

جامعة ميد أوشن



كلية الإدارة

تخصص إدارة المخاطر

دور المواد القابلة للاشتعال في تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل

المباني: دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية

إعداد الطالب/

حسين صالح القحطاني

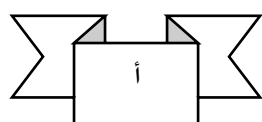
243001274

إشراف/

أ.د / الفيصل عبد الحميد

العام الدراسي:

1447 – 2025



إهداء

إلى صاحب السيرة العطرة، والفكر المستنير فلقد كان له الفضل الأول في

بلوغي التعليم العالي

(والدي الحبيب)، أطال الله في عمره.

إلى من وضعتني على طريق الحياة، وجعلتني رابط الجأش وراعتني حتى

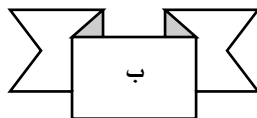
صرت كبيرا

(أمي الغالية)، طيب الله ثراها.

إلى إخوتي من كان لهم بالغ الأثر في كثير من العقبات والصعاب. إلى جميع

أساتذتي الكرام ممن لم يتوانوا في مد يد العون لي

أهدي إليكم هذا البحث



شكر ونفاد

نحمد الله عز وجل الذي وفقنا في إتمام هذا البحث العلمي،

والذي ألهمنا الصحة والعافية والعزيمة.

فالحمد لله حمداً كثيراً

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور /

د. الفیصل عبد الحمید محمد حسن

على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا في

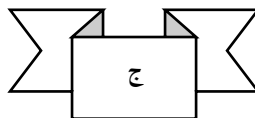
جوانبها المختلفة.

والشكر والتقدير موصول إلى إدارة جامعة ميد أو شن ممثلة بالكادر الأكاديمي والإداري، لما

قدموه من تسهيلات وتشجيع وتوفير الخدمات المطلوبة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل من لم يسعنا الحظ بذكر أسمائهم راجياً من المولي عز

وجل أن تكون هذه الدراسة نافذة لدراسات أخرى .

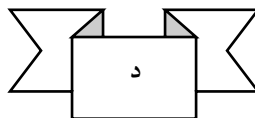


المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى محاولة التعرف على مدى تأثير المواد القابلة للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية ، وتم جمع البيانات من خلال استبانة طُبقت على عينة عشوائية من العاملين في شركات التوظيف بمدينة الرياض بلغ عددها (322) مشاركًا، وقد شملت الاستبانة (33) فقرة موزعة على المحاور الأربعة.

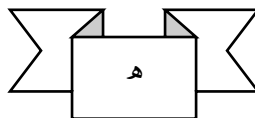
وأظهرت النتائج وجود مستوي مرتفع جدا من درجة القابلية للاشتعال كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال ، وجود مستوي مرتفع جدا من معدل إطلاق الحرارة كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال واستنادًا إلى ذلك، توصي الدراسة بـ اعتماد مواد بناء منخفضة القابلية للاشتعال ضمن معايير السلامة في جميع منشآت الشركة ، تحديث أدلة تصنيف المواد بحسب درجة خطورتها في اشتعال الحرائق واستخدامها في الديكورات أو الأثاث.

الكلمات المفتاحية: المواد القابلة للاشتعال – سرعة انتشار الحرائق – شركة أرامكو السعودية

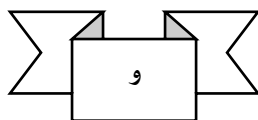


قائمة المحتويات

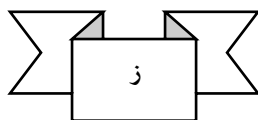
أ	بسم الله الرحمن الرحيم.....
ب	الإهداء.....
ج	الشكر والتقدير.....
د	المستخلص.....
هـ	قائمة المحتويات.....
ط	قائمة الجداول.....
1	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة.....
1	1.1 المقدمة.....
2	2.1 مشكلة البحث:.....
2	3.1 أهمية البحث:.....
4	4.1 أهداف البحث:.....
6	5.1 تساؤلات البحث:.....
6	6.1 فرضيات البحث:.....
7	7.1 الدراسات السابقة:.....
20	8.1 المنطلقات النظرية للبحث:.....
21	9.1 منهج البحث:.....
22	10.1 مصادر البيانات:.....
23	11.1 أدوات الدراسة:.....
23	12.1 الأساليب الإحصائية المتبعة.....



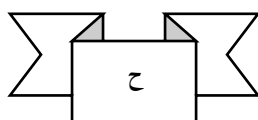
24	13.1 نموذج الدراسة:
24	14.1 حدود البحث:
25	الفصل الثاني: الإطار النظري
25	المبحث الأول: المواد القابلة للاشتعال
25	1.1.2 تمهيد
26	2.1.2 تعريف المواد القابلة للاشتعال
27	3.1.2 خصائص المواد القابلة للاشتعال
29	4.1.2 خواص المواد القابلة للاشتعال
31	5.1.2 الخصائص العامة للمواد القابلة للاشتعال
34	6.1.2 السلوك تحت الظروف البيئية المختلفة
35	7.1.2 تصنيف المواد القابلة للاشتعال
37	8.1.2 مخاطر المواد القابلة للاشتعال
39	9.1.2 التمييز بين المواد القابلة للاشتعال والمواد القابلة للانفجار
42	المبحث الثاني: انتشار الحرائق
42	1.2.2 تمهيد
43	2.2.2 مفهوم انتشار الحرائق وأسبابه الأولية
44	3.2.2 المراحل الزمنية لتطور الحريق وانتشاره
46	4.2.2 العوامل الفيزيائية المؤثرة في سرعة و انتشار الحريق
48	5.2.2 تأثير الظروف البيئية (الحرارة، الرطوبة، الرياح) على سلوك الحريق
49	6.2.2 دور المواد القابلة للاشتعال في تسريع انتشار النيران



52	الفصل الثالث: منهجية وإجراءات الدراسة.....
52	1.3 مقدمة.....
52	2.3 منهجية البحث:.....
52	3.3 مجتمع وعينة الدراسة.....
52	4.3 مصادر جمع البيانات والمعلومات:.....
53	5.3 الأساليب الإحصائية:.....
53	6.3 أداة الدراسة.....
54	7.3 صدق أداة الدراسة.....
58	8.3 ثبات أداة الدراسة:.....
59	الفصل الرابع: تحليل النتائج.....
59	1.4 مقدمة.....
59	2.4 خصائص عينة الدراسة.....
60	3.4 تحليل استمارة الاستبيان.....
69	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات والمقترحات.....
69	1.5 مقدمة.....
69	2.5 نتائج الدراسة.....
71	3.5 التوصيات.....
72	4.5 المقترحات.....
73	Abstract.....
74	قائمة المراجع.....

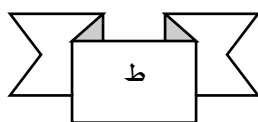


74	أولاً: المراجع العربية.....
74	ثانياً: المراجع الأجنبية.....
78	الملاحق.....
79	استمارة استبيان.....

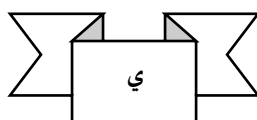


قائمة الجداول

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
53	جدول (1) مستويات موافقة عينة الدراسة على عبارات أداة الدراسة	1.
54	جدول (2) معاملات الارتباط لعبارات المحور الاول	2.
56	جدول (3) معاملات الارتباط لعبارات المحور الثاني	3.
57	جدول (4) معامل الثبات لمجاور استمارة الاستبيان	4.
58	جدول (5) توزيع عينة الدراسة وفقا لخصائصها	5.
59	جدول (6) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات درجة القابلية للاشتعال	6.
60	جدول (7) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات معدل إطلاق الحرارة	7.
61	جدول (8) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات كثافة الدخان والانبعاثات السامة	8.
63	جدول (9) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات سرعة انتشار الحرائق	9.
64	جدول (10) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر المواد القابلة للاشتعال على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية	10.



رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
65	جدول (11) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر درجة القابلية للاشتعال على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية	11.
66	جدول (12) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر معدل إطلاق الحرارة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية	12.
67	جدول (13) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر كثافة الدخان والانبعاثات السامة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية	13.



الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

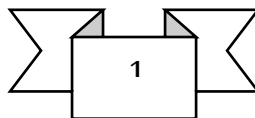
1.1 المقدمة

تُعد الحرائق من أخطر الكوارث التي تهدد سلامة الأفراد والممتلكات داخل المباني، نظرًا لما تسببه من خسائر بشرية ومادية جسيمة، وتزداد خطورة هذه الحوادث في البيئات الصناعية والتجارية، حيث تتوفر كميات كبيرة من المواد القابلة للاشتعال التي تسهم في تفاقم سرعة انتشار النيران، وتعتبر دراسة العوامل المؤثرة في سرعة انتشار الحرائق داخل المباني ذات أهمية خاصة، إذ تسهم في تطوير استراتيجيات فعالة للحد من تأثيراتها وتقليل الخسائر الناجمة عنها.

تلعب المواد القابلة للاشتعال دورًا حاسمًا في تحديد سرعة انتشار الحريق، إذ تؤثر طبيعتها الكيميائية ودرجة تطايرها على معدل احتراقها، مما يؤدي إلى انتشار اللهب في وقت قصير يصعب السيطرة عليه، وتشمل هذه المواد مجموعة واسعة من المركبات العضوية والمذيبات الكيميائية والوقود الصناعي، التي تُستخدم بكثرة في مختلف القطاعات، لا سيما في المنشآت النفطية والصناعية. ونتيجة لذلك، تبرز الحاجة إلى وضع أنظمة صارمة للحد من أخطار هذه المواد، من خلال التحكم في تخزينها ونقلها والتعامل معها بطرق تضمن الحد الأدنى من المخاطر (Hassan et al., 2022).

وفي هذا السياق، تُعتبر شركة أرامكو السعودية نموذجًا بارزًا لدراسة تأثير المواد القابلة للاشتعال على انتشار الحرائق داخل المباني، وذلك نظرًا لطبيعة عملها القائم على إنتاج وتكرير ونقل المنتجات النفطية، وهي مواد ذات قابلية عالية للاشتعال، وبالنظر إلى حجم العمليات الصناعية التي تقوم بها الشركة، فإن تقييم المخاطر المرتبطة بهذه المواد يعد أمرًا بالغ الأهمية لضمان استمرارية العمل دون تعريض البنية التحتية والعاملين لأي تهديد محتمل (Sontake et al., 2024).

من هنا، تأتي أهمية سعي هذا البحث إلى تحليل دور المواد القابلة للاشتعال في سرعة انتشار الحرائق داخل المباني التابعة لشركة أرامكو السعودية، من خلال استعراض العوامل التي تؤثر في درجة الخطورة، وتقييم الإجراءات الوقائية المتبعة، واقتراح حلول مبتكرة لتعزيز السلامة والحد من آثار



الحرائق، ويعتمد البحث على منهج تحليلي وتطبيقي يستند إلى دراسة البيانات والتجارب العملية داخل الشركة، مما يساهم في تقديم توصيات يمكن الاستفادة منها في تحسين معايير الأمان في المنشآت الصناعية المشابهة.

2.1 مشكلة البحث:

تتمحور مشكلة البحث حول الدور الذي تلعبه المواد القابلة للاشتعال في تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني، وخاصة في المنشآت الصناعية الكبرى مثل شركة أرامكو السعودية، حيث تشكل هذه المواد عاملاً رئيسياً في زيادة حدة الحريق وصعوبة السيطرة عليه. فعلى الرغم من التقدم التقني في أنظمة الحماية من الحرائق، إلا أن المخاطر المرتبطة بهذه المواد لا تزال قائمة، مما يستدعي دراسة معمقة للعوامل التي تؤثر على سرعة الاشتعال، وآليات انتقال النيران داخل البيئات الصناعية، وتبرز الإشكالية في أن عدم التحكم الأمثل في هذه المواد قد يؤدي إلى تفاقم الأضرار الناجمة عن الحرائق، سواء على مستوى الأرواح البشرية أو البنية التحتية، مما يتطلب البحث في استراتيجيات وقائية أكثر فاعلية.

وفي هذا الإطار، يسعى البحث إلى تحليل مدى كفاءة الإجراءات الحالية المتبعة في التعامل مع المواد القابلة للاشتعال، ومدى فعاليتها في الحد من سرعة انتشار الحرائق، إذ تتأثر عملية انتشار اللهب بعدة عوامل، منها طبيعة المواد المستخدمة في البناء، وطرق تخزين المواد القابلة للاشتعال، وأنظمة التهوية داخل المباني، وهو ما يستوجب تقييم هذه العوامل بشكل علمي لتحديد أوجه القصور والعمل على تحسين استراتيجيات السلامة وتقليل المخاطر المرتبطة بهذه المواد، وتعزيز مستوى الأمان في المنشآت الصناعية.

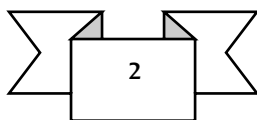
ومن هنا يمكن بلورة مشكلة البحث الحالي في التساؤل الرئيس التالي:

"ما هو تأثير المواد القابلة للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو

السعودية؟"

3.1 أهمية البحث:

أ) الأهمية العلمية



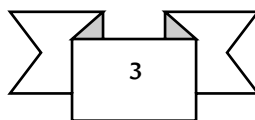
تكتسب هذه الدراسة أهمية علمية من خلال إسهامها في تطوير الإطار النظري المتعلق بدور المواد القابلة للاشتعال في تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني، حيث تقدم رؤية تحليلية حول كيفية تأثير الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المواد على ديناميكيات الحريق، مما يسهم في تعزيز المعرفة العلمية المتعلقة بخصائص الاشتعال ومعدلات إطلاق الحرارة وكثافة الدخان والانبعاثات السامة. كما تسلط الدراسة الضوء على الأسس العلمية لاستخدام استراتيجيات الوقاية والتصميم الهندسي للحد من سرعة انتشار النيران، من خلال دراسة معمقة للعوامل التي تؤدي إلى تفاقم الحريق داخل البيئات المغلقة.

إضافة إلى ذلك، تعالج الدراسة فجوة معرفية تتعلق بتأثير المواد القابلة للاشتعال على سرعة انتشار الحرائق، وذلك من خلال دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية، حيث تعتمد على تحليل بيانات واقعية لتقييم العلاقة بين نوعية المواد المستخدمة في البناء والتأثير وسرعة انتقال اللهب، مما يعزز من موثوقية النتائج ويفتح المجال أمام الباحثين والممارسين في مجالات السلامة ومكافحة الحرائق للاستفادة من التوصيات العلمية المطروحة. كما تسهم نتائج البحث في تطوير سياسات وإجراءات السلامة للحد من المخاطر الناجمة عن استخدام مواد عالية القابلية للاشتعال، مما يعزز معايير السلامة داخل المباني ويساعد في تقليل الخسائر البشرية والمادية.

ب) الأهمية العملية

من الناحية التطبيقية، يمثل فهم تأثير المواد القابلة للاشتعال على سرعة انتشار الحرائق داخل المباني أداة أساسية في تطوير استراتيجيات فعالة لمكافحة الحرائق وتعزيز إجراءات الوقاية والسلامة، حيث تسهم هذه الدراسة في تقديم حلول عملية للحد من مخاطر الحرائق من خلال تحديد المواد الأكثر خطورة، والعمل على تحسين معايير البناء والتصميم الداخلي بما يتماشى مع المواصفات العالمية للسلامة. كما يساعد تحليل معدلات إطلاق الحرارة وكثافة الدخان والانبعاثات السامة في تحديد تأثير هذه العوامل على تصاعد الحريق وسرعة انتشاره، مما يمكن الجهات المعنية من تطوير خطط استجابة أكثر كفاءة.

كما يتيح التكامل بين نتائج هذه الدراسة والتقنيات الحديثة، مثل أنظمة الكشف المبكر عن الحرائق، تعزيز مستوى الوقاية وتحسين آليات التعامل مع الحوادث الطارئة، حيث تسهم هذه الدراسة في



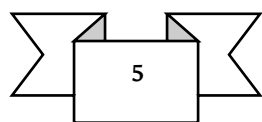
دعم السياسات التنظيمية لشركة أرامكو السعودية من خلال تقديم توصيات علمية حول المواد الأكثر أماناً للاستخدام داخل المباني الصناعية والإدارية، مما يقلل من احتمالية وقوع كوارث ناجمة عن الحرائق. إضافة إلى ذلك، يمكن لاستخدام نتائج البحث في تحسين خطط الطوارئ وتعزيز تدريب فرق السلامة على التعامل مع الحرائق وفقاً للخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد المحترقة، مما يدعم رفع مستوى الجاهزية وتقليل الأضرار المحتملة.

يتطلب الحد من تأثير المواد القابلة للاشتعال تطوير لوائح تنظيمية أكثر صرامة فيما يتعلق باستخدام المواد عالية القابلية للاشتعال داخل المباني، إلى جانب توعية العاملين والمقيمين بالمخاطر المرتبطة بهذه المواد، وتدريبهم على أساليب الوقاية والاستجابة السريعة. كما تدعم هذه الدراسة متخذي القرار من خلال تقديم بيانات دقيقة حول العلاقة بين نوعية المواد المستخدمة وسرعة انتشار الحرائق، مما يعزز من كفاءة التخطيط الاستراتيجي في إدارة المخاطر، ويدعم تحقيق بيئات عمل وسكن أكثر أماناً واستدامة، خاصة في المنشآت الحيوية مثل شركة أرامكو السعودية.

4.1 أهداف البحث:

إن الهدف الرئيس والمحموري لهذا البحث يتمثل في: محاولة التعرف على مدى تأثير المواد القابلة للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية، ويمكن تحديد الأهداف الفرعية للدراسة على النحو الآتي:

- (1) بيان أثر درجة القابلية للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية.
- (2) بيان أثر معدل إطلاق الحرارة على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية.
- (3) بيان أثر كثافة الدخان والانبعاثات السامة على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية.



5.1 تساؤلات البحث:

ما هو تأثير المواد القابلة للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية؟ ويتفرع من هذا السؤال الرئيس التساؤلات الفرعية الآتية:

(1) ما أثر درجة القابلية للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية؟

(2) ما أثر معدل إطلاق الحرارة على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية؟

(3) ما أثر كثافة الدخان والانبعاثات السامة على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية؟

6.1 فرضيات البحث:

الفرضية الرئيسية الأولى: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \geq 0.005$) للمواد القابلة للاشتعال بأبعادها: (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة) على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية، وينبثق من هذه الفرضية الفرضيات الفرعية الآتية:

(1) لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \geq 0.005$) لدرجة القابلية للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية.

(2) لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \geq 0.005$) لمعدل إطلاق الحرارة على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية.

(3) لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \geq 0.005$) لكثافة الدخان والانبعاثات السامة على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية.

7.1 الدراسات السابقة:

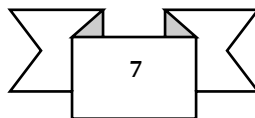
■ دراسة (Hassan 2022)

هدفت هذه الدراسة إلى التحقيق في العوامل المؤثرة على الانتشار السريع للحرائق في المباني الشاهقة بسبب استخدام الكسوة القابلة للاشتعال، حيث تسلط الضوء على دور المواد المستخدمة في تغطية المباني وخصائصها الفيزيائية وتأثير العوامل البيئية مثل سرعة الرياح وزاوية التركيب في تعزيز سرعة انتشار النيران، كما تهدف الدراسة إلى توفير فهم معمق للعوامل الهندسية والتصميمية التي قد تزيد من خطورة هذه الحرائق وتقتح سبلاً للحد منها، مما يسهم في تعزيز إجراءات السلامة وتحسين معايير البناء في المستقبل.

حيث المتغير المستقل هو العوامل المؤثرة على انتشار الحرائق، والتي تشمل طبيعة المادة القابلة للاشتعال وسرعة الرياح وزاوية التركيب وتأثيرات الحرارة، أما التابع فهو سرعة انتشار النيران في المباني الشاهقة ومدى خطورتها، حيث تسعى الدراسة إلى قياس العلاقة بين هذه العوامل والمدة الزمنية التي تستغرقها النيران للانتشار عبر الكسوة الخارجية للمباني.

اعتمدت الدراسة على المنهج العددي عبر محاكاة ديناميكية السوائل الحسابية (CFD) لتحليل كيفية تأثير العوامل المختلفة على انتشار الحرائق، حيث تم إجراء نماذج محاكاة لسيناريوهات متنوعة بهدف اختبار تأثير العوامل الفيزيائية والبيئية. كما استخدمت الدراسة بيانات من تجارب سابقة وأجرت مقارنات بين النتائج لتقييم دقة النماذج العددية.

وتوصلت الدراسة إلى أن نوع المادة المستخدمة في الكسوة الخارجية وسرعة الرياح وزاوية التركيب عوامل رئيسية تؤثر بشكل كبير على سرعة انتشار الحرائق في المباني الشاهقة، حيث أوضحت النتائج أن المواد ذات معدلات الاشتعال العالية تتسبب في تسارع انتشار النيران، كما أن زيادة سرعة الرياح تساهم في تسهيل انتقال اللهب إلى مسافات أكبر، بينما تؤثر زاوية التركيب على مدى تعرض المواد للهب المباشر. كما كشفت الدراسة أن العزل الحراري وبعض الإجراءات الهندسية يمكن أن تقلل من مخاطر انتشار الحرائق.



وأوصت الدراسة بضرورة تطوير معايير أكثر صرامة لاستخدام مواد البناء المقاومة للحريق في المباني الشاهقة، كما أكدت على أهمية تحسين استراتيجيات التصميم للحد من تأثير العوامل البيئية مثل الرياح. وأوصت أيضًا باستخدام نماذج المحاكاة الرقمية بشكل دوري لاختبار كفاءة المواد الجديدة قبل اعتمادها في مشاريع البناء، كما دعت إلى تعزيز جهود التوعية بأهمية استخدام الكسوة غير القابلة للاشتعال لضمان سلامة المباني وسكانها.

