Contribution to the Development of a Construction Industry Risks Assessment Model on the Occupational Health and Safety- Case Study (Coastal Area in Syria)

Dr. Haytham Shaheen[*]
Dr. Samia Chiban[**]
Hazar Nayouf[***]

(Received 12 / 5 / 2019. Accepted 3 / 9 / 2019)

□ ABSTRACT □

The assessment of occupational health and safety in construction projects is a complex process involving many random variables that are difficult to be quantified. This research presents a model based on fuzzy logic to assess the risk of health and safety occupational in construction. The model was applied in construction projects in the coastal area and contribution in improving an effective structure in managing these risks. From field study and literature review, six main risks are determined in construction industry. To determine each risk, a survey was designed and distributed in two construction locations, in addition to observation, and then treating the lexical variables in the survey to obtain the risk matrix using the fuzzy logic. The value of each risk is evaluated basing on four factors Safety Climate, Severity, Possibility and Safety Barriers. The results showed a low safety climate in the studied locations. The simulations showed that the synergistic effect of periodic training of workers in addition to inexpensive efficient safety barriers can reduce the mentioned risks by the half approximately.

Keywords: occupational health and safety, construction, fuzzy logic, risk assessment, safety procedures.

[*]**Professor - Department of Environmental Engineering- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Latakia- Syria.**
[**]**Assistant Professor - Environmental Systems Engineering Department, Higher Institute of Environmental Research- Tishreen University- Latakia- Syria;**
[***]**Postgraduate Student (Master), Environmental Systems Engineering Department, Higher Institute of Environmental Research- Tishreen University- Latakia- Syria; Email: eng.hazar.nayouf@gmail.com**

مساهمة في تطوير نموذج تقويم مخاطر صناعة التشييد على الصحة والسلامة المهنية – حالة دراسة (المنطقة الساحلية في سوريا)

د. هيثم شاهين*

د. سامية شيبان**

هزار نيوف***

(تاريخ الإيداع 12 / 5 / 2019. قُبِل للنشر في 3/ 9 / 2019)

□ ملخّص □

يُعتبَر تقدير الصحة والسلامة المهنية ضمن مشاريع البناء عملية معقدة تتضمن الكثير من المتغيرات العشوائية التي من الصعب أن نحيط بها كميّاً. يعرض البحث نموذجاً يعتمد على المنطق الضبابي ويهدف إلى تقييم خطر الصحة والسلامة المهنية في عمليات التشييد. تم تطبيق النموذج على عمليات التشييد في المنطقة الساحلية والمساهمة في تطوير هيكلية فعالة في إدارة هذه المخاطر. من خلال الدراسة الميدانية والمرجعية تم حصر ستة مخاطر أساسية يتعرض لها فريق العمل في صناعة التشييد. حيث يتم قياس مقدار كل خطر اعتماداً على أربعة عوامل هي مناخ السلامة العام، شدة هذا الخطر، احتمال حدوثه وفاعلية حواجز السلامة التي تم استنتاجها عن طريق استبيان الخبراء ومن ثم معالجته بالمنطق الضبابي وذلك في موقعين قيد الإنشاء للحصول على مصفوفة الخطر. أظهرت النتائج تدني المناخ العام للسلامة في مواقع الدراسة. أظهرت عمليات المحاكاة أن التأثير المتضافر للتدريب الدوري للعمال بالإضافة إلى حواجز سلامة فعالة غير مكلفة من شأنه تقليل المخاطر المذكورة بمقدار النصف تقريباً.

الكلمات المفتاحية: الصحة والسلامة المهنية، التشييد، المنطق الضبابي، تقييم الخطر، إجراءات السلامة.

* **أستاذ – قسم الهندسة البيئية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية**

** **مدرسة – قسم هندسة النظم البيئية– المعهد العالي لبحوث البيئة– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية**

*** **طالبة دراسات عليا (ماجستير) –قسم هندسة النظم البيئية– المعهد العالي لبحوث البيئة– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية، البريد الالكتروني: Email: eng.hazar.nayouf@gmail.com**

مقدمة:

تعتبر السلامة المهنية من الخصائص الأساسية التي يجب أخذها بعين الاعتبار في صناعة البناء (Pinto, 2014; Sklad, 2019; Nasirzadeh et al. 2019). بشكل عام يعد تقييم المخاطر عملية معقدة تتطلب النظر في العديد من المعايير النوعية والكمية وخاصة في صناعة البناء. ونظراً للطبيعة الخطرة المحددة لهذا القطاع، يتم التعامل مع بيانات ومعلومات غير دقيقة (; Loosemore and Lee,2001 and Tam et al. 2004; Ferreira et al. 2019) حيث تعد مشاريع التشييد ذات طبيعة خاصة ومن أهم ملامحها طول مدة التنفيذ وتعدد المراحل مما يؤدي إلى ظهور العديد من المخاطر والتي قد تؤثر سلباً على سير المشروع، ويصعب تجنبها أو التنبؤ بها أو بتأثيرها على المشروع، مما دعا إلى الاهتمام بموضوع المخاطر في صناعة التشييد على المستوى الدولي. حيث تتعرض هذه المشاريع إلى أنواع متعددة المخاطر والتي يمكن أن يتفاعل بعضها مع البعض الآخر بشكل معقد. على الرغم من تزايد الوعي خلال العقود الماضية حول المخاطر التي تهدد السلامة والصحة المهنية من قبل مختلف الأطراف المعنية في صناعة البناء والتشييد، إلا أن معدلات الحوادث لا تزال أعلى بكثير مما هي عليه في معظم الصناعات الأخرى (Sousa,2014; Eskander, 2018; Zhang and Mohandes, 2019)، ويعود ذلك إلى أسباب عديدة كصعوبة هذه الأعمال والمستوى التعليمي المنخفض للعاملين (; Gambatese et al., 2008, Fung et al. 2010). في الواقع لا تمثل الدراسات في هذا المجال سوى 2.28% من الأبحاث المتاحة مما يؤكد على ضرورة الاهتمام بالصحة والسلامة المهنية في قطاع التشييد (Zhou et al., 2015; Wu et al. 2019). حيث تتميز هذه الصناعة بطبيعتها الخطرة، وتشكل بيئة العمل مواقع خطرة للعاملين في هذا المجال، خاصة إذا لم يتم تطبيق برامج وإجراءات السلامة على نحو فعال من قبل القائمين على العمل (مالك، متعهد، مقاول،....). تشمل عمليات التشييد مجالات عدة (صيانة، ترميم، هدم،....)، وتختلف طبيعة المهام التي يتم إنجازها من مهام بدنية شاقة إلى عمليات ميكانيكية تماماً، ما يؤدي إلى تفاوت درجات الخطر الناجم عنها والذي قد يؤدي في بعض الأحيان إلى حالات وفاة أو عجز(Pinto,2014; Sousa et al. 2015; Szymanski, 2017; Adeleke et al. 2018) يهدف هذا العمل إلى المساهمة في تقييم مخاطر الصحة والسلامة المهنية في مواقع البناء وتقدير مستوى هذه المخاطر حسب وضع الحادث، بالتالي المساهمة في العمل بأمان. للتغلب على بعض هذه المخاطر يقترح البحث نموذجًا نوعيًا لتقييم المخاطر يستند إلى بيانات تم استنباطها من مواقع العمل ويستخدم المنهج الضبابي (FST: Fuzzy Set Theory) الذي اقترحه (Adeleke et al. 2018) لتحويل البيانات المُجمّعة باستخدام مفاهيم وتقنيات غامضة لتصنيف مستويات المخاطر حسب أنماط الحوادث. يوفر منهج FST طريقة طبيعية لنمذجة المخاطر في ظل غياب البيانات الدقيقة والمعلومات الموثقة والوصول لنتائج وحلول أكثر واقعية من شأنها تخفيف هذه المخاطر. (; Herrera and Viedma, 2000; Mure et al., 2006; Liu et al., 2004; Xing et al. 2019).

مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث في عدم وجود إجراءات أو قواعد عالمية ثابتة لتوصيف مخاطر البناء أو الحد منها، بالإضافة إلى قلة البيانات المتوفرة لتحليل هذه المخاطر، وغياب توثيق الحوادث والإصابات التي يتعرض لها العمال، الأمر الذي يؤدي إلى أخطار ومشاكل كبيرة تنعكس بشكل سلبي على قطاع التشييد الذي يعد من القطاعات الاستراتيجية الهامة (Bardan and Usemen 2006; Aloko, 2018; Xing et al. 2019).

