

الشركة العامة لمصفاة حمص

الاسس النظرية لحوادث الحرائق والانفجارات

+ +

الاسس ومبادئ السيطرة والتحكم بها

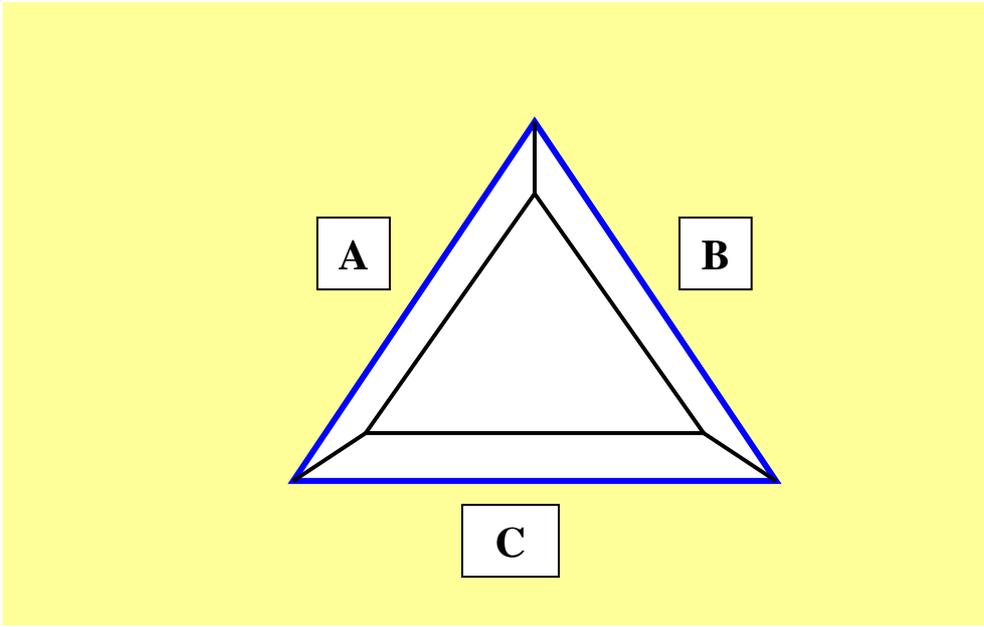
ترجمة د. عمرو / مستشار الشؤون الفنية

المهندس / صبري خالد

## أولاً - الأسس النظرية لحوادث الحرائق والانفجارات

### ١ - عوامل الاحتراق

لكي يحدث احتراق ( اشتعال أو انفجار ) في أي من المواد الصلبة أو السائلة أو الغازية القابلة للاشتعال لا بد من توفر وتأزر مكونات الثلاثة التالية ( A.B.C ) وهي الهواء AIR والجسم المادي المحترق BODY ودرجة حرارة الاشتعال CENTIGRADE وهذا ما اصطلح بتسميته في دراسة الحرائق ونظم الإطفاء بـممثلث النار ( شكل رقم ١ )



شكل رقم ( ١ )

ووفقاً لنظريات الاحتراق والاشتعال يستحيل حدوث ( بدء ) الاشتعال عندما يتم الاحتراق في إحدى الحالات التالية :

- عند غياب أي عامل من العوامل الثلاثة السابقة ( A-B-C )
  - لدى وجود عامل واحد أو أكثر من العوامل المذكورة بصورة لا تهيئه للدخول في عملية الاشتعال بسبب مايلي :
  - وجوده بنسبة ( أو مستوى تركيز ) تقل عن النسبة الضرورية للاشتعال .
  - وجود عوامل معيقة لإتمام عملية التفاعل بين العوامل المذكورة .
- يمكن في بعض الحالات أن يتم التفاعل بين عاملين ( B-C ) في غياب أو كسجين الهواء لدى توفر هذا العامل في بعض المركبات الداخلة في التفاعل والتي سيتم عرضها في سياق البحث وسنعرض فيما يلي الاعتبارات المتصلة بدخول عناصر مثلث الاحتراق في عملية الاحتراق :

## أ - مادة قابلة للاحتراق

تشكل المواد ( الصلبة- السائلة - الغازية ) القابلة للاحتراق أو الانفجار العنصر الرئيسي في مثلث النار ويتعلق شكل الاحتراق ومسيره من حيث سهولة حدوثه وتناميه والسيطرة عليه بهذا العنصر من حيث شكله لدى الدخول في عملية الاحتراق وتطوره خلال مرحلة الاحتراق وكميته وبشمل عام يمكن القول ان غالبية الأجسام ( الصلبة- السائلة - الغازية ) التي تحيط بنا او تقع في مجال استخدامنا هي مواد قابلة للاحتراق بدرجات مختلفة عندما تتوفر شروط ملائمة مساهمة لحدوث الاحتراق حيث يتعرض من المعدن ( حديد أو نحاس ) للاحتراق مثلما تحترق قطعة من الخشب أو الشمع لدى التعرض لدرجة حرارة شديدة جدا" لكن مثل هذا الاحتراق يتوقف عند إبعاد هذه الحرارة الشديدة ومع ذلك يجري اعتباره عادة مادة غير قابلة للاحتراق . وهناك مواد تركيبية أخرى كثيرة تصنف كمواد غير قابلة للاحتراق لأنها تتوقف عن الاحتراق عند توقف تعريضها للحرارة . وهذه المواد رغم أنها غير ناشرة للهب تبقى مواد قابلة للاحتراق وتمثل خطرا" حقيقيا" وذلك بسبب مساهمتها في حدوث وتطور الحرائق نتيجة إطلاقها كمية من الطاقة الحرارية التي اكتسبتها أو إطلاقها أبخرة أو غازات أو أغبرة قابلة للاحتراق بدرجة ما في درجات الحرارة المرتفعة .

