المملكة العربية السعودية

وزارة الداخلية

المديرية العامة للدفاع المدني

سلوك الحريق

المحتوى العلمي

التحقيق في مسببات الحريق – ضباط

معهد الدفاع المدني

معلومات البرنامج

اسم البرنامج	المدة	فترة التنفيذ	الفئة المستهدفة
التحقيق في مسببات الحريق – ضباط	٦ اسابيع	حسب الخطة	الضباط العاملين بإدارات وشعب التحقيق أو الفرق الميدانية وضباط المديرية العامة الذين تتطلب أعمالهم الإلمام بأعمال وإجراءات التحقيق.
هدف البرنامج	إكساب المتدرب المعارف والمهارات التي تمكنه من التحقيق في حوادث الدفاع المدني وكشف مسبباته وانهاء جميع الإجراءات المتعلقة بهذه الحوادث.		

معلومات المقرر الدراسي

اسم المقرر الدراسي	عدد الوحدات	الزمن الكلي للوحدات
مبادئ سلوك الحريق	واحدة	(.....) ساعة تدريبية
الهدف العام	فهم وتفسير سلوك الحريق	
الأهداف التفصيلية	<u>بعد إتمام المقرر الدراسي يتوقع أن يكون المتدرب قادراً على:</u> ١- ان يعرف نظرية الاشتعال. ٢- ان يعدد عناصر الاشتعال. ٣- ان يصنف الحريق حسب الوقود. ٤- ان يعدد طرق الإطفاء. ٥- ان يعدد مراحل تطور الحريق وانتشاره. ٦- ان يستعرض تحديات مواجهة الحرائق.	

محتوى الحقيبة التدريبية

الوحدة الأولى	كيمياء المواد ونظرية الاشتعال
	تصنيف الحرائق حسب الوقود ونظرية الإطفاء
	مراحل تطور الحريق وانتشاره
	التحديات الخاصة عند مواجهة الحرائق

التوزيع الزمني لمفردات الحقيبة التدريبية

الأسبوع	الوحدة	العناصر
الأول	الأولى	كيمياء المواد ونظرية الاشتعال
الثاني		تصنيف الحرائق حسب الوقود ونظرية الإطفاء
الثالث		مراحل تطور الحريق وانتشاره
الرابع		التحديات الخاصة عند مواجهة الحرائق

بطاقة التعارف

الاسم :.....

المؤهل : .....

الحالة الاجتماعية : .....

الخبرات العلمية : .....

العمل الحالي : .....

طبيعة العمل الحالي : .....

الهوايات : .....

أهدافك عند الالتحاق بالدورة :

.....

.....

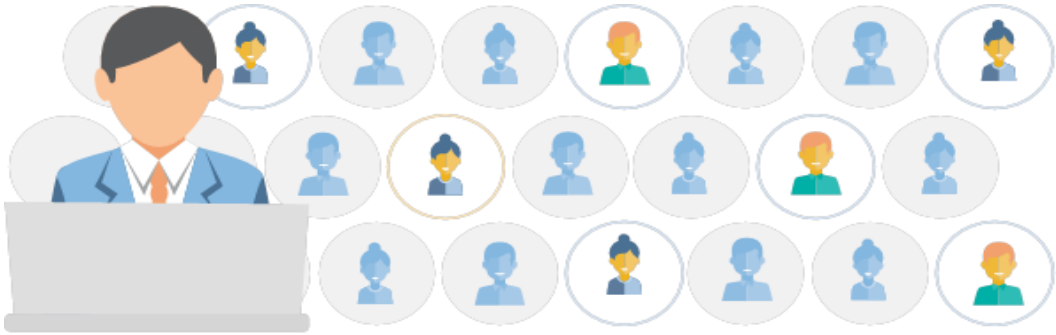
.....

الإرشادات

١- الحضور في الوقت المحدد للدورة لتحقيق والتقيد بزمن المحاضرات.
٢- تكون الحقيبة التدريبية معك طوال برنامج الدورة لاحتوائها تمارين وأنشطة وتطبيقات
٣- تلقي المعارف والمهارات بهدف تحسين سلوك العمل لديك وفقاً لاحتياجاتك ونقل الأثر لزملائك في محيط عملك.
٤- التفاعل مع المجموعات والعمل بروح الفريق أثناء الأنشطة الجماعية وتقبل آراء وأفكار الزملاء في المجموعة.
٥- تقبل الدور الذي يسند إليك في المجموعة التدريبية.
٦- حفز زملائك في المجموعات على المشاركة والتفاعل.
٧- المتوقع منك إظهار الجدية والتعاون خلال الدروس.
٨- التركيز على التدريب وتجنب الانشغال عن الدروس باستخدام الجوال أو الأحاديث الجانبية.
٩- الحرص على بناء علاقات طيبة مع المدرب وزملائك أثناء البرنامج التدريبي.
١٠- الحرص على تلخيص كل درس ومراجعته للمحافظة على المعارف والمهارات المكتسبة أولاً بأول.
١١- تقييم البرنامج بعد الانتهاء من الدورة حسب آلية التقييم المتبعة.

آليات التقييم لبرنامج الدورة:

١- التقييم القبلي والبعدي.	√
٢- الاختبارات المفاجئة.	√
٣- اختبار قياس مستوى اكتساب المهارات العملية.	
٤- الاختبارات النهائية (النظرية).	√
٥- الاختبارات النهائية (العملية).	
٦- معدل درجات المواظبة والسلوك.	√



نأمل مراعاة هذه الإرشادات لأهميتها في تحقيق أهداف البرنامج التدريبي

(فهرس) محتوى الحقيبة التدريبية

م	الموضوعات التدريبية	الصفحة
١	الوحدة التدريبية الأولى سلوك الحريق	١١
٢	كيمياء المواد ونظرية الاشتعال	١٣
٣	تصنيف الحرائق حسب الوقود ونظرية الإطفاء	٤٠
٤	مراحل تطور الحريق وانتشاره	٤٨
٥	التحديات الخاصة عند مواجهة الحرائق	٥٦
٦	المصادر والمراجع	٧٣

نشاط رقم ١/١/١

اسم النشاط: فعالية التعارف

الهدف من النشاط :

- التعرف على المتدربين وكسر الحواجز الجليدية.
- أن يكتسب المتدرب مهارتي المشاركة الجماعية والعرض.

تنفيذ النشاط

- .....
- .....
- .....

نشاط : فردي الوقت : ١٠ دقائق

اختبار قبلي/ الزمن ١٠ دقائق

السؤال الأول:

.....

.....

.....

.....

.....

السؤال الثاني:

.....

.....

.....

.....

.....

السؤال الثالث:

اختبار قبلي/ الزمن ١٠ دقائق

.....

.....

.....

.....

.....

السؤال الرابع:

.....

.....

.....

.....

.....

دليل

الوحدة

سلوك الحريق

الوحدة التدريبية الأولى

عنوان الوحدة	سلوك الحريق
زمن الوحدة	
هدف الوحدة	فهم وتفسير سلوك الحريق
موضوعات الوحدة	١- كيمياء المواد ونظرية الاشتعال. ٢- تصنيف الحرائق حسب الوقود ونظرية الإطفاء. ٣- مراحل تطور الحريق وانتشاره. ٤- التحديات الخاصة عند مواجهة الحرائق..
الأساليب التدريبية	- محاضرات. - مناقشات. - ورش عمل. - عصف ذهني . - دراسة حالة . - تطبيقات عملية . - حل المشكلات . - تمارين وأسئلة . - زيارات . - تمثيل أدوار .. - اختبارات نظرية .
وسائل التدريب	- عرض شرائح . - سبورات. - مشبهات تدريبية . - فيديوهات وصور .

كيمياء المواد ونظرية الاشتعال

مقدمة

إن رجال الإطفاء الذين يستجيبون لحوادث الحريق قد يجدون أنفسهم مضطرين للتعامل وبشكل سريع مع مجموعة مختلفة ومتنوعة من الظروف. فقد يكون الحريق في وضع يهدد المبنى المجاور أو مجموعة المباني المجاورة، كما هو الحال في حرائق الغابات والمزارع، وقد يشكل الدخان واللهب خطراً على حياة الأشخاص الذين يسكنون تلك الأماكن. وقد تكون الغرفة التي بدأ فيها الحريق قريبة من قفز الوميض (flashover) (أي الاشتعال الفوري الشامل لمحتويات الحجرة). فإذا لم تتم تهوية المبنى فقد تكون هناك فرصة لارتداد اللهب وحدوث انفجار دخاني backdraft ، إن كل تلك الظروف تنتج عن الحريق والطريقة التي يسلكها. ولكي يتمكن رجل الإطفاء من مكافحة الحريق بشكل آمن وفعال، لا بد أن يكون لديه إلمام جيد بعلم الحريق (سلوك الحريق)، وفهم أساسي للعوامل المؤثرة على اشتعال الحريق وتطوره وانتشاره.

لقد كانت النار على مر التاريخ صديقاً للإنسان وعدواً له في ذات الوقت؛ فهي – من ناحية-تستخدم لأغراض التدفئة، وطهي الطعام، وقد ساعدتنا على أن نصبح متقدمين تكنولوجياً، ولكنها – من ناحية أخرى-ذات طابع عدائي، حيث أنها كثيراً ما تعرض حياتنا للخطر.

ونقدم هنا العديد من المفاهيم الأساسية المستمدة من علم الفيزياء والتي تتعلق بالاشتعال وتطور الحريق، وبإمكان رجال الإطفاء استخدام المعلومات الواردة في هذا الفصل في تفسير الظواهر التي يرونها في موقع الحريق، وتطوير طرق الوقاية

والإطفاء والتحقيق في الحرائق. كما سيتم شرح سلوك الحريق، والمراحل التي يمر بها الحريق أثناء تطوره، وذلك لتمكين رجال الإطفاء من اختيار التكتيكات المناسبة لمكافحة وإطفاء الحرائق. وفي الواقع، فإن هذه المعرفة تساعد رجال الإطفاء في التعرف على المخاطر المحتملة التي يمكن أن يتعرضوا لها أو يتعرض لها الآخرون أثناء عملهم في موقع الحريق.

ما هو الحريق؟

يعرّف الحريق بعدة تعاريف من أهمها ما ذكرته الرابطة الدولية للتدريب على الحرائق (IFSTA) حيث عرفت الحريق بأنه أكسدة سريعة ومستدامة ذاتياً تترافق مع تطور الحرارة والضوء بشدة متفاوتة. والحريق ببساطة هو عبارة عن تفاعلات كيميائية مستمرة تنشأ غالباً من تأكسد المواد القابلة للاشتعال بالأكسجين حيث تتولد نتيجة ذلك طاقة حرارية وقد يتكون اللهب ويتصاعد الدخان. كما أنه من الجدير ذكره أن هناك أنواع أخرى من الأكسدة مثل الأكسدة البطيئة والأكسدة السريعة، فالأكسدة البطيئة هي اتحاد كيميائي بين الأكسجين الموجود في الهواء والمادة في درجة حرارة الجو العادي منتجاً مادة مثل صدأ الحديد وتعفن المواد العضوية أما الأكسدة السريعة فهي اتحاد كيميائي بين الأكسجين بنسبة عالية لا تقل عن ٦٠ % وبخار المادة القابلة للاشتعال في وجود مصدر حراري مناسب وينتج عن ذلك حرارة عالية ووهج مثل عمليات اللحام بالأكسجين والأسيتيلين.

ولكي نفهم التفاعل الذي نسميه الحريق، وكيفية تطوره، ومعرفة نواتجه، فإننا نحتاج إلى أن نلقي نظرة على بعض المفاهيم العلمية

مثل نظرية الاشـــتعال، آلية حدوث التفاعل الكيميائي وعناصـــره وأنواع الوقود وبعض المفاهيم الأخرى.

نظرية الاشتعال:

يعرف الاشـــتعال (IGNITION) بأنه تفاعل كيميائي يتم فيه اتحاد المادة مع الأكسجين (المؤكسد) مع وجود حرارة وفق نسب معينة ينتج عنه حرارة ولهب ودخان وغازات.

ويتم الاشـتعال باتحاد الأكسـجين مع المادة بفعل طاقة منشـطة تسـمى حرارة الاشـتعال حيث تتكسر الروابط في التفاعل الكيميائي بين الأكســـجين والمادة مما ينتج طاقة كيميائية تتحول إلى طاقة من الحرارة والضوء.

وتعتمد ســـرعة هذا التفاعل على ما يســـمى قابلية الاشـــتعال (IGNITE ABILITY) وهي قابلية المادة للاتحاد مع الأكســـجين مع ظهور لهب وحرارة.

مثال:

ميثان+ أكسجين+ طاقة اشتعال = ثاني أكسيد الكربون+ ماء

CH٤+٢O٢+HEET=CO٢+٢H٢O

ومن المعايير التي تحدد خصائص اشتعال المادة ما يلي:

درجة الوميض: (FLASH POINT)

هي أقل درجة حرارة تعطي عندها المادة أبخرة كافية لتكوين خليط مع الهواء قابل للاشـــتعال يكفي لظهور وميض لفترة وجيزة عند

تقريب مصدر اشتعال. (وتعتبر درجة الوميض من العوامل المهمة لتحديد مدى خطورة المادة حيث هي مقياس لخطورة المادة على إنتاج الأبخرة ومن المعروف أن الأبخرة هي التي تشتعل من المادة وليس السوائل. وكلما قلت درجة الوميض زادت خطورة المادة).

درجة حرارة الاشتعال: (IGNITION TEMPERATURE)

هي درجة الحرارة التي تشتعل عندها المادة وتكون عادةً أعلى من درجة الوميض بحوالي ١٠ درجات مئوية ولا يمكن ملاحظة الفرق بينهما إلا في المختبرات.

درجة حرارة الاشتعال الذاتي: (AUTO-IGNITION TEMPERATURE)

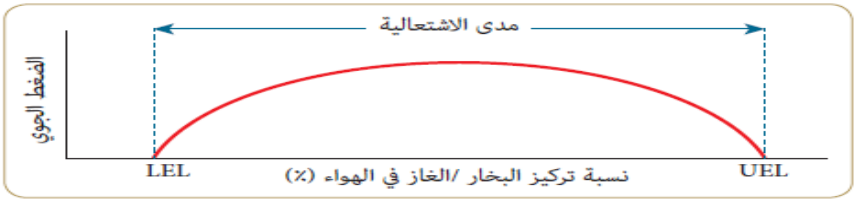
هي درجة الحرارة التي يحترق عندها خليط بخار المادة مع الهواء في غياب مصادر الإشعال.

مدى الاشتعالية: (FLAMMABLE LIMITS)

يوجد لكل مادة ما يسمى حد أدنى للاشتعال (LOWER FLAMMABILITY LEVELS-LFL) وحد أعلى للاشتعال (UPPER FLAMMABILITY LEVELS-UFL) ومثال ذلك البنزين (GASOLINE) فإن أدنى مدى للاشتعال له هو ١,٦٪ وأعلى مدى للاشتعال له ٧٪، وذلك يعني إذا اتحد ١,٦٪ من أبخرة البنزين مع ٩٨,٤٪ من الهواء مع وجود مصدر للاشتعال فإن البنزين يشتعل، كذلك إذا اتحد ٧٪ من البنزين مع ٩٣٪ من الهواء ووجد مصدر اشتعال فإن البنزين يشتعل. وأية نسبة خلط بين أبخرة البنزين والهواء تقع بين هذين الرقمين (مدى الاشتعالية FLAMMABILITY RANGE) انظر شكل (١-١) يكون الخليط في هذه الحالة قابل للاشتعال. علماً أنه إذا كانت أبخرة المادة أقل من الحد الأدنى للاشتعال أو أعلى من الحد الأعلى للاشتعال لا يحدث الاشتعال حتى لو كان هناك مصدر للاشتعال.

وكلما كان الفرق بين أدنى مدى للاشـتعال وأعلى مدى للاشـتعال كبيراً كلما زادت خطورة المادة.

وعلى سـبيل المثال فإن أدنى مدى للاشـتعال لغاز الاسـتيلين هو ١,٥٪ وأعلى مدى للاشـتعال له ٨٢٪ لذلك نسـبة بهذا الفرق الكبير بين الرقمين يعتبر غاز الاسـتيلين خطر جداً وأخطر كثيراً من البنزين الذي ينحصر مدى الاشتعالية له بين ١,٦٪-٧٪.



