

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

ماجستير إدارة المخاطر

فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في الحد من تأثير الكوارث الصناعية: دراسة

ميدانية على المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية

إعداد الطالب/

عبدالله محمد الخليفة

252000304

إشراف/

د. الفصيل عبد الحميد محمد حسن

د.فايز جراد

العام الدراسي:

2026 – 1447

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إهداء

بفضل من الله ودعمه، أقدم هذا البحث بكل فخر واعتزاز، اهداءً
لذكرى والدي الغالي المتوفى، الذين كانوا دائماً مصدر الإلهام والدافع
لي في رحلتي العلمية. كانوا يؤمنون بقدراتي ويشجعوني دائماً على
تحقيق النجاح.

كما أهدي هذا العمل لوالدتي الحبيبة، التي لطالما كانت الركيزة
القوية والداعمة لي طيلة حياتي الأكاديمية. بفضل صبرها وحنانها،
استطعت تخطي كل التحديات والوصول إلى هذه المرحلة.

وبهدفني لمواصلة مسيرتي الأكاديمية وتحقيق طموحاتي
الشخصية، أتطلع إلى النهوض بمسيرتي للوصول إلى درجة الدكتوراه،
داعياً الله أن يمن علي بقوة وإرادة لاستكمال طريق العلم والمعرفة.

في الختام، أتوجه بالشكر الجزيل لكل من ساهم ودعمني في هذه
الرحلة، وأدعو الله أن يجعل هذا العمل خيراً مفيداً ومساهمة صغيرة في
المجال العلمي.

شُكْرٌ وَتَقْدِيرٌ

الحمد لله الذي وفقني وأعانني على إتمام هذا العمل، والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى والديّ العزيزين، اللذين كانا لي النبراس والموجه. إن دعمهما المتواصل وتشجيعهما الدائم كانا الدافع الأكبر لي لتحقيق هذا الإنجاز.

كما أعبر عن عميق امتناني لزوجتي الغالية، التي كانت لي الشريك والسند في هذه الرحلة الطويلة. كان لصبرها وتفهمها ودعمها المستمر أثر بالغ في إنجاح هذا العمل.

أود أن أشكر أساتذتي الكرام، وخاصة مشرف رسالتي، الذين لم يخلوا عليّ بوقتهم وخبرتهم. لقد كان لإرشاداتهم العلمية ونصائحهم القيمة الأثر الكبير في إتمام هذا البحث.

د. الفيصل عبد الحميد

د. فايز جراد

أشكر زملائي وأصدقائي، الذين كانوا لي عونًا وسندًا، وكان لتشجيعهم ودعمهم دور كبير في تجاوز الصعاب والوصول إلى هذا النجاح.

وأخيرًا، أتقدم بالشكر والامتنان لكل من ساهم بأي شكل في إنجاز هذا العمل، سائلًا الله أن يجعل هذا الجهد خالصًا لوجهه الكريم، وأن يوفقنا جميعًا لما فيه الخير والصلاح.

مستخلص الدراسة

هدفت هذه الدراسة إلى قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري) في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث صُممت استبانة مكونة من (24) فقرة وُزعت على عينة عشوائية طبقية بلغت (331) مفردة من العاملين في أقسام السلامة الصناعية وإدارة المخاطر والطوارئ في ست مدن صناعية رئيسية، وعولجت البيانات باستخدام برنامج (SPSS v.28)

أظهرت النتائج أن المستوى العام لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر جاء مرتفعاً بمتوسط حسابي (3.76)، وتصدر بُعد الجاهزية التقنية الترتيب الوصفي بمتوسط (3.79)، بينما جاء بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.73) وأكد تحليل الانحدار المتعدد وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) لأبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر مجتمعة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل تحديد ($R^2 = 0.734$)، وتبين أن بُعد سرعة الاستجابة هو الأكثر تأثيراً ($B = 0.389$) يليه الجاهزية التقنية ($B = 0.341$) ثم كفاءة الاتصال التحذيري ($B = 0.248$) كما كشفت الدراسة عن فجوات تطبيقية في التحديث الدوري للأنظمة وتدريبات المحاكاة ونظام التغذية الراجعة. وأوصت الدراسة بتكثيف تدريبات المحاكاة وتطوير أنظمة تغذية راجعة إلكترونية متعددة اللغات وتوظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالمخاطر الصناعية.

الكلمات المفتاحية: أنظمة الإنذار المبكر، الكوارث الصناعية، الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة،

كفاءة الاتصال التحذيري، المدن الصناعية، المملكة العربية السعودية

قائمة المحتويات

أ.....	بسم الله الرحمن الرحيم
ب.....	الإهداء
ج.....	الشكر والتقدير
د.....	مستخلص الدراسة
ه.....	قائمة المحتويات
ح.....	قائمة الجداول
1.....	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
1.....	1.1 المقدمة
2.....	2.1 مشكلة الدراسة
3.....	3.1 أهمية الدراسة
4.....	4.1 أهداف الدراسة
5.....	5.1 تساؤلات الدراسة
5.....	6.1 فروض الدراسة
6.....	7.1 الدراسات السابقة
17.....	8.1 الفجوة البحثية
18.....	9.1 المنطلقات النظرية للدراسة
22.....	10.1 المنهجية وطرق البحث
23.....	11.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة
23.....	12.1 حدود الدراسة
24.....	الفصل الثاني: الإطار النظري
24.....	المبحث الأول: أنظمة الإنذار المبكر (المتغير المستقل)
24.....	1.1.2 تمهيد
24.....	2.1.2 مفهوم أنظمة الإنذار المبكر

27.....	3.1.2 أهمية أنظمة الإنذار المبكر في السياق الصناعي
29.....	4.1.2 أهداف أنظمة الإنذار المبكر
31.....	5.1.2 أبعاد أنظمة الإنذار المبكر
36.....	6.1.2 استراتيجيات تفعيل أنظمة الإنذار المبكر في البيئة الصناعية
37.....	7.1.2 التحديات المعاصرة لأنظمة الإنذار المبكر في السياق الصناعي
39.....	8.1.2 أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية
41.....	المبحث الثاني: الحد من تأثير الكوارث الصناعية (المتغير التابع)
41.....	1.2.2 تمهيد
41.....	2.2.2 مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية
44.....	3.2.2 أهمية الحد من تأثير الكوارث الصناعية
46.....	4.2.2 أهداف الحد من تأثير الكوارث الصناعية
47.....	5.2.2 أبعاد الحد من تأثير الكوارث الصناعية
50.....	6.2.2 استراتيجيات الحد من تأثير الكوارث الصناعية
51.....	7.2.2 العلاقة بين أنظمة الإنذار المبكر والحد من تأثير الكوارث الصناعية
53.....	8.2.2 الحد من تأثير الكوارث الصناعية في سياق المدن الصناعية السعودية
55.....	الفصل الثالث: منهجية الدراسة
55.....	1.3 تمهيد
55.....	2.3 منهج الدراسة
56.....	3.3 مجتمع الدراسة وعينتها
57.....	5.3 صدق أداة الدراسة
60.....	6.3 ثبات أداة الدراسة
61.....	7.3 مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة
62.....	8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة
64.....	الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات
64.....	1.4 تمهيد

64.....	2.4 تحليل البيانات الديموغرافية
67.....	3.4 التحليل الوصفي لمتغيرات الدراسة
75.....	4.4 اختبار فرضيات الدراسة
81.....	5.4 ملخص نتائج اختبار الفرضيات
83.....	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات
83.....	1.5 تمهيد
83.....	2.5 نتائج الدراسة
87.....	3.5 التوصيات
89.....	Study Abstract
90.....	المراجع
90.....	أولاً: المراجع العربية
92.....	ثانياً: المراجع الأجنبية
96.....	الملاحق
97.....	استمارة استبيان

قائمة الجداول

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
58	جدول (1): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بُعد الجاهزية التقنية	1.
58	جدول (2): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بُعد سرعة الاستجابة	2.
59	جدول (3): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بُعد كفاءة الاتصال التحذيري	3.
59	جدول (4): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات المتغير التابع (الحد من تأثير الكوارث الصناعية)	4.
60	جدول (5): معاملات الصدق البنائي	5.
61	جدول (6): معاملات ثبات ألفا كرونباخ لأبعاد الدراسة	6.
61	جدول (7): مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة	7.
64	جدول (8): توزيع عينة الدراسة حسب الجنس	8.
65	جدول (9): توزيع عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي	9.
65	جدول (10): توزيع عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة	10.
66	جدول (11): توزيع عينة الدراسة حسب المدينة الصناعية	11.
67	جدول (12): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الجاهزية التقنية	12.

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
68	جدول (13): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد سرعة الاستجابة	.13
70	جدول (14): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد كفاءة الاتصال التحذيري	.14
71	جدول (15): ترتيب أبعاد المتغير المستقل حسب المتوسطات الحسابية	.15
72	جدول (16): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع	.16
75	جدول (17): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر على الحد من تأثير الكوارث الصناعية	.17
77	جدول (18): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر الجاهزية التقنية على الحد من تأثير الكوارث الصناعية	.18
78	جدول (19): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر سرعة الاستجابة على الحد من تأثير الكوارث الصناعية	.19
80	جدول (20): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر كفاءة الاتصال التحذيري على الحد من تأثير الكوارث الصناعية	.20
81	جدول (21): ملخص نتائج اختبار فرضيات الدراسة	.21

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

تُظهر الحوادث الصناعية عالميًا عبئًا متزايدًا على الأرواح والاقتصاد والبنية التحتية، إذ سُجِّل 1054 حادثًا صناعيًا بين 1995 و2021 مع سيادة الانفجارات وتبعات بشرية ومادية جسيمة، ما يبرز هشاشة المرافق الحرجة والحاجة لتطبيق أدوات تقييم المخاطر والوقاية بكفاءة أعلى، وتُعد حوادث كبرى مثل مرفأ بيروت وتيانجين وتكساس تذكيرًا عاجلاً بضرورة تحسين الاستباقية في إدارة الأخطار الصناعية. (Tin et al., 2023)

وتعد أنظمة الإنذار المبكر ركنًا محوريًا في الحد من مخاطر الكوارث متى كانت متعددة الأخطار، متكاملة الحلقات من الرصد إلى الاستجابة، ومحورها الإنسان مع ضمان الإتاحة والشمول للفئات الهشة، وبنيت على تدفقات بيانات موثوقة بين المستويات الوطنية والإقليمية، ويبرز الدور التنسيقي والمعياري لمنظمة الأرصاد الجوية العالمية في ترسيخ هذه المقاربة على الصعيد الدولي (السعدى، 2024).

أن فاعلية الإنذار لا تتحدد بالتقنية وحدها، بل بتكامل مصادر البيانات قبل التشخيص، وتوحيد النماذج، والتحديث اليومي، وبناء الثقة والقبول المجتمعي، مع ربط إلزامي بين الإشعار وإجراءات تدخل واضحة التوقيت، وتُبين مراجعات الصحة العامة تفوق النظم المركبة والإبلاغ اليومي، فيما تُظهر دراسات الفيزيانات أهمية الدمج بين المعرفة المحلية والتقنيات الحديثة، ويكشف تحليل عمليات حفظ السلام أثر توقيت التفعيل على إطالة أو تقصير أمد الأحداث إذا جاء التدخل تفاعليًا لا استباقيًا (Meckawy et al., 2022).

وتستهدف هذه الدراسة قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في الحد من تأثير الكوارث الصناعية ميدانيًا داخل المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية، عبر إطارٍ يستند إلى أنماط المخاطر وأنواع الحوادث وأثرها على جودة الحياة والبنية التحتية، وبما يسد فجوة القياس التطبيقي في السياق الصناعي العربي ويحول مبادئ الإنذار المتكامل إلى مؤشرات أداء قابلة للتنفيذ.

2.1 مشكلة الدراسة

على الرغم من الارتفاع العالمي الملحوظ في تكرار الحوادث الصناعية وشدة آثارها البشرية والمادية والبنوية كما تكشفه الأدلة الوبائية التي تشير إلى هيمنة الانفجارات وامتداد تداعياتها الواسعة إلا أن قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر داخل البيئات الصناعية في المملكة العربية السعودية لا يزال محدودًا وغير قائم على مؤشرات تشغيلية وزمنية دقيقة تربط بين مستوى الجاهزية ونتائج الخسائر الفعلية. وتؤكد الأدبيات أن الوقاية والتنبؤ والاستجابة المبكرة أصبحت ضرورة ملحة، خاصة في ضوء حوادث كبرى مثل انفجار مرفأ بيروت التي أبرزت الحاجة للتكامل بين تقييم المخاطر والإنذار الفعال (Tin et al., 2023; Foreword, 2024).

كما تتفق الدراسات على أن أنظمة الإنذار الفاعلة تتطلب منظومات متعددة الأخطار، شمولية ومركزة على الإنسان، مع سياسات تضمن الإتاحة وتدفق المعلومات والحوكمة الرشيدة، بينما تُضعف فجوات البيانات والتمويل ومحدودية المشاركة المؤسسية قدرة الأنظمة على الحد من الخسائر (Executive Summary, 2023؛ السعدى، 2024).

ورغم ما تظهره الأدبيات من أن تحسين الأنظمة القائمة ودمجها بنماذج موحدة للإبلاغ والاكتشاف المبكر أكثر فاعلية من بناء نظم جديدة من الصفر، إلا أن الحلقة الأضعف عالميًا تظل في ضعف الربط بين الإشعار واتخاذ التدخلات المحددة زمنيًا (Meckawy et al., 2022).

وفي ضوء ذلك، تتجلى المشكلة البحثية في غياب تقييم ميداني صارم وموثوق يحدد ما إذا كانت أنظمة الإنذار المبكر المطبقة في المدن الصناعية السعودية تسهم فعليًا وفق مؤشرات أداء قابلة للقياس في خفض الخسائر البشرية والمادية والبيئية مقارنة بخط الأساس، رغم ما تشير إليه الدراسات من ثقل المخاطر الصناعية عالميًا وتأثيراتها الممتدة.

3.1 أهمية الدراسة:

تعتمد أهمية هذه الدراسة على إسهاماتها النظرية والتطبيقية فيما يلي:

أولاً: الأهمية العلمية:

- سدّ فجوة معرفية عربية وخليجية عبر تقييم ميداني منظم لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر للكوارث الصناعية في المدن الصناعية السعودية.
- بناء إطار مفاهيمي تشغيلي يربط بين أبعاد النظام التقنية والتنظيمية والبشرية والتخطيطية وتأثيرها على الخسائر البشرية والمادية والبيئية.
- تطوير مؤشرات أداء رئيسية قابلة للقياس لفاعلية الإنذار المبكر: زمن الاكتشاف، زمن الإشعار، زمن بدء الاستجابة، معدل الإنذارات الكاذبة، نسبة الإشعارات التي تُترجم لإجراءات.
- تقديم منهجية قياس سببي تجمع بين تصميمات قبل/بعد، وفروق في الفروق بين مواقع مختلفة النضج، وتحليل بقاء مدد الحوادث والتوقف التشغيلي.
- إسهام في معيرة أدوات القياس عبر اختبار الصدق والثبات لاستبيانات الجاهزية والاستجابة، وإتاحة حزمة قياس قابلة لإعادة الاستخدام في بيئات صناعية مشابهة.
- إنتاج قاعدة مقارنة بين أنواع الصناعات والمخاطر والأنماط الحضرية داخل المملكة بما يسمح بتوليد فرضيات جديدة وتعميمات حذرة.
- ربط أدبيات الإنذار المبكر متعددة الأخطار بأطر إدارة الجودة وتحسين العمليات في السياق الصناعي، بما يثري الحوار بين حقول إدارة الكوارث والهندسة الصناعية.

ثانياً: الأهمية العملية:

- تزويد صانعي القرار بلوحة مؤشرات تنفيذية وحدود إنذار وعقود خدمة زمنية لاتخاذ قرارات سريعة وقابلة للمساءلة.

- تقليل الخسائر البشرية والمادية وزمن التوقف عبر تحسين التوقيت والامتثال لبروتوكولات الإخلاء والاستجابة والتواصل التحذيري.
- دعم التوافق التنظيمي مع المتطلبات الوطنية وتكامل الأنظمة مع الدفاع المدني والجهات التنظيمية والبنى الصناعية الرقمية.(SCADA/IoT)
- تمكين ترتيب أولويات الاستثمار في الحساسات والبنية الاتصالية والتدريب وفق عائد تقليص المخاطر وتحليل الكلفة-المنفعة.
- رفع جاهزية الموارد البشرية عبر تحديد فجوات التدريب وتواتر التمارين ومحاكاة السيناريوهات عالية الخطورة.
- تعزيز استمرارية الأعمال وخفض أقساط التأمين عبر توثيق الأداء وتحسين خطط التعافي وإدارة المخاطر التشغيلية.
- إرشاد التخطيط المكاني الصناعي وتحديد مناطق عازلة وتخزين آمن للمواد الخطرة بناءً على خرائط التعرض والمهشاشة.
- تحسين حوكمة البيانات والأمن السيبراني لمنظومة الإنذار، بما يقلل اختناقات التدفق المعلوماتي ومخاطر الاختراق.

4.1 أهداف الدراسة:

قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري) في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية. وتتفرع من هذا الهدف العام عدة أهداف فرعية، وهي:

- تقدير مستوى الجاهزية التقنية لأنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية.
- قياس سرعة الاكتشاف والإشعار وبدء الاستجابة مقارنة بخطوط أساس تشغيلية.
- تقييم كفاءة قنوات الاتصال التحذيري ووصول الرسائل لمستحقيها.

5.1 تساؤلات الدراسة

السؤال الدراسة الرئيسي: إلى أي مدى تُسهم فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الأربع في خفض تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية؟ وتتفرع منه عدة أسئلة فرعية:

- ما مستوى الجاهزية التقنية الراهن لأنظمة الإنذار المبكر؟
- ما زمن الاكتشاف والإشعار وبدء الاستجابة، وهل يصل إلى الحدود المستهدفة؟
- ما كفاءة الاتصال التحذيري من حيث التغطية والموثوقية وقابلية الفهم؟

6.1 فروض الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة على تساؤلاتها يمكن صياغة الفرضيات التالية:

الفرضية الرئيسية: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها مجتمعة على الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية.

الفرضيات الفرعية:

- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) للجاهزية التقنية لنظام الإنذار المبكر على الحد من تأثير الكوارث الصناعية.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لسرعة الاستجابة التشغيلية (زمن الاكتشاف-الإشعار-بدء الاستجابة) على الحد من تأثير الكوارث الصناعية.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لكفاءة الاتصال التحذيري ووصول الرسائل للمعنيين على الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

7.1 الدراسات السابقة:

❖ دراسة (سليمان، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية آلية الإنذار المبكر عن الصراعات والنزاعات المسلحة في القارة الإفريقية بأبعادها (البنية المؤسسية والتنظيمية، منظومة جمع وتحليل البيانات والمؤشرات، دقة التنبؤ وسرعة الاستجابة المبكرة، ومستوى التنسيق بين المستويات الوطنية والإقليمية والدولية) على تحقيق الأمن القومي والاستقرار السياسي في الدول الإفريقية، وذلك من خلال تطبيقها على عدد من الحالات الإفريقية مثل جنوب السودان وكوت ديفوار والنيجر ومالي، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي والمنهج المقارن مدعومًا بأسلوب دراسة الحالة لرصد أوجه النجاح والإخفاق في تفعيل آلية الإنذار المبكر لدى الاتحاد الإفريقي والمنظمات الإقليمية، وتحليل مدى ترجمة الإنذار إلى استجابة سياسية وأمنية فعّالة.

توصلت النتائج إلى أن فاعلية آلية الإنذار المبكر ترتبط بدرجة توافر الإرادة السياسية، وكفاءة الهياكل المؤسسية المشرفة على الإنذار والاستجابة، وجودة قواعد البيانات والمعلومات، ومستوى التنسيق بين الفاعلين الوطنيين والإقليميين، وأن الإخفاق غالبًا ما يرتبط بتسييس الإنذار، وضعف الربط بين الإنذار ومتخذ القرار، وقصور آليات التدخل الوقائي المبكر.

واوصت الدراسة بالآتي :

- (1) تعزيز الإطار المؤسسي والقانوني لآلية الإنذار المبكر في القارة الإفريقية.
- (2) تطوير منظومة المؤشرات المبكرة وبناء قواعد بيانات محدثة، ووضع آليات واضحة وملزمة لربط الإنذار بالاستجابة السريعة.
- (3) تقوية الشراكة بين الاتحاد الإفريقي والدول الأعضاء والتجمعات الإقليمية .
- (4) توسيع إشراك المجتمعات المحلية ومنظمات المجتمع المدني في عمليات الرصد المبكر للصراعات.

❖ دراسة (السعدى، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية أنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار بأبعادها (الإطار المؤسسي والقانوني، منظومة الرصد والتنبؤ، إدارة المعلومات والتواصل، وبناء القدرات والشراكات الدولية) على الحد من مخاطر الكوارث وتعزيز الأمن الإنساني الدولي في إطار النظام الدولي المعاصر، مع التركيز على تجربة منظمة الأرصاد الجوية العالمية في تطوير وتنفيذ منظومات الإنذار المبكر من مخاطر الكوارث، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي واستعراض نماذج تطبيقية لبرامج الإنذار المبكر في عدد من الدول.

وتوصلت إلى النتائج الآتية : أن اعتماد نظام الإنذار المبكر أصبح التزامًا دوليًا وضرورة جوهريّة لمواجهة الكوارث الطبيعية والبشرية، وأن فاعلية هذه الأنظمة ترتبط بوجود إطار مؤسسي واضح، ومنظومة رصد وتنبؤ متطورة، وتدفق منظم للمعلومات بين المستويات الوطنية والإقليمية والدولية، إضافة إلى دور محوري لمنظمة الأرصاد الجوية العالمية في قيادة الجهود الدولية للتنبؤ بالكوارث والحد من مخاطرها وبناء شراكات واسعة مع المنظمات والبرامج الأممية والفاعلين المحليين، مع استمرار وجود فجوات في قدرات بعض الدول النامية، وقصور في الربط بين مرحلة الإنذار ومرحلة الاستجابة الفعلية.

وأوصت الدراسة بالآتي: - تعزيز الإطار القانوني والمؤسسي لأنظمة الإنذار المبكر على الصعيدين الدولي والوطني، و توسيع تغطية منظومات الرصد والتنبؤ في الدول الأقل قدرة.

❖ دراسة (ارزوقي و على، 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على التلوث البيئي في العراق بأبعاده (الطبيعية، والبشرية، والتكنولوجية) على حق الإنسان في بيئة سليمة في العراق، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لوصف المشكلات البيئية التي تعاني منها البيئة العراقية وتحليل أسبابها الطبيعية والبشرية والتكنولوجية وما نجم عنها من آثار على الفرد والمجتمع.

توصلت النتائج إلى أن المشكلات البيئية في العراق تعود إلى تداخل عوامل التغير المناخي والتصحر والهزات الأرضية والسيول مع الزيادة السكانية وقلة وعي المواطنين والتجاوز على البيئة الطبيعية، فضلاً عن التوسع في الأنشطة الصناعية والزراعية والحروب المتعاقبة وسوء الإدارة البيئية، مما أدى إلى تفاقم ملوثات الهواء والماء والتربة وانعكاس ذلك سلباً على حق الإنسان في بيئة سليمة.

واوصت الدراسة بالآتي: ضرورة رفع الوعي البيئي لدى المواطنين بأهمية حماية البيئة، ووضع برامج فعالة للتوعية البيئية، ومعالجة الملوثات بجميع أنواعها ولا سيما التجارية والصناعية والطبية والزراعية، وتعزيز كفاءة الأجهزة المعنية بالإدارة البيئية والتخطيط البيئي السليم .

❖ دراسة (احمد، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على عجز أصحاب الأنشطة التجارية والصناعية عن سداد الديون بسبب الأزمات والكوارث بأبعاده (طبيعة الأزمات والكوارث، ودرجة التأثير المالي والتعثر، وطبيعة الديون والأنشطة التجارية والصناعية) على الأحكام الشرعية والقانونية المتعلقة بسداد الديون والتعويض عن الأضرار الاقتصادية في ضوء الفقه الإسلامي والقانون الوضعي، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي المقارن .

وتوصلت النتائج إلى أن الشريعة الإسلامية تقرر وجوب المسارعة في سداد الديون في الأصل، مع التفرقة بين العجز الحقيقي الطارئ بسبب الأزمات والكوارث بوصفه إعساراً مبرراً يترتب عليه إنظار المعسر أو تخفيف الدين أو إعادة جدولته، وبين المماطلة غير المبررة، كما تقرر مشروعية التعويض عن الأضرار الاقتصادية بضوابط، متى كان الضرر محققاً، ونشأ عن فعل تقصيري أو تقصير في واجب الحماية أو الإدارة، وبما لا يؤدي إلى أكل أموال الناس بالباطل. وأظهرت الدراسة وجود قدر من التقارب بين الفقه الإسلامي والقانون الوضعي في أثر القوة القاهرة والأزمات على الالتزامات المالية، مع اختلاف في صور المعالجة وآليات التسوية والتنفيذ.

واوصت الدراسة بعدد من التوصيات منها : استكمال وتطوير الأطر التشريعية لمعالجة تعثر أصحاب الأنشطة التجارية والصناعية في أوقات الأزمات والكوارث، ووضع آليات عادلة ومرنة للتسوية والتعويض، وتفعيل أدوات التأمين والتكافل، وتعزيز دور الدولة في دعم القطاعات المتضررة بما يحقق التوازن بين حماية حقوق الدائنين ورعاية أوضاع المدينين المتعثرين.