ومن الوجهة العملية عندما نتحدث عن المواد ( الأجسام ) القابلة للاحتراق إنما نعبر عن المواد التي تتميز بقابلية الاشتعال وتطور وتنامي اشتعال هذه المواد من تلقاء ذاتها بعد بدء عملية الاشتعال مباشرة مع ترافق ذلك بحدوث لهب وحرارة ونواتج احتراق غازية ( قابلة أو غير قابلة للاشتعال ) وهذا ما يطلق عليه بالاشتعال الحي والفوري أو المتفجر وبشكل مبسط يمكن تقسيم أشكال المواد القابلة للاحتراق تبعاً لحالتها إلى :

- المواد الصلبة القابلة للاحتراق مثل الأخشاب ، اللدائن ، المغنيزيوم ، الصوديوم ، الفوسفور .
- المواد السائلة القابلة لإطلاق أبخرة أو غازات قابلة للاشتعال أو الانفجار مثل البترول ونواتج تقطيره والكحولات والايترات .
- المواد الغازية القابلة للاشتعال/ الانفجار مثل الأوكسجين ، الاستيلين ، الهيدروجين .

## ب - مادة محرقة ( حارقة )

يشكل الأوكسجين العامل المؤكسد الأكثر أهمية الذي يجب أخذه بعين الاعتبار لدى الحديث عن مثلث النار بالرغم من وجود عوامل أخرى مساهمة في حدوث احتراق بعض المواد بعيداً عن الأوكسجين المتوفر في الهواء أو في مواد ( عوامل ) محرقة عديدة مثل البيروكسيدات أو ضمن تركيب بعض المواد المتفجرة ذاتياً" وبشكل عملي يجب أن تكون كمية الأوكسجين الداخلة في عملية الاحتراق كافية لبدء ونمو واكتمال عملية احتراق المواد المشتعلة والنسبة الداخلة منه في تفاعلات الاحتراق والتي تتراوح تبعاً للخصائص الكيميائية والفيزيائية لكل مادة بين اقل من ٥% - أكثر من ١٨% ويحكم هذه النسبة الحدود الدنيا والعليا المقررة تجريبياً" لاشتعال وانفجار كل مادة محترقة بشكل مستقل ولا بد من الإشارة هنا إلى أن كمية ( نسبة ) الأوكسجين في مخلوط الغازات القابلة للاشتعال لاتشكل الشرط الوحيد لاحتراق الغازات والذي يرتبط بتركيز

هذه الغازات . بينما يشكل الأوكسجين في حرائق المواد الصلبة عاملاً حاسماً في بدء وتطور عملية الاحتراق للمواد الصلبة .

### ج \_ طاقة الاشتعال ( الحرارة )

بالرغم من وجود وتوفر العنصرين الأول والثاني من مثلث الاحتراق وهما المادة المحترقة والأوكسجين بشكل كافي ودائم في كل مكان وفي أي وقت فان وقوع الحرائق عملياً لا يتم في المواد القابلة للاشتعال بالرغم من وجود مواد شديدة القابلية للاشتعال بشكل دائم في التداول والاستخدام المهني والخدمي والمنزلي ويعود ذلك بشكل مبسط إلى غياب عامل هام وحاسم لا يمكن بدونه بدء أي عملية احتراق (اشتعال) حي وسريع وهو ( الطاقة ) الحرارية الملائمة لبدء عملية الاشتعال وبشكل أكثر دقة بدء التفاعل الكيميائي المتسلسل للمواد الكيميائية القابلة للاشتعال . وفي هذا الإطار لابد من الإشارة إلى مفاهيم متعددة (مخادعة) ومتداخلة حول العنصر الثالث من مثلث الاحتراق والذي يطلق عليه الحرارة أو درجة حرارة الاشتعال و/أو طاقة الاشتعال لان حدوث الاشتعال عند درجة حرارة معينة مرتبط بعدد من العوامل والاعتبارات المتصلة بالمادة المشتعلة من حيث الشكل الذي تكون فيه هذه المادة والظروف المحيطة بها ونقطة تأثير طاقة الاشتعال وفي هذا السياق فان لكل مادة قابلة للاحتراق درجة حرارة ملائمة يجب أن تصل إليها المادة ( سطح المادة في الحالة الصلبة كما في احتراق الأخشاب واللدائن والشمع وسطح السوائل القابلة للاحتراق أو محتوى السوائل ) لكي تطلق هذه المواد أبخرة قابلة للاحتراق بتركيز كافي للدخول في تفاعلات الاحتراق وعادة يشار إلى درجة الحرارة الملائمة هذه تحت عنوان ( نقطة الوميض) وفي هذا الصدد تكفي الإشارة إلى الأمثلة التالية :

- لا يمكن إشعال الأخشاب الصلبة بلهب عود ثقاب بالرغم من أن درجة حرارة اللهب الناجمة عن اشتعال الثقاب هي اكبر بكثير من نقطة وميض أبخرة الخشب وانه يمكن بسهولة إشعال أبخرة الخشب بهذا اللهب .
- يمكن أن تشتعل المواد المحترقة ذات الأشكال الغازية لدى الوصول إلى درجة حرارة ( نقطة وميض ) كل غاز أو بخار منها بطاقة حرارية ملائمة ناجمة عن أي مصدر حراري ( لهب - شرر - تسخين ) بينما لا يكون ثمة اشتعال للبنزين وأبخرته في خزانات السيارات عندما تزيد درجة حرارته عن درجة حرارة نقطة وميضه ( ٤٦٠ ) بمستويات مرتفعة دون وجود مصدر إشعال ملائم على شكل ( لهب - شرر - جسم متوهج ) لبدء إشعال أبخرته. والواقع إن مصادر الإشعال هذه إنما تساهم بتقديم درجة حرارة خاصة تكون طاقتها أعلى من طاقة نقطة الاشتعال ولا يمكن للسوائل وأبخرتها أن تبدأ الاشتعال أو تشتعل دون توفير مساهمة مثل هذه المصادر إلا لدى وصول درجة حرارتها إلى درجة حرارة الاشتعال الذاتي.