أهمية البحث وأهدافه:

من خلال الاطلاع على الواقع الحالي لمشاريع البناء في المنطقة الساحلية تبين لنا مدى أهمية إلقاء الضوء على المخاطر الصحية والمهنية التي تحدث أثناء عمليات التشييد، وبالتالي تبيان ماهية تأثير تلك المخاطر في أهداف المشروع والبيئة المحيطة. والمساهمة في تطوير هيكلية فعالة في إدارة هذه المخاطر من خلال وضع مصفوفة (تربط بين احتمال المخاطر ودرجة تأثيرها) لتبيان أهمية الأخطار المحتملة والإجراءات المتبعة. مما يحسن من واقع هذه المشاريع وفق الأهداف التالية:

1. تحديد المخاطر الرئيسية للصحة والسلامة المهنية في عمليات التشييد في المنطقة الساحلية واحتمالاتها.
2. وضع مصفوفة لتقييم الخطر اعتماداً على نماذج تقدير الخطر الموثقة في المراجع العلمية الحديثة وكمية المعطيات المتوفرة من الاستبيانات، المشاهدات والتقارير ذات المصداقية.
3. تقييم مستوى الوعي تجاه هذه المخاطر والإجراءات المطبقة، واقتراح الإجراءات الممكنة لتلافي هذه المخاطر أو تخفيف آثارها.

طرائق البحث ومواده:

1. نموذج تقييم مخاطر السلامة المهنية النوعي المقترح:

يستخدم النموذج في علم السلامة بحيث يوفر الإطار العملي لبناء العلاقة بين أنماط الحوادث (التي تم ملاحظتها وتحديدها من خلال زيارة مواقع العمل ومقابلة الخبراء) وعوامل المخاطر الرئيسية. يتألف من أربعة أبعاد: مناخ السلامة (SC: Safety Climate)، الخطورة (S: Severity)، عوامل الاحتمال (AP: Possibility)، وحواجز السلامة (الأمان) (SB: Safety Barriers) المستعملة لتقدير مخاطر أنماط الحوادث في جدول (1)

جدول 1: أنماط الحوادث (عمل الباحث من خلال الاستبيانات وزيارة مواقع العمل)

1	السقوط	F	Falls
2	الصعق بالكهرباء	E	Contact with electricity
3	التعرض لحوادث السيارات بما في ذلك المركبات الثقيلة	C	Moving of heavy vehicles
4	الإصابة نتيجة سقوط أو انهيار شخص/ جسم/ جدار/ مركبة/ رافعة والتي تسقط سقوطاً حراً بتأثير وزنها الذاتي بما في ذلك انهيار الأبنية	B	Falling objects
5	انهيار جوانب الحفر أثناء عمليات الحفر أو بعده	H	Cavi-ins
6	الحريق والانفجارات بما في ذلك العمل في الأماكن الضيقة	FE	Fire or Explosion

تعد أنماط الحوادث الستة هذه مسؤولة عن حوالي 95% من حوادث العمل التي تحدث في مواقع البناء في محافظتي اللاذقية وطرطوس.

النموذج المعتمد:

$$R\ (x) = \theta_{and}(SC, S\ (x), AP\ (x), SB\ (x)) \qquad (1)$$

حيث: R هو مستوى المخاطر المهنية، (x) هو نمط الحادث، (SC) هو مناخ السلامة، (S) الخطورة،(AP) هو احتمالية وقوع حادث العمل، (SB) هو كفاءة حواجز العمل و (θ_{and}) هو معامل التجميع الضبابي (AND)، لا يعتمد مناخ السلامة على نمط الحادث أو على مهمة العمل، بل يقدَر وفقاً للموقع ويمكن اعتباره ثابتاً.

على اعتبار أنه قد استخدم في هذا العمل النظرية الضبابية بدلاً من النظرية الاحتمالية، يتم استبدال مفهوم الاحتمال بالمفهوم الضبابي.

سيتم إنجاز النموذج المقترح في 13 خطوة:

الخطوة 1: اختيار عينة العاملين ضمن الموقع والإدارة لإجراء المقابلة معهم وفقاً للمبادئ التالية:

– تجرى المقابلة مع عدد مناسب من الموظفين من جميع المقاولين والمقاولين الضمنين والعمال المستقلين.

– تجرى المقابلة مع عدد مناسب من العمال على امتداد سلسلة القيادة (المهندسون، ورؤساء، وقادة الفرق، والخبراء و.....).

يجب إجراء المقابلات في مكان مغلق لمنع تحيز النتائج.

الخطوة 2: تصنيف عوامل مناخ السلامة المحددة (" قواعد وإجراءات السلامة"، " كفاءة العمال"، "سلوك العمل الآمن"، "بيئة العمل"، "تخطيط السلامة"، "نظام إدارة السلامة"، و"المخاطر الصحية")، باستعمال المتغير اللغوي الضبابي "ملاءمة adequacy" جدول (2). يجرى التقييم من أجل كل عامل عن طريق المصطلح الدلالي الذي تم اختياره أكثر من مرة من قبل الأشخاص الذين تمت مقابلتهم.

جدول 2: المتغير اللغوي "ملاءمة" من أجل تقييم احتمالية الحوادث والعوامل المؤثرة بمناخ السلامة (Pinto, 2014)

المصطلح الدلالي	المعنى	درجة العضوية $(1-\mu)$
ملائم للغاية	يتم التحكم بكافة العوامل عبر تدابير السلامة الفعالة والموثوقة في أي حادث (تطبيق أفضل الممارسات و/ أو غيرها من الشروط ذات الصلة)	0.06
ملائم جداً	يتم التحكم بكافة العوامل عبر تدابير السلامة الفعالة والموثوقة في أي حادث (تطبيق أفضل الممارسات و/ أو غيرها من الشروط ذات الصلة). قد لا يكون التحكم بالحوادث القصوى أمراً ممكناً.	0.21
ملائم	تكون تدابير السلامة كافية من أجل المتطلبات	0.41
ملائم تقريباً	لا يتم التحكم ببعض العوامل بشكل جيد. قد تحدث الحوادث، يجب تحسين تدابير السلامة	0.56
منخفض الملاءمة	لا يتم التحكم ببعض العوامل بشكل جيد. من المرجح وقوع الحوادث، توجد تدابير للسلامة لكنها ليست فعالة حقاً، تدابير السلامة غير كافية من أجل المتطلبات.	0.78
غير ملائم	تكون بعض العوامل خارج نطاق التحكم، من المرجح وقوع الحوادث بشكل متكرر (تقع الحوادث بشكل مستمر). لا تتناسب تدابير السلامة مع المتطلبات.	0.94

الخطوة 3: التقييم النهائي لمناخ السلامة في الموقع باستعمال معامل التجميع الضبابي Fuzzy–OR (العلاقة 2).

$$\theta_{or}(\mu_i(x)) = \gamma.\max(\mu_i(x)) + \frac{(1-\gamma)\sum_{i=1}^{n}(\mu_i(x))}{n} \qquad (2)$$

حيث:

θ_{or} : معامل التجميع الضبابي Fuzzy–OR.

γ : معامل تجريبي $\gamma \in [0.1]$ لتجميع عوامل مناخ السلامة وإمكانية وقوع حوادث العمل، في البحث تم اعتماد قيمته $\gamma = 0.4$ (Pinto, 2012)

x: العامل المؤثر بمناخ السلامة (يؤخذ من الجدول(7)).

n: عدد العوامل المؤثرة بمناخ السلامة.

الخطوة 4: تحديد أنماط الحوادث التي يمكن أن تحدث وذلك من أجل كل مهمة، يجب بناء هذا التحديد وفق ظروف موقع العمل بمساعدة مدراء الموقع والعمال.

الخطوة 5: تحديد العوامل التي تؤثر في احتمالية وقوع كل نمط من أنماط الحوادث، عبر استعمال استبيان الخبراء، وتسمى "استبيانات حول العوامل المؤثرة (F)"، "استبيانات حول العوامل المؤثرة (E)"، "استبيانات حول العوامل المؤثرة (C)"، "استبيانات حول العوامل المؤثرة (B)"، "استبيانات حول العوامل المؤثرة (H)" و"استبيانات حول العوامل المؤثرة (FE)".