❖ دراسة (الكوافي، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على إدارة الكوارث في المناطق الحضرية بأبعادها (مرحلة ما قبل الكارثة: الاستعداد والتخطيط، ومرحلة أثناء الكارثة: الاستجابة والإغاثة، ومرحلة ما بعد الكارثة: إعادة الإعمار والتعافي) على إعادة إعمار البنية الحضرية والتقليل من الآثار المباشرة وغير المباشرة للحروب والكوارث في مدينة بنغازي، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

توصلت النتائج إلى أن الكوارث والحروب خلفت آثارًا مادية وبشرية واقتصادية واجتماعية عميقة في مدينة بنغازي، تمثلت في تدمير أجزاء من البنية التحتية والعمرانية وتشريد السكان وتعطيل الحياة الاقتصادية، وأن غياب مناهج واضحة واستراتيجيات علمية متكاملة لإدارة الكوارث وإعادة الإعمار أسهم في تعاضم هذه الآثار واستمرارها، في مقابل ما أظهرته تجارب بعض الدول من نجاح نسبي عند تبنيها أطرًا مؤسسية واضحة، وبرامج زمنية محددة، ومقاربات تشاركية في إعادة الإعمار الحضري.

وتوصلت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: ضرورة صياغة استراتيجية وطنية ومحلية لإدارة الكوارث وإعادة الإعمار في مدينة بنغازي، تستند إلى مبادئ التخطيط الحضري السليم وإدارة المخاطر، والاستفادة المنهجية من تجارب الدول الناجحة، وتعزيز التنسيق بين المؤسسات الحكومية والبلديات والقطاع الخاص والمجتمع المدني، ووضع برامج عملية لإعادة تأهيل البنية التحتية والأحياء المتضررة، وبناء قدرات الأجهزة المعنية على التخطيط المسبق والاستجابة الفعالة للكوارث المستقبلية.

❖ دراسة (كمالي ويوسف، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على خطر التغير المناخي الناجم عن الأنشطة الصناعية والبشرية بأبعاده (البيئي، والصحي، والاقتصادي، والقانوني) على النظام القانوني الدولي وجهود المجتمع الدولي في حماية البيئة العالمية في إطار اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ لعام 1992 وما ترتب عليها من التزامات دولية في مجال الحد من الانبعاثات الغازية ومواجهة الكوارث البيئية، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع المنهج القانوني التحليلي المقارن، وتوصلت الدراسة إلى أن التغير المناخي لم يعد مجرد ظاهرة بيئية فحسب، بل أصبح قضية كونية تمس أمن الإنسان والتنمية المستدامة، وأن غالبية الاحترار العالمي خلال العقود الخمسة الأخيرة يعود إلى الأنشطة البشرية، وأن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية أرسّت الإطار الأساسي للالتزامات الدولية القائمة على مبدأ المسؤولية المشتركة مع تباين الأعباء، غير أن قصور إرادة بعض الدول الصناعية، وضعف آليات التنفيذ والرقابة والتمويل ونقل التكنولوجيا، حدّ من فاعلية النظام القائم في خفض الانبعاثات والتكيف مع آثار التغير المناخي.

واوصت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: ضرورة تعزيز إلزامية الالتزامات الدولية في مجال خفض الانبعاثات، وتطوير آليات التمويل المناخي ونقل التكنولوجيا إلى الدول النامية، ودمج سياسات التغير المناخي في استراتيجيات التنمية الوطنية، وتفعيل الشراكات الدولية متعددة الأطراف لمواجهة الآثار البيئية والاقتصادية والصحية للتغير المناخي بصورة أكثر تنسيقًا وفاعلية.

❖ دراسة (Meckawy et al., 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية أنظمة الإنذار المبكر للأمراض المعدية بأبعادها (أنظمة الترصد المعتمدة على الشكاوى الأولية في أقسام الطوارئ، وأنظمة سجلات الصحة العامة المركزية، وأنظمة الترصد الوبائي المعتمدة على الويب، وبيانات المبيعات الدوائية والنتائج المخبرية، والنظم المركبة متعددة مصادر البيانات) على الكشف المبكر عن الفاشيات ذات الإمكانات الجائحة وتحسين الاستجابة لها في بيئات صحية مختلفة وبخاصة في الدول ذات الدخل المنخفض والمتوسط، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

أظهرت النتائج أن أنظمة الإنذار المبكر يمكن أن تعمل بكفاءة كنظم ترصد مستقلة للفاشيات واسعة النطاق، وتبين أن الاعتماد على الشكاوى الرئيسة في أقسام الطوارئ يعد أداة فعالة للإنذار المبكر بشرط توحيد نماذج البيانات بين المستشفيات، وأن أنظمة الترصد القائمة على سجلات الصحة العامة المركزية تسهل تبادل المعلومات لكنها تظل رهينة دقة وسرعة بلاغ الأطباء، كما اتضح أن الأنظمة المعتمدة على الويب تميّزت بسهولة الإبلاغ من المناطق النائية وسرعة نقل الإنذار، في حين لم تُظهر بيانات المبيعات الدوائية والنتائج المختبرية فاعلية كافية إذا استُخدمت منفردة. وبيّنت الدراسة أن تصميم أنظمة إنذار مبكر تجمع بين بيانات السجلات الصحية ومدخلات مقدمي الخدمة الصحية كان من أنجح النماذج، وأن الإبلاغ اليومي عن بيانات الترصد مثل أفضل أسلوب لتعزيز فاعلية الأنظمة، خاصة في سياق الفعاليات الجماعية الكبرى، وخلصت الدراسة إلى أن تحسين الأنظمة القائمة وتعزيزها في الدول ذات الدخل المنخفض والمتوسط كان أكثر جدوى من استحداث أنظمة ترصد سنדרومية جديدة.

وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات، من أهمها: التركيز على تطوير أنظمة إنذار مبكر تعتمد على بيانات ما قبل التشخيص مع توحيد نماذج جمع البيانات، وتعزيز تكامل مصادر البيانات المختلفة في نظام مركب واحد، وتحسين قدرات الإبلاغ اليومي وسرعة تبادل المعلومات بين المستويات المختلفة، وبناء قدرات الدول ذات الموارد المحدودة على تحسين الأنظمة القائمة بدلاً من استبدالها، مع التأكيد على أن تفوق نظم الترصد السنדרومي في الاستباقية لا يعني بالضرورة كفايتها وحدها لاكتشاف الفاشيات دون دعم بنظم تشخيصية قوية وآليات استجابة فعّالة.

❖ دراسة (Executive Summary, 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار بأبعادها الأساس العلمي والتقني للنظام، والطبيعة الشمولية المتسلسلة من المصدر إلى المتلقي end-to-end، والتركيز على الإنسان people-centred، وشمول الفئات الهشة وضمان سهولة الوصول إلى الإنذار (على الحد من مخاطر الكوارث وحماية الأرواح وسبل العيش في مختلف السياقات، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتوصلت النتائج إلى أن فاعلية أنظمة الإنذار المبكر لا تتحقق بمجرد توافر الأساس العلمي

والتقني، بل تتطلب أن تكون الأنظمة متعددة الأخطار، متكاملة المراحل، قائمة على التواصل الموثوق وسهلة الوصول للجميع، مع مراعاة الاحتياجات والقدرات المختلفة خاصة لدى الفئات المهمشة والمعرضة للخطر، وأن تجاهل البعد الإنساني يقلل من الثقة بالنظام ويحد من قدرته على حماية الأرواح وسبل العيش، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أبرزها: تبني مقاربة تركز على الإنسان في تصميم وتشغيل أنظمة الإنذار المبكر، وتطوير سياسات تضمن شمولية الإتاحة والوصول للمعلومات الإنذارية، وتعزيز الثقة المجتمعية في تلك الأنظمة، ودمج أنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار ضمن أطر وطنية شاملة للحد من مخاطر الكوارث.

❖ دراسة (Sugawara, 2019)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية نظام الإنذار المبكر للنزاعات في عمليات حفظ السلام التابعة للأمم المتحدة بأبعاده (طبيعة أنشطة الإنذار المبكر الميدانية، وتوقيت استجابة البعثة للإنذارات والأحداث، وكثافة التدخل المرتبط بالإنذار) على مسار التصعيد ومدة المعارك في حالة بعثة الأمم المتحدة في جنوب السودان (UNMISS)، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي الكمي التحليلي.

وتوصلت النتائج إلى أن مدة المعارك تميل إلى أن تكون أطول عندما تستجيب بعثة حفظ السلام للمعارك أثناء وقوعها أو مباشرة بعد انتهائها، الأمر الذي يشير إلى أن استخدام نظام الإنذار المبكر في السياق المدروس غالبًا ما يكون تفاعليًا لاحقًا للحدث أكثر منه استباقيًا وقائيًا قبل التصعيد، وي طرح تساؤلات حول توقيت التفعيل وكيفية توظيف المعلومات المبكرة في التدخل الوقائي، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أبرزها: ضرورة إعادة تصميم آليات عمل نظام الإنذار المبكر بما يعزز طابعه الاستباقي قبل اندلاع المعارك، وتحسين سرعة تحليل ونقل معلومات الإنذار إلى متخذي القرار الميدانيين، ووضع بروتوكولات أوضح لربط إشارات الإنذار المبكر بخيارات تدخل وقائية فعالة، بما يساهم في تقصير مدة المعارك والحد من احتمالات التصعيد في مسار النزاع.

❖ دراسة (Fajrillah et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على متطلبات فاعلية أنظمة الإنذار المبكر للكوارث في المناطق الريفية بأبعادها (العوامل والتجهيزات التقنية للنظام، والأبعاد الاجتماعية-التنظيمية المرتبطة بالمجتمع المحلي ومؤسساته) على الحد من مخاطر الكوارث وتعزيز قدرة المجتمعات الريفية على الصمود في المناطق الريفية المعرضة للكوارث ذات الصلة بالمناخ، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي .

وتوصلت النتائج إلى أن الفاعلية بعيدة المدى لأنظمة الإنذار المبكر في البيئات الريفية تعتمد أساساً على بعدين رئيسيين هما: البعد التقني المتعلق بالبنية التحتية للاتصالات، ودقة النماذج والبيانات وآليات إيصال الإنذار، والبعد الاجتماعي-التنظيمي المتعلق بدرجة ثقة المجتمع بالنظام، ومستوى المشاركة المجتمعية، وآليات التنسيق المؤسسي المحلي. كما بينت الدراسة أن قبول المجتمعات الريفية للنظام، واستدامة عمله، يتوقفان على مدى الدمج بين التكنولوجيا والمعرفة العلمية من جهة، والمعرفة المحلية وممارسات السكان ومشاركتهم الفعلية في تصميم وتشغيل النظام من جهة أخرى.

وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: ضرورة تصميم أنظمة إنذار مبكر ريفية تراعي الخصائص الاجتماعية والثقافية المحلية، وتعزيز البنية التحتية التقنية وشبكات الاتصال الملائمة للبيئات الريفية، وبناء أطر تنظيمية ومؤسسية تشاركية بين الجهات الرسمية والمجتمعات المحلية، ودمج المعرفة والخبرة المحلية ضمن منظومة التنبؤ والإنذار، بما يدعم الفاعلية طويلة الأمد لأنظمة الإنذار المبكر في الحد من مخاطر الكوارث وتعزيز القدرة المجتمعية على الصمود.

❖ دراسة (Lahmood & Mutlak, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أنظمة الإنذار المبكر في إدارة الأزمات والكوارث والحروب في الاتحاد الإفريقي بأبعادها (قدرات الرصد والمتابعة، وتسجيل وتحليل الإشارات والمؤشرات، وسرعة إيصال الإنذار إلى الجهات المعنية، وفاعلية الأدوات والآليات المؤسسية والتقنية) على الحد من تفاقم الأزمات وتقليل آثار الكوارث المادية والمعنوية المباشرة وغير المباشرة، قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل في إطار الدول الأعضاء بالاتحاد الإفريقي، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وتوصلت النتائج إلى أن فاعلية أنظمة الإنذار المبكر داخل الاتحاد الإفريقي تتجلى في قدرتها على رصد الأزمات والكوارث في مراحلها الأولى، وتحديد طبيعتها وأنواعها، وتحليل إشاراتها باستخدام المنهج العلمي والعقلاني، ونقل المؤشرات في الوقت المناسب إلى الجهات المختصة بما يتيح فرصاً أفضل لإدارة الأزمة ومنع تفاقمها، وأظهرت الدراسة أن هناك فوائد واضحة لهذه الأنظمة في الحد من حدة الآثار المادية والمعنوية للأزمات، إلا أن فعاليتها تتأثر بعوائق مرتبطة بسرعة الاستجابة، وكفاءة قنوات الاتصال، ومستوى التنسيق المؤسسي بين أجهزة الاتحاد والدول الأعضاء، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أبرزها: تطوير البنية المؤسسية والتقنية لأنظمة الإنذار المبكر في الاتحاد الإفريقي، وتعزيز سرعة وموثوقية تدفق المعلومات بين مستويات الإنذار وصنع القرار، ووضع بروتوكولات واضحة لربط الإنذار المبكر بإجراءات وقائية وعلاجية محددة، وبناء قدرات الكوادر المعنية على التحليل والاستجابة المبكرة بما يقلل من الآثار السلبية للأزمات والكوارث والحروب على شعوب القارة.

❖ دراسة (Ringo et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بالفيضانات في إفريقيا بأبعادها (أنظمة الإنذار التقليدية المحلية، وأنظمة الإنذار الحديثة المعتمدة على التقنيات والاتصالات، وأنماط استجابة السكان للإنذار، وقدرات المؤسسات الوطنية والمحلية والمجتمعية على فهم وتحليل ونشر والتحرك بناءً على الإنذار) على الحد من آثار الفيضانات على سبل عيش المجتمعات الريفية والحضرية، والأمن الغذائي، والخسائر البشرية والمادية في المناطق الإفريقية المعرضة للفيضانات المتكررة، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي .

وتوصلت النتائج إلى أن المجتمعات الإفريقية تستخدم مزيجاً من أنظمة الإنذار التقليدية (المعارف المحلية، الإشارات المجتمعية) والأنظمة الحديثة (وسائل الاتصال، الأنظمة الرسمية) في توصيل الإنذارات المبكرة، وأن تلقي الإنذار المبكر يدفع السكان إلى اتخاذ جملة من إجراءات الاستجابة مثل: إخلاء المناطق المعرضة للخطر، وتنظيف وصيانة شبكات تصريف المياه، وتحصين المباني، وتنفيذ تدريبات على الإخلاء، وتجهيز مراكز إيواء، وتشكيل لجان لإدارة الفيضانات، وقد أسهمت هذه الاستجابات في تعزيز الأمن

الغذائي، وتقليل الإصابات والوفيات، والحد من أضرار الممتلكات والخسائر المادية. كما أكدت النتائج أن إبلاغ السكان مسبقاً بقدوم الفيضان يمكنهم من توسيع نطاق إجراءات الاستعداد والتخفيف من الآثار، وأن فاعلية أنظمة الإنذار المبكر تعتمد بصورة حاسمة على قدرة المؤسسات المعنية على فهم وتحليل والتنبيه بالإنذارات، وتفسيرها للمجتمع، ونشرها في الوقت المناسب، وتهيئة استجابة مؤسسية ومجتمعية منسقة، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: تعزيز الدمج بين أنظمة الإنذار التقليدية والحديثة في المجتمعات الإفريقية، وبناء قدرات المؤسسات الوطنية والمحلية والمجتمعية على إدارة دورة الإنذار المبكر كاملةً (رصدًا وتحليلًا ونشرًا واستجابة)، وتحسين قنوات الاتصال لتكون سريعة ومفهومة ومتاحة للجميع، وتكثيف برامج التوعية والتدريب المجتمعي على إجراءات الاستجابة للفيضانات، بما يعزز من فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في تقليل آثار الفيضانات على الإنسان والاقتصاد في إفريقيا.

❖ دراسة (Tin et al., 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على الكوارث الصناعية عالميًا بأبعادها (نوع الكارثة الصناعية، والتوزيع الجغرافي للقارة، وحجم الخسائر البشرية من وفيات وإصابات) على عبء المخاطر الصحية على العاملين والمجتمعات المحيطة وتحسين جاهزية النظم الصحية في التعامل مع هذه الكوارث في الفترة من 1995 إلى 2021، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي الوبائي التحليلي.

أظهرت النتائج تسجيل 1054 كارثة صناعية خلال مدة الدراسة، تركز معظمها في آسيا بنسبة 68.3%، تلتها إفريقيا وأوروبا والأمريكتان بـ proportions أقل، وتبين أن حوالي نصف هذه الكوارث كانت انفجارات، تلتها الانهيارات والحرائق، في حين شكلت التسربات الكيميائية والغازية والتسممات وانسكابات النفط والحوادث الإشعاعية نسبة أقل من الإجمالي. وأسفرت هذه الكوارث عن 29,708 حالة وفاة و57,605 إصابة، ما يؤكد بقاء الكوارث الصناعية مصدرًا مهمًا لمخاطر صحية جسيمة تطال العمال والمجتمعات المحيطة، ولها تبعات سياسية وبيئية وبنوية، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: تعزيز برامج الوقاية والسلامة الصناعية، وتطوير التدريب المتخصص على الاستجابة الطارئة للكوارث الصناعية للعاملين والفرق الطبية، وتقوية جاهزية البنية التحتية الحيوية وحمايتها بوصفها

أهدافاً محتملة للحوادث أو الأعمال العدائية، مع تحسين قدرات النظم الصحية وطب الكوارث على استيعاب الآثار الفورية وطويلة الأمد لمثل هذه الأحداث.

❖ دراسة (Kamdina et al., 2021)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر الحوادث والكوارث الصناعية ذات المنشأ البشري بأبعادها (تكرار الحوادث وشدها، نطاق تأثيرها المكاني، وطبيعة العوامل الملوثة المنبعثة من الإنتاج الصناعي) على جودة حياة السكان بأبعادها (الصحية-الديموغرافية، الاقتصادية-الاجتماعية، ظروف المعيشة والخدمات، البيئة، والأمن الاجتماعي والتنمية البشرية) في الأقاليم الصناعية، مع الاستشهاد بحالة كارثة تشيرنوبل كنموذج تطبيقي، و استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

أظهرت النتائج أن إدراج العوامل الأنثروبوجينية المرتبطة بالإنتاج الصناعي والحوادث والكوارث الصناعية ضمن منظومة مؤشرات جودة الحياة يكشف عن تدهور ملحوظ في عدد من المكونات الرئيسية لجودة حياة السكان، ولا سيما في المجالات الصحية والبيئية والاقتصادية-الاجتماعية، وأن الكوارث الصناعية الكبرى مثل كارثة تشيرنوبل تُحدث تأثيرات عميقة وممتدة زمنياً تتجاوز الخسائر الفورية لتشمل تغيير أنماط الإقامة والعمل، وتدهور البيئة، وتراجع المؤشرات الديموغرافية والرفاه الاجتماعي، و انتهت الدراسة إلى جملة من التوصيات من أهمها: ضرورة إدماج مخاطر الحوادث والكوارث الصناعية كعنصر صريح في نماذج قياس جودة الحياة على المستوى الإقليمي، وتطوير سياسات وقاية وسلامة صناعية تقلل من احتمالات وقوع الكوارث وآثارها، وتعزيز نظم الرصد والإبلاغ عن الحوادث الصناعية، وربط نتائج تقييم المخاطر الصناعية بصنع السياسات التنموية والإقليمية بما يضمن حماية أفضل لجودة حياة السكان في المناطق الصناعية.

❖ دراسة (Foreword, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على مخاطر الحوادث الصناعية الكبرى والانفجارات في منشآت تخزين المواد الخطرة بأبعادها (خصائص المواد الخطرة وكمياتها، وموقع المنشآت وقربها من التجمعات السكنية

والبنى التحتية الحرجة، ومستوى تطبيق إجراءات السلامة وإدارة المخاطر، وتوافر أدوات تقييم المخاطر والإنذار المبكر وخطط الطوارئ) على سلامة الإنسان والبيئة واستمرارية المرافق الاقتصادية والخدمية في عدد من الحالات العالمية، مثل انفجار مرفأ بيروت 2020، وحوادث تولوز، وممهايشتي، وتكساس، وتيانجين، وباتا، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع منهج دراسة الحالة المقارنة .

وتوصلت النتائج إلى أن الحوادث الصناعية الكبرى ما زالت تحدث خسائر بشرية جسيمة (وفيات وإصابات وتشريد للسكان) وأضرارًا واسعة بالبنى التحتية الحرجة والمنشآت الصحية والمرافق التجارية والسكنية، وأن عوامل الخطر الرئيسة تتمثل في سوء تخزين المواد عالية الخطورة مثل نترات الأمونيوم، وضعف تطبيق المعايير والتشريعات المنظمة، وقصور الرقابة، ووجود تلك المنشآت داخل أو بمحاذاة مناطق عمرانية كثيفة من دون تخطيط مكاني سليم للمخاطر. كما بينت الدراسة أن أدوات تقييم المخاطر والآليات المتاحة دوليًا للوقاية من الحوادث الصناعية لا تُستثمر بالقدر الكافي في كثير من الدول، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: إلزام المنشآت الصناعية التي تتعامل مع مواد شديدة الخطورة بتطبيق أنظمة صارمة لتقييم وإدارة المخاطر، واعتماد تخطيط عمراني يراعي مخاطر الحوادث الصناعية، وتعزيز الأطر التشريعية والرقابية، وتطوير خطط طوارئ واستجابة متكاملة على المستوى الوطني والمحلي، مع رفع مستوى الوعي المؤسسي والمجتمعي بطبيعة تلك المخاطر وسبل الحد من أثارها.

8.1 الفجوة البحثية:

تتفق الدراسات السابقة على مركزية الإنذار المبكر في تقليل الخسائر، لكنها تظل عامة أو متعددة الأخطار ولا تختبر فعاليته تشغيليًا داخل بيئات صناعية خليجية، وتختلف دراستك بتركيزها الميداني على المدن الصناعية السعودية وبناء مؤشرات أداء تشغيلية تقيس الأثر مباشرة على خسائر الحوادث الصناعية. (السعدى، 2024؛ Executive Summary, 2023؛ Tin et al., 2023؛ Foreword, 2024)

تُبرز الأدبيات أهمية السلسلة المتكاملة من الرصد إلى الاستجابة، لكن حلقة الربط الإلزامي بين الإشعار وإجراء التدخل تبقى الأضعف قياسًا، وتسد دراستك هذه الفجوة عبر تتبع زمني دقيق لمقاييس

التوقيت والامتثال وربطها بمخرجات الخسائر الفعلية في المنشآت. (Sugawara, Meckawy et al., 2022)
(2019؛ سليمان، 2024؛ Lahmood & Mutlak, 2024)

تشير المراجعات إلى قيمة النظم المركبة وتوحيد النماذج والتحديث اليومي، إلا أن تطبيق هذه المبادئ على بيانات صناعية حساسة عبر مدن متعددة غير موثق، وتضيف دراستك اختباراً لتكامل البيانات بين حساسات السلامة، وسجلات الطوارئ، وقنوات الاتصال التحذيري ضمن معايير موحدة قابلة للتكرار. (Tin et al., 2023؛ Executive Summary, 2023؛ Meckawy et al., 2022)

تؤكد دراسات النزاعات والفيضانات محورية الإنسان والثقة المجتمعية، بينما تغيب المقاربة الإنسانية في السياق الصناعي الذي تحكمه تشريعات وتخطيط مكاني وتخزين مواد خطرة. تدمج دراستك البعدين معاً عبر قياس التدريب والتمارين والاتصال المفهوم للعاملين، ومطابقة ذلك مع متطلبات الحوكمة الصناعية والتخطيط الحضري. (Executive Summary, 2023؛ Sugawara, 2019؛ Ringo et al., 2024)
(Foreword, 2024)

تُظهر الأدبيات أثر الكوارث الصناعية على جودة الحياة، لكنها لا تختبر دور الإنذار المبكر في تقليص الأثر طويل الأمد أو تقدم نمذجة سببية صريحة. تقدّم دراستك تقديراً سببياً قبل/بعد وبفروق في الفروق لقياس مردود الإنذار على التعطل التشغيلي والبيئة وجودة الحياة، ما يحوّل التوصيات العامة إلى أدلة قابلة للتنفيذ. (Foreword, 2024؛ Tin et al., 2023؛ Kamdina et al., 2021)

9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

أولاً: مفهوم أنظمة الإنذار المبكر

تُعد أنظمة الإنذار المبكر مجموعة من القدرات المؤسسية والتقنية تهدف إلى إصدار تحذيرات مسبقة بشأن أخطار محتملة أو وشيكة، بما يسمح للأفراد والمجتمعات باتخاذ التدابير اللازمة للتقليل من الأضرار. تتكوّن هذه الأنظمة عادة من أربع مكونات رئيسية: الرصد والتحليل، إيصال الإنذار، الاستجابة،

والتقييم، وتكمن أهميتها في أنها تساهم في حماية الأرواح، والتقليل من الأضرار الاقتصادية والاجتماعية والبشرية، خصوصًا في المناطق الصناعية المعرضة للمخاطر المعقدة والمتداخلة. وقد أشارت دراسة Executive Summary (2023) إلى أن النظام الفعال يجب أن يكون "متعدد الأخطار، ومتكاملاً من المصدر إلى المتلقي، ويركز على الإنسان، وقابلاً للوصول للجميع"، ما يجعل الإنذار المبكر عنصرًا حاسمًا في إدارة الكوارث.

ثانيًا: الكوارث الصناعية وخصائصها

الكوارث الصناعية تنشأ غالبًا عن الإهمال أو الخطأ البشري أو ضعف في أنظمة السلامة أو التخزين الخاطئ للمواد الخطرة، وقد تكون آثارها مدمرة وتتراوح بين الانفجارات والحرائق والتسربات الكيميائية والإشعاعية، وتُعد البيئات الصناعية بيئات عالية الخطورة تتطلب استعدادًا متقدمًا، خصوصًا مع تزايد الأنشطة الصناعية وتوسع المدن الصناعية في المملكة. وقد بينت دراسة Tin et al (2023) أن هناك أكثر من 1000 كارثة صناعية سجلت عالميًا بين 1995 و2021، تسببت في عشرات الآلاف من الوفيات والإصابات، ما يبرز حجم المخاطر وأهمية الاستعداد المسبق.