■ دراسة (Sontake et al (2024).

هدفت الدراسة إلى تحليل سلوك انتشار اللهب على الورق والألياف الهجينة، وذلك بهدف فهم العوامل التي تؤثر على سرعة وكثافة انتشار اللهب، مما يساهم في تحسين استراتيجيات الوقاية من الحرائق والحد من مخاطرها، كما سعت الدراسة إلى تحديد تأثير التكوين المادي للورق والألياف الهجينة على معدلات الاحتراق وخصائص اللهب، مما يساعد في تطوير مواد أكثر مقاومة للحرائق وتحسين تقنيات الإطفاء الفعالة.

حيث المتغير المستقل هو التكوين المادي للورق والألياف الهجينة، ويشمل أبعاده مثل نوع المادة المستخدمة، وكثافتها، وتركيبها الكيميائي، ومدى قابليتها للاشتعال، أما التابع فهو سلوك انتشار اللهب، والذي تم قياسه بناءً على سرعة الانتشار، وشكل اللهب، ودرجة الحرارة الناتجة عن الاحتراق، وذلك لتحليل العلاقة بين نوع المادة وسلوك النار عند تعرضها للحرارة أو اللهب المباشر.

اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي من خلال إجراء اختبارات احتراق متعددة على عينات مختلفة من الورق والألياف الهجينة، حيث تم استخدام تقنيات القياس الحراري وتحليل الصور لدراسة خصائص اللهب وسرعة انتشاره، كما تم تصميم التجارب في بيئات محكمة لضمان دقة النتائج وقابليتها للتكرار.

وتوصلت الدراسة إلى أن نوع الألياف وتركيبها الكيميائي يلعب دورًا حاسمًا في تحديد سرعة انتشار اللهب، حيث أظهرت الألياف الهجينة معدل انتشار أقل مقارنة بالورق التقليدي، كما بينت النتائج أن

زيادة كثافة المادة تؤدي إلى انخفاض سرعة الاحتراق، مما يشير إلى إمكانية تحسين مقاومة المواد للحرائق من خلال تعديل تركيب الألياف، بالإضافة إلى ذلك، لوحظ أن درجات الحرارة العالية تؤدي إلى تغير في شكل اللهب وسرعة انتشاره، وهو ما يسلط الضوء على أهمية دراسة التفاعل الحراري للمواد المختلفة.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير مواد هجينة أكثر مقاومة للحرائق من خلال تحسين خصائصها الكيميائية والفيزيائية، كما أكدت على أهمية إجراء المزيد من الأبحاث حول تأثير الظروف البيئية مثل الرطوبة ودرجة الحرارة على سلوك الاحتراق، وشددت على الحاجة إلى تطوير تقنيات حديثة لاختبار انتشار اللهب في بيئات تحاكي الظروف الحقيقية، مما يساهم في تعزيز معايير السلامة وتحسين استراتيجيات الوقاية من الحرائق.

■ دراسة (Thomsen, M., Fernandez-Pello, A., & Williams, F. A (2023).

هدفت الدراسة إلى تحليل نمو حرائق الغابات التي تبدأ من مصدر اشتعال صغير، حيث ركزت على العوامل الفيزيائية والبيئية التي تساهم في انتشار الحريق، كما سعت إلى تقديم نموذج كمي يساعد في التنبؤ بسلوك الحرائق في مراحلها المبكرة، بالإضافة إلى دراسة تأثير الظروف الجوية وطبيعة الوقود المتاح في تسريع أو إبطاء نمو الحريق، وقد كان الهدف الأساسي هو تطوير فهم أعمق لعملية الانتشار الأولي للحرائق لتحسين تقنيات مكافحة الوقاية.

حيث المتغير المستقل هو العوامل البيئية والفيزيائية المؤثرة على انتشار الحريق، والتي تشمل نوع الوقود، الرطوبة، سرعة الرياح، وانحدار سطح الأرض، أما التابع فهو معدل نمو الحريق وانتشاره في البيئة الطبيعية، حيث تم قياس مدى تأثير سرعة واتجاه الحريق بهذه المتغيرات المستقلة، وجرى تحليل البيانات لتحديد العلاقة بين هذه العوامل وتأثيرها على سلوك الحريق.

اتبعت الدراسة منهجية تجريبية وتحليلية، حيث تم إجراء تجارب مخبرية تحاكي ظروف حرائق الغابات الحقيقية، كما تم تطوير نموذج رياضي يعتمد على بيانات تجريبية وميدانية لمحاكاة نمو الحرائق، واعتمد الباحثون على تحليل معادلات الاحتراق وانتقال الحرارة لفهم التفاعل بين العوامل المختلفة التي

تؤثر على اشتعال المواد وانتشار النيران، كما تم استخدام برمجيات محاكاة متقدمة لتحليل نتائج التجارب والتحقق من دقة التنبؤات المستخلصة من النموذج.

وتوصلت الدراسة إلى أن العوامل البيئية تلعب دورًا حاسمًا في تحديد سرعة واتجاه انتشار الحريق، حيث أظهرت التجارب أن سرعة الرياح العالية والانحدار الحاد يزيدان من معدل نمو الحريق، في حين أن الرطوبة العالية يمكن أن تؤدي إلى تباطؤ الانتشار، كما بينت النتائج أن الوقود الجاف القابل للاشتعال بسرعة يشكل عاملاً أساسيًا في تسريع الحرائق، وأثبتت النماذج المستخدمة دقتها في توقع تطور الحريق بناءً على البيانات الأولية.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير استراتيجيات أكثر كفاءة لمكافحة حرائق الغابات تعتمد على فهم العوامل البيئية المؤثرة في انتشار الحريق، كما أكدت على أهمية تحسين تقنيات الرصد المبكر وتوظيف الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بمسارات الحرائق للحد من انتشارها، وأشارت إلى الحاجة إلى تعديل سياسات إدارة الغابات للحد من تراكم الوقود الجاف وتقليل مخاطر الاشتعال السريع، كما دعت إلى تعزيز التعاون بين الجهات البحثية والهيئات المسؤولة عن مكافحة الحرائق لتطوير أدوات تحليلية دقيقة تساعد في اتخاذ قرارات فعالة لمكافحة هذه الظاهرة.

■ دراسة (Hill 2021)

هدفت الدراسة إلى توعية طلاب المرحلة الجامعية بالمخاطر الناجمة عن السوائل القابلة للاشتعال، وذلك من خلال تقديم فهم علمي لخصائص هذه السوائل وسلوكها عند التعرض لمصادر الاشتعال، كما سعت الدراسة إلى تحديد العوامل الأساسية التي تؤثر على اشتعال وانتشار الحرائق الناتجة عن هذه المواد، مما يساهم في تحسين إجراءات السلامة في المختبرات والصناعات الكيميائية.

حيث المتغير المستقل هو خصائص السوائل القابلة للاشتعال، ويشمل أبعاده مثل نقطة الوميض، والتطاير، والكثافة، والتركيب الكيميائي، أما التابع فهو مخاطر الحريق، والتي تم قياسها من خلال سرعة الاشتعال، وانتشار اللهب، وإمكانية السيطرة على الحريق باستخدام تقنيات الإطفاء المختلفة.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات العلمية المتعلقة بمخاطر السوائل القابلة للاشتعال، كما تم تحليل حوادث سابقة مرتبطة باستخدام هذه المواد في البيئات الأكاديمية والصناعية، وتمت مقارنة خصائص مختلف السوائل لتحديد العوامل التي تزيد من خطورة الاشتعال.

وتوصلت الدراسة إلى أن نقطة الوميض المنخفضة والتطاير العالي للسوائل القابلة للاشتعال يؤديان إلى زيادة خطر الاشتعال حتى في درجات حرارة الغرفة، كما بينت النتائج أن استخدام المواد الكيميائية دون اتخاذ تدابير وقائية مناسبة قد يؤدي إلى وقوع حوادث خطيرة، وأظهرت الدراسة أن التدريب الجيد ورفع مستوى الوعي بين الطلاب والعاملين في المختبرات يمكن أن يقلل بشكل كبير من مخاطر الحرائق.

وأوصت الدراسة بضرورة إدراج برامج تدريبية مكثفة حول التعامل الآمن مع السوائل القابلة للاشتعال في المناهج الجامعية، كما شددت على أهمية توفير معدات السلامة مثل أنظمة التهوية الجيدة وأجهزة الإطفاء المناسبة في جميع المختبرات، وأكدت على الحاجة إلى تطوير إرشادات واضحة للحد من مخاطر هذه السوائل، مما يساهم في تعزيز ثقافة السلامة والوقاية من الحوادث.

■ دراسة (Wei (2020

هدفت الدراسة إلى استكشاف مخاطر انفجارات الغبار وتطوير تقنيات الوقاية من الكوارث الناتجة عنها، وذلك من خلال تحليل العوامل التي تؤدي إلى حدوث هذه الانفجارات ودراسة الأساليب الفعالة للحد من تأثيرها، كما ركزت الدراسة على تطبيقات التكنولوجيا الحديثة في تحسين استراتيجيات الوقاية والسلامة الصناعية، مما يساهم في تقليل الخسائر البشرية والمادية الناتجة عن هذه الحوادث.

حيث المتغير المستقل هو خصائص الغبار القابل للاشتعال، ويشمل أبعاده مثل حجم الجسيمات، وكثافة التوزيع، والتركيب الكيميائي، ودرجة القابلية للاشتعال، أما التابع فهو خطر انفجار

الغبار، والذي تم قياسه من خلال شدة الانفجار، وسرعة الانتشار، وتأثير العوامل البيئية على اشتعال الغبار وانتشاره.

اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي والتحليلي، حيث تم إجراء تجارب مخبرية لمحاكاة انفجارات الغبار تحت ظروف مختلفة، كما تم تحليل بيانات سابقة لحوادث انفجارات الغبار في مختلف الصناعات، بالإضافة إلى تقييم فعالية تقنيات الوقاية، مثل أنظمة التهوية، وتقنيات التحكم في الغبار، واستخدام المواد المقاومة للانفجار.

وتوصلت الدراسة إلى أن حجم الجسيمات الصغيرة والتركيز العالي للغبار في الهواء يزيدان من احتمالية وقوع الانفجارات، كما بينت النتائج أن العوامل البيئية مثل الرطوبة ودرجة الحرارة تلعب دوراً مهماً في تحديد شدة الانفجار، وأظهرت الدراسة أن تطبيق أنظمة تحكم متقدمة مثل تقنيات تقليل تراكم الغبار وتحسين التهوية يمكن أن يقلل من خطر الحوادث بشكل كبير.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير استراتيجيات أمان مخصصة لكل نوع من أنواع الغبار القابل للاشتعال بناءً على خصائصه الفيزيائية والكيميائية، كما أكدت على أهمية استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مراقبة مستويات الغبار والحد من مخاطره، وشددت على الحاجة إلى تعزيز اللوائح التنظيمية الخاصة بالصناعات التي تعتمد على المواد القابلة للاشتعال، مما يساهم في تحسين معايير السلامة وتقليل حوادث الانفجارات.

■ دراسة (Belikov (2022

هدفت الدراسة إلى إجراء تحليل نظري لعملية الاحتراق لفهم المبادئ الفيزيائية والكيميائية التي تحكم تفاعلات الاحتراق، كما سعت إلى تحديد العوامل التي تؤثر على كفاءة الاحتراق وتفاعلاته، مما يساهم في تحسين تقنيات الاحتراق المستخدمة في مختلف القطاعات الصناعية، بالإضافة إلى تقديم نماذج رياضية تساعد في التنبؤ بسلوك اللهب وتفاعلات الوقود مع العوامل المحيطة.

حيث المتغير المستقل هو خصائص الوقود وعوامل الاحتراق، ويشمل أبعاده مثل التركيب الكيميائي للوقود، ونسبة الهواء إلى الوقود، ودرجة الحرارة الأولية، وظروف الضغط، أما التابع فهو كفاءة الاحتراق، والتي تم قياسها من خلال نسبة الطاقة المحررة، ومستوى الانبعاثات الغازية، وثبات اللهب خلال عملية الاحتراق.

اعتمدت الدراسة على المنهج النظري والتحليلي، حيث تم تطوير نماذج رياضية لدراسة سلوك الاحتراق بناءً على المعادلات الديناميكية الحرارية والكيميائية، كما تم تحليل دراسات سابقة حول تفاعلات الاحتراق في ظروف مختلفة، بالإضافة إلى تقييم مدى دقة النماذج الرياضية في محاكاة الاحتراق الحقيقي.

وتوصلت الدراسة إلى أن كفاءة الاحتراق تتأثر بشكل مباشر بنسبة الهواء إلى الوقود، حيث يؤدي عدم التوازن في هذه النسبة إلى زيادة الانبعاثات الضارة وتقليل كفاءة الطاقة، كما بينت النتائج أن تحسين ظروف الضغط ودرجة الحرارة الأولية يساعد في تحقيق احتراق أكثر كفاءة، وأظهرت الدراسة أن استخدام النماذج الرياضية يمكن أن يكون أداة فعالة في تحسين تقنيات الاحتراق وتقليل الأثر البيئي الناتج عنه.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير نماذج محاكاة أكثر دقة تأخذ في الاعتبار العوامل البيئية والميكانيكية التي تؤثر على عملية الاحتراق، كما أكدت على أهمية تحسين تقنيات الاحتراق من خلال استخدام مصادر وقود نظيفة وتقليل الانبعاثات الناتجة عن الاحتراق، وشددت على الحاجة إلى تعزيز التعاون بين الباحثين في مجالات الديناميكا الحرارية والاحتراق لتحسين كفاءة أنظمة الاحتراق في التطبيقات الصناعية، مما يساهم في تحقيق استدامة بيئية واقتصادية.

■ دراسة (Choi 2014)

هدفت الدراسة إلى تحليل حرائق الحرق العمد التي يتم فيها استخدام السوائل القابلة للاشتعال كمواضع مسرعة للاحتراق، وذلك من خلال دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه السوائل، وكيفية تأثيرها على انتشار الحريق وسرعة الاشتعال، كما سعت إلى تطوير منهجية تحليلية تساعد في كشف أسباب

الحريق العمد والتعرف على المواد المستخدمة فيه، مما يسهم في تحسين تقنيات التحقيق الجنائي في حوادث الحرائق.

حيث المتغير المستقل هو خصائص السوائل القابلة للاشتعال المستخدمة كمسرعات للحريق، ويشمل أبعاده مثل نقطة الوميض، ومعدل التبخر، والتركيب الكيميائي، وقابلية الانتشار، أما التابع فهو خصائص الحريق العمد، والتي تم قياسها من خلال سرعة الاشتعال، وأنماط انتشار اللهب، وبقياء المواد الكيميائية بعد الاحتراق.

اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي والتحليلي، حيث تم إجراء تجارب مخبرية لمحاكاة سيناريوهات مختلفة من الحرائق العمد باستخدام سوائل قابلة للاشتعال متنوعة، كما تم تحليل عينات من مواقع حرائق فعلية لتحديد المواد المسرعة المستخدمة، وتمت مقارنة النتائج مع بيانات الحوادث السابقة للتحقق من الأنماط المشتركة.

وتوصلت الدراسة إلى أن استخدام السوائل القابلة للاشتعال يزيد بشكل ملحوظ من سرعة انتشار الحريق وشدة اللهب مقارنة بالحرائق الطبيعية، كما بينت النتائج أن بعض المواد المسرعة تترك بقايا كيميائية مميزة يمكن استخدامها كأدلة جنائية لتحديد مصدر الحريق، وأظهرت الدراسة أن تحليل أنماط الاحتراق والتفاعلات الكيميائية يساعد في كشف الحوادث المتعمدة والتمييز بينها وبين الحرائق العرضية.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير تقنيات تحليل أكثر دقة تعتمد على التحليل الطيفي والكيميائي لبقايا الحرائق، كما أكدت على أهمية تدريب فرق التحقيق الجنائي على استخدام الأدوات الحديثة في تحليل الحوادث العمدية، وشددت على الحاجة إلى وضع معايير دولية موحدة لتحليل مسرح الجريمة في حوادث الحرق العمد، مما يسهم في تعزيز دقة التحقيقات الجنائية وتحقيق العدالة.

■ دراسة (Santangelo 2011)

هدفت الدراسة إلى دراسة قابلية الاشتعال للمواد الصلبة باستخدام نهج تجريبي يعتمد على قياسات السعرات الحرارية، حيث ركزت على تحليل الخصائص الحرارية لهذه المواد وفهم آليات اشتعالها

وانتشار اللهب، كما سعت إلى تقديم بيانات كمية تساعد في تحسين معايير السلامة والحد من مخاطر الحريق في مختلف التطبيقات الصناعية والبنائية.

حيث المتغير المستقل هو خصائص المواد الصلبة القابلة للاشتعال، ويشمل أبعاده مثل معدل إطلاق الحرارة، ودرجة حرارة الاشتعال، وسرعة الاحتراق، والتكوين الكيميائي، أما التابع فهو قابلية الاشتعال، والتي تم قياسها من خلال تحليل منحنيات إطلاق الحرارة، ومدة الاحتراق، وأنماط انتشار اللهب تحت ظروف مختلفة.

اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي المعمل، حيث تم استخدام تقنية القياس الحراري لتقييم معدل إطلاق الحرارة والطاقة الناتجة أثناء اشتعال المواد الصلبة، كما تم إجراء اختبارات في بيئات مختلفة لمحاكاة الظروف الحقيقية التي قد تؤثر على خصائص الاحتراق، بالإضافة إلى مقارنة النتائج مع معايير السلامة المعتمدة لتحديد مدى خطورة هذه المواد.

وتوصلت الدراسة إلى أن معدل إطلاق الحرارة هو العامل الأكثر تأثيراً في تحديد خطورة المواد الصلبة القابلة للاشتعال، حيث كلما زاد معدل إطلاق الحرارة زادت سرعة انتشار الحريق، كما أظهرت النتائج أن التكوين الكيميائي للمواد يؤثر بشكل كبير على خصائص الاشتعال، حيث أن بعض المواد تطلق كميات كبيرة من الطاقة في وقت قصير مما يزيد من احتمالية حدوث حرائق كارثية، وأكدت الدراسة أن قياسات السعرات الحرارية توفر بيانات دقيقة يمكن استخدامها في تحسين تصنيفات السلامة للمواد الصلبة.

وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد تقنيات التحليل الحراري في تقييم المخاطر الخاصة بالحرق للمواد الصلبة، كما أكدت على أهمية تطوير مواد بناء ذات مقاومة أعلى للاشتعال للحد من احتمالية نشوب الحرائق، وشددت على ضرورة تحديث معايير السلامة الصناعية وفقاً للبيانات الحرارية الحديثة لضمان بيئات أكثر أماناً وتقليل الخسائر الناجمة عن الحرائق.

■ دراسة (Dobrzyńska 2019)

هدفت الدراسة إلى تحليل تأثير مواد تصنيع المعدات على مستوى السلامة من الحرائق في الحافلات، حيث ركزت على تقييم خصائص الاشتعال لمواد الهيكل الداخلي والخارجي للحافلات، وسعت إلى تحديد المخاطر المحتملة المرتبطة باستخدام بعض المواد، وذلك بهدف تحسين معايير الأمان وتقليل احتمالية نشوب الحرائق في وسائل النقل العام.

حيث المتغير المستقل هو مواد تصنيع المعدات في الحافلات، ويشمل أبعاده مثل نوع المادة المستخدمة، وقابليتها للاشتعال، ومعدل إطلاق الحرارة، وانبعثات الغازات السامة أثناء الاحتراق، أما التابع فهو مستوى السلامة من الحرائق، والذي تم قياسه من خلال سرعة انتشار اللهب، وكمية الدخان المنبعث، ومدى مقاومة المواد للاشتعال.

اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي والتحليلي، حيث تم إجراء اختبارات حريق على عينات من المواد المستخدمة في تصنيع الحافلات، وتم تقييم خصائص الاحتراق لكل مادة بناءً على معايير محددة، كما تم تحليل البيانات ومقارنتها مع معايير السلامة الدولية لتحديد مدى توافق المواد مع متطلبات الحماية من الحرائق.

وتوصلت الدراسة إلى أن بعض المواد المستخدمة في تصنيع الحافلات، خاصة المواد البلاستيكية والمركبة، تزيد من خطر انتشار الحريق بسبب قابليتها العالية للاشتعال وانبعثاتها لكميات كبيرة من الدخان السام، كما أظهرت النتائج أن المواد غير القابلة للاشتعال والمقاومة للحرارة تقلل بشكل كبير من احتمالية اندلاع الحريق وانتشاره، بالإضافة إلى أن بعض الطلاءات العازلة أثبتت فعاليتها في تحسين مقاومة المواد للاشتعال وتقليل المخاطر.

وأوصت الدراسة بضرورة استخدام مواد تصنيع ذات مقاومة عالية للاشتعال في تجهيزات الحافلات، كما أكدت على أهمية تطوير تقنيات معالجة المواد للحد من قابليتها للاشتعال وتقليل الانبعاثات

السامة، وشددت على ضرورة تحديث المعايير التنظيمية لضمان استخدام مواد آمنة في صناعة وسائل النقل، مما يسهم في تعزيز مستويات الأمان وتقليل مخاطر الحوادث الناجمة عن الحرائق.

■ دراسة (Qi (2023)

هدفت الدراسة إلى تحليل المخاطر المرتبطة بانتشار حرائق الغابات، مع التركيز على التحديات الحالية والأساليب المستقبلية لإدارتها والحد من تأثيراتها، حيث استعرضت الاتجاهات الحالية في البحث حول حرائق الغابات، بالإضافة إلى تقييم الاستراتيجيات المستخدمة في التنبؤ والوقاية والاستجابة لهذه الحرائق، وذلك بهدف تحسين سياسات إدارة الغابات والحد من الأضرار البيئية والاقتصادية.

