

استخدام انترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر

رضوان محمد المراغي

طالب ماجستير، كلية الدراسات العليا، أكاديمية الشرطة، الدوحة، قطر
البريد الإلكتروني: Radwan_almaraghi87@hotmail.com

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة دور إنترنت الأشياء في تطوير أنظمة الإنذار المبكر من خلال تحليل توظيف الأجهزة الذكية في جمع البيانات البيئية ومعالجتها بشكل لحظي بما يساهم في تحسين التنبؤ بالكوارث الطبيعية وتقليل أثارها وقد اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي عبر استعراض الأدبيات العلمية والدراسات الحديثة وتحليل التطبيقات العملية في مجال إدارة الكوارث.

تناول البحث الإطار النظري لإنترنت الأشياء ومكوناته ودوره في مراقبة الكوارث مثل الفيضانات والزلازل والحرائق باستخدام أجهزة الاستشعار الذكية كما تم توضيح آلية عمل أنظمة الإنذار المبكر القائمة على جمع البيانات وتحليلها وإصدار التنبيهات في الوقت المناسب.

كما ركز البحث على التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي حيث يساهم هذا التكامل في تحسين دقة التنبؤ من خلال تحليل البيانات الضخمة واكتشاف الأنماط غير الطبيعية وفي المقابل ناقش البحث التحديات التقنية والأمنية وأجرى مقارنة بين الأنظمة التقليدية والحديثة مبيناً تفوق الأنظمة المعتمدة على إنترنت الأشياء من حيث السرعة والدقة.

وخلص البحث إلى أن إنترنت الأشياء يمثل أداة فعالة في تحسين أنظمة الإنذار المبكر مع التأكيد على أهمية تطوير البنية التحتية وتعزيز الأمن السيبراني ودعم البحث العلمي لتحقيق الاستفادة القصوى من هذه التقنيات.

الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء، أنظمة الإنذار المبكر، الذكاء الاصطناعي، إدارة الكوارث، البيانات الضخمة، الاستشعار الذكي، التنبؤ بالكوارث.

Using the Internet of Things in Early Warning Systems

Radwan Mohammed Al-Maraghi

Master's Student, College of Graduate Studies, Police Academy, Doha, Qatar

Email: Radwan_almaraghi87@hotmail.com

Abstract

This study aims to examine the role of the Internet of Things in enhancing early warning systems by analyzing how smart connected devices are used to collect and process environmental data in real time, thereby improving the prediction of natural disasters and reducing their impacts. The study adopts a descriptive-analytical approach through reviewing relevant literature and recent studies, as well as analyzing practical applications of IoT in disaster management.

The research addresses the theoretical framework of IoT, including its concept, components, and role in monitoring natural disasters such as floods, earthquakes, and wildfires through the use of smart sensors. It also explains the operational mechanism of early warning systems, which rely on data collection, transmission, analysis, and timely alert generation.

Furthermore, the study focuses on the integration between IoT and artificial intelligence, highlighting its contribution to improving prediction accuracy through big data analysis and pattern recognition. It also discusses the technical and security challenges associated with these systems and provides a comparative analysis between traditional and modern systems, demonstrating the superiority of IoT-based systems in terms of speed and accuracy.

The study concludes that IoT represents an effective tool for improving early warning systems, emphasizing the importance of developing digital infrastructure, strengthening cybersecurity, and supporting scientific research to maximize the benefits of these technologies.

Keywords: Internet of Things (IoT), Early Warning Systems, Artificial Intelligence, Disaster Management, Big Data, Smart Sensing, Disaster Prediction.

مقدمة:

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تزايداً ملحوظاً في معدلات الكوارث الطبيعية من حيث التكرار والشدة الأمر الذي أدى إلى ارتفاع حجم الخسائر البشرية والمادية خاصة في الدول التي تفتقر إلى أنظمة فعالة للرصد المبكر وإدارة الأزمات وقد أصبحت القدرة على التنبؤ بالكوارث قبل وقوعها عنصراً حاسماً في تقليل أثارها مما دفع إلى تطوير ما يعرف بأنظمة الإنذار المبكر التي تعتمد على جمع البيانات وتحليلها لاتخاذ قرارات استباقية.

وفي هذا السياق لعبت التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد دوراً مهماً في مراقبة الكوارث وتحليلها حيث تتيح هذه التقنيات جمع البيانات المكانية والبيئية وتحليلها لدعم عمليات التنبؤ واتخاذ القرار إلا أن هذه الأنظمة رغم أهميتها تعتمد في كثير من الأحيان على بيانات دورية أو تحليل لاحق للأحداث، مما يحد من فعاليتها في الاستجابة الفورية (دغيري، 2013).

ومع التطور المتسارع في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات ظهر مفهوم إنترنت الأشياء (Internet of Things) كأحد أبرز التحولات في العصر الرقمي حيث يقوم على ربط الأجهزة والمجسات المختلفة بشبكات الإنترنت بما يمكنها من جمع البيانات من البيئة المحيطة وتحليلها وتبادلها بشكل آني دون تدخل بشري مباشر وينظر إلى إنترنت الأشياء باعتباره امتداداً لتطور الإنترنت إذ يتيح تفاعل الأجهزة مع بعضها البعض من خلال بروتوكولات الاتصال الحديثة مما يساهم في تحسين كفاءة الأنظمة المختلفة (الضويان، 2018).

وتكمن أهمية إنترنت الأشياء في قدرته على إنشاء بيئة رقمية ذكية تعتمد على تدفق البيانات بشكل مستمر، حيث يمكن للأجهزة الاستشعارية مراقبة التغيرات البيئية في الوقت الحقيقي مثل مستويات المياه أو النشاط الزلزالي أو التغيرات المناخية ومن ثم إرسال إشعارات فورية عند حدوث أي تغير غير طبيعي وقد أشارت الدراسات إلى أن هذه القدرة على جمع وتحليل البيانات بشكل لحظي تساهم في خلق قيمة مضافة من خلال تحسين كفاءة العمليات وتقليل المخاطر وتعزيز جودة اتخاذ القرار (موسى وداسي، 2020).

ومن هنا أصبح من الممكن تطوير أنظمة إنذار مبكر أكثر كفاءة تعتمد على إنترنت الأشياء حيث تنتقل هذه الأنظمة من الاعتماد على البيانات التقليدية إلى الاعتماد على البيانات اللحظية والتحليل الذكي مما يعزز من قدرتها على التنبؤ بالكوارث قبل وقوعها بفترة زمنية كافية لاتخاذ الإجراءات الوقائية.

ومع ذلك فإن تطبيق إنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر لا يخلو من التحديات إذ تواجه هذه الأنظمة مشكلات تتعلق بأمن المعلومات وحماية البيانات وتكامل الأنظمة المختلفة إضافة إلى متطلبات البنية التحتية والتكاليف المرتبطة بها كما أن الاعتماد المتزايد على البيانات الضخمة يفرض ضرورة استخدام تقنيات متقدمة لتحليل هذه البيانات مثل الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي.

بناءً على ما سبق تأتي أهمية هذا البحث في دراسة دور إنترنت الأشياء في تطوير أنظمة الإنذار المبكر من خلال تحليل الأبعاد النظرية لهذه التقنية واستعراض تطبيقاتها في مراقبة الكوارث الطبيعية بالإضافة إلى تقييم التحديات التي تواجهها واستشراف مستقبلها في ظل التطورات التكنولوجية المتسارعة.

