نظام دعم القرار للمراكز الصحية في إدارة الكوارث في العاصمة المقدسة

محمد طلعت حسين خوج[١]، هيثم مجدي أحمد عيسى[٢]
١ الرئيس التنفيذي في أحد للكهرباء ومحاضر في جامعة الأعمال والتكنولوجيا
٢ أستاذ مساعد كلية الهندسة جامعة الملك عبدالعزيز

الملخص

تعير حكومة المملكة العربية السعودية اهتماماً بالغاً بسلامة الحجاج والمعتمرين في مواسم الحج والعمرة من كل عام. حيث تسعى دائماً لتوفير كافة الإمكانات الصحية اللازمة وتسخيرها بالطرق النظامية لضمان صحة ضيوف الرحمن وعودتهم بتمام عافيتهم لأوطانهم بإذن الله. تبرز أهمية هذه المواسم من حيث قدسيتها لجموع المسلمين في فترات زمنية محددة وبأعداد كبيرة من الحشود قدرت مؤخراً في موسم الحج المنصرم بما يفوق المليونين حاج. لذا كان لزاماً على القائمين في الإدارات المعنية بضرورة تقديم كافة الخدمات والرعاية الصحية المناسبة لهذا الكم من الحشود من خلال المستشفيات والمراكز الطبية المتواجدة في محيط العاصمة المقدسة. ومن هنا دعت الحاجة لإنشاء وتفعيل دور إدارة مراكز دعم القرار لمواجهة مخاطر وتبعات أي كارثة أو آفة لا قدر الله بواسطة الوسائل العلمية المتاحة لضمان استدامة عمل هذه المنشئات الطبية ومرافقها على الوجه الأمثل. يعرض هذا العمل البحثي إحدى الوسائل اللازمة لضمان استمرارية عمل هذه المراكز الطبية. حيث يتطلب عمل هذه المراكز توفير المصادر اللازمة لها من طاقة كهربائية وماء لحظة بلحظة عن طريق المحطات وشبكات التوزيع المتواجدة داخل وخارج محيط مكة المكرمة. حيث توصف هذه المحطات وشبكاتها المترابطة والممتدة بحساسيتها العالية من أي عارض (طبيعي أو مفتعل) قد يخل بعمل هذه المنظومة الهندسية وبالتالي امتداد تبعات تأثيرها على الخدمات الصحية المقدمة من المراكز الطبية المرتبطة بها. لذا وكما هو معلوم تعتبر القرارات المتعلقة بتوزيع هذه المصادر إحدى المهام الأساسية لأنظمة مراكز دعم القرار في حالة حدوث أي طارئ لا قدر الله. ولتأكيد جدوى وأهمية هذا العمل تستعرض هذه الورقة تجربة عالمية حديثة في دراسة ما يتعلق بالمساندة اللازمة لمراكز دعم القرار وأثرها على

منظومة العمل في القطاع الصحي وبالتالي مخرجاته. من هنا يهدف هذا البحث لتقديم مقترح لطريقة نمذجه ومحاكاة للبنى التحتية المترابطة في العاصمة المقدسة تتيح الإمكانية لتقديم المقترح اللازم لمراكز دعم القرار عن طريق ما يعرف بالذكاء الصناعي لتوزيع مصادر الطاقة الكهربائية والمياه المتوفرة التوزيع الأمثل الذي يحقق الحد الأدنى من كفاءة عمل المنشئات الطبية ومرافقها وبالتالي تخفيف وطأة الكارثة على مخرجاتها الصحية بإذن الله.

مقدمة

يعد أمن وسلامة الحجاج والمعتمرين في مواسم الحج والعمرة والزيارة داخل محيط مدينة مكة المكرمة من أهم أهداف الجهات المسؤولة في المملكة العربية السعودية. حيث يعتبر تنظيم هذا الكم الهائل من الحشود خلال هذه المواسم من التحديات التي تواجه القطاعات الخدمية في المملكة حفظها الله قاطبة. لذلك يحرص المسؤولون على وضع الخطط الاستباقية والوقائية لمواجهة أي طارئ قد يهدد سلامة ضيوف الرحمن لا قدر الله. حيث تشمل الطوارئ جميع الكوارث سواءً عرضية كالحرائق أو طبيعية كالسيول.

في مثل هذه الحالات تحتاج العمليات اللازمة من خدمات ورعاية صحية والتي يتم تقديمها عن طريق المراكز الصحية المنتشرة في محيط العاصمة المقدسة إلى العديد من الموارد (كهرباء و مياه وغيرها من المستلزمات الأولية) لضمان استمراريتها ونجاحها مع مراعاة تداخل مصادرها وبالتالي اعتماديتها على بعضها البعض. نتيجة لذلك يعد توزيع هذه الموارد من أهم الخطوات في إعداد الخطط الاستباقية التي يتم تطويرها والعمل بها في إطار إدارة الكوارث في مراكز دعم القرار لما يتطلب هذا العمل الحساس من معرفة وخبرة يتم اكتسابها من خلال تجارب مماثلة.

تهدف هذه الورقة لتقديم مقترح لنموذج محاكاة يوضح مفهوم الاعتمادية بين البنية التحتية المترابطة في محيط العاصمة المقدسة ونظم دعم القرار في المراكز الصحية المتواجدة باستخدام الذكاء الصناعي. حيث يقوم العميل الذكي (الذكاء الصناعي) بإستشعار التغيرات الحاصلة في البيئة الخارجية المحيط به (القدرة التشغيلية ووفرة الموارد للبنية التحتية المنمذجة) ومن ثم إتخاذ القرارات المناسبة والأكثر فاعلية. حيث يمتاز هذا العميل بقدرته على إكتساب كم هائل من الخبرة والمعرفة عن طريق مواجهة سيناريوهات مماثلة لكوارث مشابهة تساعده على إتخاذ القرارات الفعالة في الأوقات الحرجة

بما يضمن إستمرارية عمل المرافق المعنية المترابطة. وكما هو معلوم تعتبر القرارات الخاصة بالتوزيع الأمثل للموارد المتاحة خلال الكارثة من أهم القرارات المساندة لتخفيف حدة الكارثة وتبعاتها.

نقدم في هذه الورقة مقترح يشـرح آلية عمل العميل الذكي في نموذج محاكاة بإسـتخدام ما يعرف بـ (i2Sim-Infrastructure Interdependency Simulator)[١]. كما نعرض طريقة التعلم الخا صة بعميل الذكاء الصـناعي و المعروفة بإسـم طريقة تعزيز التعلم (Reinforcement Learning). كما سـنقوم بتوضـيح النموذج المقترح بتطبيق العميل الذكي على نظام يحاكي ويماثل في تكوينه تكوين مدينة مكة المكر مة من خلال البنية التحتية المترابطة بإسـتخدام بر نامج i2Sim. وأخيراً عرض بعض من التحديات والتوصـيات التي من الممكن أن تسـاعد على نمذجه الأنظمة المعقدة والحسـاسـة من البنى التحتية المحيطة بنا بفاعلية.