الخطوة 6: تقييم عوامل الاحتمالية المحددة باستعمال المتغير اللغوي الضبابي "ملاءمة" (الجدول 2).

الخطوة 7: تقدير احتمال وقوع الحادث باستعمال معامل التجميع الضبابي Fuzzy–OR (المعادلة 2).

الخطوة 8: تقدير الخطورة المتوقعة من أجل كل نمط من أنماط الحوادث باستعمال المتغير اللغوي الموضح في الملحق B، ويأخذ بعين الاعتبار ظروف عمل الموقع.

الخطوة 9: تحديد حواجز السلامة المنفذة في الموقع أجل كل نمط من أنماط الحوادث وذلك حسب نوع حواجز السلامة والتي تسمى: فيزيائية (Physical)، مادية (material)، وظيفية(Functional)، ورمزية (Symbolic).

الخطوة 10: تقييم فعالية حواجز السلامة باستعمال المتغير اللغوي الضبابي "كفاءة حواجز السلامة" (الجدول 3).

جدول 3: المتغير اللغوي "كفاءة حاجز السلامة" من أجل تقييم كفاءة حواجز السلامة (Pinto, 2014)

المصطلح الدلالي	المعنى	درجة العضوية $(1-\mu)$
ممتاز	يكون حاجز السلامة ملائماً مبنياً بشكل جيد، يعمل بكفاءة وبطريقة موثوقة للغاية (يأخذ بعين الاعتبار الممارسات السيئة المتوقعة من العمال) وهو متين (لا يتطلب تدخل بشري)	0.06
جيد جداً	يكون حاجز السلامة ملائماً مبنياً بشكل جيد، يعمل بكفاءة وبطريقة موثوقة للغاية (يأخذ بعين الاعتبار الممارسات السيئة المتوقعة من العمال)، وهو متين، لكنه يتطلب موارد غير محدودة للمحافظة عليها، ولا يتطلب تدخل بشري.	0.21
جيد	يكون حاجز السلامة ملائماً، مبنياً بشكل جيد ويعمل بكفاءة، وبطريقة موثوقة للغاية (يأخذ بعين الاعتبار الممارسات السيئة المتوقعة من العمال)، لكنه	0.41

	تدخلي أي لا يمكن ضمان قوته في الأحداث المتطرفة كالحريق مثلاً.	
متوسط	فعالية حاجز السلامة غير كافية، يوجد شكوك حول موثوقيته (يعتمد على العنصر البشري من أجل تحقيق الغرض منه).	0.56
غير ملائم	لا يعمل حاجز السلامة دائماً كما هو متوقع منه أو يتضمن انقطاعات تجعله غير موثوق.	0.78
سيء	يكون حاجز السلامة غير فعال (لا يحقق الغرض منه) أو يمكن أن يكون له تأثير مضاد (زيادة المخاطر بطريقة أو بأخرى)	0.94

الخطوة 11: تقدير فعالية حواجز السلامة المنفذة في الموقع من أجل كل نمط من أنماط الحوادث عبر استخدام معامل التجميع الضبابي الذي يأخذ تضافر أثر الحواجز بعين الاعتبار.

الخطوة 12: إجراء التقييم النهائي لمستوى الخطورة من أجل كل نمط من أنماط الحوادث في موقع البناء عبر دمج الأبعاد الأربعة باستعمال معامل Fuzzy– AND (المعادلة 3).

$$\theta_{and}(\mu_i(x)) = \gamma.\min(\mu_i(x)) + \frac{(1-\gamma)(\sum_{i=1}^{n}(\mu_i(x))}{n} \qquad (3)$$

حيث:

θ_{and} : معامل التجميع الضبابي Fuzzy– AND.

γ : معامل تجريبي $\gamma \in [0.1]$ لتجميع الأبعاد الأربعة لتقدير مستوى الخطر، في البحث تم اعتماد قيمته $\gamma = 0.4$ (Pinto, 2014)

x: البُعد المؤثر بمناخ السلامة.

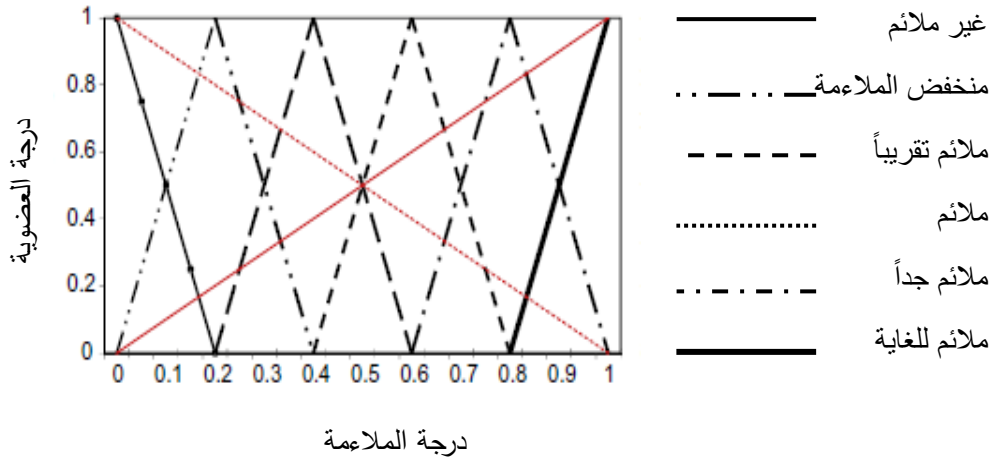
n: الأبعاد المؤثرة بمناخ السلامة $n = 4$.

الخطوة 13: الاستنتاجات والتوصيات: تحديد العوامل التي يجب تحسينها أولاً من أجل كل نمط من أنماط الحوادث والمهام، وهي تلك العوامل التي تكون "غير ملائمة"، ثم "منخفضة الملاءمة" وهكذا. يجب أن يخضع لأولويات عبر ترتيب تنازلي للتأثير السلبي والعوامل التي من المحتمل أن تكون أكثر ضرراً على سلامة العمال وبناء عليه يتم اقتراح إجراءات السلامة المناسبة.

2. المتغيرات اللغوية من اجل تقييم عوامل الخطر:

تم بناء ستة متغيرات لغوية من أجل تقييم عوامل المخاطر المساهمة في كل بعد من أبعاد النموذج. أحدها هو "ملاءمة Adequacy" والذي يسمح بتقييم عوامل مناخ السلامة واحتمال وقوع حادث العمل.

صُمم المتغير اللغوي "ملاءمة Adequacy" لتحديد الدرجة الأقل أو الأعلى للملاءمة (من حيث ملاءمة الغرض المطلوب) لكل عامل يساهم في عوامل مناخ السلامة والاحتمالية لحوادث العمل.



الشكل 1: التمثيل الضبابي للمتغير اللغوي "ملاءمة "Adequacy"

يشمل ستة مصطلحات دلالية ممثلة بتوابع عضوية مثلثية، كما هو موضح في الشكل (1) تشمل المصطلحات الدلالية والفترات الزمنية لتوابع العضوية ما يلي: "غير ملائم": المجال [0.0– 0.2]، "منخفض الملاءمة": المجال [0.0–0.4]، "ملائم تقريباً": المجال [0.2–0.6]، "ملائم": المجال [0.4–0.8]، "ملائم جداً": المجال [0.6–1.0]، "ملائم للغاية": المجال [0.8–1.0]. يعود السبب المنطقي في استخدام العضوية المنخفضة من أجل معظم العوامل الملائمة إلى حقيقة أنه كلما كانت المخاطر أقل، كلما كان ذلك أفضل (تعني العضوية صفر مثلاً غياب تهديدات السلامة المهنية)، وهكذا تنطوي الملاءمة على مخاطر أقل.

يعود السبب المنطقي في اعتماد العضوية المنخفضة لتوصيف الملاءمة الجيدة إلى حقيقة أنه كلما كانت المخاطر أقل كلما كان ذلك أفضل (تعني درجة العضوية صفر مثلاً غياب تهديدات السلامة المهنية)، وهكذا تنطوي الملاءمة على مخاطر أقل.