### ٢ \_ تغير درجة حرارة الاشتعال

تعطي الجداول المنشورة درجات حرارة الاشتعال للمواد القابلة للاشتعال على أساس أنها مأخوذة في ظروف معيارية ( هواء نقي خال من أي عوامل مساعدة أو مؤثرة سواء كانت موجبة أو سالبة ) وهذا يعني ان تبدل

هذه الدرجة مرتبطة بهذه الظروف وقابل للتغيير مع تبدل هذه العوامل ومن اهم العوامل المؤثرة في هذا التبدل سواء كان في نطاق التجربة أو بشكل عملي :

- نسبة مكونات الهواء من الرطوبة و الأوكسجين والمكونات الأخرى .
  - نسبة مكونات مخلوط الهواء مع البخار او الغاز القابل للاشتعال .
  - قيم الضغط الجوي المحيط وضغط ( الغاز/ البخار) القابل للاشتعال .
  - شكل مصدر الحرارة ( لهب - شرر - إشعاع حراري ) .
  - طريقة التجربة .
  - تبدل وسائل التجربة مثل تغيير شكل الوعاء أو الحيز ( space ) موضع التجربة او مواد مصنعة .
- ويبين الجدول رقم /١/ تبدل الحدود الانفجارية لبعض المواد تبعاً لحالات الاحتراق .

مع الأوكسجين		مع الهواء		
الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى	
٩٣,٥	١٦,٧	٧٤,٢	١٢,٥	أول أكسيد الكربون
٤٥,٨	٤,١	١٥,٠	٣,١	إيثان
٥١,٩	٦,٥	١٣,٩	٥,٣	ميثان
٩١,٦	٩,٢	٨٤,٢	٤,١	هيدروجين
٨٩,٤	٣,٥	٥٢,٣	٣,٥	استيلين

#### الجدول رقم /١/

**ملاحظة :** لا تكفي دلالة درجة حرارة اشتعال المادة وحدها فقط لمعرفة مدى خطورتها من زاوية الحريق ومن الأمثلة العملية ما يلي :

١- تنخفض درجة حرارة اشتعال أو انفجار أية مادة صلبة أو سائلة أو غازية مع زيادة نسبة الأوكسجين في الهواء .

٢- عندما يصل ضغط البخار أو الغاز القابل للانفجار في الهواء إلى مستوى معين يمكن أن يكون المخلوط المتكون قابلاً للاشتعال/الانفجار . ومن أمثلة ذلك أبخرة المواد الهيدروكربونية حيث يشكل ضغط أبخرة هذه المواد عند مستوى / ٠,٠١٥ / رطل/بوصة مربعة مخلوطاً قابلاً للاشتعال أو الانفجار .

٣- تختلف درجة حرارة اشتعال المواد تبعاً لوسيلة التجربة وفي هذا الإطار تم الحصول على درجة الحرارة الدنيا لمادة الهكسان في ثلاث تجارب وفقاً لما يلي (٤٣٧-٦٣٧-٩٥٠ درجة ف) .

٤- "تختلف درجة حرارة اشتعال المواد تبعاً لنسب الأبخرة القابلة للاشتعال في مخلوط الهواء وقد كانت بالنسبة لمادة البنتان (١٠١٨,٤ - ٩٣٥,٦ - ٨٨٨,٨ درجة فهرنهايت ) عندما كانت نسبتها في الهواء على التوالي (١,٥% - ٣,٧٥% - ٧,٦٥%).

٥ - تختلف درجة حرارة اشتعال المواد تبعاً لحجم أوعية التجربة ولقد تم الحصول على درجات حرارة اشتعال مختلفة لمادة ثاني كبريتيد الكربون (٢٤٨ - ٢٣٠ - ٢٠٥ ) في أوعية أحجامها على التوالي (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠ ) مليمتراً مكعب .

٦ - تختلف درجة حرارة الاشتعال الدنيا تبعاً لمادة وعاء التجربة دون أن يكون لذلك تأثير هام على درجة حرارة الاشتعال فلقد كانت هذه الحرارة للبنزول (١٠٦٠ ف ) في وعاء من الكوارتز و(١٣٥٢ ف ) في وعاء من الحديد و (١٣٣٠ ف) في وعاء من الزنك ويعود هذا الاختلاف إلى عديد من العوامل الحرارية المتعلقة بمادة الوعاء مثل ( السعة الحرارية - الحرارة النوعية - التبادل الحراري بين الوعاء والمادة المشتعلة والوسط الخارجي ) .

٧ - يرتبط اشتعال مادة قابلة للاحتراق بشكل كبير بزمن تعريض هذه المادة إلى مصدر الحارة الخارجي إضافة إلى خصائص هذا المصدر الخارجي.

في معظم حالات الاشتعال في الظروف العملية المألوفة نجد أن الحرارة الوافدة من خارج الجسم القابل للاحتراق تسلط على بقعة من المادة فإذا كان مصدر الحرارة الوافدة ساخناً يجب أن تكون السعة الحرارية للمادة ( كتلتها \* وزنها النوعي ) كبيرة بدرجة ملائمة لترفع درجة حرارة كمية ملائمة من المادة القابلة للاحتراق إلى درجة حرارة اشتعالها . وعلى ذلك فالإتصال القصير (الخاطف) بجسم ساخن صغير حتى ولو كانت درجة حرارته مرتفعة ، أو التعرض لموجة سريعة جداً من الحرارة الإشعاعية لا يكفي لان ينتج الاشتعال ولا ينطبق هذا المبدأ على احتراق الأبخرة والغازات والجزيئات الدقيقة العالقة في الهواء.