أهمية هذا البحث

تكمن أهمية هذا البحث في إبداء السـبل الممكنة لتخفيف وطأة الكارثة، طبيعية كانت أم مفتعلة. حيث أوضـحت الدراسـات أنّ عمليات إسـعاف المصـابين لابدّ أنّ تتم في مدة أقصـاها ثلاثة أيام من حدوث الكارثة[٢]. و تشير نفس الدرا سات بأنّ إحتمالية إنقاذ المصابين بعد إنقضاء الـــ ٧٢ ساعة الأولى قد تكون ضعيفة جداً.

لذا كان من الأهمية بمكان العمل على بناء نظام لدعم مراكز القرار بحيث يساعد القائمين عليه بتوفير وتوزيع المواد اللازمة للمراكز الصـحية على وجه السـرعة. حيث نسـعى هنا لتقديم مقترح لنظام قادر على مسـاعدة متخذي القرار لما يملكه هذا النظام من كم هائل من الخبرة والمعرفة لأحداث كوارثية مشابهة ومماثلة لما قد يحدث داخل العاصمة المقدسة حماها الله.

أبحاث ذات صلة

تطبيقات الذكاء الصـناعي في أنظمة دعم القرارات من الأنظمة المعروفة والتي تم تطبيقها في كثير من المشاريع البحثية. لذلك يبحث العاملون في هذا المجال بدراسة السبل المتوفرة والممكنة لمساعدة مراكز إتخاذ القرار وخاصـةً في المراكز الصـحية بإختيار أفضـل القرارات المتوفرة أمامهم. على سـبيل المثال، أنظمة الذكاء الصـناعي ومنها الشـبكة العصـبية (Neural Network) أسـتخدمت للحصـول على الخبرات المتوفرة لدى خبراء التصنيع من بني البشر لإتخاذ القرارات الحا سمة[٣]. أعمال أخرى لباحثين

آخرين قاموا بتطبيق نظام المحاكاة بإستخدام العميل (Agent Based Modeling)، حيث يقوم العميل بتجربة سلوكيات مناسبة للنظام المعني بالدراسة لتطبيق الأنسب[٤].

تطبيقات الذكاء الصناعي في نماذج إتخاذ القرار مثيرة للإهتمام وذلك للأسباب التالية[٥]:

١. لتوفير الوقت وزيادة الفعالية.

٢. المقدرة على التطبيق والتنفيذ مرات ومرات.

٣. القدرة على تمثيل وإختبار حادثة معينة أو سيناريو معين.

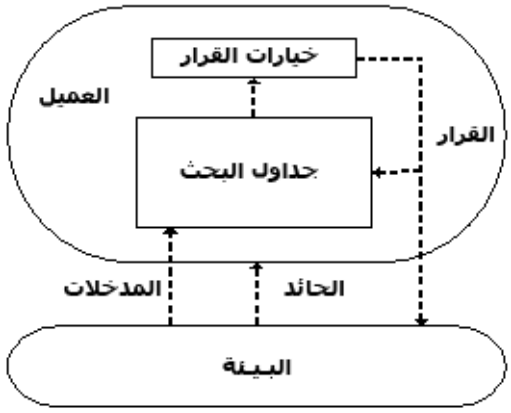
٤. التقليل من التدخل البشري قدر الإمكان.

الأدوات

أ. طريقة تعزيز التعلم

هذه الطريقة من طرق الذكاء الصناعي تمثل فئة من خوارزميات التعلم والتي تمنح العميل القدرة على كسب المعرفة من خلال التفاعل مع المحيط الخارجي (البيئة). نود التنبيه بأن الأساس الرياضي لطريقة تعزيز التعلم في الذكاء الصناعي أسردت بإسهاب في الكتاب الذي قام عليه المؤلفان بارتو و سوتون[٦]، كما أنه من المفيد ذكر أنّ طريقة تعزيز التعلم من الطرق المناسبة للأنظمة المعقدة أو كثيرة التغير. في الشكل رقم (١)، تظهر العناصر اللازمة لتطبيق طريقة تعزيز التعلم بتواجد العميل الذكي و البيئة المحيطة به[٧]. التفاعل القائم بين العميل والبيئة المحيطة به يمكن تمثيله بمدخلات، قرارات وعوائد. المدخلات تعبر عن الحالة التشغيلية للبنى التحتية للبيئة المحيطة بالعميل أما القرارات التي يقوم بأدائها العميل تقوم بتغيير الحالة التشغيلية للبيئة نفسها. أما فيما يخص العوائد فهي تمثل المردود نتيجة القرار وما إذا كان القرار المتخذ بواسطة العميل قراراً صائباً أم خاطئاً. هذا العائد قد يتم تحصيله بواسطة العميل إما لحظياً بعد إتخاذ القرار أو متأخراً بعض الوقت. العوائد الصائبة غالباً ما تمثل بأرقام موجبة أما العوائد الخاطئة فهي غالباً ما تمثل بأرقام سالبة مما يعطي العميل الذكي القدرة على تفنيد القرار الإيجابي والإبتعاد عن القرار السلبي. بهذا نستطيع أن نحدد الهدف الذي يسعى إليه العميل الذكي الذي يتبع طريقة تعزيز التعلم (تعلم القانون) و الذي يحدد ماهية القرارات المعمول

بها في كل حالة من الحالات التشــغيلية للبيئة المحيطة بالعميل والتي في نهاية المطاف تقدم له العوائد الكبرى على المدى الطويل وبالتالي الوصول للهدف الأمثل.



شكل رقم (١): هيكل طريقة تعزيز التعلم للعميل الذكي

يعتبر تعلم القانون بالنســبة للعميل هو حجر الزاوية لطريقة تعزيز التعلم. فهو يمثل ســلوك العميل الذكي أو طريقة التصــرف في أي حالة يعيشــها العميل في البيئة المحيطة به. هذا القانون يعرّف بدالة رياضــية تقوم بتقدير العوائد المتراكمة على المدى الطويل عن طريق القرارات المطبقة في حالات البيئة المحيطة بالعميل كما يمكن تصورها في جدول رقم (١) أدناه.

جدول رقم (١): الدالة الرياضية لطريقة تعزيز التعلم كجدول بحث

Q(قرار،حالة)	(قرار،حالة)
q_1	$s_1 a_1$
q_2	$s_1 a_2$
q_3	$s_1 a_3$
. . .	. . .
q_n	$s_n a_n$

في طريقة تعزيز التعلم، الدالة الرياضــية تعرف بقيمة Q. قيمة Q هي دالة من متجهين. هذان المتجهان يمثلان كلاً من الحالة التشــغيلية للبيئة المحيطة بالعميل (s) والقرارات المعمول بها (a) في زمن محدد (t). واحدة من أهم مميزات طريقة تعزيز التعلم تكمن في عدم الحاجة لخبرة ومعرفة سابقة أو نمذجة للبيئة المحيطة. نعني بنمذجة البيئة المحيطة، التقدير المســبق للدالة المنتجة لإحتمالات

ظهور حالات مختلفة للبيئة المحيطة بالعميل الذكي. شرط أساسي في طريقة تعزيز التعلم أن تكون عملية ظهور الحالات المختلفة للبيئة المحيطة بالعميل مطابقة لخصائص ماركوف[٦]. حيث تنص الخاصية بأن القرارات المراد تنفيذها من قبل العميل الذكي لا تعتمد على معرفة وخبرة سابقة، فهي فقط تعتمد على المعلومة المتوفرة حالياً لحالة البيئة المحيطة بالعميل.