3. تقدير مستويات الخطر (تجميع العوامل):

لا بد من تجميع عوامل الخطر التي تم تصنيفها باستعمال المتغيرات اللغوية للتوصل إلى التقدير النهائي لمخاطر السلامة المهنية. أولاً تجمع العوامل التي تندرج تحت بعد واحد للتوصل إلى تقدير البعد ومن ثم تجمع الأبعاد الأربعة للتوصل إلى التقدير النهائي لمخاطر السلامة المهنية. يستعمل لتجميع هذه القيم معاملاً ضبابياً (كالجمع، والمتوسط، والقيم الأعظمية والمضاعفة وغيرها).

تحتاج فعالية حواجز السلامة معاملاً من صنف التجميع (OR) ليعبر عن تأثيره التضافري. يسمح التضافر بالتعبير عن القيمة المضافة في الحصول على أكثر من نوع من حواجز السلامة، على سبيل المثال في حال وجد حاجزي سلامة فإن مجموعهما يجب أن يكون أكبر بقليل من واحد فقط. إذا كان لدينا حاجزي سلامة جيدين عندها يجب أن يكون مجموعهما أفضل من جيد فقط. يأخذ اختيار معامل التجميع حقيقة امتلاك حواجز السلامة التي تسلك سلوك مجموعة من طبقات الحماية التي يجب أن تكون نتيجتها أفضل بقليل من الحاجز الأفضل بالفعالية.

1- إذا كانت الحواجز الأربعة جيدة، يجب أن يكون المعامل "ممتازاً".

2- إذا كان هناك حاجزين "جزئيين" وحاجزين "سيئين"، يجب أن تكون النتيجة "جيدة" نظراً للتأثير المتضافر لدمج حواجز السلامة التي تعمل معاً.

3- إذا كان هناك حاجزاً واحداً "ممتاز" وثلاثة حواجز "سيئة"، يجب أن تبقى النتيجة "ممتازة" لكن بدرجة أقل بسبب تناقص مستوى السلامة قليلاً.

تم اختيار العوامل التالية (γ) باستخدام الأداة "التجربة والخطأ" بالتعاون مع خبراء السلامة لضبط استجابة النموذج:

- المعامل "Fuzzy-OR" (المعادلة 2): ($\gamma = 0.4$) لتجميع عوامل مناخ السلامة وإمكانية وقوع حوادث العمل.
- المعامل "Fuzzy-AND" (المعادلة 3): ($\gamma = 0.4$) لتجميع الأبعاد الأربعة لتقدير مستوى الخطر.

3. 1. مناخ السلامة (SC: Safety Climate): لا تعد عوامل مناخ السلامة عوامل مباشرة في وقوع حوادث العمل لكن في تشكيل ظروف وقوع الحوادث. تشير الدراسات في مجال حوادث صناعة البناء إلى تشابه العوامل المؤثرة في وقوع الحوادث في العديد من البلدان وإلى أن تدابير السلامة غير الملائمة والوعي المنخفض لكل من العمال والإدارة هي الأسباب الرئيسية للحوادث العالية في مجال صناعة التشييد (Abdelhamid and Everett, 2000; Tam et al., 2004; Macedo and Silva, 2005; Aksorn and Hadikusumo, 2008).

وفقاً لـ (Mohamed, 2002) يشكل سلوك العمل الآمن في مجال البناء عواقب مناخ السلامة الموجود. وبالمثل وجد (Larsson, 2005) أن مناخ السلامة الإيجابي مهم جداً من أجل سلامة العمال. وبالتالي يؤمن مناخ السلامة مؤشرات حول سلوك العمال والذي يتشكل من السياسات والإجراءات المتخذة من قبل الإدارة العامة ومن إجراءات جهاز الإشراف. يُمثَّل نموذج مناخ السلامة بالعلاقة (4) (Pinto, 2014):

$$SC = \Theta_{or}\,(SR_1^4, WC_1^2, SB_1^2, WE_1^3, SP_1^2, SM_1^2, HR_1^2) \qquad (4)$$

جدول 4: العوامل المؤثرة بمناخ السلامة

SR:	safety rules	قوانين و إجراءات السلامة
WC:	Workers Competence	كفاءة العمال
SB:	Safe Behavior	سلوك العمل الآمن
WE:	Work Environment	بيئة العمل
SP:	Safety Planning	تخطيط السلامة
SM:	Safety Management	نظام إدارة السلامة
HR:	Health Risk	المخاطر الصحية

حيث: توضح كل من العوامل السبعة المكونة له تحت الدليل للإشارة إلى عدد العوامل المحتواة في كل منها (1,…,n) وتستخدم θ_{or} من أجل المعامل الضبابي. يجب اعتبار جميع العوامل التي تشكل هذا النموذج للتأكد من التقييم الشامل لمناخ السلامة بغض النظر عن حجم الموقع ونوع البناء وغيرها.

2.3. الخطورة (S: Severity): تتسبب الحوادث المهنية بدرجات مختلفة من الضرر والتي قد تصل إلى الأذية، لذا يجب أخذ الخطورة بالاعتبار من أجل فهم المخاطر المهنية وتخفيفها ولكنها صعبة التقدير بشكل مسبق بسبب تعدد العواقب المحتملة لحادث معين. يجب تقييم خطورة أنماط الحوادث على أساس خصائص بيئة العمل وخبرة المحلل ومعرفته، بالإضافة للرجوع لقوانين الفيزياء والكيمياء والهندسة.

3.3. الاحتمالية (AP: Possibility): تمثل AP احتمالية وقوع الحادث أثناء العمل، يعتمد كل نمط من أنماط الحوادث على مجموعة من متغيرات العوامل المرتبطة بظروف العمل (المعدات، المواد، الإجراءات والتنظيم)، تمثل المعادلات الرياضية في الجدول 4 توابع الاحتمالية لكل نمط حادث.

جدول 5: تابع الاحتمالية AP لكل نمط حادث

$AP_B = \Theta_{or} B_f\ ,\quad f = 1, \dots, 4$	$AP_F = \Theta_{or} F_f\ ,\quad f = 1, \dots, 14$
$AP_H = \Theta_{or} H_f\ ,\quad f = 1, \dots, 5$	$AP_E = \Theta_{or} E_f\ ,\quad f = 1, \dots, 9$
$AP_{FE} = \Theta_{or} FE_f\ ,\quad f = 1, \dots, 7$	$AP_C = \Theta_{or} C_f\ ,\quad f = 1, \dots, 6$

4.3 حواجز السلامة (SB: Safety Barriers) : أحد التعريفات الهامة لفعالية حواجز السلامة هو قدرة حاجز السلامة على تنفيذ وظيفة آمنة خلال فترة معينة في وضع غير متدهور وفي ظروف محددة مسبقاً (Sklet, 2006). يتمثل التعريف بالفعالية لتقييم قدرة حواجز السلامة على تحقيق الغرض منها عند الحاجة إليها ومدى قدرتها على الصمود أمام التغيرات المحيطة وإلا تؤدي إلى حوادث أخرى.

يشير حاجز السلامة إلى فعالية حواجز السلامة القائمة، حيث قسمت حواجز السلامة إلى أربع مجموعات وفقاً لـ (Hollnagel, 2008) الحواجز الفيزيائية، الحواجز الوظيفية، الحواجز الرمزية والحواجز القانونية. سيستعمل المتغير اللغوي "فعالية حواجز السلامة" لتقدير كفاءة حواجز السلامة مع المصطلحات الدلالية المبينة في الجدول (3). تقدر فعالية حواجز السلامة من أجل كل نمط من أنماط الحوادث بالعلاقة التالية:

$$SB = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - x) = 1 - [(1 - x_1) \otimes (1 - x_2) \dots . (1 - x_n)] \quad (5)$$

صس\ءحيث:

x : القيمة العددية لكفاءة حاجز السلامة (تؤخذ حسب الجدول())

$\prod()$: تعبر عن الضرب الضبابي.

النتائج والمناقشة:

1. حالة دراسة: تطبيق النموذج المقترح على موقع البناء:

الخطوة 1 و2: تم تصميم استبيان يتضمن مجموعة من الأسئلة الشاملة للعوامل المؤثرة بمناخ السلامة والحوادث التي يتعرض لها العمال في موقع العمل مُصنّفة وفق المتغير اللغوي (ملاءمة). تم اعتماد خمسة مواقع بناء في مدينتي اللاذقية وطرطوس وفق الجدول (6)، تمت زيارة مواقع العمل وملء الاستبيان من خلال إجراء مقابلات مع خبراء في مجال التشييد من مستويات معرفية مختلفة.