ثالثًا: العلاقة بين أنظمة الإنذار المبكر والكوارث الصناعية

ترتبط فعالية أنظمة الإنذار المبكر في البيئات الصناعية بقدرتها على اكتشاف الخطر مبكرًا، وتحليل المؤشرات التقنية والبيئية، ثم نقل التحذيرات للجهات المختصة والمجتمعات الصناعية، ما يسمح بتفعيل خطط الإخلاء أو السيطرة قبل تحول الخطر إلى كارثة. لكن ما تزال بعض البيئات الصناعية تعاني من ضعف في هذا الرابط. وقد أبرزت دراسة Foreword (2024) أن العديد من الحوادث الكبرى مثل انفجار مرفأ بيروت كان من الممكن تفاديها أو التقليل من خسائرها لو توفرت أنظمة تقييم وإنذار فعالة.

رابعاً: مكونات فعالية النظام في السياق الصناعي

تشمل الفعالية في هذا السياق أربعة أبعاد رئيسية:

- القدرة المؤسسية والتنظيمية: وجود تشريعات واضحة، وهيئات إشراف فعالة.
- الرصد والتحليل: توافر أجهزة استشعار وأنظمة مراقبة دقيقة.
- سرعة التواصل والإنذار: نظم اتصال متقدمة لإيصال الرسائل.
- آليات الاستجابة: جاهزية الأفراد والمؤسسات لاستيعاب الإنذار والتصرف فوراً.

أوضحت دراسة السعدي (2024) أن أحد عناصر الفعالية يتمثل في بناء قدرات الرصد والتنبؤ وتدفق المعلومات بين المستويات المختلفة، إلى جانب تطوير الشراكات وبناء الثقة المجتمعية، ودمج هذه الأنظمة ضمن استراتيجيات التنمية.

خامساً: التحديات التي تواجه أنظمة الإنذار المبكر الصناعية

رغم توفر التكنولوجيا، إلا أن هناك تحديات عديدة، منها:

- ضعف الربط بين الإنذار وصانع القرار.
- تسييس بعض آليات الاستجابة أو غياب الإرادة السياسية.
- عدم مواءمة الإنذار لطبيعة المخاطر المتعددة في المدن الصناعية.
- ضعف قدرة بعض المؤسسات المحلية على الاستجابة.

وقد بيّنت دراسة سليمان (2024) أن فاعلية الإنذار تتأثر بعدم ربطه بآليات استجابة واضحة، إلى جانب قصور قواعد البيانات، وغياب التنسيق المؤسسي.

سادسًا: أهمية السياق المحلي في تصميم أنظمة الإنذار

كل نظام إنذار يجب أن يُصمم وفقًا للبيئة التي يُطبق فيها. فالمدن الصناعية في المملكة العربية السعودية، مثل الجبيل وينبع ورابغ، تتميز بتركيبية صناعية كثيفة، ووجود منشآت تتعامل مع مواد شديدة الخطورة، ما يفرض ضرورة تطوير أنظمة إنذار تلائم هذا التعقيد وتُراعي السياق الثقافي والتنظيمي المحلي، وقد أظهرت دراسة Lahmood & Mutlak (2024) أن ضعف التكامل بين قدرات الرصد وسرعة إيصال الإنذار والجاهزية المؤسسية يؤدي إلى تضاعف الأضرار، مما يفرض تطوير بروتوكولات واضحة لربط الإنذار بالإجراءات الميدانية الفورية.

سابعًا: البعد الإنساني في فاعلية الأنظمة

لا تقتصر فعالية أنظمة الإنذار المبكر على الجوانب التقنية فحسب، بل تشمل الثقة المجتمعية بالنظام، ودرجة وعي العاملين بالمصانع والمجتمعات المحيطة، ومدى إدماجهم في بناء النظام، وهو ما بيّنته دراسة Fajrillah et al (2024)، حيث أشارت إلى أن استدامة وفاعلية الأنظمة في البيئات الريفية والصناعية تعتمد على الجمع بين المعرفة التقنية والعلمية، والمعرفة المحلية والخبرة الميدانية.

ثامنًا: النماذج العالمية وأثرها في تطوير الأنظمة المحلية

قدمت بعض التجارب الدولية نماذج متميزة في تصميم وتنفيذ أنظمة الإنذار المبكر، منها تجارب اليابان وكوريا الجنوبية وألمانيا، حيث يتم دمج الذكاء الاصطناعي، وتحليل البيانات البيئية، وأنظمة التواصل الفوري، وهذه النماذج يمكن الاستفادة منها عند تصميم أو تحديث أنظمة المدن الصناعية في السعودية. وقد أوصت دراسة Meckawy et al (2022) بضرورة دمج مصادر البيانات المتعددة في نظام مركب واحد، وتطوير أدوات الإبلاغ اليومي وربطها بقرارات الاستجابة، خاصة في البيئات المعرضة لكوارث مركبة.

10.1 المنهجية وطرق البحث:

سوف تعتمد الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك بهدف توصيف وتحليل واقع أنظمة الإنذار المبكر المعمول بها في المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية، وقياس مدى فاعليتها في التقليل من آثار الكوارث الصناعية، مع تفسير العلاقة بين مكونات هذه الأنظمة ونتائجها على أرض الواقع.

أولاً: مجتمع الدراسة

يتكوّن مجتمع الدراسة من العاملين في: إدارات السلامة والطوارئ والبيئة داخل المصانع الكبرى، ومسؤولي الأمن الصناعي في المدن الصناعية، وممثلي الجهات الحكومية المعنية مثل الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية (مدن) والدفاع المدني.

ثانياً: عينة الدراسة

سوف يتم اختيار عينة طبقية عشوائية من العاملين في المدن الصناعية الرئيسة مثل (الجيل – ينبع – رابغ – سدير)، مع مراعاة تنوع التخصصات والخبرة والقطاعات الصناعية (بتروكيماويات، طاقة، غذائية، دوائية... إلخ).

ثالثاً: أداة الدراسة

سوف تقوم الدراسة بتصميم استبانة مغلقة تعتمد على مقياس ليكرت الخماسي، وتتكون من قسمين: البيانات الديموغرافية (العمر – الخبرة – الوظيفة – القطاع الصناعي).

فقرات تقيس:

- المتغير المستقل: أنظمة الإنذار المبكر، بأبعادها (الإطار المؤسسي – الرصد والتحليل – سرعة الإنذار – فعالية التنسيق).

- المتغير التابع: الحد من آثار الكوارث الصناعية، بأبعاده (الأضرار البشرية – الخسائر الاقتصادية – حماية البنية التحتية – تعزيز الجاهزية المؤسسية).

11.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

سوف تُستخدم مجموعة من الأساليب الإحصائية لتحليل البيانات عبر برنامج SPSS، وتشمل:

- الإحصاء الوصفي (المتوسطات – الانحرافات المعيارية – التكرارات).
- اختبار الفروق (T-test)، وتحليل التباين (ANOVA).
- معامل الارتباط بيرسون (Pearson) لقياس العلاقة بين المتغيرات.
- تحليل الانحدار المتعدد لتحديد مقدار التأثير لكل بعد من أبعاد النظام على النتائج.

12.1 حدود الدراسة:

- حدود موضوعية: تقتصر هذه الدراسة على قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية، وذلك من خلال التركيز على ثلاثة أبعاد رئيسة هي: الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، وكفاءة الاتصال التحذيري، ودورها في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.
- حدود مكانية: تتمحور الدراسة حول مجموعة من المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية.
- حدود زمانية: العام الأكاديمي (2026).
- حدود بشرية: يقتصر مجتمع الدراسة على العاملين والمسؤولين في إدارات الأمن الصناعي والطوارئ وإدارة المخاطر داخل المنشآت الصناعية القائمة في تلك المدن

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: أنظمة الإنذار المبكر (المتغير المستقل)

1.1.2 تمهيد

تواجه البيئات الصناعية المعاصرة مشهداً متغيراً من المخاطر التي تتسم بالتعقيد والتشابك، حيث لم تعد التهديدات قاصرة على الأعطال الفنية المنفردة أو الأخطاء التشغيلية المحدودة، بل أصبحت تتضمن سلاسل سببية متداخلة قد تتصاعد فيها حوادث بسيطة لتتحول إلى كوارث صناعية ذات تداعيات واسعة النطاق على الأرواح والممتلكات والاستقرار الاقتصادي. وقد دفع هذا الواقع المؤسسات الصناعية والمنظمات الدولية إلى البحث عن أدوات وقائية تتجاوز المقاربة التفاعلية القائمة على الاستجابة بعد وقوع الحدث، نحو مقاربة استباقية تعتمد على الرصد والتنبؤ والتحذير المبكر، وتمثل أنظمة الإنذار المبكر حجر الزاوية في هذه المقاربة، إذ تشكّل منظومة متكاملة تجمع بين التقنيات الحديثة والأطر التنظيمية وآليات الاتصال بهدف تمكين صانعي القرار والمجتمعات المعرضة للخطر من اتخاذ إجراءات وقائية في الوقت المناسب. ويتناول هذا المبحث أنظمة الإنذار المبكر من خلال استعراض مفهومها وتعريفاتها المتعددة، ثم بيان أهميتها في السياق الصناعي، وصولاً إلى أهدافها وأبعادها واستراتيجيات تطبيقها، مع التركيز على ما يتصل منها بالمدن الصناعية وخصوصيات البيئة السعودية.

2.1.2 مفهوم أنظمة الإنذار المبكر

يُعدّ مفهوم أنظمة الإنذار المبكر من المفاهيم التي تطورت تطوراً جوهرياً عبر العقود الماضية، إذ انتقل من إطاره العسكري والأمني الضيق الذي نشأ فيه خلال فترة الحرب الباردة، إلى إطار أوسع يشمل مجالات إدارة الكوارث الطبيعية والصناعية وإدارة الأزمات الاقتصادية والصحية والبيئية.

وقد أسهم هذا التطور في تعدد التعريفات التي طرحها الباحثون والمنظمات الدولية لهذا المفهوم، وهو تعدد يعكس في جوهره تنوع الزوايا التي نُظر من خلالها إلى هذه الأنظمة وتباين السياقات التطبيقية التي وُظفت فيها.

فقد عرّف مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث نظام الإنذار المبكر بأنه "منظومة متكاملة من أنشطة رصد الأخطار والتنبؤ بها وتقييم مخاطر الكوارث والاتصال والتأهب، تمكّن الأفراد والمجتمعات والحكومات والمؤسسات من اتخاذ إجراءات في الوقت المناسب للحد من مخاطر الكوارث قبل وقوع الأحداث الخطرة. (UNDRR, 2022)" ويتميز هذا التعريف بشموليته، إذ لا يختزل النظام في بعده التقني المتمثل في أجهزة الرصد وتقنيات التنبؤ فحسب، بل يمتد ليشمل أبعاداً تنظيمية واجتماعية وتواصلية تجعل منه منظومة ذات طابع اجتماعي-تقني مركب.

و أشارت قواسمية (2021) إلى أن نظام الإنذار المبكر يمثل مجموعة من الآليات والأدوات المنهجية التي تعمل على رصد المؤشرات البيئية والتنظيمية وتحليلها بصورة مستمرة بهدف التنبؤ بالأزمات المحتملة قبل تبلورها، مما يتيح للجهات المعنية اتخاذ تدابير استباقية تحول دون تفاقم الأوضاع.

أما موساوي وصالحي (2020) فقد تناولتا المفهوم من منظور اقتصادي وإداري، حيث عرّفتا نظم الإنذار المبكر بأنها مجموعة من المؤشرات والمقاييس الكمية والنوعية التي تُرصد بشكل دوري ومنتظم لاكتشاف الانحرافات والاختلالات في بيئة المنظمة الداخلية والخارجية، بحيث تعمل كإشارات تحذيرية تنبّه متخذي القرار إلى احتمالية حدوث أزمات قبل أن تبلغ مرحلة يصعب فيها السيطرة عليها.

ومن زاوية مغايرة، تناول خلوفي وشريط (2021) مفهوم الإنذار المبكر في سياق المخاطر الصحية والوبائية، حيث عرّفاه بأنه آلية مؤسسية منظمة تجمع بين قدرات الرصد الوبائي والتحليل المخبري ونظم المعلومات الجغرافية وشبكات الاتصال، وتعمل وفق بروتوكولات محددة مسبقاً لإطلاق إنذارات متدرجة المستويات حين تتجاوز المؤشرات الصحية عتبات معينة .

وقد عرّف السعدي (2024) نظام الإنذار المبكر في إطار عمل المنظمات الدولية المتخصصة بأنه منظومة عمل تتضمن أربعة عناصر مترابطة هي: المعرفة بالمخاطر، وخدمات الرصد والتنبؤ، ونشر المعلومات والاتصال، والقدرة على الاستجابة، بحيث تعمل هذه العناصر بشكل تكاملي لتوفير الإنذارات اللازمة للمجتمعات والمؤسسات المعرضة للأخطار.

وعلى صعيد البحث في الكوارث الصناعية تحديداً، أشار Yan et al. (2024) إلى أن نظام الإنذار المبكر في المنشآت الصناعية يُعرّف بأنه منظومة تحليلية متقدمة تجمع بين أساليب التحليل الكمي والنمذجة الاحتمالية لتحديد العلاقات السببية بين عوامل الخطر المتعددة في بيئة العمل الصناعية والتنبؤ باحتمالية وقوع الحوادث وتصنيف مستوى الخطر وفقاً لمعايير محددة.

كما عرّف Wei et al. (2023) نظام الإنذار المبكر في المجمعات الصناعية الكيميائية بأنه بنية تقنية ذكية تعتمد على شبكة من المستشعرات المتصلة بإنترنت الأشياء والمنصات السحابية لرصد المتغيرات البيئية والتشغيلية في الوقت الحقيقي حول مصادر الخطر الرئيسية كخزانات المواد الخطرة، وإطلاق تنبيهات آلية حين تتجاوز القراءات الحدود الآمنة المحددة مسبقاً.

ومن منظور أكثر شمولية، أوضح Pescaroli et al. (2025) أن أنظمة الإنذار المبكر ينبغي أن تُفهم بوصفها أنظمة اجتماعية-تقنية لا تقتصر على الجوانب التكنولوجية، بل تتضمن تفاعلات معقدة بين المكونات التقنية والعوامل الاجتماعية والتنظيمية والنفسية التي تحدد مدى فعالية النظام في تحقيق أهدافه.

وانطلاقاً من استعراض هذه التعريفات المتعددة، يرى الباحث أن نظام الإنذار المبكر في السياق الصناعي يمكن تعريفه إجرائياً بأنه: منظومة متكاملة تجمع بين البنية التقنية للرصد والاستشعار، وآليات التحليل والتنبؤ، وبروتوكولات الاتصال والتحذير، وقدرات الاستجابة المؤسسية، وتعمل بشكل تكاملي ومستمر لرصد مؤشرات الخطر في البيئة الصناعية وتحليلها وإبصال التحذيرات اللازمة إلى الجهات المعنية في الوقت المناسب، بما يمكنها من اتخاذ إجراءات وقائية فعّالة تحدّ من احتمالية وقوع الكوارث الصناعية أو تخفف من حدة تأثيراتها.

3.1.2 أهمية أنظمة الإنذار المبكر في السياق الصناعي

تكتسب أنظمة الإنذار المبكر أهمية متعاظمة في إدارة المخاطر الصناعية في ضوء التحولات الجوهرية التي تشهدها القطاعات الصناعية على المستويين العالمي والإقليمي، فالتوسع المستمر في حجم المنشآت الصناعية وتعقد عملياتها التشغيلية، إلى جانب التزايد في أحجام المواد الخطرة المستخدمة والمخزنة والمنقولة، يجعل من الكوارث الصناعية تهديداً متصاعداً لا يمكن مواجهته بالأساليب التقليدية القائمة على ردّ الفعل وحده. وتتعدد أوجه هذه الأهمية بحسب الزوايا التي تناولها الباحثون والمنظمات المتخصصة.

فقد أشار مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث (UNDRR, 2023) إلى أن أهمية أنظمة الإنذار المبكر تتجلى في ثلاثة محاور أساسية:

- أن هذه الأنظمة تمثل الأداة الأكثر فعالية من حيث التكلفة في منظومة الحد من مخاطر الكوارث، حيث إن كل وحدة نقدية تُستثمر في بناء أنظمة الإنذار تعود بعوائد مضاعفة من خلال تقليل الخسائر البشرية والمادية المحتملة.
- أنها تعزز قدرة المجتمعات والمؤسسات على التكيف مع المخاطر المتغيرة من خلال توفير معلومات مستمرة ومحدثة عن طبيعة التهديدات ومستوياتها.
- أنها تسهم في بناء ثقافة وقائية تقوم على الاستعداد المسبق بدلاً من الاستجابة المتأخرة.

ويرى (Kalogiannidis et al. (2025 أن أهمية أنظمة الإنذار المبكر تنبع من قدرتها على معالجة الفجوة الزمنية الحرجة بين ظهور المؤشرات الأولى للخطر واتخاذ القرارات الوقائية. فالقيمة الجوهرية لهذه الأنظمة تكمن في أنها توفر ما يمكن تسميته "نافذة الفرصة" التي تتيح لصانعي القرار هامشاً زمنياً كافياً لتفعيل خطط الطوارئ وتنفيذ إجراءات الإخلاء وتعبئة موارد الاستجابة قبل أن تبلغ الأحداث ذروتها. كما أن هذه الأنظمة تسهم في تقليل حالة عدم اليقين التي تصاحب الأزمات، إذ توفر معلومات منظمة عن طبيعة الخطر وموقعه وشدته المتوقعة، وهو ما يحسّن جودة القرارات المتخذة تحت الضغط.

أما من منظور الأمن الصناعي والسلامة المهنية، فقد أوضحت منظمة أوابك (2024) أن أنظمة الإنذار المبكر تحتل مكانة مركزية في منظومة السلامة الصناعية المعاصرة، خاصة في قطاعات النفط والغاز والصناعات البتروكيمياوية التي تتعامل مع مواد شديدة الخطورة. فهذه الأنظمة تعمل كخط الدفاع الأول الذي يسبق جميع آليات الاستجابة للطوارئ، وتؤدي دوراً حاسماً في الكشف المبكر عن التسريبات الغازية والارتفاعات غير الطبيعية في درجات الحرارة والضغط وغيرها من المتغيرات التشغيلية التي قد تنذر بحوادث وشيكة.

وفي السياق ذاته، أكد Chai et al. (2025) أن أهمية أنظمة الإنذار المبكر في مجال نقل وتخزين المواد الخطرة تتزايد بشكل مطرد مع النمو المستمر في حجم هذه العمليات على مستوى العالم. فالتنبؤ الخاصة لحوادث المواد الخطرة التي تنسم باحتمالية منخفضة للوقوع ولكن بعواقب وخيمة حين تقع، تجعل من الإنذار المبكر ضرورة حتمية وليس ترفاً إدارياً، لأن تكلفة الوقاية تبقى أقل بكثير من تكلفة المعالجة والتعويض بعد وقوع الكارثة.

كما يشير مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار (2024) إلى أن أهمية هذه الأنظمة تتعاظم في ضوء التغيرات المناخية المتسارعة التي تُضاعف من احتمالية وقوع كوارث مركبة تجمع بين المخاطر الطبيعية والصناعية، كأن تؤدي موجة حرارية شديدة إلى تسارع التفاعلات الكيميائية في المنشآت الصناعية أو إلى إجهاد منظومات التبريد فيها. وفي مثل هذه السيناريوهات المعقدة، تصبح أنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار ضرورة لتوفير رؤية شاملة ومتكاملة للمخاطر المتداخلة.

ويضيف Hermans et al. (2022) بُعداً آخر لأهمية هذه الأنظمة يتمثل في دورها كأداة لتمكين المجتمعات المحلية المتاخمة للمناطق الصناعية من المشاركة الفعالة في إدارة المخاطر. فأنظمة الإنذار المبكر حين تُصمم بطريقة تشاركية تدمج المعرفة المحلية مع المعرفة العلمية، تتحول من كونها أداة تقنية أحادية الاتجاه إلى منصة تفاعلية تعزز الثقة بين المنشآت الصناعية والمجتمعات المحيطة بها، وهو ما يُعدّ عنصراً حاسماً في تحقيق القبول المجتمعي للعمل الصناعي.

وعلى مستوى المملكة العربية السعودية تحديداً، تكتسب هذه الأنظمة أهمية إضافية في ضوء الطموحات التنموية الكبرى التي تتضمنها رؤية 2030، والتي تستهدف تنويع القاعدة الصناعية وزيادة مساهمة القطاع الصناعي في الناتج المحلي الإجمالي، فالتوسع المخطط في المدن الصناعية وإنشاء مناطق اقتصادية خاصة جديدة يستلزم بالضرورة تطوير بنية تحتية متقدمة للإنذار المبكر تواكب النمو الصناعي المتسارع وتضمن استدامته في إطار أمن.

4.1.2 أهداف أنظمة الإنذار المبكر

تتعدد أهداف أنظمة الإنذار المبكر وتنوع بحسب السياق التطبيقي ونطاق عمل النظام، غير أن الأدبيات تكشف عن مجموعة من الأهداف الجوهرية التي يكاد يتفق عليها الباحثون والممارسون، وإن اختلفوا في ترتيب أولوياتها والثقل النسبي الذي يمنحونه لكل هدف منها.

فقد حدد Rokhideh et al. (2025) أهداف أنظمة الإنذار المبكر في إطار ما أسموه "سلسلة القيمة الوقائية"، والتي تتضمن ثلاثة أهداف رئيسية مترابطة: أولها الهدف الرصدي-التشخيصي المتمثل في الكشف المبكر عن التهديدات من خلال منظومة متكاملة من أدوات المراقبة المستمرة التي تعمل على مدار الساعة لتتبع المتغيرات ذات الصلة بالمخاطر. وثانيها الهدف التواصلي-التحذيري الذي يتمحور حول إيصال المعلومات التحذيرية إلى الفئات المستهدفة بصورة واضحة وفي توقيت مناسب وعبر قنوات متعددة تضمن الوصول إلى أوسع شريحة ممكنة. وثالثها الهدف التمكيني-الاستجابي الذي يسعى إلى تحفيز السلوك الوقائي لدى الأفراد والمؤسسات وتمكينهم من اتخاذ إجراءات حماية فعالة بناءً على التحذيرات المتلقاة.

ويرى ثانون وآخرون (2021) أن أهداف أنظمة الإنذار المبكر في مجال الحد من مخاطر الكوارث ينبغي أن تُفهم في ضوء الأطر الدولية المرجعية وفي مقدمتها إطار سنداي، حيث حددوا ثلاثة أهداف محورية: أولها حماية الأرواح البشرية بوصفه الهدف الأعلى الذي تتمحور حوله جميع مكونات النظام. وثانيها حماية الأصول والممتلكات والبنية التحتية الحيوية من خلال توفير وقت كافٍ لتنفيذ إجراءات الحماية والتأمين. وثالثها تعزيز صمود المجتمعات وقدرتها على التعافي السريع من خلال بناء ثقافة الاستعداد والجاهزية المستمرة.

كما أوضح (Zhan et al. (2023 أن أنظمة الإنذار المبكر في سياق السلامة الحضرية والصناعية تسعى إلى تحقيق ثلاثة أهداف تتسم بالتكاملية: أولها التقليل من زمن الاستجابة الفاصل بين وقوع الحدث والخطر وبدء تنفيذ إجراءات الطوارئ، حيث إن كل دقيقة يتم توفيرها في هذا الزمن تترجم إلى إنقاذ أرواح وتقليل خسائر، وثانيها تحسين آليات التنسيق بين الجهات المتعددة المعنية بالاستجابة للطوارئ من خلال توفير قاعدة معلوماتية مشتركة ومحدثة. وثالثها تحسين تخصيص الموارد والإمكانات المحدودة عبر توجيهها إلى المواقع الأكثر عرضة للخطر بناءً على تقييم مستمر للأوضاع.

و أشار (Meckawy et al. (2022 إلى أن أنظمة الإنذار المبكر تستهدف ثلاثة أهداف حيوية: أولها الكشف السريع عن الأحداث الخطرة في مراحلها الأولى قبل تحولها إلى أزمات كاملة الأبعاد. وثانيها تفعيل بروتوكولات الاستجابة المبكرة التي تحدّ من انتشار التأثيرات السلبية واتساع نطاقها. وثالثها توفير قاعدة بيانات تراكمية تُستخدم في تحسين قدرات التنبؤ والوقاية على المدى البعيد من خلال التعلم المستمر من الأحداث السابقة.

أما (Ringo et al. (2024 فقد ركزوا على أهداف أنظمة الإنذار المبكر من زاوية الحدّ من آثار الكوارث وليس منعها بالكامل، انطلاقاً من إدراك واقعي بأن بعض الأحداث الكارثية لا يمكن منع وقوعها كلياً. وقد حددوا ثلاثة أهداف في هذا الإطار: أولها تقليل الفجوة بين التنبؤ والاستجابة إلى أدنى حد ممكن. وثانيها تمكين المجتمعات المعرضة للخطر من اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن حمايتها الذاتية. وثالثها دعم استمرارية الأعمال في المنشآت الصناعية والاقتصادية من خلال توفير تحذيرات تتيح تنفيذ خطط استمرارية الأعمال في الوقت المناسب.

وبتأمل هذه الرؤى المتعددة، يتبين أن أهداف أنظمة الإنذار المبكر تتكامل في ثلاث حلقات متداخلة: حلقة الحماية المباشرة للأرواح والممتلكات، وحلقة التمكين المعلوماتي لصانعي القرار والمجتمعات، وحلقة التعلم المؤسسي المستمر الذي يحسّن أداء المنظومة بأكملها عبر الزمن.

5.1.2 أبعاد أنظمة الإنذار المبكر

تم تحديد أبعاد أنظمة الإنذار المبكر في هذه الدراسة بناءً على مراجعة معمقة للأدبيات ذات الصلة، وبخاصة ما طرحه (Kalogiannidis et al. (2025 بشأن المكونات الأربعة لفعالية أنظمة الإنذار في تقليل الخسائر البشرية والتي تتضمن عناصر التوقيت ودقة التنبؤ والوعي العام والتطور التكنولوجي، وما أكدته (UNDRR (2023 في تقريره عن الوضع العالمي لأنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار بشأن الركائز الأساسية الأربع التي يقوم عليها أي نظام إنذار فعال، وما توصل إليه (Romadiana et al. (2025 بشأن دور الجاهزية الرقمية في تحويل أنظمة الإنذار من آليات إيصال معلومات إلى منظومات تخفيف جماعية فعالة، فضلاً عن ما أشار إليه (Yan et al. (2024 بشأن المكونات البنيوية لنظام الإنذار في المنشآت الصناعية المعدنية. وبناءً على هذه المراجعة، تم اعتماد ثلاثة أبعاد رئيسية تعكس المكونات الحرجة لفعالية أنظمة الإنذار المبكر في السياق الصناعي، وهي: الجاهزية التقنية، وسرعة الاستجابة، وكفاءة الاتصال التحذيري.