العملية التعليمية للعميل الذكي في طريقة تعزيز التعلم تتم بطريقة تدريجية كلما تنّقل العميل من حالة إلى حالة أخرى للبيئة المحيطة به. هذه العملية يمكن تمثيلها بواسطة ما يعرف بإسم التعلم بطريقة الفرق الزمني (Temporal Difference Learning). تخيل بأن العميل الذكي قام بإتخاذ قرار (a) في حالة (s) في وقت (t) وبناءً على ذلك قام العميل بإتخاذ قرار آخر ('a) في حالة ('s) في وقت ('t). وبالتالي عملية التعلم (تحديث المعرفة والخبرة المكتسبة) لدى العميل الذكي تحسب بواسطة الدالة Q بتطبيق طريقة التعلم بالفرق الزمني كالتالي:

$$Q(s،a) \;=\; Q(s،a) \;+\; \alpha\,[r' \;+\; max\,\gamma\,Q(s'،a') - \;Q(s،\,a)]$$

حيث أن 'r ترمز للعائد نتيجة القرار المنفّذ من العميل و α ترمز لمعدّل التعلم الخاص بالعميل. معدّل التعلّم يعرّف بإمكانية إستبدال المعلومة الجديدة بالقديمة وبمعنى أكثر وضوحاً إذا كانت قيمة معدّل التعلّم صفراً هذا يعني أن العميل قد طلب منه إيقاف عملية التعلم تماماً. أما إذا كانت قيمة معدّل التعلّم بواحد فهذا يعني أن العميل طلب منه رفع قدرة التعلّم للحد الأقصى. أما بخصوص γ ، فهو معامل الخصم الذي يوضح مدى تأثير العوائد المتوقعة على عملية تعلّم العميل. فعلى سبيل المثال كما في لعبة الطاولة قد يكون من المجدي أن يفكر العميل في كسب المباراة على أن يتجنب خسارة قطعة في الحركة الحالية.

عند كل خطوة يخطيها العميل على الخط الزمني المحدد للنموذج الممثل للبيئة المحيط به يتوفر لدى العميل الذكي عدد من القرارات المتاحة، كل قرار يحمل قيمة Q خاصة به. حيث تدل قيمة Q على إحتمالية تفضيل قرار على قرار آخر متوفر أمام العميل. في معظم الأحيان يتم اختيار قرار ذو قيمة Q عالية في الحالة البيئية التي يقف عليها العميل الآن وذلك طمعاً في الحصول على أكبر عوائد متراكمة ممكنة على المدى الطويل. لكن في أحيان أخرى يقوم العميل الذكي بإتخاذ قرار عشوائي يسعى فيه

للبحث عن قرارات أخرى لم يتطرق لها بغية الوصـــول للقرارات المثلى تجنباً للوقوع في قرارات تصـــل بالعميل لنتائج دون المثلى. هذا الشرح يصل بنا بعامل آخرهو ε، حيث يعرف بإسم معدّل الإستكشاف. هذا العامل هو المسـؤول عن تحديد مقدار الخطوات الإسـتكشـافية للعميل مقارنة بخطواته التعليمية العادية.

قيم المعاملات α ε γ لابد أن تختار بعناية قبل عملية تطبيقها في النموذج الممثل وذلك لحث العميل الذكي على التعلم بشكل أفضل ومستمر، وهذا ما تم عمله في إحدى أبحاثنا المنشورة لنظام العميل الذكي المماثل لما تم إقتراحه هنا [٨].

بهذا نكون قد اسـتوعبنا مفهوم عمل طريقة تعزيز التعلم والتي تهدف لإيجاد قيم (Qcs,a) المسـؤولة عن حساب القيمة المتوقعة للعوائد المتراكمة على المدى الطويل للنظام المعمول به. بقي أن نذكر أن حسـاب قيم (Qcs,a) تتم بواسـطة إسـتخدام دالة Q من خلال جداول البحث (Look Up Table)، وفي الواقع فقد أكدت الأبحاث المنشـورة أن طريقة الفرق الزمني المحسـوبة بهذه الطريقة سـوف تصـل بالعميل الذكي للهدف الأمثل المراد تحقيقه [٦].

ب. مفهوم ترابط البنية التحتية

هنا سـوف نتطرق لمفهوم ترابط البنية التحتية والذي سـيعيننا على بناء نموذج البيئة المحيطة التي سـيتفاعل معها العميل الذكي. حيث في المجمل يعتبر هذا المفهوم عبارة عن مزيج من الأنظمة الهندسية المترابطة والتي تعمل على تحقيق أهداف محددة. تشكل الإعتمادية بين هذه الأنظمة أساس هذا المفهوم لأداء مهامها، فعلى سـبيل المثال شـبكة المياه بحاجة لماء وكهرباء لضـخ المياه للمسـتهلكين. كما أنه لابد من الأخذ بعين الإعتبار أن كل جزء من منظومة البنية التحتية لها متطلباتها وتعمل وفق مناهج وقوانين فيزيائية تحدد ملامح عملها. لذا فإنّ إسـتيعاب هذه المتطلبات والقوانين يساعد على فهما وبالتالي دراستها بالشكل الصحيح. علينا أن ندرك جيداً أن هذه المنظومة من الأنظمة المتداخلة والمتراكبة تخلق نظاماً أكثر تعقيداً مما يصـعب دراسـتها وفهمها عما إذا كانت في معزل عن بعضها البعض. من هنا تكمن أهمية مفهوم ترابط البنية التحتية وأهمية دراسته[٩].

تعريف مفهوم ترابط البنية التحتية يمكن وصـفه على أنه العلاقة بين نظامين من نظم البنية التحتية بحيث تكون حالة أحدهما معتمدة على حالة الأخر[٩]. من هنا يعتبر تبني هذا المفهوم أساساً مهماً لكل

ما يتعلق بأمن وسلامة الحجاج والمعتمرين وزوار المشاعر المقدسة. حيث أنّ التأثير في كفاءة عمل إحدى الأنظمة الضمنية للبنى التحتية المتداخلة سوف يؤثر تلقائياً على عمل بقية الأنظمة المرتبطة بها. لذا كان لزاماً علينا شرح مفهوم ترابط البنية التحتية قبل الشروع في إيضاح النظام المقترح لدعم مراكز إدارة الكوارث داخل العاصمة المقدسة.