شكل (١-١) مدى الاشتعالية

كيف يحدث هذا التفاعل:

لقد أجريت العديد من التجارب والأبحاث العلمية لتوصـيف حدوث الاشـتعال وقد اعتمدت هذه الأبحاث على التحليل الكيميائي لنواتج الاشـتعال والتي أظهرت وجود جزيئات ناتجة عن اتحاد الأكسـجين مع ذرات عناصر أخرى. وبالعودة إلى المعادلة السابقة التي يتأكسد وقود هيدروكربوني بسـيط مثل الميثان (CH_4) والذي يعتبر أحد المكونات الأسـاسـية للغاز الطبيعي تحدث في وجود الأكسـجين النقي (O_2):

ميثان + اكسجين + طاقة اشتعال = ثاني أكسيد الكربون + ماء

$$CH_4 + 2O_2 + HEET = CO_2 + 2H_2O$$

ويعتبر هذا التفاعل مجرد طريقة مبسـطة لوصـف كيمياء أحد جزيئات الميثان (CH_4)، الذي يتحد مع جزيئي أكسجين (O_2) لتكوين جزيء واحد من ثاني أكسـيد الكربون (CO_2)، وجزيئين من الماء (H_2O)، ونحن عادةً نطلق على المواد الموجودة في الجانب الأيسـر

من التفاعل الكيميائي "المواد المتفاعلة" وتلك الموجودة في الجانب الأيمن "المواد الناتجة من التفاعل". ولكن ولسوء الحظ فإنه ليس من السهل عادةً وصف الحريق؛ لأن هناك أنواعاً مختلفة من الوقود تحترق في وقت واحد. فعند النظر إلى الخشب مثلاً نجد أن هناك عشرات من المواد المتفاعلة تنطلق كلها في وقت واحد، كل منها يخضع لتفاعل احتراق مختلف بخطوات متعددة.

وعندما ننظر إلى الحرائق داخل المباني بوجه خاص، فإنه عندما يتطور الحريق ويصبح أكبر حجماً، فلن يكون هناك أكسجين كافٍ لإحراق كل الوقود الموجود؛ كما يتضح من خلال الرجوع إلى مثالنا المتعلق باحتراق الميثان:

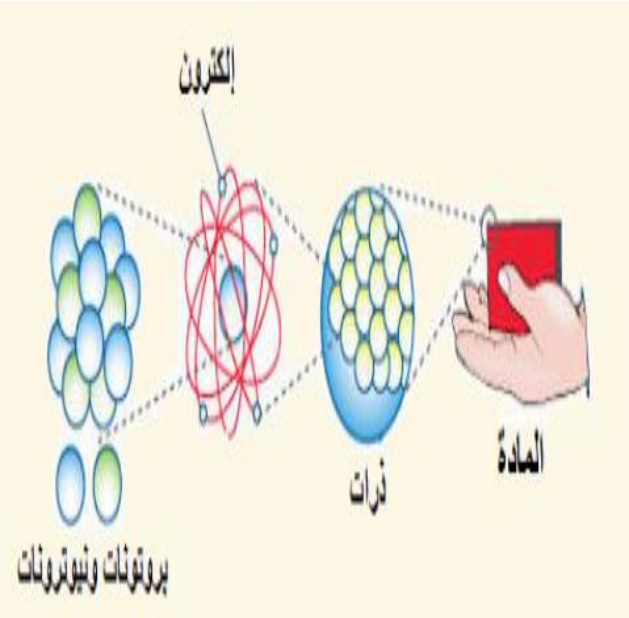
ميثان + ٧/٤ أكسجين ← طاقة اشتعال ١/٢ أول أكسيد الكربون + ١/٢ ثاني أكسيد الكربون + ٢ ماء

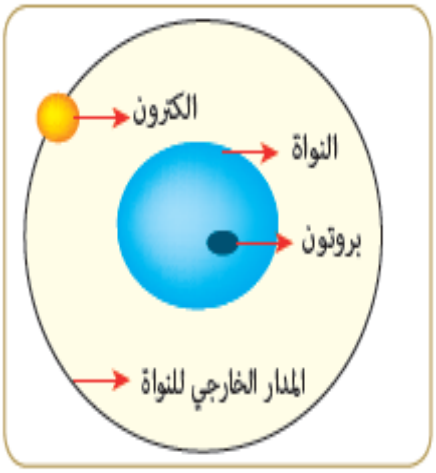
والآن نجد أن جزيئاً واحداً من الميثان يتفاعل مع أقل من جزيئين من الأكسجين (٧/٤ في هذه الحالة) لإعطاء نصف جزيء من أول أكسيد الكربون، وأخيراً جزيئين من الماء (H_2O). وتعتبر هذه المعادلة تمثيلاً بسيطاً لتفاعل كيميائي معقد، لأننا نتحدث عن تكسير كل الجزيئات (٧/٤، ١/٢، الخ). ومعادلتنا البسيطة هي مجرد نموذج لتقديم كل ما يحدث في مثل هذا الحريق، وليس لما يحدث في جزيء الأكسجين والميثان فقط، وذلك لأن ٧/٤ الجزيء لا يكون عملياً من الناحية الكيميائية أو الحسابية.

وللعلم فإنه يوجد هنالك مائة وتسعة ١٠٩ عنصر كيميائي في الطبيعة من خلال الأبحاث التي أجريت منذ القدم في مجال كيمياء الطبيعة ومن أشهر العناصر المعروفة: الكربون، الاكسجين، الهيدروجين، الهليوم، الكلور، الحديد، النحاس، الرصاص، الفضة، الذهب وتتكون هذه العناصر من عدد من الذرات، والتي هي أصغر جزء في مادة العنصر وتشكل الدور الرئيسي في تمييز تكوين خصائص ذلك العنصر.

وتتكون الـذرة من النواة التي تشـــكل مركز الثقـل لتلـك الـذرة أو الضــغط وتحتوي على شــحنات موجبة تســمى البروتونات وأخرى النيوترونات (بدون شحنه) – متعادلة كهربائياً وفي المحيط الخارجي للنواة توجد الالكترونات ذات الشــحنة الســالبة في مدرات دائرية تحيط بالنواة وتتسـم بخفة الوزن. ولكل عنصـر ذرات متشـابه تمثل خصائص ذلك العنصر وتختلف عن ذرات العناصر الاخرى الموجودة في الطبيعة كما لكل عنصــر كيميائي الرقم الذري والذي هو عدد البروتونات ذات الشــحنات للكهرباء الموجبة، وكمثال لذلك عنصــر الهيـدروجين الـذي يحمـل الرقم الـذري (١) واحـد، حيـث تتكون ذرة الهيدروجين من نواة بشــحنة كهربائية واحدة وموجبة (+) تســمى البروتون.

شكل يبين ذرة عنصر الهيدروجين





بينما عنصر الهليوم يحمل الذري ٢، حيث تحتوي نواة هذا العنصر على شحنات كهربائية موجبة (٢+) بروتونات وعدد (٢-) إلكترون في المدار الخارجي للنواة (شحنات سالبة) وبالتالي يختلف رقمه الذري عن عنصر الهيدروجين.

أما الجزيء فهو عبارة عن اتحاد ذرتين فأكثر للعنصر الواحد، وكمثال عنصر الهيدروجين H٢-والأوكسجين O٢ وغيرها، ويعتبر الجزيء مركب كيميائي عند اتحاد ذرتين من عنصرين مختلفين تتكون جزيئاته عند ظروف معينة (درجة الحرارة وضغط).

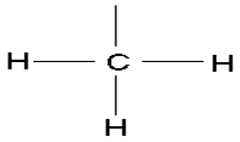
كمثال على ذلك اتحاد ذرتي الهيدروجين (H) بالكلور (CL) ليكون كلوريد الهيدروجين (HCL) والذي يمكن فصل ذرتيه مرة أخرى عند درجات حرارة عالية تقارب ٢٥٠٠ درجة مئوية.

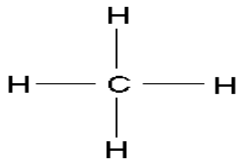
الأيون:

عندما يكون عدد الشحنات الموجبة في نواة ذرة العنصر أو الجزيء والتي تسمى بروتونات مساوياً لعدد الشحنات السالبة (الالكترونات) المكونة للذرة في المدارات الخارجية والمحيطة بالنواة عند ذلك يقال أن هذه الذرة أو الجزيء في حالة متعادلة. أما في حالة فقد أحد الالكترونات لذرات ذلك العنصر أو الجزيء فإنه يصبح أيوناً موجباً (*positive ion*) ، وعند اتحاد أو كسب إلكترون حر (طليق) من ذرة عنصر آخر فيصبح أيوناً سالباً (*negative ion*) ومن ذلك يتضح أنه يتكون الأيون عند فقد أو كسب ذرة العنصر أو الجزيء إلكترونا في أحد المدارات الخارجية للنواة.

الجذور الحرة:

يمكن معرفة كيفية تكون الجذر الكيميائي الحرّ أو (الطليق) وكذلك الذرة الحرّة (الطليقة) (*free atoms -free radical's*) إذا أخذنا على سبيل المثال غاز الميثان (الغاز الطبيعي) - CH_4 وهو بطبيعة الحال من مجموعة الهيدروكربونات، فإنه يعتبر في هذه الحالة مستقر حيث يلزم تسخينه إلى درجة ١٠٠٠ درجة مئوية لتفكيكه إلى عناصره الأولية، ليصبح بذلك ذرة كربون وأربع ذرات هيدروجين كما هو واضح من صيغته الكيميائية. وإذا ظهر هذا الغاز الطبيعي على شكل جزيّئات CH_3 -CH_2 -CH فانه يصبح جزيء غير مستقر وحينئذ يدعى الجذر أو الشق الطليق أو الحرّ (*free radical's*) وتكون هذه الجزيئات نشطة كيميائيا. وبنفس الطريقة بالنسبة للذرات الـ O_2 – H_2 – F_2 – Cl_2 - وغيرها من العناصر الكيميائية الأخرى في الطبيعة، إذا فقدت أحد ذراتها لتصبح O – H – F – Cl □□□□□ تكون في هذه الحالة غير مستقرة وتدعى الذرات الطليقة أو الحرّة، والصيغ الكيميائية الموضحة في الشكل التالي:

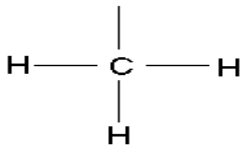


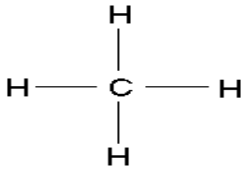


جذر حر طليق للميثان غير مســـتقر مستقر (Methyl radical CH٣)

جزيء للميثان (Methane CH٤)

شكل يوضح الجذور الكيميائية الطليقة (٤)





جذر حر طليق للبنزين غير مســـتقر مستقر (Phenyl radical C٦H٥)

جزيء للبنزين (Benzene C٦H٦)

شكل يوضح الجذور الكيميائية الطليقة (٤)

مثلث الحريق:

لقد اســـتخدم مثلث الحريق منذ زمن بعيد لتوضـــيح العناصـــر اللازمة لحدوث الاحتراق أو الحريق، وهي: الأكســـجين، والوقود (المادة)، والحرارة. توضـع العناصـر الثلاثة معاً كما هو موضـح في الشـكل (١-٢)، حيث يمثل كل عنصـر منها ضـلعاً من أضـلاع المثلث. وعندما تجتمع العناصـــر الثلاثة معاً وبكميات كافية يحدث الحريق،

وإذا أُزيل أحد أضـلاع المثلث، أي أحد العناصـر الثلاثة، فإن الحريق سـوف يتوقف. يتمثل دور الوقود (المادة) في أنه يوفر الطاقة المخزنة، والأكسـجين هو بمثابة المفتاح الذي يتم بواسـطته إطلاق الطاقة، أما الحرارة فهي ضـرورية لبدء حدوث التفاعل الكيميائي بالمعدل الذي نعتبره حريقاً.

شكل (١-٢)

١- **الوقود:** ويقصد بها المادة القابلة للاشتعال.
وتعرف المادة بأنها كل ماله وزن ويشـغل حيزاً من الفراغ سـواء كان عنصـراً أو مركباً أو خليطاً وللمادة عدة حالات توجد فيها وهي: الحالة الصلبة، الحالة السائلة، الحالة الغازية.

الوقود هو بمثابة الطعام للإنسـان؛ فهو يوفر الطاقة المختزنة على شـكل طاقة كيميائية يتم إطلاقها عن طريق التفاعل الكيميائي. وتتألف جزيئات الوقود عادةً من مركبات تحتوي على الهيدروجين والكربون (أي ما يعرف باسـم الهيدروكربونات)، ومن عناصـر أخرى كثيرة.

و**الجزيء** هو عبـارة عن مجموعـة من الـذرات التي ترتبط معـاً كمجموعة اتحادية، حيث تخزن الطاقة في روابط تعمل على ربط

الذرات المختلفة معاً لتكوّن الجزيء. وعندما تتكسر أو تنحل جزيئات الوقود أثناء عملية الأكسدة، تنطلق الطاقة.

وعموماً فإن فئات الوقود الشائعة تشمل الآتي:

- **الأخشاب ومنتجات الأخشاب:**

وهي تحتوي على السـليلوز، الذي يتكون من روابط هيدروكربونية (اتحاد ذرات الهيدروجين والكربون الذي يشكل جزيئات معقدة).

- **الهيدروكربونات البسيطة:**

ومن أمثلتها الميثان، والبيوتان، والبروبان؛ وهي عادةً ما تكون على شكل غازات عند درجة حرارة وضغط الغرفة.

- **المنتجات البترولية:**

ومن أمثلتها الجازولين، والزيوت، والبلاسـتيك؛ وتتكون المنتجات البترولية من هيدروكربونات معقدة، وخاصـة عندما ترتبط هذه الهيدروكربونات ببعضها البعض في سلاسل طويلة. ويكون الوقود دائماً في حالة فيزيائية من ثلاث حالات إما غازي او سائل أو صلب.

- **الوقود الغازي:**

لو تمكنا من إبعاد الوقود من التفاعل، فإننا سـنمنع بذلك واحدًا من العناصـر اللازمة لحدوث الحريق من المشـاركة في التفاعل الكيميائي. ومن الواضح أنه في حال نفاد الوقود بالكامل، سنلاحظ أنه لن يكون هناك حريق؛ ولكن يمكننا في نفس الوقت تحقيق نفس النتيجة عن طريق إزالة جزء من الوقود فقط.

عندما يختلط الميثان الغازي مع الهواء، سيكون الحد الأدنى لاشتعاله (LFL) ٥ % من تركيز الوقود، (٩٥ % هواء)؛ بينما يكون الحد الأعلى لاشتعاله (UFL) ١٥ % من تركيز الوقود، (٨٥ % هواء)• ومن الناحية العملية، يمكننا القول بأنه عندما يكون تركيز الميثان بين ٥ – ١٥ % من حجم الخليط، فإن الخليط يمكن أن يحترق. ونظراً لأن خليط الغاز يحترق بسرعة كبيرة أو حتى ينفجر، فإن هذا المدى يطلق عليه أيضاً الحد الأدنى للانفجار (LEL)، والحد الأعلى للانفجار (UEL).

عندما تستجيب فرق الإطفاء لحادث منزلي يشتمل على تسرب غاز طبيعي، فإن الإجراء العادي المتبع في مثل هذه الحالة هو فتح النوافذ والأبواب لتخفيف تركيز الغاز ليصبح أقل من الحد الأدنى لاشتعاله (خليط وقود ضعيف)، مما يخلق حالة يتعذر فيها اشتعال الغاز. والحالة الأكثر خطورة هي عندما يكون تركيز الوقود فوق الحد الأعلى للاشتعال (وهي الحالة التي يكون فيها خليط الوقود قوياً). وعلى أية حال، فإن تهوية المبنى عندما يكون خليط الوقود قوياً تعني خفض تركيز الوقود من خلال خلطه بالهواء، من نقطة حيث يكون هناك الكثير من الوقود يحترق من خلال حدود القابلية للاشتعال، وأخيراً تحت الحد الأدنى للاشتعال. وإذا كان هناك مصدر اشتعال، فإن الخليط قد يشتعل خلال عمليات التهوية، عندما يكون التركيز ضمن حدود القابلية للاشتعال. الجدير بالذكر أن لكل غاز حدود مختلفة لقابلية الاشتعال؛ ففي بعض الغازات، مثل الميثان، يكون مدى القابلية للاشتعال ضيقاً، وفي بعضها الآخر يكون مدى القابلية للاشتعال واسعاً؛ فالأسيتيلين، على سبيل المثال، يمكن أن يحترق عندما يكون تركيزه بين ٢,٥ -١٠٠٪ تقريباً.

- **الوقود السائل:**

يجب أن يتحول الوقود السائل إلى الحالة الغازية قبل أن يحدث الاشتعال؛ وعندما تترك الحاوية المليئة بالسائل مكشوفة للهواء الجوي، فإن التكسير البسيط لجزيئات السائل سيولد كمية من الطاقة تكفي بالفعل للكسر من خلال سطح السائل، وداخل الهواء المحيط؛ وهي العملية التي تعرف بالتبخير. ولو بقي السائل مدة طويلة، فإننا سنجد أن كمية كبيرة منه، إن لم يكن كله، قد يتبخر. وفي نفس الوقت، فإن جزيئات الوقود التي تكون في الحالة الغازية فوق السطح سوف تتبدد أو تنتشر بعيداً؛ وقد يصطدم عدد قليل من تلك الجزيئات بسطح السائل نتيجة للحركة العشوائية. ونظراً لأن الجزيئات التي تغادر السائل أكثر من تلك التي تعود، فإن ذلك سيؤدي مع مرور الوقت إلى اختفاء السائل (أي يتبخر).