حيث المتغير المستقل هو عوامل انتشار حرائق الغابات، ويشمل أبعاده مثل الظروف المناخية، ونوع الغطاء النباتي، والتضاريس، والتغيرات البيئية الناجمة عن الأنشطة البشرية، أما التابع فهو مخاطر انتشار الحرائق، والذي تم قياسه من خلال سرعة انتشار اللهب، وحجم المساحات المتضررة، ومدى تأثير الحرائق على النظم البيئية والمجتمعات المحلية.

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي والتنبؤي، حيث تم جمع وتحليل بيانات حول حرائق الغابات من مصادر متعددة، بما في ذلك تقارير الأرصاد الجوية وصور الأقمار الصناعية ونماذج انتشار الحرائق، كما استخدمت الدراسة تقنيات الذكاء الاصطناعي والنمذجة الحاسوبية للتنبؤ بمسارات الحرائق وتقييم مدى خطورتها بناءً على العوامل البيئية والجغرافية.

وتوصلت الدراسة إلى أن تغير المناخ وزيادة موجات الجفاف تسهم بشكل كبير في تفاقم مخاطر حرائق الغابات، كما أوضحت أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي يوفر إمكانيات متقدمة للتنبؤ بمسار الحرائق وتحسين استراتيجيات المكافحة، بالإضافة إلى أن السياسات الحالية لإدارة الغابات بحاجة إلى تحديث لتشمل تقنيات أكثر كفاءة في الوقاية والاستجابة السريعة.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير أنظمة إنذار مبكر تعتمد على البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي لرصد وتتبع الحرائق قبل انتشارها بشكل واسع، كما أكدت على أهمية تعزيز التعاون الدولي في

تبادل البيانات والتقنيات الخاصة بمكافحة حرائق الغابات، وشددت على ضرورة تبني استراتيجيات مستدامة لإدارة الغابات تشمل إعادة التشجير واستخدام مواد مقاومة للحريق في المناطق المعرضة للخطر، مما يساهم في تقليل الخسائر البيئية والاقتصادية الناجمة عن هذه الحرائق.

■ دراسة (Bifulco 2024)

هدفت الدراسة إلى تحليل عملية التحلل الحراري للبولىميرات المثبطة للهب، حيث ركزت على آليات التحلل الحراري وتأثيرات إضافة المواد المثبطة للهب على خصائص الاحتراق، كما سعت إلى تحديد العوامل التي تؤثر على كفاءة هذه المثبطات، وذلك بهدف تحسين مقاومة المواد البولىميرية للاشتعال وزيادة مستويات الأمان في استخدامها في مختلف التطبيقات الصناعية.

حيث المتغير المستقل هو المواد المثبطة للهب في البولىميرات، ويشمل أبعاده مثل نوع المادة المثبطة المستخدمة، وتركيزها في التركيبة البولىميرية، وآلية عملها سواء بالتفاعل الكيميائي أو التعديل الفيزيائي، أما التابع فهو سلوك التحلل الحراري للبولىميرات، والذي تم قياسه من خلال معدل فقدان الكتلة أثناء الاحتراق، وانبعاثات الغازات، وتغيرات البنية الكيميائية أثناء التعرض للحرارة.

اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي والتحليلي، حيث أجريت اختبارات معملية لقياس معدلات التحلل الحراري لمجموعة من البولىميرات المثبطة للهب باستخدام تقنيات التحليل الحراري مثل التحليل الحراري الوزني (TGA) والتحليل التفاضلي المسعر (DSC)، كما تم تحليل التفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء التحلل باستخدام مطياف الأشعة تحت الحمراء ومطياف الكتلة.

وتوصلت الدراسة إلى أن المواد المثبطة للهب تقلل بشكل فعال من معدل التحلل الحراري للبولىميرات، حيث تعمل بعض المثبطات على تشكيل طبقة عازلة تمنع انتشار اللهب، بينما تعتمد مثبطات أخرى على إطلاق غازات غير قابلة للاشتعال تعوق عملية الاحتراق، كما أظهرت النتائج أن فعالية المثبطات تعتمد على تركيبها الكيميائي وطريقة تفاعلها مع البولىميرات عند التعرض للحرارة.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير مواد مثبطة للهب أكثر استدامة وفعالية، مع تقليل الآثار البيئية والسمية لهذه المواد، كما أكدت على أهمية دمج تقنيات جديدة مثل النانوتكنولوجيا في تحسين أداء مثبطات اللهب وزيادة كفاءتها، وشددت على ضرورة تحديث المعايير الصناعية لضمان استخدام بوليمرات مقاومة للحريق في التطبيقات الحرجة، مما يساهم في تعزيز السلامة والحد من مخاطر الحرائق.

■ دراسة (Mokoana 2023)

هدفت الدراسة إلى مراجعة العوامل المؤثرة في تطاير المركبات المثبطة للهب من المواد النسيجية البوليمرية المستخدمة في ملابس الحماية الخاصة برجال الإطفاء، حيث ركزت على دراسة آليات تطاير هذه المركبات وتأثيرها على أداء الملابس الوقائية ومدى فعاليتها في مقاومة اللهب، بالإضافة إلى تقييم المخاطر البيئية والصحية الناتجة عن انبعاث هذه المركبات أثناء الاستخدام.

حيث المتغير المستقل هو المركبات المثبطة للهب في الأنسجة البوليمرية، ويشمل أبعاده مثل نوع المثبطات المستخدمة، ومعدل تطايرها، وتأثير الحرارة والرطوبة على استقرارها، أما التابع فهو كفاءة الملابس الواقية لرجال الإطفاء، والذي تم قياسه من خلال مقاومة النسيج للاشتعال، ومدى فقدان المثبطات مع مرور الوقت، وتأثير ذلك على مستوى الحماية.

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي والمراجعة المنهجية، حيث تم تحليل الأبحاث السابقة المتعلقة بتطاير المثبطات في الأنسجة الصناعية، كما تم استعراض تقنيات القياس المختلفة المستخدمة في تقييم معدل التطاير، مثل التحليل الطيفي وقياس الكتلة، بالإضافة إلى دراسة تأثير العوامل البيئية على ثبات المثبطات في الملابس الواقية.

وتوصلت الدراسة إلى أن تطاير المركبات المثبطة للهب يؤثر سلبًا على فعالية الملابس الواقية لرجال الإطفاء بمرور الوقت، حيث يؤدي انخفاض تركيز المثبطات في النسيج إلى تقليل مقاومته للاشتعال، كما تبين أن العوامل البيئية مثل درجات الحرارة العالية والتعرض للرطوبة تساهم في تسريع عملية التطاير، مما يستدعي تطوير تقنيات جديدة لتعزيز استقرار هذه المثبطات.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير مركبات مثبطة للهب تكون أكثر استقرارًا وأقل تطايرًا لضمان استمرار الحماية لفترات أطول، كما شددت على أهمية إجراء اختبارات دورية لملابس رجال الإطفاء لتقييم مستوى الحماية، وأكدت على ضرورة تحديث المعايير الصناعية لضمان استخدام مثبطات لهب ذات تأثيرات بيئية وصحية أقل، مما يساهم في تعزيز سلامة رجال الإطفاء وتقليل المخاطر الناجمة عن فقدان المثبطات أثناء الخدمة.

8.1 المنطلقات النظرية للبحث:

1- المواد القابلة للاشتعال:

هي أي مواد صلبة أو سائلة أو غازية تمتلك خصائص كيميائية تجعلها تشتعل بسهولة عند تعرضها لمصدر حرارة أو لهب، مما يزيد من احتمالية نشوب الحرائق وانتشارها داخل المنشآت (Lautenberger et al., 2006).

كما تشير إلى تلك المواد التي تتميز بانخفاض درجة حرارة الاشتعال الذاتي، مما يجعلها شديدة الخطورة في البيئات الصناعية والتجارية، حيث تتطلب تدابير وقائية صارمة للحد من مخاطر الحريق.

2- انتشار الحرائق:

يعبر انتشار الحرائق عن العملية الفيزيائية والكيميائية التي تؤدي إلى انتقال النيران من نقطة الاشتعال الأولية إلى مناطق أخرى داخل المبنى، متأثرة بعوامل مثل طبيعة المواد المحترقة، ودرجة الحرارة، وتدفق الأكسجين (Grasso & Innocente, 2018).

كما يُعرف انتشار الحرائق بأنه التوسع التدريجي للحريق عبر الأسطح والفراغات داخل المبنى نتيجة لتفاعل العناصر الثلاثة للحريق (الوقود، الحرارة، والأكسجين)، مما قد يؤدي إلى تفاقم الأضرار المادية والبشرية.

3- السلامة من الحرائق

هي مجموعة من الإجراءات والتقنيات التي تهدف إلى تقليل احتمالية نشوب الحرائق، والحد من آثارها عند حدوثها، من خلال التخطيط المسبق، واستخدام أنظمة الكشف المبكر، والتدريب على الاستجابة السريعة.

كما يُقصد بالسلامة من الحرائق جميع التدابير الهندسية والتنظيمية التي تهدف إلى حماية الأرواح والممتلكات من أخطار الحريق، من خلال تطبيق معايير الوقاية، وتحسين سبل الإخلاء، وتطوير تقنيات الإطفاء (Kavitha et al., 2024).

9.1 منهج البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي لدراسة دور المواد القابلة للاشتعال في تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني، مع التركيز على شركة أرامكو السعودية باعتبارها نموذجًا لتحليل تأثير خصائص المواد القابلة للاشتعال على ديناميكيات الحريق في المنشآت الصناعية والإدارية. يهدف هذا المنهج إلى تقديم وصف دقيق للمواد المستخدمة داخل المباني من حيث تركيبها الفيزيائي والكيميائي، وتحليل دورها في تسريع انتشار النيران، مما يساعد في تقديم توصيات لتعزيز معايير السلامة والحد من المخاطر الناجمة عن الحرائق.

سيتم جمع البيانات من خلال استبيانات موجهة تستهدف مهندسي السلامة، فرق الإطفاء، والعاملين في قطاع الأمن الصناعي بشركة أرامكو السعودية، حيث يتضمن الاستبيان مجموعة من المحاور الرئيسية، مثل: (خصائص المواد القابلة للاشتعال، معدلات انتشار اللهب، تأثير انبعاثات الدخان والغازات السامة، ومدى فاعلية أنظمة الوقاية). سيتم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المتقدمة لاستخلاص العلاقة بين نوعية المواد القابلة للاشتعال ومدى تأثيرها على سرعة انتشار الحرائق، وتأثير ذلك على إجراءات مكافحة الحرائق وتقليل الأضرار البشرية والمادية.

إضافةً إلى ذلك، سيتم اعتماد المنهج النوعي عبر إجراء مقابلات فردية معمقة مع خبراء السلامة والوقاية من الحرائق في شركة أرامكو السعودية، بهدف استكشاف آليات التعامل مع المواد القابلة للاشتعال، التحديات المرتبطة بإدارتها، ومدى فاعلية الاستراتيجيات الحالية في تقليل أخطار الحرائق. كما ستساهم هذه المقابلات في تقديم رؤى تفصيلية حول كيفية تحسين إجراءات السلامة، تطوير تقنيات حديثة للكشف عن الحرائق المبكرة، وتعزيز التدابير الوقائية داخل المباني، مما يوفر فهماً أعمق لدور المواد القابلة للاشتعال في تسريع انتشار الحرائق، ويدعم وضع سياسات تنظيمية أكثر صرامة للحد من مخاطرها.

10.1 مصادر البيانات:

يعتمد البحث على مصدرين أساسيين في جمع البيانات والمعلومات كما يلي:

☑ المصادر الثانوية:

وتتمثل في الكتب والمراجع العربية والأجنبية ذات الصلة بموضوع البحث بالإضافة إلى الاعتماد على الأبحاث والدراسات السابقة والدراسات السابقة ذات العلاقة بالموضوع التي بحثت الإنشائية إلى جانب الدوريات والرسائل الجامعية التي تناولت موضوع الدراسة، لمعرفة الأسس والطرق العلمية السليمة في كتابة الدراسات وكذلك أخذ تصور عام عن آخر المستجدات التي حدثت في موضوعات الدراسة الحالية والتي تتميز بالتغير والتطور المستمر.

☑ المصادر الأولية:

اعتمدت الدراسة على الاستبانة كأداة رئيسية في جمع البيانات من مصادرها والتي تم تصميمها خصيصاً لهذا الغرض على Google Forms وإرسال رابطها إلى مجتمع البحث.

11.1 أدوات الدراسة:

تعرف أداة البحث بأنها "الوسيلة التي تتم بواسطتها عملية جمع البيانات بهدف الإجابة عن تساؤلاته، وسيعتمد الباحثين في جمع البيانات على الاستبانة، والتي تُعرف بأنها "صيغة محددة من الفقرات والأسئلة تهدف إلى جمع البيانات من أفراد البحث"

12.1 الأساليب الإحصائية المتبعة

تم استخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) في هذه الدراسة لإجراء التحليل الوصفي واختبار الفرضيات باستخدام الأساليب الإحصائية التالية:

→ الإحصاء الوصفي:

- التكرارات والنسب المئوية: تم استخدامها لتقديم توزيعات التكرار والنسب المئوية لخصائص أفراد العينة وإجاباتهم على استبانة الدراسة.
- الوسط الحسابي: تم استخدامه كمقياس للنزعة المركزية لتقدير المتوسط الحسابي لإجابات أفراد العينة على أسئلة الاستبانة.
- الانحراف المعياري: تم استخدامه كمقياس للتشتت لتقدير الانحراف في إجابات أفراد العينة حول المتوسط الحسابي.

→ الإحصاء التحليلي:

- تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression): تم استخدامه لاختبار تأثير مجموعة من المتغيرات المستقلة على المتغير التابع.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Regression): تم استخدامه لاختبار تأثير متغير مستقل على المتغير التابع.

– اختبار التوزيع الطبيعي (Kurtosis Test): تم استخدامه لاختبار مدى انحراف التوزيع عن التوزيع الطبيعي.

أدوات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة مستودعات البترول وخفض التكاليف: دراسة تطبيقية على شركة الدريس للخدمات البترولية والنقل بالسعودية.

13.1 نموذج الدراسة:

والذي يتضمن محاولة التعرف على مدى تأثير المواد القابلة للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية، ويتضمن المتغيرات التالية:

❖ المتغير المستقل: المواد القابلة للاشتعال بأبعادها: (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة).

❖ المتغير التابع: تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني.

14.1 حدود البحث:

❖ الحدود الزمانية: يدور نطاق الدراسة خلال عام 2025.

❖ الحدود المكانية: تقتصر الدراسة على شركة أرامكو السعودية.

❖ الحدود الموضوعية: تركز الدراسة على تحليل مدى تأثير المواد القابلة للاشتعال على تفاقم سرعة انتشار الحرائق داخل المباني في شركة أرامكو السعودية.

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: المواد القابلة للاشتعال

1.1.2 تمهيد

تُعد المواد القابلة للاشتعال من بين أكثر العناصر خطورة في البيئات الصناعية والمنزلية على حد سواء، لما لها من قدرة عالية على التفاعل مع مصادر الحرارة أو اللهب وإحداث حرائق قد تكون مدمرة. ويُقصد بالمواد القابلة للاشتعال تلك المواد التي تشتعل بسهولة عند تعرضها لمصدر حراري أو شرارة، وتكون عادة في حالات فيزيائية مختلفة تشمل المواد الصلبة، والسائلة، والغازية. وتتميز هذه المواد بانخفاض درجة اشتعالها، أي الدرجة التي تبدأ عندها في إطلاق الأبخرة أو الغازات القابلة للاشتعال والتي يمكن أن تحترق في وجود الأكسجين. وكلما كانت درجة الاشتعال منخفضة، كلما زادت خطورة المادة من ناحية إمكانية اندلاع الحريق دون حاجة إلى درجات حرارة مرتفعة. (إسماعيل وخروفة، 2023)

وتتضمن المواد القابلة للاشتعال مجموعة متنوعة من العناصر والمنتجات التي تدخل في مجالات متعددة من الحياة اليومية، مثل البنزين، والأسيتون، والكحول، والغاز الطبيعي، والبروبان، وبعض أنواع الطلاءات والمذيبات، فضلاً عن المواد الصلبة مثل الورق والخشب والقماش والبلاستيك. وتُصنف هذه المواد تبعاً لدرجة خطورتها، حيث تُمنح ملصقات تحذيرية خاصة بناءً على قدرتها على الاشتعال، وهو ما تُقرّه المنظمات الدولية مثل منظمة الصحة العالمية ووكالة حماية البيئة ومنظمة الأوسا (OSHA) الأمريكية. (آل عسوج، 2024)

وتكمن خطورة المواد القابلة للاشتعال ليس فقط في سهولة اشتعالها، بل أيضاً في قدرتها على إنتاج غازات سامة عند الاحتراق، مثل أول أكسيد الكربون أو الديوكسينات، التي تشكل تهديداً لصحة الإنسان والحيوان والبيئة. ولهذا السبب، تُفرض ضوابط صارمة على تخزين هذه المواد ونقلها واستخدامها. فغالباً ما تُخزن في حاويات محكمة الإغلاق مقاومة للحرارة وفي أماكن بعيدة عن مصادر اللهب المكشوف أو

الشرر أو الكهرباء الساكنة. كما تُراعى تدابير التهوية المناسبة لتقليل تراكم الأبخرة القابلة للاشتعال.
(الزبيدي، 2023)

ولأغراض السلامة، تُستخدم أنظمة متطورة في المنشآت الصناعية للكشف المبكر عن الأبخرة القابلة للاشتعال، ويُدرّب العاملون على كيفية التعامل مع هذه المواد باستخدام أدوات الوقاية الشخصية المناسبة، مثل القفازات والنظارات الواقية وأجهزة التنفس. كما يجب وجود خطط طوارئ وإجراءات إخلاء واضحة في حال نشوب حرائق ناتجة عن هذه المواد. ومن المهم التأكيد على أن التعامل الآمن مع المواد القابلة للاشتعال لا يقتصر فقط على المؤسسات، بل يمتد أيضاً إلى المنازل، حيث تُخزن أحياناً بعض المنتجات القابلة للاشتعال مثل الكحول أو الوقود في ظروف غير آمنة مما يعرض حياة السكان للخطر. (إبراهيم، 2020)

إن المواد القابلة للاشتعال تمثل عنصراً لا غنى عنه في كثير من الصناعات، لكنها في الوقت ذاته تتطلب وعياً شاملاً بخصائصها وتدابير السلامة المتعلقة بها. والإهمال في التعامل معها قد يؤدي إلى خسائر جسيمة في الأرواح والممتلكات، ولهذا فإن الفهم العميق لطبيعة هذه المواد والإجراءات الاحترازية اللازمة يُعد أمراً بالغ الأهمية لضمان بيئة آمنة ومستدامة. (إبراهيم، 2021)

2.1.2 تعريف المواد القابلة للاشتعال

تُعرف المواد القابلة للاشتعال بأنها تلك المواد التي تتميز بقدرتها العالية على الاشتعال عند تعرضها لمصدر حرارة أو لهب أو حتى شرارة صغيرة، وتطلق طاقة حرارية شديدة أثناء عملية الاحتراق. هذا التعريف لا يقتصر على نوع واحد من المواد، بل يشمل مجموعة واسعة من المواد التي قد تكون في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية، وتتفاوت في درجة خطورتها بناءً على خصائصها الفيزيائية والكيميائية، وبخاصة ما يتعلق بدرجة حرارة الاشتعال، ومعدل إطلاق الأبخرة، وتركيزها في الهواء، ومستوى التهوية في البيئة المحيطة. (قداحة والسراج، 2021)

ويُعد مصطلح "قابلة للاشتعال" من المفاهيم المركزية في مجالات السلامة الصناعية، والإطفاء، والهندسة الكيميائية، حيث يُستخدم لتحديد مدى خطورة المادة عند تخزينها أو نقلها أو استخدامها. فالمواد ذات درجة حرارة اشتعال منخفضة تُعد أكثر خطورة لأنها قد تبدأ بالاحتراق في ظل ظروف حرارية معتدلة نسبياً. ومن أبرز الأمثلة على المواد القابلة للاشتعال السريعة، البنزين والكحول والأسيتون والغاز الطبيعي، وهذه كلها تُطلق أبخرة كثيفة تتفاعل بسرعة مع الأكسجين في الهواء عند وجود مصدر اشتعال. (Png et al., 2022)

ولفهم أعمق، فإن تعريف المواد القابلة للاشتعال لا يقتصر فقط على قابليتها للاشتعال المباشر، بل يشمل كذلك قابليتها لتكوين بيئة قابلة للانفجار، خاصة في الأماكن المغلقة التي قد تتجمع فيها الأبخرة. إذ يمكن أن تكون الأبخرة غير مرئية ولكنها حاضرة بكثافة تجعل الهواء المحيط مشبعاً بمخلوط قابل للاشتعال. ولهذا، فإن التوصيف الدقيق لهذه المواد يتم وفقاً لمعايير السلامة العالمية التي تُصنف المواد بناءً على مدى قابليتها للاشتعال، مثل معيار NFPA (الرابطة الوطنية الأمريكية للحماية من الحرائق) أو GHS النظام العالمي المتوائم لتصنيف وترميز المواد الكيميائية. (Apte, 2021)

إجمالاً، يمكن القول إن تعريف المواد القابلة للاشتعال يتجاوز مجرد خاصية الاحتراق إلى كونه توصيفاً تقنياً يُحدد من خلال اختبارات علمية ومعايير تنظيمية، ويهدف إلى حماية الأفراد والممتلكات من المخاطر الناجمة عن الحرائق والانفجارات. وبالتالي، فإن فهم هذا التعريف لا يُعد مسألة نظرية فقط، بل هو عنصر جوهري في تصميم أنظمة الوقاية والسلامة، وفي اتخاذ القرارات المتعلقة بكيفية التعامل مع هذه المواد في البيئات المختلفة، سواء الصناعية أو المنزلية أو البحثية. (Andrada et al., 2022)