جدول 6: مواقع البناء التي تمت دراستها

الموقع	بيانات الموقع
الأول	نوع البناء: مشروع سكني (سكن الادّخار) في مدينة اللاذقية، مؤلف من 14 طابق مرحلة العمل: الإنشاء والإكساء – عدد العمال: 200 عامل في موقع العمل

	عدد الخبراء: ثلاثة خبراء: مهندس تنفيذ: في الموقع بخبرة 12 سنة مراقب فني: في الموقع بخبرة 20 سنة – مساعد مهندس: في الموقع بخبرة 22 سنة
الثاني	نوع البناء: بناء عام خدمي في جامعة تشرين– اللاذقية، مؤلف من 6 طوابق بمساحة طابقية 73000 م^2 مرحلة العمل: الإنشاء (بلاطات وجدران) – عدد العمال: 200 عامل في موقع العمل عدد الخبراء: خبيرين: مهندس مشرف: في الموقع بخبرة 20 سنة – مراقب فني: في الموقع بخبرة 15 سنة
الثالث	نوع البناء: بناء عام خدمي في جامعة طرطوس، مؤلف من 7 طوابق بمساحة طابقية 4000 م^2 مرحلة العمل: الأساسات – عدد العمال: 30 عامل في موقع العمل عدد الخبراء: أربعة خبراء: مدير المشروع: مهندس مدني بخبرة 20 سنة – مهندس مشرف: في الموقع بخبرة 15 سنة– رئيس العمال: بخبرة 20 سنة – عامل صب: نجار بيتون بخبرة 10 سنوات
الرابع	نوع البناء: بناء عام خدمي في مركز مدينة طرطوس، مؤلف من 13 طابق بمساحة إجمالية 2000 م^2 مرحلة العمل: البلاطات الداخلية والجدران – عدد العمال: 20 عامل في موقع العمل عدد الخبراء: ثلاثة خبراء: مهندس مشرف: في الموقع بخبرة 28 سنة مهندس تنفيذ: في الموقع بخبرة 12 سنة – عامل: بخبرة 15 سنة
الخامس	نوع البناء: بناء برجي خاص تجاري وسكني في مركز مدينة طرطوس مؤلف من 32 طابق مرحلة العمل: الأساسات – عدد العمال: 75 عامل في موقع العمل عدد الخبراء: ثلاثة خبراء: مهندس مشرف: في الموقع بخبرة 15 سنة مسؤول سلامة مهنية: في الموقع بخبرة 13 سنة – عامل صب: نجار بيتون بخبرة 15 سنة

جُمعَت نتائج الاستبيان اللفظية، تم تحويلها إلى قيم ضبابية استناداً إلى الجدول (2)، ومن ثم تحليلها على برنامج اكسل وتقييم التحليل من أجل كل عامل من خلال اتخاذ المصطلح الدلالي الذي تم اختياره أكثر من مرة من قبل مجموعة المقابلة. يوضح الجدول (7) نموذجاً لاستبيان يشمل العوامل المؤثرة بمناخ السلامة في مواقع العمل بعد الإجابة عليه واعتبار المصطلح الدلالي الذي تم اختياره أكثر من مرة ومن ثم تحويله لقيمة ضبابية.

جدول 7: نموذج لاستبيان يشمل العوامل المؤثرة بمناخ السلامة في مواقع العمل

	قوانين وإجراءات السلامة	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
1	توضع خطة للصحة والسلامة المهنية والبيئية قبل البدء بتنفيذ المشروع	0.78	0.94	0.41	0.94	0.21
2	تتم مراعاة التشريعات والقوانين المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية والبيئية خلال تنفيذ المشروع	0.56	0.94	0.56	0.56	0.21
3	يتم اتخاذ جميع الاحتياطات المناسبة لحماية الأشخاص الموجودين في موقع البناء أو على مقربة منه من جميع المخاطر التي يمكن أن توجد في الموقع	0.94	0.56	0.41	0.78	0.21

4	يشارك العمال في تحديد إجراءات السلامة المبدئية	0.94	0.56	0.41	0.78	0.41
كفاءة العمال		الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
5	تدريب العمال على نظم العمل الآمنة واستخدامات وسائل الوقاية الشخصية	0.94	0.78	0.56	0.94	0.21
6	تدريب العمال على كيفية التعامل مع حالات الطوارئ (حرائق، انفجارات،.....)	0.94	0.78	0.78	0.78	0.41
سلوك العمل الآمن		الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
7	الالتزام بعدد ساعات العمل المحددة	0.78	0.41	0.06	0.21	0.21
8	التركيز على صحة العمال و العمر المناسب عند إسناد العمل إليهم	0.78	0.41	0.06	0.56	0.21
بيئة العمل		الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
9	تأمين سلامة أماكن العمل وتهيئة الظروف الملائمة للعمل لمنع وقوع الحوادث والإصابات	0.94	0.41	0.56	0.56	0.21
10	توفير مستويات إضاءة كافية وجيدة داخل المشروع	0.94	0.41	0.78	0.56	0.21
11	الحفاظ على نظافة موقع العمل والتخلص من النفايات باستمرار	0.94	0.78	0.56	0.94	0.21
تخطيط السلامة		الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
12	التخطيط بشكل جيد لموقع المشروع قبل تنفيذ الأعمال وحسب قواعد ومعايير السلامة	0.78	0.56	0.41	0.78	0.06
13	تزويد العمال في الموقع بأدوات السلامة اللازمة (مثل: أغطية الرأس الواقية، الأحذية، القفازات وغيرها)	0.94	0.56	0.21	0.56	0.41
نظام إدارة السلامة		الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
14	تأمين سلامة الآلات وتوفير أجهزة السلامة والوقاية من الحوادث	0.94	0.56	0.78	0.56	0.21
15	إجراء عمليات تفتيش منتظمة بشكل دوري لضمان تطبيق نظام السلامة بشكل دائم و جيد	0.94	0.78	0.94	0.94	0.21
المخاطر الصحية		الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5

16	إجراء فحص طبي دوري للعمال و بالأخص المعرضين منهم لأمراض مهنية	0.94	0.78	0.78	0.94	0.56
17	يوجد حقيبة إسعافات أولية بشكل دائم ضمن المشروع	0.94	0.41	0.06	0.56	0.06

ممتاز 0.06	جيد جداً 0.21	جيد 0.41	متوسط 0.56	غيرملائم 0.78	سيء 0.94

الخطوة 3: تم تقدير مناخ السلامة للمواقع المذكورة عبر تجميع العوامل السابقة باستخدام المعادلة (2)، و قد تم اختيار القيمة الأكبر (الحالة الأسوأ) لكل عامل.

في الموقع الأول:

$$\theta_{or}(\mu_i(x)) = 0.4 * 0.94 + \frac{(1-0.4)(0.94+0.94+0.78+0.94+0.94+0.94+0.94)}{7}$$

بلغ مستوى مخرجات مناخ السلامة في الموقع الأول 0.926، بما أن 0 يعني مناخ سلامة جيد و1 يعني مناخ سلامة سيء، فإن 0.926 تعبر عن مناخ سلامة غير ملائم وفق الجدول (1)، وبالتالي تدابير السلامة في الموقع غير فعالة، تحتاج لتحسين.

و بنفس الطريقة يتم حساب قيم مناخ السلامة في المواقع الأخرى لتكون وفق الجدول (8).

جدول 8: مستوى مخرجات مناخ السلامة في مواقع العمل

	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
مناخ السلامة SC	0.926	0.807	0.745	0.894	0.431

الخطوة 4: تم تحديد أنماط الحوادث المحتملة في موقع العمل هذا، وتشمل:(F, E, C, B, H, FE) وقد تم إدراجها في الاستبيان.

الخطوة 5 و6: تم تصنيف العوامل المؤثرة في احتمالية حوادث العمل من أجل كل نمط من أنماط الحوادث وتقييم هذه العوامل وفقاً للجدول (2).

يوضح الجدول (9) نموذجاً لاستبيان يشمل العوامل المؤثرة في حوادث العمل المحتملة في مواقع العمل بعد الإجابة عليه واعتبار المصطلح الدلالي الذي تم اختياره أكثر من مرة ومن ثم تحويله لقيمة ضبابية.

