائية(RF) . تمّ تجميع بيانات التكلفة الأولية لـ 283 مبنى أخضر حاصل على شهادة LEED. قدم نموذج XGBOOSTأعلى دقة بلغت 0.96 مقارنة بـ 0.91 لنموذجDNN ، يليه نموذج RF بدقة 0.87. سعى[10] إلى معرفة أسباب مطالبات المقاول ومصادر نشوئها وتصنيفها وتحليل المطالبات المقدّمة من قبل المقاول في مشاريع البناء في سورية وذلك عن طريق استبيان. بيّنت النتائج أن معرفة المجيبين المسبقة بالمطالبات بين المعرفة الجيدة والمتوسطة بالإضافة إلى وجود بعض المفاهيم الخاطئة عن مفهوم المطالبات وأسسها وتوثيقها وطرق حلّها. كما أوضحت النتائج أنّ إدارة المطالبات لاتزال جزءاً غير مهم في المشاريع على الرغم من تأثيراتها السلبية على الكلفة والزمن ولا تتم من قبل فريق مختص ومؤهل في هذا الموضوع. ونوّه الباحث أن الضعف الموجود في المشاريع من ناحية إعداد تقارير العمل وتوثيق المراسلات والطلبات ومحاضر الاجتماعات بين المقاول والأطراف الأخرى في المشروع هي من أكثر المعوقات التي تواجه التطبيق الصحيح لإدارة المطالبات في مشاريع التشييد في سوريا.

لم تركز الدراسات السابقة على موضوع اختلاف ترتيب الأسباب بين الكلفة والزمن كما شملت الدراسات السابقة استخدام خوارزميات متعددة من تعلم الآلة للتنبؤ لذلك ركز البحث على دراسة أهمية الأسباب على الزمن والكلفة كلاً على حدا واستخدام نماذج الانحدار للتنبؤ ومقارنتها مع أداء الشبكات العصبونية وبسبب قلة الدراسات السورية التي تناولت موضوع المطالبات كان لابد من دراسة الوضع الراهن ومعرفة أسباب المطالبات في مشاريع البناء واقتراح منهجية للتنبؤ بآثار المطالبات السلبية على المشاريع في سورية. وقد اختيرت خوارزميات:

1- الغابات العشوائية: تعتبر من أقوى خوارزميات التعلم التجميعي حيث تعتمد على بناء مجموعة من أشجار القرار لتقليل التباين وزيادة دقة التنبؤ.

2- التعزيز المتدرج: تكمن قوته في قدرته على تحويل مجموعة من النماذج الضعيفة إلى نموذج تنبؤي قوي جداً من خلال التحسين المتكرر لدالة الخسارة مما يجعلها الخيار الأمثل للبيانات المعقدة التي يصعب نمذجتها بالطرق التقليدية.

3- الشبكات العصبونية الصنعية.

أهمية البحث وأهدافه:

1- يهدف البحث إلى تطوير نماذج تساعد في التنبؤ بتأثير المطالبات على كلفة وزمن المشاريع بالاعتماد على تطبيقات تعليم الآلة (machine learning) والمقارنة بين كفاءة النماذج المختلفة.

2- تأتي أهمية البحث في تسليط الضوء على أهمية تطبيقات الشبكات العصبية ونماذج الانحدار في الحصول على أداة قادرة على التنبؤ بتأثير المطالبات في مراحل مبكرة من مشاريع البناء في سورية مما يساعد أصحاب القرار في إعطاء تصوّر عن التجاوزات المحتملة واتخاذ الإجراءات اللازمة لتخفيف أو تجنب المطالبات وبالتالي تحسين جودة وأداء المشاريع وتقليل الأضرار لدى أطراف التعاقد.

3- طرائق البحث ومواده:

من أجل تحقيق أهداف البحث أُعتمد المنهج الوصفي التحليلي حيث تمّ توصيف وتحديد الأسباب الرئيسية للمطالبات في مشاريع البناء السورية لتطوير نماذج تنبؤية

1- تحديد الأسباب المؤدية إلى المطالبات في مشاريع التشييد السّورية من خلال مراجعة الدّراسات السابّقة ودراسة مجموعة أضابير لمشاريع منفّذة (تضمنت الاطلاع على المراسلات بين الجهة المالكة والمنفّذة لمشاريع: مدرسة جديتي – بناء طابقين في عين شقاق – الفرن الآلي في جبلة – مشروع تنموي في غنيري– مستودع بيتوني للتخزين). تضمّنت المراسلات مطالبات بفروق أسعار ومشاكل حاصلة أثناء التنفيذ أدت لزيادات في الكلفة والزمن وتم الاستفادة من هذه المراسلات بالاطلاع أكثر على واقع المشاريع في سورية. بالإضافة إلى إجراء مقابلات مع 5 مهندسين يملكون خبرة في العمل الهندسي (جميع المهندسين يعملون في شركات التنفيذ بخبرة تجاوزت 15 سنة). استطاع هؤلاء المهندسون شرح آلية العمل في المشاريع وخصوصاً بما يخص المطالبات وكيفية معالجة الأمور حيث شرحوا الأسباب التي تؤدي لمطالبات مالية وزمنية وتم أخذها بعين الاعتبار في الخطوة التالية والتي هي تصميم استبيان لتحديد الأسباب الأكثر تأثيراً على الكلفة والزمن من وجهة نظر المهندسين العاملين في الإشراف والتنفيذ. يبين الجدول 1 الأسباب التي تم اعتمادها في الاستبيان حيث قُسّمت الأسباب في أربع مجموعات رئيسية.

الجدول (1)أسباب المطالبات

أسباب منطقة بالجهة صاحبة المشروع	أعمال إضافية غير واردة في العقد	أسباب منطقة بالجهة المنفذة للمشروع	أخطاء التنفيذ وعيوبه
	تأخر تسليم المخططات للجهة المنفذة		مشاكل مالية (ضعف السيولة المالية للجهة المنفذة للمشروع)
	تأخر صرف الكشوف الشهرية		بطء تنفيذ الأعمال دون سبب مبرر

	تسليم موقع العمل مع وجود عوائق		عدم التقيّد بالمواصفات والشروط الموجودة في وثائق العقد
	تعديلات التصميم أثناء التنفيذ (أوامر التغيير)		تأخر استلام موقع العمل
	أخطاء وإغفالات التصميم		ضعف الموارد المطلوبة في التنفيذ (عمالة – آليات)
	تأخيرات في الردود		اللجوء إلى سعر منخفض للفوز بالعطاء
	تأخر إعطاء ملكية موقع العمل للجهة المنفذة		ضعف أو غياب التنسيق مع الجهة المالكة للمشروع
	تقدير غير دقيق لميزانية المشروع		أخطاء التخطيط لإنجاز الأعمال في الوقت المحدد
	تقدير زمني غير دقيق لإنهاء الأعمال	أسباب متعلقة بوثائق العقد	الاختلاف في الكميات بين واقع التنفيذ والكشف التقديري
	ضعف أو غياب التنسيق مع الجهة المنفذة		التناقض بين وثائق العقد (المخططات والكميات والمواصفات)
	قبول صاحب العرض الأدنى سعراً		عدم وضوح بنود وثائق العقد مما يخلق تفسيرات مختلفة لأحكامه
	تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل العطاء (دراسة جيوتكنيكية)	أسباب خارجية	ارتفاع الأسعار
			ظروف طبيعية غير متوقعة
			ظروف سياسية (الحصار الاقتصادي – قلة المواد أو انقطاعها)