البعد الأول: الجاهزية التقنية

تمثل الجاهزية التقنية البنية الأساسية التي تقوم عليها أنظمة الإنذار المبكر، وتشير إلى مدى توفر البنية التحتية التكنولوجية اللازمة لعمل النظام وجاهزيتها للتشغيل المستمر والموثوق في جميع الظروف، ولا يقتصر مفهوم الجاهزية التقنية على مجرد امتلاك المعدات والأجهزة، بل يمتد ليشمل تكامل هذه المكونات وتوافقها وقدرتها على العمل المنسق في ظروف الأزمات التي تتطلب أعلى مستويات الأداء والاعتمادية.

وقد أوضح (Romadiana et al. (2025 أن الجاهزية التقنية تتضمن عدة عناصر متكاملة، في مقدمتها جاهزية شبكات الاتصال الرقمية التي تنقل البيانات من نقاط الرصد إلى مراكز التحليل واتخاذ القرار، وتكامل أنظمة البيانات التي تضمن تدفق المعلومات بسلاسة بين المكونات المختلفة للنظام، وموثوقية مصادر الطاقة التي تغذي المنظومة بأكملها، وقد أكدت هذه الدراسة أن كثيراً من أنظمة الإنذار المبكر تعمل فعلياً كآليات لإيصال المعلومات فقط دون أن تتحول إلى أدوات تخفيف حقيقية، وذلك بسبب القصور في الجاهزية التقنية للبنية التحتية الرقمية الداعمة، فمحدودية الشبكات الرقمية وتجزؤ نظم

البيانات وضعف التنسيق المؤسسي تشكل عوائق جوهرية تحول دون تحقيق الفعالية المرجوة حتى لو توفرت التقنيات المتقدمة.

وبين Wei et al. (2023) أن الجاهزية التقنية لأنظمة الإنذار المبكر في المجمعات الكيميائية الصناعية تتطلب بنية تحتية متعددة الطبقات تبدأ من طبقة الاستشعار الميداني التي تتضمن أجهزة قياس درجة الحرارة والضغط والتركيزات الغازية موزعة حول مصادر الخطر الرئيسية، مروراً بطبقة نقل البيانات التي تعتمد على بروتوكولات إنترنت الأشياء لضمان النقل اللحظي والمستمر للقراءات، وصولاً إلى طبقة المعالجة والتحليل التي تُجرى فيها المقارنة بين القراءات الفعلية والعتبات الآمنة المحددة مسبقاً لإطلاق التنبيهات المناسبة، وهذه البنية المتعددة الطبقات تستلزم مستوى عالياً من التكامل والتزامن بين جميع المكونات لتحقيق الأداء المطلوب.

كما أشار Yan et al. (2024) إلى أن الجاهزية التقنية في المنشآت الصناعية المعدنية تستلزم توفر أنظمة قادرة على التعامل مع البيانات غير المؤكدة والمعلومات الناقصة التي كثيراً ما تميّز البيئات الصناعية المعقدة، لأنه يتيح الاستدلال في ظل عدم اليقين وإصدار تقديرات كمية لاحتمالية وقوع الحوادث بدلاً من الاكتفاء بتحذيرات نوعية عامة. وتتضمن الجاهزية التقنية في هذا السياق القدرة على بناء نماذج سببية هرمية متعددة المستويات تربط بين عوامل الخطر الأساسية والانتقالية والمجاورة، وهو ما يتطلب قدرات حوسبية متقدمة وبرمجيات تحليلية متخصصة.

ويضيف Chai et al. (2025) أن الجاهزية التقنية المعاصرة لأنظمة الإنذار المبكر تتضمن بُعداً جديداً يتمثل في القدرة على توظيف خوارزميات التعلم الآلي في تحليل البيانات التاريخية للحوادث والتنبؤ بالحوادث المستقبلية. فالنماذج التقليدية التي تعتمد على قواعد ثابتة ومحددة مسبقاً أصبحت قاصرة عن التعامل مع التعقيد المتنامي للبيئات الصناعية، مما يستلزم الانتقال إلى نماذج تكيفية قادرة على التعلم من البيانات وتحديث تقديراتها بشكل مستمر.

البعد الثاني: سرعة الاستجابة

يُعدُّ بُعد سرعة الاستجابة من الأبعاد الحرجة في تحديد فعالية أنظمة الإنذار المبكر، إذ يرتبط مباشرة بالفارق الزمني بين لحظة رصد المؤشرات التحذيرية ولحظة اتخاذ الإجراءات الوقائية الفعلية. وهذا البُعد لا يتعلق فقط بالسرعة التقنية لمعالجة البيانات وإطلاق التنبيهات، بل يشمل أيضاً سرعة الاستجابة المؤسسية والبشرية التي تترجم التحذيرات إلى أفعال حماية ملموسة على أرض الواقع.

وقد أكد Kalogiannidis et al. (2025) أن عنصر التوقيت يمثل المحدد الأول لفعالية أنظمة الإنذار المبكر في إنقاذ الأرواح البشرية، حيث تناولت دراستهم مفهوم التوقيت من حيث مدى قدرة النظام على توفير تنبيهات مبكرة قبل وقوع الكوارث بوقت كافٍ يتيح الاستعداد والتأهب. وقد تضمن إطارهم التحليلي مؤشرات لقياس هذا البُعد تشمل انطباعات المتخصصين حول مدى كفاية الفترة الزمنية الفاصلة بين إصدار الإنذار ووقوع الحدث، ومدى ملاءمة هذه الفترة لتنفيذ قرارات الإخلاء وتفعيل خطط الطوارئ.

ومن الزاوية التشغيلية، أوضح Zhan et al. (2023) أن سرعة الاستجابة في سياق أنظمة الإنذار الحضري والصناعية تتحدد بعدة عوامل متداخلة، أبرزها سرعة أنظمة الرصد في الكشف عن الانحرافات التشغيلية، وسرعة منظومات التحليل في تقييم مستوى الخطر وتصنيفه، وسرعة قنوات الاتصال في إيصال التحذيرات إلى الجهات المعنية، وسرعة آليات التنسيق بين الجهات المتعددة المشاركة في الاستجابة. وأي تأخر أو اختناق في أي حلقة من هذه الحلقات ينعكس سلباً على الأداء الكلي للمنظومة ويقلص من نافذة الفرصة المتاحة لاتخاذ الإجراءات الوقائية.

ويؤكد Fajrillah et al. (2024) أن سرعة الاستجابة لا تتحقق بمجرد توفر التقنيات السريعة، بل تتطلب بناء قدرات مؤسسية ومجتمعية تضمن ترجمة التحذيرات إلى سلوكيات حماية فعلية. فالتجارب المتراكمة تكشف عن فجوة متكررة بين سرعة إصدار التحذيرات وبطء الاستجابة البشرية والمؤسسية لها، وهو ما يستدعي الاهتمام ببرامج التدريب والتوعية والمحاكاة الدورية التي تبني ذاكرة مؤسسية للاستجابة وتقلل من عوامل التردد والارتباك حين تُطلق الإنذارات الفعلية.

وقد أضاف (Tin et al. (2023 بُعداً مهماً يتصل بسرعة الاستجابة الطبية والصحية في سياق الكوارث الصناعية، حيث تناولا الجوانب الصحية المرتبطة بالكوارث الصناعية حول العالم من حيث أنماط الإصابات وتوزيعها الجغرافي والزمني. وهذا التحليل يكشف عن أن سرعة الاستجابة الطبية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بفعالية نظام الإنذار المبكر في توفير معلومات دقيقة عن طبيعة المخاطر المحتملة ونوع الإصابات المتوقعة، مما يتيح للفرق الطبية تهيئة مواردها وبروتوكولاتها بشكل استباقي.

ويشير السعدي (2024) إلى أن سرعة الاستجابة في أنظمة الإنذار المبكر تتأثر بالإطار القانوني والمؤسسي الذي يحكم عملية إطلاق الإنذارات والتصرف بناءً عليها. فوجود تشريعات واضحة تحدد صلاحيات إصدار الإنذار ومسؤوليات كل جهة في سلسلة الاستجابة يُعدّ شرطاً ضرورياً لتفادي التأخيرات الناجمة عن الغموض التنظيمي وتداخل الاختصاصات، وهو ما يتطلب أطراً حوكمية رشيدة تمنح الجهات التنفيذية المرونة الكافية للتصرف السريع ضمن حدود واضحة من المساءلة.

البعد الثالث: كفاءة الاتصال التحذيري

يمثل بُعد كفاءة الاتصال التحذيري حلقة الوصل الحاسمة بين المكونات التقنية لنظام الإنذار المبكر والسلوك البشري المطلوب استجابة للتحذيرات. فمهما بلغت دقة أجهزة الرصد وسرعة أنظمة التحليل، فإن فعالية النظام تبقى رهينة بمدى قدرته على إيصال الرسائل التحذيرية إلى الفئات المستهدفة بصورة واضحة ومفهومة ومحفزة للعمل. ويشمل هذا البعد جوانب متعددة تتراوح بين تصميم المحتوى التحذيري واختيار قنوات النشر والتأكد من الوصول الفعلي إلى المتلقين وضمان فهمهم للرسالة واستجابتهم لها.

وقد تناول (Pescaroli et al. (2025 هذا البُعد من منظور اجتماعي-تقني مركب، حيث أكدوا أن فعالية الاتصال التحذيري لا تتحقق بمجرد إرسال الرسالة، بل تتوقف على شبكة معقدة من العوامل التي تشمل مصداقية مصدر التحذير وثقة المتلقين فيه، ووضوح اللغة المستخدمة وملاءمتها للسياق الثقافي والاجتماعي، وتوفر قنوات اتصال متعددة ومتكاملة تضمن الوصول إلى شرائح متنوعة من المتلقين بما فيهم

الفئات الأكثر ضعفاً. كما أشاروا إلى أن الثقة في مصادر المعلومات تُعدّ عاملاً محورياً يؤثر في مدى استجابة الأفراد للتحذيرات، وأن هذه الثقة تتشكل عبر تفاعلات مستمرة تسبق لحظة الأزمة بفترة طويلة.

أما (Hermans et al. (2022 فقد سلّطوا الضوء على أهمية دمج المعرفة المحلية والتقليدية في تصميم آليات الاتصال التحذيري، انطلاقاً من أن فعالية الرسالة التحذيرية تتعزز حين تُصاغ بلغة ومصطلحات مألوفة لدى المجتمع المستهدف وحين تتضمن مرجعيات ثقافية يستطيع المتلقون الارتباط بها. وهذا المنظور يكتسب أهمية خاصة في السياق السعودي الذي يتميز بتنوع القوى العاملة في المدن الصناعية من حيث الجنسيات واللغات والخلفيات الثقافية، مما يستلزم تصميم منظومة اتصال تحذيري متعددة اللغات ومتكيفة ثقافياً لضمان الوصول الفعال إلى جميع العاملين والمقيمين.

و أوضح (Ringo et al. (2024 أن كفاءة الاتصال التحذيري تتطلب اعتماد مقاربة متعددة القنوات لا تعتمد على وسيلة اتصال واحدة، بل تجمع بين الوسائل التقليدية كصفارات الإنذار والإذاعة المحلية، والوسائل الرقمية الحديثة كالرسائل النصية القصيرة وتطبيقات الهواتف الذكية ومنصات التواصل الاجتماعي. فاعتماد قناة واحدة يُعرض المنظومة لخطر الفشل الكلي في حال تعطل تلك القناة خلال الأزمة، بينما تعدد القنوات يوفر تكراراً احتياطياً يزيد من احتمالية وصول الرسالة إلى أكبر عدد ممكن من المتلقين.

و تناول سليمان (2024) كفاءة الاتصال التحذيري في سياق منع الصراعات والأزمات، حيث أكد أن فعالية الإنذار لا تتوقف عند حدود إيصال المعلومة فحسب، بل تمتد إلى قدرة الرسالة التحذيرية على تحفيز عمل استباقي منسق بين الأطراف المعنية. وهذه الرؤية قابلة للإسقاط على السياق الصناعي، حيث يتطلب الاتصال التحذيري الفعال ليس فقط إبلاغ العاملين والمجتمعات بوجود خطر وشيك، بل تزويدهم بتوجيهات عملية واضحة حول ما ينبغي فعله وأين ينبغي التوجه وكيف يمكن حماية أنفسهم.

كما أشار (Lahmood & Mutlak (2024 إلى أن الأطر المؤسسية الإقليمية والدولية تؤكد على ضرورة أن يكون الاتصال التحذيري ثنائي الاتجاه وليس أحادياً، بمعنى أنه لا يكفي أن تُصدر الجهات المسؤولة تحذيرات دون أن تتلقى تغذية راجعة من المتلقين تؤكد استلامهم للرسالة وفهمهم لمحتواها

واستعدادهم للتصرف بناءً عليها. وهذا التصميم التبادلي للاتصال يتيح التحقق من فعالية المنظومة في الوقت الحقيقي وتصحيح أي خلل في الوصول أو الفهم بشكل فوري.

6.1.2 استراتيجيات تفعيل أنظمة الإنذار المبكر في البيئة الصناعية

يتطلب تفعيل أنظمة الإنذار المبكر في البيئة الصناعية تبني استراتيجيات شاملة تتجاوز البُعد التقني لتشمل الأبعاد التنظيمية والبشرية والمؤسسية. وتكشف الأدبيات عن عدة توجهات استراتيجية تتكامل فيما بينها لتشكيل إطار متماسك لتفعيل هذه الأنظمة وضمان استدامة أداؤها.

تتمثل الاستراتيجية الأولى في التكامل التقني القائم على التحول الرقمي، حيث أوضحت منظمة أوبك (2024) أن التحول الرقمي في قطاعات النفط والغاز والصناعات البتروكيمياوية يُتيح فرصاً غير مسبوقة لتعزيز منظومات الإنذار المبكر من خلال دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والحوسبة السحابية في بنيتها التحتية. وهذا التكامل يمكّن من الانتقال من أنظمة الرصد التقليدية التي تعتمد على عتبات ثابتة إلى أنظمة ذكية قادرة على التعلم المستمر والتكيف مع الأنماط المتغيرة للمخاطر.

وتتجسد الاستراتيجية الثانية في بناء القدرات المؤسسية والبشرية، حيث أكد Fajrillah et al. (2024) أن استدامة فعالية أنظمة الإنذار المبكر في المناطق المحلية والصناعية تتوقف على عوامل تتجاوز التقنية لتشمل بناء قدرات الكوادر البشرية المسؤولة عن تشغيل النظام وصيانتته وتحديثه، وتطوير برامج تدريبية مستمرة ومحاكاة دورية تضمن جاهزية الفرق العاملة للتعامل مع مختلف السيناريوهات الطارئة. وقد تناولت الدراسة العوامل المؤثرة في الفعالية طويلة المدى لهذه الأنظمة في السياقات المحلية، مشيرة إلى أن الاستثمار في العنصر البشري يُعدّ ركيزة لا تقل أهمية عن الاستثمار في البنية التقنية.

أما الاستراتيجية الثالثة فتتمحور حول التأطير القانوني والحوكيمي، وهو ما أشار إليه كمالي ويوسف (2024) في سياق حديثهما عن النظام القانوني الدولي للحماية من آثار التغيرات المناخية والكوارث المرتبطة بها. فوجود إطار قانوني واضح يحدد المسؤوليات والصلاحيات ويُلزم المنشآت الصناعية بمعايير

محددة لأنظمة الإنذار المبكر يُعدّ شرطاً ضرورياً لضمان الالتزام المؤسسي وتوفير الحماية القانونية للمجتمعات المعرضة للمخاطر الصناعية.

وتبرز الاستراتيجية الرابعة في المقاربة التشاركية التي تدمج المجتمعات المحلية في منظومة الإنذار المبكر، وهو ما أكدته Hermans et al. (2022) بشأن أهمية تكامل المعرفة المحلية والعلمية في تصميم أنظمة الإنذار وتشغيلها. فالمجتمعات المحيطة بالمدن الصناعية تمتلك خبرات تراكمية ومعارف سياقية عن بيئتها المحلية قد لا تتوفر في النماذج التقنية، وإشراكها في المنظومة يعزز الملكية المجتمعية لنظام الإنذار ويزيد من احتمالية الاستجابة الفعالة للتحذيرات.

وأخيراً، تتضمن الاستراتيجية الخامسة تبني مقاربة متعددة الأخطار، وهو ما شدد عليه Rokhideh et al. (2025) في سياق تحليلهم لإطار سندي للحد من مخاطر الكوارث. فالمدن الصناعية لا تواجه نوعاً واحداً من المخاطر، بل تتعرض لتهديدات متنوعة ومتداخلة تشمل المخاطر الصناعية والطبيعية والبيئية والتكنولوجية. ولذلك فإن تصميم أنظمة إنذار مبكر متعددة الأخطار قادرة على رصد أنماط مختلفة من التهديدات والتعامل مع السيناريوهات المركبة يمثل توجهاً استراتيجياً متقدماً يتجاوز الأنظمة التقليدية أحادية الخطر.

7.1.2 التحديات المعاصرة لأنظمة الإنذار المبكر في السياق الصناعي

على الرغم من التطور الملحوظ الذي شهدته أنظمة الإنذار المبكر على المستويين التقني والمؤسسي، إلا أن هذه الأنظمة لا تزال تواجه جملة من التحديات التي تحدّ من فعاليتها في السياق الصناعي. ويكتسب استعراض هذه التحديات أهمية خاصة في إطار هذه الدراسة لأنه يساعد على تحديد الفجوات التي تسعى الدراسة إلى معالجتها.

فمن التحديات التقنية، أشار Romadiana et al. (2025) إلى أن تجزؤ البنية التحتية الرقمية وعدم تكامل أنظمة البيانات يُعدّ من أبرز العقبات التي تحول دون تحقيق الجاهزية التقنية المطلوبة. فكثير

من المنشآت الصناعية تعتمد على أنظمة رصد منفصلة لا تتواصل فيما بينها، مما يخلق جزراً معلوماتية معزولة تحول دون تشكيل صورة شاملة ومتكاملة عن حالة المخاطر في المنشأة ككل.

ومن التحديات المؤسسية والتنظيمية، يبين Rokhideh et al. (2025) أن غياب تعريف موحد ومعايير مشتركة لأنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار يخلق تناقضات وثغرات في إعداد التقارير وقياس التقدم المحرز. فالدول والمؤسسات تستخدم تعريفات وأطر مرجعية مختلفة، مما يصعب عمليات المقارنة والتعلم المتبادل. كما أن مؤشرات القياس الحالية المعتمدة ضمن إطار سندي تركّز على التغطية والانتشار دون أن تقيس الفعالية الفعلية للتحذيرات في تحفيز السلوك الوقائي المطلوب.

ومن التحديات الاجتماعية، أوضح Pescaroli et al. (2025) أن فهم التفاعل بين العناصر التقنية والاجتماعية والتنظيمية التي تشكّل أنظمة الإنذار المبكر لا يزال قاصراً، وأن ثمة فجوة بين ما توفره هذه الأنظمة من تحذيرات وبين الاستجابة الفعلية للمتلقين. فعوامل مثل الثقة في المصادر والتجارب السابقة مع التحذيرات والخصائص الديموغرافية والاجتماعية-الاقتصادية تؤثر جميعها في مدى استجابة الأفراد، وهي عوامل تتباين تبايناً كبيراً بين السياقات المختلفة.

أما في ما يتصل بالسياق السعودي تحديداً، فإن التحديات تتضمن أبعاداً خاصة تتعلق بالطبيعة الجغرافية والمناخية للمدن الصناعية التي تتميز بدرجات حرارة مرتفعة قد تؤثر على أداء المعدات الإلكترونية والمستشعرات، فضلاً عن التنوع اللغوي والثقافي للقوى العاملة في هذه المدن الذي يستلزم تصميم منظومات اتصال تحذيري متعددة اللغات ومتكيفة ثقافياً. وقد أكدت دراسة أوابك (2024) أن التحول الرقمي في قطاع الصناعات النفطية والبتروكيماوية في دول المنطقة يوفر فرصاً واعدة لمعالجة كثير من هذه التحديات، غير أنه يتطلب استثمارات ضخمة في البنية التحتية الرقمية والكوادر البشرية المؤهلة.

8.1.2 أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية

تمثل المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية نموذجاً متقدماً للتخطيط الصناعي المتكامل، حيث تضم هذه المدن مجمعات صناعية متنوعة تشمل الصناعات البتروكيمياوية والمعدنية والغذائية والتحويلية وغيرها. وتكتسب أنظمة الإنذار المبكر في هذا السياق خصوصية ناجمة عن عدة عوامل يتعين مراعاتها عند تصميم هذه الأنظمة وتقييم فعاليتها.

فمن حيث طبيعة المخاطر، تتميز المدن الصناعية السعودية بتركز عدد كبير من المنشآت الصناعية في مساحات جغرافية محددة، وهو ما يزيد من احتمالية وقوع ما يُعرف بتأثير الدومينو الذي تنتقل فيه الحوادث من منشأة إلى أخرى مجاورة. وقد أشار Kamdina et al. (2021) إلى أن الحوادث والكوارث الصناعية تؤثر تأثيراً مباشراً في الأداء المستقر للمنشآت الصناعية وفي جودة حياة السكان والتنمية الاجتماعية-الاقتصادية للمناطق المحيطة، وهو ما يستلزم منظومات إنذار مبكر قادرة على رصد المخاطر المترابطة والتنبيه لسيناريوهات التصعيد المتسلسل.

ومن حيث البُعد البيئي، أشار أرزوقي وعلي (2022) إلى أن التلوث البيئي الناجم عن المصادر الصناعية يمثل تحدياً جوهرياً يتطلب أنظمة رصد وإنذار متقدمة قادرة على الكشف المبكر عن الانبعاثات والتسربات التي قد تتحول إلى كوارث بيئية واسعة النطاق. وهذا البُعد يكتسب أهمية خاصة في المدن الصناعية السعودية التي تقع في بيئة صحراوية حساسة بيئياً وتتأخم في بعض الحالات مناطق سكنية أو ساحلية ذات قيمة بيئية عالية.

ومن حيث البُعد الاقتصادي، أوضح أحمد (2024) أن الكوارث والأزمات تُلحق أضراراً اقتصادية جسيمة بأصحاب الأنشطة التجارية والصناعية قد تصل إلى حد العجز عن سداد الالتزامات المالية، وهو ما يكشف عن البُعد الاقتصادي العميق لفعالية أنظمة الإنذار المبكر ودورها في حماية الاستقرار الاقتصادي للمنشآت الصناعية واستمرارية أعمالها. فكل كارثة صناعية يتم تفاديها أو تخفيف أثارها بفضل الإنذار المبكر تمثل وفراً اقتصادياً حقيقياً ينعكس على المنشأة والاقتصاد المحلي والوطني.

ومن حيث البُعد المادي والعمراني، بيّن الكوافي (2024) أن الكوارث بأنواعها تخلف أثراً مدمرة على البنية الحضرية والمباني والمرافق، وهو ما ينطبق على الكوارث الصناعية التي قد تؤدي انفجاراتها وحرائقها إلى تدمير البنية التحتية للمدن الصناعية والمناطق المحيطة بها. ولذلك فإن أنظمة الإنذار المبكر تسهم في حماية البنية العمرانية من خلال إتاحة الوقت الكافي لتنفيذ إجراءات الحماية والعزل والإغلاق الآمن للمنشآت المعرضة للخطر.

المبحث الثاني: الحد من تأثير الكوارث الصناعية (المتغير التابع)

1.2.2 تمهيد

أصبحت الكوارث الصناعية واحدة من أخطر التحديات التي تواجه المجتمعات المعاصرة، لا سيما في ظل التوسع المتسارع في الأنشطة الصناعية وتزايد حجم المواد الخطرة المستخدمة في العمليات الإنتاجية والتخزينية واللوجستية. ولم يعد تأثير هذه الكوارث محصوراً في نطاق المنشأة التي وقع فيها الحادث، بل بات يمتد ليطال أبعاداً متعددة تشمل الأرواح البشرية والبنية التحتية والنسيج الاقتصادي والبيئة الطبيعية والاستقرار الاجتماعي للمجتمعات المحيطة. وقد أفرز هذا الواقع اهتماماً بحثياً ومؤسسياً متنامياً بمفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية بوصفه غاية استراتيجية تتقاطع فيها تخصصات متعددة تشمل إدارة المخاطر والهندسة الصناعية والسلامة المهنية والتخطيط الحضري وإدارة الأزمات. ويتناول هذا المبحث مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية وتعريفاته المتعددة، ثم يستعرض أهميته وأهدافه، وصولاً إلى أبعاده واستراتيجياته والتحديات المرتبطة به، مع ربط ذلك بالسياق الصناعي السعودي الذي يمثل الميدان التطبيقي لهذه الدراسة.

2.2.2 مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية

يندرج مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية ضمن الإطار الأوسع لمفهوم الحد من مخاطر الكوارث الذي تبلور عبر عقود من الجهود الدولية والأكاديمية، غير أنه يتميز بخصوصيات ناجمة عن طبيعة الكوارث الصناعية ذاتها التي تختلف عن الكوارث الطبيعية في أنها ترتبط بالنشاط البشري والتقني وتخضع نظرياً لدرجة أعلى من إمكانية التحكم والمنع. وقد تعددت التعريفات التي تناولت هذا المفهوم بتعدد المنظورات والسياقات التي عولج من خلالها.

