Developing a Methodology for Analyzing the Risks of Bridge Construction Projects in Syria

Dr. Fayez Jrad[*]
Dr. Rana Maya[**]
Hussien salim[***]

(Received 16 / 7 / 2024. Accepted 7 / 8 / 2024)

□ ABSTRACT □

The issue of risk management for bridge construction projects has been the main concern of many studies around the world, as a result of the great importance of these projects, in addition to the possible impact that these projects may be exposed to due to risks in terms of cost, time, and quality. Therefore, the research aims to develop a methodology to analyze the risks of bridge construction projects in Syria. The risks, which these projects are exposed to, are identified, then analyzed by using the method of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), which is combined with the fuzzy logic. Through the research, the probability of risks occurring and their major impact on time, cost, quality, and the possibility of detecting and controlling them have been determined, as well as arranging the risks according to their importance. The research has shown that the most important risks in bridge construction projects are increased material prices, exchange rate changes, inflation, and unexpected site conditions.

Keywords: Risk management, Bridge construction projects, The method of Failure Mode and Effects Analysis.

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

[*] **Professor – Department of Construction Management– Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria – email: fayezalijrad@gmail.com.**
[**] **Professor – Department of Construction Management – Faculty of Civil Engineering –Tishreen University – Lattakia – Syria – email: r-maya@tishreen.edu.sy.**
[***] **Postgraduate student (Master)– Department of Construction Management – Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria – email: hussien.salim@tishreen.edu.sy**

تطوير منهجية لتحليل مخاطر مشاريع تشييد الجسور في سورية

د. فايز جراد*

د. رنا ميا**

حسين سليم***

(تاريخ الإيداع 16 / 7 / 2024. قُبِل للنشر في 7/ 8 / 2024)

□ ملخّص □

شكل موضوع إدارة المخاطر مشاريع تشييد الجسور محور اهتمام العديد من الدراسات حول العالم و ذلك نتيجة للأهمية الكبيرة لهذه المشاريع بالإضافة إلى الأثر الممكن أن تتعرض له هذه المشاريع بسبب المخاطر من ناحية الكلفة و الوقت و الجودة. لذلك يهدف البحث إلى تطوير منهجية لتحليل مخاطر مشاريع تشييد الجسور في سورية حيث يتم تحديد المخاطر التي تتعرض لها هذه المشاريع ثم تحليلها باستخدام طريقة نمط الفشل و تحليل التأثير FMEA و التي يتم دمجها بالمنطق الضبابي. تم من خلال البحث تحديد احتمالية حدوث المخاطر و شدة تأثيرها على الوقت و الكلفة و الجودة و إمكانية الكشف و السيطرة، بالإضافة إلى ترتيب المخاطر وفقاً لدرجة أهميتها. توصل البحث إلى أن أكثر المخاطر أهمية في مشاريع تشييد الجسور هي زيادة أسعار المواد، تغير سعر الصرف، التضخم و ظروف الموقع غير المتوقعة.

الكلمات المفتاحية: إدارة المخاطر، مشاريع تشييد الجسور،طريقة نمط الفشل و تحليل التأثير.

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

*أستاذ – قسم هندسة و إدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية – عنوان البريد الالكتروني: fayezalijrad@gmail.com

**أستاذ – قسم هندسة و إدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية – عنوان البريد الالكتروني: r-maya@tishreen.edu.sy

***طالب دراسات عليا – ماجستير – قسم هندسة و إدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية – عنوان البريد الالكتروني: hussien.salim@tishreen.edu.sy

مقدمة:

التشييد هو عمل محفوف بالمخاطر. و مدراء المشاريع يحتاجون إلى إدارة المخاطر بشكل صحيح من أجل تسليم المشاريع بشكل ناجح. إن التسليم الناجح للمشروع يعني إكمال المشروع في الوقت المحدد و في حدود الميزانية و ضمن توقعات الجودة و السلامة[1]. يتم تعريف إدارة المخاطر على أنها عملية تحديد و تقييم المخاطر و تطبيق أساليب التخفيف منها إلى حد مقبول[2]. فهم المخاطر بشكل جيد من شأنه أن يسمح للأطراف المشاركة في المشروع باتخاذ خطوات من أجل التقليل من التأثيرات السلبية [3]. إن الافتقار إلى نهج فعال لإدارة مخاطر المشروع له الكثير من الآثار السيئة على الأطراف المشاركة في المشروع نتيجة لنقص الإجراءات الضرورية لتجنب عدم اليقين و المخاطر الموجودة في المشروع[4]. تعتبر الجسور من المشاريع التي تتميز بتأثيرها العالي على المستويات الاجتماعية و الاقتصادية و الحضارية في البلدان التي تنفذ بها حيث أن عملية تنفيذ بعض أنواعها تتسم بدرجة عالية من التعقيد الأمر الذي يتطلب شركات إنشائية و فرق عمل على درجة عالية من الخبرة و التخصص بالإضافة إلى العديد من العوامل التي تجعل مشاريع تشييد الجسور في مواجهة أنواع مختلفة من المخاطر طيلة دورة حياة المشروع.

الدراسات المرجعية :

هدف البحث [5] إلى العمل على تحديد مصادر المخاطر في مشاريع الطرق و تحسين استراتيجيات التعامل مع المخاطر من خلال تحديد مسؤوليات الأطراف المتعاقدة تجاه المخاطر حيث تم تحديد 23 خطراً و كان التصميم المعيب و تأخر الموافقات و التسليم المتأخر للمشروع و ظروف الموقع غير المتوقعة من أكثر المخاطر تأثيراً على المشروع. في حين اعتبر البحث [6] أن الجسور هي هياكل نقل رئيسية و حيوية و تنفيذ الجسور ضمن الوقت و الكلفة المحددين مع جودة تنفيذ مناسبة دون أخذ إدارة المخاطر بعين الاعتبار أمر غير ممكن لذلك هدف البحث إلى تقديم منهج علمي يمكن استخدامه في عملية إدارة المخاطر لمشروع بناء الجسر و تبين أن المنهجية التي تم اتباعها خلال البحث ساعدت على تصنيف المخاطر و تقليل الانحرافات المعيارية لها و إلى أن النتائج التي تم الحصول عليها أكثر دقة مقارنة بالأساليب البارامترية الأخرى. توصل البحث [7] إلى تحديد 37 خطر موزعين على 7 فئات كانت المخاطر المالية هي الأكثر تأثيراً وكان خطر عدم توفر الأموال هو أعلى عامل تم تحديده بقيمة للأهمية النسبية أكبر من 85%. خلص البحث [3] إلى تحديد قائمة من 33 خطر ثم تصنيفها إلى مخاطر داخلية و خارجية و المخاطر الداخلية مقسمة إلى مخاطر ترتبط بالموقع و أخرى فنية و تجارية في حين أن المخاطر الخارجية مقسمة إلى ثلاثة أقسام مخاطر سياسية و مخاطر بيئية و مخاطر اجتماعية و اقتصادية و كان التخطيط غير الفعال أكثر المخاطر أهمية. عملت الدراسة [8] على تقديم إطار يتمتع بالشمولية نستطيع من خلاله إدارة المخاطر التي تتعرض لها مشاريع الطرق السريعة من خلال تحديد المخاطر المحتملة التي تتعرض لها هذه المشاريع ثم العمل على تقييم هذه المخاطر وذلك باستخدام نمط الفشل و تحليل التأثير الضبابي Fuzzy FMEA و المنطق الهرمي الضبابي Fuzzy–AHP وفي المرحلة الأخيرة تحديد الإجراءات المناسبة للتعامل مع هذه المخاطر. أكدت الدراسة [9] أن أغلب مشاريع الطرق في سورية تعاني من تجاوز الكلفة لذلك قامت بتحديد 47 خطراً تؤدي إلى تجاوز الكلفة ومن أهم هذه الأسباب ارتفاع أسعار المواد، التضخم ، أعمال الربع النظامي ، تغيير سعر الصرف ، التكليف بأعمال غير عقدية ، ضعف كفاءة المعدات ،البطء في اتخاذ القرارات ، النقص في المعدات ، تغير مواصفات المواد. في الدراسة [10] تم تحديد المخاطر التي تتعرض لها مشاريع الجسور و توضيح تأثير هذه المخاطر على وقت و كلفة مشروع قيد التنفيذ باستخدام محاكاة مونت كارلو حيث تم تحديد أولويات المخاطر وفقاً لما يلي المخاطر المالية في المرتبة الأولى تليها مخاطر السلامة ثم