مشكلة البحث:

على الرغم من التطور الكبير الذي شهدته تقنيات التنبؤ بالكوارث خلال العقود الأخيرة إلا أن العديد من أنظمة الإنذار المبكر التقليدية لا تزال تعاني من قصور واضح في الكفاءة

والدقة خاصة فيما يتعلق بسرعة جمع البيانات وتحليلها في الوقت الحقيقي إذ تعتمد هذه الأنظمة في كثير من الأحيان على بيانات دورية أو نماذج تحليلية تقليدية مما يؤدي إلى تأخر في إصدار التحذيرات وضعف القدرة على الاستجابة الفورية. وقد أثبتت التقنيات التقليدية مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد أهميتها في تحليل الكوارث وتقديم تصور مكاني لها إلا أنها تظل محدودة من حيث قدرتها على توفير بيانات لحظية مستمرة وهو ما يقلل من فعاليتها في التنبؤ المبكر (دغري، 2013). في المقابل أتاح التطور في تقنيات إنترنت الأشياء إمكانية إنشاء شبكات من الأجهزة الاستشعارية القادرة على جمع البيانات بشكل مستمر وفي الوقت الحقيقي مما يمثل تحولاً نوعياً في آليات عمل أنظمة الإنذار المبكر. إلا أن إدماج إنترنت الأشياء في هذا المجال لا يزال يواجه تحديات متعددة من أبرزها قضايا أمن المعلومات وحماية البيانات وتكامل الأنظمة إضافة إلى الحاجة إلى بنية تحتية متطورة قادرة على دعم هذا الكم الهائل من البيانات كما أن الاعتماد على البيانات الضخمة يتطلب تقنيات تحليل متقدمة مثل الذكاء الاصطناعي مما يزيد من تعقيد هذه الأنظمة. وبناء على ذلك يمكن صياغة **مشكلة البحث** في التساؤل الرئيس التالي: إلى أي مدى يساهم استخدام إنترنت الأشياء في تحسين كفاءة وفعالية أنظمة الإنذار المبكر مقارنة بالأنظمة التقليدية في التنبؤ بالكوارث؟

أسئلة البحث:

- ينبثق عن مشكلة البحث عدد من الأسئلة الفرعية:
- ما مفهوم إنترنت الأشياء وما دوره في مراقبة الكوارث؟
- كيف تعمل أنظمة الاستشعار الذكية في دعم الإنذار المبكر؟
- ما دور التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في تحسين دقة التنبؤ بالكوارث؟
- ما أبرز التحديات التقنية والأمنية المرتبطة باستخدام إنترنت الأشياء في الكوارث؟
- ما مدى فعالية الأنظمة الحديثة مقارنة بالأنظمة التقليدية في التنبؤ بالكوارث؟
- ما مستقبل استخدام إنترنت الأشياء في تطوير أنظمة الإنذار المبكر؟

فرضيات البحث:

- يعتمد البحث على الفرضيات التالية:
- 1- توجد علاقة إيجابية بين استخدام إنترنت الأشياء وتحسين دقة أنظمة الإنذار المبكر.
 - 2- يساهم التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في رفع كفاءة التنبؤ بالكوارث.
 - 3- تمثل التحديات الأمنية والتقنية عائقاً رئيسياً أمام تطبيق إنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر.
 - 4- تتفوق الأنظمة الحديثة المعتمدة على إنترنت الأشياء على الأنظمة التقليدية من حيث السرعة والدقة والاستجابة.

أهمية البحث:

1- الأهمية العلمية

تكمن الأهمية العلمية لهذا البحث في كونه يساهم في تطوير المعرفة النظرية المتعلقة بتطبيقات إنترنت الأشياء في مجال إدارة الكوارث وذلك من خلال الربط بين المفاهيم التقنية والوظائف التطبيقية لأنظمة الإنذار المبكر.

2- الأهمية التطبيقية

يساعد البحث في تقديم تصور عملي يمكن أن تستفيد منه الجهات المعنية بإدارة الكوارث في تطوير أنظمة إنذار مبكر تعتمد على البيانات اللحظية والتي من شأنها تعزيز سرعة الاستجابة وتقليل الخسائر.

3 - الأهمية الاقتصادية

يسهم استخدام إنترنت الأشياء في تقليل التكاليف الناتجة عن الكوارث من خلال التنبؤ المبكر واتخاذ الإجراءات الوقائية قبل تفاقم الأضرار.

4 - الأهمية الإنسانية

يساعد تطوير أنظمة الإنذار المبكر في حماية الأرواح والممتلكات وتقليل المخاطر التي تهدد المجتمعات خاصة في المناطق المعرضة للكوارث الطبيعية.

أهداف البحث:

- يهدف هذا البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف من أهمها:
- تحليل مفهوم إنترنت الأشياء ودوره في أنظمة الإنذار المبكر
- دراسة آلية عمل أنظمة الاستشعار الذكية
- تقييم دور التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي
- التعرف على التحديات التقنية والأمنية المرتبطة بهذه الأنظمة
- إجراء مقارنة بين الأنظمة التقليدية والحديثة
- استشراف مستقبل إنترنت الأشياء في تحسين أنظمة الإنذار المبكر

منهجية البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي باعتباره من أكثر المناهج ملائمة لدراسة الظواهر التقنية المعاصرة حيث يهدف إلى وصف وتحليل دور إنترنت الأشياء في تطوير أنظمة الإنذار المبكر من خلال استعراض المفاهيم النظرية وتحليل التطبيقات العملية ذات الصلة .

خطة البحث:

تم تقسيم هذا البحث إلى مبحثين رئيسيين يندرج تحت كل مبحث مطلبان وذلك على النحو الآتي:

المبحث الأول: الإطار النظري لإنترنت الأشياء وأنظمة الإنذار المبكر
المطلب الأول: مفهوم إنترنت الأشياء ودوره في مراقبة الكوارث

أولاً: مفهوم إنترنت الأشياء

يعد إنترنت الأشياء من أبرز مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة حيث يشير إلى شبكة مترابطة من الأجهزة الذكية القادرة على جمع البيانات ومعالجتها وتبادلها عبر الإنترنت دون تدخل بشري مباشر ويعتمد هذا المفهوم على دمج الأجهزة المادية مثل الحساسات والمستشعرات مع البرمجيات وأنظمة الاتصال بما يسمح بإنشاء بيئة رقمية متكاملة قادرة على التفاعل مع محيطها.

كما يمكن تعريف إنترنت الأشياء بأنه: نظام تقني متكامل يضم شبكة من الكيانات المادية (الأجهزة - الحساسات - الآلات) المزودة بقدرات الاتصال والمعالجة بحيث تكون قادرة

على جمع البيانات من البيئة المحيطة وتبادلها عبر الإنترنت وتحليلها باستخدام تقنيات متقدمة بما يتيح اتخاذ قرارات ذكية أو شبه ذاتية دون تدخل بشري مباشر. ويعكس هذا التعريف الطبيعة متعددة الأبعاد لإنترنت الأشياء حيث يجمع بين ثلاثة عناصر رئيسية تتمثل في الأجهزة المادية وشبكات الاتصال ونظم المعالجة الذكية الأمر الذي يجعله أحد أهم ركائز التحول الرقمي في مختلف المجالات بما في ذلك إدارة الكوارث وأنظمة الإنذار المبكر.