هدف البحث

النمذجة المقترحة للبيئة المحيطة بالعميل الذكي لهذا البحث سيتم بنائها بواسطة i2Sim كأداة محاكاة في برنامج MATLAB حيث أنّ هذه الأداة تم تصميمها وتطويرها بواسطة فريق قسم الطاقة في قسم الهندسة الكهربائية بجامعة كولومبيا البريطانية بمدينة فانكوفر في دولة كندا. علينا أن نوضح بأن هذه البيئة المبنية بواسطة i2Sim هي المحيط الذي سوف يقوم العميل الذكي بالتفاعل معه طيلة فترة التعلم كشرط أساسي لزيادة الحصيلة المعرفية لديه.

بدمج كلاً من i2Sim وطريقة تعزيز التعلم، المبنية بواسطة برنامج تم صياغته بإستخدام لغة الـ JAVA، مع بعضها البعض سنقوم بإيجاد نظام جديد يساعدنا على الوصول لهدفنا المذكور آنفاً. حيث سيقوم العميل بأخذ القرارات الصحيحة للوصول بالأعداد المثلى من المسعفين للمراكز الصحية حسب السيناريو المعني بالدراسة.

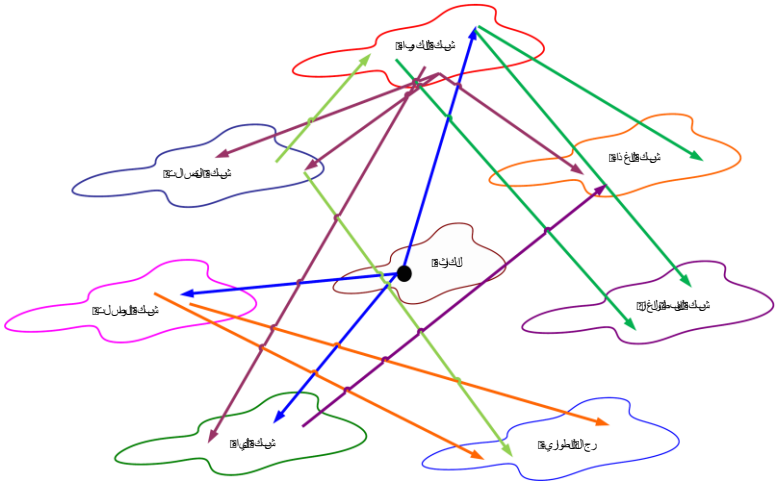
إبداعية هذا العمل تكمن في بناء عميل ذكي مدرب مسبقاً على سيناريوهات لكوارث مشابهة بحيث عندما نقوم بربط العميل مع نموذج المحاكاة المبني بواسطة i2Sim سيكون لدينا نظام قادر على تقديم المساعدة للقائمين على مراكز دعم القرار. هنا نسعى لتقديم طريقة فعالة ما أن يتم تطبيقها حتى ونلاحظ أثر تخفيف وطأة الكارثة وبالتالي زيادة أعداد المسعفين من المصابين نتيجة الكارثة بعون الله.

المنهجية

أ. ماهو i2Sim؟

هو عبارة عن برنامج محاكاة للأحداث المتقطعة يستخدم لبناء نماذج مختلفة من الأنظمة الخاصة بالبنية التحتية ويساعد الباحثين على دراسة وفهم الإعتمادية بينها بتطبيق سناريوهات محتملة

لكوارث طبيعية أو مفتعلة وبالتالي المقدرة على تصـــور تبعات هذه القرارات وتحليل نتائجها قبل تنفيذها. كما هو موضح في الشكل رقم (٢).



شـكل رقــم (٢): نموذج يوضح مفهوم الإعتمادية والذي يقدمه برنامج الـ i2Sim.

برنامج المحاكاة هذا قادر على نمذجة الإعتمادية الحا صلة بين الأنظمة الحـ سا سة كإعتمادية منظومة تحلية المياه (محطة و شـــبكات مياه) على منظومة توليد الكهرباء (محطة و شـــبكات كهرباء) و بالتالي إعتمادية منطقة مكة المكرمة والمشـــاعر المقدســـة وخدماتها على كل من الكهرباء والماء المنتجة من المحطات المسؤولة عن إنتاجها وضخها.

إطار عمل i2Sim يســـمح بعمل مجموعة من البنى التحتية المترابطة كنظام واحد قادر على توضـــيح التداخل الخارجي (الإعتمادية) بوا سطة تمثيل عدد من السيناريوهات المحتملة. النتيجة ستكون مقدرة متخذي القرار على تحسين كفاءة وفعالية العمل عن طريق التوزيع الأمثل للموارد المتاحة [١].

ب. طريقة تعزيز التعلم و برنامج النمذجة i2Sim

نموذج طريقة تعزيز التعلم كما هو واضح في الشكل رقم (١) من الممكن تطبيقه على سيناريو لكارثة تحاكي كارثة حقيقية. في بحثنا هنا نقترح تطبيق نظامنا على البيئة المراد درا ستها والمبنية بوا سطة i2Sim والتي تحتوي على عدد من البنى التحتية المترابطة ونقاط التوزيع للموارد المتاحة في البيئة المقترحة. هذه البيئة قد تكون نموذجاً مماثلاً لمنطقة محددة كمنطقة مكة المكرمة و المشـــاعر

المقدســة حيث تحتوي على جميع المرافق و الخدمات و بنية تحتية متكاملة تؤهلها أن تكون منظومة هند سية مترابطة ومتداخلة مع بع ضها البعض. حيث يقوم العميل الذكي بمراقبة حالات البنية التحتية التي ترتبط بها نقاط توزيع وبالتالي مقدرته على تغيير نســب التوزيع للموارد المنتجة (كهرباء وماء) من هذه البنى التحتية الحساسة مما سيؤثر وبشكل مباشر على المخرج الرئيسي والمعرّف هنا على أنه عدد الحالات التي تم إسعافها في المراكز الطبية جراء الكارثة.