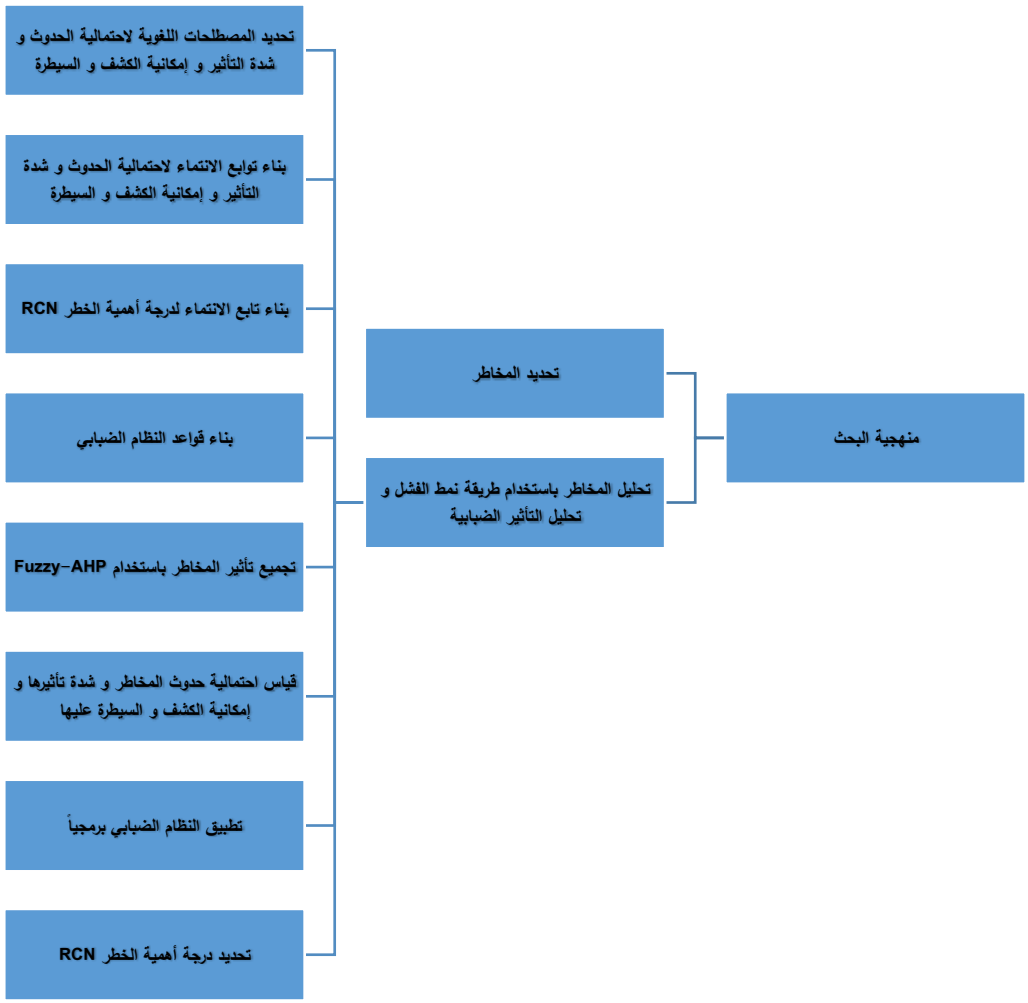
المخاطر الخارجية و المخاطر التعاقدية و المخاطر الإدارية المخاطر التصميمية و المخاطر البيئية و مخاطر تنفيذية و أخيراً مخاطر الاستثمار. حددت الدراسة[11] المخاطر الحرجة التي تتعرض لها مشاريع الطرق السريعة في الهند و المتمثلة في تغير نطاق العمل و تأخير حيازة الأراضي و سوء المعلومات و التحقيقات الأولية المتعلقة بالتربة و تأخر الجدول الزمني الناجم عن رفض مواد غير مؤهلة و أوامر التغيير. خلال الدراسة[12] عمل الباحثون على تقييم أولوية المخاطر التي تتعرض لها مشاريع إنشاء الجسور من حيث ديناميكيات النظام مع التركيز على التفاعل بين جميع أنواع المخاطر المهمة. بسبب التوسع في أعمال البناء و تعقيد التصميم في السنوات الأخيرة زادت المخاطر التي تتعرض لها الجسور بالإضافة إلى أن مشروع تنفيذ الجسر يحتوي على العديد من أوجه عدم اليقين لذلك تم خلال الدراسة[13] تحديد 16 خطر و إنشاء نموذج لتقييم مخاطر الجسر بالاعتماد على شبكات BP. بالإضافة إلى ذلك فإن البحث [14] هدف إلى تحديد و تحليل مخاطر التشييد الهامة لأول و أكبر و أطول جسر عبر المضيق في إندونيسيا و كان السلوك الطبيعي غير المتوقع هو الحدث الأهم و الأكثر خطورة من وجهة نظر الجهات المتعاقدة و الجهات الاستشارية بالإضافة إلى التأخير في السداد. أما الدراسة [15] فلقد عملت على تقييم تأثير المخاطر على وقت و كلفة مشاريع الطرق المنفذة في نيجيريا حيث توصلت الدراسة إلى أن ضعف العلاقة مع المجتمع، ظروف أرضية غير متوقعة، مشاكل التدفق النقدي للمقاول، عدم الاهتمام بمتطلبات العقد ، تصميم معيب و أخطاء إعادة العمل، تغيير في نطاق العمل، معارضة عامة للمشروع، تأخر المدفوعات المالية من المالك هي المخاطر الأكثر أهمية. ومن جانب آخر فلقد خلصت الدراسة [16] إلى تحديد 15 خطر و كانت مخاطر التنفيذ هي الأكثر أهمية و تم خلال البحث التحقق من إمكانية تطبيق عملية التحليل الهرمي لتحليل و تقييم مخاطر إنشاء الجسور. في حين كان خطر تغيير التصميم و تأخر المدفوعات و تفاصيل غير دقيقة في الرسومات و صعوبات مالية و سوء إدارة المشروع هي المخاطر الأكثر أهمية التي توصلت إليها الدراسة[17]. لذلك نظراً لقلة عدد الدراسات التي ناقشت المخاطر التي تتعرض لها مشاريع تشييد الجسور في سورية مع وجود حاجة إلى تحديد جميع المخاطر التي تواجهها هذه المشاريع بمختلف مصادرها و ضرورة تحليلها باستخدام طريقة تتميز بمستوى عالي من الدقة مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير المخاطر بشكل متفاوت على أهداف المشروع (الوقت و الكلفة و الجودة) لذلك سوف نعمل على تحديد المخاطر بالاستعانة بالدراسات السابقة ثم تحليلها باستخدام طريقة نمط الفشل و تحليل التأثير الضبابية و ذلك من أجل تحديد احتمالية حدوث هذه المخاطر و شدة تأثيرها و إمكانية الكشف و السيطرة عليها، مع تشكيل معادلة رياضية بالاعتماد على طريقة Fuzzy–Ahp لتجميع تأثير المخاطر على أهداف المشروع.