وقد يعرف إنترنت الأشياء بأنه نظام يتيح ربط الأجهزة المختلفة عبر شبكة الإنترنت بهدف تبادل البيانات وتحقيق التكامل بينها مما يمكن كل جهاز من أداء وظيفته بكفاءة أعلى (الضويان، 2018).

كما ينظر إليه على أنه بنية تقنية تعتمد على استخدام الحساسات والمعالجات ووسائل الاتصال لجمع البيانات من البيئة المحيطة وتحليلها بشكل مستمر.

وفي السياق ذاته تشير الدراسات إلى أن إنترنت الأشياء يمثل تحولاً نوعياً في استخدام التكنولوجيا حيث لم يعد دور الإنترنت مقتصر على ربط البشر بل أصبح يشمل ربط الأشياء نفسها مما يؤدي إلى خلق نظام ذكي قادر على اتخاذ قرارات شبه ذاتية بناء على البيانات المتاحة (موسى & داسي، 2020).

ثانياً: مكونات إنترنت الأشياء

يتكون إنترنت الأشياء من مجموعة من العناصر الأساسية التي تعمل بشكل تكاملي لتشكيل نظام ذكي قادر على جمع البيانات وتحليلها واتخاذ القرارات المناسبة ولا يمكن تحقيق كفاءة هذا النظام إلا من خلال التنسيق بين هذه المكونات ويمكن توضيح هذه المكونات على النحو الآتي:

1- الأجهزة والحساسات:

تمثل الأجهزة والحساسات العنصر الأساسي في منظومة إنترنت الأشياء حيث تعد المصدر الأول للبيانات وتتمثل وظيفتها في استشعار التغيرات الفيزيائية أو البيئية المحيطة مثل درجة الحرارة والرطوبة ومستوى المياه والاهتزازات الأرضية والغازات وتتميز هذه الأجهزة بقدرتها على العمل بشكل مستمر وبدقة عالية مما يتيح الحصول على بيانات تعكس الواقع الفعلي للبيئة وفي سياق أنظمة الإنذار المبكر تلعب هذه الحساسات دوراً محورياً في اكتشاف المؤشرات الأولية للكوارث قبل وقوعها.

2- شبكات الاتصال:

تعد شبكات الاتصال الوسيط الذي يربط بين الأجهزة المختلفة داخل نظام إنترنت الأشياء حيث تقوم بنقل البيانات التي يتم جمعها من الحساسات إلى مراكز المعالجة وتشمل هذه الشبكات تقنيات متعددة مثل الشبكات اللاسلكية (Wi-Fi) وتقنية البلوتوث (Bluetooth) وشبكات الجيل الخامس (5G) وتكمن أهمية هذه الشبكات في ضمان سرعة نقل البيانات وموثوقيتها حيث إن أي تأخير أو انقطاع في الاتصال قد يؤثر سلباً على كفاءة النظام خاصة في التطبيقات الحساسة مثل الإنذار المبكر للكوارث.

3- منصات المعالجة وتحليل البيانات:

تمثل هذه المنصات العقل المدبر لنظام إنترنت الأشياء حيث يتم فيها معالجة البيانات وتحليلها لاستخلاص المعلومات المفيدة وتعتمد هذه المنصات على تقنيات متقدمة مثل الحوسبة السحابية التي تتيح تخزين ومعالجة كميات كبيرة من البيانات والحوسبة الطرفية التي تسمح بتحليل البيانات بالقرب من مصدرها لتقليل زمن الاستجابة، كما يمكن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتحسين دقة التحليل والتنبؤ وهو ما يعزز من كفاءة أنظمة الإنذار المبكر.

4-التطبيقات الذكية:

تمثل التطبيقات الذكية الواجهة النهائية التي يتم من خلالها الاستفادة من البيانات التي تم تحليلها حيث تقوم بتحويل النتائج إلى إجراءات عملية مثل إصدار التنبيهات أو اتخاذ قرارات تلقائية وقد تكون هذه التطبيقات على شكل أنظمة إنذار أو تطبيقات هاتفية أو لوحات تحكم تستخدمها الجهات المختصة. وتكمن أهمية هذه التطبيقات في قدرتها على إيصال المعلومات في الوقت المناسب إلى المستخدمين أو صناع القرار مما يساهم في تقليل المخاطر وتحسين الاستجابة للكوارث.

ثالثاً: دور إنترنت الأشياء في مراقبة الكوارث

أدى استخدام إنترنت الأشياء إلى إحداث تحول مهم في أساليب مراقبة الكوارث الطبيعية وإدارتها إذ لم تعد عملية الرصد تعتمد فقط على المتابعة التقليدية أو البيانات التي يتم جمعها بعد فترات زمنية متباعدة بل أصبحت تعتمد على بيانات لحظية يتم جمعها وتحليلها بصورة مستمرة ويعد هذا التحول من العوامل الأساسية التي تعزز قدرة الجهات المختصة على التنبؤ بالمخاطر قبل وقوعها والاستجابة لها بسرعة أكبر عند ظهور مؤشرات الخطر.

وتقوم فكرة استخدام إنترنت الأشياء في مراقبة الكوارث على نشر أجهزة استشعار ذكية في المناطق المعرضة للمخاطر مثل مجاري الأنهار والسدود والمناطق الزلزالية والغابات والمناطق الساحلية وتعمل هذه الأجهزة على رصد مجموعة من المؤشرات البيئية مثل مستوى المياه ودرجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح والاهتزازات الأرضية وتركيز الغازات أو الدخان وبعد جمع هذه البيانات يتم إرسالها عبر شبكات الاتصال إلى مراكز تحليل متخصصة أو منصات سحابية حيث تعالج وتحلل بهدف اكتشاف أي تغير غير طبيعي قد يدل على احتمال وقوع كارثة.

وتبرز أهمية إنترنت الأشياء في هذا المجال من خلال قدرته على توفير بيانات دقيقة ومستمرة في الوقت الحقيقي وهو ما يساعد على تقليل عنصر المفاجأة في الكوارث فعلى سبيل المثال يمكن لحساسات قياس منسوب المياه أن ترصد الارتفاع التدريجي في الأنهار أو السدود ثم ترسل تنبيهات مبكرة عند تجاوز مستويات الخطر كما يمكن للحساسات الزلزالية أن تلتقط الاهتزازات الأرضية الأولية بما يساعد على إصدار تحذيرات سريعة للجهات المختصة أما في حالات الحرائق فيمكن لأجهزة استشعار الحرارة والدخان أن تكشف المؤشرات المبكرة للحريق قبل انتشاره.

وقد أثبتت الدراسات أن استخدام التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد يساهم في تحسين عمليات رصد الكوارث وتحليلها من خلال توفير بيانات مكانية تساعد على فهم نطاق الخطر وتوزيعه الجغرافي إلا أن دمج هذه التقنيات مع إنترنت الأشياء يزيد من فعاليتها لأن إنترنت الأشياء يضيف عنصر الرصد اللحظي والمستمر مما يجعل عملية التنبؤ أكثر دقة وسرعة (دغري، 2013).

كما أن إنترنت الأشياء لا يقتصر على جمع البيانات فقط بل يساهم في تحسين جودة القرار أثناء إدارة الكوارث من خلال توفير معلومات حديثة ودقيقة تساعد صناع القرار على تحديد مستوى الخطر وتوجيه فرق الاستجابة وإصدار التحذيرات في الوقت المناسب، وتشير الأدبيات إلى أن استخدام إنترنت الأشياء يساعد في خلق قيمة مضافة من خلال تحسين كفاءة العمليات وتعزيز سرعة اتخاذ القرار وتقليل المخاطر والخسائر البشرية والمادية (موسى وداسي، 2020).