وبشكل عام يكون لشدة النشاط الكيميائي اثر هام في إحداث الاشتعال قياساً بالمواد الأدنى مقدرة في الدخول بالتفاعلات الكيميائية لدى تماثل بقية العوامل والظروف المحيطة .

٨ - يلعب الوزن الجزيئي للمواد القابلة للاحتراق دوراً هاماً في التأثير على درجة حرارة العديد من المواد حيث تنخفض درجة حرارة الاشتعال لمادة ما كلما زاد وزنها الجزيئي (تناسب عكسي) عندما تتعادل وتتماثل الظروف المحيطة الأخرى ومن أمثلة ذلك درجة اشتعال المواد الهيدروكربونية ، فالميتان ذو الوزن الجزيئي (١٦) تبلغ درجة حرارة اشتعاله (٥٣٧ مئوية) بينما تنخفض إلى (٤٦٦ مئوية) في البروبان ذي الوزن الجزيئي (٤٤) .

### ٣ \_ المخلوط القابل للاشتعال

هو المخلوط الذي تقع نسبه داخل مدى أو مجال (منطقة) الاشتعال أو الانفجار (الفرقة) أي بين الحدين الأدنى والأعلى له بحيث يكون من الممكن توليد ونمو اللهب وانتشاره (انتقاله) من طبقة إلى أخرى بعيداً عن نقطة أو مكان مصدر الحرارة والإشعال دون الحاجة إلى مصدر (منبع) حرارة خارجي (منبع الحرارة الذي أحدث بدء الاشتعال) وقد يشتعل الغاز أو البخار المخلوط مع الهواء بنسب تقل عن الحد الأدنى لمجال

الاشتعال ( LEL ) عند مصدر الاشتعال أي في البقعة والمكان المحيط بمنبع الإشعال فقط دون أن يتقدم وينتشر ابعده من هذه المنطقة . ويطلق تعبير ( نمو اللهب ) للتفريق بين الاشتعال المذكور وبين الاشتعال الذي ينتقل ويرتحل من طبقة إلى أخرى .

#### ٤ \_ حدود ونسب مجال اشتعال وانفجار المواد الخطرة ( LEL - UEL )

تدل التجارب العملية وتلك التي أجريت لتحديد قابلية المواد الكيميائية ( الصلبة - السائلة - الغازية ) للاحتراق والاشتعال على أن اشتعال أو انفجار أية مادة كيميائية قابلة للاحتراق يرتبط بوصول الأبخرة أو الغازات الصادرة عنها مباشرة إلى الهواء أو الأوكسجين أو المواد الحارقة الأخرى بنسب أو تراكيز محدودة بحيث تكون مخلوطا "قابلا" للاشتعال أو الانفجار لدى توفر مصدر اشتعال خارجي ملائم لهذا المخلوط ، ويطلق مصطلح الحد الأدنى لمجال أو مدى الانفجار أو الاشتعال ( Lower Explosive Limit - LEL ) على هذا الحد . ومن البديهي أن أي تركيز لأبخرة المواد المشتعلة يقل عن هذا الحد لا يشكل أي اشتعال أو لهب في المخلوط لدى تعرضه لمصدر حار خارجي وتسمى التراكيز الأدنى في هذا الإطار بالمخلوط الفقير .

كما تدل التجارب أيضا" على انه مع استمرار زيادة تركيز الأبخرة والغازات القابلة للاشتعال في المخلوط الغازي عن نسب الحد الأدنى يحافظ المخلوط على قابليته للاشتعال والانفجار إلى تركيز محدد بالنسبة لكل مادة يطلق عليه مصطلح الحد الأقصى أو الأعلى لمجال أو مدى الاشتعال أو الانفجار ( Upper Explosive Limit - UEL ) ولدى زيادة تركيز الأبخرة أو الغازات القابلة للاشتعال في المخلوط عن نسب أو قيم الحد الأعلى المحدد للاشتعال أي مادة يطلق على هذه التراكيز مصطلح مخلوط مفرط الغنى وكما هو الحال بالنسبة للمخلوط الفقير فان المخلوط مفرط الغنى أيضا" يقع خارج منطقة أو مدى أو مجال الاشتعال أو الانفجار في الظروف المعتادة التي تم تحديد قيم الحدين الأدنى والأعلى للانفجار أو الاشتعال فيها وغالبا" ما يؤثر في تبدل قيمها على الأخص كل من درجة الحرارة والضغط الجوي. ففي حالة الغاز ولين عندما تكون نسبة أبخرة الغاز ولين اقل من الحد الأدنى للاشتعال / الانفجار ( اقل من ١,٤ % بنزين مقابل أكثر من ٩٨,٦ % هواء ) لن يحدث أي اشتعال أو انفجار وكذلك عندما تكون نسبة أبخرة الغاز ولين اكبر من الحد الأعلى للاشتعال / الانفجار ( ٦ % مقابل اقل من ٩٤ % هواء ) لن يحدث أي اشتعال أو انفجار أيضا" . إلا أن هذا التركيز يشكل وضعاً "حرجاً" محفوفاً بمخاطر كبيرة نتيجة احتمال تبدل تركيز الهواء في المخلوط بسبب ورود مزيد من الهواء مما يجعل نسبة الغاز/البخار القابل للاشتعال تعود مرة أخرى إلى حدود الاشتعال و/أو الانفجار المحددة له . وبشكل عام عندما تتوفر النسب المعيارية لحدود الاشتعال / الانفجار بحيث تساوي أياً من الحدين أو تكون قريبة منهما يمكن أن يحدث اشتعال / انفجار بسيط (غير حاد) يطلق عليه مصطلح ( mild ) أي يكون مجرد اشتعال هادئ. لكن يحدث الانفجار / الاشتعال بين حدي المدى ويختلف بالشدة والحدة بدرجات متفاوتة مقارنة بالتركيز بالنسبة لكل غاز أو بخار فمثلاً نجد إن اشد الانفجارات في البنزين حدة تحدث في مخلوط نسبته ( ٢,٢٥ % ) .