3.1.2 خصائص المواد القابلة للاشتعال

تتمتع المواد القابلة للاشتعال بمجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي تجعلها عرضة للاشتعال بسهولة عند توافر الظروف المناسبة، مثل وجود مصدر حراري أو لهب أو شرارة. أولى هذه الخصائص تتمثل في انخفاض درجة حرارة الاشتعال، وهي أدنى درجة حرارة يمكن أن تُطلق عندها المادة أبخرتها بكثافة كافية لتكوين خليط قابل للاشتعال مع الهواء. فكلما انخفضت درجة الاشتعال، زادت

خطورة المادة، لأنها تحتاج إلى حرارة أقل للبدء في الاحتراق. فمثلاً، الأسيتون والبنزين يتمتعان بدرجة اشتعال منخفضة للغاية، مما يجعلهما شديدي الخطورة في ظروف التخزين أو الاستخدام غير الآمن. (McLaggan et al., 2021)

من بين الخصائص الأخرى للمادة القابلة للاشتعال هو معدل تبخرها أو إطلاقها للأبخرة، حيث إن بعض المواد تمتلك قدرة على التحول إلى بخار سريعاً حتى في درجات حرارة الغرفة، مما يزيد من تركيز البخار القابل للاشتعال في الهواء المحيط بها. وتعتبر هذه الخاصية من العوامل الأساسية التي تحدد مدى قابليتها للاشتعال، خصوصاً عندما يكون المكان مغلقاً أو ضعيف التهوية. فعندما يتشبع الهواء ببخار المادة، فإن احتمالية الاشتعال ترتفع بشكل كبير، وقد يحدث احتراق أو انفجار بمجرد اقتراب شرارة صغيرة. (Konstantinova et al., 2021)

كما أن الكثافة النسبية للبخار الناتج عن المادة تُعد من الخصائص المهمة، حيث يمكن أن يكون هذا البخار أثقل من الهواء، وبالتالي يستقر في المناطق المنخفضة مثل الأحواض أو الزوايا، مكوناً ما يشبه "بركة غير مرئية" من البخار القابل للاشتعال. هذا ما يجعل هذه المواد خطرة حتى بعد فترات من استخدامها، إذا لم يتم تهويتها جيداً أو التخلص منها بطريقة سليمة. كذلك، فإن المواد القابلة للاشتعال غالباً ما تتصف بقدرة عالية على التفاعل مع الأكسجين، وهي خاصية كيميائية تجعل عملية الاحتراق ذات طابع سريع وعنيف، خصوصاً إذا كانت المادة تحتوي على روابط كيميائية غير مستقرة أو طاقة كامنة مرتفعة. (Horrocks, 2022)

ولا يمكن إغفال خاصية اللون والرائحة، حيث إن بعض المواد القابلة للاشتعال لها رائحة نفاذة تُعد بمثابة مؤشر تحذيري طبيعي، بينما هناك مواد أخرى عديمة الرائحة، مما يزيد من صعوبة اكتشاف وجودها. كما أن بعض هذه المواد تكون عديمة اللون، مما يجعل تسربها لا يُلاحظ بسهولة، ويزيد من احتمالية الحوادث دون إنذار مسبق. بالإضافة إلى ذلك، تتصف بعض المواد القابلة للاشتعال بقدرتها على الاحتفاظ بخواصها الخطرة لفترات طويلة، حتى في ظل التخزين العادي، مما يتطلب عناية خاصة في عمليات الحفظ والتداول. (Ben Miloud, 2024)

باختصار، تتسم المواد القابلة للاشتعال بخواص تجعلها مصدراً دائماً للخطر إذا لم يتم التعرف عليها بدقة، والتعامل معها بوعي تام. وتشمل هذه الخصائص عوامل مثل درجة الاشتعال، معدل التبخر، كثافة البخار، التفاعل مع الهواء، والخصائص الحسية مثل الرائحة واللون. ولذلك، فإن الفهم العلمي لهذه الخصائص يُعد شرطاً أساسياً في وضع سياسات السلامة، وتنفيذ التدابير الوقائية المناسبة في البيئات الصناعية والمنزلية على حد سواء. (Al-Qushayrt, 2022)

4.1.2 خواص المواد القابلة للاشتعال

تُعد المواد القابلة للاشتعال من أكثر المواد الكيميائية التي تثير اهتمام الباحثين والعاملين في مجالات الصناعة والنقل والطاقة، نظراً لطبيعتها التفاعلية وسلوكها الكيميائي الخاص عند التعرض لمصادر الحرارة أو اللهب. ومن الناحية الكيميائية، تتميز هذه المواد بتركيباتها الجزيئية التي تجعلها عرضة للتفاعل السريع مع الأكسجين الجوي، مما يؤدي إلى حدوث تفاعلات احتراق تنتج كميات كبيرة من الطاقة الحرارية والضوئية خلال فترة زمنية قصيرة. وهذه الخاصية هي ما يُعرف كيميائياً بـ"قابلية الاشتعال"، وتعتمد بدرجة كبيرة على نوع الروابط الكيميائية داخل جزيئات المادة، وطبيعة المجموعات الوظيفية التي تحتوي عليها. (إسماعيل وخروفة، 2023)

في العادة، تكون المواد القابلة للاشتعال غنية بذرات الكربون والهيدروجين، كما هو الحال في الهيدروكربونات بأنواعها المختلفة مثل البنزين والديزل والإيثانول. هذه المواد تحتوي على روابط تساهمية غير قطبية يسهل تكسيدها في وجود حرارة أو شرارة، ما يُمكن التفاعل الكيميائي مع الأكسجين من الحدوث بسرعة كبيرة. ويمثل هذا التفاعل ما يُعرف بتفاعل الأكسدة-الاختزال (Redox Reaction)، حيث تفقد ذرات الكربون والهيدروجين إلكترونات لصالح ذرات الأكسجين، مما يؤدي إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون والماء كمنتجات احتراق نهائية، بالإضافة إلى انبعاث كميات ضخمة من الحرارة. (آل عسوج، 2024)

إحدى السمات الكيميائية المهمة في المواد القابلة للاشتعال هي ما يُعرف بـ"الطاقة الكامنة" أو "enthalpy of combustion"، وهي كمية الطاقة التي يتم إطلاقها عند احتراق وحدة واحدة من المادة. المواد التي تحتوي على روابط ذات طاقة منخفضة في حالتها الأصلية ولكن تنتج روابط قوية عند الاحتراق تُظهر

عادةً درجات عالية من الطاقة الكامنة، مما يجعلها ذات خطورة كبيرة في حال اندلاع الحريق. كذلك، فإن المواد القابلة للاشتعال غالباً ما تمتلك درجات حرارة منخفضة لما يُعرف بـ "درجة الوميض (Flash Point)"، وهي درجة الحرارة التي تبدأ فيها المادة بإطلاق أبخرة قابلة للاشتعال بكثافة كافية لتكوين خليط مشتعل مع الهواء. وكلما انخفضت هذه الدرجة، ازدادت الخطورة الكامنة في المادة. (الزبيدي، 2023)

من الناحية الكيميائية أيضاً، فإن المواد القابلة للاشتعال يمكن أن تنقسم إلى صنفين رئيسيين: المواد القابلة للاشتعال السائلة، والمواد القابلة للاشتعال الصلبة. في الحالة الأولى، تتفاعل الأبخرة المتصاعدة من السائل مع الهواء لتكوين مزيج قابل للاشتعال، وغالباً ما تكون هذه المواد عضوية وتحتوي على مجموعات هيدروكربونية. أما في الحالة الثانية، فإن طبيعة المادة نفسها، من حيث التوزيع البنيوي لجزيئاتها، يساهم في تسهيل عملية الاحتراق، كما هو الحال في الكبريت والفوسفور وبعض أنواع البلاستيك. وكلما كانت المادة تحتوي على مجموعات وظيفية مثل الألكينات أو الألكينات أو حتى الميثيلات الحرة، زادت احتمالية دخولها في تفاعلات أكسدة عنيفة تؤدي إلى الاشتعال. (إبراهيم، 2020)

كما أن قابلية التفاعل مع عوامل مؤكسدة أخرى – مثل فوق أكسيد الهيدروجين أو نترات الأمونيوم – تُعد من الخواص الكيميائية الحرجة لهذه المواد، إذ أن تواجد هذه العوامل في بيئة العمل أو التخزين قد يعزز من خطر الاشتعال أو حتى الانفجار. لذلك، فإن التحليل الكيميائي للمواد القابلة للاشتعال لا يقتصر فقط على دراسة تركيبها البنيوي، بل يتعدى ذلك ليشمل دراسة طبيعة تفاعلاتها مع المحيط، وسرعة احتراقها، ومنتجات هذا الاحتراق ومدى سُُميتها. (إبراهيم، 2021)

في الختام، فإن المواد القابلة للاشتعال تتميز بخواص كيميائية معقدة تجعلها تفاعلية بطبيعتها، وتستلزم حذراً بالغاً عند التعامل معها. هذه الخواص تتضمن تركيباً جزيئياً يحتوي على روابط غير مستقرة، قدرة عالية على التفاعل مع الأكسجين، وانبعاث حرارة كبيرة عند الاحتراق، فضلاً عن قابليتها للتفاعل مع مواد أخرى مؤكسدة. الفهم الدقيق لهذه الخواص هو أمر بالغ الأهمية في تطوير أنظمة الأمان والسلامة الكيميائية في البيئات الصناعية والمختبرية. (قداحة والسراج، 2021)

5.1.2 الخصائص العامة للمواد القابلة للاشتعال

الخصائص الفيزيائية: الكثافة، درجة الغليان، نقطة الوميض للمواد القابلة للاشتعال

تُعد الخصائص الفيزيائية للمواد القابلة للاشتعال من الجوانب الأساسية لفهم سلوكها في ظروف معينة، خاصة في ما يتعلق بالسلامة الصناعية والحماية من الحرائق. وتُعد كل من الكثافة، ودرجة الغليان، ونقطة الوميض من أبرز المؤشرات الفيزيائية التي تلعب دوراً محورياً في تحديد مدى قابلية المادة للاشتعال وخطورتها في بيئات الاستخدام أو التخزين. (Png et al., 2022)

تُشير الكثافة إلى مقدار الكتلة التي يحتويها حجم معين من المادة، وهي خاصية مهمة جداً في سياق المواد القابلة للاشتعال، إذ تؤثر على سلوك المادة في حال انسكابها أو تسربها. فعلى سبيل المثال، قد تطفو المواد الأقل كثافة من الماء، مثل البنزين، على سطح الماء مما يزيد من انتشارها وسرعة اشتعالها عند توفر مصدر حراري. وتعد الكثافة أيضاً معياراً مهماً في تحديد الطريقة المثلى لتخزين ونقل هذه المواد، خصوصاً في الخزانات والأنابيب. فالمواد ذات الكثافة المنخفضة غالباً ما تكون أكثر تطايراً وتحركاً في الهواء، ما يزيد من احتمالية تكون سحب غازية قابلة للانفجار. (Apte, 2021)

أما درجة الغليان، فهي تمثل درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تحت ضغط جوي معياري. وتُعد هذه الخاصية محورية في تحديد مدى تطاير المادة، إذ إن المواد القابلة للاشتعال ذات درجات غليان منخفضة (مثل الإيثير أو الأسيتون) غالباً ما تتبخر بسرعة حتى في درجات الحرارة العادية، مما يؤدي إلى تراكم الأبخرة القابلة للاشتعال في الجو المحيط. وكلما انخفضت درجة الغليان، ازدادت خطورة المادة من ناحية إمكانية الاشتعال، لأن الأبخرة الناتجة عنها تساهم بشكل مباشر في تشكيل خليط قابل للاشتعال مع الأكسجين الجوي. (Andrada et al., 2022)

ومن أبرز الخصائص الفيزيائية التي يتم الاعتماد عليها في تقييم خطر الاشتعال، نجد نقطة الوميض (Flash Point)، وهي أدنى درجة حرارة يمكن عندها للمادة إطلاق أبخرة بتركيز كافٍ لتكوين خليط قابل للاشتعال مع الهواء عند تعرضه لمصدر إشعال. وتُعد نقطة الوميض عاملاً أساسياً في تصنيف المواد

إلى فئات حسب خطورتها في الاشتغال، حيث تشير القيم المنخفضة لنقطة الوميض إلى قابلية أعلى للاشتعال، مما يتطلب احتياطات خاصة في التعامل والتخزين. فمثلاً، مواد مثل البنزين أو الزايلين تتميز بنقاط ووميض منخفضة، مما يجعلها شديدة الخطورة حتى في درجات الحرارة البيئية العادية. (McLaggan et al., 2021)

إن فهم هذه الخصائص الفيزيائية لا يُعتبر مهماً فقط في السياق الأكاديمي أو التحليلي، بل هو ضرورة حيوية في التخطيط للسلامة المهنية، وتصميم أنظمة التهوية، وتقييم المخاطر في المنشآت الصناعية، وتحديد أدوات الوقاية الشخصية المناسبة للعاملين في بيئات تتضمن هذه المواد. وبالتالي، فإن التكامل بين الكثافة، ودرجة الغليان، ونقطة الوميض، يمنح المتخصصين القدرة على بناء صورة شاملة للمادة، ما يتيح اتخاذ قرارات أكثر دقة لحمايتها وحماية الأرواح والممتلكات. (Konstantinova et al., 2021)

الخصائص الكيميائية: التركيب الجزيئي، درجة التفاعل، حرارة الاحتراق

تلعب الخصائص الكيميائية دوراً محورياً في تحديد سلوك المواد القابلة للاشتعال عند تعرضها لمؤثرات خارجية مثل الحرارة أو الشرر أو اللهب المكشوف. وتُعد الخصائص مثل التركيب الجزيئي، ودرجة التفاعل، وحرارة الاحتراق من أبرز المحددات التي تؤثر على قابلية المادة للاشتعال وشدة احتراقها، وكذلك مدى الخطر الذي تشكله في البيئات الصناعية أو السكنية أو أثناء عمليات النقل والتخزين. (Al-Qushayrt, 2022)

يُعد التركيب الجزيئي للمادة من العوامل الأساسية التي تحدد طبيعتها الكيميائية ودرجة قابليتها للاشتعال. فالمركبات العضوية التي تحتوي على سلاسل كربونية طويلة أو روابط غير مشبعة، مثل الهيدروكربونات الأليفاتية (كالبيوتان والهيكسان) أو الأروماتية (مثل البنزين)، تمتاز بارتفاع احتمالية احتراقها نتيجة وجود روابط بين ذرات الكربون والهيدروجين التي تتحطم بسهولة عند تعرضها للطاقة الحرارية. كما أن وجود مجموعات فعالة في الجزيء، مثل الميثيل أو الإيثير أو النيترو، يمكن أن يزيد من نشاط المادة الكيميائي، ويجعلها أكثر حساسية للاشتعال والانفجار. التركيب الجزيئي لا يحدد فقط قابلية

الاشتعال، بل يؤثر أيضًا على نواتج الاحتراق، إذ تنتج بعض المركبات غازات سامة عند الاحتراق، مثل أول أكسيد الكربون أو الديوكسينات، مما يزيد من خطورتها البيئية. (Ben Miloud, 2024)

أما درجة التفاعل، فهي تشير إلى مدى استعداد المادة للدخول في تفاعلات كيميائية مع مؤثرات خارجية، وخصوصًا مع الأكسجين الجوي. المواد التي تتمتع بدرجة تفاعل عالية تُظهر نشاطًا كبيرًا في الظروف المحيطة العادية، وقد تشتعل تلقائيًا دون الحاجة إلى مصدر إشعال واضح، كما هو الحال في بعض المساحيق المعدنية أو مركبات الفوسفور الأبيض. درجة التفاعل تحدد مدى سرعة انتشار النار داخل المادة وحولها، وكذلك مدى إمكانية السيطرة عليها. وتُعد هذه الخاصية ضرورية في إعداد خطط الطوارئ وتحديد إجراءات السلامة، حيث يتطلب التعامل مع المواد عالية التفاعل تجهيزات خاصة لتجنب حدوث تفاعلات غير مرغوبة أو حرائق فورية. (Horrocks, 2022)

أما حرارة الاحتراق، فهي تُعرف على أنها كمية الطاقة الحرارية المنطلقة عند احتراق كمية معينة من المادة بشكل كامل بوجود كمية كافية من الأكسجين. وتعتمد هذه الخاصية على التركيب الكيميائي للمادة، حيث تنتج المواد الهيدروكربونية، على سبيل المثال، كميات كبيرة من الطاقة عند الاحتراق الكامل، وهو ما يجعلها مستخدمة على نطاق واسع كوقود، وفي نفس الوقت يعكس مدى خطورتها حال وقوع حرائق. وتُقاس حرارة الاحتراق عادة بوحدة الكيلوجول لكل مول أو كيلوغرام، وكلما ارتفعت هذه القيمة، دل ذلك على قدرة المادة على التسبب في حرائق شديدة ومرتفعة الحرارة قد يصعب السيطرة عليها. كما تؤثر حرارة الاحتراق في طبيعة الضرر الهيكلي للمنشآت، وقد تؤدي إلى انهيارات سريعة للبنية التحتية في حال اندلاع حرائق تحتوي على مواد مرتفعة الحرارة. (Konstantinova et al., 2021)

من خلال هذه الخصائص الكيميائية الثلاث: التركيب الجزيئي، ودرجة التفاعل، وحرارة الاحتراق، يمكن تقييم مستوى الخطورة المرتبط بكل مادة قابلة للاشتعال، وتحديد الأساليب المناسبة للتخزين، والحماية، ومكافحة الحرائق. كما أن فهم هذه الخصائص يُسهم في تصميم المواد البديلة الأقل خطورة في التطبيقات الصناعية، وفي تطوير تقنيات السلامة المعتمدة على التنبؤ بسلوك المواد قبل وقوع حوادث.

(McLaggan et al., 2021)

6.1.2 السلوك تحت الظروف البيئية المختلفة

يُعد فهم سلوك المواد القابلة للاشتعال تحت الظروف البيئية المختلفة عنصراً حاسماً في تقييم مخاطر هذه المواد، إذ تختلف استجابتها بشكل كبير تبعاً لتغير درجات الحرارة، الرطوبة، الضغط الجوي، وسرعة الرياح، فضلاً عن العوامل الفيزيائية والكيميائية الأخرى المحيطة. هذه المتغيرات البيئية قد تؤثر إما على سرعة اشتعال المادة أو على شدة الحريق وانتشاره، وبالتالي فهي ضرورية في تصميم أنظمة الوقاية من الحرائق وإدارة المخاطر في البيئات الصناعية والحضرية. (Andrada et al., 2022)

تحت تأثير درجات الحرارة العالية، تزداد سرعة تبخر المواد السائلة القابلة للاشتعال مثل الكحوليات والبنزين والتولوين، ما يؤدي إلى ارتفاع تركيز الأبخرة القابلة للاشتعال في الهواء المحيط. وعند تجاوز هذه الأبخرة الحد الأدنى للاشتعال، فإنها تصبح عرضة للاشتعال بمجرد تعرضها لمصدر طاقة صغير كشرارة كهربائية أو حرارة من سطح معدني ساخن. في البيئات الحارة مثل الصحارى أو المصانع غير المكيفة، تشكل هذه الظاهرة تحدياً كبيراً، حيث قد تشتعل المواد ذاتياً أو تنتشر النيران بسرعة كبيرة في ظل غياب نظام تهوية مناسب. في المقابل، عند انخفاض درجات الحرارة، تقل سرعة التبخر، ما قد يقلل من احتمالية الاشتعال، لكنه لا يلغيها تماماً، خصوصاً في وجود مواد تتفاعل بشدة مع الأكسجين أو تشتعل تلقائياً. (Apte, 2021)

أما الرطوبة النسبية فلها تأثير مزدوج على المواد القابلة للاشتعال. فعلى الرغم من أن زيادة الرطوبة تقلل من سرعة انتشار النيران في المواد الصلبة كالورق والخشب، إلا أنها لا تؤثر بالضرورة على المواد السائلة أو الغازية، بل قد تعزز أحياناً من تفاعل بعض المواد الكيميائية الحساسة للماء. على سبيل المثال، تتفاعل بعض المعادن القلوية مثل الصوديوم والبوتاسيوم بعنف مع الماء أو الرطوبة، مسببة انفجارات أو اشتعالات سريعة. ومن هنا، فإن تخزين هذه المواد يتطلب بيئة محكمة الغلق وجافة تماماً. أما في البيئات الجافة قليلة الرطوبة، فإن المواد العضوية القابلة للاشتعال تصبح أكثر عرضة للاشتعال السريع والانتشار الكثيف للحرائق، كما هو الحال في الغابات الجافة ومناطق التخزين المفتوحة. (Png et al., 2022)

أما الضغط الجوي فيؤثر بشكل مباشر على نقطة غليان المواد القابلة للاشتعال، وبالتالي على سرعة تبخرها وتكوينها لخلائط قابلة للاشتعال في الهواء. فعند الانخفاض في الضغط، كما هو الحال في المناطق المرتفعة أو في بعض التطبيقات الصناعية، تنخفض درجة غليان السائل، مما يجعل المادة أكثر عرضة للتبخّر والاشتعال عند درجات حرارة أقل من المعتاد. بالمقابل، في البيئات ذات الضغط المرتفع، قد تتغير خصائص الاحتراق وتصبح الأبخرة أكثر كثافة، ما يزيد من شدة الحريق حال وقوعه. (قداحة والسراج، 2021)