ولو وضعنا نفس السائل في حاوية في درجة حرارة الغرفة، في عملية مماثلة تبدأ بمجرد دخول السائل إلى الحاوية، والتي يفترض أن تمتلئ حتى نصفها. وبوضع غطاء محكم على الوعاء، سنعمل على منع الجزيئات الموجودة في الحالة الغازية من الهروب خارج الوعاء. ومع مرور الوقت، فإن تركيز الجزيئات الموجودة في الحالة الغازية سيصل إلى نقطة تعود عندها الجزيئات إلى السائل بنفس سرعة مغادرة الجزيئات للسائل أثناء عملية التبخر. وعند هذه النقطة من التعادل، تدخل الجزيئات إلى السائل وتخرج منه بنفس المعدل، وبالتالي فإن مستوى السائل سيبدو وكأنه لا يتغير.

وبالرجوع إلى الجزء العلوي من الحاوية المغلقة فوق سطح السائل، فإننا عندما نضع الغطاء على الوعاء، فإن هذا الحيز يحتوي في الغالب على هواء، ولكنه مع مرور الوقت سيكون هناك نفس كمية الهواء بالإضافة إلى كمية السائل المتبخرة (التي أصبحت بكميات وفيرة جداً وهي في الحالة الغازية مثلها مثل الهواء). وحيث أن الحجم يبقى كما كان أساساً، عن طريق وضع المزيد من

جزيئات الغاز في نفس الحيز، فإن الضـــغط ســـوف يزداد في هذا الحيز إلى أن يصـــبح أعلى من الضـــغط الجوي الذي بدأنا منه. ويعرف هذا الضغط المتزايد الناتج عن تبخر السائل بضغط البخار.

ويمكن النظر إلى ضغط البخار على أنه الضغط المبذول بواسطة جزيئات السائل عند منطقة السطح حيث تحاول التسرب. وبالعودة إلى حاوية السائل المفتوحة، سوف نجد أن الضغط الجوي أكبر من ضـــغط البخار، مما يخلق حالات تبقى فيها بعض الجزيئات، وليس كلها، في الحالة السـائلة. ولو قمنا بتسـخين السـائل، فإن الجزيئات ســـتكتســـب طاقة أكثر، مما يعمل على زيادة ضـــغط البخار، وإذا اسـتمر التسـخين، فإن درجة حرارة السـائل سـوف تقترب من درجة الغليان، وســـيزداد ضـــغط البخار إلى أن يصـــبح أقل من الضـــغط الجوي. وفي هذه الحالة، فإن السائل سيتبخر بمعدلات عالية، ولكنه من الناحية الفنية، لن يصـــل إلى درجة الغليان. وبزيادة تســـخين السـائل قليلاً، فإن درجة حرارته ســـوف تتســـاوى مع درجة الغليان، وحينئذ سـنلاحظ تغيراً في سـلوك السـائل. فالتبخر يمكن أن يحدث في كل أجزاء السـائل، حيث يسـتدل على ذلك عن طريق الفقاعات التي تتكون أسفل السائل، والاضطرابات التي تحدث داخل السائل عند ارتفاع الفقاعات إلى أعلى. وتجدر الاشارة إلى أنه قبل الوصول إلى درجة الغليان، يكون الضـــغط الجوي أكبر بكثير من ضـــغط البخار، مما يمنع تكوّن المزيد من الفقاعات. وعندما تصـــبح درجة الحرارة مساوية لدرجة الغليان، يصبح الضغط الجوي غير قادر على منع عملية التبخر. ولمزيد من الدقة، فإن درجة الغليان هي درجة حرارة السائل عندما يتساوى الضغط الجوي وضغط البخار.

ولأن الضغط الجوي يكون منخفضاً عند قمة الجبل، فإن وعاء الماء سيغلي عند درجة حرارة منخفضة، وبوجه عام، فإن درجة الغليان هي المعيار الأول المستخدم لقياس مدى قابلية الوقود السائل للتطاير ومدى خطورته الكامنة.

وعموماً فإن السوائل تُصنف اعتماداً على مدى سهولة تبخرها واشتعالها كوظيفة لدرجة حرارة السائل. فالسوائل الملتهبة تشتعل بشكل سريع جداً، لأنها تنتج كمية كافية من الأبخرة فوق سطح السائل يمكن أن تشتعل عند درجة حرارة الغرفة؛ ولذلك فهي تحتاج فقط إلى مصدر إشعال كي يحدث الاشتعال. أما السوائل القابلة للاشتعال، فإنها تتطلب تسخيناً فوق درجة حرارة الغرفة العادية كي يحدث الاشتعال. ويمكن لمصدر إشعال قوى، مثل شعلة اللحام الكبيرة، أن تعمل على تسخين مساحة صغيرة من السائل القابل للاشتعال لدرجة تكفي لتكوين خليط قابل للاشتعال فوق سطح السائل، مما يؤدي إلى حدوث الاشتعال.

وعلى أية حال، فإن السوائل الملتهبة هي عبارة عن سوائل سريعة الاشتعال تكون درجة وميضها أقل من ١٠٠ درجة فهرنهايت (٣٧,٨ْ م). ووفقاً لمعيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٣٠، الذي يحمل العنوان "المعيار الخاص بالسوائل الملتهبة والسوائل القابلة للاشتعال"، يمكن تقسيم السوائل الملتهبة إلى فئات أصغر، وذلك على النحو التالي:

- **الفئة (IA)** = نقطة الوميض أقل من ٧٣ درجة فهرنهايت (٢٢,٨ْ م)؛ ونقطة الغليان أقل من ١٠٠ درجة فهرنهايت (٣٧,٨ْ م).
- **الفئة (IB)** = نقطة الوميض أقل من ٧٣ درجة فهرنهايت (٢٢,٨ْ م)؛ ونقطة الغليان تساوي أو أعلى من ١٠٠ درجة فهرنهايت (٣٧,٨ْ م).

- **الفئة (IC)** = نقطة الوميض تساوي أو أعلى من ٧٣ درجة فهرنهايت (٢٢,٨ْم) وأقل من ١٠٠ درجة فهرنهايت (٣٧,٨ْم).

ومن ناحية أخرى، فإن السوائل القابلة للاشتعال هي سوائل تشتعل عند نقطة وميض تساوي أو أعلى من ١٠٠ درجة فهرنهايت (٣٧,٨ْم)• ويمكن تقسيم السوائل القابلة للاشتعال إلى فئات أصغر، وذلك على النحو التالي:

- **الفئة (II)** = نقطة الوميض تساوي أو أعلى من ١٠٠ درجة فهرنهايت (٣٧,٨ْم)، وأقل من ١٤٠ درجة فهرنهايت (٦٠ْم).
- **الفئة (IIIA)** = نقطة الوميض تساوي أو أعلى من ١٤٠ درجة فهرنهايت (٦٠ْم)، وأقل من ٢٠٠ درجة فهرنهايت (٩٣ْم).
- **الفئة (IIIB)** = نقطة الوميض تساوي أو أعلى من ٢٠٠ درجة فهرنهايت (٩٣ْم).

إن هذا النظام من نظم تصنيف السوائل يساعد على التفريق بين الأنواع المختلفة من السوائل الملتهبة والسوائل القابلة للاشتعال اعتماداً على مدى سهولة الاشتعال، وهو غالباً ما يستخدم في القوانين والمعايير الخاصة بالوقاية من الحريق، بهدف التحكم في كمية ونوع الوقود المخزن والمستخدم داخل المباني• وإذا كان من المقبول استخدام مذيبات خطرة من الفئة II، أو الفئة IIIA لأغراض التنظيف، فإن العديد من القوانين والمعايير المتعلقة بالحرائق تحظر استخدام السوائل الملتهبة من الفئة I لأغراض التنظيف، وذلك بسبب سهولة وسرعة اشتعالها. وعندما يحدث الاشتعال غير

المتعمد لسائل ملتهب أو سائل قابل للاشتعال، فإن قواعد الوقاية من الحريق ستلغى، مما يعني توقع حدوث حريق هائل• واعتماداً على كمية الطاقة المتولدة من كل رطل (أو كيلوجرام) من السائل المستهلك، فإن معظم السوائل الهيدروكربونية سوف تحترق بمعدلات إطلاق طاقة حرارية مماثلة؛ وهو مقياس الطاقة المنطلقة في كل ثانية.

- **الوقود الصلب:**

رغم أن الخشب هو أكثر أنواع الوقود الصلب شيوعاً، إلا أن احتراق الخشب يعد من التفاعلات المعقدة، وذلك لاحتوائه على مجموعة واسعة من العناصر القابلة للاشتعال. ولقد ذكرنا سابقاً أن الذي يحترق فعلاً ليس هو الخشب الصلب، بل لا بد أن يتحول الوقود إلى الحالة الغازية قبل أن يحدث الاحتراق. وفي الحقيقة، فإن العملية هي أكثر تعقيداً من مجرد تحويل المادة الصلبة أو السائلة إلى الحالة الغازية عن طريق التبخر، مثلما يحدث عندما نغلي الماء في الوعاء.

عندما نسخن قطعة من الخشب ببطء بواسطة شعلة صغيرة، فإننا سنلاحظ في النهاية أن الأجزاء التي تلقت أكبر قدر من الحرارة، يبدأ لونها يتغير، وغالباً ما يتحول إلى اللون الأسود؛ ويمكننا اشتمام رائحة مميزة للخشب عندما يسخن• ولو فحصنا المنطقة الواقعة فوق السطح بدقة، سنلاحظ وجود عدد كبير من الغازات المختلفة القابلة للاشتعال، والتي يمكن أن تحترق في أية لحظة• وعندما يتحلل الخشب الصلب عند تعرضه للحرارة، يطرأ عليه تغيير يعرف باسم "الانحلال الحراري"؛ أي انحلال الخشب إلى جزيئات كيميائية أخرى تختلف عن جزيئات الخشب الأصلية• وتختلط نواتج هذا الانحلال الحراري في الحالة الغازية مع الهواء كي يحدث الاحتراق، بينما تبقى النواتج الأخرى في الحالة السائلة أو الصلبة على شكل قطران، أو رواسب تفحم متخلفة عن عملية الانحلال الحراري .

وعند تعريض الخشب لمزيد من التسخين، سيتولد عنه نواتج قابلة للاحتراق، تدعم المنطقة الواقعة فوق السطح، والتي تكون ضمن حدود المدى الاشتعالي، أو حدود القابلية للاشتعال• ويُشار غالباً إلى درجة حرارة السطح عند هذه النقطة على أنها درجة حرارة الاشتعال الموجهة• وفي المثال الذي قدمناه، استخدمنا اللهب لتسخين الخشب، ووفرنا مصدر الاشتعال الدليلي اللازم لبدء الحريق وباستمرار التسخين، سيصل الخشب لدرجة الاشتعال التلقائي، مما سيسمح للحريق بالاشتعال بدون وجود مصدر إشعال خارجي، أو بدون وجود مصدر خارجي للهب، كشعلة مثلاً .

٢-الأكسجين:

هو عبارة عن غاز موجود في الهواء الجوي بنسبة ٢١٪. علماً أن الحريق يحتاج على الأقل ١٥٪ من الأكسجين لكي يبدأ ويستمر ماعدا بعض الحالات الشاذة مثل احتراق النابالم الذي يحترق ذاتياً في وجود نسب متدنية من الأكسجين تصل إلى ٦٪.

إن الأكسجين، أو أي مؤكسد آخر (من بين الأمثلة الأخرى الكلور، والنترات، والكلورات، وحمض النيتريك المركز)، يوفر العامل اللازم لإطلاق الطاقة المختزنة في الوقود. ويبدأ الوقود في وجود المؤكسد في الانحلال إلى مركبات، وحتى بكميات أقل من الطاقة المختزنة؛ أي أن المؤكسد هو بمثابة المفتاح الذي يقوم بتحرير الطاقة المختزنة. يحدث هذا التفاعل عندما يجتمع الوقود والمؤكسد معاً، وبطريقة تحول دون منعهما من التفاعل.

إنك تقوم حاليًا بقراءة هذه الجملة المكتوبة في كتاب مصنوع من ورقة (وقود)، ومحاط بالأكسجين الموجود في الهواء الجوي الذي نتنفسه (مؤكسد)؛ إذن لماذا لا نرى تفاعل الأكسدة أثناء حدوثه؟ الجواب: لأن التفاعل يحدث ببطء شديد لدرجة لا يمكن

معها إدراكه. ولو رجعت إلى هذا الكتاب بعد ٢٠ عامًا وهو موضوع على الرف، لوجدت ورقه قد تغير إلى اللون الأصفر؛ وهذه هي إحدى علامات الأكسدة البطيئة للسليلوز الذي يتكون منه الورق. وبدون استخدام طريقةٍ ما (عود ثقاب مثلاً) لتسريع هذا التفاعل، فإننا لن نلاحظ حدوث تفاعل الأكسدة.

٣-الحرارة:

الحرارة هي العنصر الثالث من عناصر مثلث الحريق، وهي ضرورية لتوفير الطاقة اللازمة لحدوث الاشتعال. فالحرارة توفر الطاقة اللازمة لتحويل الوقود إلى الحالة الغازية (إذا كان ذلك ضروريًا)، حتى يستطيع التفاعل مع المؤكسد. وتجدر الإشارة إلى أن كلاً من الوقود الصلب كالخشب، والوقود السائل كالجازولين، يتطلب طاقة حرارية تكفي لتحويلهما إلى الحالة الغازية. أما أنواع الوقود الأخرى، كالهيدروجين، والميثان، والأسيتيلين، فهي موجودة بطبيعتها في الحالة الغازية عند درجة حرارة الغرفة؛ لذلك لا يلزم حدوث تسخين إضافي؛ ولعل هذا هو أحد الأسباب التي تجعل هذه الأنواع من الوقود أكثر خطورة.

وعلاوة على ذلك، فإن الحرارة مطلوبة أيضاً لجعل تفاعل الأكسدة يحدث بشكل سريع لدرجة تكفي لأن يتحول إلى حريق. ويمكن الحصول على هذه الحرارة من مصادر كيميائية، أو كهربائية، أو ميكانيكية، أو نووية. وعندما يتعلق الأمر بالحرائق، فإن الحرارة تأتي غالباً من مصدر إشعال، مثل شرارة، أو شعلة بحجم كافٍ (طاقة)، ومدة كافية (وقت) لبدء تفاعل الاحتراق.

وبالرجوع إلى مثالنا المتعلق بالتفاعلات الكيميائية المبسطة للميثان؛ نقوم بإدراج طاقة الإشعال الموجودة تحت السهم ليرشدنا إلى اتجاه سير التفاعل ووصف الطاقة اللازمة لاستمرار التفاعل.

ومن أمثلة مصادر الإشعال الميكانيكية، الحرارة الناتجة عن الاحتكاك، كتلك التي تنتج عن الآليات الفولاذية (المخرطة). وكثيراً ما نسمع عن حرائق تسببها الكهرباء، إما عن طريق القوس الكهربائي أو الشرر أو السخونة المفرطة، أو الحرارة الزائدة في السلك، أو في الجهاز الكهربائي. كما تحدث الحرائق أيضاً بسبب الكهرباء الساكنة (الاستاتيكية) وحتى بسبب الصواعق.

وأخيرًا، فإن هناك مواداً عضوية (مثل القش أو الخرق المشبعة بالزيوت) يمكن أن تعمل عند تحللها على إنتاج حرارة تكفي في النهاية لإشعال اللهب (يُعرف التسخين الذاتي غالباً بالاحتراق التلقائي).

كما أن الحريق في بعض مراحله ينتج حرارة كافية لإحداث اشتعال آخر في موقع آخر وذلك عن طريق انتقال الحرارة إلى المواد (الوقود) المجاورة لمنطقة الحريق. مما يجعل للحرارة أهمية خاصة حيث تمثل القوة الدافعة الأساسية لانتشار الحريق وذلك بانتقال الطاقة الحرارية الناتجة من اللهب إلى مناطق أخرى من خلال ثلاث آليات هي: التوصيل الحراري، والحمل الحراري، والإشعاع (انظر شكل ١-٣) وتعمل هذه الآليات الثلاث على انتشار النيران وامتدادها إلى الوقود الموجود بالقرب من منطقة الحريق، أو على مسافة غير بعيدة منها. الجدير بالذكر أن هذه الآليات تمثل انتقال الطاقة الحرارية من منطقة ذات حرارة أعلى إلى منطقة أخرى ذات حرارة أقل.

شكل (١-٣) آليات انتقال الحرارة

- **التوصيل الحراري:**

التوصـــيل الحراري يعني انتقال الحرارة من خلال أو عن طريق مادة نتيجة الاتصال المادي المباشر. وكمثال على ذلك، خذ قضيباً فولاذياً وضع أحد طرفيه في النار، ثم المس طرفه الآخر فستلاحظ أنه أصــبح ســاخناً؛ وهذا يعني أن الحرارة انتقلت من النار إلى يدك عن طريق التوصيل.