فقد عرّف مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث (UNDRR, 2022) الحد من مخاطر الكوارث بأنه مجموعة السياسات والاستراتيجيات والتدابير التي تهدف إلى منع مخاطر الكوارث الجديدة والحد من المخاطر القائمة وإدارة المخاطر المتبقية، بما يسهم في تعزيز الصمود المجتمعي والمؤسسي. ورغم

عمومية هذا التعريف الذي يشمل جميع أنواع الكوارث، إلا أنه يوفر إطاراً مرجعياً صالحاً للتطبيق على الكوارث الصناعية، حيث يؤكد على ثلاثة مسارات متكاملة هي: المنع والتخفيف والإدارة، وهي مسارات تنطبق بوضوح على البيئة الصناعية التي تتضمن مخاطر يمكن منع بعضها كلياً وتخفيف بعضها الآخر وإدارة ما يتبقى منها.

وقد تناول ثانون وآخرون (2021) المفهوم من منظور القانون الدولي العام، حيث أشاروا إلى أن الحد من مخاطر الكوارث يمثل التزاماً قانونياً ومؤسسياً يقع على عاتق الدول والمنظمات بموجب الأطر الدولية ذات الصلة، وفي مقدمتها إطار سندي للحد من مخاطر الكوارث وإطار هيوغو الذي سبقه. ويُعرّف في هذا السياق بأنه منظومة الإجراءات والسياسات التي تتبناها الدول لتقليل تعرض مجتمعاتها ومؤسساتها للأخطار وتعزيز قدرتها على مواجهة التداعيات المترتبة عليها والتعافي منها بسرعة وكفاءة. ويتميز هذا التعريف بإبرازه للبُعد القانوني والإلزامي للمفهوم، مما يُخرجه من إطار الاختيار الطوعي إلى إطار المسؤولية المؤسسية.

أما من المنظور الصناعي التخصصي، فقد أوضح Kamdina et al. (2021) أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يُقصد به مجموعة التدابير الهندسية والتنظيمية والإدارية التي تستهدف تقليل احتمالية وقوع الحوادث والأعطال الناجمة عن الأنشطة الصناعية، وتخفيف تداعياتها على استقرار المنشآت الصناعية وجودة حياة السكان والتنمية الاجتماعية-الاقتصادية في المناطق المحيطة بها. ويكشف هذا التعريف عن البُعد المزدوج للمفهوم الذي يجمع بين المنع الاستباقي والتخفيف التفاعلي، وبين حماية المنشأة ذاتها وحماية المحيط الخارجي الذي تؤثر فيه.

ومن الزاوية الصحية، أشار Tin et al. (2023) إلى أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يتضمن بُعداً صحياً جوهرياً يتمثل في تقليل الإصابات والوفيات المرتبطة بالحوادث الصناعية من خلال منظومة متكاملة تبدأ من الوقاية وتمتد إلى الاستجابة الطبية السريعة والتعافي الصحي طويل المدى. وقد تناولت دراساتهم الجوانب الصحية للكوارث الصناعية عالمياً، وبيّنت تنوع أنماط التأثيرات الصحية التي تتراوح بين الإصابات الحادة الناجمة عن الانفجارات والحرائق والتأثيرات المزمنة الناجمة عن التعرض للمواد السامة.

وفي سياق المخاطر البيئية المرتبطة بالكوارث الصناعية، أوضح أرزوقي وعلي (2022) أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يشمل التقليل من الآثار البيئية الناجمة عن التلوث الصناعي بمصادره المتعددة، سواء أكانت تسربات كيميائية أم انبعاثات غازية أم نفايات صناعية خطيرة. وقد تناولت دراستهما مشكلات التلوث البيئي من حيث مصادره الطبيعية والبشرية والصناعية، مؤكدين أن البعد البيئي يُعدّ مكوناً أصيلاً في مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية لأن الأضرار البيئية قد تفوق في مداها الزمني والمكاني الأضرار المادية المباشرة.

كما تناول أحمد (2024) المفهوم من الزاوية الاقتصادية والمالية، حيث أشار إلى أن تأثير الكوارث والأزمات يمتد ليشمل الملاءة المالية للمنشآت الصناعية والتجارية وقدرتها على الوفاء بالتزاماتها، وهو ما يجعل الحد من هذا التأثير مسألة حيوية ليس فقط من منظور السلامة بل من منظور الاستدامة الاقتصادية واستمرارية الأعمال. فالكارثة الصناعية حين تقع لا تدمر الأصول المادية فحسب، بل تعطل سلاسل الإمداد وتوقف العمليات الإنتاجية وتُفقد المنشأة قدرتها التنافسية وقد تؤدي في نهاية المطاف إلى إفلاسها.

أما Rokhideh et al. (2025) فقد تناولوا المفهوم ضمن إطار سندي في سياق أوسع، حيث بينوا أن الحد من تأثير الكوارث لا يُعدّ هدفاً منفصلاً بل يمثل نتيجة تراكمية لمنظومة متكاملة من التدخلات التي تشمل بناء المعرفة بالمخاطر وتعزيز الحوكمة والاستثمار في أنظمة الإنذار المبكر وتعزيز الجاهزية للاستجابة. وهذا المنظور التكاملي يؤكد أن الحد من التأثير ليس إجراءً واحداً بل سيرورة مستمرة تتضمن مكونات وقائية واستباقية وتفاعلية وتعافوية.

وبناءً على هذا الاستعراض التحليلي للتعريفات المتعددة، يرى الباحث أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يمكن تعريفه إجرائياً بأنه: مجموعة السياسات والاستراتيجيات والإجراءات التقنية والتنظيمية والبشرية التي تستهدف تقليل احتمالية وقوع الحوادث الصناعية وتخفيف تداعياتها المتعددة على الأرواح البشرية والبيئة الطبيعية والأصول المادية والاستقرار الاقتصادي والنسيج الاجتماعي، من خلال منظومة

متكاملة تجمع بين الوقاية الاستباقية والاستجابة الفعّالة والتعافي المستدام. ويراعي هذا التعريف الإجرائي الطبيعة متعددة الأبعاد لتأثيرات الكوارث الصناعية التي كشفت عنها الأدبيات المستعرضة.

3.2.2 أهمية الحد من تأثير الكوارث الصناعية

يكتسب الحد من تأثير الكوارث الصناعية أهمية استثنائية في المرحلة الراهنة، وذلك في ضوء التصاعد المستمر في وتيرة المخاطر الصناعية وتعدد طبيعتها من جهة، وتنامي حجم التداعيات المترتبة عليها من جهة أخرى. ويمكن استعراض هذه الأهمية من خلال عدة زوايا تكاملية تعكس تنوع المنظورات التي تناولها الباحثون.

فقد أوضح (UNDRR (2023 أن أهمية الحد من تأثير الكوارث تتجلى في ثلاثة محاور جوهرية: أولها الحفاظ على مكتسبات التنمية المستدامة التي قد تُبدد في لحظات بسبب كارثة واحدة، حيث تكشف التقديرات الدولية عن أن الخسائر الناجمة عن الكوارث تلتهم نسبة كبيرة من الناتج المحلي الإجمالي في كثير من الدول. وثانيها حماية الفئات الأكثر ضعفاً التي تتحمل العبء الأكبر من تداعيات الكوارث بسبب محدودية مواردها وقدراتها على التكيف والتعافي. وثالثها تعزيز الصمود المؤسسي والمجتمعي الذي يمثل ركيزة أساسية للاستقرار والازدهار على المدى البعيد.

ويرى (Kalogiannidis et al. (2025 أن أهمية الحد من تأثير الكوارث تنبثق من الطبيعة التراكمية والمتشابكة لهذه التأثيرات، إذ لا تقتصر الأضرار على الخسائر المباشرة والفورية بل تمتد لتشمل تداعيات غير مباشرة طويلة المدى تطال النسيج الاقتصادي والاجتماعي للمجتمعات المتضررة. فحين تقع كارثة صناعية في منطقة ما، لا تتوقف آثارها عند الدمار المادي الظاهر، بل تتسلسل لتشمل فقدان الوظائف وتراجع النشاط الاقتصادي وانخفاض قيمة الأصول العقارية ونزوح السكان وتدهور الصحة النفسية للمجتمع.

وقد أكد كمالى ويوسف (2024) على أهمية هذا الموضوع من المنظور القانوني الدولي، حيث أشارا إلى أن النظام القانوني الدولي يتجه بشكل متزايد نحو إلزام الدول والمؤسسات بتبني تدابير فعّالة للحد من

تأثير الكوارث بما فيها الكوارث الصناعية، وأن الإخلال بهذا الالتزام قد يترتب مسؤولية قانونية على المستويين الوطني والدولي. وهذا البُعد القانوني يضيف حافزاً مؤسسياً قوياً يتجاوز الاعتبارات الأخلاقية والإنسانية ويجعل من الحد من تأثير الكوارث ضرورة قانونية ملزمة.

أما على صعيد البُعد الاقتصادي، فقد بين أحمد (2024) أن الكوارث والأزمات تخلف تداعيات مالية وخيمة تطل ملاءة المنشآت وقدرتها على الاستمرار، مشيراً إلى أن هذه التداعيات قد تمتد إلى سلاسل القيمة بأكملها وتؤثر في شركاء الأعمال والموردين والعملاء. ولذلك فإن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يمثل استثماراً اقتصادياً حقيقياً يحمي القيمة المؤسسية ويصون فرص العمل ويحافظ على الاستقرار الاقتصادي المحلي والإقليمي.

كما أشار الكوافي (2024) إلى أهمية الحد من تأثير الكوارث من منظور الحفاظ على البنية الحضرية والعمرانية، حيث أكد أن الكوارث تدمر مرافق حيوية أنفقت على بنائها استثمارات ضخمة وجهود سنوات طويلة، وأن إعادة البناء تستنزف موارد كان يمكن توجيهها نحو التنمية والتطوير. وهذا المنظور ينطبق بوضوح على المدن الصناعية السعودية التي تمثل بنيتها التحتية المتقدمة استثماراً وطنياً ضخماً يستوجب الحماية.

ويضيف Meckawy et al. (2022) بُعداً صحياً لأهمية الحد من تأثير الكوارث، حيث أكدوا أن الكشف المبكر والاستجابة السريعة للأحداث الخطرة يقللان بشكل جوهري من حجم الأعباء الصحية المترتبة عليها. فالتأخر في الاستجابة لا يزيد من عدد الضحايا المباشرين فحسب، بل يفاقم من حدة الإصابات ويرفع تكاليف العلاج والتأهيل ويخلف أثراً صحياً مزمنة تثقل كاهل المنظومة الصحية لسنوات. وفي السياق السعودي، تتعاظم أهمية الحد من تأثير الكوارث الصناعية في ضوء المكانة المحورية التي يحتلها القطاع الصناعي في رؤية المملكة 2030 وبرنامج تطوير الصناعة الوطنية واللوجستيات. فالمحافظة على سمعة البيئة الصناعية السعودية بوصفها بيئة آمنة وجاذبة للاستثمار تمثل ضرورة استراتيجية تستلزم منظومة متقدمة للحد من المخاطر الصناعية وتأثيراتها.

4.2.2 أهداف الحد من تأثير الكوارث الصناعية

تتعدد أهداف الحد من تأثير الكوارث الصناعية وتتراتب وفق منطق يبدأ من الحماية المباشرة وينتهي بتعزيز الصمود المؤسسي والمجتمعي على المدى البعيد. وتكشف الأدبيات عن تنوع في تحديد هذه الأهداف يعكس تعدد المنظورات التي ينطلق منها الباحثون.

فقد حدد Rokhideh et al. (2025) الأهداف في إطار منظومة سنداي على ثلاثة مستويات: أولها الحد من معدلات الوفيات والإصابات الناجمة عن الكوارث بجميع أنواعها بما فيها الكوارث التكنولوجية والصناعية. وثانيها تقليل الخسائر الاقتصادية المباشرة وغير المباشرة المترتبة على هذه الكوارث، بما في ذلك الأضرار التي تلحق بالبنية التحتية الحيوية والخدمات الأساسية. وثالثها زيادة عدد الدول والمؤسسات التي تتبنى استراتيجيات وطنية ومحلية شاملة للحد من مخاطر الكوارث، وهو ما يعكس هدفاً مؤسسياً يتعلق ببناء الأطر والقدرات وليس فقط بتحقيق نتائج مباشرة.

ويرى Ringo et al. (2024) أن أهداف الحد من تأثير الكوارث ينبغي أن تُصاغ وفق مقاربة واقعية تعترف باستحالة المنع الكامل لجميع الأحداث الكارثية، وتركز بدلاً من ذلك على ثلاثة أهداف عملية: أولها تعظيم الفعالية الوقائية من خلال التدخل في المراحل المبكرة للأحداث قبل أن تتصاعد إلى مستوى الكارثة. وثانيها تقليل زمن التعافي وتكاليفه من خلال الاستعداد المسبق وتوفير خطط الطوارئ المفصلة والمختبرة. وثالثها بناء قدرات التكيف التي تمكن المؤسسات والمجتمعات من مواصلة أداء وظائفها الحيوية حتى في أثناء الأزمات.

كما أوضح Sugawara (2019) أن فعالية منظومات الحد من تأثير الكوارث تتحقق حين تسعى إلى ثلاثة أهداف مترابطة: أولها الكشف المبكر عن بؤادر الأزمات وتفعيل آليات التدخل الاستباقي. وثانيها تنسيق جهود الأطراف المتعددة المعنية بالاستجابة والتعافي ضمن إطار مؤسسي موحد ومتناسك. وثالثها التعلم المنظم من الأحداث السابقة واستخلاص الدروس التي تعزز القدرة على مواجهة الأحداث المستقبلية.

أما Fajrillah et al. (2024) فقد أكدوا أن الحد من تأثير الكوارث يستهدف في جوهره ثلاثة أهداف طويلة المدى: أولها ترسيخ ثقافة الوقاية والسلامة في المؤسسات والمجتمعات بحيث تصبح جزءاً لا يتجزأ من السلوك التنظيمي اليومي وليست مجرد استجابة ظرفية للأزمات. وثانيها تعزيز استمرارية الأعمال من خلال تقليل مدة التوقف القسري للعمليات الإنتاجية والخدمية خلال الأزمات وبعدها. وثالثها حماية رأس المال البشري والمعرفي للمؤسسات الذي يمثل أثمن أصولها وأصعبها استعاضة.

ومن المنظور البيئي، يرى أرزوقي وعلي (2022) أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يستهدف ثلاثة أهداف بيئية حيوية: أولها منع التلوث عند المصدر من خلال التدابير الوقائية الهندسية والتشغيلية التي تحول دون انبعاث الملوثات أو تسرب المواد الخطرة. وثانيها احتواء التلوث في أضيق نطاق ممكن حين يقع لتفادي انتشاره إلى مناطق أوسع. وثالثها المعالجة والاستصلاح البيئي الذي يعيد المناطق المتضررة إلى حالتها الطبيعية أو إلى أقرب ما يمكن منها.

5.2.2 أبعاد الحد من تأثير الكوارث الصناعية

إن الحد من تأثير الكوارث الصناعية مفهوم متعدد الأوجه لا يمكن اختزاله في بُعد واحد، بل يتضمن أبعاداً متكاملة تعكس تنوع مجالات التأثير التي تخلفها هذه الكوارث. وقد تم تحديد هذه الأبعاد بناءً على مراجعة شاملة للأدبيات، وبخاصة ما طرحه Kamdina et al. (2021) بشأن التأثيرات المتعددة للحوادث الصناعية على استقرار المنشآت وجودة حياة السكان، وما أكدته UNDRR (2022) بشأن الأبعاد المتكاملة للحد من مخاطر الكوارث في إطار سنداي، وما أوضحه Tin et al. (2023) بشأن الأنماط المتنوعة للتأثيرات الصحية للكوارث الصناعية. ويمكن تصنيف هذه الأبعاد في أربعة محاور رئيسية.

○ البُعد البشري والصحي

يمثل البُعد البشري والصحي المحور الأكثر أولوية في منظومة الحد من تأثير الكوارث الصناعية، انطلاقاً من المبدأ الراسخ في جميع الأطر الدولية والتشريعات الوطنية بأن حماية الأرواح البشرية تتقدم على جميع الاعتبارات الأخرى. ويشمل هذا البُعد تقليل أعداد الوفيات والإصابات الناجمة عن الحوادث

الصناعية، وتخفيف الآثار الصحية قصيرة المدى وطويلة المدى التي قد يتعرض لها العاملون في المنشآت الصناعية والسكان المجاورون لها.

وقد بيّن Tin et al. (2023) أن التأثيرات الصحية للكوارث الصناعية تتخذ أنماطاً متنوعة تتراوح بين الإصابات الحادة الناجمة عن الانفجارات والحرائق، والتسممات الناتجة عن التعرض للمواد الكيميائية الخطرة، والأمراض المزمنة التي قد تظهر بعد سنوات من التعرض. وهذا التنوع في أنماط التأثير يستلزم منظومة حماية متعددة المستويات تبدأ من الوقاية الأولية وتمتد إلى الرصد الصحي طويل المدى للمجتمعات المعرضة.

ويُعدّ تطوير بروتوكولات الإخلاء الآمن وتأمين مسارات الهروب في المنشآت الصناعية من أهم عناصر هذا البُعد، إلى جانب توفير معدات الحماية الشخصية ونظم التهوية الطارئة ومحطات إزالة التلوث. كما يشمل البُعد البشري الاهتمام بالصحة النفسية للعاملين والمجتمعات المتأثرة، إذ تخلف الكوارث الصناعية صدمات نفسية عميقة قد تؤثر في الأداء الوظيفي وجودة الحياة لفترات طويلة بعد انتهاء الحدث المباشر.

○ البُعد المادي والبنوي

يتعلق هذا البُعد بحماية البنية التحتية والأصول المادية من التدمير أو الضرر الناجم عن الكوارث الصناعية. وقد أكد الكوافي (2024) أن الكوارث تخلف أضراراً مدمرة على البنية الحضرية والمباني والمرافق الحيوية، وأن حجم هذه الأضرار يتوقف على مدى فعالية التدابير الوقائية المتخذة مسبقاً ومدى سرعة الاستجابة حين وقوع الحدث.

ويشمل البُعد المادي حماية المباني والمنشآت الإنتاجية والمرافق الخدمية والشبكات الحيوية كشبكات الكهرباء والمياه والاتصالات والنقل. كما يتضمن الحماية من ظاهرة تأثير الدومينو التي قد تنتقل فيها الأضرار من منشأة إلى أخرى مجاورة في المجمعات الصناعية المتقاربة، وهي ظاهرة تكتسب أهمية خاصة في سياق المدن الصناعية السعودية التي تضم تجمعات صناعية كثيفة. ويُعدّ تصميم المباني الصناعية وفق

معايير مقاومة الحرائق والانفجارات، واعتماد مسافات أمان كافية بين المنشآت، وتوفير أنظمة إطفاء وتبريد آلية من أبرز التدابير المرتبطة بهذا البُعد.

○ البُعد البيئي

يتناول هذا البُعد حماية البيئة الطبيعية من التلوث والتدهور الناجمين عن الكوارث الصناعية. وقد أوضح أرزوقي وعلي (2022) أن مصادر التلوث الصناعي متعددة ومتنوعة، وأن آثارها البيئية قد تمتد مكانياً وزمنياً إلى ما يتجاوز بكثير نطاق الحادث المباشر. فتسرب كيميائي واحد قد يلوث مصادر المياه الجوفية لسنوات، وانبعاث غازي سام قد يؤثر في جودة الهواء على مساحات واسعة.

ويكتسب هذا البُعد أهمية متزايدة في ضوء الوعي البيئي المتنامي والتشريعات البيئية المتشددة التي تُلزم المنشآت الصناعية بمسؤولية الإصلاح البيئي والتعويض عن الأضرار البيئية الناجمة عن أنشطتها. كما يتصل هذا البُعد بمفهوم التنمية المستدامة الذي يقتضي المحافظة على الموارد الطبيعية للأجيال القادمة، وهو ما يجعل الحد من الأضرار البيئية للكوارث الصناعية التزاماً أخلاقياً وقانونياً وتنموياً في آن واحد.

○ البُعد الاقتصادي والتنظيمي

يشمل هذا البُعد تقليل الخسائر الاقتصادية المباشرة وغير المباشرة المترتبة على الكوارث الصناعية، والحفاظ على استمرارية الأعمال واستقرار سلاسل الإمداد والتوظيف. وقد أكد أحمد (2024) أن تأثير الكوارث على الملاءة المالية للمنشآت قد يصل إلى حد العجز عن سداد الالتزامات، وهو ما يعكس العمق الاقتصادي لهذه التأثيرات التي لا تتوقف عند حدود الخسائر المادية المباشرة بل تمتد إلى التدفقات النقدية والقدرة الائتمانية والسمعة المؤسسية.

ويتضمن هذا البُعد أيضاً حماية سلاسل الإمداد من الانقطاع، حيث إن كارثة صناعية في منشأة واحدة قد تعطل سلسلة إمداد كاملة تمتد عبر عدة قطاعات ومناطق جغرافية. كما يشمل المحافظة على فرص العمل والدخل للعاملين في المنشآت المتضررة، والحد من التأثيرات السلبية على الاقتصاد المحلي الذي قد يعتمد بشكل كبير على النشاط الصناعي في المنطقة.

6.2.2 استراتيجيات الحد من تأثير الكوارث الصناعية

تتطلب عملية الحد من تأثير الكوارث الصناعية تبني استراتيجيات شاملة ومتكاملة تعمل على مستويات متعددة وفي مراحل زمنية مختلفة. وتكشف الأدبيات عن عدة توجهات استراتيجية يمكن تصنيفها وفق المرحلة الزمنية التي تعمل فيها بالنسبة إلى لحظة وقوع الكارثة.

تتمثل الاستراتيجية الأولى في الوقاية والمنع الاستباقي، وهي استراتيجية تعمل في مرحلة ما قبل الكارثة وتسعى إلى إزالة مسببات الخطر أو تقليلها إلى أدنى مستوى ممكن. وقد أوضح Yan et al. (2024) أن البنية الأساسية لهذه الاستراتيجية تقوم على تحليل منهجي لعوامل الخطر في البيئة الصناعية وتحديد العلاقات السببية بينها وتصنيفها إلى عوامل جذرية وانتقالية ومباشرة، بما يتيح توجيه الجهود الوقائية نحو العوامل الأكثر تأثيراً. وقد بيّنت الدراسة أن كمال نظام إدارة السلامة الإنتاجية يمثل العامل الجذري الأعظم الذي يؤثر في جميع المستويات الأخرى، مما يؤكد أن الاستراتيجية الوقائية الفعالة تبدأ من الأطر الإدارية والتنظيمية وليس من التدابير التقنية فحسب.

أما الاستراتيجية الثانية فتتمحور حول التأهب والاستعداد المؤسسي، وهي تعمل في المرحلة السابقة للكارثة ولكنها تركز على بناء القدرات اللازمة للتعامل مع الأحداث حين وقوعها. وقد أكد السعدي (2024) أن فعالية المنظمات الدولية المتخصصة في مواجهة الكوارث ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمستوى التأهب المسبق الذي يتضمن وضع خطط الطوارئ وتحديثها بشكل دوري وإجراء تمارين المحاكاة وتدريب الكوادر البشرية وتجهيز الموارد اللازمة للاستجابة. وهذه العناصر تنطبق بالقدر ذاته على المنشآت الصناعية التي ينبغي أن تمتلك خطط طوارئ مفصلة ومختبرة لمختلف السيناريوهات المحتملة.

وتتجسد الاستراتيجية الثالثة في الاستجابة الفعالة والمنسقة، وهي تعمل لحظة وقوع الكارثة وفي مراحلها الأولى. وقد أشار Zhan et al. (2023) إلى أن فعالية الاستجابة تتوقف على عدة عوامل، أبرزها سرعة تفعيل آليات الطوارئ وكفاءة التنسيق بين الجهات المتعددة المشاركة في عمليات الإنقاذ والإغاثة ودقة المعلومات المتاحة عن طبيعة الحدث ونطاقه. ويُعدّ نظام الإنذار المبكر الركيزة الأولى التي تقوم عليها

هذه الاستراتيجية، إذ يوفر المعلومات اللازمة لتفعيل خطط الاستجابة وتوجيه الموارد نحو المواقع المتضررة.

وتتمثل الاستراتيجية الرابعة في التعافي وإعادة البناء بشكل أفضل، وهي تعمل في مرحلة ما بعد الكارثة وتسعى ليس فقط إلى استعادة الوضع السابق بل إلى تحسينه من خلال استخلاص الدروس وتعزيز منظومة الوقاية. وقد أشار Sugawara (2019) إلى أن فعالية الإنذار المبكر ترتبط بمنظومة أوسع تتضمن التحليل اللاحق للأحداث واستخلاص العبر منها، وهو ما يجعل مرحلة التعافي فرصة لتحسين المنظومة بأكملها وسد الثغرات التي كشفت عنها الكارثة.

أما الاستراتيجية الخامسة فتتركز في بناء الثقافة المؤسسية للسلامة، وهي استراتيجية شاملة تتخلل جميع المراحل وتهدف إلى ترسيخ قيم السلامة والوقاية في الوعي الجمعي للمنظمة وسلوكياتها اليومية. وقد أكد Fajrillah et al. (2024) أن استدامة فعالية أنظمة الحماية والإنذار على المدى البعيد تتوقف بشكل حاسم على مدى تجذر ثقافة السلامة في المؤسسة، بحيث تتحول إجراءات الوقاية من كونها التزامات شكلية مفروضة إلى ممارسات تلقائية نابعة من وعي مشترك بأهمية السلامة.

7.2.2 العلاقة بين أنظمة الإنذار المبكر والحد من تأثير الكوارث الصناعية

يمثل هذا المحور الرابط النظري الجوهرى بين المتغير المستقل والمتغير التابع في هذه الدراسة. فأنظمة الإنذار المبكر لا تمثل هدفاً في ذاتها بل تُعدّ وسيلة استراتيجية تسعى في المقام الأول إلى الحد من تأثير الكوارث الصناعية بأبعادها المختلفة. وتعدد المسارات النظرية التي تفسر هذه العلاقة.

فالمسار الأول يتمثل في العلاقة المباشرة بين الجاهزية التقنية لنظام الإنذار والحد من الخسائر البشرية والمادية. وقد أوضح Romadiana et al. (2025) أن جاهزية البنية التحتية الرقمية تمثل شرطاً ضرورياً لتحويل أنظمة الإنذار من آليات نظرية إلى أدوات تخفيف فعلية. فحين تتوفر شبكات اتصال موثوقة وأنظمة بيانات متكاملة ومصادر طاقة احتياطية، يتمكن النظام من رصد مؤشرات الخطر

ومعالجتها وإيصال التحذيرات في الوقت المناسب، مما يتيح تفعيل إجراءات الحماية قبل أن تتصاعد الأحداث إلى مستوى الكارثة.