من جانب آخر، تؤثر سرعة الرياح وحركة الهواء على سلوك المواد القابلة للاشتعال من خلال زيادة تغذية النيران بالأكسجين وتسريع انتقال اللهب من منطقة لأخرى. في البيئات المفتوحة أو غير المعزولة، تعمل الرياح كعامل محفز لانتشار الحرائق على نطاق واسع، وتمنع في كثير من الأحيان فرق الإطفاء من احتواء الحريق في الوقت المناسب. كذلك، فإن تدفق الهواء في أنظمة التهوية الصناعية قد ينقل الأبخرة القابلة للاشتعال من منطقة مغلقة إلى مصدر إشعال في مكان آخر، ما يؤدي إلى انفجارات مفاجئة. (إبراهيم، 2021)

إن تبين سلوك المواد القابلة للاشتعال وفق هذه الظروف البيئية المختلفة يعكس ضرورة إجراء تقييم شامل للمخاطر البيئية المحيطة بأي نشاط صناعي أو تخزيني يتضمن هذه المواد. ويجب أن يكون هذا التقييم مصحوبًا بخطط استباقية تضع في اعتبارها جميع السيناريوهات المحتملة، بما في ذلك تغيرات المناخ، والأعطال الفنية، والكوارث الطبيعية. ومن هنا، فإن التعامل مع هذه المواد يتطلب درجة عالية من الحذر، مع الاعتماد على تقنيات متقدمة في الرصد والاستشعار البيئي لضمان أقصى درجات الأمان والحماية للأفراد والمنشآت. (الزبيدي، 2023)

7.1.2 تصنيف المواد القابلة للاشتعال

تصنيف المواد القابلة للاشتعال يُعد من الضرورات الأساسية في مجالات السلامة الصناعية، والوقاية من الحريق، والتعامل الكيميائي والتخزيني الآمن. ويقوم هذا التصنيف على عدة معايير رئيسية تشمل الحالة الفيزيائية، والطبيعة الكيميائية، وشدة الخطورة، حيث يسمح هذا التمييز بفهم سلوك المادة

عند تعرضها لمصادر الحرارة أو الشرارة، كما يساعد في اتخاذ التدابير المناسبة للسيطرة على مخاطرها. (آل عسوج، 2024)

أولاً، يُمكن تصنيف المواد القابلة للاشتعال حسب حالتها الفيزيائية إلى ثلاث فئات رئيسية:

صلبة وسائل وغازية. المواد الصلبة القابلة للاشتعال مثل الورق، والخشب، والمنسوجات، والبلاستيك، تمثل خطراً كبيراً في حالة توفر سطح اشتعال جاف ووجود مصدر حرارة، حيث تبدأ بالاحتراق السطحي الذي قد يتحول بسرعة إلى لهب مفتوح. وتزداد خطورتها كلما زادت مساحة سطحها المكشوف أو تم تقطيعها إلى أجزاء صغيرة كما في نشارة الخشب أو المساحيق. أما المواد السائلة القابلة للاشتعال مثل البنزين، والأسيتون، والكحول الإيثيلي، فهي تشكل خطراً أكبر بسبب سرعة تبخرها وقدرتها على تكوين أبخرة قابلة للاشتعال تختلط مع الهواء، وتشتعل بمجرد تعرضها لشرارة كهربائية بسيطة أو حرارة ساكنة. وقد تمتد هذه الأبخرة لمسافات بعيدة من المصدر الأصلي، مسببة حرائق غير متوقعة. في حين تُعد المواد الغازية مثل البروبان، والبيوتان، والغاز الطبيعي من أخطر صور الاشتعال، نظراً لسهولة انتشارها، واحتباسها في أماكن مغلقة، وتفاعلها السريع عند اختلاطها بالهواء، ما يجعلها قادرة على التسبب بانفجارات عنيفة. (إبراهيم، 2020)

ثانياً، يتم تصنيف المواد القابلة للاشتعال حسب طبيعتها الكيميائية إلى عضوية، وغير عضوية، وبترولية. المواد العضوية، وهي الأكثر شيوعاً، تشمل مركبات الكربون مثل الهيدروكربونات، الكحوليات، والإيثارات، وتتميز غالباً بدرجات اشتعال منخفضة وسرعة احتراق عالية. وتُستخدم هذه المواد بكثافة في الصناعات الكيماوية، الدوائية، والطلاء، مما يجعلها محور اهتمام في أنظمة السلامة. أما المواد غير العضوية القابلة للاشتعال فهي أقل شيوعاً، لكنها خطيرة عند التفاعل مع الهواء أو الماء، ومن أمثلتها الفوسفور الأبيض وبعض المعادن القلوية مثل الصوديوم والبوتاسيوم، التي يمكن أن تشتعل تلقائياً بمجرد تعرضها للهواء أو الرطوبة. في حين تُعتبر المواد البترولية فرعاً خاصاً من المواد العضوية، وتضم منتجات مشتقة من النفط الخام مثل الديزل، الكيروسين، والفيول، وهي تمتلك خصائص احتراق معقدة

تختلف باختلاف مكوناتها الكيميائية، وتُستخدم بكثافة في القطاعات الصناعية والطاقة والنقل، ما يجعل إدارتها واحدة من أعقد التحديات في مجال مكافحة الحرائق. (إسماعيل وخروفة، 2023)

ثالثاً، يتم تصنيف المواد القابلة للاشتعال حسب شدة الخطورة إلى درجات تتفاوت بين المواد منخفضة، متوسطة، وعالية الخطورة. تعتمد درجة الخطورة على عدة عوامل، منها درجة الوميض (Flash Point)، ودرجة الاشتعال الذاتي، وسرعة الانتشار، وسمية الأبخرة الناتجة. المواد ذات الخطورة المنخفضة قد تحتاج إلى حرارة عالية نسبياً للاشتعال، مثل الزيوت النباتية وبعض المذيبات الثقيلة، في حين أن المواد متوسطة الخطورة قد تشتعل عند درجات حرارة منخفضة نسبياً ولكنها لا تُحدث انفجارات، مثل بعض أنواع الكحول والإيثارات. أما المواد عالية الخطورة فهي التي تمتلك درجات وميض شديدة الانخفاض، وقد تكون متفجرة عند اختلاطها بالهواء مثل البنزين، أو قد تشتعل تلقائياً مثل الفوسفور أو البيركلورات، وتحتاج إلى عناية خاصة في النقل والتخزين والتداول. إضافة إلى ذلك، يُصنف بعض الغازات والسوائل كمادة شديدة الانفجار لا بسبب قابليتها للاشتعال فقط، بل نتيجة لضغطها المرتفع أو قدرتها على تكوين مزيج متفجر مع الهواء. (Al-Qushayrt, 2022)

من خلال هذا التصنيف المتكامل، يمكن بناء استراتيجيات فعالة للسلامة الصناعية، سواء من حيث تصميم أماكن التخزين، أو اختيار أدوات الإطفاء المناسبة، أو وضع الخطط الطارئة. كما يساعد هذا التصنيف المختصين في مجالات الكيمياء، والهندسة، والصحة والسلامة المهنية في تحديد سلوك المادة والتصرف الأمثل تجاهها، مما يقلل من احتمالية نشوب الحرائق ويُعزز من ثقافة الوقاية في البيئات عالية الحساسية. (Ben Miloud, 2024)

8.1.2 مخاطر المواد القابلة للاشتعال

تُعد المواد القابلة للاشتعال من أخطر العناصر التي يمكن أن توجد في بيئات العمل الصناعية والمهنية، حيث تشكل تهديداً مباشراً ومتعدد الأوجه. أولى هذه التهديدات تتمثل في مخاطر الحريق والانفجار، وهي من أكثر النتائج تدميراً عند التعامل مع هذه المواد من دون اتباع إجراءات السلامة الصارمة. إن وجود مواد قابلة للاشتعال في بيئة العمل، سواء كانت على شكل سوائل مثل البنزين والأسيتون، أو غازات

مثل البروبان والميثان، أو حتى مواد صلبة مثل البارود أو نشارة الخشب، يرفع احتمالية اندلاع حرائق كبيرة بمجرد توافر مصدر شرارة أو حرارة كافٍ. وقد لا يتطلب الأمر أكثر من تماس كهربائي أو احتكاك ميكانيكي بسيط لبدء حريق قد يتحول في ثوانٍ إلى انفجار إذا ما كانت المادة في حالة بخار أو محاطة بهواء مشبع بالأبخرة القابلة للاشتعال. وتزداد خطورة الانفجارات داخل الأماكن المغلقة والمصانع التي تفتقر إلى أنظمة تهوية مناسبة أو تحوي معدات حرارية وكهربائية غير مؤمنة، مما قد يؤدي إلى انهيار المنشآت، أو إصابات جماعية، أو حتى خسائر في الأرواح، إلى جانب الأثر المدمر على الممتلكات والآلات. (Horrocks, 2022)

أما على الصعيد البيئي، فإن اشتعال المواد القابلة للاشتعال يُعد من أهم مسببات التلوث، نظراً لما ينتج عنه من انبعاثات كيميائية وجزيئات ضارة إلى الهواء والماء والتربة. عند احتراق هذه المواد، تتصاعد كميات كبيرة من الغازات السامة مثل أول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، والهيدروكربونات غير المحترقة، إضافة إلى الجسيمات الدقيقة، وهذه كلها تساهم بشكل مباشر في تلوث الهواء وتدهور جودته. كما تؤدي الحرائق الناتجة عن هذه المواد إلى تسرب بقاياها أو سوائل الإطفاء المختلطة بها إلى مصادر المياه، ما يؤدي إلى تلوث الأنهر والمياه الجوفية، ويؤثر بدوره على النظم البيئية والحياة البرية. وفي حالات تسرب المواد البترولية واحتراقها، تكون العواقب أشد فتكاً، حيث يمكن أن تمتد آثار الحريق والتلوث لعقود، خاصة في التربة والمياه، وتؤثر في قدرة البيئة على التعافي الطبيعي. كذلك، فإن الغازات المنبعثة من بعض هذه المواد تعد من غازات الدفيئة التي تسهم في ظاهرة الاحتباس الحراري، ما يجعل تأثيرها متعدياً وممتداً على المدى الطويل. (Konstantinova et al., 2021)

من جهة أخرى، فإن التأثيرات الصحية على العاملين والمجتمع المحيط بمصادر هذه المواد أو أماكن استخدامها لا تقل خطورة. فالتعرض المباشر أو غير المباشر للمواد القابلة للاشتعال، سواء قبل أو أثناء أو بعد اشتعالها، يسبب مجموعة من المشكلات الصحية تتفاوت في خطورتها بين الحادة والمزمنة. في حالات الحرائق، قد يتعرض الأفراد للاختناق بسبب استنشاق الدخان السام أو الغازات المنبعثة، مثل أول أكسيد الكربون الذي يرتبط بالهيموغلوبين في الدم ويمنع انتقال الأكسجين إلى خلايا الجسم، ما قد يؤدي إلى فقدان الوعي أو الوفاة في غضون دقائق. بعض المواد عند احتراقها تُنتج أبخرة حمضية تؤدي إلى تهيج الجهاز التنفسي والعيون والجلد، وتسبب حالات من الربو أو أمراض الرئة المزمنة على المدى الطويل. كما

أن بعض المواد المحترقة تطلق مركبات مسرطنة أو سامة للكبد والكلى، مما يعرّض العاملين في الصناعات الكيماوية أو البترولية لمخاطر مهنية دائمة ما لم تُطبق أساليب الحماية والوقاية المناسبة. ولا تتوقف هذه المخاطر على العاملين فقط، بل تمتد إلى المجتمعات القريبة من المصانع والمستودعات، حيث يمكن أن تؤدي الانبعاثات الناتجة عن الحرائق أو التسريبات إلى تلوث هواء الأحياء السكنية أو مصادر المياه، مما ينعكس على الصحة العامة للسكان وخاصة الأطفال وكبار السن ومرضى الجهاز التنفسي. (Apte, 2021)

إن التعامل مع المواد القابلة للاشتعال يتطلب وعياً شديداً وتدريباً متواصلاً وإجراءات وقائية دقيقة لتجنب كوارث محتملة قد تمس الإنسان والبيئة على حدٍ سواء. فالمخاطر المصاحبة لا تتوقف عند مجرد اندلاع حريق، بل تشمل سلسلة مترابطة من التأثيرات التي تستدعي إدارة علمية واستباقية تراعي المعايير العالمية في السلامة والصحة والبيئة. (McLaggan et al., 2021)

9.1.2 التمييز بين المواد القابلة للاشتعال والمواد القابلة للانفجار

يُعدّ التمييز بين المواد القابلة للاشتعال والمواد القابلة للانفجار أمراً بالغ الأهمية في مجالات الصناعة والنقل والسلامة المهنية، حيث أن كلا النوعين من المواد يحمل مخاطر عالية، لكنهما يختلفان اختلافاً جوهرياً من حيث الطبيعة الكيميائية، وسلوك المادة، وآلية التفاعل مع العوامل الخارجية. لفهم هذا التمييز بدقة، لا بد من التطرق إلى التعريفات الأساسية لكل نوع من المواد، ثم استعراض الفروق في الخصائص، وسياقات الاستخدام، ومتطلبات التخزين والتعامل الآمن. (Konstantinova et al., 2021)

المواد القابلة للاشتعال هي تلك المواد التي يمكن أن تشتعل بسهولة عند تعرضها لمصدر حرارة أو شرارة أو لهب مفتوح، وتستمر في الاحتراق طالما توفر لها الأوكسجين أو وسط يساعد على استمرار التفاعل. تشمل هذه المواد كل من السوائل مثل البنزين والكحول، والغازات مثل البروبان والميثان، وكذلك المواد الصلبة القابلة للاحتراق مثل الخشب والورق والبلاستيك. عملية الاشتعال في هذه الحالة غالباً ما تكون تدريجية، وتحدث في ظل ظروف احتكاك أو ارتفاع حرارة دون أن يصاحبها تغير سريع جداً في الحجم أو ضغط مفاجئ. الميزة الأساسية في هذه المواد أن احتراقها يكون عادةً سطحيّاً أو تفاعليّاً فيزيائياً مع الوسط المحيط.

(Andrada et al., 2022)

أما المواد القابلة للانفجار فهي أشد خطورة بطبيعتها، إذ تتسم بقدرتها على التحول من الحالة المستقرة إلى حالة من التفاعل السريع جداً (التفجير)، وتنتج عن ذلك كمية هائلة من الحرارة والغازات والضغط في جزء من الثانية. وتحدث الانفجارات عادة عندما تتعرض هذه المواد – التي قد تكون في صورة صلبة أو سائلة أو حتى غازية – إلى صدمة ميكانيكية أو حرارة أو احتكاك بسيط، مما يؤدي إلى تفاعل طارد للطاقة يتوسع بشكل عنيف في كل الاتجاهات. تشمل هذه المواد الديناميت، TNT، نترات الأمونيوم، والمواد المتفجرة الصناعية والعسكرية. وتتميز هذه المواد بامتلاكها لما يعرف بـ"الطاقة الكامنة العالية" المخزنة داخل الروابط الكيميائية، والتي تُطلق دفعة واحدة عند التفجير. (Png et al., 2022)

ومن حيث الخصائص الفيزيائية والكيميائية، تُظهر المواد القابلة للاشتعال درجات حرارة وميض منخفضة، وغالباً ما تتطلب فقط وجود شرارة لبدء عملية الاحتراق. وتُقاس خطورتها بمدى سرعة الاشتعال وكمية الأبخرة المنبعثة منها. في المقابل، لا تعتمد المواد المتفجرة فقط على درجة الاشتعال، بل على طبيعة التفاعل الكيميائي الكامل، ومدى الضغط الداخلي الذي تُحدثه خلال الانفجار. كما أن المواد القابلة للاشتعال يمكن أن تحترق دون أن تسبب بالضرورة دماراً واسع النطاق، في حين أن المواد القابلة للانفجار قد تُحدث دماراً شاملاً في المكان المحيط لحظة الانفجار، وتشكل تهديداً مباشراً على الأرواح والمنشآت في محيطها. (قداحة والسراج، 2021)

على صعيد التعامل العملي، تختلف متطلبات التخزين والتأمين لكل من النوعين. فالمواد القابلة للاشتعال تُخزن عادة في أماكن جيدة التهوية وبعيدة عن مصادر الحرارة، وتستخدم فيها أنظمة الكشف المبكر عن الحريق وأنظمة الإطفاء. أما المواد القابلة للانفجار فتُخزن في مستودعات معزولة ومراقبة أمنياً، وتخضع لقوانين صارمة جداً في النقل والتداول. ويشترط التعامل معها من قبل أفراد ذوي تدريب خاص ومرخص لهم بذلك، نظراً للطبيعة غير المتوقعة لبعض هذه المواد. (إبراهيم، 2021)

أخيراً، من الضروري التأكيد أن فهم الفرق بين هذين النوعين من المواد لا يهدف فقط إلى تصنيفها أكاديمياً، بل يعد أداة أساسية لوضع سياسات السلامة وتحديد معايير الاستجابة للطوارئ. ففي حين أن المواد القابلة للاشتعال قد تتطلب خطط إخلاء ومنع انتشار النيران، فإن المواد القابلة للانفجار تتطلب

إجراءات استباقية لمنع أي صدمة أو تفريغ كهربائي أو خلل كيميائي قد يؤدي إلى انفجار فوري. وبالتالي، فإن التمييز بين هذين النوعين هو حجر الأساس في أي استراتيجية تهدف إلى تقليل المخاطر الصناعية والبيئية والإنسانية. (الزبيدي، 2023)

المبحث الثاني: انتشار الحرائق

1.2.2 تمهيد

يُعدّ انتشار الحرائق أحد أخطر الظواهر التي تواجه الإنسان والبيئة على حد سواء، لما تحمله من آثار مدمرة تتجاوز مجرد الخسائر المادية لتصل إلى التأثيرات البيئية والصحية والاجتماعية والاقتصادية. ويحدث انتشار الحريق عندما تبدأ النيران بالتحرك من نقطة الاشتعال الأولى لتلتهم ما يحيط بها من مواد قابلة للاحتراق، مكونة سلسلة من التفاعلات الحرارية والكيميائية المتسارعة التي يصعب السيطرة عليها ما لم تُتخذ إجراءات فورية ومناسبة. (إبراهيم، 2020)

تبدأ عملية الانتشار عادةً عندما تجد النار في محيطها مواد قابلة للاشتعال مثل الأخشاب، الأقمشة، الوقود، أو حتى الغازات والسوائل الكيميائية. وكلما زادت كثافة هذه المواد وسهولة احتراقها، تسارعت عملية انتشار اللهب. ويرتبط ذلك ارتباطاً مباشراً بعوامل فيزيائية وبيئية، مثل درجة الحرارة، الرطوبة، وجود الرياح، ونوع المواد المحيطة. فمثلاً، في الأماكن المغلقة، تنتقل النيران بسرعة عبر الأسطح والأسقف عن طريق التوصيل الحراري، أما في الأماكن المفتوحة مثل الغابات والمناطق الصناعية، فقد يكون الانتقال عبر الهواء على شكل شرارات متطايرة تنقل اللهب إلى أماكن بعيدة. (آل عسوج، 2024)

تلعب الرياح دوراً محورياً في سرعة واتجاه انتشار الحريق، حيث تعمل على دفع ألسنة اللهب بقوة نحو مناطق جديدة، وتجعل عملية السيطرة عليه أكثر تعقيداً. كما تؤدي إلى نقل الجسيمات المشتعلة من مكان إلى آخر، مسببة اشتعال بؤر جديدة. وهذا ما يفسّر كيف يمكن أن يمتد حريق محدود في البداية إلى مساحات شاسعة في دقائق معدودة. بالإضافة إلى الرياح، تُعدّ درجة الانحدار الأرضي عاملاً مؤثراً في انتشار الحرائق، حيث تميل النيران إلى الانتشار صعوداً بسرعة أكبر بفعل انتقال الحرارة إلى الأعلى. (إسماعيل وخروفة، 2023)

ومن الناحية الكيميائية، يساهم التفاعل المستمر بين الأوكسجين والمواد القابلة للاحتراق في تغذية الحريق، مما يؤدي إلى زيادة في درجة الحرارة وسرعة الاشتعال، وهو ما يُعرف بـ"التغذية الذاتية"،

حيث تخلق النار بيئتها المثالية للاستمرار والتوسع. ويصاحب هذا الانتشار تصاعد كثيف للدخان والغازات السامة مثل أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون، التي تعيق عمليات الإنقاذ وتعرض الأرواح للخطر. (Al-Qushayrt, 2022)

يُضاف إلى ذلك أن تصميم المباني وسوء التهوية أو غياب أنظمة الكشف المبكر عن الحرائق يسهم في زيادة سرعة الانتشار، خاصة في المناطق السكنية أو التجارية التي تحتوي على أثاث ومعدات مصنوعة من مواد سريعة الاشتعال. وقد لوحظ أن المباني ذات الفتحات الرأسية مثل السلالم والمصاعد تُعدّ قنوات مثالية لصعود اللهب والدخان، مما يزيد من تعقيد عمليات الإخلاء والإنقاذ. (Ben Miloud, 2024)

أما في البيئات الطبيعية كالغابات، فإن الجفاف، ووفرة النباتات الجافة، ودرجات الحرارة المرتفعة تشكّل جميعها بيئة مثالية لنشوء وانتشار الحرائق. ويزداد الأمر سوءاً في ظل التغيرات المناخية التي تجعل بعض المناطق أكثر عرضة لحرائق موسمية مدمّرة يصعب احتواؤها. (Horrocks, 2022)

لذا، فإن فهم آلية انتشار الحرائق لا يقتصر على دراسة كيفية انتقال اللهب فقط، بل يشمل مجموعة معقّدة من العوامل الكيميائية والفيزيائية والبيئية، التي تتداخل لتحديد سرعة الحريق، مداه، ودرجة خطورته. وهذا ما يجعل من الضروري اعتماد أنظمة وقائية دقيقة وتدريب فرق الاستجابة على آليات التعامل الفوري مع الحرائق للحد من انتشارها قبل أن تتحول إلى كوارث شاملة يصعب السيطرة عليها. (Konstantinova et al., 2021)