أهمية البحث و أهدافه:

تأتي أهمية البحث من كونه يوفر منهجية واضحة لتحليل مخاطر مشاريع تشييد الجسور في سورية و التي تعتبر على درجة عالية من الأهمية. تشتمل هذه المنهجية على تحديد المخاطر التي تتعرض لها مشاريع الجسور في سورية ثم تحليل هذه المخاطر باستخدام طريقة نمط الفشل و تحليل التأثير الضبابية Fuzzy–FMEA حيث سيتم تحديد احتمالية حدوث هذه المخاطر و شدة تأثيرها على الوقت و الكلفة و الجودة و إمكانية الكشف و السيطرة عليها ثم تجميع تأثيرها على الوقت و الكلفة و الجودة باستخدام معادلة يتم الحصول عليها بطريقة التحليل الهرمي الضبابي Fuzzy AHP لنتمكن من تحديد درجة أهيمة المخاطر RCN.

منهجية البحث:

خلال هذا البحث تم العمل على إجراء مراجعة للدراسات السابقة و الاطلاع على وثائق عدد من مشاريع الجسور في سورية بهدف تحديد المخاطر التي تواجهها هذه المشاريع ثم تحليلها باستخدام طريقة نمط الفشل و تحليل التأثير الضبابية من خلال مجموعة من الخطوات الموضحة في الشكل (1).



الشكل (1) منهجية البحث

تحديد المخاطر:

بغية تحديد المخاطر التي تتعرض لها مشاريع تشييد الجسور في سورية تم إجراء مراجعة لمجموعة من الدراسات السابقة اشتملت على 14 مقالة ناقشت المخاطر التي تتعرض لها مشاريع الطرق و الجسور في مختلف دول العالم حيث تم تشكيل قائمة من المخاطر التي تكررت ثلاث مرات و أكثر في الدراسات السابقة ونتيجة لذلك تم الحصول على 53 خطراً. يوضح العمود الأول في الجدول (12) قائمة المخاطر التي تم اعتمادها.

طريقة نمط الفشل و التأثير الضبابية :

إن طريقة نمط الفشل و تحليل التأثير FEMA هي تقنية تعتمد على تحديد جميع حالات الفشل داخل النظام وتحليل الأسباب الجذرية و تقييم تأثير الفشل و التخطيط للإجراءات التصحيحية، في طريقة FEMA التقليدية يتم تحديد أولويات المخاطر الخاصة بأنماط الفشل باستخدام RPNs تتراوح درجة أهمية الخطر (Risk Priority Number)

RPN بين 1 و 1000 ويتم الحصول عليه من خلال ضرب درجات عوامل الخطر مثل احتمالية الحدوث O و شدة التأثير S و إمكانية الكشف و السيطرة D وفقاً للمعادلة (1) وتتراوح قيم هذه العوامل الثلاثة بين 1−10 [18]:

$$RPN=O*S*D \quad (1)$$

تحديد المصطلحات اللغوية لاحتمالية الحدوث و شدة التأثير و إمكانية الكشف و السيطرة:

تم اعتماد خمسة مصطلحات لغوية لقياس كل من احتمالية حدوث الخطر و شدة تأثيره على الوقت و الكلفة و الجودة بالإضافة إلى إمكانية الكشف و السيطرة في خمسة مستويات وهي (منخفض جداً، منخفض ،متوسط ،مرتفع ،مرتفع جداً) موضحة في الجداول (1) (2) (3) بالاعتماد على الدراسة [19] و ذلك بعد مراجعة عدد من الدراسات و إجراء مقابلات مع الخبراء في هذا المجال كون هذه المصطلحات هي الأقرب لطريقة توصيف الخبراء لمخاطر صناعة التشييد و البناء في سورية .

الجدول (1) المصطلحات اللغوية لاحتمالية الحدوث

المصطلح الوصفي	احتمالية الحدوث
عالي جداً / (VH)	> 80% ، الخطر سيحدث بالتأكيد .
عالي / (H)	بين 61%−81% ، احتمال حدوث الخطر كبير.
متوسط / (M)	بين 31%−60% ،الخطر قد يحدث.
منخفض / (L)	بين 11%−30% ، احتمال حدوث الخطر قليل.
منخفض جدا / (VL)	بين 0% −10% ، احتمال حدوث الخطر قليل جداً.

الجدول (2) المصطلحات اللغوية لإمكانية الكشف و السيطرة على المخاطر

المصطلح الوصفي	إمكانية الكشف و السيطرة
عالي جداً / (VH)	يمكن لفريق المشروع أن يعرف استراتيجية رد للخطر استخدمت في الماضي وأثبتت أن لها تأثير عالي في اكتشاف الخطر والسيطرة على أسبابه ونتائجه.
عالي / (H)	يمكن لفريق المشروع أن يعرف استراتيجية رد للخطر ذات تأثير مرتفع لاكتشاف الخطر و السيطرة على أسبابه و نتائجه.
متوسط / (M)	يمكن لفريق المشروع أن يعرف استراتيجية رد للخطر ذات تأثير متوسط لاكتشاف الخطر و السيطرة على أسبابه و نتائجه.
منخفض / (L)	يمكن لفريق المشروع أن يعرف استراتيجية رد للخطر ذات تأثير منخفض لاكتشاف الخطر و السيطرة على أسبابه و نتائجه.
منخفض جداً / (VL)	فريق المشروع غير قادر على تعريف استراتيجية رد للخطر تمكنه من اكتشاف الخطر والسيطرة على أسبابه و نتائجه .