عموماً يقال انه كلما كان مدى الانفجار / الاشتعال واسعا" بين حدي المجال الأدنى والأعلى كان خطر الانفجار اكبر كما الغازات والأبخرة التي يقل حد انفجارها الأدنى عن (٢%) تكون ذات خطورة كبيرة في وقوع الانفجارات رغم أنها ذات مدى ضيق ولا تتجاوز بالمعتاد (١٠%) كحد أعلى لمعظم هذه الغازات والأبخرة .

في إطار دراسة حدود ونسب الاشتعال والانفجار غالبا" لا تجري أية محاولة للتفريق بين مصطلح مجال الاشتعال ( Flammability Zone Range ) وبين مصطلح مجال الانفجار ( Explosion Zone Range ) لدى مناقشة الحدين الأدنى والأعلى لحدود الاشتعال أو الانفجار أو المدى الخاص بنسب الأبخرة أو الغازات في المخلوط القابل للاحتراق أو وصف هذا المخلوط بأنه مخلوط متفجر أو مشتعل لأن اشتعال أو انفجار أي مخلوط قابل للاحتراق إنما يرتبط بعوامل خاصة يمكن أن تساهم في تسريع عملة الاحتراق وإحداث الانفجار وحتى إبطال الاشتعال أو الانفجار .

## ٥ \_ العلاقة بين نقطة الوميض وحدود الاشتعال وقيم ضغط الأبخرة والغازات

عندما يوجد سائل ( قابل ) للاشتعال في وعاء مغلق بحيث لا يملئه كله في الضغط الجوي والحرارة المعتادين يكون ضغط بخار هذا السائل في حالة تعادل مع الهواء ( توازن ) الأمر الذي يؤدي إلى تبخر هذا السائل ووصول تركيز أبخرته فوق سطحه إلى درجة (حالة) الإشباع عندئذ تكون درجة وميض هذا السائل هي أدنى درجة حرارة يمكن أن تعطي أبخرة كافية للوصول إلى الحد الأدنى لمجال انفجار أبخرة هذا السائل. ومع استمرار تبخر السائل في مستوى الضغط والحرارة المعتادين تتزايد كمية الأبخرة لتصل إلى مستويات الحد الأعلى لمدى الاشتعال و/أو الانفجار فإذا استمرت حرارة السائل بالارتفاع تحت تأثيرات خارجية إضافية فإن كمية الأبخرة سوف تزيد عن المجال الأعلى للاشتعال / الانفجار المحدد لأبخرته مما يجعل أبخرة هذا السائل غير قابلة للاشتعال والانفجار .

إن تغير قيم الضغط داخل الأوعية المغلقة زيادة" أو نقصانا" عن الضغط الجوي يقترن بتغير في مدى (مجال) الاشتعال ونقطة الوميض لأبخرة السوائل المشتعلة التي تحتويها هذه الأوعية حيث يؤدي انخفاض ضغط البخار على سطح السائل في الوعاء المغلق عن الضغط الجوي إلى تبخر كمية من السائل اكبر من الكمية المتبخرة في الضغط المعتاد وعلى هذا فان نقطة الوميض تنخفض عن نقطة الوميض للسائل نفسه في الهواء الطلق وفي درجة الحرارة نفسها والضغط الجوي المعتاد .لذلك فان وضع سائل قابل للاشتعال في وعاء أو صهرج في جو بحيث تنخفض درجة حرارته عن نقطة وميضه فان أي تخفيض في الضغط الجوي بدون تخفيض مماثل في درجات حرارة السائل يمكن أن يولد خطرا" أكيدا".

## ٦ \_ كثافة الغاز أو البخار وعلاقتها بحوادث الاشتعال

عندما يقاس الوزن النوعي أو الكثافة لغاز أو بخار فانه يقارن بكثافة الهواء التي تعطى قيمة الواحد (١) فإذا كان اصغر من الواحد كان معنى هذا أن الغاز أو البخار اقل كثافة ( اخف) من الهواء وإذا كان اكبر من الواحد كان معنى هذا أن الغاز أو البخار أثقل من الهواء ، وما يقارن هنا هو وزن حجم من الغاز أو البخار إلى وزن جسم مساوي له من الهواء في درجة حرارة واحدة وهي بالعادة درجة الحرارة التي تعطى في

الشروط النظامية مع الإشارة إلى أن هذا الحجم ينخفض بانخفاض درجة الحرارة حتى يصل إلى (1/27) من حجمه في درجة حرارة الصفر المئوية .وفي هذا الإطار يمكن الإشارة إلى أن معظم غازات وأبخرة البترول ونواتج تفككه ذات كثافة اكبر من كثافة الهواء لذلك فهي تميل للاستقرار بتركيز مرتفع في المناطق المنخفضة لاماكن انتشارها وتتحرك لدى تبخرها وتسربها لمسافات طويلة وتتجمع دائما في الأماكن الأكثر انخفاضا" ليصل تركيزها بسهولة إلى داخل المجال الانفجاري المحدد لها . لاسيما لدى توفر تيارات هواء أو فتحات تهوية ذات سرعة تخلية ملائمة الأمر الذي سوف يقترن بتوقع وقوع حوادث اشتعال و/أو انفجارات ربما تبدأ من مسافات بعيدة عن مراكز انطلاقها لذلك يجب أن يراعى لدى تصميم الوقاية من حوادث احتراق الأبخرة والغازات القابلة للاشتعال تحديد مناطق انتشار وارتحال هذه الأبخرة بالاعتماد على كثافة المواد المتبخرة سواء من الجداول الجاهزة أو من خلال اعتماد المعادلات المستخدمة في هذا المجال ويمكن الحصول على الكثافة باستخدام العلاقة التالية :