جدول 9: نموذج لاستبيان يشمل العوامل المؤثرة في حوادث العمل المحتملة في مواقع العمل

	مخاطر السقوط (السقالات والسلالم)	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
18	جميع السقالات والمعدات المرتبطة بها مصنوعة من مواد خالية من العيوب وذات مقاومة كافية للأحمال والإجهادات التي تتعرض لها	0.56	0.56	0.06	0.56	0.21
19	يتم تركيب وفك وتعديل السقالات تحت إشراف مهندس التنفيذ ومن قبل عمال مُختَصين	0.94	0.56	0.06	0.78	0.21

20	عرض السقالات و المشايات كافٍ يسمح بمرور العاملين عليها بأمان دون التعرض للسقوط	0.94	0.56	0.06	0.56	0.21
21	قوائم السقالات وقواعدها ثابتة وتتخذ الاحتياطات اللازمة لضمان ثبات أجزاء الثقالة	0.94	0.41	0.06	0.41	0.06
22	يمنع العمل بالسقالات المتحركة عند هبوب الرياح بسرعات كبيرة	0.94	0.06	0.06	0.21	0.21
23	السقالات والمشايات محاطة بحواجز جانبية منعاً لسقوط العمال	0.78	0.41	0.56	0.78	0.06
24	يتم تزويد العمال بمعدات واقية من السقوط	0.56	0.78	0.21	0.94	0.21
25	يتم اختبار وصيانة السقالات بشكل دوري	0.94	0.56	0.06	0.56	0.21
26	يتم الالتزام بالحمولة القصوى المحددة للسقالات	0.41	0.56	0.06	0.56	0.21
27	يوجد حواجز وأشرطة تحذيرية عند جميع الحواف المفتوحة في السقف و الجدران	0.94	0.94	0.21	0.94	0.21
28	يوجد وسائل مناسبة وآمنة للوصول إلى الأماكن المرتفعة في العمل	0.94	0.56	0.06	0.56	0.21
29	السلالم بحالة جيدة ومزودة بحماية لمنع السقوط من الجانبين	0.94	0.56	0.41	0.78	0.21
30	صيانة السلالم بشكل دوري والتأكد من وضعها بشكل آمن أثناء استخدامها	0.94	0.56	0.56	0.56	0.21
31	توضع السلالم في مكان مناسب خارج نطاق العمل بعد الانتهاء من استخدامها	0.78	0.78	0.78	0.78	0.21
	مخاطر الصعق بالكهرباء	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
32	القواطع الكهربائية الحرارية والمغناطيسية الموجودة كافية لحماية الأشخاص	0.41	0.56	0.06	0.41	0.21
33	يتم تركيب نظام حماية من الصواعق	0.94	0.56	0.06	0.78	0.06
34	تيم تركيب أنظمة أمنية في المنشأة (مثل: إنذار من الحريق، ضد السرقة، مراقبة تلفزيونية)	0.94	0.78	0.94	0.78	0.21
35	تركيب أوتاد تأريض في الأرض للمنشأة	0.21	0.56	0.06	0.41	0.21
36	اعتماد معايير IEC (الاتحاد الكهروتقني الدولي) لتحديد مقطع النوازل المستخدمة في المنشأة	0.78	0.94	0.06	0.78	0.21
37	اتخاذ جميع الإجراءات اللازمة لحماية التجهيزات الكهربائية من التوترات الزائدة على شبكة المنخفض (مثل تركيب مفرغات جهد قبل العداد و بعده)	0.94	0.41	0.06	0.41	0.21
38	وجود قاطع تفاضلي لكشف تسرب التيار إلى الأرض	0.78	0.56	0.06	0.56	0.21
39	يتم تركيب النوازل الأرضية من لواقط الصواعق إلى شبكة التأريض ضمن المجاري أو المزاريب النازلة	0.94	0.41	0.06	0.41	0.21
40	تأمين حماية العمال من الصدمة الكهربائية باستخدام (معدات عازلة/ قواطع حماية/ التأريض)	0.78	0.56	0.06	0.56	0.21
	مخاطر التعرض لحوادث السيارات والمركبات الثقيلة	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 4

41	توجد شبكة مرور مناسبة للوصول إلى الموقع وضمن الموقع لأنواع وحمولات المركبات التي تستعمل تلك المسارات	0.94	0.41	0.78	0.41	0.41	0.41
42	التقيد بحدود السرعة ضمن الموقع لجميع أنواع المركبات	0.94	0.21	0.41	0.41	0.41	0.41
43	يرتدي العمال الذين يعملون ضمن نطاق حركة المركبات سترات تحذيرية عاكسة	0.41	0.78	0.78	0.78	0.94	0.21
44	تحدد الطرق المؤدية إلى الموقع بلوحات دلالية وإشارات مصنوعة من مواد عاكسة	0.78	0.78	0.78	0.78	0.94	0.21
45	تكون إشارات المرور والإشارات التحذيرية مناسبة من حيث الحجم والجودة والنظافة	0.56	0.78	0.78	0.78	0.94	0.21
46	تفحص المركبات المستخدمة في بداية كل وردية أو بداية كل يوم عمل لضمان أن جميع الاجزاء والمعدات والملحقات التي تؤثر على السلامة خالية من العيوب	0.94	0.78	0.56	0.78	0.78	0.21
	مخاطر الإصابة نتيجة سقوط الأجسام	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 4	الموقع 4
47	وجود مظلات واقية بعرض كافٍ وحواجز بارتفاع مناسب تعمل على وقاية العاملين أو المارين أسفلها من خطر سقوط الأشياء عليهم	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.21
48	تفحص الدعامات الخشبية المركبة والتأكد من ثباتها بشكل جيد	0.56	0.21	0.06	0.41	0.41	0.21
49	يتم تفريغ حمولة المركبات بشكل آمن وجيد	0.78	0.21	0.21	0.41	0.41	0.21
50	تم وضع المواد المخزنة على شكل طبقات لمنع انزلاقها أو سقوطها	0.94	0.21	0.41	0.41	0.41	0.21
	مخاطر انهيار جوانب الحفر	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 4	الموقع 4
51	تتم أعمال البناء والحفر والهدم وفقاً للمواصفات الفنية والهندسية مع مراعاة توفير احتياطات واشتراطات الصحة والسلامة المهنية	0.78	0.21	0.56	0.56	0.21	0.21
52	تدعيم جوانب الحفر عند الحاجة بشكل جيد لمنع الهبوطات الجانبية	0.41	0.21	0.78	0.41	0.21	0.21
53	وضع اللوحات الدلالية والإشارات بشكل مناسب في مناطق الحفر	0.94	0.78	0.56	0.78	0.21	0.21
54	تنجز عمليات التفتيش الدورية للحفريات لتحديد إمكانية انهيار جوانب الحفر وملاحظة الظواهر المُنبِّئة بالخطر ويتم اتخاذ الخطوات اللازمة لذلك	0.94	0.41	0.78	0.78	0.78	0.21
55	تخفيض سرعة المركبات بشكل صحيح على الطرقات بالقرب من الحفريات وذلك لمنع الاهتزاز	0.94	0.21	0.41	0.78	0.78	0.21
	مخاطر الحريق أو الانفجار	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 4	الموقع 4
56	التأكيد دوماً على التخلص من مسببات الحريق (مثل: منع التدخين، استخدام مواد غير قابلة للاشتعال، النظافة الوقائية، مطابقة التوصيلات الكهربائية لقواعد الأمان)	0.94	0.41	0.78	0.78	0.78	0.21
57	تواجد وسائل مكافحة الحريق (أجهزة إطفاء، شبكة مياه، طاقم مدرَب للتعامل مع الحرائق)	0.78	0.21	0.56	0.78	0.78	0.06

58	تخزين جميع السوائل القابلة للاشتعال والاحتراق بطريقة آمنة في حاويات مناسبة	0.78	0.41	0.41	0.41	0.21
59	تأمين أسطوانات الغاز المضغوطة عند نقلها أو تخزينها	0.94	0.41	0.56	0.41	0.21
60	التأكيد على عدم استخدام الأسطوانات الفارغة أو الممتلئة كبكرات أو دعامات	0.94	0.06	0.41	0.21	0.21
61	أماكن العمل مهواة بشكل جيد يضمن إزالة الدخان والحفاظ على التراكيز ضمن الحدود الآمنة	0.56	0.21	0.41	0.41	0.21
62	شروط السلامة الضرورية محققة في حالة انفجارات مركبات النقل	0.78	0.56	0.56	0.56	0.21