2.2.2 مفهوم انتشار الحرائق وأسبابه الأولية

يُعد انتشار الحرائق أحد أخطر التحديات التي تواجه السلامة العامة والصناعية، ويشير إلى العملية التي تنتقل فيها النيران من نقطة الاشتعال الأولى إلى أجزاء أخرى من المكان، سواء كان ذلك في بيئة مغلقة كالمصانع والمباني، أو في أماكن مفتوحة مثل الغابات والمناطق الزراعية. تنتج عملية الانتشار عن تفاعل معقد بين مجموعة من العوامل الفيزيائية والكيميائية والبيئية، وتتأثر بخصائص المادة المحترقة، ودرجة الحرارة، ونوعية الوسط المحيط، ووجود محفزات أو معوقات طبيعية أو صناعية. لا يقتصر مفهوم

الانتشار على الحركة الأفقية للنيران فحسب، بل يشمل أيضاً الامتداد الرأسي واللمبي عبر المواد والأسطح والأسقف، وهو ما يزيد من خطورته في البيئات المعمارية الكثيفة مثل ناطحات السحاب أو مراكز التخزين ذات الطوابق المتعددة. (McLaggan et al., 2021)

أما فيما يتعلق بالأسباب الأولية التي تؤدي إلى نشوب وبدء انتشار الحرائق، فهي متنوعة وتعكس تفاعلات بشرية وتقنية وبيئية. من أبرز هذه الأسباب التماس الكهربائي، الناتج عن سوء التوصيلات أو تهالك المعدات الكهربائية أو التحميل الزائد على الدوائر الكهربائية. يُعد التماس الكهربائي من أكثر أسباب الحرائق شيوعاً في المنشآت السكنية والتجارية على حد سواء. كذلك، تُسهم مصادر الحرارة المكشوفة مثل الأفران الصناعية، واللحام بالنار، والمدافئ غير المؤمنة، في إشعال المواد القابلة للاشتعال بسهولة، وخاصة في الأماكن التي تفتقر إلى تدابير السلامة المناسبة. إلى جانب ذلك، تُعد الإهمال البشري، مثل التدخين داخل المنشآت، أو عدم إغلاق أسطوانات الغاز، سبباً رئيسياً لاندلاع الحرائق. (Andrada et al., 2022)

ولا يمكن إغفال دور العوامل الطبيعية مثل الصواعق أو ارتفاع درجات الحرارة في المناطق الجافة التي تعاني من وفرة النباتات الجافة، وهو ما يُلاحظ بشكل متكرر في حرائق الغابات التي تُعد من أكبر الكوارث الطبيعية المرتبطة بانتشار النيران. كما أن التفاعلات الكيميائية غير المنضبطة داخل المصانع أو المختبرات قد تؤدي إلى انفجارات صغيرة تبدأ منها شرارات تنتشر بسرعة بين المواد المخزنة، مما يعزز من احتمالية تصاعد الحريق وتحوله إلى كارثة. (Apte, 2021)

إن فهم مفهوم انتشار الحرائق وأسبابه الأولية لا يُعد مسألة نظرية فقط، بل هو مدخل ضروري لتصميم خطط الاستجابة للطوارئ ووضع استراتيجيات الوقاية والتقليل من الأضرار، سواء على المستوى الفردي أو المؤسسي. فكلما زادت المعرفة بهذه الظاهرة، زادت القدرة على التحكم بها، وتقلصت آثارها السلبية على الأرواح والممتلكات. (Png et al., 2022)

3.2.2 المراحل الزمنية لتطور الحريق وانتشاره

تمر الحرائق بمجموعة من المراحل الزمنية المتعاقبة التي تعكس تطورها من لحظة الاشتعال الأولى إلى مرحلة التوسع الكامل والاحتراق الشامل، وصولاً إلى الانحسار والاحتواء، وهي مراحل تشترك فيها العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تحدد مدى شدة الحريق وسرعة انتشاره، فضلاً عن تأثيره على البيئة

المحيطة. دراسة هذه المراحل تُعد أمرًا بالغ الأهمية لفهم سلوك النيران وتطوير آليات الاستجابة المناسبة في سياق السلامة العامة والدفاع المدني. (قداحة والسراج، 2021)

تبدأ أولى هذه المراحل بما يُعرف بمرحلة "الاشتعال الأولي" أو "المرحلة الابتدائية"، وهي النقطة التي تنشأ فيها النار نتيجة توفر ثلاثية الحريق: المادة القابلة للاشتعال، ومصدر حرارة كافٍ، والأكسجين. في هذه المرحلة، يكون اللهب محدودًا في نطاق ضيق، وتُصدر النيران طاقة حرارية منخفضة نسبيًا. غالبًا ما يمكن احتواء الحريق في هذه المرحلة بسهولة إذا تم اكتشافه بسرعة، إذ لم تصل درجة الحرارة بعد إلى الحد الذي يسمح بانتشار اللهب إلى المواد المحيطة. (إبراهيم، 2021)

بعد ذلك تأتي "مرحلة النمو"، وهي الفترة التي تبدأ فيها النار بالاتساع أفقيًا ورأسيًا، وتزداد فيها درجات الحرارة بشكل متسارع، وتنتج عنها كميات أكبر من اللهب والدخان والغازات السامة مثل أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات. في هذه المرحلة، تلعب نوعية المواد المحترقة وطبيعة التهوية دورًا محوريًا في تحديد سرعة نمو الحريق. كما تبدأ الأسطح المجاورة في امتصاص الحرارة، مما قد يؤدي إلى اشتعال ذاتي لبعض المواد القريبة دون تماس مباشر باللهب. تعد هذه المرحلة حاسمة في تحديد ما إذا كان بالإمكان السيطرة على الحريق أو ما إذا كان سيتحول إلى حريق شامل. (إسماعيل وخروفة، 2023)

تصل النيران بعد ذلك إلى "مرحلة الاحتراق الكامل" أو ما يُعرف بـ "مرحلة الاشتعال الفجائي" (Flashover)، والتي تُعد من أخطر المراحل. في هذه النقطة، تكون جميع المواد القابلة للاشتعال في مساحة الحريق قد وصلت إلى درجات حرارة عالية بما يكفي لتشتعل دفعة واحدة، ما يؤدي إلى انفجار لبي مفاجئ يجعل عملية المكافحة في غاية الصعوبة. تكون الحرارة في هذه المرحلة شديدة الارتفاع وقد تتجاوز 1000 درجة مئوية، مما يؤدي إلى انهيار البنية الهيكلية للمكان وانتقال النيران إلى أجزاء جديدة بسرعة كبيرة. (آل عسوج، 2024)

أخيرًا، تأتي "مرحلة الانحسار" أو "الانخفاض"، والتي تبدأ حينما تُستهلك غالبية المواد القابلة للاشتعال، وتنخفض درجات الحرارة بشكل تدريجي. يقل نشاط اللهب في هذه المرحلة، لكن يستمر إنتاج الدخان والغازات الضارة، ما يُشكل خطورة على العاملين في مواقع الإطفاء. كما أن الحطام الساخن المتبقي

يمكن أن يُعيد إشعال الحريق في حال عدم التعامل معه بحذر. لذلك، فإن هذه المرحلة تتطلب متابعة دقيقة وعملية تبريد شاملة للمكان لمنع إعادة الاشتعال. (الزبيدي، 2023)

تُبرز هذه المراحل الزمنية لتطور الحريق أهمية الكشف المبكر، وسرعة التدخل، والتخطيط الجيد للإخلاء والمكافحة، مما يجعل فهمها ضرورة علمية وعملية في جميع البيئات المعرضة لمخاطر الاشتعال، سواء كانت صناعية أو سكنية أو طبيعية. (إبراهيم، 2020)

4.2.2 العوامل الفيزيائية المؤثرة في سرعة وانتشار الحريق

تؤثر العوامل الفيزيائية بشكل مباشر على سرعة انتشار الحريق وشدة اشتعاله، حيث تعمل هذه العوامل كوسيط بين مصدر الاشتعال وبين المواد القابلة للاحتراق، فإما أن تسهم في تسريع وتوسيع رقعة النيران، أو أن تحد من انتشارها وتُبطئ من وتيرة تمددها. يُعد فهم هذه العوامل أمراً حيوياً في مجالات الوقاية من الحرائق، وتصميم أنظمة السلامة، ووضع خطط الاستجابة الطارئة، خصوصاً في البيئات الصناعية والسكنية والمناطق الطبيعية المعرضة لمخاطر الحرائق. (Al-Qushayrt, 2022)

أول هذه العوامل يتمثل في درجة الحرارة، والتي تُعد شرطاً أساسياً في اشتعال المواد القابلة للاحتراق. فكلما ارتفعت درجة حرارة الوسط المحيط، اقتربت المواد القابلة للاشتعال من نقطة وميضها أو نقطة احتراقها، مما يزيد من احتمالية اندلاع الحريق وانتشاره. كما أن الحرارة العالية تُسهم في تسخين المواد القريبة من اللهب، فتصل بدورها إلى مرحلة الاشتعال الذاتي دون الحاجة إلى تماس مباشر مع مصدر النار، الأمر الذي يسرع من عملية الانتشار. (Ben Miloud, 2024)

الرطوبة تأتي على النقيض من الحرارة، فهي تُعد عاملاً مثبطاً للحريق. فالمواد ذات المحتوى الرطوبي العالي تحتاج إلى طاقة حرارية أكبر حتى تفقد رطوبتها وتصبح قابلة للاشتعال. هذا ما يُفسر صعوبة احتراق الأخشاب الطرية أو التربة الرطبة مقارنة بالمواد الجافة. لذا، يُلاحظ أن الحرائق تنتشر بسرعة أكبر في الظروف الجافة، خصوصاً في المناطق التي تشهد موجات حر حرجية أو فترات جفاف طويلة، كما هو الحال في الغابات. (Horrocks, 2022)

أما التهوية وحركة الهواء فتلعب دورًا حاسمًا في تغذية اللهب بالأكسجين، العنصر الضروري لعملية الاحتراق. فالرياح، خاصة إذا كانت قوية ومستمرة، تُسرّع من انتشار الحريق أفقيًا ورأسيًا، وتحمل معها الجمرات المتقدمة إلى مناطق جديدة، ما يُسبب بؤر اشتعال متعددة في وقت قصير. كما أن حركة الهواء تؤثر على شكل اللهب واتجاه تمدده، الأمر الذي يعقد جهود المكافحة، خصوصًا في الحرائق المفتوحة كالتي تحدث في الحقول أو الغابات. (Andrada et al., 2022)

كذلك، طبيعة سطح الأرض وتضاريسه لها تأثير ملموس على سرعة الحريق. فالنيران تميل إلى الانتقال صعودًا على المنحدرات بسرعة أكبر من انتقالها على الأسطح المستوية، وذلك لأن الحرارة ترتفع بفعل الحمل الحراري، مما يرفع درجة حرارة المواد في الأعلى ويُسهّل اشتعالها. ولهذا السبب، تعتبر المناطق الجبلية من أخطر البيئات عند اندلاع الحرائق، حيث يمكن أن تقطع النيران مسافات كبيرة في وقت وجيز جدًا. (Konstantinova et al., 2021)

ومن العوامل الفيزيائية المهمة أيضًا الكتلة والحجم وشكل المادة القابلة للاحتراق، إذ تشتعل المواد ذات السطح الكبير والحجم الصغير بشكل أسرع لأنها تتعرض لكمية أكبر من الأكسجين، مقارنةً بالمواد الضخمة والكثيفة. فالأوراق الجافة والأقمشة الرقيقة تشتعل وتنتشر فيها النار بسرعة، بينما تستغرق الأخشاب الضخمة أو المعادن القابلة للاشتعال وقتًا أطول للاحتراق الكامل. (Apte, 2021)

كما لا يمكن إغفال خصائص العزل الحراري لبعض المواد، حيث إن المواد التي تحتفظ بالحرارة لفترات طويلة قد تُسهّم في إعادة الاشتعال حتى بعد إخماد الحريق ظاهريًا. في المقابل، فإن المواد العازلة للحرارة تعمل كحواجز طبيعية أمام انتشار اللهب، مثل الصوف الصخري أو الألواح الجبسية المقاومة للنار، التي تُستخدم في أنظمة البناء الحديثة لتأخير تمدد الحريق. (Png et al., 2022)

في المجمل، تمثل هذه العوامل الفيزيائية شبكة معقدة من التفاعلات التي تؤثر على سلوك النيران من حيث السرعة والاتجاه والشدة. وإن إدراك هذه العوامل والتنبؤ بآثارها هو ما يُمكن من تطوير تقنيات الإنذار المبكر، وتحسين تصميم المنشآت، واتخاذ قرارات فعالة في حالات الطوارئ للحد من الخسائر البشرية والمادية. (قداحة والسراج، 2021)

5.2.2 تأثير الظروف البيئية (الحرارة، الرطوبة، الرياح) على سلوك الحريق

تلعب الظروف البيئية دورًا جوهريًا في تحديد طبيعة الحريق وسلوكه، فهي ليست مجرد عوامل مرافقة، بل تؤثر بشكل مباشر على مدى اشتعال المواد، وسرعة انتشار النيران، واتساع رقعة الحريق، وكذلك على مدى صعوبة أو سهولة السيطرة عليه. وتُعد الحرارة والرطوبة والرياح من أهم المؤثرات البيئية التي تساهم في هذا السلوك، ولكل منها خصائص فريدة تنعكس بطرق مختلفة على تطور الحريق واستمراره. (Konstantinova et al., 2021)

تُعتبر الحرارة من المحركات الأساسية للحريق، حيث تمثل العنصر الأول في مثلث الاشتعال، إلى جانب الوقود والأكسجين. عندما ترتفع درجة حرارة البيئة المحيطة، فإن المواد القابلة للاشتعال تصل بشكل أسرع إلى نقطة الوميض أو الاشتعال الذاتي، ما يؤدي إلى اندلاع الحريق دون الحاجة إلى مصدر لهب مباشر. الحرارة العالية ترفع كذلك حرارة الأسطح المجاورة وتساهم في انتقال اللهب إليها بسرعة، مما يجعل انتشار الحريق أكثر عنفًا واستمرارية. وفي المناطق ذات المناخ الحار، مثل الصحاري أو خلال موجات الحر الصيفية، تصبح احتمالية اندلاع الحرائق أعلى، بل وتنتقل النيران من مكان إلى آخر بوتيرة متسارعة يصعب السيطرة عليها. (إسماعيل وخروفة، 2023)

أما الرطوبة فهي على النقيض من الحرارة، إذ تعمل كمثبط طبيعي للنيران. فعندما تكون مستويات الرطوبة في الهواء مرتفعة، أو عندما تكون المواد المحيطة مشبعة بالرطوبة، فإن كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتبخير الماء من هذه المواد قبل أن تشتعل تصبح كبيرة، مما يؤخر أو يمنع حدوث الحريق. ولهذا السبب نجد أن الحرائق نادرًا ما تشتعل في الأوقات الرطبة أو بعد هطول الأمطار. في المقابل، انخفاض نسبة الرطوبة يجعل المواد قابلة للاحتراق بشكل أكبر، خاصة إذا كانت مكدسة أو منتشرة في بيئة مغلقة وجافة، كالمخازن التي تفتقر للتهوية. (آل عسوج، 2024)

تُعد الرياح من أكثر العوامل تأثيرًا في سلوك الحريق، ليس فقط لأنها توفر الأكسجين الضروري للاحتراق، بل لأنها كذلك تساهم في توجيه اللهب ونقله من مكان لآخر، بل وأحيانًا خلق بؤر حريق جديدة عبر حمل الجمرات المشتعلة لمسافات بعيدة. سرعة الرياح تحدد مدى انتشار الحريق أفقيًا، وقد تتسبب في

إشعال مساحات واسعة في وقت قصير جدًا، خاصة في الأماكن المفتوحة مثل الغابات والحقول. كما أن الرياح القوية تُعقّد من جهود فرق الإطفاء، إذ تمنع إحكام السيطرة على اللهب، وتُغيّر اتجاهات النيران باستمرار، مما يهدد سلامة العاملين على مكافحة ويُضاعف خطر الحريق. (الزبيدي، 2023)

يُضاف إلى ذلك أن الرياح والحرارة معًا تُكوّنان بيئة مثالية لحرائق ضخمة يصعب السيطرة عليها، مثل تلك التي تُعرف بالحرائق البرية أو حرائق الغابات، والتي تزداد حدتها عندما تجف النباتات بفعل الحرارة وتتسارع الرياح في نشر الشرر والنيران. كما أن تفاعل هذه العوامل مع تضاريس الأرض، مثل المنحدرات والوديان، قد يؤدي إلى تشكل ما يُعرف "بتأثير المدخنة" حيث يُسحب الهواء الساخن إلى الأعلى بسرعة، ما يزيد من سرعة اشتعال المناطق المرتفعة. (إبراهيم، 2021)

بالتالي، يمكن القول إن الظروف البيئية الثلاث — الحرارة، الرطوبة، والرياح — لا تعمل بمعزل عن بعضها البعض، بل تتفاعل بشكل معقد لتحديد مدى خطورة الحريق واستمراره. وهذا ما يجعل من الضروري في كل خطط إدارة الأزمات ومكافحة الحرائق دراسة هذه العوامل جيدًا، ومراقبتها على مدار الساعة، وتوقع تأثيراتها من خلال نماذج الطقس وتحليلات سلوك النيران، وذلك للحد من الخسائر البشرية والبيئية والمادية المحتملة. (Al-Qushayrt, 2022)

6.2.2 دور المواد القابلة للاشتعال في تسريع انتشار النيران

تلعب المواد القابلة للاشتعال دورًا محوريًا في تسريع وتيرة انتشار النيران، إذ تُعد من أهم العوامل التي تؤثر على مدى اشتعال الحريق وسرعة تمدده في البيئة المحيطة. فوجود هذه المواد، سواء في البيئات الصناعية أو السكنية أو الطبيعية، يمثل خزانًا جاهزًا يغذي ألسنة اللهب ويمنحها القدرة على التحرك من موقع إلى آخر بوتيرة متسارعة. وما يجعل هذه المواد أكثر خطورة هو سهولة تفاعلها مع مصدر الحرارة أو الشرارة الأولى، إضافة إلى خصائصها الفيزيائية والكيميائية التي تُسهّل الاشتعال وتطيل أمد الاحتراق. (Ben Miloud, 2024)

تتباين المواد القابلة للاشتعال في حالاتها الفيزيائية بين صلبة وسائلة وغازية، إلا أن السائلة والغازية منها تُعد الأخطر من حيث سرعة التفاعل والانتشار، نظرًا لقدرتها على التبخر أو التمدد في الفراغ المحيط بسهولة. فعلى سبيل المثال، سوائل مثل البنزين أو الكحول أو الزيوت العضوية تنتج أبخرة شديدة الاشتعال يمكن أن تشتعل حتى عند درجات حرارة منخفضة نسبيًا. هذه الأبخرة، بمجرد أن تختلط بالأكسجين في الهواء، تشكل مزيجًا قابلاً للاشتعال ينتظر فقط شرارة بسيطة ليبدأ الحريق. وما أن تشتعل هذه الأبخرة، فإن النيران تنتقل بسرعة كبيرة، ويمكن أن تخلق موجات انفجارية تؤدي إلى امتداد الحريق إلى أماكن بعيدة في ثوانٍ معدودة. (Horrocks, 2022)

أما في حالة المواد الصلبة القابلة للاشتعال مثل الورق، الخشب، البلاستيك، والأقمشة، فإنها قد لا تشتعل فورًا، ولكنها تحتفظ بالحرارة وتوفر سطحًا واسعًا للاحتراق، مما يجعلها مصدرًا مستمرًا لتغذية النيران. وعند تعرض هذه المواد لحرارة مرتفعة لفترة قصيرة، تبدأ في التحلل الحراري، ما يُنتج أبخرة أو غازات قابلة للاشتعال تُسهم بدورها في رفع سرعة الاشتعال والانتشار. وهذا ما يُلاحظ في حرائق المنازل أو المستودعات التي تحتوي على كميات كبيرة من الأثاث أو الكرتون أو المواد البتروكيميائية. (Konstantinova et al., 2021)

من الناحية العملية، فإن وجود المواد القابلة للاشتعال بكثافة في مكان واحد يُحوّل الحريق البسيط إلى كارثة محتملة. إذ إن هذه المواد تُشكّل ما يُعرف بـ "سلسلة انتقال اللهب"، حيث يشتعل العنصر الأول، ومن ثم ينتقل اللهب إلى المادة المجاورة، لتستمر السلسلة وتتوسع رقعة الحريق. هذا النمط التتابعي في الاشتعال يُعزز من سرعة الانتشار بشكل لا يُتيح الوقت الكافي للتدخل أو الإخلاء في كثير من الأحيان، خصوصًا في الأماكن المغلقة أو السيئة التهوية. (Png et al., 2022)

ولا يمكن إغفال تأثير بعض المواد الخاصة مثل المواد الكيميائية والمذيبات والغازات الصناعية، والتي لا تقتصر خطورتها على سرعة الاشتعال فقط، بل تمتد إلى إنتاجها لهبًا عالي الحرارة، وانبعاثات سامة أو متفجرة عند احتراقها، مما يزيد من تعقيد الموقف ويُضاعف من آثار الحريق. لذلك، فإن التعامل مع

هذه المواد تتطلب تدابير خاصة للتخزين والنقل والتداول، وتوفير أنظمة إطفاء مناسبة لها. (McLaggan et al., 2021)

وبهذا يتضح أن المواد القابلة للاشتعال لا تقتصر خطورتها على كونها وقودًا للنيران، بل تُعد عنصرًا مسرّعًا يحوّل الحريق من حادث عرضي إلى تهديد شامل، ما يستدعي وعيًا دائمًا من الأفراد والمنشآت، وتنظيمًا دقيقًا لتخزين هذه المواد واستخدامها، إلى جانب تطوير نظم استجابة سريعة تعتمد على فهم طبيعة المادة وخصائصها في حالات الطوارئ. (Andrada et al., 2022)

الفصل الثالث: منهجية وإجراءات الدراسة

1.3 مقدمة

يتناول هذا الفصل الدراسة الميدانية وذلك من خلال التعرف على منهجية الدراسة ومجتمع وعينة الدراسة وأداة الدراسة ومصادر جمع البيانات والأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة وحساب الصدق والثبات لأداة الدراسة

2.3 منهجية البحث:

يستند البحث على منهجاً وصفيّاً تحليلياً، حيث يركز على فحص الأسس النظرية المتعلقة بالموضوع من خلال استعراض المراجع العربية والأجنبية ذات الصلة. ويتضمن البحث أيضاً تنفيذ دراسة ميدانية تتمثل في توزيع استبيانات على فئات مختلفة من العينة المختارة.