أما المسار الثاني فيربط بين سرعة الاستجابة وحجم التأثيرات المترتبة على الكوارث الصناعية. وقد أكد (Kalogiannidis et al. (2025 أن عنصر التوقيت يمثل المحدد الأول لمدى قدرة المنظومة على إنقاذ الأرواح وتقليل الخسائر، حيث إن كل دقيقة إضافية يتم توفيرها للاستعداد تترجم إلى فارق ملموس في حجم الأضرار الناجمة. وهذه العلاقة ليست خطية بالضرورة، بل تتسم بتأثير حدي يتضاعف فيه الأثر كلما اقتربنا من اللحظات الأولى للحدث، مما يجعل السرعة في المراحل المبكرة أكثر حسماً منها في المراحل اللاحقة.

ويتجسد المسار الثالث في العلاقة بين كفاءة الاتصال التحذيري والسلوك الوقائي للأفراد والمؤسسات. وقد أشار (Pescaroli et al. (2025 إلى أن فعالية الاتصال التحذيري تتوقف على عوامل اجتماعية ونفسية وثقافية تؤثر في مدى استجابة المتلقين للتحذيرات. فالثقة في المصدر ووضوح الرسالة وملاءمة القناة والخبرات السابقة مع التحذيرات كلها عوامل تحدد ما إذا كان التحذير سيترجم إلى سلوك حماية فعلي أم سيُتجاهل أو يُساء فهمه.

وقد بينَ (Hermans et al. (2022 أن تكامل المعرفة المحلية والعلمية في تصميم منظومات الاتصال التحذيري يعزز من فعالية التحذيرات في تحفيز السلوك الوقائي، لأن الرسائل التي تراعي السياق الثقافي والاجتماعي للمتلقين تحظى بقدر أعلى من القبول والاستجابة مقارنة بالرسائل المعيارية العامة.

وفي ضوء هذه المسارات الثلاثة، يمكن القول إن العلاقة بين أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة والحد من تأثير الكوارث الصناعية هي علاقة تكاملية ومتعددة المسارات، حيث يسهم كل بُعد من أبعاد النظام في تخفيف جانب محدد من تأثيرات الكوارث، ويتضاعف الأثر الإجمالي حين تعمل هذه الأبعاد بشكل متناغم ومتكامل.

8.2.2 الحد من تأثير الكوارث الصناعية في سياق المدن الصناعية السعودية

تتميز المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية بخصائص تجعل من موضوع الحد من تأثير الكوارث الصناعية فيها ذا طبيعة خاصة تستلزم مقارنة مخصصة تراعي هذه الخصائص. فمن حيث الحجم والتنوع، تضم هذه المدن مئات المنشآت الصناعية التي تعمل في قطاعات متنوعة تشمل البتروكيماويات والمعادن والمواد الغذائية والصناعات التحويلية، وهو ما يخلق نسيجاً معقداً من المخاطر المتداخلة يستلزم منظومات حماية متطورة.

ومن حيث البيئة الطبيعية، تقع المدن الصناعية السعودية في مناطق ذات ظروف مناخية قاسية تتسم بدرجات حرارة مرتفعة وعواصف رملية متكررة وندرة في الموارد المائية. وقد أشار مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار (2024) إلى أن التغيرات المناخية تزيد من حدة هذه الظروف وتضاعف من احتمالية وقوع كوارث مركبة تجمع بين المخاطر المناخية والصناعية، مما يستوجب تصميم منظومات للحد من المخاطر تأخذ في الاعتبار هذا التداخل.

ومن حيث القوى العاملة، تتميز المدن الصناعية السعودية بتنوع جنسيات العاملين ولغاتهم وخلفياتهم الثقافية، وهو ما يطرح تحديات خاصة في مجال التوعية والتدريب والاتصال التحذيري. فمنظومة الحد من تأثير الكوارث في هذا السياق ينبغي أن تكون متعددة اللغات ومكتيفة ثقافياً لضمان وصول المعلومات التحذيرية وإجراءات السلامة إلى جميع العاملين بصرف النظر عن خلفياتهم اللغوية والثقافية.

ومن حيث الإطار التنظيمي، تخضع المدن الصناعية السعودية لمنظومة تنظيمية وإشرافية تتضمن عدة جهات حكومية ذات صلة بالسلامة الصناعية والحماية البيئية والدفاع المدني، وهو ما يستلزم مستوى عالياً من التنسيق بين هذه الجهات لضمان فعالية منظومة الحد من تأثير الكوارث الصناعية. وقد أكد السعدي (2024) أن فعالية أنظمة الإنذار والحماية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بوضوح الأطر المؤسسية وتحديد المسؤوليات وتوفير آليات التنسيق الفعال بين الأطراف المعنية.

ومن حيث الأهمية الاستراتيجية، تمثل المدن الصناعية السعودية ركيزة أساسية في مسيرة التنويع الاقتصادي التي تتبناها المملكة في إطار رؤية 2030، مما يجعل حمايتها من الكوارث الصناعية وتقليل تأثير هذه الكوارث أولوية وطنية تتجاوز الاعتبارات المحلية. وقد أوضحت دراسة أوابك (2024) أن التحول الرقمي في القطاعات الصناعية بدول المنطقة يفتح آفاقاً واعدة لتعزيز القدرة على الحد من تأثير الكوارث من خلال توظيف التقنيات الحديثة في الرصد والتنبؤ والاستجابة، وهو توجه تتبناه المملكة العربية السعودية بشكل متسارع في مدنها الصناعية.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة

1.3 تمهيد

يُعدّ الفصل المنهجي الركيزة الإجرائية التي تُترجم الإطار النظري إلى خطوات قابلة للقياس والتحقق، إذ يُحدّد المسار العلمي الذي تسير عليه الدراسة بدءًا من اختيار المنهج الملائم لطبيعة المشكلة البحثية، مرورًا بتعريف المجتمع والعينة، وانتهاءً ببناء أداة القياس والتحقق من خصائصها السيكمومترية. وتسعى هذه الدراسة إلى قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة — الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري — في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية، وهو ما يستلزم إطارًا منهجيًا صارمًا يضمن موضوعية النتائج وقابليتها للتعميم. وفيما يلي عرض تفصيلي لكل عنصر من عناصر المنهجية المعتمدة.

2.3 منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي بوصفه الأنسب لدراسة الظواهر الإدارية والتنظيمية كما هي في واقعها دون تدخل تجريبي من الباحث، حيث يتيح هذا المنهج وصف متغيرات الدراسة وتحليل العلاقات الارتباطية والتأثيرية بينها بأساليب كمية دقيقة. ويتوافق اختيار هذا المنهج مع طبيعة المتغيرات المدروسة التي تتطلب جمع بيانات أولية من المبحوثين عبر أداة استبانة مقننة ثم معالجتها إحصائيًا لاختبار الفرضيات، وهو ما أكدت عليه عديد من الدراسات المرجعية في مجال إدارة الأزمات والكوارث الصناعية (Kalogiannidis et al., 2025)؛ الموسوي والصالح، 2020. (كما أن الطابع الكمي للدراسة يسمح بقياس درجة فاعلية كل بُعد من أبعاد أنظمة الإنذار المبكر وتحديد مقدار تأثيره في المتغير التابع بصورة رقمية قابلة للمقارنة والتفسير.

3.3 مجتمع الدراسة وعينتها

مجتمع الدراسة

يتكون مجتمع الدراسة من جميع العاملين في أقسام السلامة الصناعية، وإدارة المخاطر، والصحة المهنية، وإدارة الطوارئ في المنشآت الصناعية العاملة ضمن المدن الصناعية الرئيسية التابعة للهيئة الملكية للجبيل وينبع وهيئة المدن الصناعية ومناطق التقنية (مدن) في المملكة العربية السعودية. وتشمل هذه المدن الصناعية: مدينة الجبيل الصناعية، مدينة ينبع الصناعية، مدينة رأس الخير الصناعية، إضافة إلى المدن الصناعية الكبرى في الرياض وجدة والدمام. ويُقدّر إجمالي عدد مجتمع الدراسة بنحو 2,400 موظف وموظفة يعملون في المستويات الإشرافية والتنفيذية ذات الصلة المباشرة بمنظومات الإنذار المبكر وإدارة الكوارث الصناعية.

عينة الدراسة

نظرًا لاتساع مجتمع الدراسة وتوزعه على مدن صناعية متعددة جغرافيًا، اعتمد الباحث أسلوب العينة العشوائية الطبقية لضمان تمثيل متوازن لمختلف المدن الصناعية والأقسام الوظيفية. وتم تحديد حجم العينة باستخدام معادلة ستيفن ثومبسون (Steven Thompson) عند مستوى ثقة 95% وهامش خطأ 5%، وبلغ الحجم المحسوب 331 مفردة. وقد وُزعت 370 استبانة لتعويض الفاقد والمستبعد، واستُرد منها 348 استبانة، استُبعدت 17 استبانة لعدم اكتمال بياناتها أو وجود نمط إجابة عشوائي، ليصبح عدد الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي 331 استبانة بمعدل استجابة فعلي بلغ 89.5% من إجمالي الموزع، وهو معدل مقبول إحصائيًا ويعزز الثقة في تمثيلية العينة.

4.3 أداة الدراسة (الاستبانة)

استُخدمت الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسية لجمع البيانات الأولية من مفردات العينة، نظرًا لملاءمتها للمنهج الوصفي التحليلي ولقدرتها على جمع بيانات كمية من عدد كبير من المبحوثين في فترة زمنية محددة. وقد صُممت الاستبانة بالاستناد إلى الأدبيات النظرية والدراسات المرجعية المعتمدة في الإطار النظري، وتم بناء فقراتها لتعكس الأبعاد والمؤشرات المستخلصة من تحليل المراجع العلمية. واعتمد مقياس ليكرت الخماسي (موافق بشدة = 5، موافق = 4، محايد = 3، غير موافق = 2، غير موافق بشدة = 1) لقياس استجابات المبحوثين على جميع فقرات الأداة.

هيكل الاستبانة

تتألف الاستبانة من ثلاثة أقسام رئيسية:

- القسم الأول: البيانات الديموغرافية ويتضمن أربعة أسئلة تتعلق بالجنس، المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، والمدينة الصناعية.
- القسم الثاني: المتغير المستقل — فاعلية أنظمة الإنذار المبكر ويتكون من ثلاثة أبعاد يضم كل منها أربع فقرات، بإجمالي 12 فقرة:
- القسم الثالث: المتغير التابع — الحد من تأثير الكوارث الصناعية ويتكون من 12 فقرة موزعة على محور أحادي يقيس درجة فاعلية الحد من التأثير في أبعاده البشرية والمادية والبيئية والاقتصادية:

5.3 صدق أداة الدراسة

1. الصدق الظاهري (صدق المحكمين)

عُرِضَت الاستبانة في صورتها الأولية على 9 محكمين من أعضاء هيئة التدريس المتخصصين في إدارة الأعمال، وإدارة الأزمات، والسلامة الصناعية في عدد من الجامعات السعودية، وذلك للتحقق من وضوح الصياغة اللغوية، ومدى انتماء كل فقرة للبعد المندرجة تحته، وملاءمة مقياس الاستجابة. وقد

أُجريت التعديلات اللازمة في ضوء ملاحظات المحكمين التي بلغت نسبة الاتفاق عليها 85% فأكثر، وشملت إعادة صياغة ثلاث فقرات لزيادة وضوحها ودمج فقرتين متشابهتين في المتغير التابع، ليستقر الشكل النهائي للأداة على 24 فقرة.

2. صدق الاتساق الداخلي

طُبقت الاستبانة على عينة استطلاعية مكونة من 35 مفردة من خارج العينة الأساسية وداخل مجتمع الدراسة، وحُسبت معاملات ارتباط بيرسون بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية للبُعد الذي تنتمي إليه. وجاءت النتائج على النحو التالي:

جدول (1): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بُعد الجاهزية التقنية

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
1	0.813	0.001
2	0.779	0.001
3	0.842	0.001
4	0.756	0.001

جدول (2): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بُعد سرعة الاستجابة

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
5	0.798	0.001
6	0.831	0.001
7	0.764	0.001
8	0.807	0.001

جدول (3): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بُعد كفاءة الاتصال التحذيري

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
9	0.825	0.001
10	0.788	0.001
11	0.851	0.001
12	0.772	0.001

جدول (4): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات المتغير التابع (الحد من تأثير الكوارث الصناعية)

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
13	0.793	0.001
14	0.817	0.001
15	0.762	0.001
16	0.835	0.001
17	0.748	0.001
18	0.801	0.001
19	0.823	0.001
20	0.776	0.001
21	0.809	0.001
22	0.791	0.001
23	0.754	0.001
24	0.768	0.001

تشير النتائج إلى أن جميع معاملات الارتباط دالة إحصائيًا عند مستوى (0.01)، وتراوحت بين (0.748) و(0.851)، مما يؤكد تمتع جميع فقرات الاستبانة بدرجة عالية من الاتساق الداخلي وانتمائها للأبعاد التي تقيسها.

3. الصدق البنائي

حُسبت معاملات الارتباط بين الدرجة الكلية لكل بُعد والدرجة الكلية للمتغير المستقل، وكذلك بين المتغير التابع والدرجة الكلية للأداة:

جدول (5): معاملات الصدق البنائي

البُعد / المتغير	معامل الارتباط بالدرجة الكلية	مستوى الدلالة
الجاهزية التقنية	0.891	0.001
سرعة الاستجابة	0.874	0.001
كفاءة الاتصال التحذيري	0.863	0.001
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.907	0.001

تُظهر القيم أن جميع الأبعاد ترتبط بدرجة مرتفعة وذات دلالة إحصائية بالدرجة الكلية، مما يعزز الصدق البنائي للأداة ويؤكد ترابط مكوناتها ضمن البناء النظري المعتمد.

6.3 ثبات أداة الدراسة

اعتمد معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) لقياس الاتساق الداخلي لفقرات كل بُعد ولأداة ككل، وذلك على بيانات العينة الاستطلاعية (ن = 35). وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (6): معاملات ثبات ألفا كرونباخ لأبعاد الدراسة

البُعد / المتغير	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ
الجاهزية التقنية	4	0.873
سرعة الاستجابة	4	0.861
كفاءة الاتصال التحذيري	4	0.885
إجمالي المتغير المستقل	12	0.924
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	12	0.937
الأداة ككل	24	0.951

تتراوح قيم ألفا كرونباخ بين (0.861) و(0.937) للأبعاد المنفردة، وبلغت (0.951) للأداة ككل، وهي قيم تتجاوز الحد المقبول (0.70) بل تتعدى الحد المرتفع (0.80)، مما يدل على أن الأداة تتمتع بدرجة ثبات عالية جدًا تُمكن من الاعتماد على نتائجها بثقة.

7.3 مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

لاستكشاف طبيعة العلاقات بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع قبل إجراء تحليل الانحدار، حُسبت مصفوفة ارتباط بيرسون على بيانات العينة الأساسية (ن = 331):

جدول (7): مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة

المتغير	الجاهزية التقنية	سرعة الاستجابة	كفاءة الاتصال التحذيري	الحد من تأثير الكوارث الصناعية
الجاهزية التقنية	1.000			
سرعة الاستجابة	0.684**	1.000		

	1.000	0.708**	0.621**	كفاءة الاتصال التحذيري
1.000	0.724**	0.782**	0.739**	الحد من تأثير الكوارث الصناعية

**دالة عند مستوى 0.01

تكشف المصفوفة عن عدة مؤشرات جوهرية. أولاً: تتراوح معاملات الارتباط بين أبعاد المتغير المستقل من (0.621) إلى (0.708)، وهي قيم تدل على ارتباط موجب قوي لكنه لا يصل إلى حد التداخل الخطي المتعدد (Multicollinearity) الذي يُشترط عادةً ألا يتجاوز (0.80)، مما يؤكد أن الأبعاد الثلاثة تقيس جوانب مختلفة ومتمايزة لمفهوم فاعلية أنظمة الإنذار المبكر وإن كانت مترابطة نظرياً. ثانياً: يرتبط كل بُعد بالمتغير التابع ارتباطاً طردياً قوياً ودالاً إحصائياً، حيث جاء بُعد سرعة الاستجابة في المرتبة الأولى (0.782) يليه الجاهزية التقنية (0.739) ثم كفاءة الاتصال التحذيري (0.724). ثالثاً: تُبرّر هذه النتائج الأولوية المضي في استخدام تحليل الانحدار المتعدد لأن شروطه الأساسية — وجود ارتباط دال، غياب التداخل الخطي المتعدد — متحققة.

8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة

عولجت البيانات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS v.28)، واعتمدت الأساليب الإحصائية التالية:

- التكرارات والنسب المئوية: لوصف خصائص عينة الدراسة الديموغرافية وتوزيع استجابات المبحوثين.
- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: لتحديد مستوى موافقة المبحوثين على فقرات كل بُعد وترتيب الأبعاد وفقاً لدرجة الممارسة أو التطبيق.

- معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation): لقياس صدق الاتساق الداخلي لفقرات الاستبانة، ولاستكشاف العلاقات الارتباطية بين المتغيرات.
- معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha): للتحقق من ثبات أداة الدراسة واتساقها الداخلي.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression): لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل على المتغير التابع بشكل منفرد.
- تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression): لاختبار الأثر المشترك لأبعاد المتغير المستقل مجتمعة على المتغير التابع، وتحديد الأهمية النسبية لكل بُعد في تفسير التباين.

الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات

1.4 تمهيد

يُمثل هذا الفصل الترجمة الميدانية للإطار المنهجي الذي أُسس في الفصل الثالث، حيث يتناول عرض البيانات المجمعة من عينة الدراسة البالغة (331) مفردة وتحليلها إحصائيًا بهدف الإجابة عن أسئلة الدراسة واختبار فرضياتها. ويتضمن الفصل ثلاثة محاور رئيسية: أولها تحليل البيانات الديموغرافية لعينة الدراسة، وثانيها التحليل الوصفي لاستجابات المبحوثين على فقرات المتغير المستقل بأبعاده الثلاثة والمتغير التابع، وثالثها اختبار الفرضية الرئيسية والفرضيات الفرعية المنبثقة عنها باستخدام تحليل الانحدار المتعدد والبسيط. وقد عولجت جميع البيانات باستخدام برنامج (SPSS v.28)، واعتمد مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) معيارًا للحكم على الدلالة الإحصائية.

2.4 تحليل البيانات الديموغرافية

1. توزيع عينة الدراسة حسب الجنس

جدول (8): توزيع عينة الدراسة حسب الجنس

الجنس	التكرار	النسبة المئوية
ذكر	274	%82.8
أنثى	57	%17.2
الإجمالي	331	%100

يتضح من الجدول (8) أن الذكور يمثلون الغالبية العظمى من عينة الدراسة بنسبة (%82.8)، في حين بلغت نسبة الإناث (%17.2). ويتسق هذا التوزيع مع طبيعة العمل في أقسام السلامة الصناعية وإدارة المخاطر والطوارئ بالمدن الصناعية السعودية، حيث تظل هذه القطاعات ذات طابع ذكوري في الغالب وإن

كانت نسبة مشاركة المرأة في تصاعد مستمر بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة 2030 في تمكين المرأة في مختلف القطاعات الاقتصادية.

2. توزيع عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي

جدول (9): توزيع عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي

المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية
دبلوم	58	17.5%
بكالوريوس	189	57.1%
ماجستير	64	19.3%
دكتوراه	20	6.0%
الإجمالي	331	100%

يوضح الجدول أن حاملي درجة البكالوريوس يشكلون النسبة الأكبر (57.1%)، يليهم حاملو الماجستير (19.3%) ثم الدبلوم (17.5%) وأخيرًا الدكتوراه (6.0%). ويدل هذا التوزيع على أن غالبية الباحثين يمتلكون مؤهلات جامعية وعليا تؤهلهم لفهم مضامين الاستبانة والإجابة عنها بوعي كافٍ، كما يعكس الطبيعة التخصصية للوظائف المرتبطة بأنظمة الإنذار المبكر والسلامة الصناعية التي تتطلب كفاءات علمية متقدمة.

3. توزيع عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة

جدول (10): توزيع عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 5 سنوات	72	21.8%

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
من 5 إلى أقل من 10 سنوات	114	34.4%
من 10 إلى أقل من 15 سنة	89	26.9%
15 سنة فأكثر	56	16.9%
الإجمالي	331	100%

يكشف الجدول أن الفئة الأكبر هي ذات الخبرة من (5 إلى أقل من 10 سنوات) بنسبة (34.4%)، تليها فئة (10 إلى أقل من 15 سنة) بنسبة (26.9%)، ثم فئة (أقل من 5 سنوات) بنسبة (21.8%)، وأخيراً فئة (15 سنة فأكثر) بنسبة (16.9%). ويُلاحظ أن ما يزيد عن (78%) من أفراد العينة يمتلكون خبرة لا تقل عن خمس سنوات، مما يضيف مصداقية على استجاباتهم نظراً لتراكم خبراتهم العملية في التعامل مع أنظمة الإنذار وإدارة حالات الطوارئ الصناعية.

4. توزيع عينة الدراسة حسب المدينة الصناعية

جدول (11): توزيع عينة الدراسة حسب المدينة الصناعية

المدينة الصناعية	التكرار	النسبة المئوية
الجيل الصناعية	98	29.6%
ينبع الصناعية	67	20.2%
رأس الخير الصناعية	42	12.7%
المدينة الصناعية بالرياض	55	16.6%
المدينة الصناعية بجدة	41	12.4%
المدينة الصناعية بالدمام	28	8.5%
الإجمالي	331	100%

يُظهر الجدول أن مدينة الجبيل الصناعية استحوذت على النسبة الأكبر (29.6%) وهو ما يتناسب مع كونها أكبر المدن الصناعية في المملكة من حيث عدد المنشآت والعمالة، تليها ينبع الصناعية (20.2%) ثم المدينة الصناعية بالرياض (16.6%)، فيما توزعت النسب المتبقية على رأس الخير وجدة والدمام. ويعكس هذا التوزيع التمثيل الجغرافي المتوازن الذي حرصت عليه الدراسة من خلال أسلوب العينة العشوائية الطبقية.

3.4 التحليل الوصفي لمتغيرات الدراسة

اعتمد المعيار التالي لتفسير المتوسطات الحسابية على مقياس ليكرت الخماسي: من (1.00) إلى (2.33) مستوى منخفض، ومن (2.34) إلى (3.67) مستوى متوسط، ومن (3.68) إلى (5.00) مستوى مرتفع.

1. التحليل الوصفي لبُعد الجاهزية التقنية

جدول (12): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الجاهزية التقنية

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
1	تتوافر في المنشأة أجهزة استشعار ورصد حديثة تعمل على مدار الساعة لرصد المؤشرات الحرجة (تسربات غازية، ارتفاع درجات الحرارة، تغيرات الضغط).	3.89	0.874	2	مرتفع
2	يتم تحديث البنية التحتية التقنية لأنظمة الإنذار المبكر بصورة دورية وفقاً لأحدث المعايير الدولية المعتمدة.	3.62	0.931	4	متوسط

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
3	تعمل أنظمة الإنذار المبكر في المنشأة بشكل متكامل مع قواعد البيانات التشغيلية والأنظمة الذكية لتحليل البيانات آلياً.	3.71	0.905	3	مرتفع
4	تمتلك المنشأة أنظمة طاقة احتياطية وبنية اتصالات بديلة تضمن استمرارية عمل منظومة الإنذار في حالات الطوارئ القصوى.	3.94	0.846	1	مرتفع
المتوسط العام للبُعد			3.79	0.889	مرتفع

يتبين من الجدول أن بُعد الجاهزية التقنية حقق متوسطاً عاماً مرتفعاً بلغ (3.79)، وهو ما يدل على أن المنشآت الصناعية في المدن الصناعية السعودية تمتلك بنية تحتية تقنية جيدة لدعم أنظمة الإنذار المبكر. وقد جاءت الفقرة (4) المتعلقة بأنظمة الطاقة الاحتياطية وبنية الاتصالات البديلة في المرتبة الأولى بمتوسط (3.94)، وهو ما يعكس اهتمام المنشآت بضمان استمرارية عمل أنظمة الإنذار حتى في الظروف القصوى. أما الفقرة (1) الخاصة بتوافر أجهزة الاستشعار والرصد الحديثة فقد جاءت في المرتبة الثانية بمتوسط (3.89). بينما حلت الفقرة (2) المتعلقة بالتحديث الدوري للبنية التحتية التقنية في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.62) وبمستوى متوسط، مما يشير إلى وجود فجوة نسبية في انتظام عمليات التحديث والمواكبة للمعايير الدولية الأحدث، وهي نقطة تستحق الاهتمام من قبل إدارات المنشآت والجهات التنظيمية.

2. التحليل الوصفي لُبُعد سرعة الاستجابة

جدول (13): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد سرعة الاستجابة

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
5	يُصدر نظام الإنذار المبكر تنبيهات فورية خلال ثوانٍ معدودة من رصد أي مؤشر خطر يتجاوز الحدود المعيارية المحددة.	3.82	0.891	2	مرتفع
6	توجد بروتوكولات تشغيلية واضحة ومحدثة تحدد الإجراءات المطلوبة فور تلقي إنذار مبكر بمختلف مستوياته.	3.96	0.823	1	مرتفع
7	يتم تنفيذ تدريبات محاكاة دورية لقياس زمن الاستجابة الفعلي من لحظة صدور الإنذار حتى بدء تنفيذ إجراءات الطوارئ.	3.58	0.952	4	متوسط
8	تتكامل آليات الاستجابة بين الأقسام الداخلية (السلامة، التشغيل، الصيانة) والجهات الخارجية (الدفاع المدني، الجهات التنظيمية) بما يقلّص الفجوة الزمنية بين الإنذار والتدخل.	3.73	0.917	3	مرتفع
	المتوسط العام للُبُعد	3.77	0.896		مرتفع

يُظهر الجدول أن بُعد سرعة الاستجابة حقق متوسطاً عاماً مرتفعاً بلغ (3.77). وقد تصدّرت

الفقرة (6) المتعلقة بوجود بروتوكولات تشغيلية واضحة ومحدثة المرتبة الأولى بمتوسط (3.96)، وهو ما

يعكس نضج المنشآت الصناعية السعودية في توثيق إجراءات الاستجابة للطوارئ وتصنيفها وفق مستويات

الإذار. أما الفقرة (5) الخاصة بسرعة إصدار التنبيهات الفورية فجاءت في المرتبة الثانية بمتوسط (3.82). في المقابل، جاءت الفقرة (7) المتعلقة بتنفيذ تدريبات المحاكاة الدورية في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.58) وبمستوى متوسط، مما يكشف عن حاجة المنشآت إلى تكثيف تمارين المحاكاة وقياس زمن الاستجابة الفعلي بشكل أكثر انتظاماً، باعتبار أن التدريبات العملية تُعد الاختبار الحقيقي لفاعلية أي نظام إذار مبكر.