2- دراسة أضابير تنفيذية لمشاريع بناء واستخراج كافة المعلومات التي تخصّ الأسباب والزيادات الحاصلة في المشاريع من كلفة وزمن لتصميم نماذج تنبؤ حيث تمّ الحصول على بيانات من دراسة أضابير 71 مشروع متاح في شركات البناء منفذّ بين عامي 2017 و2023. تضمّنت المشاريع (أبنية سكنية – مستودعات – أبنية استثمارية – مدارس). واقتصرت الدراسة على مشاريع القطاع العام فقط. وسيشكل 71 مشروع عينات التدريب والتحقق في نماذج التنبؤ.

3- معالجة البيانات وإجراء عمليات تقييس لتكون مناسبة لنماذج التنبؤ. لجعل البيانات قابلة للمعالجة بواسطة خوارزميات تعلم الآلة، تم تحويل التقييمات النوعية للعوامل إلى قيم رقمية. الغاية منها تحويلها إلى عدد لكي تتعامل معها نماذج التنبؤ وتمّ اعتماد مقياس خماسي (4-0) كما هو موضح في الجدول (2)، حيث يشير 0 إلى تأثير منخفض جداً لهذا السبب في المشروع و4 يشير إلى تأثير مرتفع جداً. تمّ اللجوء إلى التقييس كون المطالبات في مشاريع البناء السورية قائمة على المراسلات لذلك عند جمع البيانات اللازمة تم التركيز على المشاكل والعراقيل التي ظهرت أثناء التنفيذ ومعرفة كمية الضرر التي سببتها والتعبير عنها برقم حسب مقياس ليكارت لبيان شدة تأثير هذا العامل على زمن وكلفة المشروع المدروس.

الجدول (1) مؤشر الأسباب التي تؤثر على الزمن

منخفض جداً	منخفض	معتدل	مرتفع	مرتفع جداً
0	1	2	3	4

4- تطوير ثلاثة أنواع من نماذج التنبؤ بالاعتماد على الشبكات العصبونية الاصطناعية ونماذج الانحدار:

- ✓ الشبكة العصبونية متعددة الطبقات Multi-Layer Perceptron.
- ✓ نموذج الغابة العشوائية Random Forest.
- ✓ نموذج التعزيز المتدرج Gradient Boosting

تم اختيار الشبكات العصبونية الصنعية لاستخدامها في الدراسات السابقة ومقارنتها مع نموذجي انحدار. ويوجد العديد من نماذج الانحدار حيث اختيرت الغابات العشوائية والتعزيز المتدرج كونهما الأكثر شيوعاً

5- استخدام النماذج الأفضل لتصميم أداة للتنبؤ بالكلفة والزمن الإضافيين

تمّ فصل النموذج الخاص بالتنبؤ بالزمن الإضافي الناتج عن المطالبات عن النموذج الخاص بالتنبؤ بالتكاليف الإضافية. ولضمان تقييم موضوعي لأداء النماذج، تم تقسيم مجموعة البيانات الإجمالية إلى مجموعتين:

- مجموعة التدريب 80% (Training Set) من البيانات، وتُستخدم لتدريب النماذج وتعلم الأنماط.
- مجموعة الاختبار 20% (Test Set) من البيانات، وتُستخدم لاختبار قدرة النموذج على التنبؤ ببيانات جديدة لم يرها من قبل.

4- النتائج والمناقشة:

4-1 أسباب المطالبات:

تمّ توزيع الاستبيان على 115 مهندس في مجالي الإشراف والتنفيذ واسترداد 100 استبيان. حدّد المهندسون درجة أهمية كل سبب للمطالبة من وجهة نظره وعمله في المشاريع على الكلفة والزمن. وتم تجميع الإجابات وحساب مؤشر الأهمية النسبية (RII) الذي سيفيد لاحقاً في تحديد الأسباب التي ستشكل مدخلات نماذج التنبؤ. وتم تحليل النتائج باستخدام برنامج SPSS وقد لوحظ من الإجابات وجود اختلافات في الترتيب بين الأسباب التي تؤثر على الوقت والأسباب التي تؤثر على التكلفة. وتشير النتائج إلى أن أهم الأسباب المؤثرة على التكلفة، وفقًا لمؤشر الأهمية النسبية (RII) هي: التضخم (ارتفاع الأسعار) بقيمة RII تساوي 0.98، يليه: تأخر صرف الكشوف الشهرية، والأعمال الإضافية غير المشمولة في العقد، والاختلاف في الكميات، ونقص المواد، تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل تقديم العطاء، وبطء أداء المقاول دون عذر مقبول. ويوضح الجدول 2 ترتيب الأسباب المؤثرة على الكلفة.

الجدول (3) الأهمّية النسبّية لتأثير أسباب المطالبات على كلفة المشاريع

السبب	RII	درجة التأثير	الترتيب	السبب	RII	درجة التأثير	الترتيب
ارتفاع الأسعار	98	H	1	أخطاء التنفيذ وعيوبه	45	M	15
تأخر صرف الكشوف الشهرية	96.2	H	2	مشاكل مالية	41.2	M	16
أعمال اضافية غير واردة في الكشف	89.2	H	3	أخطاء التخطيط لإنجاز الأعمال في الوقت المحدد	36.8	M-L	17
الاختلاف في الكميات بين واقع التنفيذ والكشف التقديري	88	H	4	تسليم موقع العمل مع وجود عوائق	35.6	M-L	18
ظروف سياسية (الحصار الاقتصادي– قلة في المواد أو انقطاعها	85	H	5	ضعف الموارد المطلوبة في التنفيذ (عمالة – الات)	33	M-L	19
تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل العطاء	83.8	H	6	تأخر تسليم المخططات المعدلة للجهة المنفذة	31	M-L	20
بطء في تنفيذ الأعمال دون سبب مبرر	81	H	7	تقدير غير دقيق لميزانية المشروع	29.2	M-L	21
تعديلات التصميم أثناء التنفيذ	79	H-M	8	ضعف أو غياب التنسيق مع الجهة المنفذة	26.4	M-L	22
أخطاء وإغفالات التصميم	78	H-M	9	تأخيرات في الردود	25.4	M-L	23
التناقض بين وثائق العقد (المخططات والكميات والمواصفات)	71	H-M	10	تأخر استلام موقع العمل	25.2	M-L	24
ظروف طبيعية غير متوقعة	65.6	H-M	11	تأخر إعطاء ملكية موقع العمل للجهة المنفذة	24.8	M-L	25
قبول صاحب العرض الأدنى	62.4	H-M	12	ضعف أو غياب التنسيق والتعاون مع الجهة المالكة	24.6	M-L	26
اللجوء إلى اعتماد سعر منخفض للفوز بالعطاء	58.8	M	13	تقدير زمني غير دقيق لإنهاء الأعمال	22.4	M-L	27
عدم التقيد بالمواصفات والشروط الموجودة في وثائق العقد	46	M	14	عدم وضوح بنود وثائق العقد مما يخلق تفسيرات مختلفة لأحكامه	21.8	M-L	28