وبذلك يمكن القول إن إنترنت الأشياء يمثل أداة فعالة في تطوير أنظمة مراقبة الكوارث لأنه ينقل عملية إدارة المخاطر من مرحلة الاستجابة بعد وقوع الكارثة إلى مرحلة التنبؤ

والاستعداد المسبق وهو ما يعزز من كفاءة أنظمة الإنذار المبكر ويجعلها أكثر قدرة على حماية الأرواح والممتلكات.

رابعاً: تطبيقات إنترنت الأشياء في الكوارث الطبيعية

1-مراقبة الفيضانات:

يتم استخدام أجهزة استشعار لقياس مستوى المياه في الأنهار والسدود حيث ترسل هذه الأجهزة بيانات مستمرة تساعد في التنبؤ بحدوث الفيضانات قبل وقوعها.

2-مراقبة الزلازل:

تعتمد على أجهزة استشعار زلزالية قادرة على رصد الاهتزازات الأرضية مما يسمح بإصدار تحذيرات مبكرة.

3-مراقبة الحرائق:

تستخدم أجهزة استشعار لقياس درجة الحرارة والدخان مما يساعد في اكتشاف الحرائق في مراحلها الأولى.

4-مراقبة التغيرات المناخية:

يتم جمع بيانات حول درجات الحرارة والرطوبة والضغط الجوي لتحليل الأنماط المناخية والتنبؤ بالكوارث.

المطلب الثاني: أنظمة الاستشعار الذكية وآليات الإنذار المبكر

أولاً: مفهوم أنظمة الاستشعار الذكية

تعد أنظمة الاستشعار الذكية أحد الركائز الأساسية في بيئة إنترنت الأشياء، حيث تقوم على استخدام مجموعة من الأجهزة الإلكترونية (المستشعرات) القادرة على استشعار التغيرات الفيزيائية أو البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة ومستوى المياه والاهتزازات الأرضية ومن ثم تحويلها إلى بيانات رقمية قابلة للمعالجة والتحليل.

وتتميز هذه الأنظمة بقدرتها على العمل بشكل مستقل نسبياً حيث يمكنها جمع البيانات بشكل مستمر وإرسالها عبر شبكات الاتصال إلى أنظمة مركزية أو منصات سحابية لتحليلها وقد ساهم هذا التطور في تحويل أنظمة الإنذار المبكر من أنظمة تقليدية تعتمد على التدخل البشري إلى أنظمة ذكية تعتمد على التحليل الآلي للبيانات.

وفي هذا السياق يعرف نظام الإنذار المبكر بأنه منظومة متكاملة تهدف إلى رصد المؤشرات الأولية للكوارث وتحليلها لاتخاذ إجراءات استباقية للحد من أثارها (مرعي وآخرون، 2020).

كما يمكن تعريف نظام الإنذار المبكر بشكل أدق بأنه: نظام متكامل يضم مجموعة من الأدوات والإجراءات المؤسسية والتقنية التي تهدف إلى رصد المخاطر المحتملة وتحليل البيانات والمؤشرات المرتبطة بها والتنبؤ بوقوع الكوارث قبل حدوثها ومن ثم إصدار تحذيرات مبكرة في الوقت المناسب لتمكين الأفراد والجهات المختصة من اتخاذ التدابير الوقائية والحد من الخسائر البشرية والمادية.

ثانياً: آلية عمل أنظمة الاستشعار في الإنذار المبكر

تعتمد أنظمة الإنذار المبكر القائمة على إنترنت الأشياء على سلسلة من العمليات المتكاملة التي تضمن دقة التنبؤ وسرعة الاستجابة ويمكن توضيحها على النحو التالي:

1- مرحلة جمع البيانات (Data Collection):

في هذه المرحلة، تقوم أجهزة الاستشعار المنتشرة في البيئة بجمع البيانات بشكل مستمر، مثل:

• قياس مستوى المياه في الأنهار
• رصد النشاط الزلزالي
• تسجيل درجات الحرارة والرطوبة
وتتميز هذه المرحلة بأنها تعتمد على الاستشعار اللحظي مما يوفر بيانات دقيقة ومحدثة باستمرار.

2 - مرحلة نقل البيانات (Data Transmission):

بعد جمع البيانات يتم إرسالها عبر شبكات الاتصال مثل:

- شبكات الإنترنت
 - شبكات الجيل الخامس (5G)
 - تقنيات الاتصال اللاسلكي
- وتعد سرعة نقل البيانات عاملاً حاسماً في فعالية النظام حيث كلما زادت سرعة الاتصال زادت القدرة على الاستجابة المبكرة.

3- مرحلة معالجة وتحليل البيانات (Data Processing & Analysis):

ويتم في هذه المرحلة تحليل البيانات باستخدام:

- الخوارزميات
 - النماذج التنبؤية
 - تقنيات الذكاء الاصطناعي
- وتهدف هذه المرحلة إلى اكتشاف الأنماط غير الطبيعية والتي قد تشير إلى حدوث كارثة وشيكة محتملة.

4- مرحلة اتخاذ القرار وإصدار التنبيه (Decision & Alerting):

وبناء على نتائج التحليل يتم:

- تحديد مستوى الخطر
 - إصدار تنبيهات مبكرة
 - إرسال إشعارات للجهات المختصة أو السكان
- وقد تكون هذه التنبيهات عبر الرسائل النصية - تطبيقات الهاتف - أنظمة الإنذار العامة.

ثالثاً: الخصائص الرئيسية لأنظمة الإنذار المبكر الحديثة

تتميز أنظمة الإنذار المبكر المعتمدة على إنترنت الأشياء بعدد من الخصائص التي تجعلها أكثر كفاءة من الأنظمة التقليدية ومن أبرزها:

- 1- العمل في الوقت الحقيقي:
تتيح هذه الأنظمة جمع وتحليل البيانات بشكل لحظي مما يساعد على اكتشاف المخاطر فور حدوثها وبالتالي تقليل زمن الاستجابة.
 - 2- الدقة العالية:
تعتمد هذه الأنظمة على بيانات مباشرة من أجهزة الاستشعار مما يقلل من نسبة الخطأ مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تعتمد على التقديرات.
 - 3- الاستباقية:
تمكن هذه الأنظمة من التنبؤ بالكوارث قبل وقوعها وليس فقط الاستجابة لها وهو ما يمثل تحولاً من الإدارة التفاعلية إلى الإدارة الاستباقية.
 - 4- التكامل مع تقنيات أخرى:
تتميز بقدرتها على التكامل مع: الذكاء الاصطناعي - الحوسبة السحابية - البيانات الضخمة.
- مما يعزز من قدرتها على تحليل كميات كبيرة من البيانات بكفاءة عالية.

5-الاعتمادية والاستمرارية:
 تعمل هذه الأنظمة بشكل مستمر دون انقطاع مما يضمن مراقبة دائمة للبيئة خاصة في المناطق المعرضة للمخاطر.
 6-المرونة وقابلية التوسع:
 يمكن توسيع هذه الأنظمة بسهولة من خلال إضافة أجهزة استشعار جديدة مما يجعلها مناسبة لمختلف البيئات الجغرافية.