الجدول (3) المصطلحات اللغوية لشدة التأثير

المصطلح الوصفي	أصناف التأثير		
	تأثير الكلفة	تأثير الوقت	تأثير الجودة
عالي جداً / (VH)	زيادة الكلفة ≤ 10% من كلفة المشروع التقديرية .	يؤخر مدة المشروع الفعلية ≤10% من المدة التقديرية	الخطر يؤثر على جودة المشروع بشكل كبير لا يوافق النتائج المطلوبة للجودة .
عالي / (H)	زيادة الكلفة بنسبة بين (7%–10%) من كلفة المشروع التقديرية.	يؤخر مدة المشروع الفعلية بنسبة بين(7%–10%)من مدة التقديرية.	الخطر يؤثر على جودة المشروع بشكل غير مقبول بالنسبة لمالك المشروع .
متوسط / (M)	زيادة الكلفة بنسبة بين (4%–7%) من كلفة المشروع التقديرية.	يؤخر مدة المشروع الفعلية بنسبة بين (4%–7%) من مدة التقديرية.	الخطر يؤثر على الجودة بشكل كبير .
منخفض / (L)	زيادة الكلفة بنسبة بين (1%–4%)من كلفة المشروع التقديرية.	يؤخر مدة المشروع الفعلية بنسبة بين(1%–4%)من مدة التقديرية.	الخطر يؤثر على الجودة بشكل قليل .
منخفض جداً / (VL)	<1% من كلفة المشروع التقديرية.	زيادة الجدول الزمني للمشروع بنسبة ضئيلة عن المدة التقديرية لا تتجاوز 1 %.	الخطر يؤثر على الجودة بشكل غير ملحوظ .

بناء توابع الانتماء لكل من احتمالية الحدوث و شدة التأثير و إمكانية الكشف و السيطرة:

توجد أنواع مختلفة من توابع الانتماء تم اختيار توابع الانتماء ذات الشكل المثلثي و شبه المنحرف لكل من عوامل الإدخال والتي تم اعتمادها بناءً على الدراسة [19]. و ذلك بسبب الكفاءة و سهولة التطبيق[20] ، بالإضافة إلى أن تابع الانتماء المثلثي هو الأكثر استخداماً في مشاريع التشييد[21]. مع ملاحظة أن توابع الانتماء لاحتمالية الحدوث و شدة التأثير متشابهة في حين أن تابع الانتماء لإمكانية الكشف و السيطرة يكون له ترتيب عكسي للمصطلحات اللغوية مقارنة مع احتمالية الحدوث و شدة التأثير حيث يوضح الجداول (4) (5) على الترتيب حدود تابع الانتماء لكل من احتمالية الحدوث و شدة التأثير و إمكانية الكشف و السيطرة .

الجدول (4) حدود تابع الانتماء لكل من احتمالية الحدوث و شدة التأثير

المصطلح اللغوي	تابع الانتماء	المعامل
منخفض جداً	مثلثي	(1,1,3)
منخفض	مثلثي	(1,3,5)
متوسط	مثلثي	(3,5,7)
مرتفع	مثلثي	(5,7,9)
مرتفع جداً	شبه منحرف	(7,9,10,10)

الجدول (5) حدود تابع الانتماء لإمكانية الكشف و السيطرة

المصطلح اللغوي	تابع الانتماء	المعامل
منخفض جداً	شبه منحرف	(7,9,10,10)
منخفض	مثلثي	(5,7,9)
متوسط	مثلثي	(3,5,7)
مرتفع	مثلثي	(1,3,5)
مرتفع جداً	مثلثي	(1,1,3)

بناء تابع الانتماء لدرجة أهمية الخطر RCN:

تم اعتماد شكل تابع الانتماء لدرجة أهمية الخطر RCN (Risk Criticality Number) الوارد في الدراسة [19] حيث أن قيمته تتراوح بين 1–1000 ويتكون من تسع مجالات لكل منها مصطلح لغوي يعبر عنها وهي منخفض جداً، منخفض جداً–منخفض ، منخفض ، منخفض–متوسط ، متوسط ، متوسط–مرتفع ، مرتفع ، مرتفع–مرتفع جداً ، مرتفع جداً .كما هو موضح في الجدول (6) والذي يبين حدود تابع الانتماء لدرجة أهمية الخطر.

الجدول (6) حدود تابع الانتماء للمخرج RCN

المصطلح اللغوي	تابع الانتماء	المعامل
منخفض جداً	مثلثي	(1,1,50)
منخفض جداً – منخفض	مثلثي	(1,50,125)
منخفض	مثلثي	(50,125,200)
منخفض – متوسط	مثلثي	(125,200,300)
متوسط	مثلثي	(200,300,400)
متوسط – مرتفع	مثلثي	(300,400,525)
مرتفع	مثلثي	(400,525,650)
مرتفع – مرتفع جداً	مثلثي	(525,650,800)
مرتفع جداً	شبه منحرف	(650,800,1000,1000)

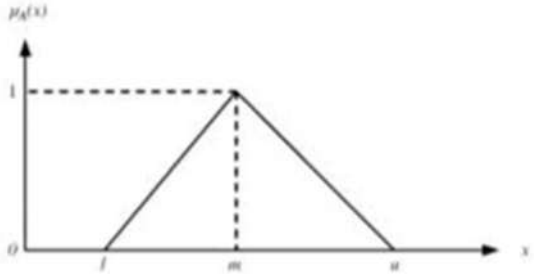
بناء قواعد النظام الضبابي :

تم الاستعانة بخبراء في مجال تشييد الجسور و إجراء مقابلات معهم بهدف تحديد القواعد الضبابية (IF – Then) هذه القواعد التي تربط بين المدخلات المتمثلة في احتمالية الحدوث و شدة التأثير (الوقت و الكلفة و الجودة) و إمكانية الكشف و السيطرة و بين المخرجات (درجة أهمية الخطر) . حيث أن كل قاعدة ضبابية تتكون من جزأين الجزء الأول IF يقوم بعرض مجموعة من السيناريوهات المختلفة التي يمكن أن تحدث في النظام في حين أن الجزء الثاني Then يعرض سيناريوهات الإخراج و التي ترتبط بالمدخلات [8]. لدينا ثلاث مدخلات لكل منها خمس مصطلحات لغوية و بالتالي سوف يكون لدينا 125 قاعدة ضبابية.

طريقة Fuzzy–Ahp لتجميع تأثير المخاطر :

إن عملية التحليل الهرمي AHP هي إحدى تقنيات اتخاذ القرار متعدد المعايير المستخدمة في حل مشاكل الاختيار، الفرز والتصنيف و التي طورها Saaty في عام 1980 [22]. أحد عيوب عملية التحليل الهرمي هو أن الحكم ذاتي جداً ومن الصعب تحديد وزن كل معيار و للتعامل مع نقاط الضعف هذه تم تطوير طريقة التحليل الهرمي الضبابي Fuzzy AHP [23]. يمكن تمثيل حكم الخبراء غير المؤكد من خلال رقم ضبابي. الرقم الضبابي الثلاثي هو نوع خاص من الأرقام الضبابية التي يتم تحديد وظيفتها العضوية من خلال ثلاثة أرقام حقيقية (l,m,u) يتم توضيح الوظيفة العضوية في الشكل (2) ويتم وصفها كما هو موضح أدناه[24].$\tilde{A} = (l, m, u)$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l}, & l \le x \le m \\ \dfrac{u-x}{m-x}, & m \le x \le u \\ 0, & otherwisw \end{cases}$$



الشكل (2) المثلث الضبابي TFNs

يتم إيجاد أوزان معايير الوقت و الكلفة و الجودة باستخدام طريقة Fuzzy Ahp كما يلي:

تشكيل مصفوفات المقارنة الثنائية بين المعايير و فقاً لمقياس Saaty و الموضح في الجدول (7) و ذلك من قبل مجموعة من الخبراء.