أما الأسباب الأكثر أهمية التي تؤثر بشكل كبير على الوقت فهي: تأخر الدفع للمقاول (RII=0.95)، يليه نقص المواد، والظروف الطبيعية غير المتوقعة، وبطء أداء المقاول دون عذر مقبول، وعدم كفاية التحقيق قبل تقديم العطاء، وأخطاء أو وإغفالات التصميم، وأوامر التغيير (تعديل التصميم أثناء التنفيذ). من النتائج السابقة، يُلاحظ أن التضخم يؤثر بشكل أكبر على التكلفة، حيث يُعتبر السبب الأول (RII=0.98)، بينما احتل المرتبة السادسة عشرة (RII=0.422) من حيث أهميته على الوقت. أما "الغموض في وثائق العقد" فله أقل تأثير على الوقت والتكلفة، حيث بلغت نسبة تأثيره على التكلفة 21.8%، وعلى الوقت 23.4%. ووفقًا لمقابلات مع خبراء، فإن وجود هذا السبب نادر، ويجب على طرفي العقد قراءة وثائقه بعناية قبل التوقيع. إن الاختلافات في ترتيب الأسباب يؤثر بدوره في تحديد مدخلات النماذج التنبؤية وبالتالي فإن المدخلات في نموذج الزمن تختلف عن المدخلات في نموذج الكلفة. يوضّح الجدول 3 ترتيب الأسباب المؤثرة على الزمن.

الجدول (4) الأهمّية النسبّية لتأثير أسباب المطالبات على زمن المشاريع.

السبب	RII	درجة التأثير	الترتيب	السبب	RII	درجة التأثير	الترتيب
تأخر صرف الكشوف الشهرية	95	H	1	تسليم موقع العمل مع وجود عوائق	54.6	M	14
ظروف سياسية (الحصار الاقتصادي– قلة في المواد أو انقطاعها	92	H	2	أخطاء التخطيط لإنجاز الأعمال في الوقت المحدد	46	M	15
ظروف طبيعية غير متوقعة	90.6	H	3	التناقض بين وثائق العقد (المخططات والكميات والمواصفات)	43.2	M	16
بطء في تنفيذ الأعمال دون سبب مبرر	88.8	H	4	ارتفاع الأسعار	42.4	M	17
تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل العطاء	87.6	H	5	عدم التقيد بالمواصفات والشروط الموجودة في وثائق العقد	39.2	M-L	18
أخطاء وإغفالات التصميم	84.6	H	6	ضعف أو غياب التنسيق مع الجهة المنفذة	31.2	M-L	19
تعديلات التصميم أثناء التنفيذ	82.4	H	7	ضعف الموارد المطلوبة في التنفيذ (عمالة – اليات)	30	M-L	20
أعمال اضافية غير واردة في الكشف	79.8	H-M	8	تقدير زمني غير دقيق لإنهاء الأعمال	29.8	M-L	21
مشاكل مالية	74	H-M	9	تأخر إعطاء ملكية موقع العمل للجهة المنفذة	28	M-L	22
قبول صاحب العرض الأدنى	72.6	H-M	10	ضعف أو غياب التنسيق والتعاون مع الجهة المالكة	27.2	M-L	23
الاختلاف في الكميات بين واقع التنفيذ والكشف التقديري	69.2	H-M	11	تأخر استلام موقع العمل	26.4	M-L	24
اللجوء إلى اعتماد سعر منخفض للفوز بالعطاء	58.5	M	12	تأخيرات في الردود	25.4	M-L	25
أخطاء التنفيذ وعيوبه	57	M	13	عدم وضوح بنود وثائق العقد مما يخلق تفسيرات مختلفة لأحكامه	23.4	M-L	26
تأخر تسليم المخططات المعدلة للجهة المنفذة	54.6	M	14	تقدير غير دقيق لميزانية المشروع	22	M-L	27

4-2 نماذج التنبؤ:

استخدم لغة البايثون وتم التعامل مع بيئة الجوبيتير لإنشاء أكواد التدريب والقيام بعملية التدريب. كانت مدخلات النماذج في هذه الدراسة الأسباب التّي ذات التأثير العالي والتي يزيد مؤشر الأهمية النسبية فيها عن 60%باعتبار أن درجة الأهمية للعوامل التي تحقق هذه النسبة وما فوق تشكل أهمية (متوسطة–عالية، عالية) [11] . حيث

اعتبرت الدراسات أن كل العوامل التي يكون مؤشر الأهمية النسبية فيها أعلى من 60% مهمة مما يجعلها مدخلات صالحة للتحليل التنبؤي. والمخرجات بالنسبة لنماذج التنبؤ بالزمن الإضافي كان في "الزيادة على مدة المشروع مقدّرة بالأيام وبالنسبة لنماذج الكلفة كان المخرج هو نسبة تجاوز الكلفة (الكلفة الإضافية) الناتجة عن المطالبات Cost Overrun Percentage وهو متغير مستمر. تمّ اعتماد النسبة المئوية بسبب التفاوت في قيم المشاريع المدروسة خلال سنوات الدراسة لذلك اعتمد على حساب نسبة الزيادة في الكلفة الناتجة عن المطالبات لضمان كفاءة التنبؤ حيث تنتج نسبة الزيادة في الكلفة من قسمة الزيادة في الكلفة على الكلفة الأولية للمشروع. ويبين الجدول (5) مدخلات ومخرجات نماذج التنبؤ بالكلفة والزمن كل على حدى. وقد تم تحويل بيانات 71 مشروع بعد دراسة إضبارة كل منها إلى قيم عددية من 0 حتى 4 حيث تم استخراج كل العوامل التي أدّت إلى المطالبات في كل مشروع وتقدير تأثيرها على الكلفة والزمن من خلال المراسلات والكتب الحاصلة بين الجهة المالكة والمنفذّة للمشروع.