- **الحمل الحراري:**

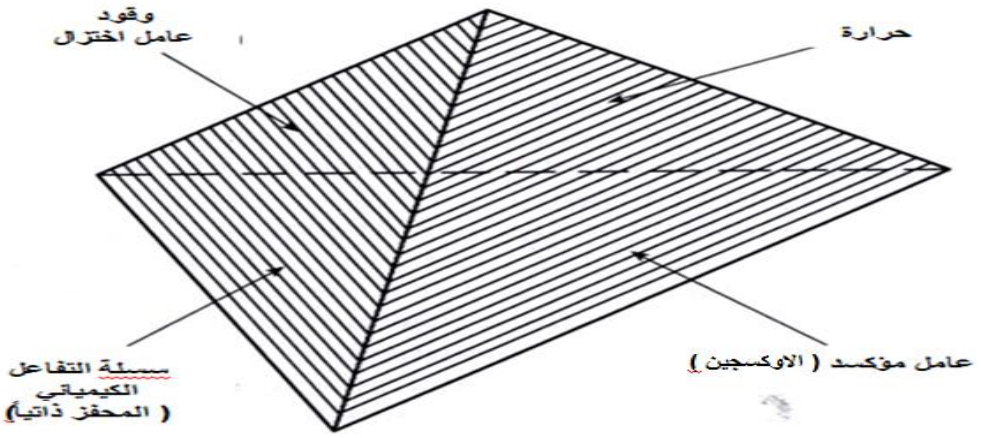
يقصـــد بالحمل الحراري انتقال الطاقة نتيجة حركة المائع (مصطلح عام يستخدم لوصف كلٍّ من السوائل والغازات). ويعتمد الحمل الحراري الطبيعي على الجاذبية في تحريك المائع من المنطقة ذات درجة الحرارة العالية إلى المنطقة ذات درجة الحرارة

المنخفضة. فعندما يسخن الهواء، فإنه يتمدد ويصبح أقل كثافة من الهواء البارد المحيط به، والذي تكون كثافته أعلى. الجدير بالذكر أن الطفو يجعل الهواء الأقل كثافة يرتفع إلى أعلى، والهواء الأبرد يتحرك إلى أسفل، ويكون مسؤولاً أيضًا عن ارتفاع عمود الدخان فوق النار المشتعلة.

- **الإشعاع الحراري:**

يقصد بالإشعاع الحراري انتقال الحرارة عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية. وعلى النقيض من التوصيل والحمل الحراري، فإن الإشعاع لا يحتاج إلى وسط مادي، كمادة صلبة أو مائع، كي ينتقل من خلاله. وتعتبر الحرارة الشمسية المنبعثة من الشمس خير مثال على انتقال الحرارة عن طريق الإشعاع، ووصف انتقال الطاقة من منطقة ذات درجة حرارة عالية (الشمس) إلى جسم ذي درجة حرارة منخفضة (الأرض) عبر الفضاء.

رباعي الحريق:



شكل (١-٤) رباعي الحريق

(المصدر: معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٩٢١، ٢٠٠٤، شكل ٥-١، ٣)

مثلث الحريق مقابل رباعي الحريق:

وفقاً لمثلث الحريق، هناك ثلاثة عناصر أساسية لا بد من توفرها كي يحدث الحريق، وهي الوقود، والمؤكسد، والحرارة؛ ويعتبر مثلث الحريق نقطة بداية جيدة، وخصوصًا عند وصف عملية الحريق للجمهور، كجزء من أنشطة التوعية والوقاية من الحريق؛ لكن علم الحريق أثبت أن استمرار التفاعل الكيميائي أمر مطلوب أيضاً لاستمرار عملية الاشتعال.

أما رباعي الحريق، فهو نموذج يضيف عنصراً رابعاً لمثلث الحريق وهو استمرار التفاعل الكيميائي، وبالتالي استمرار عملية الاشتعال، كما هو موضح في الشكل (١-٤)، حيث يظهر النموذج على شكل هرمي، انظر الشكل (١-٥).

شكل (١-٥)

سلسلة التفاعل الكيميائي (المحفز الذاتي):

يتكون من مراحل عديدة وفيما يلي إيجازاً للمراحل الرئيسية التي تتكون من خلالها سلسلة التفاعلات الكيميائية للحريق: -

أ- المرحلة الأولى:- بداية التكوّن (التدشين) Initiation

هي بداية تكوّن الذرات الحرّة والجذور الكيميائية الحرّة عن طريق تفكيك الروابط الكيميائية بين هذه الذرات أو الجذور ويكون

معدل التكوين بطيء وذلك بسبب تساوي الطاقة اللازمة لكسر أو تفكيك الرابطة الكيميائية والطاقة اللازمة لهذا النوع من التفاعل الكيميائي البدائي. ويمكن كتابة هذه المرحلة بالتفاعل الكيميائي التالي:

A ---------- >٢X

جذر كيميائي جديد (ناتج التفاعل) جزيء المادة الداخلة في التفاعل (الوقود مثلاً)

ب- المرحلة الثانية: - الانتشار (الامتداد) Propagation

وهي التفاعلات الكيميائية التي تضمن استمرارية تكوّن السلسلة الكيميائية وتعتبر من أهم المراحل، وفيها يتم اتحاد الجذر الحر الطليق مع جزيء آخر من المادة الداخلة في التفاعل الكيميائي لينتج عن ذلك تكوّن جذر (أو شِقّ) كيميائي جديد (new free radical) وهكذا يتم امتداد وانتشار السلسلة:

X+A ---------- > Y+P

(ناتج احتراق) + جذر كيميائي جديد جزيء + الجذر السابق.

ج-المرحلة الثالثة: التفرّع (التشّعب) Branching

يتكون في هذه المرحلة عدد ٣ جذور كيميائية حُرِرت جديدة من تفاعل كيميائي لعدد واحد جذر كيميائي. وتعتبر هذه المرحلة المسؤولة عن ظهور ما يعرف بـــ الانفجار الكيميائي المؤدي إلى تفرّع أو تشّعب السلسلة الكيميائية وتسمى التفرّع التربيعي بسبب

اعتماد التفاعل الكيميائي على الدرجة الثانية من معدل تفاعل تركيز العينات الداخلة في التفاعل.

X+A ---------- > ٣Y+P

(ناتج التفاعل) + ٣جذور كيميائية جديدة جزيء + الجذر السابق

د-المرحلة الرابعة: النهاية

بعد تكون المراحل الثلاثة السابقة يصبح التفاعل الكيميائي الإجمالي (overall reaction) في وضع متسارع بسبب عدم وجود نهاية لتلك التفاعلات، ولكن بدون تكوّن مزيد من الجذور الكيميائية النشطة التي تنشأ خلال تلك المراحل مما يؤدي إلى عدم ظهور أي عملية تفرّع أو تشّعب لسلسلة التفاعل الكيميائية المصاحبة لأي عملية احتراق وتتم عند ذلك عملية إنهاء لتلك السلسلة من التفاعلات الكيميائية عن طريق اتحاد عدد اثنين من الجذور الكيميائية الحرّة أو (الطليقة) ويصاحب ذلك تكون جزيء ثالث يرمز له بالرمز M ويتضح ذلك من التفاعل الكيميائي التالي:

X+X+M---------- > X٢+M

ويقوم الجزيء الثالث (M) بامتصاص الطاقة الحرارية الناجمة من هذه التفاعلات الكيميائية السابقة (التي تمت خلال المراحل الثلاث) لمنع تفكك الجذور الكيميائية الحرّة وبالتالي يمنع استمرار عملية انتشار وتشعب سلسة التفاعلات الكيميائية النشطة وبذلك تكون تصل عملية الحريق الى النهاية.

نظرية الإطفاء:

تقوم نظرية الإطفاء على عكس ما تقوم عليه نظرية الاشــتعال تماماً فبينما يحتاج الاشــتعال إلى توفر عناصــره الرئيســية نجد أن نظرية الإطفاء تقوم على عزل او حجب عنصــر أو أكثر من هذه العناصر. ويمثل رباعي الحريق أساساً جيداً لفهم "نظرية الإطفاء"، حيث أن إزالة أي عنصــر من عناصــر رباعي الحريق الأربعة ســوف تؤثر على تفاعل الاشــتعال، مما يؤدي بالتالي إلى توقف الحريق. وفي العادة لا يلزم بالضرورة إزالة العنصر كلياً كي ينطفئ الحريق؛ بل إن خفضه إلى دون الحد الأدنى يكون غالباً كافياً لإطفاء الحريق.

تتعدد طرق إطفاء الحريق تبعاً لعنصر الحريق ومن هذه الطرق:

- **التبريد:** والذي يعمل على خفض درجة حرارة الوقود لتصــبح أقل من درجة حرارة اشتعاله.
- **الخنق:** يقوم على إزالة الأكســجين وذلك بتغطية الوقود المحترق بمادة إطفائية مناسبة تمنع وصول الأكسجين.
- **التجويع:** والذي يعمل على خفض كمية الوقود مثل إغلاق مصــدر الغاز المحترق أو ضــخ الســوائل المحترقة من خزاناتها إلى خزانات أخرى.

تصنيف الحرائق

تصنيف الحرائق حسب نوع الوقود:

لقد تم وضع نظام التصنيف لتحديد الفئات المختلفة من الوقود اعتماداً على سلوكه الاحتراقي. ويمكن استخدام هذا النظام كطريقة سريعة للدلالة على أساليب الإطفاء، أو المواد المطفئة المناسبة لفئة الحريق. يعتمد هذا النظام على استخدام الحروف "أ"، "ب "، "ج"، "د"، "ك " لتحديد نوع الوقود؛ وتظهر هذه الحروف بشكل دائم على طفايات الحريق، لتمكين المستخدم من اختيار الطفاية المناسبة وفقاً لنوع الوقود المشتعل.

ولمزيد من المعلومات المفصلة حول تصنيف الحرائق واختيار المواد المطفئة المناسبة، يمكنك الرجوع إلى معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم (١٠)، الذي يحمل العنوان "المعيار الخاص بطفايات الحريق المحمولة".

- **حرائق الفئة (أ) (A):**

وهي تشمل الحرائق التي يتكون وقودها من مواد عادية قابلة للاشتعال، مثل الخشب، والقماش، والمطاط، وأنواع كثيرة من البلاستيك. ويتميز وقود الفئة (أ) بأنه يحترق على هيئة جمر ويخلف رماداً. وتعتبر معظم المواد المطفئة فعالة في مكافحة حرائق هذه الفئة.

- **حرائق الفئة (ب) (B):**

يتكون وقود هذه الفئة من السوائل الملتهبة والسوائل القابلة للاشتعال، والشحوم البترولية، والقطران، والزيوت، والدهانات، والمذيبات، والكحوليات، والغازات سريعة الاشتعال. وتمثل هذه

الأنواع من الوقود مخاطر كبرى؛ لأن الكثير منها لا يمكن إطفاؤه بواسطة الماء حيث أن الماء يزيد من شدة الحريق وكثافته.

- **حرائق الفئة (ج) (C):**

هي الحرائق التي تشتمل على الأجهزة والتركيبات الكهربائية، والتي تكون موصلة بالتيار؛ أما في حالة عدم اتصالها بالكهرباء، فهي تصنف ضمن الفئة (أ) أو (ب)، مضافاً إليها المخاطر التي تمثلها الكهرباء. وللحد من مخاطر هذه الفئة يحتاج رجل الإطفاء إلى استخدام أساليب ومواد خاصة•

- **حرائق الفئة (د) (D):**

وهي التي يتكون وقودها من معادن قابلة للاشتعال، مثل المغنسيوم والتيتانيوم، والزركونيوم، والصوديوم، والليثيوم، والبوتاسيوم. وحيث أن درجة حرارة اللهب الناتجة عن هذه الفئة من الحرائق تكون عالية للغاية، فإن استخدام الماء في إخمادها سوف يترتب عليه تفكك الماء إلى عناصره الأساسية (الهيدروجين والأكسجين)، مما يؤدي إلى زيادة كثافة الحريق، وربما إلى انفجار.

- **حرائق الفئة (ك) (K):**

وهو تصنيف جديد يشمل الحرائق التي تحدث في أجهزة ومعدات الطهي، والتي تنطوي على استخدام وسائل طبخ قابلة للاشتعال، كالدهون والزيوت النباتية والحيوانية. ويتمثل الخطر الأساسي بالنسبة لهذه الفئة من الحرائق في استخدام القلايات العميقة المليئة بالزيوت، والتي كانت تصنف سابقاً ضمن حرائق الفئة (ب). ونظراً لتغير الممارسات الغذائية، فقد تحولت الكثير من عمليات الطهي التجارية من استخدام زيوت طبخ تعتمد على الدهون الحيوانية إلى زيوت نباتية، مع التحول في نفس الوقت

إلى استخدام معدات معزولة بشكل أفضل لأجل تحسين كفاءة الطاقة. وتجدر الإشارة إلى أن الزيوت النباتية لها درجة حرارة اشتعال ذاتي قريبة من درجة حرارة الطهي، الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى زيادة احتمالات حدوث اشتعال، واحتمالات عودة الاشتعال بعد أن يتم إخماد الحريق. وعلى أية حال، فإن هذه الفئة من الحرائق تمثل تحدياً لرجال الإطفاء، حيث تم اعتبارها تصنيفاً مستقلاً.

الصورة الرمزية	نوع الحريق	فئة الحريق
	خشب، ورق ، اقمشة، المهملات ومواد أخرى .	A
	البنزين، الزيوت، الدهانات والمواد الاخري القابلة للأشتعال.	B
	قد تستخدم في حرائق الاجهزة الكهربائية بدون خطر علي المشغلين.	C
D	المعادن القابلة للاشتعال وسبائك المعادن القابلة للاحتراق.	D
	مواد الطبخ (الزيوت النباتية والحيوانية والدهون).	K

شكل (١-٦)

الغرض من تصنيف الحرائق

١. معرفة مكونات وتركيب كل فئة.
٢. معرفة المادة الاطفائية المناسبة لكل فئة.
٣. معرفة المخاطر الناجمة عن حرائق كل فئة.
٤. العمل على اتقاء المخاطر الناجمة عن حرائق كل فئة.

أنواع الحرائق حسب آلية الاحتراق:

إحدى الطرق المستخدمة لتصنيف الحرائق هي عن طريق آلية الاحتراق؛ ففي بعض الحالات، يختلط المؤكسد والوقود قبل الاحتراق، وفي حالات أخرى لا يحدث ذلك. ويمكن وصف كيفية احتراق الوقود على أنه لهب منتشر، أو لهب مخلوط مسبقاً، أو حريق داخن.

- **اللهب المنتشر:**

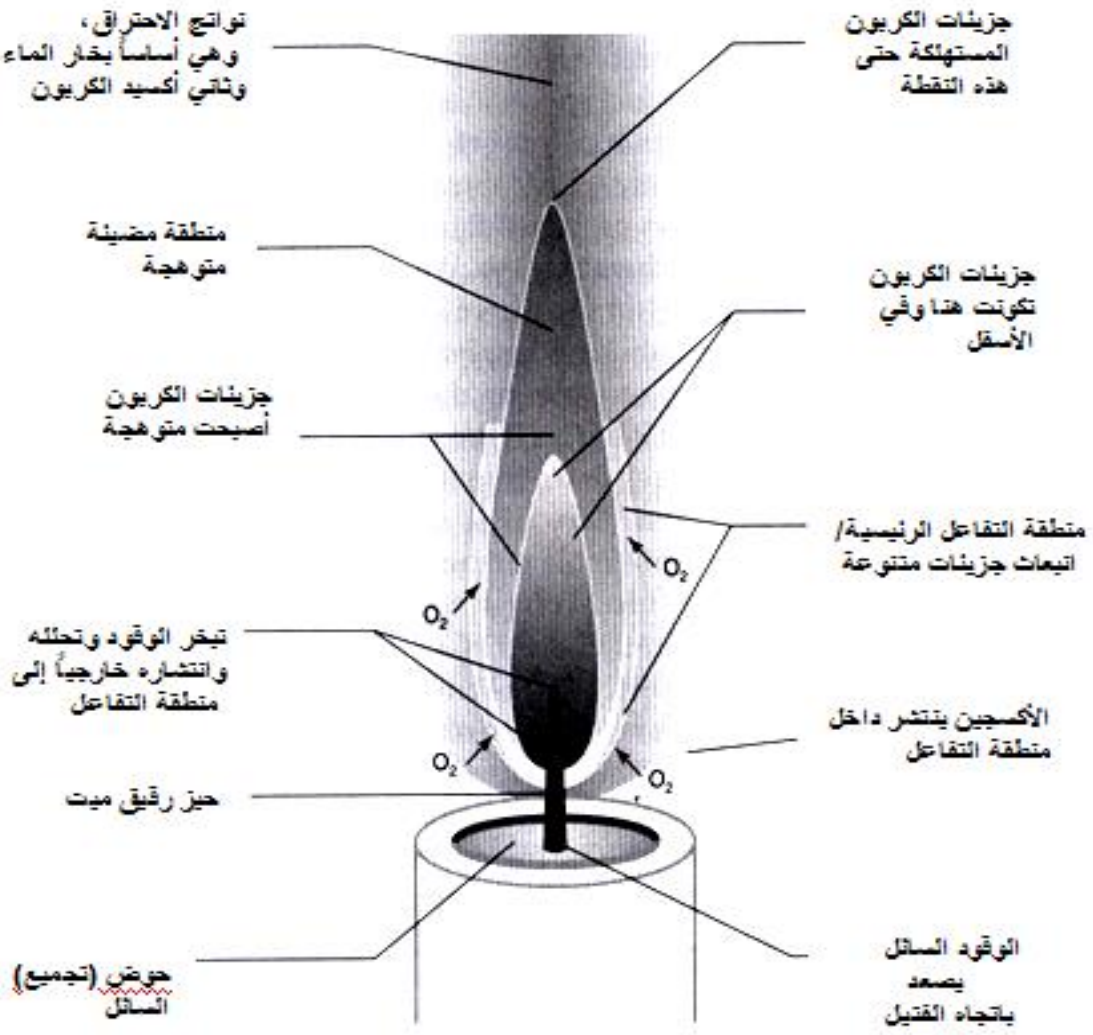
اللهب ببساطة هو المنطقة التي يتم فيها التفاعل الكيميائي بين الوقود والمؤكسد الموجود في الحالة الغازية تحت درجة حرارة مرتفعة• وفي حالة اللهب المنتشر يكون كلٌّ من الوقود والغاز منفصلين، ويكون أول اتصال بينهما عندما يتفاعلان في اللهب، حيث يقترب كل منهما من جانب مختلف من اللهب. ومن أمثلة اللهب المنتشر لهب الشمعة، ومعظم الحرائق الطبيعية.