الجدول (7) مقياس Saaty للمقارنات الزوجية[25]

مدى الأهمية	1	3	5	7	9	2,4,6,8
التعريف	متساويان في الأهمية	أهمية معتدلة	أهمية قوية	أهمية قوية جداً	أهمية مطلقة	أهمية وسطية بين القيم السابقة

حساب نسبة التناسقCR لكل مصفوفة و ذلك وفقاً للعلاقات التالية:

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (2)$$

حيث CI مؤشر التناسق ويتم حسابه من خلال العلاقة:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (3)$$

n عدد المعايير، λ_{max} القيمة الذاتية الأعظمية لمصفوفة المقارنة.RI مؤشر العشوائية ويتم الحصول عليه من الجدول(8):

الجدول (8) مؤشر العشوائية [26]

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

تعتبر أحكام الخبراء متناسقة إذا كانت قيمة CR<0.1، و إلا تعتبر متناقضة و يتم إعادة بناء المصفوفة.

تحويل مصفوفات المقارنة الثنائية إلى الشكل الضبابي باستخدام الجدول (9) حيث يتم التعبير عن المصفوفة الثنائية الضبابية رياضياً كا يلي:

$$(\tilde{a}_{ij})_{n\times n} = \begin{pmatrix} (1,1,1) & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & (1,1,1) & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & (1,1,1) \end{pmatrix}$$

حيث أن$1/\tilde{a}_{ij} = (1/u_{ij}, 1/m_{ij}, 1/l_{ij})$

الجدول (9) الأرقام الضبابية الثلاثية للمصطلحات اللغوية[27]

المصطلحات اللغوية	الأرقام الضبابية الثلاثية	مقلوب الأرقام الضبابية الثلاثية
أهمية مطلقة	(9,9,9)	(1/9,1/9,1/9)
أهمية قوية جداً	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
أهمية قوية	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
أهمية معتدلة	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
أهمية متساوية	(1,1,1)	(1,1,1)
متوسط	(1,2,3) (3,4,5) (5,6,7) (7,8,9)	(1/7,1/6,1/5) (1/9,1/8,1/7) (1/3,1/2,1) (1/5,1/4,1/3)

تجميع مصفوفات المقارنة الثنائية الضبابية في مصفوفة واحدة تسمى المصفوفة الضبابية المجمعة للخبراء وفقاً للعلاقات التالية:

$$(A_{ij})_{n\times n}: \tilde{A}_{ij} = (L_{ij}, M_{ij}, U_{ij})$$

$$L_{ij} = \min(l_{ijk}) \ , M_{ij} = \left(\prod_{k=1}^{k} m_{ijk}\right)^{1/k} \ , U_{ijk} = \max(U_{ijk}) \qquad (4)$$

حيث أن K هو عدد الخبراء.

يتم حساب أوزان معايير الوقت و الكلفة و الجودة باستخدام أسلوب تحليل المدى لتشانغ Chang fuzzy extent analysis كما يلي[27]:

حيث يتم بدايةً حساب قيمة المدى الاصطناعي الضبابي S لكل معيار من خلال العلاقة التالية :

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{n} A_{ij} * \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} A_{ij}\right]^{-1} \qquad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{n} A_{1j} = \left(\sum_{j=1}^{n} L_{1j}, \sum_{j=1}^{n} M_{1j}, \sum_{j=1}^{n} U_{1j} \right) \quad (6)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} A_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} U_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} M_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} L_{ij}} \right) \quad (7)$$

ثم حساب احتمال أن تكون قيمة S لكل معيار أكبر من قيمتها لكل معيار من المعايير الأخرى من خلال العلاقة (8) :

$$V(\tilde{s}i \geq \tilde{s}j) = \begin{cases} 1 & if \quad Mi \geq Mj \\ 0 & if \quad if\ Lj \geq Ui \\ \dfrac{Lj - Ui}{(Mi - Ui) - (Mj - Lj)} & otherwise \end{cases}$$

حيث $\tilde{S}i = (Li, Mi, Ui), \tilde{S}j = (Lj, Mj, Uj)$

من أجل حساب احتمال أن قيمة S لكل معيار أكبر من قيمتها لكل من المعايير الأخرى يتم ذلك من خلال العلاقة:

$$V(\tilde{S}i \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, , , , , , \tilde{S}_m) = V(\tilde{S}i \geq \tilde{S}_1) and\ V(\tilde{S}i \geq \tilde{S}_2) and, , , , , and V(\tilde{S}i \geq \tilde{S}_2)$$
$$= min V(\tilde{S}i \geq \tilde{S}_r) = W(\tilde{S}\imath) \neq 0, for\ r = 1,2,3, , , , , , m: \imath \neq r \quad (9)$$

تشكيل شعاع أوزان المعايير $W=(W_1, W_2, , , , , , , , , , , W_n)^T$ باستخدام العلاقة:

$$W_t = \frac{\acute{W}(\tilde{S}_i)}{\sum_{i=1}^{n} \acute{W}(\tilde{S}_i)} \quad (10)$$

من أجل تحديد أوزان لمعايير الوقت و الكلفة و الجودة تم إجراء مقابلات مع عشرة خبراء في مجال تشييد الجسور و استخدام برنامج EXCEL و MATLAB من أجل تنفيذ الخطوات السابقة.

ثم يتم الحساب النهائي لأوزان المعايير وفقاً للعلاقة (10) و ذلك كما يلي :

W1=0.3161, W2=0.3283, W3=0.3556

و بالتالي يتم حساب شدة التأثير الكلي وفقاً للمعادلة التالية(11) :

AI=0.33*cost impact+0.32*time impact+0.35*quality impact (11)

قياس احتمالية حدوث المخاطر و شدة تأثيرها و إمكانية الكشف و السيطرة عليها :

تم إجراء مقابلات مع مجموعة من الخبراء و المهندسين العاملين في مجال تشييد مشاريع الجسور في سورية حيث تم توزيع استبيان عليهم بهدف جمع البيانات و بلغ حجم عينة البحث 43 مشاركاً.هذا الاستبيان مكون من قسمين ،القسم الأول يتضمن معلومات شخصية عن الخبراء و المهندسين المشاركين في الاستبيان من حيث المؤهل العلمي و عدد سنوات الخبرة في حين أن القسم الثاني يتضمن تحديد احتمالية حدوث كل من المخاطر بالإضافة إلى شدة تأثير كل خطر على كلفة المشروع و الزمن اللازم لإنجازه و الجودة المطلوبة و أخيراً تحديد إمكانية الكشف و السيطرة على هذه المخاطر و ذلك وفقاً للمصطلحات اللغوية الوارد في الجداول (1) (2) (3).