الجدول (5) العوامل المؤثرة على تجاوز الكلفة والزمن (مدخلات ومخرجات النموذج)

الرمز	العامل المؤثر على الكلفة	نوعه	الرمز	العامل المؤثر على الزمن	نوعه
X1	ارتفاع الأسعار	مدخل	X1	تأخر صرف الكشوف الشهرية	مدخل
X2	تأخر صرف الكشوف الشهرية	مدخل	X2	ظروف سياسية (الحصار الاقتصادي– قلة في المواد أو انقطاعها)	مدخل
X3	أعمال إضافية غير واردة في الكشف	مدخل	X3	ظروف طبيعية غير متوقعة	مدخل
X4	التغييرات في الكميات	مدخل	X4	بطء في تنفيذ الأعمال دون سبب مبرر	مدخل
X5	ظروف سياسية (حصار اقتصادي – غياب أو نقص المواد)	مدخل	X5	تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل العطاء	مدخل
X6	تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل العطاء	مدخل	X6	أخطاء وإغفالات التصميم	مدخل
X7	بطء تنفيذ الأعمال دون سبب مبرر	مدخل	X7	تعديلات التصميم أثناء التنفيذ	مدخل
X8	تعديلات التصميم أثناء التنفيذ	مدخل	X8	أعمال اضافية غير واردة في الكشف	مدخل
X9	أخطاء وإغفالات التصميم	مدخل	X9	مشاكل مالية	مدخل
X10	عدم الاتساق بين المخططات والمواصفات	مدخل	X10	قبول صاحب العرض الأدنى	مدخل
X11	ظروف طبيعية غير متوقعة	مدخل	X11	تغييرات في الكميات	مدخل
X12	قبول صاحب العرض الأدنى	مدخل	Y	"الزيادة على مدة المشروع مقدّرة بالأيام	مخرج
Y	نسبة الزيادة في الكلفة الناتجة عن المطالبات	مخرج	X1	تأخر صرف الكشوف الشهرية	مدخل

4-2-1 نماذج التنبؤ بالزمن الإضافي

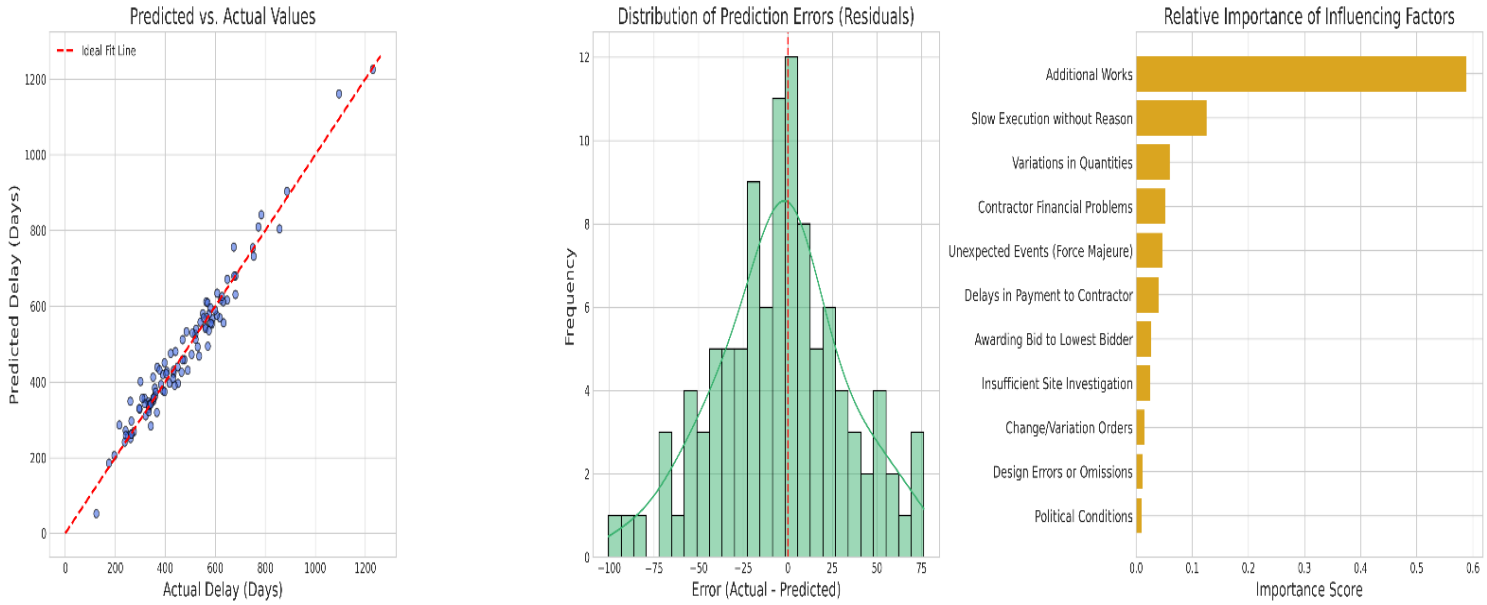
تمّ تدريب النماذج للتنبؤ بقيمة التأخير الزمني (بالأيام) بناءً على مجموعة من العوامل المؤثرة التي تم تحديدها مسبقًا.

يقدم الجدول (6) ملخصاً لمقاييس الأداء الرئيسية للنماذج الثلاثة في مهمة التنبؤ بالتأخير الزمني. توفر هذه المقاييس أساساً كمياً لمقارنة دقة وموثوقية كل نموذج.

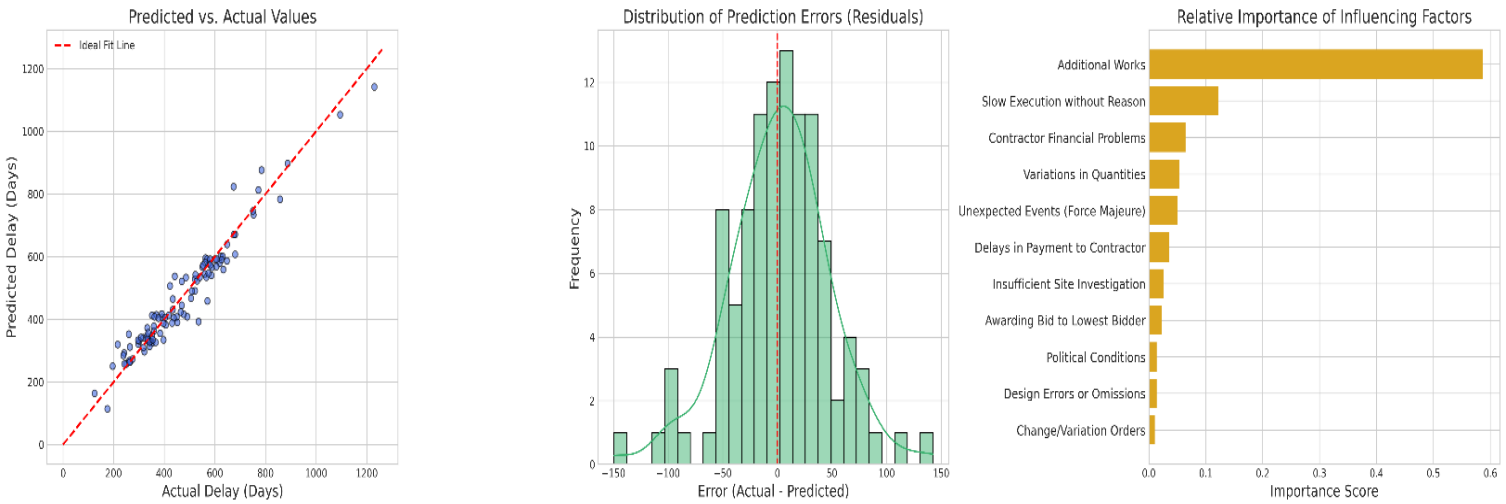
الجدول(6) مقارنة أداء نماذج التنبؤ بالتأخير الزمني