رابعاً: أهمية أنظمة الاستشعار الذكية في تحسين الإنذار المبكر

تعد أنظمة الاستشعار الذكية من الركائز الأساسية التي يعتمد عليها تطوير أنظمة الإنذار المبكر الحديثة لما تتميز به من قدرة عالية على رصد التغيرات البيئية بشكل دقيق ومستمر وتحويلها إلى بيانات قابلة للتحليل الفوري وقد أسهمت هذه الأنظمة في إحداث نقلة نوعية في إدارة الكوارث من خلال الانتقال من أساليب الرصد التقليدية إلى أساليب قائمة على البيانات اللحظية والتحليل الذكي.
 وتتجلى أهمية أنظمة الاستشعار الذكية في مجموعة من الجوانب من أبرزها:

1- تقليل زمن الاستجابة للكوارث:

تتيح هذه الأنظمة رصد المؤشرات الأولية للخطر فور حدوثها مما يقلل من الزمن الفاصل بين اكتشاف الكارثة والاستجابة لها وهو عامل حاسم في الحد من أثارها.

2- تحسين دقة التنبؤ بالكوارث:

تعتمد أنظمة الاستشعار على بيانات حقيقية يتم جمعها من البيئة بشكل مباشر مما يقلل من الاعتماد على التقديرات أو النماذج النظرية فقط ويزيد من دقة التنبؤ بالمخاطر المحتملة.

3- دعم اتخاذ القرار المبني على البيانات:

توفر هذه الأنظمة معلومات دقيقة ومحدثة تساعد صناع القرار على تقييم مستوى الخطر واتخاذ الإجراءات المناسبة في المكان المناسب والوقت المناسب سواء من حيث الإخلاء أو التدخل السريع أو تخصيص الموارد.

4- تقليل الخسائر البشرية والمادية:

فمن خلال توفير إنذارات مبكرة ودقيقة تساهم أنظمة الاستشعار الذكية في تمكين الجهات المختصة من اتخاذ تدابير وقائية تقلل من حجم الأضرار والخسائر الناتجة عن الكوارث وخاصة الخسائر البشرية.

5- تعزيز المراقبة المستمرة للبيئة:

تعمل هذه الأنظمة بشكل دائم دون انقطاع مما يضمن مراقبة مستمرة للتغيرات البيئية على عكس الرصد التقليدي، خاصة في المناطق المعرضة للمخاطر مثل الأنهار والمناطق الساحلية والمناطق الزلزالية.

6- تحسين كفاءة إدارة الكوارث:

تساهم البيانات التي توفرها أنظمة الاستشعار في تحسين التخطيط المسبق وإدارة الموارد أثناء الكوارث مما يزيد من فعالية الاستجابة ويقلل من الفوضى المصاحبة لها.

كما أن دمج أنظمة الاستشعار الذكية مع إنترنت الأشياء يعزز من كفاءتها بشكل كبير حيث تصبح جزءاً من منظومة متكاملة تعتمد على الربط بين الأجهزة وتبادل البيانات بشكل لحظي وتحليلها باستخدام تقنيات متقدمة مثل الحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي وهذا التكامل يتيح بناء أنظمة إنذار مبكر أكثر تطوراً قادرة على التنبؤ بالكوارث بدقة أعلى والاستجابة لها بشكل أسرع.

وبناء على ذلك يمكن اعتبار أنظمة الاستشعار الذكية عنصراً محورياً في تطوير أنظمة الإنذار المبكر حيث تساهم في تحقيق الانتقال من نماذج الاستجابة التقليدية إلى نماذج قائمة

على التنبؤ والاستباقية وهو ما يعزز من قدرة المجتمعات على مواجهة الكوارث والحد من آثارها.

المبحث الثاني: التطبيقات المتقدمة والتحديات المستقبلية لاستخدام إنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر المطلب الأول: دور إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في تطوير الإنذار المبكر

يمثل التكامل بين إنترنت الأشياء وتقنيات الذكاء الاصطناعي تحولاً جوهرياً في بنية أنظمة الإنذار المبكر حيث لم تعد هذه الأنظمة تقتصر على مجرد جمع البيانات من البيئة المحيطة بل أصبحت قادرة على تحليلها وتفسيرها والتنبؤ بالمخاطر المحتملة واتخاذ قرارات شبيهة ذاتية بناء عليها ويعتمد هذا التكامل على توظيف تقنيات متقدمة مثل التعلم الآلي والتعلم العميق في معالجة البيانات الضخمة الناتجة عن أجهزة الاستشعار مما يساهم في تحسين دقة التنبؤ بالكوارث وتقليل نسبة الخطأ.

وتكمن أهمية إنترنت الأشياء في كونه يوفر بنية تحتية رقمية قائمة على التدفق المستمر للبيانات حيث يتم نشر أجهزة استشعار ذكية في مواقع مختلفة لرصد التغيرات البيئية بشكل لحظي مثل مستوى المياه والنشاط الزلزالي ودرجات الحرارة والضغط الجوي وترسل هذه البيانات بشكل فوري إلى أنظمة المعالجة مما يتيح مراقبة مستمرة ودقيقة للظواهر الطبيعية وقد أكدت الدراسات أن هذه القدرة على جمع البيانات وتحليلها بشكل مستمر تساهم في تحسين جودة القرارات وتقليل المخاطر المرتبطة بالكوارث (موسى وداسي، 2020).

كما يمثل إنترنت الأشياء نقلة نوعية في استخدام الإنترنت حيث لم يعد دوره مقتصرًا على ربط الأفراد بل امتد ليشمل ربط الأجهزة والأنظمة المختلفة ضمن شبكة واحدة مما يسمح بتبادل البيانات بشكل تلقائي وتحقيق التكامل بين مكونات النظام (الضويان، 2018).

وفي هذا السياق يؤدي الذكاء الاصطناعي دوراً مهماً في تحليل البيانات المتدفقة من أجهزة إنترنت الأشياء حيث يقوم بالتعرف على الأنماط السلوكية والتغيرات غير الطبيعية التي قد تشير إلى خطر وشيك فعلى سبيل المثال يمكن لخوارزميات الذكاء الاصطناعي تحليل بيانات منسوب المياه على مدى زمني معين والتنبؤ بحدوث فيضان قبل وقوعه أو تحليل بيانات الاهتزازات الأرضية لاكتشاف مؤشرات النشاط الزلزالي كما يمكن لهذه الأنظمة التمييز بين الإشارات الطبيعية وغير الطبيعية مما يقلل من الإنذارات الخاطئة ويزيد من موثوقية النظام.

ومن الناحية التشغيلية تمر عملية التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي بعدة مراحل مترابطة تبدأ بجمع البيانات من خلال أجهزة الاستشعار ثم نقلها عبر شبكات الاتصال وبعد ذلك تحليلها باستخدام خوارزميات متقدمة وأخيراً إصدار التنبيهات أو اتخاذ القرارات المناسبة ويعد هذا التسلسل من العمليات هو الأساس الذي تقوم عليه أنظمة الإنذار المبكر الذكية.

ومن أبرز التطبيقات العملية لهذا التكامل:

• أنظمة الإنذار المبكر للفيضانات:

تعتمد على أجهزة استشعار تقيس مستوى المياه وسرعة التدفق حيث يتم تحليل البيانات بشكل لحظي للتنبؤ بحدوث الفيضانات وإصدار تحذيرات مبكرة.

• أنظمة التنبؤ بالزلازل:

تستخدم شبكات من الحساسات الزلزالية المرتبطة بالإنترنت لرصد الاهتزازات الأرضية وتحليلها مما يساعد في اكتشاف المؤشرات الأولية للزلازل.