### الوزن الجزيئي للمركب ( البخار أو الغاز )

#### ٢٩ ( الوزن الجزيئي لمخلوط الهواء )

ويعبر الوزن الجزيئي لمركب عن مجموع الأوزان الجزيئية للذرات الداخلة في تركيبه وتعطي الرموز الكيميائية للأوزان الخاصة بالسوائل المتبخرة القابلة للاشتعال في الجداول الكيميائية وتشير الأرقام التي تعطى بعد الرمز الخاص بكل ذرة إلى عدد الذرات الخاصة بالعناصر الداخلة في التركيب الخاص بالمادة . إذ يمكن مثلا" الحصول على الكثافة الحجمية لمركب الأسيون وهو عبارة عن مادة شديدة القابلية للاشتعال بالاعتماد على صيغته الكيميائية (C3H6O) حيث يساوي الوزن الجزيئي له ( ٥٨ ) وبالتالي تكون كثافته بالنسبة للهواء = ٥٨/٢٩ = ٢ .

#### ٧ - حساب الحرارة المحررة عند احتراق المواد

لدى حدوث تفاعل كيميائي مع مادة الجسم يمكن أن يتحرر جزء من الطاقة الداخلية للجسم وتتكون كمية كبيرة من الحرارة خاصة أثناء تفاعل الاحتراق . وتسمى المواد التي تستخدم للحصول على حرارة بالوقود . وتستخدم الطاقة المحررة عند احتراق الوقود (الصلب- السائل - الغازي ) استخدامات اقتصادية واجتماعية متنوعة . وتظهر التجارب أن كمية الحرارة ( Q ) المحررة عند احتراق نوع معين من الوقود تتناسب طرذا" مع كتلة مادة الوقود المحترق ( m ) وفق الصيغة التالية :

$$Q = q \cdot m$$

تعتمد كمية الحرارة Q على نوع الوقود ، ويعبر عن ذلك بمعامل تناسب q في الصيغة السابقة . ان المقدار الذي ميز اعتماد الحرارة المحررة عند احتراق الوقود على نوع الوقود يسمى ( بالحرارة النوعية للاحتراق ) او ( القدرة الحرارية للوقود ) وهو يقاس بكمية الحرارة المحررة عند الاحتراق الكامل لوحدة الكتلة من الوقود وفق الصيغة :

$$q = Q / m$$

ولايجاد وحدة الحرارة النوعية للاحتراق q في نظام الـ SI

$$q = 1j / 1kg \quad \text{فان -----}$$

إن الصيغة السابقة ملائمة لحساب الحرارة المحررة عند احتراق وقود صلب أو سائل تماما" أما بالنسبة للوقود الغازي فيستحسن التعبير عنه بحجم الغاز المحترق في الظروف الاعتيادية ( Vo ) وليس بكتلته .  
وبما أن كمية الحرارة ( Q ) المحررة عند احتراق الغاز تتناسب طردا" مع Vo لذا فان :

$$Q = x . Vo$$

حيث تشير x إلى الحرارة النوعية للاحتراق الوقود الغازي وتعتمد على طبيعة الغاز وتقاس في نظام SI  
بـ ( J / m<sup>3</sup> ) وتؤخذ كمية الحرارة المحررة عند الاحتراق الكامل لوحدة حجم من الوقود الغازي في  
الظروف الاعتيادية كحرارة نوعية للاحتراق هذا الوقود وفق الصيغة :

$$x = Q / Vo$$

## ثانياً - أسس ومبادئ السيطرة والتحكم بحوادث الحرائق والانفجارات

### تمهيد

تستند مبادئ الإطفاء ومكافحة الحرائق بشكل مباشر إلى نظرية الاشتعال وتعتمد هذه المبادئ على السيطرة على واحد أو أكثر من العوامل المحدثة للاشتعال أو استمراره بصورة ملائمة وكافية وتعطى الأولوية في اختيار العوامل في كل حادث حريق بشكل مستقل تبعاً لمجموعة الظروف المحيطة بكل حادث بحد ذاته ومن أمثلة الظروف التي يمكن أن تحكم الاختيار :

- إمكانية التحكم والسيطرة الكافية و الأمنه على عامل وحيد بسرعة ملائمة مع تامين عدم إمكانية دخوله في تفاعلات الاشتعال مجدداً.
- توفير المواد والتقنيات والأفراد المدربين على المكافحة والتدخل الملائم للتحكم بعامل أو أكثر.
- الظروف البيئية المحيطة بحادث الحريق ومكانه مع إمكانية تطور الحريق .
- حجم الخطورة التي يشكلها الحادث على الأفراد القائمين بأعمال التدخل والإطفاء والوسط السكاني والبيئي المجاور والممتلكات .
- الحاجة لتقديم خدمات إنقاذ وإسعاف عاجلة داخل المناطق المحترقة أو المعرضة لأخطار مرتبطة بتطور الحادث .

ويمكن تطبيق مبادئ السيطرة على الحرائق ومنع تطورها بإتباع احد الأساليب التالية :

### أولاً - التحكم بالمادة المشتعلة

يشكل التحكم بالمادة المشتعلة احد العناصر الهامة في أعمال مكافحة الحريق لان استمرار وجود هذه المادة سوف يوفر الوقود اللازم لاستمرار عملية الاحتراق وفي هذا الإطار تعتبر جميع المواد القابلة للاشتعال /الانفجار الموجودة في منطقة الحريق أو التي يمكن أن تصل إليها النيران أو حرارة الاشتعال أو الانفجار من جهة نظر الوقاية مواد مؤهبة للدخول في استمرار عملية الاحتراق وتعامل من وجهة نظر المكافحة معاملة المواد الداخلة في عمليات الاحتراق وفيما يلي بعض الخطوات المتبعة للتحكم في هذا العامل :

### **أ - السيطرة بالإبعاد**

ويتم وفق هذا الشكل من السيطرة وتبعاً لأولويات الموقف إبعاد جميع المواد المعرضة للدخول في عملية الاحتراق تبعاً لخصائصها الخطرة واحتمالية دخولها في الاحتراق ومدى الخطورة الناجمة عن احتراقها من حيث القابلية للانفجار أو الاحتراق مع إطلاق جبهة لهب واسعة .