تجربة عالمية للمنطقة المركزية بمدينة فانكوفر الكندية

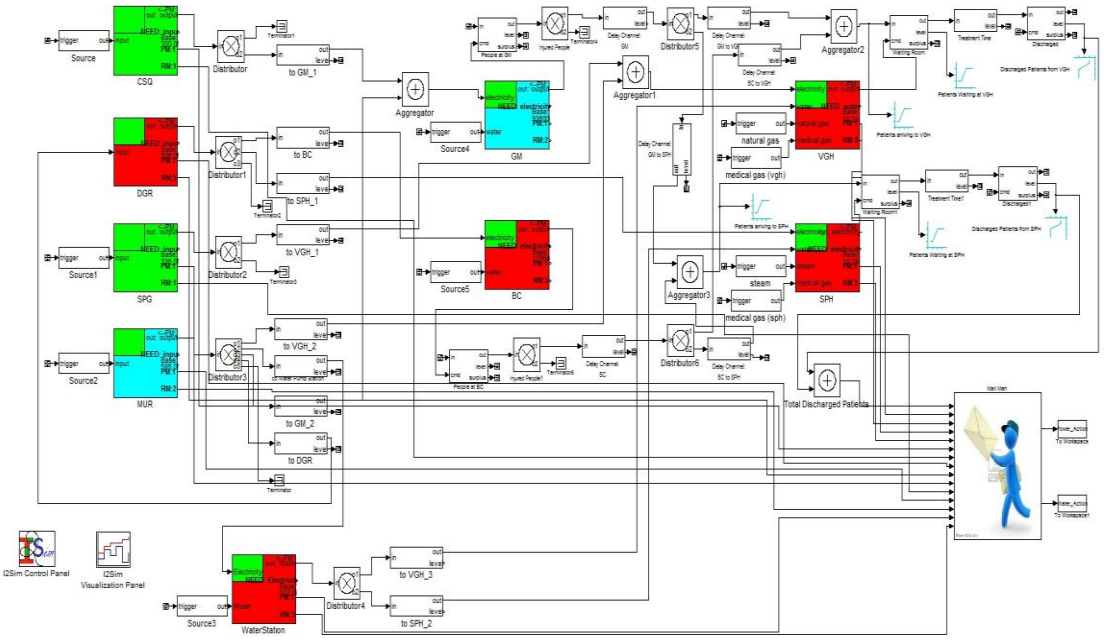
أ. البنية التحتية للمدينة الكندية

هنا ســنقوم بتســليط الضــوء على التجربة التي قامت بها الحكومة الكندية فيما يتعلق بإجراءات الأمن والسلامة أثناء تنظيم دورة الألعاب الشتوية لعام ٢٠١٠م بمدينة فانكوفر. ذلك رغبةً منهم في تصور تأثير البنية التحتية المترابطة مع بعضــها البعض. حيث قام الباحثون ببناء نموذج لبيئة تماثل المنطقة المركزية للمدينة الكندية والمعروفة بكثافتها الســكانية والتي تقدر بحوالي ١٢ ألف شــخص للكيلومتر المربع الواحد في أوقات الذروة. حيث أحتوى النموذج على إســتادين رياضــيين وأربع محطات كهرباء ومحطة مياه ومستشفى رئيسي وآخر ثانوي.

في هذه التجربة قام الباحثون بفرض ســيناريو لكارثة زلزالية نتج عنه تصــدع لأحدى محطات الكهرباء الرئيســية وبالتالي خفض إنتاجها من الكهرباء بالإضــافة لعدد من المصــابين جراء الهزة الزلزالية قدر بالمئات. كما هو مقترح، قام الباحثون بتطبيق نظام الذكاء الصناعي من خلال العميل الذكي والمصمم بطريقة تعزيز التعلم. حيث طلب من العميل مراقبة النموذج البيئي المحيط به ومن ثم توزيع الموارد المتوفرة من كهرباء وماء بما يضــمن عمل البنى التحتية الموجودة وبشــكل خاص المســتشــفيات التي ســوف تقوم بإســعاف المصــابين. الشــكل رقم (٣) يوضــح النموذج الذي تم بنائه وتقديمه لهذه التجربة[١٠]. حيث يظهر في الشــكل أدناه عدد من القطاعات بالغة الحســاســية للمنطقة المركزية بمدينة فانكوفر والتي تم سردها كالتالي:

- عدد ٤ محطة كهرباء (CSQ-DGR-SPG-MUR)
- عدد ٢ أستاد رياضي (GM-BC)

❖ عدد ٢ مركز طبي (VGH-SPH)



شكل رقم (٣): نموذج التجربة الكندية للمنطقة المركزية بمدينة فانكوفر في مقاطعة كولومبيا البريطانية.

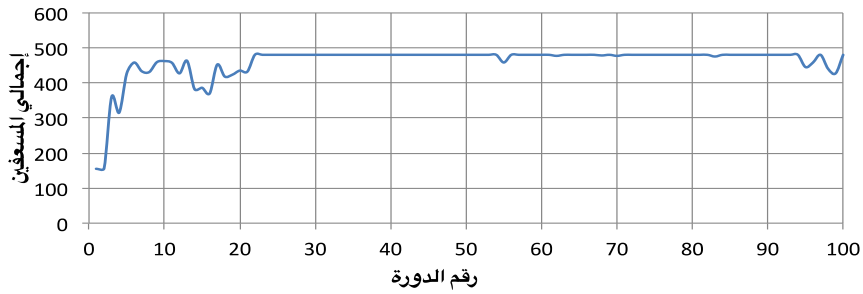
نتائج هذا العمل البحثي كانت تتمثل بقدرة هذا النموذج على تخفيف وطأة الكارثة في أقصر فترة زمنية ممكنة بالمواد المتاحة حينها. هذه التجربة أوضحت أهمية هذا النوع من الأبحاث وضرورة أخذه بعين الإعتبار فيما يتعلق بالقرارات الخاصة بعمليات تخفيف وطأة الكوارث وتبعاتها والسبل الممكنة للإرتقاء بالخطط الإستباقية في مواجهة الكوارث المتوقعة مما شجع الباحثون لبناء نظام مشابه ليشمل كامل المدينة والمدن المجاورة لها.

ب. نتائج التجربة العالمية

لقد قمنا ببناء نظام بيئي لمدينة فانكوفر بواسطة i2Sim التي تحتوي على عدد من المرافق الحساسة من محطة كهرباء ومحطة مياه وأماكن تجمع للجمهور بالإضافة لعدد من المراكز الطبية لإسعاف المصابين مع العلم بأن نظام المواصلات المستخدم لنقل المصابين في ذلك البحث هو نظام تم تمثيل الإزدحام المروري ونطاق السرعة المحددة فيه بواسطة دالة رياضية لتحديد التأخير الزمني المتوقع عن طريق جداول البحث [١١]. تم إعتماد سيناريو لكارثة مماثلة لما قد تحدث في هذه المدينة وتم إعتماد عدد محدد من المصابين يقدر بـ ٤٨٠ مصاباً سوف يتم نقلهم على وجه السرعة لمركزي طوارئ. تجدر

الإشـارة أن جميع البيانات التي تم التعامل معها لهذا النظام هي عبارة عن معلومات مسـتقاه من مدراء هذه القطاعات أو من مواقعها على الـ شبكة العنكبوتية. أخيراً طلب من العميل الذكي التعامل مع تبعات الكارثة بشـكل فعّال والقيام بإتخاذ القرارات المناسـبة لتوزيع الموارد المتاحة بين القطاعات المنمذجة مما يعين على إسعاف المصابين خلال الوقت المحدد لبرنامج المحاكاة والذي قدر بـــ ١٠ ساعات وخطوة زمنية قدرت بـــ ٥ دقائق مما يجعل إجمالي عدد الخطوات ١٢٠ خطوة في الدورة الواحدة. بقي أن نقول بأن العميل قدد حدد له عدد ١٠٠ دورة حيث أن كل دورة تستغرق ما يقارب الـ ٦ دقائق.