- أنظمة الكشف المبكر عن الحرائق:
تعتمد على أجهزة استشعار تقيس درجات الحرارة والدخان ويتم تحليل هذه البيانات لاكتشاف الحرائق في مراحلها الأولى.
- أنظمة مراقبة التغيرات المناخية:
تستخدم بيانات متعددة مثل الحرارة والرطوبة والضغط الجوي لتحليل الأنماط المناخية والتنبؤ بالكوارث المرتبطة بها.
- ويؤدي هذا التكامل إلى تحقيق مجموعة من الفوائد الاستراتيجية من أبرزها:
 - تحسين دقة التنبؤ بالكوارث: نتيجة الاعتماد على تحليل بيانات ضخمة ومتنوعة.
 - تقليل زمن الاستجابة: بفضل المعالجة اللحظية للبيانات.
 - تقليل نسبة الإنذارات الخاطئة: من خلال استخدام نماذج تحليل متقدمة.
 - تعزيز اتخاذ القرار الآلي: حيث يمكن للنظام إصدار تنبيهات أو اتخاذ إجراءات دون تدخل بشري مباشر.
 - رفع كفاءة إدارة الكوارث: من خلال توفير معلومات دقيقة في الوقت المناسب.
- وبناءً على ذلك يمكن القول إن التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يمثل الأساس في تحويل أنظمة الإنذار المبكر من أنظمة تقليدية تعتمد على الرصد والتفاعل إلى أنظمة ذكية تعتمد على التنبؤ والاستباقية وهو ما يساهم في تعزيز قدرة المجتمعات على مواجهة الكوارث وتقليل آثارها بشكل فعال.

المطلب الثاني: التحديات التقنية والأمنية والمقارنة ومستقبل إنترنت الأشياء

على الرغم من الإمكانيات الكبيرة التي يوفرها إنترنت الأشياء في تطوير أنظمة الإنذار المبكر إلا أن تطبيقه العملي يواجه مجموعة من التحديات التي قد تحد من كفاءته وفعاليتيه خاصة في البيانات التي تتطلب استجابة دقيقة وفورية. وتبرز هذه التحديات بشكل خاص في الأنظمة المرتبطة بالكوارث حيث إن أي خلل تقني أو أمني قد يؤدي إلى نتائج خطيرة مثل التأخر في إصدار التحذيرات أو حدوث إنذارات خاطئة.

أولاً: التحديات التقنية

تتمثل التحديات التقنية في مجموعة من العقبات المرتبطة بالبنية التحتية وإدارة البيانات وتكامل الأنظمة ويمكن توضيحها على النحو الآتي:

1- ضعف البنية التحتية الرقمية

تعتمد أنظمة إنترنت الأشياء بشكل أساسي على توفر شبكات اتصال قوية ومستقرة لنقل البيانات بين أجهزة الاستشعار ومراكز المعالجة إلا أن العديد من المناطق خاصة المناطق النائية أو المعرضة للكوارث تعاني من ضعف في البنية التحتية للاتصالات مثل انقطاع الشبكات أو انخفاض سرعة الإنترنت ويؤدي ذلك إلى تأخر نقل البيانات أو فقدانها مما ينعكس سلباً على كفاءة نظام الإنذار المبكر وقدرته على الاستجابة في الوقت المناسب.

2- إدارة البيانات الضخمة

تنتج أنظمة إنترنت الأشياء كميات هائلة من البيانات نتيجة التشغيل المستمر لأجهزة الاستشعار وهو ما يُعرف بالبيانات الضخمة وتمثل عملية تخزين هذه البيانات ومعالجتها وتحليلها تحدياً كبيراً حيث تتطلب بنية تقنية متقدمة تشمل الحوسبة السحابية أو الحوسبة الطرفية بالإضافة إلى خوارزميات تحليل فعالة، كما أن عدم القدرة على معالجة البيانات في الوقت الحقيقي قد يؤدي إلى فقدان القيمة الأساسية للإنذار المبكر وهي السرعة والدقة.

3- تكامل الأنظمة

تتكون بيئة إنترنت الأشياء من أجهزة وأنظمة متعددة قد تكون مصممة من قبل شركات مختلفة وباستخدام بروتوكولات متنوعة مما يؤدي إلى صعوبة دمجها ضمن نظام موحد وتظهر هذه المشكلة بشكل واضح في أنظمة الإنذار المبكر التي تتطلب تكاملاً بين مصادر بيانات مختلفة مثل الحساسات الأرضية ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد وقد أشارت الدراسات إلى أن الأنظمة التقليدية مثل نظم المعلومات الجغرافية رغم فعاليتها إلا أنها تعاني من محدودية في التعامل مع البيانات اللحظية مقارنة بالتقنيات الحديثة (دغري، 2013).

4- الاعتمادية واستمرارية التشغيل

تتطلب أنظمة الإنذار المبكر العمل بشكل مستمر دون انقطاع خاصة في الظروف الحرجة إلا أن الأجهزة المستخدمة في إنترنت الأشياء قد تتعرض لأعطال تقنية أو نفاد الطاقة أو تأثيرات بيئية قاسية مما قد يؤدي إلى توقف النظام أو انخفاض كفاءته لذلك يمثل ضمان استمرارية التشغيل تحدياً تقنياً مهماً.

ثانياً: التحديات الأمنية

تمثل التحديات الأمنية أحد أخطر الجوانب المرتبطة باستخدام إنترنت الأشياء نظراً لاعتماد هذه الأنظمة على الاتصال المستمر وتبادل البيانات عبر الشبكات مما يجعلها عرضة للتهديدات السيبرانية.

1- اختراق الأنظمة:

تعد أجهزة إنترنت الأشياء عرضة للاختراق بسبب محدودية قدراتها الأمنية في بعض الأحيان مما قد يسمح للمهاجمين بالوصول إلى النظام والتحكم فيه أو تعطيله وفي سياق أنظمة الإنذار المبكر قد يؤدي هذا الاختراق إلى تعطيل إصدار التنبيهات أو التلاعب بها وهو ما يشكل خطراً كبيراً على الأرواح والممتلكات.

2- حماية البيانات:

تعتمد أنظمة الإنذار المبكر على بيانات حساسة تتعلق بالبيئة والمجتمع ولذلك فإن حمايتها من التسرب أو التلاعب تعد أمراً بالغ الأهمية ويشمل ذلك استخدام تقنيات التشفير وأنظمة الحماية المتقدمة لضمان سلامة البيانات أثناء نقلها وتخزينها.

3- الخصوصية:

في بعض التطبيقات خاصة في المدن الذكية يتم جمع بيانات مستمرة عن الأفراد والبيئة المحيطة مما يثير مخاوف تتعلق بالخصوصية وقد يؤدي سوء استخدام هذه البيانات أو عدم حمايتها بشكل كافٍ إلى انتهاك خصوصية المستخدمين وهو ما يتطلب وجود سياسات تنظيمية واضحة.

4- موثوقية النظام:

تمثل موثوقية النظام تحدياً مهماً حيث يجب أن تكون الأنظمة قادرة على التمييز بين الإشارات الحقيقية والخاطئة وإصدار إنذارات خاطئة بشكل متكرر قد يؤدي إلى فقدان الثقة في النظام بينما عدم إصدار تنبيه في الوقت المناسب قد يؤدي إلى خسائر كبيرة.