### **ب - السيطرة بالإفكار**

وتستند إلى خفض معدلات المادة الداخلة مباشرة في الحريق أو إفكار المادة المشتعلة عندما تسمح ظروف التدخل أو طبيعة المادة المشتعلة بذلك كما في حوادث الحرائق التي تتم في أوعية أو خزانات مواد كيميائية سائلة مرتبطة بشبكة ضخ أو تفريغ ملائمة .

## ثانياً - التحكم بالعوامل المؤكسدة

كما هو معروف أن أي احتراق أو انفجار يقع لمواد كيميائية إنما يبدأ ويستمر بوجود عامل مؤكسد (خارجي) عادة . وفي عدد قليل من المواد فقط ( كما هو الحال في بعض المواد المتفجرة ) يكون هذا العامل من ضمن التركيب الكيميائي للمادة المشتعلة أو المنفجرة . ويعتمد مبدأ مكافحة الحرائق بطرق السيطرة على العوامل المؤكسدة على عزل العامل المؤكسد لمنع استمرار وصوله إلى المادة القابلة للاشتعال والدخول في عملية تفاعل الاحتراق . أو خفض نسبته ( تركيزه ) إلى المستويات الآمنة على الأقل .

يعتبر الأكسجين بشكل عام وأكسجين الهواء بشكل خاص من أهم وأشهر العناصر المؤكسدة التي تسهم في بدء واستمرار جميع الحرائق المعروفة تقريباً ، ويعتبر من جهة أخرى منع وصول هذا العنصر الهام لاستمرار عملية الاحتراق ، أو خفض النسبة الداخلة منه في عملية الاحتراق من أهم مبادئ مكافحة التي تستند إليها نظرية الاحتراق . ومن الوسائل والتقنيات المستخدمة لتحقيق ذلك :

### أ- العزل

تستخدم طرق ووسائل ومواد وتقنيات متعددة لتشكيل حاجز على سطح المادة المشتعلة سواء كانت صلبة أو سائلة يقوم هذا الحاجز بمنع وصول وتلامس الهواء وما يحويه من أكسجين إلى السطوح المشتعلة . وتختلف التقنيات المستخدمة لتحقيق ذلك تبعاً لحجم وطبيعة حادث الاحتراق حيث يمكن استخدام ( الرمال/الأتربة ) كحاجز يعزل العديد من حوادث الاحتراق البسيطة والبسيطة نسبياً وهي تشكل وسيلة مكافحة ملائمة في معظم الحالات . إلا أن تطبيق هذه الوسيلة على الحرائق الكبيرة أو حرائق السوائل الملتهبة لا يجدي الأمر الذي يستدعي استخدام مواد كافية وملائمة للصدوم في وجه اللهب وعزل الأسطح الكبيرة التي تتدلع فيها النيران . وقد لجأ العاملون في أبحاث مكافحة الحرائق على المستوى الدولي إلى صنع وتطوير مواد رغوية للقيام بوظيفة عزل الهواء عن أسطح الأجسام الملتهبة وتكمن فعالية هذه المادة في فصل الهواء عن هذه الأسطح في مستوياتها العليا عندما تكون مستوية كما في حرائق خزانات الوقود .

### ب - خفض نسبة العوامل المؤكسدة .

تستند أسس السيطرة باستخدام هذا الأسلوب إلى خفض نسبة أكسجين الهواء إلى مستويات تؤدي إلى وقف الاشتعال أو خفض فعاليته بحيث يساهم في إنجاح عمليات مكافحة بالطرق الأخرى . وتستخدم طرق ومواد وتقنيات مكافحة متنوعة لدى تطبيق هذا الأسلوب في مكافحة الحرائق وفقاً لما يلي :

١- العمل على استهلاك أكسجين الهواء في الحرائق التي تتم داخل أمكنة مغلقة محصورة قابلة للإغلاق بإحكام دون السماح بتجديد الهواء من الخارج الأمر الذي يؤدي إلى استهلاك الأوكسجين في الهواء المحصور وانخفاض قيمه إلى الحدود التي لاتساهم في استمرار عملية الاحتراق وبالتالي توقف النيران . إن تطبيق هذا الأسلوب يتطلب خبرة ملائمة في الخصائص الانفجارية للمواد المشتعلة في أمكنة محصورة .

٢- العمل على تحديد كمية الهواء وخفض نسبة الأوكسجين فيه إلى المستويات الآمنة من خلال حقن أو إطلاق مواد خاملة غير قابلة للاشتعال بكميات مناسبة إلى الهواء الداخل في عملية الاحتراق كما يمكن

للكثافة المرتفعة لهذه الغازات أن تشكل طبقة من الهواء الفقير بالأوكسجين في مستوى ومحيط المواد المشتعلة التي تجري مكافحتها .