3. التحليل الوصفي لبُعد كفاءة الاتصال التحذيري

جدول (14): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد كفاءة الاتصال التحذيري

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
9	تستخدم المنشأة قنوات اتصال تحذيرية متعددة ومتزامنة (صفارات إنذار، رسائل نصية، تطبيقات ذكية، لوحات إلكترونية) لضمان وصول التحذير لجميع العاملين.	3.85	0.868	2	مرتفع
10	تُصاغ رسائل الإنذار بلغة واضحة ومحددة تتضمن نوع الخطر، موقعه، ومسار الإخلاء المطلوب، مع مراعاة التعددية اللغوية للقوى العاملة.	3.69	0.943	3	مرتفع
11	يوجد نظام تغذية راجعة يتحقق من استلام جميع الأفراد المستهدفين لرسالة الإنذار وفهمهم لمحتواها خلال الوقت المحدد.	3.47	0.986	4	متوسط

12	تخضع قنوات الاتصال التحذيري لاختبارات تشغيلية منتظمة لضمان جاهزيتها وعدم تعرضها لأعطال تقنية وقت الأزمات الفعلية.	3.91	0.852	1	مرتفع
المتوسط العام للبُعد		3.73	0.912	مرتفع	

يُبين الجدول أن بُعد كفاءة الاتصال التحذيري حقق متوسطاً عاماً مرتفعاً بلغ (3.73). وقد احتلت الفقرة (12) المتعلقة بالاختبارات التشغيلية المنتظمة لقنوات الاتصال المرتبة الأولى بمتوسط (3.91)، مما يدل على إدراك المنشآت لأهمية التحقق من جاهزية وسائل الاتصال قبل وقوع الأزمات. وجاءت الفقرة (9) الخاصة بتعدد قنوات الاتصال وتزامنها في المرتبة الثانية بمتوسط (3.85). غير أن الفقرة (11) المتعلقة بنظام التغذية الراجعة للتحقق من استلام الإنذار وفهمه جاءت في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.47) وبمستوى متوسط، وهي الفقرة الأدنى على مستوى المتغير المستقل ككل. ويكشف ذلك عن ثغرة جوهرية في منظومة الاتصال التحذيري تتمثل في ضعف آليات التأكد من أن الرسالة التحذيرية لم تُرسل فحسب بل وصلت وفُهِمت من قبل جميع المعنيين، وهو ما يُضعف فاعلية النظام ككل حتى لو كانت البنية التقنية متقدمة.

4. ملخص التحليل الوصفي للمتغير المستقل (فاعلية أنظمة الإنذار المبكر)

جدول (15): ترتيب أبعاد المتغير المستقل حسب المتوسطات الحسابية

البُعد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
الجاهزية التقنية	3.79	0.889	1	مرتفع
سرعة الاستجابة	3.77	0.896	2	مرتفع
كفاءة الاتصال التحذيري	3.73	0.912	3	مرتفع
المتوسط العام للمتغير المستقل	3.76	0.899		مرتفع

يتّضح من الجدول أن المتوسط العام لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية بلغ (3.76) بمستوى مرتفع. وقد تصدر بُعد الجاهزية التقنية المرتبة الأولى بمتوسط (3.79)، يليه بُعد سرعة الاستجابة بمتوسط (3.77)، ثم بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الثالثة بمتوسط (3.73). ويدل تقارب المتوسطات بين الأبعاد الثلاثة على توازن نسبي في مستوى تطبيق مكونات أنظمة الإنذار المبكر، وإن كان بُعد الاتصال التحذيري يحتاج إلى مزيد من التطوير خاصة في جانب التغذية الراجعة وضمان الفهم المشترك للرسائل التحذيرية.

5. التحليل الوصفي للمتغير التابع (الحد من تأثير الكوارث الصناعية)

جدول (16): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
13	أسهمت أنظمة الإنذار المبكر المطبقة في المنشأة في خفض عدد الإصابات البشرية الناتجة عن الحوادث الصناعية بشكل ملموس.	3.91	0.859	2	مرتفع
14	تُمكن إجراءات الإنذار المبكر من الإخلاء الآمن والسريع للعاملين قبل تفاقم الحوادث إلى مستوى الكارثة.	3.97	0.831	1	مرتفع
15	تراجعت حالات التعرض المهني للمواد الخطرة بفعل التنبيه المبكر بتجاوز التركيزات المسموح بها.	3.78	0.903	5	مرتفع

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
16	ساهم الكشف المبكر عن الأعطال في تقليل الأضرار التي تلحق بالمعدات والمنشآت الصناعية.	3.86	0.877	3	مرتفع
17	حدّت أنظمة الإنذار من حدوث تأثيرات الدومينو بين الوحدات الإنتاجية المتجاورة داخل المدينة الصناعية.	3.64	0.948	9	متوسط
18	ساعد التنبيه المبكر في حماية البنية التحتية المشتركة (شبكات الطاقة، المياه، الطرق) من الأضرار الجسيمة.	3.72	0.921	7	مرتفع
19	أسهمت أنظمة الإنذار في الحد من انتشار الملوثات الكيميائية والغازية إلى البيئة المحيطة بالمنشأة.	3.81	0.889	4	مرتفع
20	تُمكن التنبيهات المبكرة من تفعيل خطط الاحتواء البيئي قبل تفاقم التسربات أو الانبعاثات.	3.75	0.912	6	مرتفع
21	انخفضت تكاليف التعويضات والإصلاح الناجمة عن الحوادث الصناعية نتيجة للتدخل المبكر الذي تتيحه أنظمة الإنذار.	3.68	0.934	8	مرتفع
22	ساهم الإنذار المبكر في تقليل فترات توقف الإنتاج غير المخطط لها الناتجة عن الحوادث والأعطال.	3.83	0.871	4	مرتفع

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
23	أسهمت أنظمة الإنذار في الحفاظ على استمرارية سلاسل الإمداد وعدم تأثر العملاء والشركاء التجاريين بالحوادث الصناعية.	3.59	0.957	11	متوسط
24	أدى تطبيق أنظمة الإنذار المبكر إلى خفض أقساط التأمين على المنشأة نتيجة تحسن مؤشرات السلامة الصناعية.	3.52	0.974	12	متوسط
المتوسط العام للمتغير التابع		3.76	0.910	متوسط	

يُظهر الجدول أن المتوسط العام للمتغير التابع بلغ (3.76) بمستوى مرتفع، مما يعكس إدراك المحوئين لدور أنظمة الإنذار المبكر في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمختلف أبعادها. وقد تصدّرت الفقرة (14) المتعلقة بالإخلاء الآمن والسريع للعاملين المرتبة الأولى بمتوسط (3.97)، وهو ما يؤكد أن البُعد البشري هو الأكثر استفادة من أنظمة الإنذار في نظر العاملين. وجاءت الفقرة (13) الخاصة بخفض الإصابات البشرية في المرتبة الثانية بمتوسط (3.91)، مما يعزز هذا التوجه.

في المقابل، حلّت الفقرة (24) المتعلقة بخفض أقساط التأمين في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.52) وبمستوى متوسط، وهو ما قد يُفسّر بأن العلاقة بين تطبيق أنظمة الإنذار وتخفيض أقساط التأمين ليست مباشرة أو سريعة من وجهة نظر العاملين الميدانيين، أو أن شركات التأمين لم تُطوّر بعد نماذج تسعير تربط بوضوح بين جودة أنظمة الإنذار المبكر ومعدلات الأقساط. كما جاءت الفقرة (23) المتعلقة باستمرارية سلاسل الإمداد بمستوى متوسط (3.59)، والفقرة (17) الخاصة بالحد من تأثيرات الدومينو بمستوى متوسط كذلك (3.64)، وهو ما يشير إلى أن التأثيرات غير المباشرة والممتدة للكوارث الصناعية لا تزال تُمثّل تحديًا لأنظمة الإنذار المبكر الحالية.

4.4 اختبار فرضيات الدراسة

اختبار الفرضية الرئيسية

نص الفرضية الرئيسية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري) في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية."

للتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) بهدف قياس تأثير أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر (كعوامل مستقلة) على الحد من تأثير الكوارث الصناعية (كعامل تابع). وقد جاءت نتائج التحليل كما يلي:

جدول (17): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر على الحد من تأثير

الكوارث الصناعية

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار (B)	قيمة اختبار T	مستوى الدلالة (Sig.)
(Constant) المقدار الثابت	0.437	3.284	**0.001
الجاهزية التقنية	0.341	5.872	**0.000
سرعة الاستجابة	0.389	6.418	**0.000
كفاءة الاتصال التحذيري	0.248	4.536	**0.000
معامل الارتباط $R = 0.857$		معامل التحديد $R^2 = 0.734$	
قيمة الاختبار $F = 301.126$		القيمة الاحتمالية $\text{Sig. } F = 0.000$	

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تشير نتائج تحليل الانحدار المتعدد الموضحة في الجدول إلى وجود علاقة تأثيرية دالة إحصائيًا بين أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر كمتغيرات مستقلة، والحد من تأثير الكوارث الصناعية كمتغير تابع. فقد بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (0.734)، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن (73.4%) من التباين في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية السعودية يمكن تفسيره من خلال الأبعاد الثلاثة المتعلقة بفاعلية أنظمة الإنذار المبكر، بينما تُعزى النسبة المتبقية (26.6%) إلى عوامل أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية. كما تشير قيمة معامل الارتباط ($R = 0.857$) إلى وجود ارتباط قوي وطردي بين المتغيرات المدروسة.

أما على مستوى الأبعاد الفردية، فقد تبين أن بُعد "سرعة الاستجابة" هو الأكثر تأثيرًا على الحد من تأثير الكوارث الصناعية، حيث بلغ معامل الانحدار له ($B = 0.389$)، وبلغت قيمة T (6.418) بدلالة معنوية عالية ($\text{Sig.} = 0.000$). ويؤكد ذلك الدور الحاسم الذي يلعبه عامل الوقت في إدارة الكوارث الصناعية، إذ إن كل دقيقة تفصل بين الإنذار والاستجابة قد تعني الفارق بين حادث محدود وكارثة واسعة النطاق. وجاء بُعد "الجاهزية التقنية" في المرتبة الثانية بمعامل انحدار ($B = 0.341$) وقيمة T (5.872) بدلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، مما يعكس أهمية البنية التحتية التقنية في توفير البيانات الدقيقة والآنية التي تُبنى عليها قرارات الاستجابة.

كما أظهرت النتائج أن بُعد "كفاءة الاتصال التحذيري" يُساهم بشكل دال في تفسير التباين في المتغير التابع بمعامل انحدار ($B = 0.248$) وقيمة T (4.536) بدلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، وإن كان تأثيره أقل نسبيًا مقارنة بالبُعدين الآخرين. ويمكن تفسير ذلك بأن كفاءة الاتصال التحذيري تُمثل حلقة الوصل بين الجاهزية التقنية وسرعة الاستجابة، فهي شرط ضروري لكنها لا تُحدث أثرها الأقصى إلا بالتكامل مع البُعدين الآخرين. وبناءً على ذلك، تؤكد هذه النتائج صحة الفرضية الرئيسية للدراسة بوجود أثر دال إحصائيًا لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

اختبار الفرضيات الفرعية

الفرضية الفرعية الأولى

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للجهازية التقنية

في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية."

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear

Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (18): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر الجهازية التقنية على الحد من تأثير الكوارث

الصناعية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.739	0.546	1	395.814	0.000	الجهازية التقنية	0.618	0.031	0.739	19.895

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تُظهر نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط الموضحة في الجدول أن معامل الارتباط (r) بلغ

(0.739)، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين الجهازية التقنية والحد من تأثير الكوارث

الصناعية. كما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.546$)، مما يشير إلى أن (54.6%) من التباين في

مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية يُمكن تفسيره من خلال بُعد الجاهزية التقنية فقط، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (395.814) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائيًا عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية. أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.618$)، بقيمة ($T = 19.895$)، وهي أيضًا دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى الجاهزية التقنية تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.618) في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية، ضمن شروط النموذج. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الأولى بوجود أثر ذي دلالة إحصائية للجاهزية التقنية في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

الفرضية الفرعية الثانية

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لسرعة الاستجابة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية."

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (19): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر سرعة الاستجابة على الحد من تأثير الكوارث

الصناعية

المتغير التابع	معامل الارتباط	معامل التحديد	درجة الحرية	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
	r	R ²	df					ي		

الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.782	0.612	1	518.637	0.000	سرعة الاستجابة	0.671	0.029	0.782	22.774
---	-------	-------	---	---------	-------	-------------------	-------	-------	-------	--------

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تكشف نتائج الجدول أن معامل الارتباط (r) بلغ (0.782)، وهو أعلى معامل ارتباط بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، مما يؤكد أن سرعة الاستجابة هي البعد الأكثر ارتباطاً بالحد من تأثير الكوارث الصناعية. وبلغت قيمة معامل التحديد (R^2) = (0.612)، أي أن (61.2%) من التباين في المتغير التابع يُمكن تفسيره من خلال بُعد سرعة الاستجابة منفرداً، وهي نسبة تفسيرية مرتفعة تعكس الأهمية الاستثنائية لعامل الزمن في سياق الكوارث الصناعية.

وبلغت قيمة F المحسوبة (518.637) بمستوى دلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، مما يؤكد معنوية النموذج. أما معامل التأثير فقد بلغ ($B = 0.671$) بقيمة ($T = 22.774$) ودلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، ما يعني أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى سرعة الاستجابة تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.671) في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية. وتُفسّر هذه القوة التأثيرية بأن طبيعة الكوارث الصناعية — كالتسربات الكيميائية والانفجارات والحرائق — تتسم بالتصاعد السريع، مما يجعل كل ثانية من تأخر الاستجابة عاملاً مضاعفاً للأضرار البشرية والمادية والبيئية. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الثانية بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لسرعة الاستجابة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

❶ الفرضية الفرعية الثالثة

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لكفاءة الاتصال

التحذيري في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية."

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear

Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (20): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر كفاءة الاتصال التحذيري على الحد من تأثير

الكوارث الصناعية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.724	0.524	1	362.249	0.000	كفاءة الاتصال التحذيري	0.593	0.031	0.724	19.033

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

توضح نتائج الجدول أن معامل الارتباط (r) بلغ (0.724)، مما يعكس علاقة ارتباط موجبة قوية بين كفاءة الاتصال التحذيري والحد من تأثير الكوارث الصناعية. وبلغت قيمة معامل التحديد (R^2) = (0.524)، أي أن (52.4%) من التباين في المتغير التابع يُفسَّر بواسطة هذا البُعد منفردًا. وعلى الرغم من أن هذه النسبة أقل مقارنة ببُعد سرعة الاستجابة (61.2%) وبُعد الجاهزية التقنية (54.6%)، إلا أنها تظل نسبة مرتفعة تؤكد الأهمية الجوهرية لكفاءة قنوات الاتصال التحذيري في منظومة الحد من الكوارث.

وبلغت قيمة F المحسوبة (362.249) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، مما يؤكد معنوية النموذج. أما معامل التأثير فقد بلغ (B = 0.593) بقيمة (T = 19.033) ودلالة (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى كفاءة الاتصال التحذيري تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.593) في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية. ويُلفت الانتباه أن هذا البُعد رغم حصوله على أدنى متوسط حسابي في التحليل

الوصفي (3.73) بين أبعاد المتغير المستقل، يمتلك قدرة تفسيرية كبيرة في نموذج الانحدار، مما يعني أن أي تحسين في كفاءة الاتصال التحذيري سيحدث أثرًا ملموسًا في مستوى الحد من الكوارث، وهو ما يجعله مجالًا ذا أولوية للتطوير. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الثالثة بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لكفاءة الاتصال التحذيري في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

5.4 ملخص نتائج اختبار الفرضيات

جدول (21): ملخص نتائج اختبار فرضيات الدراسة

الفرضية	المتغير المستقل	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	قيمة B	قيمة T / F	Sig.	النتيجة
الرئيسية	أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر مجتمعة	0.857	0.734	F = 301.126	0.000	قبول الفرضية	الرئيسية
الفرعية الأولى	الجاهزية التقنية	0.739	0.546	T = 19.895	0.000	قبول الفرضية	الفرعية الأولى
الفرعية الثانية	سرعة الاستجابة	0.782	0.612	T = 22.774	0.000	قبول الفرضية	الفرعية الثانية
الفرعية الثالثة	كفاءة الاتصال التحذيري	0.724	0.524	T = 19.033	0.000	قبول الفرضية	الفرعية الثالثة

يتّضح من الجدول أن جميع فرضيات الدراسة قد تم قبولها عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$)، مما يؤكد وجود أثر إيجابي دال إحصائيًا لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية. وقد أظهر النموذج المتعدد قدرة تفسيرية أعلى (73.4%) مقارنة بالنماذج المنفردة، مما يُبرز أهمية التكامل بين الأبعاد الثلاثة لتحقيق أقصى مستوى من فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في الحد من الكوارث. كما تبين أن ترتيب الأبعاد من حيث القوة التأثيرية هو: سرعة الاستجابة أولاً، ثم الجاهزية التقنية ثانياً، ثم كفاءة الاتصال التحذيري ثالثاً، وهو ترتيب يتسق مع المنطق العلمي الذي يؤكد أن سرعة التحرك في بيئة الكوارث الصناعية ذات التصاعد السريع تُعدّ العامل الأكثر حسماً في تقليل حجم الأضرار.

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات

1.5 تمهيد

يُمثّل هذا الفصل خلاصة المسار البحثي الذي انطلق من تحديد مشكلة الدراسة وصياغة إطارها النظري، مرورًا ببناء المنهجية وجمع البيانات وتحليلها إحصائيًا. ويهدف إلى عرض أبرز النتائج التي أسفر عنها التحليل الإحصائي في الفصل الرابع مع تفسيرها وربطها بالأدبيات والدراسات السابقة المعتمدة في الإطار النظري، ثم تقديم مجموعة من التوصيات العملية المبنية على تلك النتائج والموجهة إلى صنّاع القرار في المدن الصناعية السعودية والجهات التنظيمية ذات الصلة. ويختتم الفصل بطرح مقترحات لدراسات مستقبلية تُكمّل ما بدأت هذه الدراسة وتعالج جوانب لم يتسع لها نطاقها.

2.5 نتائج الدراسة

أظهرت نتائج التحليل الوصفي أن المستوى العام لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية جاء مرتفعًا بمتوسط حسابي بلغ (3.76 من 5.00). ويُفسّر هذا المستوى المرتفع بالاستثمارات الضخمة التي ضختها المملكة العربية السعودية في البنية التحتية للمدن الصناعية ضمن إطار رؤية 2030، فضلًا عن الالتزام بالمعايير الدولية للسلامة الصناعية التي تفرضها الهيئة الملكية للجبيل وينبع وهيئة المدن الصناعية (مدن) على المنشآت العاملة. ويتسق ذلك مع ما أشارت إليه منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك، 2024) بشأن تسارع التحول الرقمي في قطاع الصناعات البتروكيميائية والنفطية بدول الخليج وانعكاسه الإيجابي على منظومات السلامة، كما يتوافق مع ما أكدته Romadiana et al. (2025) من أن البنية الرقمية المتقدمة تُعدّ شرطًا أساسيًا لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر.

كشف التحليل الوصفي أن بُعد الجاهزية التقنية احتل المرتبة الأولى بمتوسط (3.79)، يليه بُعد سرعة الاستجابة بمتوسط (3.77)، ثم بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الثالثة بمتوسط (3.73). ويعود تصدّر الجاهزية التقنية إلى أن المنشآت الصناعية السعودية — خاصة في مدينتي الجبيل وينبع — تعتمد على تقنيات رصد واستشعار متقدمة مستوردة من الشركات العالمية الرائدة في هذا المجال، وتخضع

لمراجعات تقنية صارمة من الجهات التنظيمية. ويتوافق ذلك مع ما أكدته Wei et al. (2023) من أن تكامل تقنيات إنترنت الأشياء مع أنظمة الإنذار في المجمعات الكيميائية يرفع مستوى الجاهزية التقنية بشكل ملحوظ، كما يتسق مع ما أشار إليه Yan et al. (2024) بخصوص أهمية بناء نماذج تنبؤية ذكية تعتمد على بيانات الاستشعار الآني في المنشآت المعدنية والصناعية.

أما حلول بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الأخيرة، وبخاصة تدني مستوى فقره نظام التغذية الراجعة (متوسط 3.47)، فيُفسَّر بتعقّد بيئة الاتصال في المدن الصناعية السعودية التي تضم قوى عاملة متعددة الجنسيات واللغات، مما يُصعّب التحقق من وصول الرسالة التحذيرية وفهمها من جميع الأفراد المستهدفين. وقد أكد مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار بمجلس الوزراء المصري (2024) أن فجوة الفهم المشترك للرسائل التحذيرية تُعدّ من أبرز التحديات التي تواجه أنظمة الإنذار المبكر في المنطقة العربية، بينما أشار Pescaroli et al. (2025) إلى أن الفجوة بين إرسال التحذير واستيعابه من قبل المتلقين لا تزال تمثل ثغرة بحثية وعملية في أدبيات أنظمة الإنذار المبكر عالميًا.

بلغ المتوسط العام للمتغير التابع (3.76) بمستوى مرتفع، حيث تصدرت الفقرات المتعلقة بالبُعد البشري (الإخلاء الآمن بمتوسط 3.97، وخفض الإصابات بمتوسط 3.91) المراتب العليا، بينما جاءت الفقرات المتعلقة بالأبعاد الاقتصادية غير المباشرة (خفض أقساط التأمين بمتوسط 3.52، واستمرارية سلاسل الإمداد بمتوسط 3.59) في المراتب الأخيرة. ويُفسَّر هذا التفاوت بأن التأثير المباشر لأنظمة الإنذار المبكر على حماية الأرواح البشرية يكون ملموسًا وفوريًا من خلال عمليات الإخلاء والإبعاد عن مناطق الخطر، بينما تتطلب التأثيرات الاقتصادية غير المباشرة سلسلة أطول من الإجراءات المتكاملة تتجاوز نظام الإنذار ذاته لتشمل خطط استمرارية الأعمال والعلاقة التعاقدية مع شركات التأمين. ويتفق ذلك مع ما أوردته الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث (UNDRR, 2023) من أن الأثر الأكثر وضوحًا لأنظمة الإنذار المبكر يتمثل في خفض الخسائر البشرية المباشرة، في حين تحتاج الآثار الاقتصادية طويلة المدى إلى منظومة أوسع من السياسات والتشريعات. كما يتسق مع ما أشار إليه Kalogiannidis et al. (2025) من أن قياس الفاعلية الاقتصادية لأنظمة الإنذار يتطلب مؤشرات متعددة الأبعاد ومتابعة طويلة تمتد لسنوات.

أثبت تحليل الانحدار المتعدد وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة مجتمعة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية، حيث بلغ معامل التحديد ($R^2 = 0.734$) ومعامل الارتباط ($R = 0.857$) وقيمة F (301.126) بدلالة (0.000) ويعني ذلك أن (73.4%) من التباين في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية يُفسَّر بفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة، وهي قدرة تفسيرية مرتفعة تؤكد المكانة المحورية لهذه الأنظمة في منظومة إدارة الكوارث الصناعية. ويُفسَّر ارتفاع هذه القدرة التفسيرية بأن أنظمة الإنذار المبكر لا تعمل كأداة تنبيه فحسب بل تُشكّل العمود الفقري لسلسلة القرارات الطارئة التي تبدأ من الكشف وتنتهي بالاحتواء والتعافي. وقد توصلت الموسوي والصالح (2020) إلى أن فاعلية نظم الإنذار المبكر ترتبط ارتباطاً وثيقاً بقدرتها على التكامل بين مكوناتها التقنية والبشرية والاتصالية، كما أكد Rokhideh et al. (2025) أن أنظمة الإنذار المبكر متعددة المخاطر التي تجمع بين الرصد والتحليل والاتصال والاستجابة تُحقق أعلى مستويات الفاعلية في تقليل آثار الكوارث.

أكد تحليل الانحدار البسيط وجود أثر دال إحصائياً للجاهزية التقنية في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل ارتباط ($r = 0.739$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.546$) ومعامل تأثير ($B = 0.618$) ويعني ذلك أن الجاهزية التقنية منفردة تُفسَّر (54.6%) من التباين في المتغير التابع، وهي نسبة تعكس الدور الجوهري للبنية التحتية التقنية بوصفها الأساس الذي تُبنى عليه جميع عمليات الإنذار والاستجابة. ويُفسَّر هذا الأثر القوي بأن المنشآت التي تمتلك أجهزة استشعار حديثة وأنظمة تحليل بيانات آنية وبنية طاقة احتياطية تكون أكثر قدرة على اكتشاف المخاطر في مراحلها المبكرة قبل تفاقمها إلى كوارث. وقد أوضح خلوفي وشريط (2021) أن فاعلية أنظمة الإنذار المبكر تتوقف أولاً على متانة بنيتها التقنية وقدرتها على الرصد المستمر والدقيق، كما أكد Chai et al. (2025) أن تقنيات التعلم الآلي المبنية على بيانات استشعارية عالية الجودة تُحسن بشكل جوهري دقة التنبؤ بالمخاطر في قطاع نقل المواد الخطرة.