العميل الذكي وكما هو متوقع اسـتطاع في ٢٢ دورة فقط (حوالي ١٣٢ دقيقة) أن يقوم بإسـعاف جميع المصـابين من المراكز الصـحية المتوفرة، كما في الشـكل (٤)، وذلك نتيجة لإختياره وتنفيذه لأفضـل القرارات المتاحة مما يعطي إنطباعاً على القدرة الهائلة لدى العميل الذكي للتعلم في عدد قليل من الدورات وبصورة فعالة.



شكل رقم (٤): أعداد المسعفين من مركزي الطوارئ للنظام البحثي المماثل لهذا المقترح.

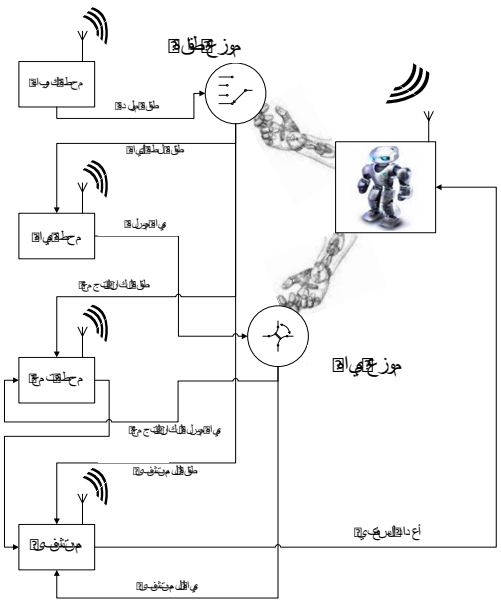
بنظرة قريبة للنتيجة في الرســم البياني الســابق، نجد أن العميل الذكي وبدون ســابق خبرة لم يكن بمقدوره معرفة القرارات الفعالة مما نتج عن ذلك تدني أرقام المســعفين في الدورات الأولى. ففي الدورة الأولى نرى أن إجمالى أعداد المسعفين وصل لـ ١٥٦ من أصل ٤٨٠. ثم تلى ذلك محاولات أخرى تباينت فيها أعداد المســعفين حتى أســتطاع العميل وبعد إكتســاب الخبرة الكافية أن يقوم بتنفيذ القرارات اللازمة مما نتج عنها القدرة على إسـعاف كافة المصـابين وذلك إبتداءً من الدورة ٢٢ وما بعد، كما هو ظاهر في الرسـم البياني أعلاه. هذا يعني بأن العميل تمكن من إكتشـاف المسـار الأمثل الذي يحوي القرارات المثلى والتي أوصـلت العميل للهدف الأمثل (إسـعاف إجمالي المصـابين والبالغ عددهم ٤٨٠ مصاب) لهذا السيناريو.

علينا أن نذكر بأن المعاملات الخاصـــة بالتعلم α ε γ، قد تم إختيارها بطريقة البحث الشـــامل بما يتناســـب مع النظام البيئي المحيط بالعميل. قيم هذه المعاملات وغيرها من المعلومات المفصـــلة عن هذا النظام تجدونها في البحث المنشور في الورقة [١١].

مقترح لمدينة مكة المكرمة

أ. بناء نظم اتخاذ القرار بواسطة العميل الذكي

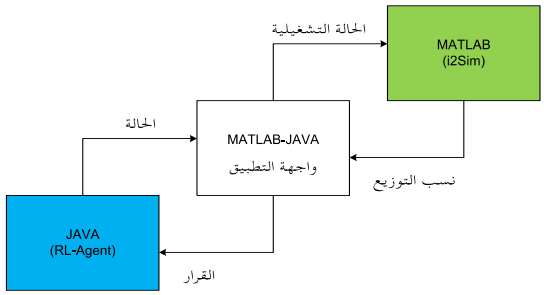
مقترح العميل الذكي والذي يعمل بواســطة طريقة تعزيز التعلم يمكن أن يطبق بشــكل مباشــر على البنية التحتية المحيطة بمدينة مكة المكرمة و العاصـمة المقدسـة والتي تحتوي على عدد من المرافق العامة الحساسة و الخدمية الأخرى في محيط مكة المكرمة، كما في الشكل رقم (٥).



شـكل رقــم (٥): هيكل نظام دعم القرار المقترح لمدينة مكة المكرمة والمتكون من عميل ذكي وبرنامج محاكاة.

في هذا المقترح نســعى لبناء نظام لدعم القرار يتألف من العميل والبيئة التفاعلية، بواســطة برنامج MATLAB (بإستخدام أداة المحاكاة والمعروفة بـ i2Sim لبناء نموذج العاصمة المقدسة) وبرنامج JAVA على التوالي. النظام المماثل للتجربة الكندية سـوف يقوم بإسـتشـعار الحالة التشـغيلية للبنية التحتية

للمرافق العامة في مكة المكرمة ومشـاعرها المقدسـة والموجود في الـــ MATLAB وبناءً على ذلك سـيقوم العميل الذكي المدرب مسـبقاً والموجود في الـــ JAVA بإتخاذ القرارات الفعالة لتوزيع الموارد المتاحة من ماء و كهرباء في حالة حدوث كارثة لا قدر الله. طريقة التواصل بين لغتي البرمجة تم العمل عليها بدقة عالية للتأكد من إيصال المعلومة وإستقبالها بدون تأخير. حيث أن التأخير سوف يسبب إرباك للعملية التعليمية مما ينتج عنه إستقبال خاطيء وبالتالي قرار غير فعال. شكل رقم (٦) يوضح طريقة إيصال وإستقبال المعلومة بين الـ MATLAB والـ JAVA.



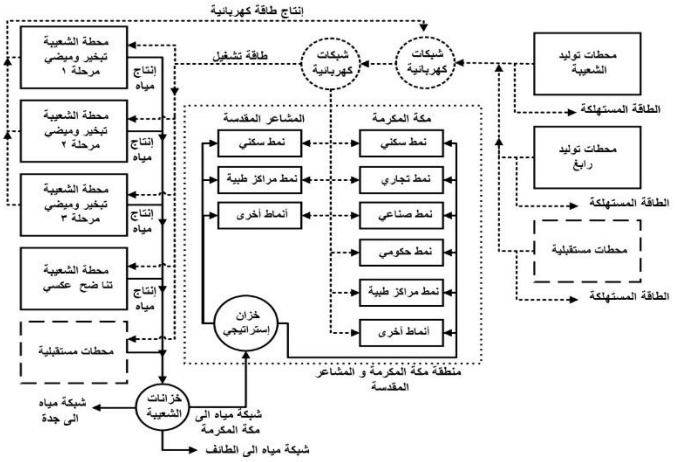
شـكل رقـم (٦): نموذج يوضح طريقة التواصل بين الـ MATLAB و الـ JAVA.