3.3 مجتمع وعينة الدراسة

تمثل مجتمع الدراسة في العاملين في قسم إدارة الأزمات بوزارة الصحة دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية وقامت الدراسة باستخدام أسلوب العينات العشوائية البسيطة لجمع بيانات الدراسة وذلك عن طريق أداة الدراسة المتمثلة في استمارة الاستبيان وقد بلغ عدد أفراد عينة الدراسة 350 فرد وهم الذين أجابوا على اسئلة استمارة الاستبيان.

4.3 مصادر جمع البيانات والمعلومات:

تعتمد الدراسة على مصدرين أساسيين في جمع البيانات والمعلومات كما يلي:

❖ المصادر الثانوية: وتتمثل في الكتب والمراجع العربية والأجنبية ذات الصلة بموضوع الدراسة بالإضافة

إلى الاعتماد على الأبحاث والدراسات السابقة والدوريات والمجلات العلمية والمقالات

❖ المصادر الأولية: حيث تعتمد الدراسة على الاستبانة كأداة رئيسية في جمع البيانات من مصادرها والتي تم تصميمها خصيصاً لهذا الغرض على Google Forms وإرسال رابطها إلى مجتمع الدراسة

5.3 الأساليب الإحصائية:

قام البحث باستخدام البرنامج الإحصائي SPSS لتحليل بيانات الدراسة باستخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية كما يلي:

- معامل الفا كور نباخ لحساب مستوي ثبات أداة الدراسة
- معامل ارتباط بيرسون لتحديد مستوي الاتساق الداخلي وصدق أداة الدراسة وللتعرف على العلاقة بين متغيرات الدراسة
- النسب والتكرارات لوصف خصائص عينة الدراسة
- الوسط الحسابي والانحراف المعياري لوصف مستوي استجابة افراد عينة الدراسة لعبارات أداة الدراسة
- معادلة الانحدار الخطي البسيط لقياس الأثر بين متغيرات الدراسة

6.3 أداة الدراسة

تم العمل على الاستبانة للتناسب مع متغيرات الدراسة من خلال الاطلاع على الدراسات السابقة المتعلقة بموضوع الدراسة، حيث تكونت من قسمين رئيسيين هما:

- القسم الأول: وهو الجزء الخاص بالمتغيرات الديمغرافية لأفراد عينة الدراسة، والمتمثلة بـ: النوع الاجتماعي، والعمر، والمؤهل العلمي، والوضع المهني،
- القسم الثاني: اشتمل القسم الثاني على الفقرات والأبعاد التي تقيس متغيرات الدراسة المستقل والتابع. وتضمنت العبارات المتعلقة بالمتغير المستقل (المواد القابلة للاشتعال) وتضمن ثلاث أبعاد (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعثات السامة) واشتملت على

15 عبارات والعبارات المتعلقة بالمتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية واشتملت على 10 عبارة وتم استخدام مقياس ليكرت ذو الخمس درجات الذي يتكون من موافق جدا (5)، موافق (4)، محايد (3)، غير موافق (2)، غير موافق جدا (1) في الإجابة على أسئلة محاور الدراسة.

وقد قامت الدراسة بتقسيم اتجاه موافقة أفراد عينة الدراسة على عبارات محاور الدراسة إلى مستويات من خلال تطبيق ما يلي:

- مدي المقياس = أعلى رقم في المقياس (5) – أقل رقم في المقياس (1) = 4
- مدي المستوي = مدي المقياس / عدد المستويات (5) = 0.80

جدول (1) مستويات موافقة عينة الدراسة على عبارات أداة الدراسة

الدرجة	المستوي
1.79 – 1	منخفضة جدا
2.59 – 1.80	منخفضة
3.39 – 2.60	متوسطة
4.19 – 3.40	مرتفعة
5.00 – 4.20	مرتفعة جدا

7.3 صدق أداة الدراسة

تم حساب صدق عبارات استمارة الاستبيان عن طريق تحديد مستوي التجانس الداخلي من خلال التعرف على الدلالة الإحصائية لمعاملات الارتباط بيرسون بين درجة العبارة والدرجة الكلية للمحور الذي تنتهي إليه العبارة وجاءت النتائج كما يلي:

■ المحور الأول: المواد القابلة للاشتعال

جدول (2) معاملات الارتباط لعبارات المحور الاول

م	العبارة	معامل ارتباط بيرسون	Sig
درجة القابلية للاشتعال			
1	تحتوي بعض المواد في المنشآت على قابلية عالية للاشتعال حتى عند درجات حرارة منخفضة.	0.588**	0.000
2	تزداد خطورة الحرائق في وجود مواد سريعة الاشتعال ضمن البنية الداخلية للمبنى.	0.687**	0.000
3	المواد ذات الأسطح الرقيقة أو المسامية تُظهر سرعة أكبر في الاشتعال.	0.481**	0.000
4	تختلف المواد المستخدمة في الأثاث من حيث درجة قابليتها للاشتعال.	0.607**	0.000
5	تصنيف المواد حسب قابليتها للاشتعال يساعد في الحد من انتشار الحريق.	0.646**	0.000
معدل إطلاق الحرارة			
6	تؤدي بعض المواد إلى انبعاث كميات كبيرة من الحرارة عند احتراقها.	0.778**	0.000
7	ارتفاع معدل إطلاق الحرارة يسهم في تسريع انتقال الحريق من مكان لآخر.	0.590**	0.000
8	تختلف المواد الإنشائية في معدل إنتاجها للحرارة عند الاحتراق.	0.782**	0.000

م	العبارة	معامل ارتباط بيرسون	Sig
9	ترتبط شدة الحريق بمعدل إطلاق الحرارة الناتج عن المواد القابلة للاشتعال.	0.795**	0.000
10	مراقبة المواد من حيث إنتاج الحرارة ضروري لتصميم أنظمة الإطفاء المناسبة.	0.488**	0.000
كثافة الدخان والانبعاثات السامة			
11	بعض المواد القابلة للاشتعال تنتج كميات كبيرة من الدخان الكثيف عند احتراقها.	0.721**	0.000
12	تتسبب بعض المواد الصناعية في انبعاث غازات سامة تشكل خطراً على الأرواح أثناء الحرائق.	0.730**	0.000
13	انبعاث الدخان السام من المواد المحترقة يزيد من صعوبة عمليات الإخلاء.	0.529**	0.000
14	تختلف المواد في مدى إنتاجها لدخان مرئي وغير مرئي خلال الحريق.	0.634**	0.000
15	تقليل استخدام المواد ذات الانبعاثات السامة يساهم في رفع مستوى السلامة.	0.671**	0.000

** ذات دلالة احصائية عند 0.01

وتبين أن جميع معاملات الارتباط لجميع عبارات محور المواد القابلة للاشتعال كانت ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية (0.01) وهذا يعني أن عبارات محور المواد القابلة للاشتعال تتمتع بصدق الاتساق الداخلي وهي صالحة لأغراض الدراسة.

■ المحور الثاني: سرعة انتشار الحرائق

جدول (3) معاملات الارتباط لعبارات المحور الثاني

م	العبارة	معامل ارتباط بيرسون	Sig
1	تعتمد سرعة انتشار الحرائق بشكل مباشر على نوعية المواد المستخدمة في البناء.	0.694**	0.000
2	تؤثر خصائص المادة القابلة للاشتعال على سرعة انتقال اللهب بين المساحات.	0.709**	0.000
3	تؤدي التهوية الجيدة في المباني إلى تسريع انتشار الحريق في وجود مواد قابلة للاشتعال.	0.649**	0.000
4	وجود مواد عازلة وغير قابلة للاشتعال يحدّ من سرعة امتداد النار.	0.725**	0.000
5	يلعب توزيع المواد القابلة للاشتعال دورًا مهمًا في نمط انتشار الحريق.	0.652**	0.000
6	تسهم الأسطح الواسعة ذات الاحتكاك العالي في تسريع حركة النيران.	0.750**	0.000
7	يكون انتشار الحريق أسرع في الأماكن المغلقة المليئة بالمواد القابلة للاشتعال.	0.448**	0.000
8	يعزز تصميم المبنى من أو يحدّ من انتشار الحريق بحسب توزيع المواد داخله.	0.649**	0.000
9	يؤدي اشتعال مادة واحدة قابلة للاشتعال إلى إشعال المواد المجاورة بسرعة.	0.630**	0.000
10	ارتفاع درجة الحرارة في البداية يؤثر على معدل انتشار الحريق لاحقًا.	0.673**	0.000

** ذات دلالة احصائية عند 0.01

وتبين أن جميع معاملات الارتباط لجميع عبارات محور سرعة انتشار الحرائق كانت ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية (0.01) وهذا يعني أن عبارات محور سرعة انتشار الحرائق تتمتع بصدق الاتساق الداخلي وهي صالحة لأغراض الدراسة.

8.3 ثبات أداة الدراسة:

تم حساب معامل ألفا كرونباخ لعبارات محاور الاستبيان وكانت النتائج كما يلي:

جدول (4) معامل الثبات لمحاور استمارة الاستبيان

المحاور	معامل الفا كرونباخ	عدد العبارات
المواد القابلة للاشتعال	0.850	20
سرعة انتشار الحرائق	0.898	10
إجمالي استمارة الاستبيان	0.929	30

يتبين أن قيمة معامل الثبات Alpha أكبر من 0.7 لجميع محاور استمارة الاستبيان مما يؤكد على صلاحية وارتباط عبارات محاور استمارة الاستبيان وارتفاع مستوى ثبات أداة الدراسة مما يسمح باستخدام الأداة لغرض الدراسة.

الفصل الرابع: تحليل النتائج

1.4 مقدمة

سوف نتناول في هذا الفصل تحليل بيانات الدراسة من خلال تحليل استمارة الاستبيان والتعرف على خصائص عينة الدراسة وتحليل محاور الدراسة واختبار فروض الدراسة من أجل تحقيق أهداف الدراسة والوصول إلى نتائج وتوصيات للدراسة.

2.4 خصائص عينة الدراسة

جدول (5) توزيع عينة الدراسة وفقا لخصائصها

الخاصية	الفئات	العدد	%
النوع الاجتماعي	ذكر	250	71.4
	أنثى	100	28.5
العمر	أقل من 25 سنة	60	17.1
	من 25 الى أقل من 35 سنة	100	28.5
	من 35 الى اقل من 45 سنة	100	28.5
	45 سنة فأكثر	90	25.7
المؤهل العلمي	ثانوي	90	25.7
	بكالوريوس	130	37.1
	ماجستير	100	28.5
	دكتوراه	30	8.5
الوضع المهني	مدير	150	42.8
	نائب مدير	120	34.2
	رئيس قسم	80	22.8

3.4 تحليل استمارة الاستبيان

✓ المحور الأول: المواد القابلة للاشتعال

1- درجة القابلية للاشتعال

جدول (6) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات درجة

القابلية للاشتعال

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
تحتوي بعض المواد في المنشآت على قابلية عالية للاشتعال حتى عند درجات حرارة منخفضة.	4.253	0.683	4	مرتفع جدا
تزداد خطورة الحرائق في وجود مواد سريعة الاشتعال ضمن البنية الداخلية للمبنى.	4.276	0.766	2	مرتفع جدا
المواد ذات الأسطح الرقيقة أو المسامية تُظهر سرعة أكبر في الاشتعال.	4.198	0.773	5	مرتفع
تختلف المواد المستخدمة في الأثاث من حيث درجة قابليتها للاشتعال.	4.372	0.564	1	مرتفع جدا
تصنيف المواد حسب قابليتها للاشتعال يساعد في الحد من انتشار الحريق.	4.273	0.775	3	مرتفع جدا
المتوسط	4.274	0.712		مرتفع

تم ترتيب عبارات درجة القابلية للاشتعال من حيث درجة الأهمية النسبية (قيمة المتوسط

الحسابي الأكبر) من وجهة نظر عينة الدراسة تبين أن عبارة (تختلف المواد المستخدمة في الأثاث من حيث

درجة قابليتها للاشتعال) هي أكثر العبارات أهمية بقيمة 4.372 وانحراف معياري 0.564 وبدرجة موافقة مرتفعة جدا بينما كانت العبارة (المواد ذات الأسطح الرقيقة أو المسامية تُظهر سرعة أكبر في الاشتعال) هي أقل العبارات أهمية بقيمة 4.198 وانحراف معياري 0.773 وبدرجة موافقة مرتفعة وعند دراسة عبارات درجة القابلية للاشتعال تبين أن أربع عبارات في مستوى الموافقة المرتفع جدا وعبارة واحدة في مستوى الموافقة المرتفع مما يوضح وجود مستوى مرتفع جدا من درجة القابلية للاشتعال كأحد أبعاد المواد القابلة للاشتعال حيث بلغت قيمة المتوسط الحسابي 4.274 وانحراف معياري 0.712

2- معدل إطلاق الحرارة

جدول (7) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوى الموافقة على عبارات معدل

إطلاق الحرارة

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الموافقة
تؤدي بعض المواد إلى انبعاث كميات كبيرة من الحرارة عند احتراقها.	4.359	0.709	2	مرتفع جدا
ارتفاع معدل إطلاق الحرارة يسهم في تسريع انتقال الحريق من مكان لآخر.	4.161	0.758	5	مرتفع
تختلف المواد الإنشائية في معدل إنتاجها للحرارة عند الاحتراق.	4.253	0.659	4	مرتفع جدا
ترتبط شدة الحريق بمعدل إطلاق الحرارة الناتج عن المواد القابلة للاشتعال.	4.396	0.634	1	مرتفع جدا
مراقبة المواد من حيث إنتاج الحرارة ضروري لتصميم أنظمة الإطفاء المناسبة.	4.315	0.615	3	مرتفع جدا
المتوسط	4.297	0.675		مرتفع جدا

تم ترتيب عبارات معدل إطلاق الحرارة من حيث درجة الأهمية النسبية (قيمة المتوسط الحسابي الأكبر) من وجهة نظر عينة الدراسة تبين أن عبارة (ترتبط شدة الحريق بمعدل إطلاق الحرارة الناتج عن المواد القابلة للاشتعال) هي أكثر العبارات أهمية بقيمة 4.396 وانحراف معياري 0.634 وبدرجة موافقة مرتفعة جدا بينما كانت العبارة (ارتفاع معدل إطلاق الحرارة يسهم في تسريع انتقال الحريق من مكان لآخر) هي أقل العبارات أهمية بقيمة 4.161 وانحراف معياري 0.758 وبدرجة موافقة مرتفعة وعند دراسة عبارات معدل إطلاق الحرارة تبين أن أربع عبارات في مستوى الموافقة المرتفع جدا وعبارة واحدة في مستوى الموافقة المرتفع مما يوضح وجود مستوي مرتفع جدا من معدل إطلاق الحرارة كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال حيث بلغت قيمة المتوسط الحسابي 4.297 بانحراف معياري 0.675

3- كثافة الدخان والانبعاثات السامة

جدول (8) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات كثافة

الدخان والانبعاثات السامة

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
بعض المواد القابلة للاشتعال تنتج كميات كبيرة من الدخان الكثيف عند احتراقها.	4.375	0.564	3	مرتفع جدا
تسبب بعض المواد الصناعية في انبعاث غازات سامة تشكل خطراً على الأرواح أثناء الحرائق.	4.453	0.539	1	مرتفع جدا
انبعاث الدخان السام من المواد المحترقة يزيد من صعوبة عمليات الإخلاء.	4.391	0.633	2	مرتفع جدا
تختلف المواد في مدى إنتاجها لدخان مرئي وغير مرئي خلال الحريق.	4.266	0.731	4	مرتفع جدا

تقليل استخدام المواد ذات الانبعاثات السامة يساهم في رفع مستوى السلامة.	4.216	0.773	5	مرتفع جدا
المتوسط	4.340	0.648		مرتفع جدا

تم ترتيب عبارات كثافة الدخان والانبعاثات السامة من حيث درجة الأهمية النسبية (قيمة المتوسط الحسابي الأكبر) من وجهة نظر عينة الدراسة تبين أن عبارة (تتسبب بعض المواد الصناعية في انبعاث غازات سامة تشكل خطراً على الأرواح أثناء الحرائق) هي أكثر العبارات أهمية بقيمة 4.453 وانحراف معياري 0.539 وبدرجة موافقة مرتفعة جداً بينما كانت العبارة (تقليل استخدام المواد ذات الانبعاثات السامة يساهم في رفع مستوى السلامة) هي أقل العبارات أهمية بقيمة 4.216 وانحراف معياري 0.773 وبدرجة موافقة مرتفعة وعند دراسة عبارات كثافة الدخان والانبعاثات السامة تبين أن جميع العبارات في مستوى الموافقة المرتفع جداً مما يوضح وجود مستوى مرتفع جداً من كثافة الدخان والانبعاثات السامة كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال حيث بلغت قيمة المتوسط الحسابي 4.340 بانحراف معياري 0.648

✓ المحور الثاني: سرعة انتشار الحرائق

جدول (9) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات سرعة

انتشار الحرائق

العبرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
تعتمد سرعة انتشار الحرائق بشكل مباشر على نوعية المواد المستخدمة في البناء.	4.169	0.953	3	مرتفع
تؤثر خصائص المادة القابلة للاشتعال على سرعة انتقال اللهب بين المساحات.	4.076	0.796	7	مرتفع

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
تؤدي التهوية الجيدة في المباني إلى تسريع انتشار الحريق في وجود مواد قابلة للاشتعال.	4.091	0.855	5	مرتفع
وجود مواد عازلة وغير قابلة للاشتعال يحدّ من سرعة امتداد النار.	4.154	0.678	4	مرتفع
يلعب توزيع المواد القابلة للاشتعال دورًا مهمًا في نمط انتشار الحريق.	4.010	0.754	8	مرتفع
تسهم الأسطح الواسعة ذات الاحتكاك العالي في تسريع حركة النيران.	3.982	0.780	9	مرتفع
يكون انتشار الحريق أسرع في الأماكن المغلقة المليئة بالمواد القابلة للاشتعال.	4.078	0.764	6	مرتفع
يعزز تصميم المبنى من أو يحدّ من انتشار الحريق بحسب توزيع المواد داخله.	3.917	0.907	10	مرتفع
يؤدي اشتعال مادة واحدة قابلة للاشتعال إلى إشعال المواد المجاورة بسرعة.	4.221	0.667	2	مرتفع جدا
ارتفاع درجة الحرارة في البداية يؤثر على معدل انتشار الحريق لاحقًا.	4.250	0.596	1	مرتفع جدا
المتوسط	4.095	0.775		مرتفع

تم ترتيب عبارات سرعة انتشار الحرائق من حيث درجة الأهمية النسبية (قيمة المتوسط الحسابي الأكبر) من وجهة نظر عينة الدراسة تبين أن عبارة (ارتفاع درجة الحرارة في البداية يؤثر على معدل انتشار الحريق لاحقًا) هي أكثر العبارات أهمية بقيمة 4.250 وانحراف معياري 0.596 وبدرجة موافقة مرتفعة جدا

بينما كانت العبارة (يعزز تصميم المبنى من أو يحدّ من انتشار الحريق بحسب توزيع المواد داخله) هي أقل العبارات اهمية بقيمة 3.917 وانحراف معياري 0.907 وبدرجة موافقة مرتفعة وعند دراسة عبارات سرعة انتشار الحرائق تبين أن عبارتين في مستوى الموافقة المرتفع جدا وثمانية عبارات في مستوى الموافقة المرتفع مما يوضح ارتفاع مستوى سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية المحدودة حيث بلغت قيمة المتوسط الحسابي 4.095 بانحراف معياري 0.775.

4.4 اختبارفروض الدراسة

→ الفرضية الرئيسية: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) للمواد القابلة للاشتعال بأبعادها (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة) على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية.

جدول (10) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر المواد القابلة للاشتعال على سرعة انتشار

الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية

P-VALUE	R	R ²	F	T	B
0.000	0.769	0.592	**553.350	**23.523	0.992

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي ببرنامج SPSS 23

** ذات دلالة احصائية عند 0.01

يتبين من الجدول (10) وجود أثر طردي ذي دلالة إحصائية لمستوى المواد القابلة للاشتعال بأبعادها (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة) على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى 0.05 حيث كانت قيمة (Sig F) = 0.000 وهي قيمة أقل من 0.05 أي أن قيمة F المحسوبة أكبر من قيمة F الجدولية واتضح وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين المواد القابلة للاشتعال بأبعادها (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة) على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على

شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير المستقل (المواد القابلة للاشتعال) يفسر 76.9 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى المواد القابلة للاشتعال بمقدار 1 % ازداد مستوى المواد القابلة للاشتعال بأبعادها (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة) على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.446% مما يبين عدم صحة الفرضية الرئيسية للدراسة.

→ الفرضية الفرعية الاولى: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \geq 0.005$) للتخطيط الاستراتيجي للصحة المهنية على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية، مع الدور الوسيط للالتزام المنظمة بتطبيق معايير السلامة.