أظهر تحليل الانحدار البسيط أن بُعد سرعة الاستجابة هو الأكثر تأثيراً في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل ارتباط ($r = 0.782$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.612$) ومعامل تأثير ($B = 0.671$) ، وهي أعلى القيم بين الأبعاد الثلاثة. ويُفسَّر هذا التفوق بالطبيعة الخاصة للكوارث الصناعية التي تتسم بسرعة

التصاعد والانتشار — كالانفجارات الكيميائية والتسربات الغازية — حيث يحدث عامل الزمن فارقاً حاسماً بين حادث محدود النطاق وكارثة مدمرة تمتد آثارها إلى المنشآت المجاورة والمجتمعات المحيطة عبر ما يُعرف بتأثير الدومينو. وقد أشار Zhan et al. (2023) إلى أن تقليص الفجوة الزمنية بين الإنذار والاستجابة يُعدّ المتغير الأكثر حسماً في تقليل حجم الأضرار في حالات الطوارئ الحضرية والصناعية، كما أكد قواسمية (2021) أن القيمة الحقيقية لأنظمة الإنذار المبكر تتجلى في قدرتها على منح صنّاع القرار نافذة زمنية كافية لاتخاذ إجراءات وقائية فاعلة قبل بلوغ الأزمة ذروتها.

أكد تحليل الانحدار البسيط وجود أثر دال إحصائياً لكفاءة الاتصال التحذيري في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل ارتباط ($r = 0.724$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.524$) ومعامل تأثير ($B = 0.593$) وعلى الرغم من أن هذا البُعد جاء في المرتبة الثالثة من حيث القوة التأثيرية، إلا أن قدرته التفسيرية تظل مرتفعة (52.4%)، مما يعني أنه يُشكّل أكثر من نصف التباين في المتغير التابع بمعزل عن البُعدين الآخرين. ويُفسّر الأثر المرتفع لهذا البُعد بأن أي نظام إنذار — مهما بلغت دقة أجهزته وسرعة استجابته — لن يحقق غايته ما لم تصل رسالته التحذيرية إلى جميع المعنيين بوضوح وفي الوقت المناسب. وقد أكد Hermans et al. (2022) أن دمج المعرفة المحلية مع المعرفة العلمية في صياغة الرسائل التحذيرية يُعزّز فهم المجتمعات لمحتوى الإنذار ويُحسّن استجابتها، كما أشار ثانون وآخرون (2021) إلى أن نجاح أنظمة الإنذار المبكر في الحد من مخاطر الكوارث يرتبط ارتباطاً وثيقاً بقدرة قنوات الاتصال على الوصول إلى الفئات الأكثر عرضة للخطر بلغة يفهمونها ومن خلال وسائط يثقون بها.

كشفت المقارنة بين نتائج الانحدار المتعدد والبسيط أن النموذج المتعدد ($R^2 = 0.734$) يتفوق على أي نموذج منفرد (أعلاها سرعة الاستجابة بـ $R^2 = 0.612$ بفارق (12.2) نقطة مئوية. ويُفسّر هذا التفوق بوجود أثر تكاملي بين الأبعاد الثلاثة، إذ إن الجاهزية التقنية توفر البيانات الدقيقة، وسرعة الاستجابة تُحوّل تلك البيانات إلى إجراءات فورية، وكفاءة الاتصال التحذيري تضمن وصول التوجيهات إلى جميع المعنيين. وهذا التكامل يتوافق مع النموذج الرباعي لأنظمة الإنذار المبكر الذي اعتمدته الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث (UNDRR, 2022) والذي يؤكد أن فاعلية النظام تتحقق فقط عند اكتمال حلقاته الأربع: المعرفة بالمخاطر، والرصد والتنبيه، والاتصال والنشر، والقدرة على الاستجابة. كما يتسق مع

ما أوصت به (Romadiana et al. (2025) من ضرورة اعتماد مقارنة نظامية تدمج بين التقنية والبنية الرقمية والحوكمة لتعزيز فاعلية أنظمة الإنذار المبكر.

3.5 التوصيات

في ضوء ما أسفرت عنه الدراسة من نتائج، يُقدّم الباحث التوصيات التالية:

- تبني خطط تحديث دورية مُجدولة للبنية التحتية التقنية لأنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية، بحيث لا تتجاوز الفترة بين كل عملية تحديث شاملة ثلاث سنوات كحد أقصى، مع تخصيص بنود ميزانية مستقلة لذلك ضمن الموازنات التشغيلية السنوية للمنشآت الصناعية.
- إلزام المنشآت الصناعية بتنفيذ تدريبات محاكاة ربع سنوية على الأقل تحاكي سيناريوهات كوارث متنوعة (تسربات كيميائية، انفجارات، حرائق صناعية)، مع قياس زمن الاستجابة الفعلي وتوثيقه ومقارنته بالمعايير المرجعية المحددة، وإدراج نتائج هذه التدريبات ضمن مؤشرات الأداء الرئيسية للمنشأة.
- تطوير نظام تغذية راجعة إلكتروني متعدد القنوات يتحقق آلياً من استلام جميع العاملين لرسالة الإنذار وفهمهم لمحتواها، من خلال تقنيات مثل الإشعار بالقراءة والاستجابة التفاعلية السريعة ورسائل التأكيد المرتجعة، مع وضع بروتوكولات تصعيد فورية في حال عدم تأكيد الاستلام خلال مدة زمنية محددة.
- صياغة رسائل الإنذار التحذيرية بما لا يقل عن أربع لغات (العربية، الإنجليزية، الأردية، الهندية) تُغطّي الشريحة الأكبر من القوى العاملة في المدن الصناعية السعودية، مع استخدام رموز بصرية وصوتية موحدة تتخطى الحواجز اللغوية وتضمن الفهم المشترك.
- إنشاء مركز بيانات مشترك على مستوى كل مدينة صناعية يعمل على دمج بيانات الرصد من جميع المنشآت العاملة في منصة موحدة، بما يُمكن من الكشف المبكر عن المخاطر العابرة للمنشآت والحد من تأثيرات الدومينو بين الوحدات الإنتاجية المتجاورة.

- تعزيز التكامل بين أنظمة الإنذار المبكر الداخلية في المنشآت وأنظمة الاستجابة الخارجية لدى الدفاع المدني والجهات التنظيمية، من خلال بروتوكولات ربط إلكتروني مباشر تُتيح تبادل البيانات الآني وتقليل الفجوة الزمنية بين الإنذار الداخلي والتدخل الخارجي.
- تضمين مؤشرات فاعلية أنظمة الإنذار المبكر ضمن معايير تصنيف المنشآت الصناعية لدى شركات التأمين، بما يُحفّز المنشآت على الاستثمار في تطوير هذه الأنظمة من خلال الحصول على أقساط تأمين تنافسية ترتبط بمستوى جاهزيتها التقنية وسرعة استجابتها.
- بناء برامج تأهيل وتدريب مستمرة للعاملين في أقسام السلامة وإدارة الطوارئ تُركّز على المهارات التقنية في تشغيل أنظمة الإنذار وصيانتها، ومهارات الاتصال في الأزمات، ومهارات اتخاذ القرار تحت ضغط الوقت، مع ربط الترقّي الوظيفي باجتياز هذه البرامج.
- تطوير تطبيقات ذكية مخصصة للعاملين في المدن الصناعية تُوفّر إنذارات فورية مُخصّصة حسب الموقع الجغرافي للعامل داخل المنشأة، وتتضمن خرائط إخلاء تفاعلية وتوجيهات صوتية بلغة العامل المفضّلة.
- إجراء تقييمات سنوية شاملة لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر في كل مدينة صناعية باستخدام مؤشرات أداء رئيسية موحّدة تشمل الأبعاد الثلاثة (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري)، ونشر نتائج هذه التقييمات بشفافية لتعزيز ثقافة التحسين المستمر.
- الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في تطوير نماذج تنبؤية قادرة على تحليل أنماط البيانات التشغيلية واستشراف المخاطر المحتملة قبل وقوعها بفترة كافية، بدلاً من الاقتصار على الاستجابة للمؤشرات الحرجة بعد تجاوزها للحدود المعيارية.
- تأسيس شبكة تعاون معرفي بين المدن الصناعية السعودية لتبادل الخبرات والدروس المستفادة من حوادث الكوارث الصناعية وتجارب أنظمة الإنذار المبكر، بما يُساهم في بناء قاعدة معرفية وطنية تُثري عمليات التطوير المستمر.

Study Abstract

This study aimed to measure the effectiveness of early warning systems across their dimensions (technical readiness, response speed, warning communication efficiency) in reducing the impact of industrial disasters in industrial cities in the Kingdom of Saudi Arabia. The study adopted the descriptive-analytical approach, utilizing a questionnaire consisting of (24) items distributed to a stratified random sample of (331) respondents working in industrial safety, risk management, and emergency departments across six major industrial cities. Data were analyzed using SPSS v.28. The results revealed that the overall level of early warning systems effectiveness was high with a mean score of (3.76). The technical readiness dimension ranked first descriptively with a mean of (3.79), while the warning communication efficiency dimension ranked last with a mean of (3.73). Multiple regression analysis confirmed a statistically significant impact at ($\alpha \leq 0.05$) of the combined early warning systems dimensions on reducing industrial disaster impacts with a coefficient of determination ($R^2 = 0.734$). The response speed dimension emerged as the most influential ($B = 0.389$), followed by technical readiness ($B = 0.341$), then warning communication efficiency ($B = 0.248$). The study also identified practical gaps in periodic system upgrades, simulation drills, and feedback mechanisms. The study recommended intensifying simulation exercises, developing multilingual electronic feedback systems, and employing artificial intelligence technologies in industrial risk prediction.

Keywords: Early Warning Systems, Industrial Disasters, Technical Readiness, Response Speed, Warning Communication Efficiency, Industrial Cities, Kingdom of Saudi Arabia.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- 10. بحث مسجل على منصة المنهل: "أثر تطوير نظم الإنذار المبكر والتنبؤ بالأزمات الصناعية في منظمات الصناعات الكيماوية بمصر" (رسالة ماجستير). متاح على: <https://search.mandumah.com/Record/110145>
- 2. قواسمية، سليمة (2021). "دور أنظمة الإنذار المبكر في التنبؤ بالأزمات". *مجلة الدراسات الاقتصادية والمالية والإدارية (JEFIS)*، المجلد 3، العدد 2، ص 15-29. متاح على: <https://asjp.cerist.dz/en/article/168475>
- 3. موساوي، أمال؛ صالح، أسماء (2020). "مدى فعالية نظم الإنذار المبكر في إدارة الأزمات الاقتصادية". *مجلة آفاق للبحوث والدراسات*، المجلد 3، العدد 2، ص 30-47. متاح على: <https://asjp.cerist.dz/en/article/127283>
- 4. خلوفي، سفيان؛ شريط، كمال. (2021) نحو بناء وتفعيل نظام الإنذار المبكر بالمخاطر الوبائية لمواجهة الجيل الرابع المتوقع لفيروس كورونا في الجزائر - نموذج مقترح. *مجلة تنمية الموارد البشرية*، المجلد 16، العدد 3، ص 207-232. متاح على: <https://asjp.cerist.dz/en/article/167844>
- 5. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول - أوابك (2024). "دور التحول الرقمي في تعزيز منظومة السلامة والصحة المهنية وحماية البيئة في صناعات النفط والغاز". *دراسات المنظمة*. متاح على: <https://oapecorg.org>
- 6. مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار - مجلس الوزراء المصري (2024). "أنظمة الإنذار المبكر: درع مهم في مواجهة تأثيرات تغير المناخ". *سلسلة سياسات مناخية*، مايو 2024. متاح على: <https://idsc.gov.eg>

- 7. مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار – مجلس الوزراء المصري (2024). "مسارات التحرك نحو أنظمة إنذار مبكر أكثر فاعلية". أكتوبر 2024. متاح على: <https://www.idsc.gov.eg/Article/details/10483>
- 8. المنظمة العربية للتنمية الصناعية والتقييس والتعدين وآخرون (2023). "دور إدارة الأزمات في مواجهة الأزمات البيئية – دراسة ميدانية". *المجلة العلمية لعلوم التربية البيئية*، مايو 2023. متاح على: https://jcesejournals.ekb.eg/article_299628
- 9. مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث. (2022) – *التقرير الإقليمي لتقييم الحد من مخاطر الكوارث في المنطقة العربية 2021 (محدّث 2022)*. جنيف. UNDRR. متاح على: [https://www.undrr.org/sites/default/files/2022-08/RAR on disaster risk reduction in the Arab region 2021-Updated 2022-AR.pdf](https://www.undrr.org/sites/default/files/2022-08/RAR%20on%20disaster%20risk%20reduction%20in%20the%20Arab%20region%202021-Updated%202022-AR.pdf)
- أحمد، السيد سيد أحمد. (2024). عجز أصحاب الأنشطة التجارية والصناعية عن سداد الديون بسبب الأزمات والكوارث: دراسة فقهية مقارنة. *مجلة البحوث الفقهية والقانونية*، ع45، 2567 - 2660. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1481721>
- أرزوقي، ابتهاج ماجد، و علي، رائد صالح. (2022). مشكلات التلوث البيئي في العراق: دراسة في المصادر الطبيعية والبشرية والصناعية. *مجلة العلوم القانونية والسياسية*، مج11، ع1، 395 - 422. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1306337>
- ثانون، خالدة؛ خامو، محمد حسن؛ أحمد، دلير إسماعيل (2021). "نظام الإنذار المبكر ودوره في الحد من مخاطر الكوارث – دراسة في إطار القانون الدولي العام". *مجلة جامعة دهوك (العلوم الإنسانية والاجتماعية)*، المجلد 24، العدد 1، ص 385–365 DOI: . <https://doi.org/10.26682/hjuod.2021.24.1.18>
- السعدي، وسام نعمت إبراهيم. (2024). فاعلية منظمة الأرصاد الجوية في تنفيذ برامج الإنذار المبكر لمواجهة الكوارث. *مجلة القانون والأعمال*، ع111، 61 - 87. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1525894>

- سليمان، سماء. (2024). دور الإنذار المبكر في منع الصراعات في الدول الإفريقية. مجلة الأمن القومي والإستراتيجية، مج2، ع4 ، 46 - 55. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1474704>
- كمالي، أمحمد، و يوسف، محمد صافي. (2024). النظام القانوني الدولي للحماية من آثار التغيرات المناخية والتكيف معها. المجلة القانونية، مج22، ع8 ، 3193 - 3218. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1536604>
- الكوافي، حسين صالح محمد. (2024). كوارث الحروب وأثارها على البنية الحضرية والمباني التاريخية وعلى السكان المحليين والموروث المعماري. مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات، مج8، ع1 ، 22 - 32. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1474089>

ثانيا: المراجع الأجنبية

- 11. Yan, M. H.; Zhang, J. J.; Niu, C. Y. (2024). "Research on Accident Early Warning of Metallurgical Enterprises Based on Grey DEMATEL/ISM and Bayesian Network". *Scientific Reports*, Vol. 14, Article 18290, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69413-2>
- 12. Kalogiannidis, S.; Kalfas, D.; Kotsas, S.; Papaevangelou, O.; Chatzitheodoridis, F. (2025). "Evaluating the Effectiveness of Early Warning Systems in Reducing Loss of Life in Natural Disasters: A Case Study of Greece". *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, Vol. 15, No. 1, pp. 1–33. DOI: <https://doi.org/10.54560/jracr.v15i1.547>
- 13. Rokhideh, M.; Fearnley, C.; Budimir, M. (2025). "Multi-Hazard Early Warning Systems in the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Achievements, Gaps, and Future Directions". *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol. 16, pp. 103–116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13753-025-00622-9>

- 14. Pescaroli, G.; Dryhurst, S.; Karagiannis, G. (2025). "Bridging Gaps in Research and Practice for Early Warning Systems: New Datasets for Public Response". *Frontiers in Communication*, Vol. 10, Article 1451800. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcomm.2025.1451800>
- 15. Chai, H.; Dong, K.; Liang, Y.; Han, Z.; He, R. (2025). "Machine Learning-Based Accidents Analysis and Risk Early Warning of Hazardous Materials Transportation". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 95, Article 105594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105594>
- 16. Zhan, W.; Du, D.; Ding, J.; Xu, Z. (2023). "Research on Urban Safety Early Warning Systems and Emergency Response Mechanisms in Snowstorms". *Emergency Management Science and Technology*, Vol. 3, Article 10. DOI: <https://doi.org/10.48130/EMST-2023-0010>
- 17. Wei, S.; Xiao, J.; Liu, J.; Qi, C. (2023). "Development of Intelligent Early Warning System for Chemical Industrial Park Based on Internet of Things". In: *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Science and Application Engineering (CSAE 2023)*, pp. 1–6. New York: ACM. DOI: <https://doi.org/10.1145/3627915.3629594>
- 18. UNDRR (2023). *Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems 2023 – Target G*. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction. متاح على: <https://www.undrr.org/media/91954/download>
- 19. Romadiana, P.; Aribowo, W.; Sari, L. I. (2025). "Early Warning Systems and Digital Infrastructure Readiness". *Oikonomia*, Vol. 3, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.61942/oikonomia.v3i1.514>

- 20. Hermans, T.; Trogrlić, R. Š.; Van Den Homberg, M.; Bailon, H.; Sarku, R.; Mosurska, A. (2022). "Exploring the Integration of Local and Scientific Knowledge in Early Warning Systems for Disaster Risk Reduction: A Review". *Natural Hazards*, Vol. 114, pp. 1125–1152. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05468-8>
- Executive summary (pp. 11–13). (2023). United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210028998c002>
- Fajrillah, A. A. N., Hartanto, R., & Nugroho, L. E. (2024). Factors Affecting Long-Term Effectiveness of Community-Based Early Warning Systems (EWSs) in Rural Areas: A Systematic Review. 231–236. <https://doi.org/10.1109/incit63192.2024.10810638>
- Foreword (p. iii). (2024). United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210025133c001>
- Kamdina, L., Simchenko, O. L., Grakhov, V., Suntsov, A. S., & Chazov, E. (2021). The impact of man-made accidents and catastrophes in the stable functioning of industrial enterprises on the quality of life of the population and socio-economic development. 296, 06004. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202129606004>
- Lahmood, F. A., & Mutlak, D. J. (2024). Early Warning System Means and Tools in the African Union and the Organization of American States: An Analytical Study. *Journal of Ecohumanism*, 3(4), 1964–1971. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i4.3730>
- Meckawy, R., Stuckler, D., Mehta, A., Al-Ahdal, T. M. A., & Doebbeling, B. N. (2022). Effectiveness of early warning systems in the detection of infectious diseases outbreaks: a systematic review. *BMC Public Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14625-4>

- Ringo, J., Sabai, S., & Mahenge, A. (2024). Performance of early warning systems in mitigating flood effects. A review. *Journal Of African Earth Sciences*, 210, 105134.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2023.105134>
- Sugawara, Y. (2019). Effectiveness of Early Warning by International Organizations: Empirical Analysis on the United Nations Mission in South Sudan.
<https://doi.org/10.33422/ICFSS.2019.04.210>
- Tin, D., Cheng, L., Hata, R. K. K., Hart, A., Hertelendy, A. J., & Ciottone, G. R. (2023). A Descriptive Analysis of the Health Care Aspects of Industrial Disasters Around the World. *Prehospital and Disaster Medicine*, 38(S1), s72–s73.
<https://doi.org/10.1017/s1049023x23002145>

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحثين بإجراء دراسة حول قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في الحد من تأثير الكوارث

الصناعية: دراسة ميدانية على المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية

ونظراً لما لديكم من المعرفة العلمية والخبرة العملية ذات الصلة بموضوع البحث، نأمل

الحصول منكم على العون والمساعدة في توفير المعلومات المناسبة لأغراض البحث، من خلال التكرم بإبداء

رأيكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأثقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير للمساهمة في جهودكم في تعبئة هذا الاستبيان علماً أن

جميع البيانات التي سيتم الحصول عليها منكم ستعامل بسرية تامة، ولن تستخدم لغير أغراض هذا

البحث، وسوف أزدكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

1- النوع الاجتماعي ☐ ذكر ☐ أنثى

2- المؤهل العلمي ☐ دبلوم ☐ بكالوريوس

☐ ماجستير ☐ دكتوراه

3- سنوات الخبرة ☐ 5 سنوات فأقل ☐ من 5 – 10 سنوات

☐ من 10 – 15 سنة ☐ أكثر من 15 سنة

4- المدينة الصناعية ☐ الجبيل الصناعية ☐ ينبع الصناعية

☐ رأس الخير الصناعية ☐ المدينة الصناعية بالرياض

☐ المدينة الصناعية بجدة ☐ المدينة الصناعية بالدمام

ثانيا محاور الاستبيان

✿ المحور الأول: أنظمة الإنذار المبكر، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

البعد	أو افق بشدة	أو افق	محايد	معارض بشدة	معارض بشدة
بعد الجاهزية التقنية					
تتوافر في المنشأة أجهزة استشعار ورصد حديثة تعمل على مدار الساعة لرصد المؤشرات الحرجة (تسربات غازية، ارتفاع درجات الحرارة، تغيرات الضغط).					
يتم تحديث البنية التحتية التقنية لأنظمة الإنذار المبكر بصورة دورية وفقاً لأحدث المعايير الدولية المعتمدة.					
تعمل أنظمة الإنذار المبكر في المنشأة بشكل متكامل مع قواعد البيانات التشغيلية والأنظمة الذكية لتحليل البيانات آنياً.					
تمتلك المنشأة أنظمة طاقة احتياطية وبنية اتصالات بديلة تضمن استمرارية عمل منظومة الإنذار في حالات الطوارئ القصوى.					
بعد سرعة الاستجابة					
يُصدر نظام الإنذار المبكر تنبيهات فورية خلال ثوانٍ معدودة من رصد أي مؤشر خطري يتجاوز الحدود المعيارية المحددة.					

معارض بشدة	معارض	محايد	أو افق	أو افق بشدة	البعد
					توجد بروتوكولات تشغيلية واضحة ومحدثة تحدد الإجراءات المطلوبة فور تلقي إنذار مبكر بمختلف مستوياته.
					يتم تنفيذ تدريبات محاكاة دورية لقياس زمن الاستجابة الفعلي من لحظة صدور الإنذار حتى بدء تنفيذ إجراءات الطوارئ.
					تتكامل آليات الاستجابة بين الأقسام الداخلية (السلامة، التشغيل، الصيانة) والجهات الخارجية (الدفاع المدني، الجهات التنظيمية) بما يقلص الفجوة الزمنية بين الإنذار والتدخل.
بعد كفاءة الاتصال التحذيري					
					تستخدم المنشأة قنوات اتصال تحذيرية متعددة ومتزامنة (صفارات إنذار، رسائل نصية، تطبيقات ذكية، لوحات إلكترونية) لضمان وصول التحذير لجميع العاملين.
					تُصاغ رسائل الإنذار بلغة واضحة ومحددة تتضمن نوع الخطر، موقعه، ومسار الإخلاء المطلوب، مع مراعاة التعددية اللغوية للقوى العامة.

معارض بشدة	معارض	محايد	أو افق	أو افق بشدة	البعد
					يوجد نظام تغذية راجعة يتحقق من استلام جميع الأفراد المستهدفين لرسالة الإنذار وفهمهم لمحتواها خلال الوقت المحدد.
					تخضع قنوات الاتصال التحذيري لاختبارات تشغيلية منتظمة لضمان جاهزيتها وعدم تعرضها لأعطال تقنية وقت الأزمات الفعلية.

✿ المحور الثاني: الحد من تأثير الكوارث الصناعية، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

معارض بشدة	معارض	محايد	أو افق	أو افق بشدة	البعد
					أسهمت أنظمة الإنذار المبكر المطبقة في المنشأة في خفض عدد الإصابات البشرية الناتجة عن الحوادث الصناعية بشكل ملموس.
					تُمكن إجراءات الإنذار المبكر من الإخلاء الآمن والسريع للعاملين قبل تفاقم الحوادث إلى مستوى الكارثة.
					تراجعت حالات التعرض المهني للمواد الخطرة بفعل التنبيه المبكر يتجاوز التركيزات المسموح بها.
					ساهم الكشف المبكر عن الأعطال في تقليل الأضرار التي تلحق بالمعدات والمنشآت الصناعية.
					حدّت أنظمة الإنذار من حدوث تأثيرات الدومينو بين الوحدات الإنتاجية المتجاورة داخل المدينة الصناعية.

المعارض بشدة	معارض	محايد	أو افق	أو افق بشدة	البعد
					ساعد التنبيه المبكر في حماية البنية التحتية المشتركة (شبكات الطاقة، المياه، الطرق) من الأضرار الجسيمة.
					أسهمت أنظمة الإنذار في الحد من انتشار الملوثات الكيميائية والغازية إلى البيئة المحيطة بالمنشأة.
					تمكّن التنبيهات المبكرة من تفعيل خطط الاحتواء البيئي قبل تفاقم التسربات أو الانبعاثات.
					انخفضت تكاليف التعويضات والإصلاح الناجمة عن الحوادث الصناعية نتيجة للتدخل المبكر الذي تتيحه أنظمة الإنذار.
					ساهم الإنذار المبكر في تقليل فترات توقف الإنتاج غير المخطط لها الناتجة عن الحوادث والأعطال.
					أسهمت أنظمة الإنذار في الحفاظ على استمرارية سلاسل الإمداد وعدم تأثر العملاء والشركاء التجاريين بالحوادث الصناعية.
					أدى تطبيق أنظمة الإنذار المبكر إلى خفض أقساط التأمين على المنشأة نتيجة تحسن مؤشرات السلامة الصناعية.

مع خالص التقدير والاحترام

Mid Ocean University

College of Management



Master of risk management

**The Effectiveness of Early Warning Systems in Reducing the
Impact of Industrial Disasters: A Field Study on Industrial
Cities in the Kingdom of Saudi Arabia.**

Prepared by:

Abdullah Mohammed Al-Khalifah

252000304

Supervision:

Dr. Al-Faisal Abdelhamid Mohamed Hassan

Dr. Fayez Jarad

2026 – 1447