ب مفهوم ترابط البنية التحتية لمنطقة مكة المكرمة

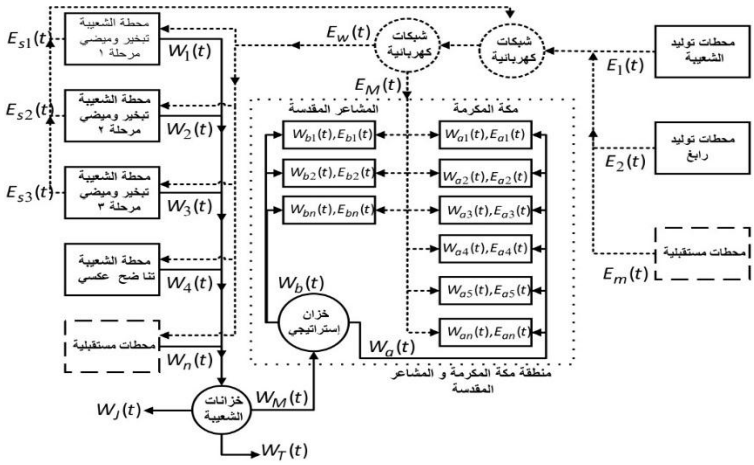
تعد محطات توليد الكهرباء برابغ و الشـعيبة إحدى المحطات الرئيسـية التي تخدم منطقة مكة المكرمة و المشاعر المقدسة كما هو مبين بالشكل رقم (٧)، إذ بلغت معدلات انتاج محطات توليد الكهرباء برابغ تقريباً ٣٠٠٠ ميجاوات $E_2(t)$ و بالشـعيبة حوالي ١٢٠٠ ميجاوات $E_2(t)$ [١٢]. و هذة الكميات تعرف بداله تتغير مع الزمن كما هو مبين بالشـكل (٨). ترتبط منظومة إنتاج الكهرباء و تحلية المياه بشـكل كبير فيما بينهما و أي خلل في أحدهما يؤثر عكسـياً علي إنتاجية الأخر. فعلى سـبيل المثال، تسـتهلك محطات الشـعيبة حوالي ٣٥٠ ميجاوات $E_w(t)$ من شـبكة توزيع الكهرباء حتى تسـتطيع أن تنتج حوالي مليون و نصـف متر مكعب من الماء و تقريباً مليون و نصـف ميجاوات من الكهرباء [١٣]. أي خلل في محطة الشعيبة قد يؤدي الى خلل في منظومة الكهرباء وبالتالي المرافق المعتمدة عليها. كميات الماء و الكهرباء المنتجة يمكن أن تحدد بالعلاقات:

$$P_w(t)=\sum_{i=1}^{n}W_i(t)=W_J(t)+W_M(t)+W_T(t)=W_J(t)+W_M(t)+W_a(t)+W_a(t)$$

$$P_E(t) = \sum_{i=1}^{m} E_i(t) = E_W(t) + E_M(t)$$



شكل رقم (٧):توزيع الموارد بين مرافق البنية التحتية المترابطة لمكة المكرمة



شكل رقم (٨):توزيع الموارد بين مرافق البنية التحتية المترابطة لمكة المكرمة بدوال تتغير مع الزمن

بلغ معدل استهلاك مكة المكرمة و المشاعر المقدسة من الكهرباء حوالى ٣١٤٥ ميجاوات $E_M(t)$ خلال أيام الحج والتي تزامنت مع ارتفاع كبير في درجات الحرارة التي تشهدها المنطقة الغربية في فصل الصيف. تستهلك مكة المكرمة و المشاعر المقدسة أكثر من ٩٠٠ ألف متر مكعب من المياه العذبة يوميا $W_M(t)$ خلال أيام الحج، حيث يتم انتاج الماء من خلال محطات التحلية بالشعيبة أحادية الغرض (انتاج المياه فقط) و ثنائية الغرض (انتاج الطاقة الكهربائية و المياه). محطات الشعيبة ١ و ٢ و ٣

تستخدم تقنية التبخير الوميضي متعددة المراحل و التي بدورها تنتج كهرباء و مياه محلاه بمعدل انتاج يصل الى ١.٤ مليون متر مكعب ماء و ١٤٠٠ ميجاوات كهرباء من الثلاث محطات. ينتج مشروع توسعة الشعيبة باستخدام تقنية التناضح العكسي ما يقرب من ١٥٠ الف متر مكعب ماء من محطة أحادية الغرض [١٤]. تخدم هذه المحطات كل من مكة المكرمة و جدة و الطائف حيث بلغ معدل استهلاكما ٨٠٠ ألف متر مكعب. شكل رقم (٨) هو عبارة عن نموذج يوضح الكميات المنتجة و المستهلكة من المياه و الكهرباء معرفة بدوال تتغير مع الزمن.

ج . وصف طريقة تدريب العميل الذكي

كما أوضحنا سلفاً بأن العميل الذكي بحاجة لأن يخوض سلسلة من التجارب لكسب الخبرة وإثراء المعرفة حتى يكون جاهزاً لتقديم يد العون للقائمين على مراكز دعم القرار بالمراكز الصحية. لذا نقترح بوضع العميل في مواجهة سيناريو لكارثة طبيعية أو عرضية متوسط الشدة وبالتالي حجم التلفيات والإصابات الناتجة عنه بسيط نوعاً ما. نتيجة لذلك تعرضت إحدى المحطة الكهربائية الموجودة داخل محيط العاصمة المقدسة لتصدع أثر على إحدى مغذيات الطاقة وبالتالي فإن كمية الطاقة الموردة للقطاعات المرتبطة بها كمحطة تحلية المياه والمراكز الصحية والمرافق الأخرى غير كافية لتشغيلها بكامل طاقاتها.

جميع التغيرات التي سوف تطرأ على الحالة التشغيلية للبنية التحتية في البيئة المحيطة بالعميل (محيط مكة المكرمة) سوف يتم ملاحظتها بواسطة العميل وبناءً على طريقة تعزيز التعلم سوف يقوم العميل بتنفيذ القرار المناسب بعد العودة لجدول البحث (يمثل الخبرة المكتسبة) لاختيار أفضل القرارات المتوفرة في تلك الفترة الزمنية بناءً على الحالة التشغيلية للبنى التحتية داخل العاصمة المقدسة.

بقي أن نذكر أن طريقة تعزيز التعلم المتبعة بواسطة العميل لتوزيع الموارد المتاحة بطريقة مثلى داخل مكة المكرمة في حال وقوع كارثة لا قدر الله سوف تأخذ التسلسل التالي:

١. تحديد الحالة التشغيلية الحالية (state) لوضع النظام الخاص بالبيئة المحيطة.

٢. أبحث عن الحالة في جدول البحث. سيكون هناك أكثر من قرار (action) متوفر للحالة المدروسة.

٣. أختر القرار المرتبط بأكبر قيمة Q(s,a) أو قم بإختيار القرار عشـوائياً في حال كانت الخطوة إستكشافية.

٤. تحصّل على العوائد نتيجة القرار المنفّذ. كما أسلفنا الهدف المقترح للكارثة هو سرعة نقل المصابين وإسعافهم في أقصر فترة زمنية ممكنة. وبالتالي القرار الصائب والذي يرفع من أعداد المسعفين سوف يعود على العميل بعوائد إيجابية والعكس صحيح.