الخوارزمية(Algorithm)	معامل التحديد(R^2)	الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ(RMSE)	متوسط نسبة الخطأ المطلقة المئوية(MAPE)
Gradient Boosting	0.9607	36.29	6.92%
Random Forest	0.9380	45.59	8.41%
Artificial Neural Network	0.8369	73.96	12.86%

ولتعميق فهم أداء النماذج، تم إنشاء مجموعة من المخططات البيانية لكل منها. يُظهر الشكل (1) نتائج تحليل أداء نموذج التعزيز المتدرج (Gradient Boosting)، بينما يُظهر الشكل (2) نتائج نموذج الغابات العشوائية (Random Forest).



الشكل (1) مخططات تحليل أداء نموذج Gradient Boosting للتنبؤ بالتأخير الزمني



الشكل (2) مخططات تحليل أداء نموذج Random Forest للتنبؤ بالتأخير الزمني

تتضمن هذه المخططات تحليلاً مرئياً لثلاثة جوانب رئيسية:

- مخطط القيم المتوقعة مقابل الفعلية (يسار): يُظهر مدى تقارب النقاط (التي تمثل المشاريع في عينة الاختبار) من الخط المرجعي الأحمر (الذي يمثل التطابق التام).
- مخطط توزيع الأخطاء (وسط): يوضح توزيع الأخطاء (Residuals). التوزيع المثالي يكون متمركزاً حول الصفر ويشبه التوزيع الطبيعي.
- مخطط أهمية العوامل (يمين): يحدد العوامل الأكثر تأثيراً في التنبؤ بالتأخير

من خلال تحليل الجدول (7) والمخططات البيانية يتضح تفوق نموذج التعزيز المتدرج Gradient Boosting بشكل جلي. لقد حقق هذا النموذج أعلى قيمة لمعامل التحديد R^2 حيث بلغت 0.9607، مما يعني أن النموذج قادر على تفسير ما يزيد عن 96% من التباين في بيانات التأخير. وبالتوازي، سجّل النموذج أقل قيمة لمتوسط الخطأ RMSE بمقدار 36.29يوماً، وأقل نسبة انحراف مئوي MAPE بلغت 6.92%. هذه المؤشرات مجتمعة تجعله النموذج الأكثر دقة وموثوقية لهذه المهمة. يتأكد هذا التفوق بيانياً في الشكل (1)، حيث يُظهر مخطط "القيم المتوقعة مقابل الفعلية" تقارباً كبيراً للنقاط من الخط المرجعي، كما أن "توزيع الأخطاء" متمركز بشكل جيد حول الصفر. يأتي نموذج الغابات العشوائية Random Forest في المرتبة الثانية بأداء قوي ومنافس، مسجلاً R^2 بقيمة 0.9380. وكما يظهر في الشكل (2)، على الرغم من أدائه القوي، يمكن ملاحظة تشتت أكبر قليلاً للنقاط حول الخط المرجعي مقارنة بنموذج Gradient Boosting، وهو ما يفسر قيمة RMSE الأعلى التي سجلها (49.59). بينما أظهرت الشبكة العصبونية Artificial Neural Network أداءً مقبولاً (R^2 = 0.8369) ولكنه الأقل دقة بين النماذج المختارة، وبفارق ملحوظ في مقاييس الخطأ (RMSE = 73.96)، وقد يعود ذلك إلى حاجتها لكميات بيانات أكبر بكثير لتعلّم الأنماط المعقدة بفاعلية. وبالاعتماد على مخرجات النموذج الأفضل أداءً (Gradient Boosting) والذي يظهر في مخطط أهمية العوامل ضمن الشكل (1)، تم تحديد الدوافع الرئيسية للتأخير الزمني في المشاريع الإنشائية وترتيبها تنازلياً:

1. في المرتبة الأولى :تصدّر عامل "الأعمال الإضافية (Additional Works) "القائمة باعتباره العامل الأكثر تأثيراً بفارق كبير جداً (حيث تجاوزت أهميته النسبية 0.5). هذا يشير بوضوح إلى أن السبب الجذري الرئيسي للتأخير في هذه المشاريع هو التغييرات التي تطرأ على نطاق المشروع وإضافة بنود جديدة لم تكن ملحوظة في العقد الأصلي.
2. في المرتبة الثانية :جاء عامل "بطء التنفيذ دون مبرر .(Slow Execution without Reason) "وهذا العامل يعكس ضعفاً في الإدارة التشغيلية للموقع من قبل المقاول أو نقصاً في كفاءة الطواقم التنفيذية، مما يؤدي إلى تباطؤ وتيرة العمل مقارنة بالجدول الزمني المخطط.
3. في المرتبة الثالثة :ظهر عامل "الاختلاف في الكميات(Variations in Quantities) " وهو ما يدل على عدم دقة جداول الكميات التقديرية الأولية أثناء مرحلة الدراسة مما يسبب فروقات زمنية عند الاصطدام بالكميات الواقعية أثناء التنفيذ.
4. في المرتبة الرابعة :حلّ عامل "المشاكل المالية للمقاول(Contractor Financial Problems) "، ليؤكد أن ضعف السيولة المالية لدى المقاول يلعب دوراً مهماً – وإن كان أقل من العوامل السابقة– في تأخير توريد المواد ودفع المستحقات وبالتالي تأخير الإنجاز.