وبعيداً عن اللهب، فإن تركيز الأكسجين في الهواء هو ٢١٪ تقريباً من حجم الهواء، ويستهلك الأكسجين داخل اللهب عن طريق الحريق، مما يجعل تركيز الأكسجين في المنطقة المحيطة منخفضاً فيها• وكما رأينا في حالات انتقال الحرارة، فإن الطاقة تنتقل من المناطق ذات درجة الحرارة الأعلى إلى المناطق ذات درجة الحرارة المنخفضة؛ ونفس الشيء يمكن أن يقال عن الفرق في تركيز الأكسجين.

ويقصد بالنشر العمليات التي يتم بواسطتها انتقال الموائع (السوائل أو الغازات) من مناطق عالية التركيز إلى مناطق منخفضة التركيز، مما يجعل جزيئات الأكسجين تنتقل من المناطق الواقعة خارج اللهب (منطقة عالية التركيز) باتجاه اللهب (منطقة منخفضة

التركيز). ويعمل اللهب في هذه الحالة كخط فاصـــل بين الوقود والمؤكسد.

وثمة عملية انتشــار مماثلة تعمل على تحريك الوقود إلى داخل منطقة التفاعل؛ فالشـمعة تسـتخدم مادة الشـمع كمصـدر وقود، والأكســجين الموجود في الهواء الجوي كمؤكســد. وتعمل الحرارة على تحويل الشـمع من الحالة الصـلبة إلى الحالة السـائلة، ويعمل السائل على تحريك الفتيل إلى أعلى عن طريق الخاصية الشعرية، أي قدرة الفتيل من خلال أليافه المتقاربة جداً على اسـتخدام التوتر السـطحي لسحب الشـمع السـائل من الحوض الموجود أسـفل كما هو موضـح في الشـكل (١-٧). وعندما يصـعد الشـمع السـائل إلى الفتيـل، فـإنـه يســخن عن طريق اللهـب حتى يتبخر. ويرتفع بخـار الشــمع الســائل داخل اللهب وينتقل داخله عن طريق الانتشــار، ويمكن النظر إلى اللهب المنتشــر على أنه صــفحة رقيقة يتفاعل فيها الأكســجين والوقود، ولـذلـك فإن اللهـب لا ينخفض كلياً مع تفـاعـل الوقود والأكســجين، ولكن يحـدث تبخر الوقود من خلال الصفحة الرقيقة عند السطح بين الوقود والأكسجين.



شكل (١-٧) الخاصية الشعرية الموضحة على لهب الشمعة (تصوير الشمعة بواسطة جون دبليو ليونز،

١٩٨٥م، مؤسسة الكتب العلمية الأمريكية؛ وتم إعادة الطباعة بتصريح من شركة هنري هولت)

- **اللهب المخلوط مسبقاً:**

هناك العديد من الحالات التي يتحد فيها الوقود والمؤكسد قبل حدوث الاحتراق، مما يؤدي إلى تكوين ما يسمى باللهب المخلوط مسبقاً. ورغم أننا نادراً ما نشهد حوادث حريق عرضية يختلط فيها الوقود والمؤكسد مسبقاً، إلا أن هذا النوع من الحرائق يقع فعلاً. وكمثال على ذلك، أنبوب يحتوي على غاز طبيعي يمكن أن يحدث به تسرب غاز مع مرور الوقت، مما يسمح للوقود بالانتشار داخل المبنى والاختلاط بالهواء. وعندما يصل تركيز الخليط إلى حدود القابلية للاشتعال، فإن كل ما يلزم لإتمام عملية الاشتعال هو توفير مصدر اشتعال؛ ومتى توفر ذلك، نتوقع انتشار اللهب خلال المنطقة التي تم فيها اختلاط الوقود بالمؤكسد.

الجدير بالذكر أن اختلاط الوقود بالمؤكسد يمكن أن يؤدي إلى تحسين تفاعل الاحتراق؛ ولذلك فإن العديد من الآلات والأجهزة التي تستخدم لأغراض التدفئة أو التسخين في المباني تعتمد على اللهب الناتج عن الخلط المسبق للوقود والمؤكسد. ولعل خير مثال على الخلط المسبق للوقود والمؤكسد هو موقد بنسن الذي يستخدم في المعامل الكيميائية. فعندما يتم اختلاط الوقود بالطريقة الصحيحة، حيث يوضع الوقود في قاع الموقد، مما يسمح له بالاختلاط بالهواء المحيط بمعدلات مختلفة، اعتماداً على مدى اتساع فتحة دخول الهواء. ويستمر الخليط القابل للاشتعال في الصعود إلى أعلى أنبوب الموقد حتى يتم تفريغه قرب الفتحة حيث يحدث الاشتعال. وإذا اشتعل الخليط الموجود في الأنبوب، فلماذا إذا لا يندفع اللهب مرة أخرى إلى أسفل داخل الموقد؟

ومن ناحية أخرى، فإن لكل وقود سرعة لهب مختلفة، وهي مقياس لمدى سرعة انتقال اللهب خلال خليط من الوقود والهواء قابل للاشتعال. وفي حال جعل حجم الأنبوب في موقد بنسن صغيراً، فإن ذلك سيجعل سرعة خليط الوقود والهواء أكبر بكثير من

السـرعة التي يعود خلالها اللهب إلى مصـدر الوقود؛ وإذا أصـبح إمداد الوقود والهواء منخفضاً بدرجة كبيرة، فإن اللهب سوف يصل إلى أسـفل حتى يصـل إلى الغاز غير المختلط (النقي)؛ وعند هذه النقطة، يصـبح تركيز الوقود قوياً جداً لدرجة تجعله لا يحترق، مانعاً بذلك اللهب من الهبوط عبر الأنبوب، وبالتالي عدم الوصـول إلى مصـدر الغاز• ومن خلال تسـهيل إيصـال الأكسـجين إلى الوقود المحترق، فإن احتراق الوقود المختلط مسـبقاً سـيكون أكثر كفاءة، مما يعني اسـتخدام كميات أقل من الوقود، وبالتالي خفض انبعاثات الغازات الضارة للبيئة .

- **الاحتراق الداخن:**

في بعض الأحيان لا يكون اللهب الناتج عن احتراق خليط الوقود والهواء مرئياً؛ فالحرائق الداخنة ليس لها لهب، وهي تقتصـر فقط على الجمر المتوهج السـاخن. ومن الأمثلة الشـائعة على النار الداخنة نار الشـواء التي يتكون وقودها من الفحم النباتي، حيث لا يكون الاحتراق أعلى الوقود، بل قريباً جداً منه أو أسـفله• وغالبًا ما يكون هذا النوع من الحرائق ساخنًا وبطيئًا، وكثير الدخان، وذلك لأن المؤكسد يهبط إلى أسفل سطح الوقود مما يؤدي إلى احتراق أقل كفاءة.

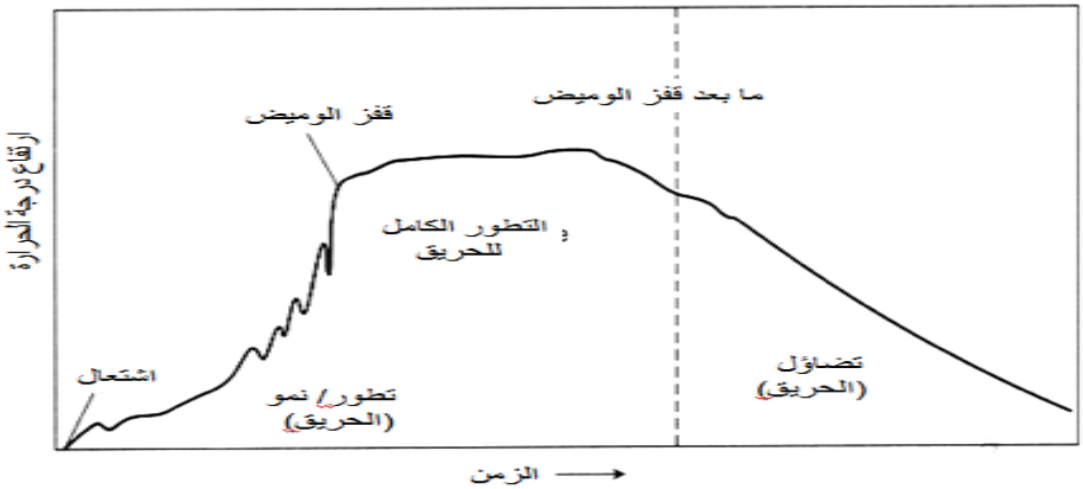
ومن جانب آخر، فإن الاحتراق المصـحوب بلهب يتطلب تركيزات من الأكسجين أعلى مما يتطلبه الاحتراق الداخن، مما يسمح للوقود بالاسـتمرار في الاحتراق حتى وإن اختفى اللهب المرئي. ويلاحظ أن الحرائق التي يتكون وقودها من الأخشـاب تتحول إلى المرحلة الداخنة عندما يصـل تركيز الأكسـجين في الهواء الجوي إلى حوالي ١٤٪. فلا نلاحظ عندئذٍ لهباً، بل يسـتمر الاحتراق إلى أن يقترب تركيز الأكسـجين من ١٠٪. وتجدر الإشـارة إلى أن هذه الآلية قد تؤدي إلى حدوث سلوك خطر، يسمى "السحب الخلفي"، الذي سوف نناقشه في القسم التالي.

مراحل تطور الحريق وانتشاره

مراحل تطور الحريق وانتشاره:

هناك القليل من الحرائق التي تحتفظ بنفس الحجم طوال فترة اشتعالها؛ فالحريق يبدأ صغيرًا، ثم ينتشر ليتضمن وقوداً آخر ويظل مستمراً في النمو حتى تستهلك المواد الإضافية القابلة للاحتراق. وعند هذه النقطة يبدأ حجم الحريق يتضاءل تدريجياً إلى أن يتوقف الحريق. وما أنظمة الرشاشات وطفايات الحريق اليدوية إلا محاولات قام بها الإنسان لمنع تطور الحريق، وبالتالي الحد من الخسائر والأضرار التي قد تلحق بالأشخاص والممتلكات والبيئة، والمحافظة على استمرارية العمل.

وعلى أية حال، فإن الحريق المثالي يمر بعدة مراحل، هي: مرحلة ما قبل الاشتعال، ومرحلة الاشتعال (بداية الحريق)، ومرحلة تطور الحريق (الاحتراق الحر)، ومرحلة التطور الكامل للحريق، ومرحلة تضاؤل أو انتهاء الحريق. ولا يشترط أن يسير كل حريق في هذا التسلسل، وذلك لأن عملية الاحتراق تتعرض للاضطراب نتيجة استخدام شخص طفاية حريق يدوية على سبيل المثال (راجع الشكل ١-٨).



شكل (١-٨) مراحل تطور الحريق عندما يسمح له بالتقدم دون أية تأثيرات خارجية، مثل الإطفاء (المصدر: كتيب هندسة الحماية من الحريق، الصادر عن جمعية هندسة الحماية من الحريق، الطبعة الثالثة، الشكل ٣-٦-١)

- **مرحلة ما قبل الاشتعال:**

لكي يحدث حريق، لا بد أن يختلط الأكسجين والوقود بكميات متناسبة في نقطة الاشتعال، وهذا الاختلاط يتطلب عادةً أن يكون كل من الأكسجين والوقود في الحالة الغازية. وفي معظم الحالات، يتم التعامل مع أكسجين الهواء على أنه هو العامل المؤكسد؛ وهو يكون دائماً على هيئة غاز. وقد يكون الوقود في إحدى الحالات الثلاث: الصلبة، أو السائلة، أو الغازية. أما الوقود السائل فيجب أن يتبخر أولاً حتى الاشتعال، ويمكن أن يحدث ذلك عن طريق تسخين السائل بمفرده، أو الجمع بين التسخين وتغشية السائل عن طريق عملية الرش الآلية. الجدير بالذكر أن التبخر لا يتضمن تغيراً كيميائياً، بل هو تغير في الحالة المادية؛ فتركيب بخار الماء من الناحية الكيميائية هو نفس تركيب الثلج أو الجليد، والفارق الوحيد بينهما هو حالة المادة (صلبة أو سائلة).

ومن جانب آخر، فإن الوقود الصلب يتفكك إلى عناصر غازية عندما يسخن من خلال عملية يطلق عليها "الانحلال الحراري" أو

"التحلل الحراري". وبالنسبة للخشب، فإن الغازات القابلة للاشتعال الناتجة عن عملية التسخين تكون مختلفة كيميائياً عن الخشب الصلب؛ إنها ليست أبخرة الخشب، بل أبخرة هيدروكربونية بسيطة. وعلى أية حال، فإن سلسلة الجزيئات التي تتحد معاً لتكوّن هيدروكربونات صلبة، تكون طويلة جداً لدرجة يصعب معها حدوث التبخر بسهولة، وبالتالي فإن الطاقة ستعمل على تسخين الوقود بدلاً من تفكيكه وتحويله إلى وحدات أصغر وأكثر تطايراً. وعندما يسخن الوقود استعداداً للاحتراق، فإن تحلل الوقود الصلب (التغير الكيميائي) يجب أن ينظر إليه على أنه مختلف عن تبخر الوقود السائل (التغير المرحلي).

الجدير بالذكر أن كلاًّ من التبخر والتحلل يتطلب انتقال الطاقة، حيث ينتقل جزء من الحرارة في مثلث الحريق أو رباعي الحريق لتحضير الوقود الصلب أو السائل للاحتراق. فالوقود الذي تتكون منه الأريكة، على سبيل المثال، له خواص فيزيائية مختلفة تؤثر على مدى سرعة الاحتراق؛ وحتى قبل أن نرى اللهب المرئي، نحتاج إلى طاقة لتحويل الوقود إلى حالة تسمح ببدء الحريق في مرحلة بداية الاشتعال.

- **مرحلة الاشتعال (بداية الحريق):**

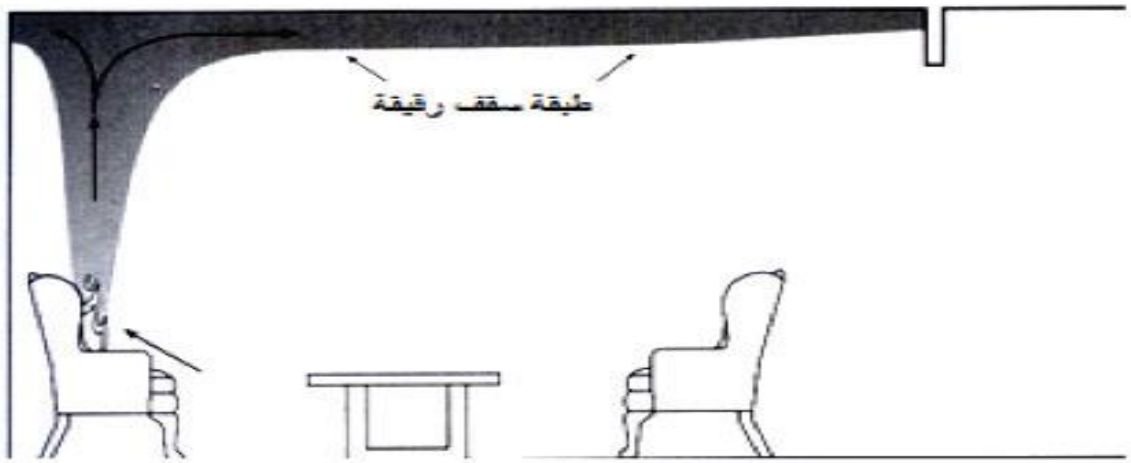
هذه المرحلة تعني بداية الحريق أو الاشتعال؛ وتتنوع المدة اللازمة لحدوث الاشتعال من حالة لأخرى؛ فقد تتراوح الحالة من اشتعال فوري (كما في حالة إشعال عود كبريت أو قوس كهربائي لغاز سريع الاشتعال)، إلى اشتعال يتطلب عدة ساعات (كما في حالة إلقاء عقب سيجارة على كرسي منجد)، إلى اشتعال يتطلب أيام (كما في حالة الاحتراق التلقائي للخرق المشبعة بالزيت أو العشب الرطب). وتتضمن هذه المرحلة عمليات تجمع بين كل

أضـلاع رباعي الحريق بمقادير متناسـبة، مما يؤدي في النهاية على تكوّن اللهب.