النتائج و المناقشة:

تحليل الاستبيان:

تم تحليل الاستبيان باستخدام برنامج SPSS حيث تم حساب معامل ألفا كرونباخ لجميع الأسئلة وكانت قيمته 0.95 الأمر الذي يعكس ثبات ممتاز للاستبيان و بالتالي لا توجد حاجة لإجراء تعديل عليه.بتحليل قسم المعلومات الشخصية للمجيبين على الاستبيان نجد النسبة الأكبر من المشاركين في الاستبيان حصلوا على الإجازة الجامعية فقط و في المرتبة الثانية كان عدد الحاصلين على درجة الماجستير أما النسبة الأقل فلقد كانت للحاصلين على شهادة الدكتوراه حيث بلغ عددهم 2 كما يظهر في الجدول (10).

الجدول (10) توزع المجيبين وفقاً للمؤهل العلمي

المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية
إجازة جامعية	31	72.1
ماجستير	10	23.3
دكتوراه	2	4.7
المجموع	43	100

و لتقييم المشاركين من ناحية عدد سنوات الخبرة يظهر الجدول (11) أن 30 مشارك يملكون خبرة أكثر من عشر سنوات الأمر الذي يعكس موثوقية و صدق النتائج التي توصلنا إليها.

الجدول (11) توزع المجيبين وفقاً لعدد سنوات الخبرة

عدد سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 5 سنوات	4	9.3
بين 5-10 سنوات	9	20.9
أكثر من 10 سنوات	30	69.8
المجموع	43	100

بتحليل القسم الثاني من الاستبيان أيضاً باستخدام برنامج SPSS يظهر الجدول (12) احتمالية حدوث المخاطر و شدة التأثير على الكلفة و الوقت و الجودة و شدة التأثير الكلية و إمكانية الكشف و السيطرة .

الجدول (12) تقييم المخاطر من حيث احتمالية حدوثها و شدة تأثيرها و إمكانية الكشف و السيطرة

مصدر الخطر	اسم الخطر (المرجع)	احتمالية الحدوث	التأثير على الكلفة	التأثير على الوقت	التأثير على الجودة	شدة التأثير الكلي	إمكانية الكشف و السيطرة	درجة أهمية الخطر
مخاطر اقتصادية	التضخم [5، 7، 9، 10، 12–15]	9.21	9.05	5.14	1.95	5.31	9.16	555
	التأخر في المدفوعات المالية [3، 5–7، 9، 10، 12، 14، 15، 17]	6.28	3.19	7.53	1.86	4.11	3.26	146
	نقص الميزانية [7–10، 12، 13]	7.09	5.44	8.4	3.88	5.84	5.3	342
	زيادة أسعار المواد[3، 7–9، 11، 17]	9.16	9.19	5.74	2.95	5.9	9.12	592
	إفلاس المقاول[7–10، 12، 14، 15]	3.14	3.95	9.09	2.35	5.04	6.77	141
	خسائر اقتصادية[7، 10، 12]	4.95	6.84	6.35	2.58	5.19	6.16	222
	تغير سعر الصرف[9، 14، 15]	9.07	9.37	5.77	1.88	5.6	9.3	575
مخاطرقانونية	التغييرات في نطاق العمل و جدول الأعمال[5–7، 9–12، 15]	7.81	8.44	7.3	2.4	5.96	3.23	238
	اللوائح وصعوبة الحصول على التصاريح[3، 5، 6، 11، 15، 17]	5.37	2.19	6.14	1.63	3.26	4.6	156
	التغييرات التشريعية[3، 5، 6، 9، 13، 14، 17]	2.28	3.07	5.09	1.56	3.19	5.74	90
	مطالبات و نزاعات مع المقاول[7، 10، 12، 14، 16]	3.56	5.28	7.05	5.21	5.82	5.23	180
	تناقضات في العقد[3، 10، 12]	2.53	4.86	6.49	3.33	4.84	2.51	56.8
	رشاوى[3، 11، 14، 15]	3.35	5.37	4.47	8.56	6.2	7.56	246
مخاطر تصميمية	تصميم معيب[5، 9، 15، 17]	1.79	7.6	7.42	7.74	7.59	3.3	115
	تغييرات في التصميم[3، 5–7، 9، 10، 12، 14، 15، 17]	4.3	7.26	5.58	2.44	5.04	2.49	106
	تصميم غير مكتمل[7، 9–12، 15]	3.35	5.77	6.05	6.49	6.11	2.53	101
	جودة و تكامل التصميم[3، 9، 11]	3.95	5.49	5.51	9.12	6.77	2.42	107

	عمليات تفتيش غير كافية في موقع المشروع[7، 10، 12]	8.74	7.7	7.77	7.58	7.68	3.86	392
مخاطر تقنية	إدارة الجودة و أعمال معيبة[3، 5، 7، 9-13، 16، 17]	2.44	9.14	8.77	9.05	8.99	3.79	149
	نقص التكنولوجيا[3، 6، 7، 10، 12]	3.47	5.44	6.77	6.58	6.26	5.27	180
	التأخر في التنفيذ[7، 10-14، 16]	9.02	9.26	9.05	3.3	7.11	3.28	338
	التفتيش الزائد[7، 10، 12]	3.28	3.77	2.98	1.67	2.78	2.21	58.6
	عدم الوضوح و الشفافية في مجال العمل[7، 10، 12]	4.98	6.47	5.53	3.07	4.98	2.56	112
	ظروف الموقع غير متوقعة[3، 5، 7، 9، 10، 12-17]	8.3	8.19	8.44	3.21	6.53	8.19	533
	انقطاع العمل و عدم وجود مساحة[7، 10، 12]	3.63	5.72	7.21	2.56	5.09	4.3	140
	عدم توفر الأرض و حق العبور الأمر الذي يحد من الوصول للموقع[3، 7، 14]	4.35	4.98	5.63	1.51	3.97	7.42	200
مخاطر إدارية	مقاولي الباطن ذو نوعية رديئة [5، 7، 10، 12، 15]	3.47	6.33	5.79	8.19	6.81	3.84	149
	موافقات متأخرة[3، 5، 7، 9، 14]	5.6	2.91	7.26	1.79	3.91	4.91	204
	ضعف التنسيق[3، 6، 7، 9-12]	4.12	2.88	7.07	2.67	4.15	1.77	92.4
	تخيط غير كافي للمشروع [3، 7، 9، 10، 12]	6.58	7.14	7.12	5.51	6.56	1.79	152
	ضعف مراقبة المشروع و إدارته[6، 7، 10، 12، 16، 17]	4.19	3.42	5.23	5.81	4.84	2.58	103
	السطو و إضراب العمال[7، 10، 12]	1.98	5.26	6.44	3.72	5.1	6.37	105
	خبرة منخفضة [9، 10، 17]	4.74	5.33	5.7	7.14	6.08	3.98	163
	تقدير خاطئ للوقت و الكلفة[5، 7، 10، 12، 17]	9.14	9.21	9.21	2.53	6.87	2.33	239
	لا يتم إصدار الوثائق و الرسومات في الوقت المحدد[3، 11، 14-17]	3.12	4.51	6.63	1.91	4.28	3.4	93.5
مخاطر طبيعية	الظروف المناخية[3، 5، 7، 9، 10، 12، 13، 15، 17]	7.21	3.93	6.02	3.84	4.57	7.91	355