ممتاز 0.06	جيد جداً 0.21	جيد 0.41	متوسط 0.56	غيرملائم 0.78	سيء 0.94

الخطوة 7:التوصل إلى احتمالية وقوع حوادث العمل بتجميع العوامل وفق المعادلة (2)، فمثلاً كانت احتمالية انهيار جوانب الحفر في الموقع الأول على الشكل التالي:

– في الموقع الأول:

$$\theta_{or}(\mu_i(x)) = 0.4 * 0.78 + \frac{(1-0.4)(0.56+0.78+0.56+0.78+0.41)}{5} = 0.68$$

وبنفس الطريقة يتم حساب الاحتمالية بالنسبة لبقية المخاطر في المواقع كافة لتكون وفق الجدول (10):

جدول 10: نتائج حساب الاحتمالية في مواقع العمل

نمط الحادث	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
F	AP_{F1} = 0.87	AP_{F2} = 0.71	AP_{F3} = 0.46	AP_{F4} = 0.76	AP_{F5} = 0.20
E	AP_{E1} = 0.82	AP_{E2} = 0.73	AP_{E3} = 0.47	AP_{E4} = 0.65	AP_{E5} = 0.20
C	AP_{C1} = 0.83	AP_{C2} = 0.69	AP_{C3} = 0.72	AP_{C4} = 0.82	AP_{C5} = 0.33
B	AP_{B1} = 0.84	AP_{B2} = 0.52	AP_{B3} = 0.53	AP_{B4} = 0.61	AP_{B5} = 0.21
H	AP_{H1} = 0.86	AP_{H2} = 0.53	AP_{H3} = 0.68	AP_{H4} = 0.71	AP_{H5} = 0.21
FE	AP_{FE1} = 0.87	AP_{FE2} = 0.42	AP_{FE3} = 0.63	AP_{FE4} = 0.62	AP_{FE5} = 0.20

بما أنه في المقياس المعتمد: 0 تعني غير محتمل الحدوث و1 تعني من المرجح حدوث هذا الحادث لكن دون معرفة متى، لابد من العمل على خفض احتمالية وقوع الحوادث إذا كانت أعلى من 0.3.

في مواقع العمل الأربعة الأولى امتلكت جميع أنماط حوادث العمل احتمالية عالية في الحدوث وبالتالي يجب تحسين سلامة موقع العمل بالنظر إلى عوامل الخطورة التي تؤثر في هذا البعد.

أما في موقع العمل الخامس فجميع أنماط حوادث العمل ذات احتمالية مقبولة، باستثناء احتمالية التعرض لحوادث السيارات و المركبات الثقيلة، بحاجة لتحسين طفيف.

الخطوة 8: تقدر الخطورة المتوقعة من أجل كل نمط من أنماط الحوادث باستعمال المتغيرات اللغوية الممثلة في الملحق B، وتمثل الخطورة المتوقعة لكل نمط من أنماط الحوادث في الجدول (10):

جدول 11: الخطورة المتوقعة لكل نمط من أنماط الحوادث في مواقع العمل

نمط الحادث	وصف المهمة	تقييم الخطورة
F	يعمل العمال على ارتفاع 1.5 متر فوق سطح ترابي	1.00
E	يستعمل العمال الأدوات الكهربائية، 220 V في البيئة الجافة	1.00
C	وجود آليات ثقيلة كالجرافة والحفار وآليات نقل بيتون الصب	0.50
B	وجود رافعة برجية في الموقع لنقل المواد ثقيلة الوزن	1.00
H	هناك احتمال كبير لانهيار جوانب الحفر مالم يتم تدعيمها بشكل جيد في حال الضرورة لذلك	0.50
FE	توجد بعض الاستخدامات للمواد القابلة للاشتعال	1.00

الخطوة 9: تم تحديد حواجز السلامة التي نفذت في الموقع لكل نمط من أنماط الحوادث من خلال نوع حاجز السلامة الخاص به و هي (فيزيائي، وظيفي، رمزي).

الخطوة 10، 11: من أجل كل نمط من أنماط الحوادث تم تقيم كفاءة حواجز السلامة المنفذة في الموقع باستعمال المتغير اللغوي الضبابي "كفاءة حواجز السلامة" الجدول(3)، و تم تقدير الكفاءة باستعمال معامل التجميع المعطى في المعادلة (5)، فكانت النتائج بعد تطبيق العلاقة (5) واستناداً للملحق (B) على الشكل التالي:

جدول 12: تقدير كفاءة حواجز السلامة من أجل أنماط الحوادث التي تم تقييمها

الموقع	نمط الحادث / نوع حاجزالسلامة	F	E	C	B	H	FE
الموقع 1	فيزيائي	0.06	0.21	0.06	0.21	0.41	0.20
	وظيفي	0.21	0.06	0.41	0.21	0.06	0.21
	رمزي	0.21	0.06	0.21	0.41	0.06	0.06
	كفاءة حاجز السلامة	0.59	0.69	0.44	0.37	0.52	0.59
الموقع 2	فيزيائي	0.06	0.41	0.56	0.78	0.56	0.56
	وظيفي	0.41	0.06	0.41	0.21	0.06	0.78
	رمزي	0.78	0.06	0.06	0.41	0.21	0.21
	كفاءة حاجز السلامة	0.88	0.50	0.76	0.90	0.67	0.92
الموقع 3	فيزيائي	0.06	0.06	0.06	0.41	0.78	0.21
	وظيفي	0.06	0.06	0.41	0.41	0.78	0.21
	رمزي	0.41	0.41	0.56	0.41	0.21	0.21
	كفاءة حاجز السلامة	0.52	0.52	0.42	0.51	0.44	0.49
الموقع	فيزيائي	0.41	0.21	0.41	0.41	0.41	0.41

4	وظيفي	0.21	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
	رمزي	0.06	0.41	0.56	0.41	0.21	0.41
	كفاءة حاجز السلامة	0.44	0.52	0.51	0.21	0.37	0.50
الموقع 5	فيزيائي	0.78	0.56	0.94	0.78	0.78	0.78
	وظيفي	0.78	0.56	0.94	0.78	0.78	0.94
	رمزي	0.94	0.78	0.78	0.94	0.78	0.78
	كفاءة حاجز السلامة	0	0.01	0	0	0.04	0

الخطوة 12: تمثل هذه الخطوة النهائية في النموذج ، حيث يحدد مستوى الخطر الكلي من أجل الموقع الخاضع للتقييم. من أجل كل نمط من أنماط الحوادث تم تحديد التقييم النهائي لمستوى الخطر في موقع البناء عبر تجميع قيم الأبعاد الأربعة التي تم تقديرها مسبقاً باستعمال المعادلة (3).

حساب مستوى خطر السقوط في الموقع الأول:

$$\theta_{and}(\mu_i(x)) = 0.4 * 0.587 + \frac{(1-0.4)(0.926+0.87+1+0.59)}{4} = 0.74$$

و بنفس الطريقة يتم حساب مستويات الخطر لأنماط الحوادث الأخرى في كافة مواقع العمل لتكون على الشكل التالي جدول (12).

جدول 13: مستوى الخطر لحوادث العمل من أجل انماط الحوادث الخاضعة للتحليل في مواقع العمل

نمط الحادث	مستوى الخطر				
	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
السقوط F	0.74	0.79	0.59	0.64	0.24
الصعق بالكهرباء E	0.80	0.65	0.60	0.49	0.27
حركة المركبات الثقيلة C	0.58	0.61	0.43	0.42	0.19
سقوط الأجسام B	0.62	0.69	0.46	0.49	0.25
انهيار جوانب الحفر H	0.62	0.58	0.41	0.52	0.18
الحرائق والانفجارات FE	0.75	0.64	0.63	0.49	0.24

الخطوة 13: مناقشة قيم المخاطر التي حصلنا عليها في مواقع العمل:

تساعدنا هذه النتائج في ترتيب التدخل وفقاً للأولويات للبدء بتحسين إجراءات السلامة المتعلقة بأنماط الحوادث ذات المخاطر الأعلى. على سبيل المثال في الموقع الأول يجب إعطاء الأهمية المطلقة لإجراءات السلامة التي تحد من مخاطر الكهرباء ومن ثم الحرائق والسقوط.