الجدير بالذكر أن هذه المرحلة يتم التحكم فيها عادةً عن طريق خصـــائص الوقود، والحرارة، أو مصـــدر الإشـــعال. ولو نظرنا إلى سـيناريو الحريق التي بدأ في مكان أو حيز صـغير، كحجرة نوم مثلاً، فإنه يمكننا أن نتوقع أنه في كثير من الحالات تكون كمية الطاقة المنطلقة أثناء عملية الاشتعال قليلة جداً لدرجة أننا لا نلاحظ سوى ارتفاع طفيف في درجة الحرارة قبل حدوث الاشـــتعال، وقد لا يكون هناك أية زيادة في درجة الحرارة.

يُطلق على المرحلة التي يبدأ فيها الحريق صـــغيراً بعد حدوث الاشـتعال مباشـرةً، والذي يقتصـر عادةً على المادة التي اشـتعلت أولاً، "مرحلة بداية الحريق" الموضـحة في الشـكل (١-٨). في هذه المرحلة يكون حجم الحريق صغيراً بحيث يمكن لأحد شاغلي المبنى التحكم فيه بسهولة باستخدام طفاية حريق يدوية، أو إبعاد الوقود، أو إغلاق صمام الأنبوب المكسور الذي يتسرب منه الغاز الطبيعي. وعلاوة على ذلك، يتوقع أيضـاً أن يكون الحريق صـغيراً جداً لدرجة تمكّن الأشـــخاص المتواجدين في الغرفة بالهروب والانتقال إلى مكان آمن إذا كانوا مســـتيقظين ومدركين أن هناك حريقاً في المبنى؛ وبذلك يحققون الحماية لأنفسـهم (بالتحرك إلى مكان آمن). وفي بعض الحالات، تتسـبب الحرائق الصـغيرة في حدوث إصـابات أو حروق، وربما تؤدي إلى الوفاة أيضـاً، مثلما يحدث عندما تشـتعل النار في ملابس الشخص.

ورغم أن العديد من الحرائق تبدأ بشعلة، أو مصدر إشعال قوي، إلا أن هذا ليس هو الوضع دائماً؛ فكما أشرنا سابقاً، فإنه يمكن تسخين الوقود إلى أن يصـــل إلى درجة حرارة اشـــتعاله الذاتي، حيث يبدأ الاحتراق حتى في حالة عدم توفر مصـدر إشـعال خارجي. وقد ينتج عن الاشتعال الذاتي أو التلقائي أيضاً لهب مكشوف، بسبب تراكم الحرارة داخل حاوية الوقود والناتجة عن تحلل المادة التي يتضـمنها الوقود. فعندما تتراكم الحرارة، ترتفع درجة الحرارة، فيؤدي ذلك إلى زيادة سـرعة تفاعلات التحلل، وبالتالي زيادة إنتاج الحرارة. وإذا توفرت الظروف التي تتلاءم مع نوع الوقود، ودرجة الحرارة الخارجية المناســبة، وكمية الوقود الكافية، فإن درجة الحرارة داخل كومة الوقود يمكن أن تصل إلى درجة حرارة الاشتعال.



شكل (١-٩) مرحلة بداية الحريق بعد حدوث الاشتعال

(المصدر: معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٩٢١، ٢٠٠٤، شكل ٥-٥-٤-٢)

- **مرحلة تطور الحريق (الاحتراق الحر):**

بمجرد أن يحدث الاشـــتعال، يمكن أن يتعرض الوقود الإضـــافي للاشـــتعال عن طريق اســـتخدام اللهب الأولي كمصـــدر للحرارة. ويمكن رؤية انتشار اللهب على سطح الوقود على شكل سلسلة

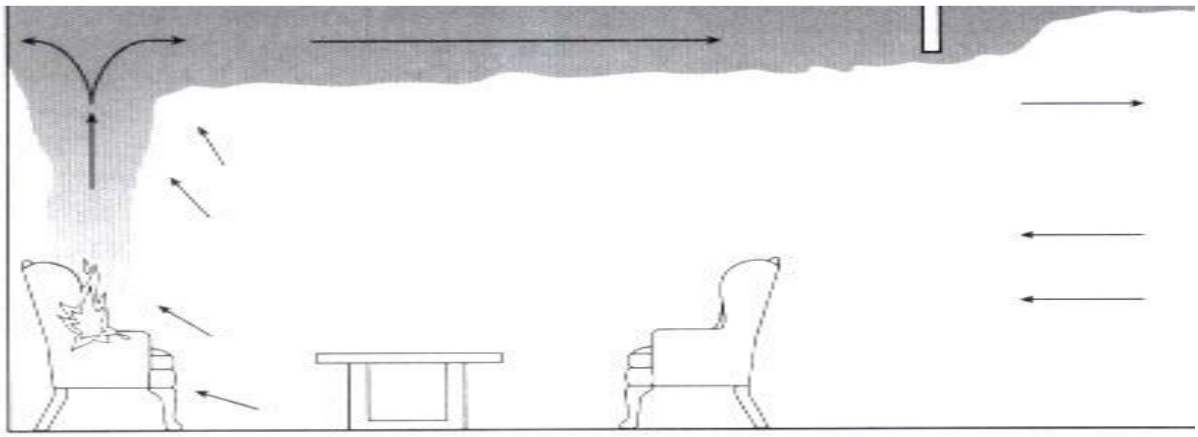
من الاشـــتعالات تلي الاشـــتعال الأولي للوقود. يعمل اللهب على تســـخين الوقود وبالتالي إطلاق أبخرة قابلة للاشـــتعال تختلط مع الأكســـجين الموجود في الهواء الجوي. وفي هـذه الحـالـة، يعمـل اللهب كدليل، حيث يؤدي إلى تســـخين خليط الهواء وبخار الوقود إلى أن يحدث الاشتعال.

وفي هذه المرحلة من مراحل تطور الحريق، يكون الشـــيء الوحيد الذي يحدد حجم الحريق هو مدى سـرعة اللهب في تسـخين الوقود الإضافي، والذي يؤدي إلى اتساع منطقة الحريق. وإذا كانت الغرفة تحتوي على شـباك أو باب، فإن الدخان سـوف يبدأ في الانتشـار من الغرفة إلى المناطق المجاورة داخل المبنى أو خارج المبنى كما هو موضح في الشكل (١-٩).

الجدير بالذكر أن نفس الفتحات تســـمح أيضـــاً بتدفق الهواء إلى داخل الغرفة، ليحل محل الهواء المســـتهلك بواســـطة الحريق أو المختلط مع غـازات الحريق، حيـث يخرج هـذا الهواء من خلـال الفتحات. ومع مرور الوقت، يســـتمر الحريق في الانتشـــار، ولكن بسـبب توفر الأكسـجين، يظل الحريق محدداً بكمية الوقود المتاحة. ولو كان الكرســـي الموجود في الشـــكل (١-١٠) بعيداً بما فيه الكفاية عن المواد الأخرى القابلة للاشـتعال، فإن الحريق قد يلتهم الكرسـي فقط، ولا تنتشـر إلى غيره، ويســـتمر الحريق في مكانه إلى أن يبدأ في التضـاؤل تدريجياً ولن يتبقى من الكرسـي سـوى المكونات غير القابلة للاشتعال، مثل الزنبركات والمسامير، ... الخ).

ومن الملاحظ أن مرحلة تطور الحريق تأخذنا من الاشـتعال، خلال فترة انتشار الحريق، إلى المرحلة التي يبدأ عندها الكثير من أشكال الوقود الموجودة في الغرفـة في الاحتراق. وبـالنســـبـة للمراقـب الخارجي، فإن معدلات درجات الحرارة والدخان داخل الغرفة، سـوف تنتقـل من درجـة حرارة الغرفـة تقريبـاً، وعـدم وجود دخـان عنـد الاشتعال، إلى مرحلة زيادة درجة الحرارة وزيادة تركيز الدخان. وفي

نهاية مرحلة تطور الحريق، تصبح الظروف غير آمنة لبقاء الإنسان في المكان. وحيث أن الظروف المحيطة خطرة وتهدد الأرواح أثناء مرحلة تطور الحريق، فإن هذه المرحلة تمثل الفترة الحرجة التي ينبغي خلالها اتخاذ خطوات هندسية للحماية من الحريق، وذلك من خلال استخدام أجهزة إنذار الحريق وكشف الدخان لتنبيه شاغلي المبنى، أو تفريغ المياه من خلال أنظمة الرشاشات لإيقاف تطور الحريق.



شكل (١-١٠) حركة غازات الحريق الساخنة

(المصدر: معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٩٢١، ٢٠٠٤، شكل ٥ – ٥ -٤-٢-١)

- **مرحلة التطور الكامل للحريق:**

إذا كان الحريق قادراً على الانتشار بشكل سريع جداً، بحيث يشمل كل الوقود الموجود داخل الغرفة، فإنه يكون بذلك قد دخل مرحلة التطور الكامل، حيث تصبح الظروف، وخاصةً مستوى الدخان ودرجة الحرارة في الغرفة أكثر ثباتاً. وفي الشكل (١-٨)، يتوقع أن تكون درجات الحرارة في أعلى مستوياتها أثناء هذه الفترة، الأمر الذي يتسبب في حدوث أضرار على البشر وعلى المبنى نفسه بسبب الحرارة الزائدة.

- **مرحلة التضاؤل (انطفاء الحريق):**

مهما كان حجم الحريق كبيراً، فإنه لا بد أن يصل في النهاية إلى مرحلة ينفد فيها الوقود. فعندما ينتشر الحريق، ويستهلك كل الوقود المتاح، فإنه يكون بذلك قد دخل المرحلة النهائية، وهي مرحلة التضاؤل أو الانطفاء، حيث تبدأ درجات الحرارة في الانخفاض وتقل كثافة النار أو الحريق. ومن الناحية المتعلقة بالسلامة من الحريق، فإن مرحلة التضاؤل أو الانطفاء هي أقل أهمية من المراحل الأخرى؛ لأن الخسائر أو الأضرار التي تلحق بالأشخاص والمباني والمحتويات تكون قد حدثت بالفعل. واعتماداً على أداء المبنى الذي يتوقعه أخصائي السلامة من الحريق، في حال وصول الحريق إلى مرحلة التضاؤل أو الذبول، فإن إجراءات الوقاية والحماية من الحريق سوف تتعرض للفشل بسبب العوامل التالية:

- عدم نجاح أنشطة الوقاية من الحريق في منع الاشتعال الذي يمثل المرحلة الأولى من مراحل تطور الحريق.
- عدم توفر أو استخدام أو تشغيل طفايات الحريق أو أنظمة الإطفاء الآلية (الرشاشات) بالطريقة الصحيحة، الأمر الذي يسمح للحريق بالاستمرار في النمو والتطور.
- عدم وجود جدران وأبواب مقاومة للحريق، أو أن هذه الجدران والأبواب موجودة في المبنى، ولكنها لا تعمل بها بالطريقة الصحيحة، مما يسمح بالتطور الكامل للحريق وانتشاره من الغرفة أو المنطقة التي بدأ فيها.
- عدم قدرة فرق الإطفاء على توجيه كميات كافية من الماء إلى قاعدة الحريق أثناء مرحلة نمو الحريق، أو مرحلة التطور الكامل للحريق، مما يؤدي إلى فشل التحكم في الحريق.

التحديات الخاصة عند مواجهة الحرائق

التحديات الخاصة التي تواجه رجال الإطفاء:

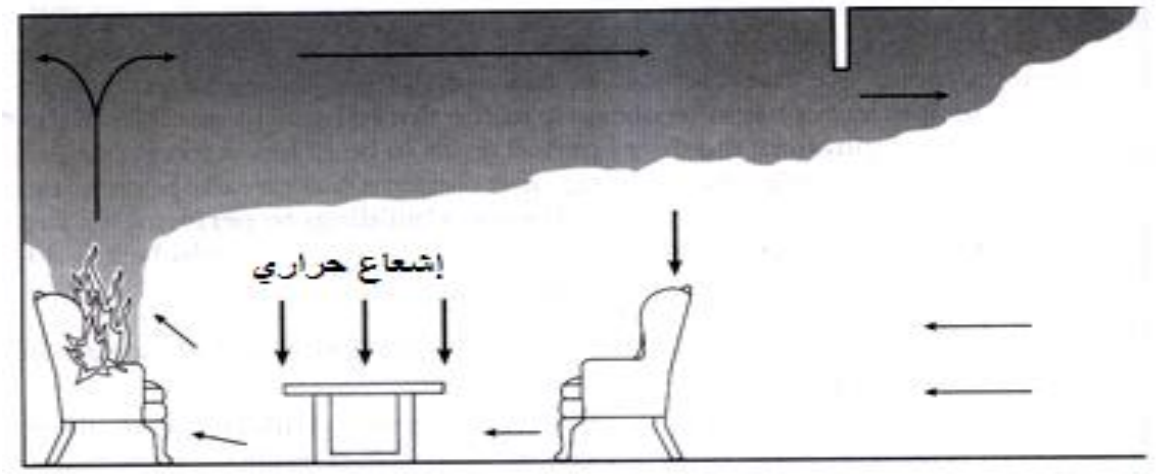
تعتبر مرحلة التطور الكامل للحريق هي المرحلة الأكثر خطورة على حياة رجال الإطفاء الذين يعملون في موقع الحريق. فبينما يكون رجال الإطفاء منشغلين في البحث عن الأشخاص المحتجزين داخل المبنى، أو في توجيه المياه نحو الحريق، قد ينخفض أداء العناصر الإنشائية التي تم تصميمها للحفاظ على ثبات المبنى واستقراره. ولذلك يتعين على قادة العمليات تقييم التفاعل بين الحريق والمبنى بصفة مستمرة، لتحديد ما إذا كان الخطر على رجال الإطفاء يفوق الفوائد التي يحتمل أن تحققها عمليات المكافحة الداخلية. وعموماً، هناك أربعة مواقف تمثل التحديات الخاصة التي يمكن أن تواجه رجال الإطفاء، وهي:

- مرحلة ما قبل قفز الوميض
- مرحلة قفز الوميض
- مرحلة ما بعد قفز الوميض
- مرحلة السحب الخلفي (ارتداد اللهب أو الدخان).

- **مرحلة ما قبل قفز الوميض:**

في بعض الحالات، توضع أنواع مختلفة من الوقود قريبة جداً من بعضها البعض مما يمكّن اللهب من الانتشار عن طريق الاتصال المباشر باللهب، مثلما يحدث عند وضع طاولة خشبة بالقرب من كرسي منجد• ففي مثل هذه الحالة، يكون الحريق قادراً على الانتشار، حتى وإن كانت أنواع الوقود تفصلها عن بعضها البعض مسافات بعيدة، كما هو موضح في الشكل (١-١١).

وطالما أن الاشـــتعال، واللهب، والغازات الســـاخنة الناتجة عن الحريق، تعمل على تسخين حدود الحجرة وأنواع الوقود الأخرى التي ســـتبدأ في الاحتراق، مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارتها. ومن جهة أخرى، فإن الغازات الساخنة المتجمعة بمنطقة السقف تنقل الطاقة عن طريق الإشـعاع الحراري، مما يسـمح لكل أنواع الوقود الموجود بالحجرة بأن تقترب من درجة حرارة اشـتعالها في نفس الوقت، حتى وإن كانت بعيدة عن اللهب. وفي هذه الحالة تخضـــع النار لعملية تحول سـريعة تعرف باسـم "قفز الوميض"، حيث تنتقل النيران من منطقة محدودة المساحة، لتشـمل الكثير من أنواع الوقود الموجود في الحجرة، إن لم يكن كلها. وعندما ننظر من الخارج إلى الغرفة التي يوجد بها الحريق، ســـيتبين لنا أن النيران تنقل من منطقة محدودة المساحة حول نقطة الاشـتعال، لتشـمل كافة أجزاء الغرفة في آن واحد.