	مخاطر طبيعية خارجة عن الإرادة (زلزال–بركان..)[3، 5، 14–16]	3.88	8.63	7.14	3.93	6.51	9.47	332
	تلوث الهواء و التربة و مصادر الماء في موقع المشروع [3، 6، 10، 12، 14]	1.72	2.33	2.49	1.84	2.21	7.21	84.1
	المياه السطحية و الجوفية[9، 14، 17]	3.93	6.02	6.16	5.16	5.77	5.86	214
مخاطر الأمن و السلامة	الأمن العام و السلامة[3، 5، 9، 12، 14، 16]	3.42	4.63	3.19	1.81	3.18	4.88	97
	حوادث[7، 10، 12]	3.72	3.53	2.72	1.72	2.64	5.33	89.4
	ضرر يلحق بالممتلكات[7، 10، 12]	3.47	5.19	3.77	2.6	3.83	4.63	124
	الوفيات[7، 10، 12]	1.67	4.02	3.42	2.33	3.24	4.98	73.4
مخاطر سياسية	عدم الاستقرار السياسي[7، 10، 12، 13، 15، 16]	7.37	6.56	7.35	2.21	5.29	7.6	420
	عوائق الاستملاك[3، 9، 11، 17]	4.63	4.49	6.6	2.05	4.31	5.84	168
مخاطر إدارة المعدات	ضعف كفاءة المعدات[5، 9، 11، 14، 15، 17]	5.51	6.49	6.79	5.81	6.35	4.51	219
	نقص في المعدات[3، 6، 9، 14، 15، 17]	6.12	4.67	6.42	4.86	5.3	5.09	273
مخاطر إدارة الموارد	شراء وعدم توفر المواد [3، 5–7، 9، 14، 15]	6.37	4.37	8.37	2.14	4.87	4.56	246
	التأخر في نقل و تسليم المواد[9، 11، 17]	5.33	3.65	7.37	1.86	4.22	3.65	164
مخاطر إدارة العمالة	انخفاض إنتاجية العمل[5، 7، 9، 10، 12–14، 17]	3.26	5.56	6.35	4.63	5.49	4.65	132
	قلة عدد العمال[3، 6، 9، 11، 14، 17]	2.51	4.81	5.6	3.6	4.64	2.74	57.6
	نقص في الموارد البشرية الخبيرة[7، 11، 12، 15، 17]	3.49	5.47	6.09	7.65	6.43	3.93	139
	إضرابات و نزاعات عمالية[9، 14، 17]	1.6	4.67	5.16	3.98	4.59	5.65	86

من خلال النتائج التي توصلنا إليها في الجدول (12) نلاحظ أن التضخم ، زيادة أسعار المواد ، تقدير خاطئ للوقت و الكلفة ، تغير سعر الصرف ، التأخر في التنفيذ ، عمليات تفتيش غير كافية في موقع المشروع ، ظروف الموقع غير متوقعة هي مخاطر احتمالية حدوثها مرتفعة جداً. و المخاطر الأكثر تأثيراً على كلفة المشروع و يصنف تأثيرها على أنه مرتفع جداً هي تغير سعر الصرف ، التأخر في التنفيذ ، تقدير خاطئ للوقت و الكلفة ، زيادة أسعار المواد، عمل معيب و ضبط الجودة ، التضخم ، مخاطر طبيعية خارجة عن الإرادة (زلزال–بركان..) ، التغييرات في نطاق العمل و جدول الأعمال و ظروف الموقع غير متوقعة. في حين تعتبر كل من المخاطر تقدير خاطئ للوقت و الكلفة، إفلاس المقاول، التأخر في التنفيذ، عمل معيب و ضبط الجودة، ظروف الموقع غير متوقعة ، نقص الميزانية وشراء وعدم توفر المواد لها تأثير مرتفع جداً على الزمن اللازم لتنفيذ مشاريع تشييد الجسور بالمقابل فإن جودة و تكامل التصميم، عمل معيب و ضبط الجودة، رشاوى و مقاولي الباطن ذو نوعية رديئة هي مخاطر تؤثر على جودة مشاريع تشييد الجسور بدرجة مرتفعة جداً أما فيما يخص إمكانية الكشف و السيطرة على المخاطر فإن المخاطر التي حصلت على قيم مرتفعة تعكس إمكانية كشف و سيطرة منخفضة جداً عليها و هي مخاطر طبيعية خارجة عن الإرادة (زلزال–بركان..)، تغير سعر الصرف، التضخم، زيادة أسعار المواد و ظروف الموقع غير متوقعة.

يتم إدخال بيانات احتمالية حدوث المخاطر و شدة التأثير الكلية و إمكانية الكشف و السيطرة إلى نموذج الضبابي مصمم باستخدام برنامج Matlab و ذلك من أجل الحصول على درجة الأهمية لكل خطر. حيث توضح النتائج التي توصلنا إليها في الجدول (12) أن خطر "زيادة أسعار المواد" هو أكثر المخاطر أهمية بتصنيف مرتفع–مرتفع جداً أما المخاطر التي صنفت أهميتها على أنها مرتفعة فهي خطر تغير سعر الصرف، التصخم، و تعود الأهمية التي اكتسبتها هذه المخاطر الاقتصادية إلى الأزمات العالمية الحالية و الأحداث التي تعرضت لها سورية بالإضافة إلى العقوبات الاقتصادية الأمر الذي أثر على الواقع الاقتصادي بشكل عام و سبب ارتفاعاً في تكاليف إنتاج المواد البناء المحلية و عائقاً أمام استيراد نظيرتها من الخارج، بالإضافة إلى خطر ظروف الموقع غير المتوقعة و تأتي أهميته من احتمالية حدوثه المرتفعة وتأثيره العالي على كلفة و زمن مشاريع تشييد الجسور بالإضافة إلى صعوبة الكشف و السيطرة عليه. أما المخاطر التي كانت ذات أهمية منخفضة إلى منخفضة جداً فهي إضرابات و نزاعات عمالية يليه خطر تلوث الهواء و التربة و مصادر الماء في موقع المشروع و انخفاض أهمية هذا الخطر يعود إلى عدم وجود أجهزة لقياس تلوث الهواء تكون مزودة بها فرق العمل و بالتالي عدم القدرة على التحقق من حجم التلوث و شدة تأثيره أما فيما يخص تلوث المياه و التربة فإن الجهات العامة تنسق فيما بينها بحيث تقوم بنقل أي خطوط مياه أو صرف صحي قبل بدء التنفيذ الأمر الذي يمنع حصول هكذا نوع من المخاطر، أما خطر الوفيات فسبب انخفاض أهيمته هو أن الشركات تولي أهمية كبيرة لسلامة العمال، بالإضافة إلى خطر التفتيش الزائد، قلة عدد العمال و هذا الخطر سبب حصوله على هذا التصنيف هو توفر كادر بشري قادر على تغطية احتياجات الشركة ، و أخيراً خطر حصول تناقضات في العقد وهو أقل المخاطر أهمية حيث أن عملية تنفيذ معظم المشاريع البنية التحتية تتم من قبل القطاع العام و مشاريع الجسور هي ملك للدولة و بالتالي تسوية أي خلاف يتم بشكل مباشر.