يمكن لهذا الأسلوب من المكافحة أن يكون محدود الكفاءة لدى توفر سرعات هواء مرتفعة نسبيا" أو تيارات حمل شديدة كما في ظروف الحرائق الكبيرة حيث تنخفض كثافة هذه الغازات بتأثير تمديد الحرارة وتكون قابلة للتبديد مع تيارات الحمل أو مع الهواء المتحرك بسرعة ، وتشكل كل من غازات ثاني اوكسيد الكربون ورابع كلوريد الكربون ( C.T.C ) وبروميد الميثيل ( M.B ) وكلورو برومو ميثان ( C.B.M ) أهم الغازات الخاملة المستخدمة في إطفاء الحرائق لاسيما في حرائق التجهيزات الكهربائية التي لا يمكن استخدام الطرق الأخرى في مكافحتها ومن الضروري الإشارة هنا إلى السمية الكبيرة التي يمكن أن يتعرض لها العاملون في مكافحة الحرائق باستخدام الغازات الخاملة نتيجة الخصائص السمية الناجمة عن هذه الغازات والمركبات السامة الأخرى التي تنجم عن تعرض بعض هذه الغازات للتفكك تحت تأثير الحرارة الشديدة لاسيما عندما تتم أعمال المكافحة في أمكنة مغلقة أو شبه مغلقة أو رديئة التهوية .

### ج - خفض كمية الهواء الداخلة في تفاعلات الاحتراق

من الطبيعي أن يؤدي خفض كمية أو نسبة الهواء الداخلة في عملية الاحتراق إلى تكوين مخلوط مفرط الغنى من الغازات والأبخرة الداخلة في عمليات الاشتعال الأمر الذي يؤدي إلى تجاوز المخلوط للحدود العليا لاشتعال أو انفجار المواد المحترقة وبالتالي وقف أو تعطيل استمرار التفاعل . ونظرا لان تبديد الهواء تحت تأثير الموجات الراحلة المتكونة نتيجة نخلل الهواء الجوي تحت تأثير الضغط المرتفع المرافق لحوادث الانفجارات يساهم بشكل مباشر في إنقاص كمية الهواء وبالتالي الأوكسجين الموجود في داخل منطقة تخلخل الهواء فان أي عملية احتراق قائمة في هذه المنطقة سوف تكون معرضة لتكوين مخلوط ( مفرط الغنى ) يقع خارج مناطق الاشتعال العليا ولو لفترة قصيرة جدا" الأمر الذي يؤدي إلى وقف مباشر للاشتعال . ينتشر استخدام هذا الأسلوب من المكافحة في أعمال السيطرة على الحرائق الكبيرة المكشوفة التي لا يمكن السيطرة عليها بالطرق الأخرى نتيجة دخول كميات كبيرة من الأبخرة والغازات القابلة للاشتعال في عملية الاحتراق كما في حرائق أبار النفط . وذلك من خلال إحداث انفجارات مدروسة بعناية من حيث نوع المتفجرات ومراكز نقاط التفجير خاصة . مع اتخاذ ترتيبات مكافحة مواكبة أخرى لمنع عودة الاشتعال تحت تأثير ارتفاع حرارة المواد القابلة للاشتعال أو الأوساط المادية والتكنولوجية المجاورة .

### ثالثا- التحكم بحرارة الاشتعال ومصادره

من وجهة نظر الوقاية يتم النظر في العامل الحراري الذي يمكن أن يتسبب في وقوع حوادث الاحتراق/ الانفجار . إلا أن مسألة التحكم في هذا العامل بعد وخلال وقوع حوادث الحرائق يأخذ شكلا" مغايرا" حيث يتم العمل في هذا الإطار وفقا" لما يلي :

**أ- وقف أو تعطيل أو إبعاد المصدر** الذي أدى للاشتعال وأية مصادر أخرى مثيلة متوفرة في المحيط الحيوي والمؤثر لحادث الحريق يمكن أن تصل إلى مناطق انتشار الغازات والأبخرة القابلة للاشتعال التي يمكن ان تنجم عن الحريق ذاته أو عن ارتفاع حرارة المواد المعرضة للحرارة الناجمة عنه مع ضرورة التحكم بمنع

اللهب والشرر المتطاير عن عملية الاحتراق من التأثير على مواد أخرى قريبة او بعيدة عن مصادر الاشتعال .

**ب - التبريد :** ويستخدم هذا الأسلوب بهدف خفض حرارة المواد المحترقة إلى أدنى درجة ممكنة وبما لا يزيد عن درجة نقطة وميض المادة المشتعلة أو المواد المهيأة للدخول في عملية الاحتراق في منطقة ومحيط حادث الاحتراق مما يساهم في السيطرة على المصدر الحراري المرافق للاشتعال ويمنع وصول المواد القابلة للاشتعال في محيط حادث الاحتراق إلى درجة وميضها ويمنعها بالتالي من الدخول في عملية الاحتراق أو الانفجار . يتعلق تطبيق هذا الأسلوب الذي يأخذ شكل المكافحة بالنسبة للمادة المشتعلة وشكل الوقاية بالنسبة للمواد القابلة للدخول في عملية الاحتراق بطبيعة وخصائص المواد المشتعلة من جهة ومدى إمكانية تطبيق هذا الأسلوب عليها مباشرة حيث ينحصر هذا الأسلوب تقريباً في ظروف احتراق المواد الصلبة غير القابلة للتفاعل مع المادة المستخدمة في عملية التبريد ويعتبر الماء أهم المواد المستخدمة في هذا الإطار كما يستخدم أسلوب التبريد كعامل مساعد في السيطرة على الحاويات والخزانات المحتوية على سوائل كيميائية مشتعلة او متفجرة إلى جانب وسائل ومواد الإطفاء الأخرى المستخدمة للتحكم في حرائق السوائل المشتعلة . ومن وجهة تعزيز الوقاية من عودة الاشتعال يستخدم أسلوب التبريد لخفض درجة حرارة جميع المعدات والتجهيزات والوسط المادي المحيط بحادث الاحتراق إلى المستويات الطبيعية لحرارتها خلال وبعد السيطرة على حوادث الحرائق .

**ترجمة وإعداد / مستشار الشؤون الفنية**

**المهندس / سمير الخالد**

مصادر البحث

**Fire protection handbook -**

**N.F.P.A -**