شكل (١-١١) مرحلة ما قبل قفز الوميض

(المصدر: معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٩٢١، ٢٠٠٤، شكل ٥-٥-٤-٢-٣)

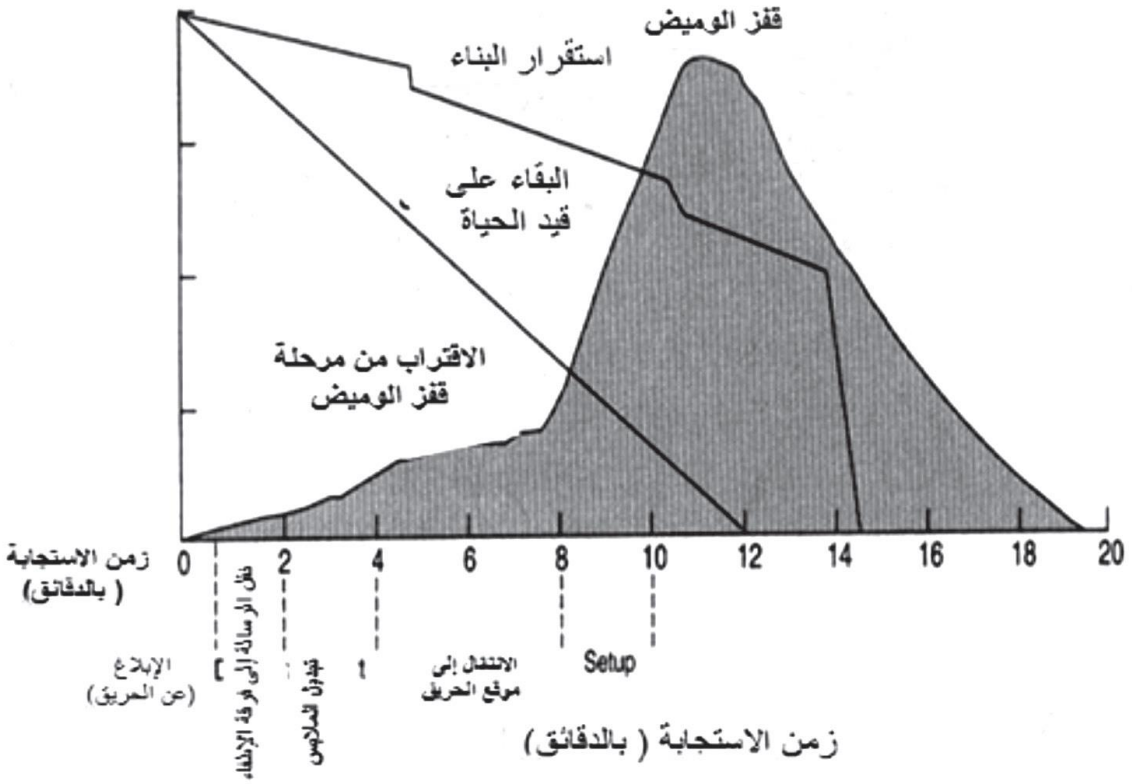
وتعتمد الفترة الزمنية الممتدة من لحظة الاشـتعال حتى الوصـول إلى نقطة قفز الوميض على عدة عوامل، مثل نوع الوقود وكميته

وطريقة تخزينه، وحجم الغرفة من حيث مساحة الأرضية والارتفاع، وعدد الفتحات ومواقعها (فتحة تهوية صغيرة مقابل باب واسع ومفتوح)، ومدى متانة عزل الغرفة (قوالب خرسانية مقابل ألواح جبسيه وحوائط جافة مع عوازل من الفايبرجلاس). ويمثل كل نوع حالة فريدة من نوعها؛ ولذلك فإن العملية قد تستغرق أقل من دقيقة أو عدة دقائق، وربما ساعة، أو أكثر، إذا كان الحريق يشتعل ببطء وبدون لهب.

أما بالنسبة لحدوث قفز الوميض (flashover) في غرف النوم، أو حجرات المعيشة في المباني السكنية، فإنه يستغرق عادةً بضع دقائق• وغالباً ما يؤدي التطور السريع للحريق إلى نتائج كارثية.

وعندما يقترب الحريق أكثر من حالة قفز الوميض، فإن فرص إنقاذ الأشخاص غير المحميين تكون شبه معدومة كما هو موضح في الشكل (١-١٢). وحتى وإن قامت فرق الإطفاء بإنقاذ شخص فاقد الوعي، فإنه ربما يكون قد تلقى جرعة قاتلة من الغازات السامة الناتجة عن الحريق، أو تعرض لحروق بليغة.

ويبين الشكل (١-١٢) أوقات الاستجابة للحرائق من قبل أحد مراكز الإطفاء ومقارنتها بأحد منحنيات مركز الإطفاء. وبالنظر إلى متوسط زمن الاستجابة، ندرك أن هناك حالات يكون فيها شاغلو المبنى في خطر محدق قبل أن يتخذ رجال الإطفاء مواقعهم في مكان الحريق.



شكل (١-١٢) زمن الاستجابة ونتائج تطور الحريق

(المصدر: معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٢٠٠٠، شكل ٤-٨)

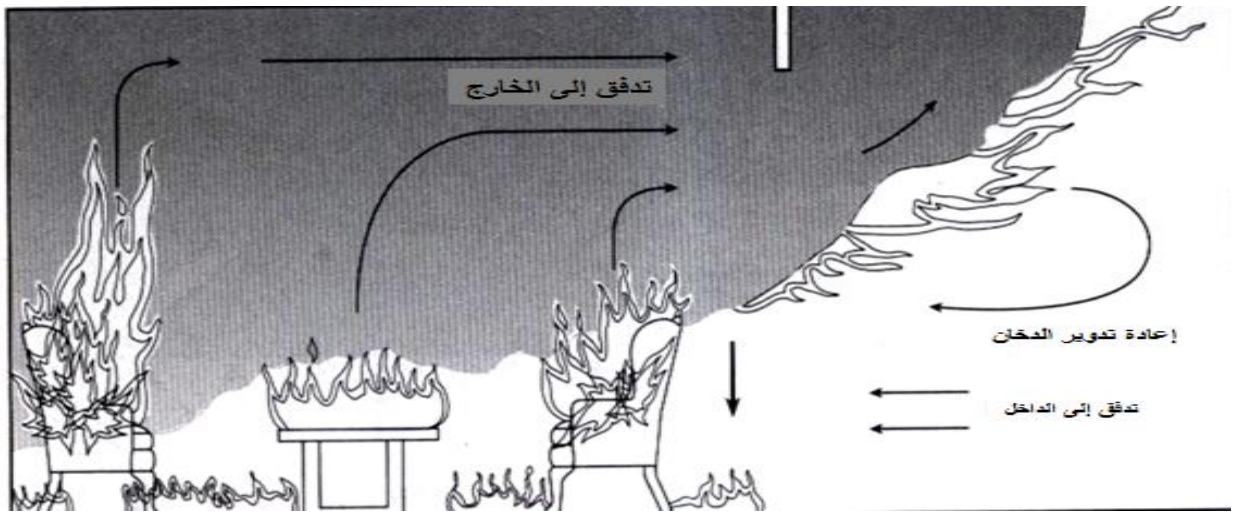
ولتحسين الموقف، يمكن تركيب كواشف دخان لتعمل على تنبيه شـــاغلي المبنى، وإبلاغ فرق الإطفاء، أو بناء مراكز إطفاء على مسافات أقرب من المباني لتقليل زمن الاستجابة للحريق.

الجدير بالذكر أن كلتا هاتين الاســـتراتيجيتين لهما تأثير محدود على تحسـين النتيجة بالنسـبة للأشـخاص الذين قد يكونون غير قادرين على الـابتعـاد عن الخطر بسـرعـة كـافيـة، مثلمـا يحـدث في المستشفيات والسجون. وقد أدرك مصممو المباني هذه الحقيقة، وترتـب على ذلـك إجراء تغييرات في البنـاء والقوانين الخـاصـــة بالحريق (مثل معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم (١)، الـذي يحمـل العنوان "قـانون الحريق الموحـد"، ومعيـار الجمعيـة

الوطنية للحماية من الحريق رقم (٥٠٠٠)، الذي يحمل العنوان "قانون البناء وسلامة المباني"، اللذين ينصان على تركيب أنظمة رشاشات أوتوماتيكية في العديد من المباني الجديدة، وبعض المباني الموجودة حالياً.

- **مرحلة قفز الوميض:**

يشير قفز الوميض إلى التحول السريع من حريق محدود الحجم والتأثير إلى موقف خطر جداً يكون فيه الحريق قد تطور بشكل ثابت تقريباً ليشمل أنواع الوقود المتاحة في الحجرة، كما هو مبين في الشكل (١-١٣). وتجدر الإشارة إلى أن عدداً قليلاً من شاغلي المباني، ورجال الإطفاء الذين يستخدمون المعدات الواقية بالكامل، يبقون على قيد الحياة عند حدوث قفز الوميض.



شكل (١-١٣) مرحلة قفز الوميض

(المصدر: معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٩٢١، ٢٠٠٤، شكل ٥-٥-٤-٢-٦)

ونظراً لوجود العديد من الطرق المستخدمة للتهوية وتخزين الوقود، فإن التحول إلى قفز الوميض يخلق عددًا من التحديات بالنسبة لرجال الإطفاء. وكما هو الحال قبل حدوث قبل قفز الوميض، فإن جميع أنواع الوقود الموجودة في الغرفة يتم تسخينها عن طريق اللهب والدخان الساخن الذي يتدفق عبر السقف، مما يسبب انطلاق كميات كبيرة من الغازات المتطايرة من الوقود. وهذه الغازات الساخنة القابلة للاحتراق يمكن أن تلتحق بتيار التدفق عند السقف وخارج فتحات الغرفة، مما يؤدي إلى خلق حالة يتم فيها احتواء الغاز لوقود يكون ساخنًا بالقدر الكافي الذي يسمح بحدوث احتراق.

وكل ما ينقص في هذه الحالة هو الأكسجين. وحيث أن الغازات الساخنة تنتقل عبر السقف وخارج الفتحات، فإن التدفق في النهاية يختلط بالهواء النقي الذي يحتوي على الأكسجين اللازم لعملية الاحتراق، مما يتسبب في إيجاد منطقة ضيقة من اللهب في السطح الفاصل بين الوقود والهواء. وبالنسبة لرجل الإطفاء الذي يدخل غرفة الحريق عبر الباب المفتوح، فإن الدخان العلوي سيبدو وكأنه يبدأ في الاحتراق فجأة، بطريقة مميزة يطلق عليها اسم "الانقلاب". ويستخدم رجال الإطفاء ظاهرة الانقلاب كإشارة لقرب حدوث قفز الوميض، رغم أنه لا يعد مؤشرًا يمكن الاعتماد عليه؛ لأن هناك العديد من حالات قفز الوميض التي يمكن أن تحدث دون أن يسبقها انقلاب.

وأثناء التحول إلى قفز الوميض، يؤدي التسخين السريع لجو الغرفة إلى انتشار غازات الحريق، مما يؤدي إلى اندفاع الدخان الساخن والوقود المتبخر غير المحترق إلى خارج الغرفة. وعندما تطرد الغازات الساخنة من الغرفة، فإنها تختلط مع الهواء، مما يؤدي إلى ما يعرف بالكرة النارية عندما تبدأ الغازات في الاحتراق.

وبالعودة إلى الشكل (١-١٣)، فعند انتقال الدخان إلى خارج الغرفة عبر الباب، فإنه يميل إلى الاختلاط بالهواء النقي الذي يدخل بالقرب من أرضية الغرفة؛ وقد تؤدي هذه العملية إلى تلويث الجو النظيف المحيط بالجزء السفلي من الغرفة، مما يعيق من الرؤية في المنطقة التي يتواجد فيها الضحايا في أغلب الأحيان.

ومن ناحية أخرى، فإن قفز الوميض يشير أيضًا إلى نقطة التي يندفع خلالها الدخان والغازات الساخنة من الغرفة التي بدأ فيها الحريق إلى جميع أنحاء المبنى، مما يعرض للخطر شاغلي المبنى المتواجدين في مكان بعيد عن الحريق. وقبل حدوث قفز الوميض، يكون شاغلو غرفة الحريق هم من يتعرضون للخطر الأكبر؛ أما بعد حدوث قفز الوميض، فإن شاغلي الطابق الذي يوجد به الحريق أو الطابق الذي يعلوه هم من يكونون في موقع الخطر. ولا شك أن قائد الحادث الذي لا يدرك هذه الحقيقة لن يدير جهود الإطفاء نحو أفضل استخدام.

ويشير قفز الوميض أيضًا إلى التحول من حريق يمكن التحكم فيه من خلال كمية الوقود المتاحة (التحكم في الوقود) إلى موقف يعتمد فيه حجم الاحتراق-بدلاً من ذلك-على مقدار الهواء (المؤكسد) الذي يمكن أن يدخل إلى الحجرة من خلال الفتحات. وفي مثل هذه الحالة، يقال إن الحريق منضبط التهوية. وكما سيرد في القسم التالي، عندما يتاح الأكسجين بكميات لا تكفي لحدوث الاحتراق الكامل للوقود المتاح، فإن معدل إنتاج الغازات السامة سوف يزداد بشكل كبير، مما يعرض للخطر الأشخاص المتواجدين في مكان بعيد عن الحريق. ولنفس هذا السبب، يجب أن يحاول رجال الإطفاء توجيه الماء نحو الحريق في أسرع وقت ممكن؛ لأن فعل هذا أولاً قد يكون أكثر فاعلية من إنقاذ الضحايا المحتجزين بالقرب من موقع الحريق. ولا شك أن الخفض السريع لإنتاج الدخان السام من الحريق يمكن أن يؤدي إلى تحسين الظروف بشكل أسرع

من مهمة تفتيش المبنى المعبأ بالدخان بحثاً عن الضـــحايا، وهي المهمة الأكثر استهلاكًا للوقت.

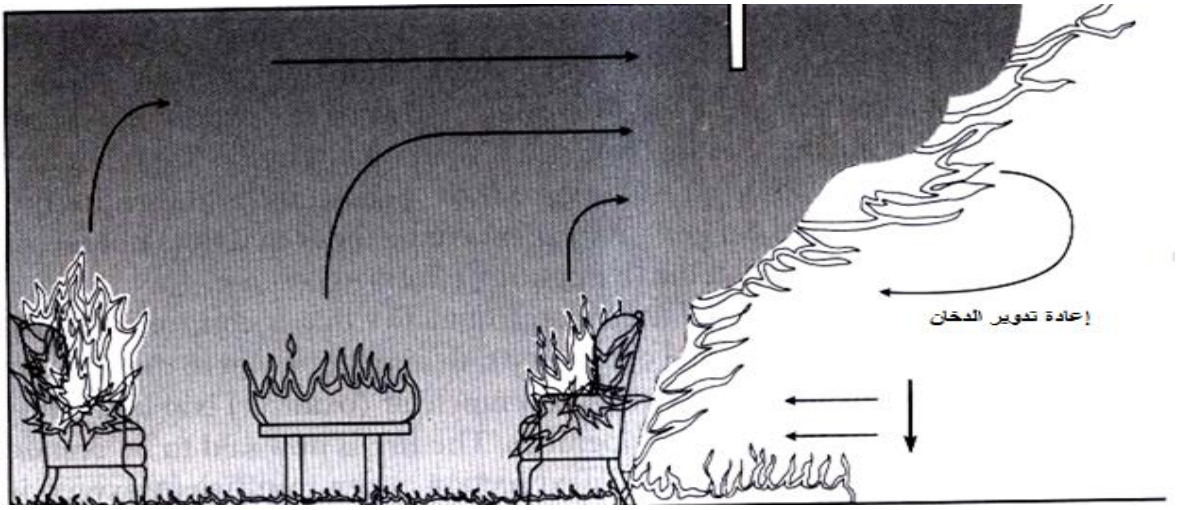
- **مرحلة ما بعد قفز الوميض:**

بعـد قفز الوميض، قـد يتبقى بعض الوقود في غرفـة الحريق، لكنه لن يكون كله قادراً على الاحتراق داخل الحيز الـذي يوجد به بســبب عدم توفر الأكســجين الكافي. وعلى أية حال، فإن الاحتراق الـذي يحدث بعد قفز الوميض يتميز بإمكانية التحكم في التهوية الأمر الذي يؤدي إلى انتشـــار اللهب إلى الخارج من خلال فتحات الغرفة. وكما هو موضـــح في الشـــكل (١-١٤)، فإن فرص البقاء على قيد الحياة بالنسـبة لشـاغلي المبنى غير المحميين، ورجال الإطفاء الذين لا يستخدمون المعدات الواقية بالكاملة ستكون معدومة في حال التعرض لظروف هذه المرحلة.

وفي هـذه المرحلـة من مراحـل تطور الحريق، يجـب أن يتحول الاهتمام والتركيز نحو الأضـــرار التي يحدثها الحريق بـالعناصـــر الإنشـائية الداعمة للمبنى. فدرجات حرارة الحريق في هذه المرحلة تبلغ أقصاها، مما يتسبب في ضعف الخرسانة والصلب. وبسبب اللهـب الـذي يمتـد إلى الخـارج من خلال النوافـذ، وعبر الفتحـات الأخرى، يمكن أن ينتشـــر الحريق إلى أماكن أخرى في المبنى، أو ينتقل إلى خارج المباني القابلة للاحتراق.

وعندما يكون المبنى مجهزاً بحوائط وأبواب مقاومة للحريق، فإن ذلك سيساعد في الحد من انتشار الدخان والغازات الساخنة الناتجة من الحريق المتطور بشـــكل كـامـل، مما يعطي الأشـــخـاص المتواجدين في مكان بعيد عن الحريق مزيداً من الوقت للهروب. كما أن الوقاية من حرائق المباني يمكن توفيرها أيضًـا للخشـب، أو

الصـــلب، أو الخرســـانة للحد من تأثير الحرارة على قدرة أعمدة المبنى، والعوارض، والحوائط، والأرضيات في دعم ثقل المبنى.



شكل (١-١٤) حريق في مرحلة ما بعد قفز الوميض.