ثالثاً: أمثلة على استخدام إنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر

شهدت العديد من الدول تطبيقات ناجحة لإنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر حيث تم توظيف هذه التقنية لمراقبة الكوارث الطبيعية والتقليل من أثارها وفيما يلي أبرز هذه الأمثلة:

1- نظام الإنذار المبكر للفيضانات - الصين:

تعد الصين من الدول الرائدة في تطوير أنظمة الإنذار المبكر للفيضانات حيث تعتمد هذه الأنظمة على جمع البيانات الهيدرولوجية مثل مستوى المياه والأمطار وتحليلها باستخدام

نماذج تنبؤية للتنبؤ بالكوارث قبل وقوعها مما يساعد في إصدار تحذيرات مبكرة وتقليل الخسائر. (Li et al., 2017)

2- نظام الإنذار المبكر للزلازل - اليابان:

تعتمد اليابان على أحد أكثر أنظمة الإنذار المبكر للزلازل تطوراً في العالم حيث يقوم هذا النظام على شبكة متقدمة من أجهزة الاستشعار الزلزالية التي ترصد الاهتزازات الأرضية بشكل فوري ويتم إرسال التنبيهات خلال ثواني إلى الجهات المختصة والسكان مما يساعد في تقليل الخسائر الناتجة عن الزلازل. (Fujinawa & Noda, 2013)

3- نظام الكشف المبكر عن حرائق الغابات - الولايات المتحدة الأمريكية:

تم استخدام شبكات الاستشعار اللاسلكية في مراقبة الظروف البيئية المرتبطة بحرائق الغابات حيث تتيح هذه الأنظمة جمع بيانات مثل درجة الحرارة وسرعة الرياح لدعم عمليات الاستجابة وهو ما يمثل أحد الأسس التقنية التي تطورت لاحقاً إلى أنظمة إنترنت الأشياء الحديثة. (Hartung et al., 2006)

4- أنظمة المدن الذكية والإنذار المبكر - سنغافورة:

تعد سنغافورة من الدول المتقدمة في تطبيق مفهوم المدن الذكية حيث تعتمد على بنية تحتية رقمية متكاملة تقوم على استخدام إنترنت الأشياء لجمع البيانات من مختلف مكونات البيئة الحضرية، مثل شبكات المياه والمرور وجودة الهواء وتستخدم هذه البيانات في دعم أنظمة الإنذار المبكر وتحسين إدارة الكوارث مما يعزز من كفاءة الاستجابة واتخاذ القرار. (Bibri, 2018).

رابعاً: المقارنة بين الأنظمة التقليدية والحديثة

يمكن إجراء مقارنة تحليلية بين الأنظمة التقليدية والحديثة كما يلي:

- تعتمد الأنظمة التقليدية على جمع بيانات دوري وتحليلها لاحقاً مما يؤدي إلى بطء الاستجابة، بينما تعتمد الأنظمة الحديثة على البيانات اللحظية مما يعزز سرعة الاستجابة.
- تتميز الأنظمة التقليدية بدقة محدودة بسبب اعتمادها على التقديرات، في حين تتميز الأنظمة الحديثة بدقة عالية نتيجة استخدام أجهزة الاستشعار والتحليل الذكي.
- تعتمد الأنظمة التقليدية بشكل كبير على التدخل البشري، بينما تعتمد الأنظمة الحديثة على الأتمتة والتحليل الذكي.
- ومن خلال هذه المقارنة يتضح أن الأنظمة الحديثة المعتمدة على إنترنت الأشياء قد تتفوق في معظم الجوانب خاصة فيما يتعلق بالدقة والسرعة.

رابعاً: مستقبل إنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر

- يتجه مستقبل إنترنت الأشياء في مجال أنظمة الإنذار المبكر نحو مزيد من التطور والاعتماد على التقنيات الذكية بما يساهم في بناء أنظمة أكثر كفاءة ودقة واستقلالية في التنبؤ بالكوارث وإدارتها ويعكس هذا التوجه التحول من أنظمة تقليدية تعتمد على الرصد والاستجابة إلى أنظمة متقدمة قائمة على التحليل التنبؤي والاستباقي.
- ومن المتوقع أن يشهد هذا المجال مجموعة من التطورات الرئيسية ومن أبرزها:
- زيادة الاعتماد على الذكاء الاصطناعي:

يتجه المستقبل نحو دمج أعمق لتقنيات الذكاء الاصطناعي مع إنترنت الأشياء حيث سيتم الاعتماد على خوارزميات متقدمة لتحليل البيانات الضخمة والتنبؤ بالكوارث بدقة أعلى مع القدرة على التعلم المستمر من البيانات السابقة وتحسين الأداء بمرور الوقت.

- تطوير أنظمة إنذار استباقية بالكامل:

ستتطور أنظمة الإنذار المبكر لتصبح قادرة على التنبؤ بالكوارث قبل حدوثها بفترات زمنية أطول وليس فقط الاستجابة للمؤشرات الحالية وذلك من خلال تحليل الأنماط طويلة المدى والبيانات التاريخية.

- تعزيز دور المدن الذكية: سيؤدي انتشار مفهوم المدن الذكية إلى دمج أنظمة الإنذار المبكر ضمن البنية التحتية الحضرية حيث يتم استخدام إنترنت الأشياء لمراقبة مختلف عناصر البيئة الحضرية مثل شبكات المياه والطاقة والنقل مما يساهم في تحسين الاستجابة للكوارث على مستوى المدن.
- تحسين تكامل الأنظمة: سيتجه التطور نحو إنشاء منصات موحدة تجمع بين مصادر بيانات متعددة مثل أجهزة الاستشعار ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد مما يعزز من دقة التنبؤ ويزيد من كفاءة اتخاذ القرار.
- الاعتماد على الحوسبة الطرفية: سيساهم استخدام الحوسبة الطرفية في معالجة البيانات بالقرب من مصدرها مما يقلل من زمن الاستجابة ويزيد من سرعة إصدار التنبيهات خاصة في الحالات التي تتطلب قرارات فورية.
- تطور تقنيات الاتصال الحديثة: سيساهم انتشار شبكات الجيل الخامس (5G) في تحسين سرعة نقل البيانات وتقليل زمن التأخير مما يعزز من كفاءة أنظمة إنترنت الأشياء وقدرتها على العمل في الوقت الحقيقي.
- تعزيز الأمن السيبراني: مع تزايد الاعتماد على الأنظمة الرقمية سيصبح تطوير أنظمة أمنية متقدمة لحماية البيانات ومنع الاختراقات امر ضروري لضمان موثوقية أنظمة الإنذار المبكر.
- وبناءً على ما سبق يمكن القول إن مستقبل إنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر يتجه نحو بناء منظومات ذكية متكاملة قادرة على التنبؤ بالكوارث وإدارتها بشكل استباقي مما يساهم في تقليل المخاطر وتعزيز قدرة المجتمعات على مواجهة التحديات البيئية المختلفة.

الخاتمة:

في ظل تزايد الكوارث الطبيعية وتعقيدها أصبح من الضروري تطوير أنظمة إنذار مبكر أكثر دقة وكفاءة قادرة على التنبؤ بالمخاطر قبل وقوعها والحد من أثارها وقد تناول هذا البحث دور إنترنت الأشياء في تطوير هذه الأنظمة لما يوفره من إمكانيات متقدمة في جمع البيانات وتحليلها بشكل لحظي.