٥. أخيراً وبناءً على العوائد المتحصـلة سـيقوم العميل بعمل تحديث لقيمة Q الخاصـة بالحالة المعنية والقرار المنفذ فيها.

الإستنتاجات

هذا النظام المقترح والذي أثبتت نتائجه جدوى تطبيقه يعتري تنفيذه العديد من التحديات المصاحبة له والتي من المهم لفت النظر لها. نستعرض أدناه بعضاً من هذه التحديات:

١. صـعوبة الحصـول على المعلومات الكافية لبناء النظام البيئي المعني والمطلوب دراسـته. فكثير من هذه المعلومات يتم إخفائها عن الجمهور لحسـاسـيتها. كما أنه لابدّ أن يبذل جهداً كبيراً للحصـول على هذه المعلومة من كل جهة. ومن ثم ينقيحها وتحليتها بغية الاستفادة منها.

٢. نجاح هذا العمل يكون نتاج عمل جماعي من تخصـصـات هندسـية مختلفة وتخصـصـات تقنية أخرى وذلك حتى نسـتطيع بناء منظومة متكاملة لنظام بيئي يمثل البيئة المراد دراسـتها كمحيط العاصـمة المقدسة.

٣. السـيناريوهات المقترحة عبارة عن سـيناريوهات يقوم بوصـفها فريق من المختصـين القائمين على إدارة تشغيل وصيانة البنية التحتية. يعتبر هذا مطلباً مهما حتى يتم بناء سيناريو يحاكي واقع ملموس مما يساعد على بناء خطة إستباقية ذات جدوى عالية تفيد القائمين على إدارة الكوارث.

التوصيات

من خلال هذا البحث المقترح يتضح لنا مدى الفائدة المتحصلة لمراكز دعم القرار في المراكز الصحية بالعاصـمة المقدسـة بتطبيق نظام الذكاء الصـناعي جنباً إلى جنب مع نظام ترابط البنى التحتية الـ i2Sim. هذا النظام المقترح والذي تم تجربته في أكثر من مناسـبة يقوم على طريقة تعزيز التعلم

(إحدى طرق الذكاء الصناعي الشائعة) والتي أثبتت جدوى تطبيقها من خلال إستعراض نتائج تطبيقها في أحد أبحاثنا المنشورة مسبقاً. مما سبق نوصي بالتالي:

١. إيضـــاح مفهوم الإعتمادية بين البنية التحتية لمنطقة مكة المكرمة وأهمية مراعاته في البرامج الخاصـــة بإدارة الأزمات والكوارث. حيث أن تبعات الكارثة من الممكن تنقلها بين البنى التحتية نظراً لترابطها مع بعضها البعض.

٢. القدرة على تقديم يد العون ومســـاعدة القائمين على مراكز دعم القرار ببناء عميل ذكي صـــاحب معرفة وخبرة عريضة قادر على تقديم أفضل القرارات للسادة متخذي القرار. يكفينا أن نعرف بأن حجم هذه الخبرة المكتسبة قد يصعب على الإنسان إستيعابها في فترة حياته. فكم من الكوارث يستطيع أن يلاحظها هذا الإنســـان خلال فترة معيشـــته. عكس العميل الذكي (الآلة) حيث يســـتطيع أن يخوض الملايين من السيناريوهات التي تحاكي الكوارث الطبيعية التي تحدث من حولنا.

٣. لابدّ من الإشـــارة هنا بأنّ هذا النظام تم تطبيقه على الكوارث والحوادث الطارئة والتي تقدر فترات تعافيها بالثوان أو الدقائق، كما يمكن تطبيقه على الحوادث والأزمات ذات فترات التعافي الزمنية الطويلة والتي تقدر بالأيام أو الأشهر أو السنوات أيضاً [١٥].

المراجع

نذكر هنا المراجع العربية والأجنبية التي تم اســـتخدامها وتم ذكرها في متن الورقة البحثية. نقدمها مرتبة حسب ورودها في الورقة البحثية كما يلي:

[١] Marti, J.R., Hollman, J.A., Ventura, C., and Jatskevich, J., 2008. Dynamic Recovery of Critical Infrastructures, International Journal of Critical Infrastructures, 4(1/2), 17–31.

[٢] Fiedrich, F., Gehbauer, F. and Rickers, U., 2000, Optimized Resource Allocation for Emergency Response after Earthquake Disasters, Safety Science, 35(1), 41–57.

[٣] Robinson, S., Alifantis, T., Hurrion, R., Ladbrook, J., Edwards, J., and Waller, T., 2001, Modeling and Improving Human Decision Making with Simulation, 913-920.

[٤] Bonabeau, E., 2002, Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 99(3), 7280-7287.

[٥] Shen, H., and Zhao, J., A Quick Group Decision-Making Planning. IEEEXplore, 2007.

[٦] Barto, A. G., and Sutton, R. S., 1998, Reinforcement Learning: An Introduction (Adaptive Computation and Machine Learning). USA: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.

[٧] Onat, A., 1998, Q-learning with Recurrent Neural Networks as A Controller for the Inverted Pendulum Problem, The Fifth International Conference on Neural Information Processing, October 21-23, 837-840.

[٨] Khouj, M.T., López, C., Sarkaria, S., and Marti, J., 2011, Disaster management in Real Time Simulation using Machine Learning, IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering, IEEE, Niagara Falls, Ontario, Canada, 001507–001510.

[٩] السبيعي، عبدالله محمد البعيجي، العتيبي، خالد شريم، خوج، محمد طلعت حسين ومارتي، خوزيه رامون.٢٠١٤، مفهوم ترابط البنية التحتية وتطبيقاته في إدارة الأزمات أثناء الحج والعمرة. الملتقى العلمي الرابع عشر لأبحاث الحج والعمرة بمكة المكرمة للفترة ٢٣-٢٤ إبريل.

[١٠] Khouj, M. T., and Marti, J. R., 2010, Modeling Critical Infrastructure Interdependencies in D &Support of the Security Operations for the Vancouver 2010 Olympics. Technical, Defense R Canada-CORA, Vancouver.

[١١] Khouj, M. T., Sarkaria, S., and Marti, J. R., 2014, Decision Assistance Agent in Real-Time Simulation. International Journal of Critical Infrastructures 10(2), 151-173.

[١٢] ECRA, 2015, Electricity & Cogeneration Regulatory Authority http://www.ecra.gov.sa/electricitymanufacturing.aspx

[١٣] SWCC ,2015 , Saline Water Conversion Corporation website http://www.swcc.gov.sa/Arabic/Projects/DesalinationPlants/Pages/default.aspx

[١٤] SWCC ,2015 , Saline Water Conversion Corporation SWEC (2011) Shuaiba Water and Electricity Company Leaflet, access date 1/12/2015, http://www.shuaibahiwpp.com/uploads/1/5/8/4/15840408/____.pdf

[١٥] Calida, B.Y., and Katina, P.F., 2012, Regional Industries as Critical Infrastructures: A Tale of Two Modern Cities, International Journal of Critical Infrastructures, 8(1), 74- 92.