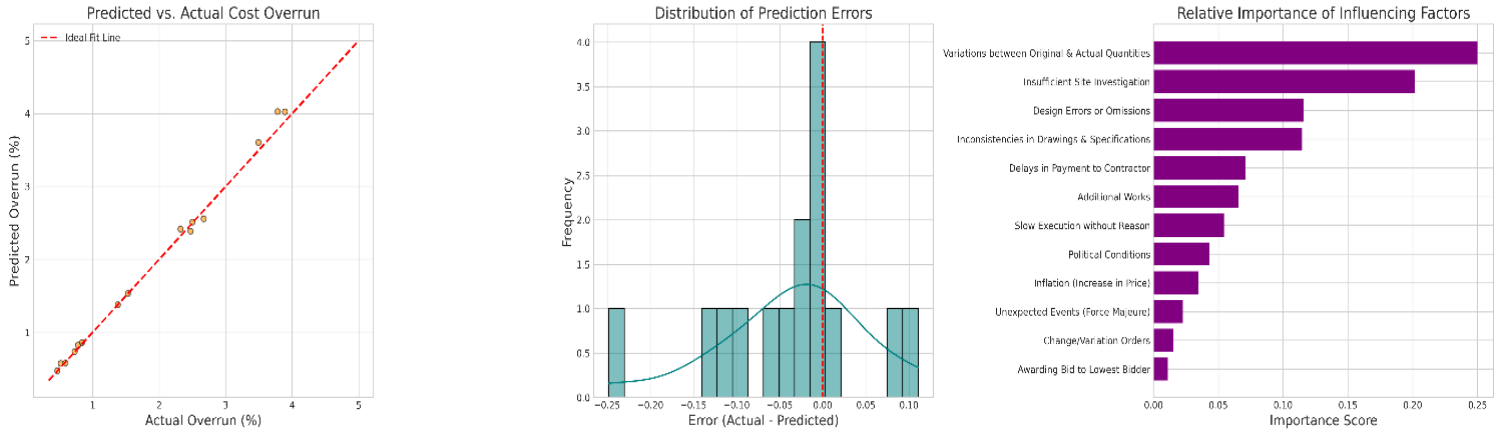
4-2-2 نماذج التنبؤ بالكلفة الإضافية:

في هذا الجزء، تم استخدام نفس النماذج للتنبؤ بنسبة الزيادة المئوية في كلفة المشروع والناتجة عن المطالبات. يقدم الجدول (7) ملخصاً لأداء النماذج في مهمة التنبؤ بتجاوز الكلفة

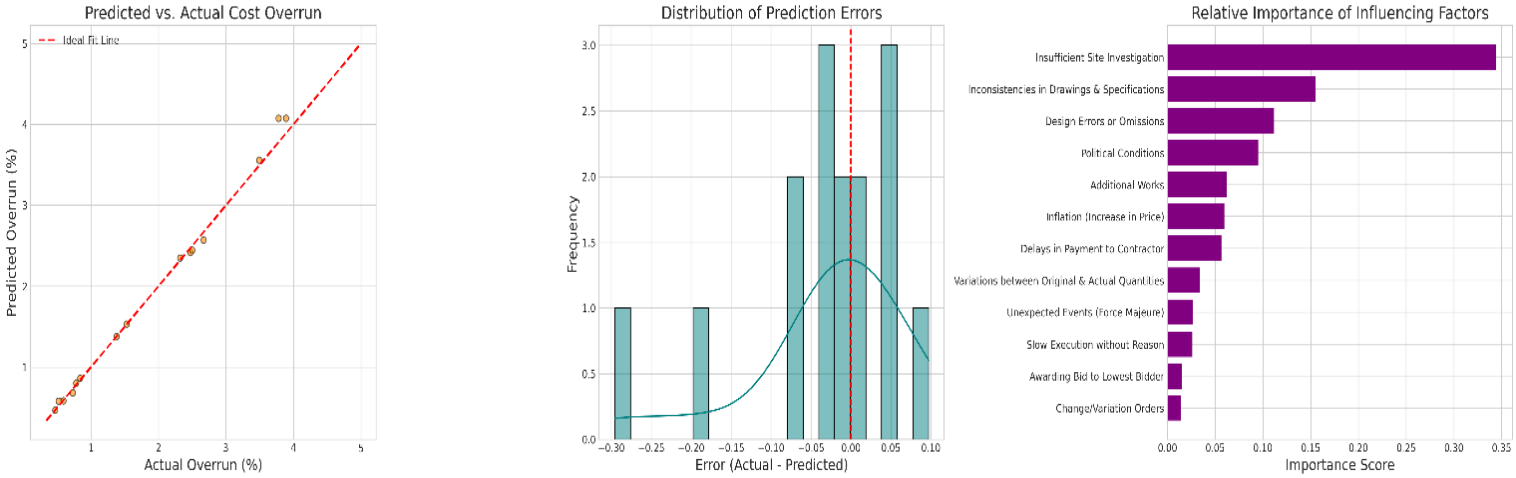
الجدول (7) مقارنة أداء نماذج التنبؤ بتجاوز الكلفة

الخوارزمية(Algorithm)	معامل التحديد(R^2)	الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ(RMSE)	(MAPE)
Random Forest	**0.9940**	**0.0922**	**3.27%**
Gradient Boosting	**0.9929**	**0.1001**	**3.26%**
Artificial Neural Network	**0.9731**	**0.1954**	**11.00%**

يوضح الشكل (3) نتائج تحليل أداء نموذج الغابات العشوائية (Random Forest) الذي حقق أفضل أداء عام، بينما يوضح الشكل (4) أداء نموذج التعزيز المتدرج (Gradient Boosting) المنافس له



الشكل (3) مخططات تحليل أداء نموذج Random Forest لتجاوز الكلفة



الشكل (4) مخططات تحليل أداء نموذج Gradient Boosting لتجاوز الكلف

تُظهر النتائج في الجدول (8) أداءً استثنائياً ودقة عالية جداً لنموذجي الغابات العشوائية Random Forest والتعزيز المتدرج Gradient Boosting كلاهما حقق معامل تحديد R^2 يقترب من 0.99، مما يعني قدرتهما على تفسير حوالي 99% من التباين في بيانات تجاوز الكلفة.

يمكن اعتبار نموذج Random Forest هو الأفضل بفارق طفيف جداً حيث سجل أعلى قيمة (R^2 (0.9940 وأقل قيمة(RMSE (0.0922 . يتضح هذا الأداء شبه المثالي في الشكل (3)، حيث يُظهر مخطط" القيم المتوقعة مقابل الفعلية "(يسار) تطابقاً شبه تام بين القيم المتوقعة والفعلية، والتصاق النقاط بالخط المرجعي. كما أن" توزيع الأخطاء "(وسط) يتركز في نطاق ضيق جداً حول الصفر. أظهر نموذج Gradient Boosting أداءً مشابهاً جداً كما في الشكل (4)، مما يجعله خياراً ممتازاً أيضاً مع تحقيقه لأقل قيمة MAPE بفارق طفيف (3.26%). على النقيض، ورغم أن أداء الشبكة العصبونية Artificial Neural Network كان جيداً جداً(R^2 = 0.9731) ، إلا أن متوسط نسبة الخطأ المطلقة MAPE كان مرتفعاً بشكل ملحوظ (11.00%)، مما يجعله الخيار الأقل تفضيلاً لهذه المهمة.