وأظهر البحث أن إنترنت الأشياء يساهم بشكل كبير في تحسين مراقبة الكوارث من خلال استخدام أجهزة الاستشعار الذكية التي توفر بيانات مستمرة ودقيقة كما تبين أن التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يعزز من قدرة الأنظمة على تحليل البيانات والتنبؤ بالكوارث بشكل أفضل، مما يساعد على اتخاذ إجراءات وقائية في الوقت المناسب.

وفي المقابل أوضح البحث أن هناك تحديات تواجه هذه التقنيات مثل ضعف البنية التحتية ومشكلات الأمن السيبراني وصعوبة تكامل الأنظمة وهو ما يتطلب تطوير حلول تقنية وتنظيمية مناسبة للتغلب عليها.

كما أظهرت المقارنة بين الأنظمة التقليدية والحديثة أن الأنظمة المعتمدة على إنترنت الأشياء تتميز بسرعة الاستجابة ودقة التنبؤ إلا أن الأنظمة التقليدية لا تزال مهمة في بعض الحالات خاصة في البيئات التي تقتصر إلى الإمكانيات التقنية.

وفيما يتعلق بالمستقبل من المتوقع أن يتزايد الاعتماد على إنترنت الأشياء في أنظمة الإنذار المبكر خاصة مع تطور الذكاء الاصطناعي وتقنيات الاتصال الحديثة مما سيساهم في بناء أنظمة أكثر ذكاءً وقدرة على التنبؤ بالكوارث وإدارتها بشكل فعال.

وبناء على ذلك يمكن القول إن إنترنت الأشياء يمثل أداة مهمة في تطوير أنظمة الإنذار المبكر إلا أن نجاحه يعتمد على توفر بنية تحتية قوية وتعزيز الأمن المعلوماتي ودعم البحث العلمي بما يحقق حماية أفضل للمجتمعات من مخاطر الكوارث.

النتائج:

- في ضوء التحليل النظري واستعراض الدراسات السابقة والتطبيقات العملية، توصل البحث إلى مجموعة من النتائج، من أبرزها:
- 1- أثبتت الدراسة أن إنترنت الأشياء يمثل تحولاً نوعياً في أنظمة الإنذار المبكر، حيث يتيح جمع البيانات بشكل لحظي ومستمر مما يساهم في تحسين دقة التنبؤ بالكوارث.
 - 2- أظهرت النتائج أن التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يساهم بشكل كبير في تعزيز كفاءة أنظمة الإنذار المبكر من خلال تحليل البيانات الضخمة واكتشاف الأنماط غير الطبيعية.
 - 3- تبين أن الأنظمة الحديثة المعتمدة على إنترنت الأشياء تتفوق على الأنظمة التقليدية من حيث سرعة الاستجابة ودقة المعلومات نظراً لاعتمادها على أجهزة استشعار متطورة وتحليل فوري للبيانات.
 - 4- كشفت الدراسة أن أنظمة الاستشعار الذكية تلعب دوراً محورياً في دعم الإنذار المبكر من خلال توفير بيانات دقيقة ومستمرة تساعد في اتخاذ قرارات استباقية.
 - 5- أظهرت النتائج أن هناك تحديات تقنية وأمنية تواجه تطبيق إنترنت الأشياء مثل ضعف البنية التحتية وصعوبة تكامل الأنظمة ومخاطر الاختراق السيبراني.
 - 6- بينت الدراسة أن التقنيات التقليدية مثل نظم المعلومات الجغرافية رغم أهميتها إلا أنها أقل كفاءة في التعامل مع البيانات اللحظية مقارنة بالتقنيات الحديثة.
 - 7- أكدت الدراسة أن إنترنت الأشياء يساهم في خلق قيمة مضافة من خلال تحسين جودة البيانات وتعزيز اتخاذ القرار وتقليل المخاطر.

التوصيات:

- بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها يوصي البحث بما يلي:
- 1- تعزيز البنية التحتية الرقمية:
 - 2- ضرورة تطوير شبكات الاتصال خاصة في المناطق المعرضة للكوارث لضمان كفاءة عمل أنظمة إنترنت الأشياء.
 - 3- دعم التكامل بين التقنيات الحديثة:
 - 4- العمل على دمج إنترنت الأشياء مع تقنيات الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة لتحسين دقة التنبؤ.
 - 5- تعزيز الأمن السيبراني:
 - 6- تطوير آليات حماية متقدمة لضمان أمن البيانات ومنع الاختراقات التي قد تؤثر على أنظمة الإنذار المبكر.
 - 7- تطوير الكوادر البشرية:
 - 8- تدريب المختصين على استخدام التقنيات الحديثة في إدارة الكوارث.
 - 9- دعم البحث العلمي:
 - 10- تشجيع الدراسات التطبيقية في مجال استخدام إنترنت الأشياء في الإنذار المبكر خاصة في البيئة العربية.
 - 11- التحول نحو الأنظمة الذكية:
 - 12- العمل على استبدال الأنظمة التقليدية تدريجياً بأنظمة حديثة تعتمد على البيانات اللحظية.

المراجع

1. دغبري، يحيى بن علي. (2013). رصد وإدارة الكوارث باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. في المؤتمر السعودي الدولي الأول لإدارة الأزمات والكوارث (المجلد 2، ص 664-671). جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية.
2. الضويان، ليلي. (2018). كيف سيغير إنترنت الأشياء مستقبل حياتك اليومية، مجلة الدبلوماسية، (91)، 26-29.
3. قواسمية، محمد. (2021). دور أنظمة الإنذار المبكر في التنبؤ بالأزمات.
4. مرعي، أحمد، وآخرون. (2020). أنظمة الإنذار المبكر ودورها في إدارة الكوارث.
5. موسى، وداسي، و. (2020). مساهمة إنترنت الأشياء في خلق القيمة: دراسة تحليلية. مجلة الاستراتيجية والتنمية، (5)، 522-535.
6. الخصاونة، إبراهيم، والدبيسي، عبد الكريم. (2023). حرية الإنترنت خلال الأزمات: الحدود والقيود. مجلة جامعة النجاح للأبحاث (العلوم الإنسانية)، 37، (11).
7. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2021). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 24(1), 234-274.
8. Aazam, M., & Huh, E. N. (2020). Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things. Future Generation Computer Systems, 78, 465-478.
9. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660.
10. Hasan, M. K., Habib, M. A., & Saha, S. (2021). IoT-based smart disaster management system using machine learning. International Journal of Disaster Risk Reduction, 61, 102324.
11. Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2020). Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. IEEE International Conference on Frontiers of Information Technology, 257-260.
12. Sharma, V., & You, I. (2020). Sustainable Internet of Things: Challenges and future directions. IEEE Communications Magazine, 58(2), 28-33.
13. Zhang, Y., Liu, X., & Chen, H. (2022). Artificial intelligence in early warning systems for natural disasters. Journal of Disaster Research, 17(4), 567-580.
14. Li, H., Qin, T., & Lei, X. (2017). Flash flood early warning research in China. In Engineering and Mathematical Topics in Rainfall. IntechOpen.
15. Fujinawa, Y., & Noda, Y. (2013). Japan's earthquake early warning system on 11 March 2011: Performance, shortcomings, and changes. Earthquake Spectra, 29(S1), S341-S368.
16. Hartung, C., Han, R., Seielstad, C., & Holbrook, S. (2006). FireWxNet: A multi-tiered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments. Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services, 28-41.
17. Bibri, S. E. (2018). Smart sustainable cities of the future: The untapped potential of big data analytics and context-aware computing for advancing sustainability. Springer.