الاستنتاجات والتوصيات:

في هذا البحث تم العمل على تحديد المخاطر التي تتعرض لها مشاريع الجسور في سورية و تحليل هذه المخاطر باستخدام طريقة نمط الفشل و تحليل التأثير الضبابية حيث تم تحديد احتمالية حدوث هذه المخاطر و شدة تأثيرها على الوقت و الكلفة و الجودة و تحديد إمكانية الكشف و السيطرة عليها وذلك من أجل ترتيب المخاطر وفقاً لدرجة أهيمتها و توصل البحث إلى مجموعة من النتائج كان أهميها:

1. تحديد 53 خطراً تتعرض لها مشاريع تشييد الجسور في سورية بالاعتماد على الدراسات المرجعية و الخبراء في مجال تنفيذ هذه المشاريع.
2. إن أكثر المخاطر أهمية على مشاريع تشييد الجسور هي زيادة أسعار المواد يليه خطر تغير سعر الصرف، التضخم، ظروف موقع غير متوقعة.
3. أقل المخاطر أهمية في مشاريع الجسور هي إضرابات و نزاعات عمالية،تلوث الهواء و التربة و مصادر الماء في موقع المشروع، الوفيات، التفتيش الزائد، قلة عدد العمال، تناقضات في العقد.

بناءً على ما تقدم يوصي البحث بما يلي:

1. اعتماد المنهجية التي تم تطويرها خلال البحث من قبل شركات التشييد و ذلك من أجل زيادة قدرتها على على مواجهة مخاطر مشاريع تشييد الجسور.
2. استغلال المزايا التي توفرها نمذجة معلومات البناء و العمل على توظيفها في مجال إدارة المخاطر بهدف جعل عملية إدارة المخاطر أكثر مرونة و سهولة.

References:

.1 El-Sayegh SM. Project risk management practices in the UAE construction industry. International Journal of Project Organisation and Management. 2014;6(1-2):121-37.

.2 Tohidi H. The Role of Risk Management in IT systems of organizations. Procedia Computer Science. 2011;3:881-7.

.3 El-Sayegh SM, Mansour MH. Risk assessment and allocation in highway construction projects in the UAE. Journal of Management in Engineering. 2015;31(6):04015004.

.4 Serpell A, Ferrada X, Rubio L, Arauzo S. Evaluating risk management practices in construction organizations. Procedia-Social Behavioral Sciences. 2015;194:201-10.

.5 Perera B, Dhanasinghe I, Rameezdeen R. Risk management in road construction: the case of Sri Lanka. International Journal of Strategic Property Management. 2009;13(2):87-102.

.6 Hashemi H, Mousavi SM, Mojtahedi SMH. Bootstrap technique for risk analysis with interval numbers in bridge construction projects. Journal of Construction Engineering Management. 2011;137(8):600-8.

.7 Choudhry RM, Aslam MA, Hinze JW, Arain FM. Cost and schedule risk analysis of bridge construction in Pakistan: Establishing risk guidelines. Journal of Construction Engineering Management. 2014;140(7):04014020.

.8 Ahmadi M, Behzadian K, Ardeshir A, Kapelan Z. Comprehensive risk management using fuzzy FMEA and MCDA techniques in highway construction projects. Journal of Civil Engineering Management. 2017;23(2):300-10.

.9 Mustafa M. Studying risks of cost overruns in road projects in Syria. Damascus University Journal for Engineering Sciences. 2017;33(1):61-70.

.10 Naderpour H, Kheyroddin A, Mortazavi S. Risk assessment in bridge construction projects in Iran using Monte Carlo simulation technique. Practice Periodical on Structural Design Construction. 2019;24(4):04019026.
.11 Tawalare A, editor Identification of risks for Indian highway construction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2019: IOP Publishing.
.12 Mortazavi S, Kheyroddin A, Naderpour H. Risk evaluation and prioritization in bridge construction projects using system dynamics approach. Practice Periodical on Structural Design Construction. 2020;25(3):04020015.
.13 Wang X, Wang Y, editors. The research on bridge engineering risk management and assessment model based on BP neural network. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2020: IOP Publishing.
.14 Ongkowijoyo CS, Gurmu A, Andi A. Investigating risk of bridge construction project: Exploring Suramadu strait-crossing cable-stayed bridge in Indonesia. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment. 2021;12(1):127-42.
.15 Leo-Olagbaye F, Odeyinka HA. An assessment of risk impact on road projects in Osun State, Nigeria. Built Environment Project Asset Management. 2020;10(5):673-91.
.16 Zhang W. Research on Risk Management of Cross-Sea Bridges Based on Analytic Hierarchy Process—Taking Hangzhou Bay Bridge as an Example. World Journal of Engineering Technology. 2021;9(3):624-36.
.17 Garg R, Rawat S, editors. Analysis of Risk Assessment in Highway Projects Using Importance Index. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2021: IOP Publishing.
.18 Mohammadi A, Tavakolan M, editors. Construction project risk assessment using combined fuzzy and FMEA. 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS); 2013: IEEE.
.19 Abdelgawad M, Fayek AR. Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. Journal of Construction Engineering management. 2010;136(9):1028-36.
.20 Hartman F, Snelgrove P. Risk allocation in lump-sum contracts—Concept of latent dispute. Journal of construction engineering management. 1996;122(3):291-6.
.21 Mills A. A systematic approach to risk management for construction. Structural survey. 2001;19(5):245-52.
.22 Karatop B, Taşkan B, Adar E, Kubat C. Decision analysis related to the renewable energy investments in Turkey based on a Fuzzy AHP-EDAS-Fuzzy FMEA approach. Computers Industrial Engineering. 2021;151:106958.
.23 Trenggonowati DL, Ulfah M, Arina F, Lutfiah C, editors. Analysis and strategy of supply chain risk mitigation using fuzzy failure mode and effect analysis (fuzzy fmea) and fuzzy analytical hierarchy process (fuzzy ahp). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2020: IOP Publishing.
.24 Cox ED. Fuzzy logic for business and industry: Charles River Media, Inc.; 1995.
.25 Saaty RW. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical modelling. 1987;9(3-5):161-76.
.26 Saaty TL. The analytic hierarchy process (AHP). The Journal of the Operational Research Society. 1980;41(11):1073-6.
.27 Vahidnia MH, Alesheikh AA, Alimohammadi A. Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. Journal of environmental management. 2009;90(10):3048-56.