استخدام مخطط الأهمية النسبية للعوامل من نموذج Random Forest (الأفضل أداءً) كما هو موضح في الشكل (3) يمين، تمَ تحديد الأسباب الجذرية لتجاوز الكلفة وترتيبها كما يلي:

1. في المرتبة الأولى :تصدّر عامل "الاختلاف في الكميات (Variations between Original & Actual Quantities)" القائمة باعتباره العامل الأكثر حسماً وتأثيراً. وهذا يعكس مشكلة جوهرية في دقة جداول الكميات التقديرية (Bill of Quantities) المعدّة قبل البدء بالمشروع، حيث يؤدي اكتشاف الكميات الحقيقية أثناء التنفيذ إلى قفزات كبيرة في التكلفة النهائية.
2. في المرتبة الثانية :جاء عامل "تحريات غير دقيقة لموقع العمل .(Insufficient Site Investigation) " وهذا يشير إلى ظهور مفاجآت في الموقع (مثل نوعية التربة أو المياه الجوفية) لم يتم رصدها بدقة في مرحلة الدراسة، مما استدعى تكاليف إضافية للمعالجة.
3. في المرتبة الثالثة :حلّ عامل "أخطاء وإغفالات التصميم(Design Errors or Omissions) "، حيث تسببت النواقص أو الأخطاء في المخططات في الحاجة إلى إعادة تنفيذ بعض الأعمال أو تعديلها بتكلفة إضافية.
4. في المرتبة الرابعة :ظهر عامل "التناقض بين وثائق العقد (Inconsistencies in Drawings & Specifications)، مما يؤكد أن الغموض أو التعارض بين المخططات والمواصفات يؤدي إلى مطالبات مالية وهدر في الموارد.

4-3 تصميم برنامج التنبؤ:

بعد اعتماد النموذجين الأفضل للتنبؤ بالكلفة والزمن الذي تم الحصول عليهما من كود التدريب والذي يدعى كود جوبيتر في بيئة بايثون والذي يحوي التعليمات وخرجها. تم حفظ النماذج المدربة الأفضل في ملفات منفصلة (ملفات بيكل) (.pkl) وهي صيغة ملفات خاصة بلغة بايثون تستخدم لتسلسل (Serialization) كائنات بايثون وتحويلها إلى تدفق بايتات (Byte Stream) لتخزينها أو نقلها، ثم إعادة تحويلها (Deserialization) إلى كائنات حقيقية مرة أخرى .تُعد مثالية لحفظ نماذج تعلم الآلة. تظهر واجهة المستخدم التي تقوم بتحميل ملفات بيكل التي تحتوي النماذج المدربة (الأسباب الأكثر تأثيراً فقط والتي تمّ اعتمادها في النماذج) ويمكن الاستفادة من البرنامج في الحصول على تنبؤ بالقيم الإضافية التي سوف تواجهها مشاريع جديدة غير منفذة مما يساهم في تجنب أو تخفيف

المطالبات. يقوم المستخدم بإدخال قيم من 0 حتى 4. تمثل هذه القيم درجة تأثير السبب على كلفة وزمن المشاريع حيث يمثل 0 تأثير منخفض جداً و1 تأثير منخفض و2 تأثير معتدل و3 تأثير مرتفع و4 تأثير مرتفع جداً. وسيكون المخرج هو قيمة الزمن الإضافي ونسبة الزيادة في الكلفة الناتجين عن المطالبات. يستطيع المستخدم استعمال هذه الأداة في دعم اتخاذ القرار وإدراك الزمن والتكاليف الإضافيين في:

1. مرحلة ما قبل العطاء حيث يمكن اعتبارها كأداة لتقدير المطالبات والمخاطر المحتملة بناء على الخبرة السابقة في المشاريع حيث تستخدم لإعطاء تصوّر عن التجاوزات المحتملة وتعديل سعر العطاء أو مدة المشروع ليشمل التكاليف المتوقعة للمطالبات والزمن الإضافي المحتمل.
2. مرحلة التنفيذ: تعمل كأداة لإدارة الموقع وتنبيه عن التجاوزات المحتملة والناتجة عن عدة أسباب وتمكّن أصحاب القرار من ترتيب أولوية معالجة الأسباب بناء على حجم تأثيرها على الكلفة والزمن ودعم اتخاذ قرارات تصحيحية.

يوضح الشكل (5) واجهة البرنامج التي تم الحصول عليها من عينة لمشروع منفّذ تم اختيارها للتأكد من النموذج. تمثل الواجهة مدخلات النموذج التي تم إدخالها بناء على إضبارة مشروع مجمع تجاري حيث تم استخلاص المشاكل التي واجهت تنفيذ المشروع وتقدير تأثيرها على الكلفة والزمن. حيث كانت قيمة العقد 60000000 ليرة سورية وقيمة الزيادات الناتجة عن المطالبات 48360745 ليرة بنسبة زيادة 0.81 وتأخير مدته 275 يوم

الشكل (5) واجهة البرنامج التي تم الحصول عليها

نلاحظ من الشكل السابق أن قيمة التأخير الناتجة عن البرنامج تساوي تقريباً 283 يوما بفارق ثماني أيام عن القيمة الفعلية ونسبة التجاوز في الكلفة 0.8 وهي قريبة جداً من النسبة الفعلية.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 الاستنتاجات:

- قدّم البحث نموذج يسهّل على صناع القرار التنبؤ بتأثيرات المطالبات في المراحل الأولية للمشروع ويعطي تصور عن التجاوزات المحتملة والممكنة للمطالبات على كلفة وزمن المشاريع. إن إدراك التأثيرات المحتملة خلال مراحل التصميم يساعد على تقليل الأسباب المؤدية لتقديم مطالبة بالتعويض المالي والزمني وبالتالي السعي لتجنبها أو التخفيف منها بالإضافة إلى تقليل الخلافات أو المنازعات بين طرفي العقد خلال تنفيذ المشروع.
- أظهر نتائج البحث أن استخدام تطبيقات الانحدار أكثر فعالية للتنبؤ في حال عدد العينات المستخدمة في التدريب قليل.
- اعتبر عامل منح العطاء للمتقدم الأقل سعراً من العوامل المهمة جداً وذو تأثير عالي على الكلفة RII= 62.4% والزمن 72.6% مما يعني أن اعتماد طريقة المناقصة أحياناً تكون سبب للمطالبات حيث أن بعض شركات التنفيذ كانت تقلل السعر بشكل كبير لكسب المشروع وبالتالي ظهور مشاكل أثناء التنفيذ.
- لوحظ أيضاً أن الأسباب الأكثر أهمية والمؤثرة فعلياً على الزمن اختلفت عن نتائج الاستبيان ويعود ذلك بأن نماذج التنبؤ معتمدة على البيانات الحقيقة من المشاريع بينما الاستبيان وضح وجهة نظر المستبينين حيث بيّن النموذج الأفضل بيّن أن عامل "الأعمال الإضافية (Additional Works) "اعتبر العامل الأكثر تأثيراً بفارق كبير جداً (حيث تجاوزت أهميته النسبية 0.5). هذا يشير بوضوح إلى أن السبب الجذري الرئيسي للمطالبات في هذه المشاريع هو التغييرات التي تطرأ على نطاق المشروع وإضافة بنود جديدة لم تكن ملحوظة في العقد الأصلي. بينما السبب الثاني كان بطء تنفيذ الأعمال دون سبب مبرر بأهمية تقدر ب 0.12 وبقية الأسباب لها أهمية لكن بدرجة أهمية أقل من 0.1.
- اختلفت الأسباب أيضاً من نموذج إلى أخر. يُعزى سبب الاختلاف إلى أن كل نموذج هو بنية تعلم مختلفة حيث تعمل كل منها بمنطق خاص بالطريقة وطالما اختلف كل نموذج عن الآخر فهذا دليل على اختلاف المعامل الأكثر أهمية. حيث اعتبر النموذج الأفضل الثاني (Random Forest) أن الأعمال الإضافية هو السبب المؤثر على الزمن بأهمية تصل تقريباً ل 0.6 يليها أيضاً كان بطء تنفيذ الأعمال دون سبب مبرر واعتبر أن أوامر التغيير ذو أهمية قليلة بالنسبة للزمن.
- اختلفت الأسباب الأكثر أهمية والمؤثرة فعلياً على الكلفة عن نتائج الاستبيان حيث أظهر النموذج الأفضل (Random Forest) أن التغييرات في الكميات هي السبب الأهم بأهمية تقريبية 0.25 يليها تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل العطاء بأهمية 0.2. اعتبر منح العطاء للمتقدم الأقل سعراً هو العامل الأقل أهمية ويعود السبب أن معظم المشاريع التي تمت دراستها في نماذج التنبؤ كانت تعتمد على طريقة التعاقد بالتراضي.
- لوحظ أيضاً أن الأسباب اختلفت من نموذج إلى أخر. حيث اعتبر النموذج الأفضل الثاني Gradient Boosting أن تحريات غير دقيقة لموقع العمل قبل العطاء بأهمية تقريباً 0.35 يليه عدم الاتساق بين المخططات والمواصفات بأهمية تجاوزت 0.15 وتلاحظ أن أوامر التغيير ومنح العطاء للمتقدم الأقل سعراً جاءت في العوامل الأقل تأثيراً.

5-2 التوصيات:

توصي الدراسات المستقبلية في مجال مطالبات مشاريع التشييد بدراسة أنواع أخرى من المشاريع كمشاريع الطرق لمعرفة أسباب المطالبات والتركيز على دمج الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML) للتنبؤ بالمطالبات قبل حدوثها، واستخدام نمذجة معلومات البناء (BIM) لتوثيق الأسباب بما أن الاتجاه الحديث للهندسة قائم على تطبيقات نمذجة معلومات البناء بالإضافة إلى تطوير نماذج قائمة على البيانات لتحليل سجلات المشاريع السابقة بهدف تعزيز الإدارة الاستباقية وتقليل النزاعات.

References:

[1] E. K. Zaneldin, "Investigating the types, Causes and Severity of Claims in Construction Projects in the UAE," *International Journal of Construction Management*, vol. 20, no. 5, pp. 1–17, Oct. 2018.

[2] Y. M. Al Malki and M. S. Alam, "Construction claims, their types and causes in the private construction industry in the Kingdom of Bahrain," *Asian Journal of Civil Engineering*, Nov. 2020.

[3] M. Taha Al Qershi, "Leading Factors Contributing to the Generation of Claims in Indian Construction Industry-Consultant's Perception," *Civil Engineering Research Journal*, vol. 4, no. 4, Apr. 2018.

[4] S. Assaf, M. A. Hassanain, A. Abdallah, A. M. Z. Sayed, and A. Alshahrani, "Significant causes of claims and disputes in construction projects in Saudi Arabia," *Built Environment Project and Asset Management*, vol. 9, no. 5, pp. 597–615, Nov. 2019.

[5] O. A. Hosny, M. M. G. Elbarkouky, and A. Elhakeem, "Construction Claims Prediction and Decision Awareness Framework using Artificial Neural Networks and Backward Optimization," *Journal of Construction Engineering and Project Management*, vol. 5, no. 1, pp. 11–19, Mar. 2015.

[6] M. T. Alqershy and R. Kishore, "Construction claims prediction using ANN models: a case study of the Indian construction industry," *International Journal of Construction Management*, pp. 1–12, Aug. 2021.

[7] V. Yousefi, S. H. Yakhchali, M. Khanzadi, E. Mehrabanfar, and J. Šaparauskas, "Proposing a neural network model to predict time and cost claims in construction projects," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 22, no. 7, pp. 967–978, 2016.

[8] B. Un, E. Erdis, S. Aydınlı, O. Genc, and O. Alboga, "Forecasting the outcomes of construction contract disputes using machine learning techniques," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 32, no. 10, pp. 6421-6444, 2025.

[9] O. Alshboul, A. Shehadeh, G. Almasabha, and A. S. Almuflih, "Extreme gradient boosting-based machine learning approach for green building cost prediction," *Sustainability*, vol. 14, no. 11, p. 6651, 2022.

[9] H. Hamza, "Presentation and Analysis of Contractor Claims in Engineering Construction Projects", Master's Thesis, Faculty of Civil Engineering, Damascus University (In Arabic), Damascus, Syria, 2014.

[10] S. Gupta and P. Sharma, "Artificial Intelligence and Ethics," *SSRN Electronic Journal*.

[11] L. Muhwezi, J. Acai, and G. Otim, "An assessment of the factors causing delays on building construction projects in Uganda," *International Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 3, no. 1, pp. 13-23, 2014

[12] Mbeledogu Njideka Nkemdilim, P. R. Uzoamaka, U. Daniel, and Mbeledogu Kaodilichukwu Chidi, "An Overview of Supervised Machine Learning Paradigms and their Classifiers," *International Journal of Advanced engineering Management and Science*, vol. 10, no. 3, pp. 24–32, Jan. 2024.

[13] M. M. Rodríguez del Águila and N. Benítez-Parejo, "Simple linear and multivariate regression models," *Allergologia et Immunopathologia*, vol. 39, no. 3, pp. 159–173, May 2011.

[14] P. Probst, M. N. Wright, and A. Boulesteix, "Hyperparameters and tuning strategies for random forest," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 9, no. 3, Jan. 2019.