جدول (11) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر درجة القابلية للاشتعال على سرعة انتشار

الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية

P-VALUE	R	R ²	F	T	B
0.000	0.746	0.557	**480.129	**21.912	0.361

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي ببرنامج SPSS 23

** ذات دلالة احصائية عند 0.01

يتبين من الجدول (11) وجود أثر طردي ذي دلالة إحصائية لمستوى درجة القابلية للاشتعال على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى 0.05 حيث كانت قيمة (Sig F) = 0.000 وهي قيمة أقل من 0.05 أي أن قيمة F المحسوبة أكبر من قيمة F الجدولية واتضح وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين درجة القابلية للاشتعال على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير المستقل (درجة القابلية للاشتعال) يفسر 55.7 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى درجة القابلية للاشتعال

بمقدار 1 % ازداد مستوى للتخطيط الاستراتيجي على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.361% مما يبين عدم صحة الفرضية الفرعية الاولى للدراسة.

→ الفرضية الفرعية الثانية: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \geq 0.005$)

لمعدل إطلاق الحرارة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية من خلال الدور الوسيط لتوفير المعدات والوسائل الوقائية.

جدول (12) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر معدل إطلاق الحرارة على سرعة انتشار

الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية

P-VALUE	R	R ²	F	T	B
0.000	0.694	0.481	**354.427	**18.826	0.337

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي ببرنامج SPSS 23

** ذات دلالة احصائية عند 0.01

يتبين من الجدول (13) وجود أثر طردي ذي دلالة إحصائية لمستوى معدل إطلاق الحرارة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى 0.05 حيث كانت قيمة (Sig F) = 0.000 وهي قيمة أقل من 0.05 أي أن قيمة F المحسوبة أكبر من قيمة F الجدولية واتضح وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين معدل إطلاق الحرارة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير المستقل (معدل إطلاق الحرارة) يفسر 48.1 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى معدل إطلاق الحرارة بمقدار 1 % ازدادت سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.337% مما يبين عدم صحة الفرضية الفرعية الثانية للدراسة.

→ الفرضية الفرعية الثالثة: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \geq 0.005$) للتدريب

والتوعية بالصحة المهنية على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية ،مع

اختبار الدور الوسيط للإبلاغ والاستجابة للحوادث المهنية

جدول (13) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر كثافة الدخان والانبعاثات السامة على سرعة

انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية

P-VALUE	R	R ²	F	T	B
0.000	0.650	0.422	**279.317	**16.713	0.294

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي ببرنامج SPSS 23

** ذات دلالة إحصائية عند 0.01

يتبين من الجدول (14) وجود أثر طردي ذي دلالة إحصائية لمستوى كثافة الدخان والانبعاثات

السامة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى 0.05 حيث

كانت قيمة (Sig F) = 0.000 وهي قيمة أقل من 0.05 أي أن قيمة F المحسوبة أكبر من قيمة F الجدولية

واتضح وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين كثافة الدخان والانبعاثات السامة على

سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان

المتغير المستقل (كثافة الدخان والانبعاثات السامة) يفسر 42.2 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع

(سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات أخرى لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد

مستوى كثافة الدخان والانبعاثات السامة بمقدار 1 % ازداد مستوى سرعة انتشار الحرائق دراسة

تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.294 % مما يبين عدم صحة الفرضية الفرعية الثالثة

للدراسة.

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات والمقترحات

1.5 مقدمة

سوف نتناول في هذا الفصل النتائج التي توصلت إليها الدراسة من خلال تحليل البيانات المتعلقة بمحاور الدراسة والتي تم الحصول عليها عن طريق أداة الاستبيان المتمثلة في استمارة الاستبيان واختبار فروض الدراسة من أجل تحقيق أهداف الدراسة وكذلك يتناول الفصل مجموعة من التوصيات التي توصي بها الدراسة ومجموعة من المقترحات لدراسات وابحاث يمكن اجراؤها في المستقبل

2.5 نتائج الدراسة

✓ وجود مستوي مرتفع جدا من درجة القابلية للاشتعال كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال حيث بلغت

قيمة المتوسط الحسابي 4.274 بانحراف معياري 0.712

✓ وجود مستوي مرتفع جدا من معدل إطلاق الحرارة كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال حيث بلغت

قيمة المتوسط الحسابي 4.297 بانحراف معياري 0.675

✓ وجود مستوي مرتفع جدا من كثافة الدخان والانبعاثات السامة كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال

حيث بلغت قيمة المتوسط الحسابي 4.340 بانحراف معياري 0.648

✓ وجود مستوي مرتفع جدا من كأحد ابعاد المواد القابلة للاشتعال حيث بلغت قيمة المتوسط الحسابي

4.297 بانحراف معياري 0.675

✓ ارتفاع مستوى سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية المحدودة حيث

بلغت قيمة المتوسط الحسابي 4.095 بانحراف معياري 0.775.

✓ وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين المواد القابلة للاشتعال بأبعادها (درجة

القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة) على سرعة انتشار

الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير

المستقل (المواد القابلة للاشتعال) يفسر 76.9 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة

انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى المواد القابلة للاشتعال بمقدار 1 % ازداد مستوى المواد القابلة للاشتعال بأبعادها (درجة القابلية للاشتعال، معدل إطلاق الحرارة، كثافة الدخان والانبعاثات السامة) على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.446% مما يبين عدم صحة الفرضية الرئيسية للدراسة.

✓ وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين درجة القابلية للاشتعال على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير المستقل (درجة القابلية للاشتعال) يفسر 55.7 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى درجة القابلية للاشتعال بمقدار 1 % ازداد مستوى للتخطيط الاستراتيجي على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.361% مما يبين عدم صحة الفرضية الفرعية الاولى للدراسة.

✓ وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين معدل إطلاق الحرارة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير المستقل (معدل إطلاق الحرارة) يفسر 48.1 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى معدل إطلاق الحرارة بمقدار 1 % ازدادت سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.337 % مما يبين عدم صحة الفرضية الفرعية الثانية للدراسة.

✓ وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين كثافة الدخان والانبعاثات السامة على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير المستقل (كثافة الدخان والانبعاثات السامة) يفسر 42.2 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى كثافة الدخان والانبعاثات السامة بمقدار 1 % ازداد مستوى سرعة انتشار

الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.294 % مما يبين عدم صحة الفرضية الفرعية الثالثة للدراسة.

✓ وجود علاقة ارتباط طردية قوية ذات دلالة إحصائية بين على سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية عند مستوى معنوية 0.05 واتضح ان المتغير المستقل (المواد القابلة للاشتعال) يفسر 48.1 % من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (سرعة انتشار الحرائق) وان باقي التغيرات ترجع لمتغيرات اخري لم تدخل في النموذج وتبين أن كلما ازداد مستوى بمقدار 1 % ازداد مستوى سرعة انتشار الحرائق دراسة تطبيقية على شركة أرامكو السعودية بمقدار 0.337 % مما يبين عدم صحة الفرضية الفرعية الرابعة للدراسة.

3.5 التوصيات

- ✓ اعتماد مواد بناء منخفضة القابلية للاشتعال ضمن معايير السلامة في جميع منشآت الشركة.
 - ✓ تحديث أدلة تصنيف المواد بحسب درجة خطورتها في اشتعال الحرائق واستخدامها في الديكورات أو الأثاث.
 - ✓ تطبيق اختبارات دورية لمستوى القابلية للاشتعال للمواد المخزنة أو المستخدمة داخل المرافق.
 - ✓ تركيب أنظمة إنذار مبكر واستشعار حراري تميز بين مصادر الحرارة الطبيعية والنتيجة عن اشتعال.
 - ✓ إلزام الموردين الصناعيين باستخدام مواد معتمدة ذات مقاومة عالية للحريق.
 - ✓ تفعيل برامج توعوية للعاملين حول خطورة المواد القابلة للاشتعال وطرق التعامل معها.
 - ✓ تصميم منشآت الشركة بما يتوافق مع معايير الفصل بين المواد القابلة للاشتعال والمساحات الحرجة.
 - ✓ تحسين التهوية وإدارة الهواء الداخلي بما يقلل من تركيز الغازات القابلة للاشتعال.
 - ✓ تحليل بيانات الحوادث السابقة لاستخلاص أنماط تساعد في الوقاية المستقبلية.
 - ✓ التعاون مع جهات استشارية دولية لتطبيق أفضل الممارسات العالمية في الحد من مخاطر الحرائق.
- العمل.

4.5 المقترحات

- إجراء دراسة موسعة تشمل مواقع أرامكو المختلفة لمقارنة تأثير المواد القابلة للاشتعال على الانتشار الزمني للحرائق.
- تطوير دليل استرشادي داخلي لتقييم درجة القابلية للاشتعال لجميع المواد المستخدمة بالمباني.
- تصميم محاكاة رقمية عبر برامج هندسية لتوقع سرعة انتشار الحرائق حسب نوع المادة المستخدمة في البناء.
- إطلاق مشروع تجريبي لاستخدام مواد ذكية مقاومة للحريق في مباني جديدة تابعة للشركة.
- دمج بيانات المواد القابلة للاشتعال في أنظمة إدارة المخاطر المؤسسية.
- اقتراح نظام ترميز لوني لتحديد المواد الخطرة بصريًا داخل المخازن أو أماكن الإنتاج.
- إجراء دراسات مقارنة بين المواد المحلية والمستوردة من حيث التأثير على تفاقم الحريق.
- دمج متغير "قابلية المادة للاشتعال" في تخطيط عمليات الطوارئ والإخلاء.
- استحداث وحدة داخلية متخصصة بإدارة المواد الخطرة ضمن هيكل إدارة السلامة.
- إجراء بحوث تطبيقية بالتعاون مع الجامعات السعودية حول تطوير بدائل آمنة للمواد شديدة الاشتعال المستخدمة حاليًا.

Abstract

This study aimed to investigate the extent to which flammable materials contribute to the rapid spread of fires within buildings at Saudi Aramco. Data was collected through a questionnaire administered to a random sample of employees in recruitment companies in Riyadh, with a total of 322 participants. The questionnaire consisted of 33 items distributed across four main axes.

The results revealed a very high level of flammability as one of the dimensions of flammable materials, as well as a very high level of heat release rate as another critical dimension.

Based on these findings, the study recommends adopting low-flammability building materials as part of safety standards in all company facilities, and updating material classification guidelines according to their fire hazard levels, especially regarding their use in decorations and furniture.

Keywords: Flammable materials – Fire spread rate – Saudi -
Aramc

قائمة المراجع

أولاً: المراجع العربية

- (1) إبراهيم، نوال أحمد. (2020). الاستفادة من نظم الحريق البدائية في الحصول على تأثيرات ذات قيمة جمالية وإقتصادية. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، ع20، 649 - 664.
- (2) إبراهيم، نوال أحمد. (2021). تأثيرات الطلاءات الملحية على البلاطات الخزفية الصناعية المنتجة بأسلوب الحريق السريع. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، ع28، 517 - 532.
- (3) إسماعيل، ريا حقي، و خروفة، عمر حازم. (2023). تأثير عرض النوافذ على سرعة انتشار الحريق في المباني العالية. مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات، مج7، ع4، 11 - 24.
- (4) آل عسوج، علا علي. (2024). العوامل التي تسهم في نشوب حرائق الغابات وآثارها: منطقة عسير أنموذجاً. المجلة العربية للنشر العلمي، ع66، 53 - 80.
- (5) الزبيدي، حليلة بنت إبراهيم بن علي. (2023). مخاطر حرائق الغابات في جنوب غرب المملكة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: شعف شهران أنموذجاً. المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، مج16، ع2، 1 - 39.
- (6) قداحة، زينب، و السراج، عبود. (2021). المسؤولية الجزائية عن الإطلاق العشوائي للعبارات النارية في مناسبات الفرح والحزن. مجلة جامعة البعث سلسلة العلوم القانونية، مج43، ع23، 61 - 86.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- 7) Al-Qushayrt, N. b. F. ' (2022). The Creed of the Ibadites Regarding the One Who Commit Major Sins: A Critical Study. Journal of Doctrinal Studies, Vol. 15, No. 30, 594-612.
- 8) Andrada, M. E., Ferreira, J. F., Portugal, D., & Couceiro, M. S. (2022, January). Integration of an artificial perception system for identification of live flammable material in forestry

- robotics. In 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (pp. 103-108). IEEE.
- 9) Apte, V. (Ed.). (2021). Flammability Testing of Materials Used in Construction, Transport, and Mining. Woodhead Publishing.
 - 10) Belikov, A. S., Shalomov, V. A., Shyba, O., & Makhinko, A. (2022). Theoretical analysis of the combustion process. *Ukrains'kij Zhurnal Budivnictva Ta Arhitekturi*, 4, 26–30.
<https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.250822.26.874>
 - 11) Ben Miloud, H. M. (2024). Using the Weather Index Classification System for Canadian Forest Fires over the Al-Jabal Al-Akhdar in Libya. *University of Benghazi Scientific Journal*, Vol. 37, No. 1, 55-64.
 - 12) Bifulco, A., Gaan, S., Price, D., & Horrocks, A. R. (2024). Thermal Decomposition of Flame Retardant Polymers (pp. 11–35). Informa. <https://doi.org/10.1201/9781003380689-2>
 - 13) Choi, M.-K., Han, D.-H., & Choi, D.-M. (2014). Arson Fire Analysis Involving the Use of Flammable Liquids as Accelerants. 28(4), 64–72.
<https://doi.org/10.7731/KIFSE.2014.28.4.064>
 - 14) Dobrzyńska, R. (2019). The Impact of Equipment Materials on the Fire Safety of Coaches (pp. 583–592). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9271-9_49
 - 15) Grasso, P., & Innocente, M. S. (2018). A two-dimensional reaction-advection-diffusion model of the spread of fire in wildlands (pp. 334–342). Imprensa da Universidade de Coimbra. https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_36
 - 16) Hassan, Md. K., Hossain, Md. D., Gilvonio, M., Rahnamayiezekavat, P., Douglas, G., Pathirana, S. W., & Saha, S. (2022). Numerical Investigations on the Influencing Factors of Rapid Fire Spread of Flammable Cladding in a High-Rise Building. *Fire*, 5(5), 149.
<https://doi.org/10.3390/fire5050149>

- 17) Hill, R. H. (2021). Fire Hazards of Flammable Liquids—What Undergraduates Need to Know. *Journal of Chemical Education*, 98(1), 45–49.
<https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.0C00084>
- 18) Horrocks, A. R. (2022). Fundamentals: Flammability, ignition, and fire spread in polymers. In *Analysis of Flame Retardancy in Polymer Science* (pp. 1-72). Elsevier.
- 19) Kavitha, R. R., Karunanithi, G., Madhumitha, S., Kesavarthini, D., Kirthika, R., Lavanya, D., & Merina, M. (2024). A Study to Assess the Knowledge on Fire Safety at Work Place among the Health Care Workers at a Tertiary Care Hospital. *Nursing Journal of India*, CXV(04), 152–157. <https://doi.org/10.48029/nji.2024.cvx402>
- 20) Konstantinova, N. I., Smirnov, N. V., Shebeko, A. Y., & Tanklevsky, L. T. (2021). Flammability of polymeric materials used in construction. *Magazine of Civil Engineering*, (2 (102)), 10203.
- 21) Lautenberger, C., Torero, J. L., & Fernandez-Pello, C. (2006). Understanding materials flammability (pp. 1–21). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9781845691042.1>
- 22) McLaggan, M. S., Hidalgo, J. P., Carrascal, J., Heitzmann, M. T., Osorio, A. F., & Torero, J. L. (2021). Flammability trends for a comprehensive array of cladding materials. *Fire safety journal*, 120, 103133.
- 23) Mokoana, V., Asante, J., & Okonkwo, O. J. (2023). A review on volatilization of flame retarding compounds from polymeric textile materials used in firefighter protective garment. *Journal of Fire Sciences*, 41(4), 107–121.
<https://doi.org/10.1177/07349041231171349>

- 24) Png, Z. M., Soo, X. Y. D., Chua, M. H., Ong, P. J., Suwardi, A., Tan, C. K. I., ... & Zhu, Q. (2022). Strategies to reduce the flammability of organic phase change Materials: A review. *Solar energy*, 231, 115-128.
- 25) Qi, W., Huang, Y., Xu, C., & Yang, W. (2023). Facing the Wildfire Spread Risk Challenge: Where Are We Now and Where Are We Going? *Fire*, 6(6), 228.
<https://doi.org/10.3390/fire6060228>
- 26) Santangelo, P. E., Ryder, N. L., Marshall, A. W., & Schemel, C. F. (2011). Flammability of Solid Materials: An Experimental Calorimetric Approach. 1, 945–950.
<https://doi.org/10.1115/IMECE2011-63870>
- 27) Sontake, A. R., Raj, P., Verma, A., Mansoori, R., & Saroj, P. L. (2024). A Review on Flame Spread Behavior Over Paper/Hybrid Fibers. *International Journal For Science Technology And Engineering*, 12(12), 845–848. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.65923>
- 28) Thomsen, M., Fernandez-Pello, A., & Williams, F. A. (2023). On the Growth of Wildland Fires from a Small Ignition Source. *Combustion Science and Technology*, 195, 3542–3556. <https://doi.org/10.1080/00102202.2023.2239461>
- 29) Wei, M.-C., Cheng, Y.-C., Lin, Y.-Y., Kuo, W.-K., & Shu, C.-M. (2020). Applications of dust explosion hazard and disaster prevention technology. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, 68, 104304. <https://doi.org/10.1016/J.JLP.2020.104304>

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحثين بإجراء دراسة حول قياس دور المواد القابلة للاشتعال في تفاقم سرعة انتشار

الحرائق داخل المباني: دراسة تطبيقية على شركة أرامكو 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.

وأقدم 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 أزوّدكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

1- النوع الاجتماعي ☐ ذكر ☐ أنثى

2- العمر ☐ 25 سنة فأقل ☐ من 25 – 35 سنة
☐ 35 – 45 سنة ☐ من 45 سنة فأكثر

3- المؤهل العلمي ☐ ثانوي ☐ بكالوريوس
☐ ماجستير ☐ دكتورة

4- الوضع المهني ☐ مدير ☐ نائب مدير
☐ رئيس قسم

ثانيا محاور الاستبيان

✿ المحور الأول: المواد القابلة للاشتعال ، ضع إشارة (√) في المربع المناسب لاختيارك:

البعد	أو افق بشدة	أو افق	محايد	معارض	معارض بشدة
درجة القابلية للاشتعال					
تحتوي بعض المواد في المنشآت على قابلية عالية للاشتعال حتى عند درجات حرارة منخفضة.					
تزداد خطورة الحرائق في وجود مواد سريعة الاشتعال ضمن البنية الداخلية للمبنى.					
المواد ذات الأسطح الرقيقة أو المسامية تُظهر سرعة أكبر في الاشتعال.					
تختلف المواد المستخدمة في الأثاث من حيث درجة قابليتها للاشتعال.					
تصنيف المواد حسب قابليتها للاشتعال يساعد في الحد من انتشار الحريق.					
معدل إطلاق الحرارة					
تؤدي بعض المواد إلى انبعاث كميات كبيرة من الحرارة عند احتراقها.					
ارتفاع معدل إطلاق الحرارة يسهم في تسريع انتقال الحريق من مكان لآخر.					
تختلف المواد الإنشائية في معدل إنتاجها للحرارة عند الاحتراق.					

					ترتبط شدة الحريق بمعدل إطلاق الحرارة الناتج عن المواد القابلة للاشتعال.
					مراقبة المواد من حيث إنتاج الحرارة ضروري لتصميم أنظمة الإطفاء المناسبة.
كثافة الدخان والانبعاثات السامة					
					بعض المواد القابلة للاشتعال تنتج كميات كبيرة من الدخان الكثيف عند احتراقها.
					تتسبب بعض المواد الصناعية في انبعاث غازات سامة تشكل خطراً على الأرواح أثناء الحرائق.
					انبعاث الدخان السام من المواد المحترقة يزيد من صعوبة عمليات الإخلاء.
					تختلف المواد في مدى إنتاجها لدخان مرئي وغير مرئي خلال الحريق.
					تقليل استخدام المواد ذات الانبعاثات السامة يساهم في رفع مستوى السلامة.

✿ المحور الثاني: سرعة انتشار الحرائق ، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

معارض بشدة	معارض	محايد	أو افق	أو افق بشدة	البعد
					تعتمد سرعة انتشار الحرائق بشكل مباشر على نوعية المواد المستخدمة في البناء.
					تؤثر خصائص المادة القابلة للاشتعال على سرعة انتقال اللهب بين المساحات.
					تؤدي التهوية الجيدة في المباني إلى تسريع انتشار الحريق في وجود مواد قابلة للاشتعال.
					وجود مواد عازلة وغير قابلة للاشتعال يحدّ من سرعة امتداد النار.
					يلعب توزيع المواد القابلة للاشتعال دورًا مهمًا في نمط انتشار الحريق.
					تسهل الأسطح الواسعة ذات الاحتكاك العالي في تسريع حركة النيران.
					يكون انتشار الحريق أسرع في الأماكن المغلقة المليئة بالمواد القابلة للاشتعال.
					يعزز تصميم المبنى من أو يحدّ من انتشار الحريق بحسب توزيع المواد داخله.
					يؤدي اشتعال مادة واحدة قابلة للاشتعال إلى إشعال المواد المجاورة بسرعة.

					ارتفاع درجة الحرارة في البداية يؤثر على معدل انتشار الحريق لاحقًا.
--	--	--	--	--	--

مع كل الاحترام والتقدير

Mid-Ocean University

College of Management

Specialization: Risk management



**The Role of Flammable Materials in Accelerating the Spread
of Fires within Buildings: An Applied Study on Saudi
Aramco"**

Preparation:

Hussain Saleh Al Qahtani

243001274

Supervision:

Dr. Al faisal Abdelhameed Mohamed

1447 – 2025