المصدر: معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق رقم ٩٢١، ٢٠٠٤، شكل ٥-٥-٤-٢-٧)

- **مرحلة السـحب الخلفي (ارتداد اللهب أو الدخان لتعطل السحب):**

لقد أشرنا سابقاً إلى أن الحريق في مرحلة بداية الاشتعال ينمو بطيئاً ويكون تأثيره على الغرفة قليلاً، ويبقى تركيز الأكســجين في الغرفة قريباً من المستوى الطبيعي (نسبة الأكسجين في الهواء الجوي هي٢١٪). وعندما تكون أبواب ونوافذ الغرفة محكمة الإغلاق، تكون هناك فقط منافذ ثانوية، مثل الشـــقوق المحيطة بالأبواب والمنافذ الكهربائية والمصابيح، وما شابه ذلك، تسمح بدخول الهواء إلى المكان. ومع تطور الحريق وزيادة حجمه، فإنه يســتهلك الأكســجين المتاح مما يؤدي إلى اختفاء اللهب المرئي. وفي مثل

هذه التركيزات المنخفضة يحترق الوقود الصلب بشكل داخن (بدون لهب). وفي هذه الحالة يصبح الوسط المحيط ساخناً لدرجة تكفي للسماح بحدوث الانحلال الحراري بشكل مستمر، مما يتسبب في تراكم الغازات الساخنة القابلة للاشتعال الذي ينقصه فقط الأكسجين اللازم لحدوث الاحتراق. وبمرور الوقت، يبدو الحريق وكأنه ينطفئ، ومع ذلك، يكون الوقود قد تجمع وملأ الغرفة.

ومن جانب آخر، فإن زيادة درجة الحرارة تعمل على انتشار الغازات، مما يزيد ضغط الغرفة، فتندفع الغازات إلى الخارج من خلال أية فتحات صغيرة تكون موجودة في الغرفة. ونظراً لاحتواء الدخان على القطران والسخام، فإن النوافذ تبدو معتمة أو ملطخة ببقع داكنة، وهذه هي علامات تشير إلى قرب حدوث السحب الخلفي (ارتداد اللهب أو الدخان)، كما هو مبين في الشكل (١-١٥).

وبمجرد أن يتم عمل فتحة في الحجرة المغلقة، يصبح الأكسجين قادرًا على الاختلاط بالوقود الساخن المتبخر، مما يؤدي إلى استمرار الاحتراق. وكما هو الحال مع بعض أنواع قفز الوميض، فإن الانتشار السريع للغازات التي تملأ الحجرة سيدفع تلك الغازات إلى الخارج عبر الفتحة التي تم عملها، مما يتسبب في تكوين كرة نارية متدحرجة• وقد يحدث السحب الخلفي بشكل سريع إلى حدٍّ ما، وقد أطلق على هذه الظاهرة اسم الانفجارات الدخانية نتيجة حدوث الاحتراق السريع جداً من خلال ما يظهر على شكل دخان داكن اللون. ولكي تتم عملية مكافحة الحريق بالطريقة الصحيحة، يفضل تهوية الحجرة من أعلى نقطة ممكنة، للسماح لأبخرة الوقود بالخروج قبل أن يتم عمل فتحة سفلية للدخول.

شكل (١-١٥) السحب الخلفي (ارتداد اللهب أو الدخان لتعطل السحب)•

(المصدر: أساسيات مكافحة الحريق، الطبعة الرابعة، الجمعية الدولية للتدريب على خدمات الإطفاء (IFSTA)، ١٩٩٨)

مخاطر الحريق

أقسام مخاطر الحريق

١. **خطر شخصي: (الخطر على الأفراد)**

هو عبارة عن مجموعة من المخاطر تنشأ بسبب الحريق تعرض حياة الأفراد وسلامتهم للخطر مما يستوجب توفير تدابير النجاة قبل وأثناء الحريق.

٢. **خطر تدميري: Damage Hazard**

هو ما يحدث من دمار للمباني والمنشآت نتيجة الحريق وتختلف شدة هذا التدمير باختلاف ما يحتويه المبنى نفسه من مواد قابلة للاشتعال.

٣. **خطر تعرضي: Exposure Hazard**

هو الخطر الذي يهدد المواقع القريبة لمكان الحريق ويعرف أيضاً بالخطر الخارجي.

نواتج الاحتراق:

لعل أحد المبادئ الأساسية للحماية من الحريق هو العمل على تقليل أو منع تعرض شاغلي المباني، وخصوصاً المرضى والمسنين، لنواتج الاحتراق. ورغم أن الدخان قد يكون عاملاً مهمًا في إتلاف السلع في المحلات التجارية، أو إلحاق الضرر بالبيئة في حال حرائق الغابات الكبيرة، إلا أننا نركز هنا على كيفية تسبب الحرائق في حدوث إصابات، أو وفيات للبشر.

لقد استخدمنا حتى الآن بعض المصطلحات بشكل تبادلي، وهذه المصطلحات هي: نواتج الاحتراق، الدخان، غازات الحريق، أبخرة الوقود. وكما ذكرنا سابقاً، فإن الحريق ينتج عنه حرارة، وضوء، ودخان بكميات متفاوتة، ولا بد أن نستوعب جيداً المقصود بكل من الضوء والحرارة؛ أما الدخان فهو مسألة مختلفة تمامًا؛ فما هي العناصر التي يتكون منها الدخان، وهل توجد أنواع مختلفة من الدخان يجب أن نهتم بها عند دراسة سلوك الحريق.

وعموماً فإننا سننظر إلى الدخان على أنه مصطلح عام يستخدم لوصف العناصر الغازية التي تتكون من اتحادات مختلفة• وتجدر الإشارة إلى أن الوقود الذي لم يحترق هو الذي لم يتم استهلاكه بواسطة الحريق، وخصوصاً إذا كانت الظروف المحيطة غير ملائمة لإتمام عملية الاحتراق، مثل عدم توفر الأكسجين الكافي، أو انخفاض درجات الحرارة، أو اقتراب تركيز الوقود من حدود القابلية للاشتعال (تركيز ضعيف جداً أو قوي جدًا)•

تمثل نواتج الاحتراق الكامل المواد النهائية الناتجة عن احتراق الوقود بنسبة كافية من الأكسجين. وبالرجوع إلى التفاعل الكيميائي الأول الذي تم شرحه في بداية هذا الفصل، سنجد أن هذه النواتج هي الجزيئات الموجودة على الجانب الأيمن من المعادلة، وبالنسبة للأنواع الشائعة من الوقود الهيدروكربوني، نتوقع أن تشمل نواتج

الاحتراق الكامل ثاني أكســيد الكربون، وبخار الماء، ونواتج أخرى بنسب ضئيلة•

أما نواتج الاحتراق غير الكامل فتشمل الوقود، والأكسجين، وأية مواد متفاعلة أخرى، والتي يتم اســتهلاكها جزئيًا عن طريق الحريق، ولكنها لا تتحول كليًا إلى نواتج كتلك التي نتوقع منها أن تمثل الاحتراق الكامل• وعلينا أن نتذكر أننا عرفنا الحريق على أنه يمثل عدداً من الخطوات المتوســطة المطلوبة لتحويل المواد المتفاعلة إلى نواتج؛ لذلك إذا حدث توقف أو اضطراب للتفاعل ولم يسمح له بالوصـول إلى حد الاكتمال، فإن بقايا التفاعل المكتمل جزئيًا سـوف تبقى؛ وعندما تكون نســبة الأكســجين غير كافية لحدوث الاحتراق، فإن أول أكسـيد الكربون سـوف ينتج بدلاً من ثاني أكسـيد الكربون، الذي يعتبر أحد مكونات الدخان التي تســبب العديد من الوفيات، حيث أن التركيزات القليلة منه يمكن أن تسبب العجز أو الوفاة .

أما بالنسـبة للنواتج الصـلبة أو السـائلة الأخرى للاحتراق، والتي تعرف بالسـخام أو القطران، فهي تتكون من الوقود غير المحترق أو المســتهلك جزئياً، ومن مواد كيميائية أخرى يمكن أن تســيل أو تتصلب، وخصوصاً عندما يبرد الدخان. ولو وضعنا عينة من السخام تحت الميكروســكوب، ســنجد أنها عبارة عن تجمعات عشــوائية من ذرات الكربون بشــكل أســاسـي، والتي ترتبط مع بعضــها البعض، والســخام هو أحد المكونات الأســاســية التي تعطي الدخان لونه القاتم.

ويعتبر الهواء المحيط الـذي يختلط مع النواتج الأخرى للاحتراق، وخاصة عمود الدخان أو تيار الدخان الذي يمر بمنطقة السقف، جزءًا من الـدخان. ورغم أن الهواء الـذي يختلط بغازات الحريق، لا يعتبر، من النـاحيـة الفنيـة، من نواتج الاحتراق، إلا أنـه يحتوي عليهـا في القائمة، لأنه يعمل على زيادة كميات الدخان أثناء تبريدها.

سلامة رجل الإطفاء:

تسبب الحرائق الضرر بطرق عديدة، سواء لشاغلي المباني أو رجال الإطفاء، الذين يتعرضون بشكل مباشر لنواتج الاحتراق، مما يسبب حالاتٍ خطرة، مثل الإصابات الحرارية، والتسمم، والاختناق، والتغشية.

١- الإصابات الحرارية:

تنتج الإصابات الحرارية أو الحروق التي تصيب الجلد أو الجهاز التنفسي (الأنف، القصبة الهوائية، الرئتين) عن الحرارة التي تنتقل من مادة ساخنة إلى جسم الشخص• وقد يؤدي التعرض قصير الأجل للهب المباشر إلى تلف بالنقطة التي انتقلت إليها الحرارة• ومن الحالات الأخرى المتوقعة أيضاً التعرض للسخونة بشكل بطيء لفترة طويلة من الوقت، حيث يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة الجسم بشكل خطير؛ وهي الحالة التي تعرف عادةً بالحمى• وعند الحديث عن الإصابات الحرارية يجب أن نأخذ بعين الاعتبار الأوضاع التالية المتعلقة بانتقال الحرارة، والأضرار المحتملة أو المتوقعة في كل وضع.

٢- التوصيل الحراري:

إن تعرض الجلد للوقود المحترق، أو لمعدن ساخن، ينتج عنه حدوث حروق في النقطة التي حدث فيها الاتصال.

٣- الحمل الحراري:

الدخان الساخن الذي يهبط إلى أسفل الأروقة والمداخل يمكن أن يحيط الشخص الذي يزحف على الأرض بحثاً عن الأمان، بدرجات حرارة عالية، مما يعرضه للسخونة المفرطة.

٤- الإشعاع:

إن تكوّن طبقة من الدخان الساخن بمنطقة السقف في غرفة قبل حدوث قفز الوميض، يمكن أن ينتج عنه حروق قاتلة للأشخاص فاقدي الوعي الممددين على أرضية الغرفة، وذلك بسبب انتقال الإشعاع الحراري من طبقة الدخان إلى الأرضية.

٥- أوضاع مختلطة:

هناك حالات كثيرة تتضمن أنماطاً متنوعة لانتقال الحرارة؛ فلو كان هناك شخص يسير في وسط سحابة من الدخان الساخن، وأخذ نفساً من هذا الدخان، فإن الغازات الساخنة سوف تنتقل عميقاً إلى داخل الرئتين، حيث يمكن أن يؤدي كل من التوصيل والحمل الحراري إلى أضرار وتلفيات بليغة بأنسجة الرئتين؛ كما أن بخار الماء الموجود بالدخان يمكن أن يزيد من حجم التلفيات، وذلك بسبب قدرة الهواء الرطب على التسبب في حدوث حروق إضافية.

٦- التسمم:

إن التسمم، وليس الحروق أو الإصابات الحرارية، هو السبب الرئيسي لمعظم الوفيات الناتجة عن الحرائق؛ فمكونات الدخان، وخاصةً نواتج الاحتراق غير الكامل، قادرة على إحداث أضرار بليغة، نتيجة التغيرات أو التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل جسم الشخص• ويعتبر أول أكسيد الكربون أحد غازات الحريق السامة الخطرة، بسبب قدرته أو ميله إلى الاتحاد بهيموجلوبين الدم عند امتصاصه في الرئتين، حيث يعمل على منع الدم من نقل الأكسجين إلى الأعضاء الحيوية في الجسم• وينتج عن احتراق الصوف غاز سام آخر هو سيانيد الهيدروجين، الذي يستطيع الانتقال إلى جميع أجزاء الجسم عن طريق الدم، مسبباً تلفًا للألياف الخلوية• وبالإضافة إلى ذلك، فإن الكثير من نواتج الاحتراق يمكن أن تسبب السرطان إذا تعرض لها الإنسان لفترة طويلة، مثل دخان

السـجائر. ومن وجهة نظر العاملين في مجال الحماية من الحريق، فإن التعرض قصـير الأجل لنواتج الاحتراق الذي يتسـبب عادةً في حدوث إصـابات أو ربما الوفاة هو الأكثر إثارة للقلق، رغم أن التعرض لدخان محطات الطاقة أو حرائق الغابات، على سـبيل المثال، هو محل اهتمام ومثير للقلق أيضًا•

٧- الاختناق:

إن الاختناق، أو نقص الأكسجين، يمكن أن يتسبب في اضطراب التفكير، وانخفاض التنسـيق العضـلي، عندما ينخفض تركيز الأكسجين إلى ما بين ١٤٪ - ١٧٪ ، أي أقل من النسبة الطبيعية التي يفترض أن تكون موجودة في الهواء النقي، وهي ٢١ %• وقد يؤدي انخفاض تركيز الأكسـجين إلى أقل من ١٠٪، إلى الإغماء ثم إلى الوفاة• ومن الواضح أن الحريق يستهلك الأكسجين الموجود في الهواء الجوي كي يستمر الاشتعال، ولذلك يجب النظر إلى الدخان على أنه يحتوي على مسـتويات متدنية من الأكسـجين، وبالتالي يجب اعتباره من نواتج الاحتراق الخطرة جدًا• ولسوء الحظ، فإنه عند تناقص نسبة الأكسجين (أو زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون) في الجو المحيط، فإن معدل التنفس يزداد، مما يجعل الشـخص يستنشق كمية أكبر من الغازات السامة•

٨- التغشية:

التغشـية تعني قدرة الدخان على حجب أو خفض الرؤية أمام الشـخص الذي يحاول الانتقال أو التحرك بعيدًا عن مكان الخطر، وخصوصًا في المباني الكبيرة، مثل الفنادق والمسارح التي يرتادها أشـخاص ليس لديهم إلمام بالطرق أو أبواب الطوارئ؛ وفي مثل هذه الحالات يعتمد الهروب على رؤية المسـالك أو الطرق ثم الانتقال إلى مكان آمن• وعلاوة على ذلك، فإن الدخان يحتوي أيضًا على عناصر مهيجة وأكالة، قد تسبب صعوبة في التنفس، وربما عدم القدرة على فتح العينين.

معهد الدفاع المدني

نهاية

الدورة التدريبية

المصادر والمراجع

م	اسم المرجع
١	مقرر كيمياء الحريق (معهد الدفاع المدني) إعداد عقيد / مشعل الشيخ.
٢	أساسيات مكافحة الحريق-الطبعة الرابعة-ريتشارد هول وباربرا آدمز.
٣	مادة الإطفاء-معهد الدفاع المدني.
٤	الظواهري، لواء/ محمد، هندسة الوقاية من الحريق، المملكة العربية السعودية.
٥	معجم مصطلحات الدفاع المدني، معهد الدفاع المدني-الرياض الطبعة الأولى ٢٠٠٧م.
٦	الجندي، د. إبراهيم علي، تكنولوجيا الوقاية من الحرائق ومكافحتها، كتب عربية، ٢٠٠٧م.
٧	كتاب أساسيات مهارات رجال الإطفاء (NFPA) ٢٠٠٤.
٨	معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق (NFPA) ١٠٠١:٣-٣ , ١٠ أ.
٩	معيار الجمعية الوطنية للحماية من الحريق(NFPA) (١٠٠١ : ١٥٠٣-٣ أ).
١٠	اسس مكافحة الحريق وعمليات ادارة الاطفاء اعداد وترجمة المستشار رشاد صقر

تقييم البرنامج

إن إبداء رأيك بتجرد ودقة من خلال هذا الاستبيان يشجعنا على اتخاذه أساساً للإجراءات التطويرية المستقبلية, فتفضل مشكوراً بملء حقوله وإرساله إلى مركز التدريب.

م	أولاً : العبارة من حيث الشكل	جيد	متوسط	ضعيف	عند اختيار (ضعيف) يشار إلى موضع الخلل في هذه المساحة
١	عنوان الحقيبة				
٢	تصميم الحقيبة				
٣	طباعة الحقيبة				
٤	اللغة المستخدمة				
٥	الفهرسة				
٦	تبويب المادة العلمية				
٧	الرسومات والجداول				
٨	إرشادات المستخدم				

ثانياً : الحقيبة من حيث المحتوى					
١	الأهداف ودقة صياغتها				
٢	شموليتها للمفاهيم والمهارات				
٣	منطقية تسلسلها				
٤	مناسبتها لحاجة المدربين				
٥	المادة العلمية وخلوها من الأخطاء				
٦	توثيق المادة العلمية				
٧	مدى تنوع النشاطات				
٨	مدى تحقيق النشاطات للأهداف				
٩	مناسبة أساليب التقويم				
١٠	مدة تنفيذ البرنامج				

معهد الدفاع المدني

مبادئ سلوك الحريق

أعمال الدفاع المدني التأهيلية-ضباط