تجدر الإشارة إلى أن التفاوت في القيم بين المواقع الأربعة الأولى والموقع الأخير إلى وجود مسؤول صحة وسلامة في الموقع الأخير حيث يتواجد في موقع العمل بشكل دائم، بالإضافة إلى وجود ميزانية خاصة بتطبيق إجراءات الصحة والسلامة (لباس، حواجز سلامة،....، الخ) مما ساهم في تخفيض مستويات الخطر إلى حدود مقبولة.

بالمقارنة بين الأبعاد الأربعة المساهمة في تحديد مستوى الخطر نلاحظ أن مناخ السلامة هو المسؤول الأول عن القيم العالية لمستوى الخطر مما يشير إلى أن تطبيق إجراءات عامة لا تتعلق بخطر معين (مثل التوعية، المراقبة والصيانة الدورية للمعدات، رصد ميزانية خاصة لأدوات السلامة الشخصية وحواجز السلامة) يمكن أن تساهم بشكل ملحوظ في تحسين ظروف موقع العمل بالنظر إلى كل المخاطر الواردة .

الاستنتاجات والتوصيات:

يوفر النموذج المقترح ما يلي:

– الأداة لإنجاز تقييم مخاطر السلامة المهنية النوعية التي تغطي التعرض إلى 6 حوادث، مسؤولة عن 95% من الحوادث المهنية التي تحدث في مجال صناعة البناء.

– يسلط الضوء على عوامل المخاطر التي تسهم بشكل كبير في تحديد مستوى المخاطر، ولذلك ينبغي تحسينها كأولويات للحد من المخاطر.

– مجموعة بيانات واسعة ومكثفة ومنظمة وسهلة الاستخدام لظروف العمل الحقيقية، وتجنب استعمال البيانات الإحصائية.

– الأخذ بعين الاعتبار الأبعاد الأربعة التي لا يمكن الاستغناء عنها في مجال صناعة البناء من أجل تحديد مستوى المخاطر: ملاءمة مناخ السلامة، احتمالية وقوع حوادث العمل، الخطورة المتوقعة لحوادث العمل، وكفاءة حواجز السلامة. حيث توفر هذه الأبعاد الأربعة للخبراء تجربة شاملة يتم من خلالها تحليل جميع العوامل المحتواة في تقييم مخاطر السلامة المهنية في مواقع البناء.

– يوفر المنطق الضبابي منهجية دقيقة للغاية للتعامل مع عدم الموثوقية الناتج عن تعقيد السلوك البشري، ويتيح إنتاج نماذج أكثر واقعية للتوصل إلى أفضل النتائج، حيث أثبت استخدام المتغيرات اللغوية لتقييم عوامل الخطر أنه طريقة قوية ومتنوعة لتقدير المخاطر وتقديم التوصيفات بدقة أكثر.

– يجب الاهتمام بمناخ السلامة والالتزام بالسلامة المهنية خلال مراحل التصميم والتخطيط والإنشاء.

– أخيراً لا تزال هناك العديد من المشكلات المفتوحة في الطريقة المقترحة، على سبيل المثال يبقى وزن الأبعاد محل استكشاف مستمر، و بالتالي توجد تحسينات محتملة أخرى على الطريقة من خلال تبسيط مناخ السلامة وشدة العواقب المتوقعة.

المراجع:

ABDELHAMID, T.S., EVERETT, J.G. *Identifying root cause of construction accidents*. Journal of Construction Engineering and Management vol.126.1.2000, 52–60.

ADELEKE, A.Q., BAHAUDIN, A.Y, KAMARUDDEN, A.M.et al., *The Influence of Organizational External Factors on Construction Risk Management among Nigerian Construction Companies*. Safety and Health at work, 2018, vol. 9, 115-124.

ALOKO, M. N. *Risk Assessment Process for Construction Projects in Afghanistan*. International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 2018,211-217.

AKSORN, T., HADIKUSUMO, B.H.W. *Critical success factors influencing safety program performance in Thai construction projects*. Safety Science 46,2008, 709–727.

COOKE, T., Lingard, H., Blismas, N., Stranieri, A.*The development and evaluation of a decision support tool for health and safety in construction design*. Engineering.

ESKANDER, R.F.A. Risk assessment influencing factors for Arabian construction projects using analytic hierarchy process. Alexandria Engineering Journal. 57. 2018, 4207–4218.

FERREIRA, N., SANTOS, G. and SILVA, R., *Risk level reduction in construction sites: Towards a computer aided methodology – A case study.* Applied Computing and Informatics, 2019, vol. 15, 136-143.

FORTEZA, F.J., SESÉ, A., CARRETERO-GÓMEZ, J.M. *CONSRAT. Construction sites risk assessment tool*, Safety Science. 89.2016, 338–354.

FUNG,I.W.H,TAM, V.W.Y, Tony.Y.L, Lory. L.H.L. *Developing a Risk assessment Model for construction safety*, Journal Of Construction Engineering And Management.28. 2010, 593-600

HERRERA, F., VIEDMA, E.H. *Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information*. Fuzzy Sets and Systems.115. 2000, 67–82.

HYOUNG, J.I., KWON, Y., KIM, S., KIM, Y., SU JU, Y., LEE, H. *The Characteristics of Fatal Occupational Injuries in Korea's Construction Industry*, 1997–2004. Safety Science vol.47.8.2009, 1159–1162.

LOOSEMORE, M. and LEE, P. *Communication problems with ethnic minorities in construction industry*. International Journal of Project Management. 20. 2001, 517–524.

MURE, S., DEMICHELA, M., PICCININI, N., 2006. *Assessment of the risk of occupational accidents using a fuzzy approach*. Cognition, Technology and Work. 8. 2006, 103–112.

MACEDO, A.C., SILVA, I.L. *Analysis of occupational accidents in Portugal between 1992 and 2001*. Safety Science .43. 2005, 269–286.

MOHAMED, S. *Safety climate in construction site environments*. Journal of Construction Engineering and Management vol.128.5. 2002, 375–384.

MÜNGEN, U., GÜRCANLI, E. *Fatal traffic accidents in the Turkish construction industry*. Safety Science vol. 43. 5–6. 2005, 299–322.

NASIRZADEH, F., GHSHI,M. G. et al., *A hybrid approach for quantitative assessment of construction projects risks: The case study of poor quality concrete*. Computers & Industrial Engineering, 2019, vol. 131, 306-319.

SKLET, S., 2006. *Safety barriers: definition, classification, and performance*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries vol. 19. 5. 2006, 494–506.

PINTO.A, (2014), "*QRAM a Qualitative Occupational Safety Risk Assessment Model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets*", Safety Science.63. 2014, 57-76.

PINTO, A., RIBEIRO, R., NUNES, I. *Fuzzy approach for reducing subjectivity in estimating occupational accident severity*. Accident Analysis and Prevention 45. 2012, 281–290.

TAM, C. M., ZENG, S. X. and DENG, Z. M. *Identifying elements of poor construction safety management in China*. Safety Science.42 . 2004, 569–586.

SOUSA, V., ALMEIDA, N. and DIAS, L. *Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry – Part 1: Background knowledge*. Safety Science. 66. 2014, 75–86

SKLAD, A. *Assessing the impact of processes on the Occupational Safety and Health Management System's effectiveness using the fuzzy cognitive maps approach*. Safety Science. 117. 2019, 71-80.

SOUSA, V., ALMEIDA, N. and DIAS, L. *Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry – Part 2: Quantitative model*. Safety Science. 74. 2015, 184–194.

SZYMANSKI, P., *Risk Management In Construction Project*. Science Direct. 208. 2017, 174-182.

TAM, C.M., ZENG, S.X., DENG, Z.M. *Identifying elements of poor construction safety management in China*. Safety Science. 42. 2004, 569–586.

WU, P., XU, Y., JIN, R.et al, *Perceptions towards risks involved in off-site construction in the integrated design & construction project delivery*. Journal of Cleaner Production, 2019, vol. 213, 899-914.

XING, X., ZHONG, B., LUO, H., LI, H. and WU, H. (2019), *Ontology for safety risk identification in metro construction*. Computers in industry, 2019, vol. 109, 14-30.

ZHANG, X.and MOHANDES, S.R., *Towards the development of a comprehensive hybrid fuzzy-based occupational risk assessment model for construction workers*. Safety Science, 2019, vol. 115, 294-309.

Zhou, Z., Goh, Y.M., Li, Q., 2015. *Overview and analysis of safety management studies in the construction industry*. Saf. Sci. 72. 2015, 337–350.